



Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFÉKTETÉS A JÖVŐBE

SZÉCHENYI  2020

SOPRONI EGYETEM
ERDŐMÉRNÖKI KAR

TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK

2020. NOVEMBER 30.

SOPRONI EGYETEM
ERDŐMÉRNÖKI KAR





Soproni Egyetem
Erdőmérnöki Kar

TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK

Szerkesztette: Facskó Ferenc, Király Gergely



Soproni Egyetem
Kiadó

Sopron – 2020

A kötet megjelenését az „EFOP-3.6.1-16-2016-00018 – A felsőoktatási rendszer K+F+I szerep-vállalásának növelése intelligens szakosodás által Sopronban és Szombathelyen” című projekt támogatta.

A kötet publikációit lektorálták: Bartha Dénes, Bidló András, Brolly Gábor, Czimmer Kornél, Czupy Imre, Faragó Sándor, Frank Norbert, Pájer-Gálos Borbála, Gribovszki Zoltán, Heil Bálint, Hofmann Tamás, Horváth Adrienn, Horváth Tamás, Jánoska Ferenc, Kalicz Péter, Király Angéla, Király Gergely, Kovács Gábor, Lakatos Ferenc, László Richárd, Szakálosné Mátyás Katalin, Rétfalvi Tamás, Tuba Katalin, Vityi Andrea, Winkler Dániel

Soproni Egyetem Kiadó, 2020
Felelős kiadó: Prof. Dr. Fábíán Attila általános rektorhelyettes
Kézirat lezárva: 2020. november 30.

ISBN 978-963-334-376-0 (on-line verzió)

On-line verzió elérhetősége: http://emk.uni-sopron.hu/images/dekani_hivatal/Kiadvanyok/TudomanyosKozlemenyek2020.pdf

Szerkesztette: Facskó Ferenc
Király Gergely

Ajánlott hivatkozás:

FACSKÓ F.– KIRÁLY G. (szerk.) (2020): Soproni Egyetem Erdőmérnöki Kar. Tudományos közlemények. Soproni Egyetem Kiadó, Sopron.

Tartalomjegyzék

Előszó.....	5
Ács Norbert, Czímber Kornél: Webes földmérési alappontsűrítést végző alkalmazás	6
Báder Mátyás, Németh Róbert: Rostirányban tömörített faanyag zsugorodásának és dagadásának csökkentése	13
Balázs Pál, Király Géza, Nagy Dezső, Konkoly-Gyuró Éva: Az első katonai felmérés tartalmi ellenőrzése egy felső-rába-völgyi példán keresztül	19
Balázs Pál, Berki Imre, Konkoly-Gyuró Éva: Tájváltozással kapcsolatos kutatások a hazai és nemzetközi szakirodalomban	26
Barta Edit, Bakki-Nagy Imre Sándor: Vasúti felsővezeték elektromos terének mérése és számítása ...	33
Brolly Gábor, Bazsó Tamás: Oktatási fejlesztések az okleveles erdőmérnök szak Földmérés tantárgy gyakorlatain	40
Brolly Gábor, Király Géza: Földi lézerszkennelt pontthalmazok tájékozására alkalmas szoftverek összehasonlítása erdei fák térképezése szempontjából.....	45
Czímber Kornél, Burai Péter, Román András: Légi lézeres és hiperspektrális faállomány-felmérés első eredményei.....	51
Czupy Imre, Mészáros Imre, Vágvölgyi Andrea: A soproni szennyvíztisztító telep biogázüzemre vetített energiamérlege.....	61
Csáki Péter, Czímber Kornél, Király Géza, Kalicz Péter, Zagyvainé Kiss Katalin Anita, Gribovszki Zoltán: Erdőállományok vízháztartásának vizsgálata az Alföldön, leskálázott párolgástérképek segítségével	69
Csanády Viktória: Vízszennyezési adatok modell vizsgálata	74
Deák István György, Horváth Sándor: Pamo Mangala farm (Észak-Zambia) vadállományának állapota	81
Elekne Fodor Veronika, Biró Barbara, Horváth Adrienn, Polgár András : A közlekedés környezeti hatásainak lehetséges monitorozása az M85 gyorsforgalmi út tükrében.....	85
Fülöp Viktor Géza, Horváth Sándor: A tűzifa, az energetikai célú erdei apríték, valamint az ipari fakitermelési és piaci változásai 2007 és 2018 között	91
Gálos Borbála, Kiss Márton: Meteorológiai mérések a Soproni-hegységben.....	97
Gribovszki Zoltán, Kalicz Péter: Párolgás okozta napi ingadozás és annak információértartalma (módszerek az evapotranszspiráció számítására).....	105
Gribovszki Zoltán: Vízpótlások erdőterületen, elmélet és esettanulmányok	112
Herceg András, Kalicz Péter, Primusz Péter, Gribovszki Zoltán: Az éghajlatváltozás hatása az útpályaszerkezetre	119
Hofmann Tamás, Visiné Rajczi Eszter, Albert Levente: Bükk (<i>Fagus sylvatica</i> L.) faanyag polifenol készletének folyadékkromatográfiás/tömegspektrometriás vizsgálata	127
Hofmann Tamás, Visiné Rajczi Eszter, Albert Levente : Bükk (<i>Fagus sylvatica</i> L.) levél antioxidáns kapacitásának és polifenol készletének vizsgálata.....	132
Hofmann Tamás, Visiné Rajczi Eszter, Albert Levente: Tölgyfajok levél-antioxidáns tartalmának összehasonlító vizsgálata	137
Horváth Attila László, Szakálosné Mátyás Katalin: A harveszteres fakitermelés teljesítményének javítási lehetőségei szimulátor segítségével	142
Horváth Attila László, Szakálosné Mátyás Katalin: A harveszteres gépkezelők szimulátoros képzésének hatása a munka gazdaságosságára	149
Horváth Attila László, Major Tamás, Szakálosné Mátyás Katalin: Harveszteres fakitermelési módszerek termelékenységeinek összehasonlítása	156
Horváth Bíbor Júlia, Németh Róbert, Báder Mátyás: A rostirányban tömörített faanyag zsugorodás-dagadásának vizsgálata.....	163
Kapocsi Gergely, Horváth Sándor, László Richárd: N agyvadállomány vagyón-kezelésének elemzése az Országos Vadgazdálkodási Adatbázis állománybecslési és elejtési adatainak tükrében	170
Katona Csaba, Bazsó Tamás, Péterfalvi József, Primusz Péter: BLK360 lézerszkennő alkalmazása vonalas létesítmények felmérésére: jelek és távolságok.....	177
Kovács Gábor, Heilig Dávid, Heil Bálint: Fás szárú energetikai ületvények technológiáját és ökonómiáját befolyásoló tényezők a gyakorlatban.....	187

Kovács Klaudia, Vityi Andrea, Horváth Attila László: Agroerdészeti erdei köztes termesztésű rendszerek technológiája.....	195
Major Tamás, Pintér Tamás, Szakálosné Mátyás Katalin: Gyökérsarj eredetű akác állományok összehasonlító vizsgálata a SEFAG Erdészeti és Faipari Zrt. területén.....	200
Major Tamás, Horváth Attila, Virág Vivien: Harveszteres gépi faanyagfelvételezés összehasonlító vizsgálata.....	205
Marcisin Tamás, Király Gergely: Az állomány záródása és az újulatszám összefüggéseinek vizsgálata nyírségi vörös tölgyesekben	210
Németh Zsolt István, Kiss Péter Áron, Rákosa Rita: Faanyagok FT-IR spektrum alapú osztályozása kemometriás módszerekkel	217
Nevezi Csenge, Bazsó Tamás, Csáki Péter, Gribovszki Zoltán, Kalicz Péter, Zagyvainé Kiss Katalin Anita: Hidrológiai és botanikai folyamatok összefüggéseinek vizsgálata egy patakmenti erdőállomány és nedves rét területén.....	221
Novák Dominik, Németh Róbert, Báder Mátyás: A jövő faimpregnáló polimerje. A tejsav tömörfában történő felhasználásának áttekintése	227
Papp Viktória, Szalay Dóra: Pirolízis korom és faanyag keverék pelletek energetikai és mechanikai vizsgálata.....	232
Péterfalvi József, Primusz Péter: Talajstabilizációk szerepe az erdészeti útépítésben.....	237
Polgár András, Jagodics Nóra, Horváth Adrienn, Elekné Fodor Veronika: Szántóföldi növénytermesztés környezeti hatásai	247
Polgár András, Antal Mária Réka: Faipari élzárasi típusok környezeti hatásainak vizsgálata.....	254
Rákosa Rita, Pásztory Zoltán, Börcsök Zoltán, Németh Zsolt István: IR spektrometria a faanyag hőkezelésének monitorozására	263
Rákosa Rita, Szegleti Csongor, Németh Zsolt István: Műanyag hulladékok osztályozása FT-IR spektrumok alapján.....	268
Szakálosné Mátyás Katalin, Fekete György, Horváth Attila László: Lovak alkalmazása és jövője a hazai fahasználatokban	273
Szakálosné Mátyás Katalin, Gimesi Kristóf Szilárd, Major Tamás, Horváth Attila László: Kötélpályás közelítés vizsgálata a soproni hegyvidéken	278
Szakálosné Mátyás Katalin, Sudár Ferenc János, Horváth Attila László: A többműveletes fakitermelő gépek kíméletességének fokozása harveszter szimulátor segítségével.....	284
Szőke Előd, Csáki Péter, Kalicz Péter, Zagyvainé Kiss Katalin Anita, Gribovszki Zoltán: Hidrológiai vizsgálatok egy fás legelőn.....	291
Tari Tamás, Sándor Gyula, Náhlik András: A vaddisznó lakott-területi megjelenésének jellemzői kérdőíves felmérés eredményeinek tükrében.....	298
Tóth Mihály Zoltán, Németh Róbert, Báder Mátyás: Fahegesztés vízgőz és nyomás segítségével.....	305
Vadkerti Tóth Balázs, Németh Róbert, Báder Mátyás: Fahajlítás anatómiája – Áttekintés.....	311
Vágvölgyi Andrea, Szalay Dóra: Stratégiai elemzőmódszer alkalmazása az energetikai célú fás szárú ültetvények vizsgálatára.....	318
Vágvölgyi Andrea, Mészáros Imre, Czupy Imre: Szennyvíziszap komposztálás anyagmérlegére irányuló vizsgálatok.....	325
Vágvölgyi Andrea, Szigeti Nóra, Czupy Imre, Beszédes Sándor, Szalay Dóra: Fás szárú ültetvények technológiai és ökológiai szempontú siker-kudarac tényezőinek vizsgálata.....	329
Vajda József, Horváth Sándor: A COVID-19 hatása az amerikai agrártámogatási rendszerre.....	336
Visiné Rajczi Eszter, Albert Levente, Hofmann Tamás: A fakéreg antioxidáns tulajdonságainak kiértékelése	342
Visiné Rajczi Eszter, Albert Levente, Bocz Balázs, Bocz Dániel, Hofmann Tamás: Tobozok antioxidáns tulajdonságainak vizsgálata	348
Zagyvainé Kiss Katalin Anita, Gribovszki Zoltán, Kalicz Péter, Szőke Előd, Varga Jenő, Csáki Péter: Agrárerdészeti rendszer talajnedvességének vizsgálata fertődi mintaterületen	354

ELŐSZÓ

Jó szerencsét!

Az Erdőmérnöki Karon immár egy évtizedes hagyomány, hogy rendszeresen szervezünk kari tudományos konferenciát. Ezen konferenciáknak több célja van, egyrészt szeretnénk bemutatni azt a széles körű kutatási tevékenységet, amely az Erdőmérnöki Karon folyik, másrészt szeretnénk lehetőséget adni a kar és a karon gondozott kutatási területek kutatóinak a szélesebb szakmai közösség előtti bemutatkozásra.

A Kari Tudományos Konferenciák arra is jó lehetőséget adnak, hogy egymás munkáját jobban megismerjük. Ma már a legtöbb hazai és nemzetközi tudományos konferencia egy-egy szűkebb szakterület (pl. vadgazdálkodás, földmérés, talajtan) kérdéseivel foglalkozik, így ritka az olyan lehetőség, hogy más szakterületek legfrissebb eredményeit is megismerjük. Erre is jó lehetőséget kínált a Kari Tudományos Konferencia.

Az idei évben – a járványhelyzet miatt – sajnos nem volt lehetőségünk hagyományos módon megrendezni a Kari Tudományos Konferenciánkat. Ennek ellenére szeretttük volna bemutatni azokat a kutatási eredményeket és témákat, amelyek az elmúlt időszakban az Erdőmérnöki Karon születtek. Ezért született az a döntés, hogy – bár a konferenciát nem tarthatjuk meg – az eredményeket egy kötetben mutatjuk be Tudományos Közlemények címen.

Bízom benne, hogy a jelen kötet jól mutatja be azt a széles körű munkát, ami az Erdőmérnöki Karon folyik. Köszönettel tartozom azon kollégáknak, akik munkájukat bemutatják a kötetben, a lektoroknak, akik sokat javítottak az egyes cikkek minőségén és a szerkesztőknek a kötet összeállításban végzett munkájukért.

Sopron, 2020. november 30.



Prof. dr. Bidló András
az Erdőmérnöki Kar dékánja

WEBES FÖLDMÉRÉSI ALAPPONTSŰRÍTÉST VÉGZŐ ALKALMAZÁS

ÁCS NORBERT, CZIMBER KORNÉL

Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Geomatikai, Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Intézet
acsnorbert@outlook.hu, czimber.kornel@uni-sopron.hu

Egy olyan webes alkalmazás tervezését és fejlesztését végeztük el, amely alkalmas a sokszög-vonal számítások kivitelezésére. Négy weblap tartalmazza az alkalmazásokat a négy különböző típusú sokszögvonallal: a szabad-, az egyik végén tájékozott-, a mindkét végén tájékozott- és a beillesztett sokszögvonallal. A weboldalakba ágyazott JavaScript fogadja az adatbevitelt, végzi a számításokat és grafikus megjeleníti a sokszögvonalkat. A felhasználó szabadon változtathatja a töréspontok számát és a grafikus megjelenítést is módosíthatja a sokszög-vonal mozgatásával és nagyítással. Ebben a cikkben ismertetésre kerülnek a tervezés és fejlesztés lépései, valamint összehasonlítjuk az alkalmazást más sokszög-vonal számításra alkalmas szoftverekkel.

Bevezetés

Manapság a GNSS vevők rohamos elterjedésével háttérbe szorultak a klasszikus geodéziai alappontsűrítési eljárások. Ahol körülmények és technikai lehetőségek engedik, ott az egyre pontosabb és megbízhatóbb GNSS vevőket alkalmazzuk. Bizonyos körülmények között érdemes mellőzni használatukat, mint például sűrűn beépített belvárosokban vagy zárt erdőállományokban, ahol jelentős az égbolt kitakarása a környezet által (Bányai, 2010). Ilyen esetekben egy mérőállomás segítségével végezhetjük az alappontsűrítést (Bácsatyai, 2002). Sajnos manapság is csak kevés mérőállomás rendelkezik a sokszög-vonal számításokra alkalmas előre telepített szoftverrel. A sokszög-pontok koordinátáinak a kiszámításához a legtöbb esetben szükségünk van egy külön célszoftverre; egy geodéziai feldolgozó programra vagy akár egy táblázatkezelőre.

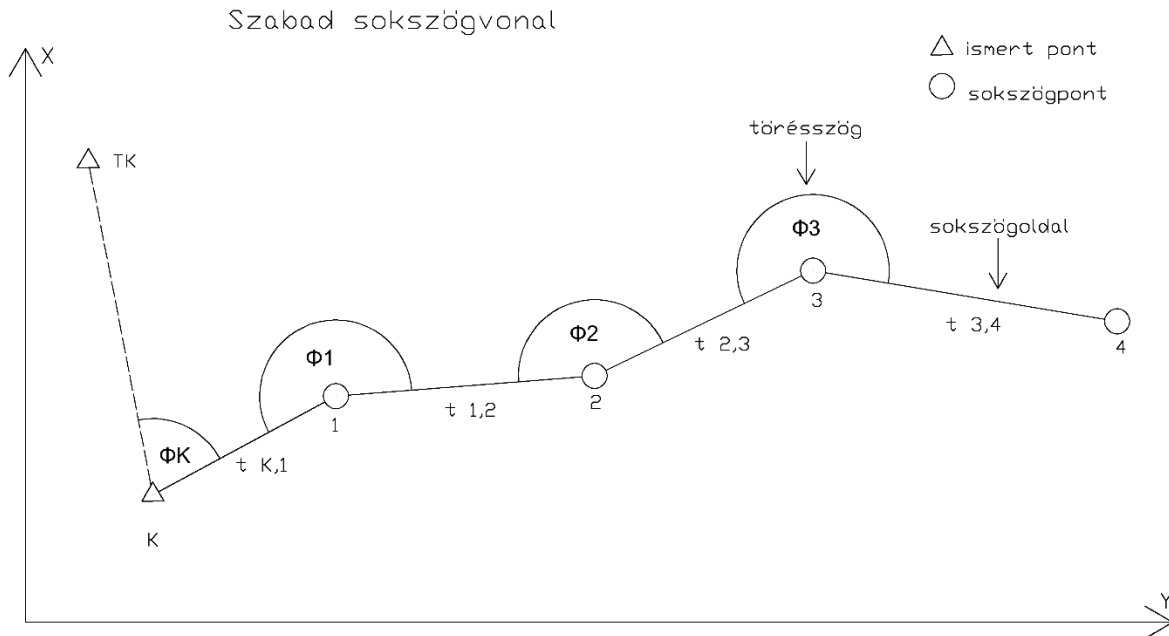
Az alkalmazás fejlesztése során arra törekedtünk, hogy alternatívát kínáljunk azok számára, akiknek nincs szükségük geodéziai feldolgozó szoftverekre, de nem elégszenek meg a táblázatkezelő programok által nyújtott lehetőségekkel. Például egyetemünk erdőmérnök hallgatói számára lehet ideális választás egy ilyen alkalmazás, mert használata egyszerű és nagyon gyorsan elsajátítható a geodéziai feldolgozó programokkal ellentétben, valamint átláthatóbb, hibátűrőbb, nem lehet elrontani, mint egy Microsoft Excel táblázat.

Az említett Excel táblázatokban nagyon körülményes volt a töréspontok számának a növelése, ezért a fejlesztés főcélja az volt, hogy könnyen lehessen módosítani a számukat. A kényelmes és átlátható adatbevitelre is nagy hangsúlyt fektettünk, mert korábbi tapasztalatok szerint, nem volt egyértelmű, hogy melyik cellába, melyik adatot kell bevinni. A geodéziai feldolgozó szoftverek használata néha bonyolult a geodéziában kevésbé járatos felhasználó számára. Lényeges volt még, hogy az alkalmazás a geodéziában használatos fok-fokperc-fokmásodperc szögmegadási módot is támogassa.

Azért esett a választásunk egy webes alkalmazás fejlesztésére, mert platform független és bárhol elérhető. A böngészőn kívül nincs szükségünk semmilyen más szoftverre, valamint gyakorlatilag bármilyen webböngészővel rendelkező eszközzel használni tudjuk, akár egy mobiltelefonnal is.

Anyag és módszer

Az alkalmazás fejlesztése előtt alaposan tanulmányoztuk az alappont-sűrítési eljárásokat, különös tekintettel a sokszögvonalakra. Kigyűjtöttük főbb tulajdonságait, alkalmazási területeit és a számítások részleteit. A fejlesztés során Tarsoly Péter (2010) Geodézia jegyzetének a logikáját követtük, ahol a számítási szempontból legegyszerűbb szabad sokszögvonaltól (1. ábra) haladtak a legbonyolultabb felé (beillesztett). Ezt a sokszögvonala számítását fejlesztettük tovább az egyre bonyolultabbak megoldásához.



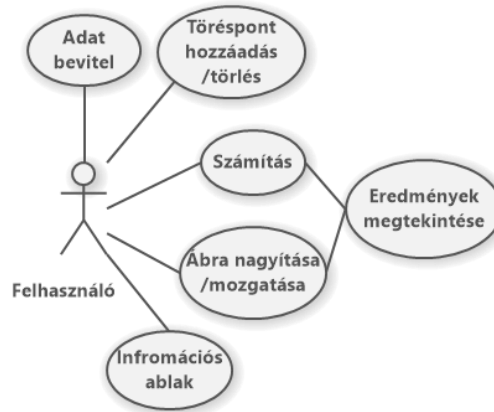
A sokszögvonala áttanulmányozása után a webfejlesztés alapjaival kellett megismerkedni. Négy leíró nyelvet kellett elsajátítani: a HTML5-öt a weblapok felépítéséhez, a CSS3-at a weblapok formázásához, a JavaScriptet a programok megírásához és az SVG-t a sokszögvonala grafikus ábrázolásához. Ezen nyelvek megismeréséhez nagy segítség volt a w3school (2020) weblapfejlesztő portál.

Röviden összefoglalva a HTML állományok tartalmazzák a weblapok szövegét és annak a megjelenítésére vonatkozó utasításokat, valamint hivatkozásokat külön állományba elhelyezett tartalmakra. A megjelenítésre vonatkozó részleteket a CSS stílusleíró állományokban adhatjuk meg. A HTML állományba a CSS-en kívül scripteket ágyazhatunk be, melyek tetszőlegesen módosíthatják a weblapok tartalmát és megjelenítését. Képesek újabb weboldalakot és felugró ablakokat megnyitni, vagy akár kérdéseket és üzeneteket intézhetnek a felhasználókhöz (Nagy, 2010).

A szakirodalom megismerése után a következő lépés az alkalmazás tervezése volt. Meg kellett határozni a webes alkalmazás célját a felhasználói igényekkel együtt. A cél pedig egy olyan sokszögvonala számításokat végző webes alkalmazás fejlesztése volt, ami elérhető az interneten bármilyen operációs rendszerű eszközről és töréspontok számán egy gombnyomással változhatunk, valamint a pontokat grafikusán is meg tudja jeleníteni.

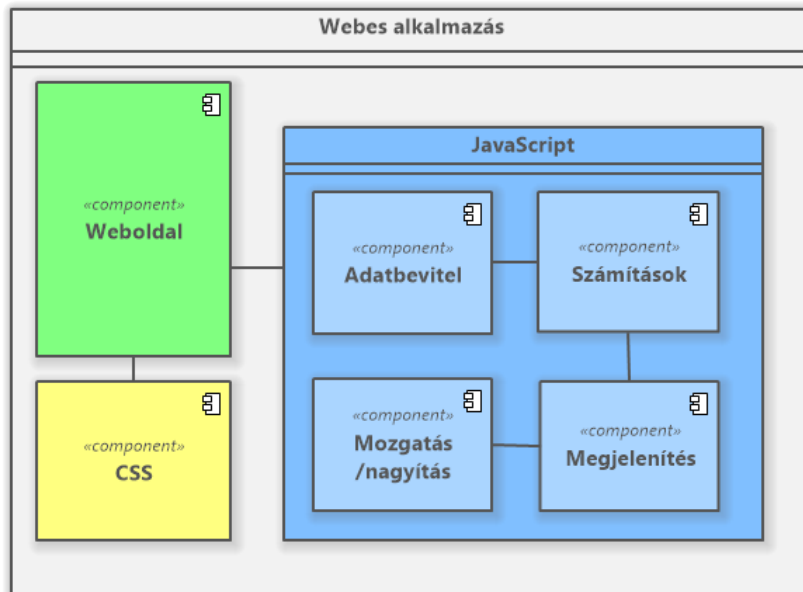
Az alkalmazás UML (Unified Modeling Language) tervezését a Software Ideas Modeler Standard program segítségével végeztük. Az UML egy általános célú vizuális modellező nyelv objektum orientált rendszerek tervezéséhez és modellezéséhez (Stiftinger, 2010). Egy használati eset modellt, egy komponens- és egy aktivitás diagramot készítettünk a tervezés során.

A használati eset modell (use-case) a felhasználó szemszögéből közelíti meg a tervezést. Meghatározza a rendszer funkcióit, szolgáltatásait, amit a fejlesztendő rendszernek meg kell valósítania. Az használati eset diagramok három féle elemből állnak: szereplők, komponensek és kapcsolatok. Az alkalmazásunk esetében a szereplő (actor) a felhasználó. A komponensek azok a funkciók, melyeket a felhasználó használni tud: töréspont hozzáadása és törlése az adatbeviteli mezőben, az adatok megadása, a számítás elindítása, az eredmények megtekintése és az ábra mozgatása és nagyítása (2. ábra).



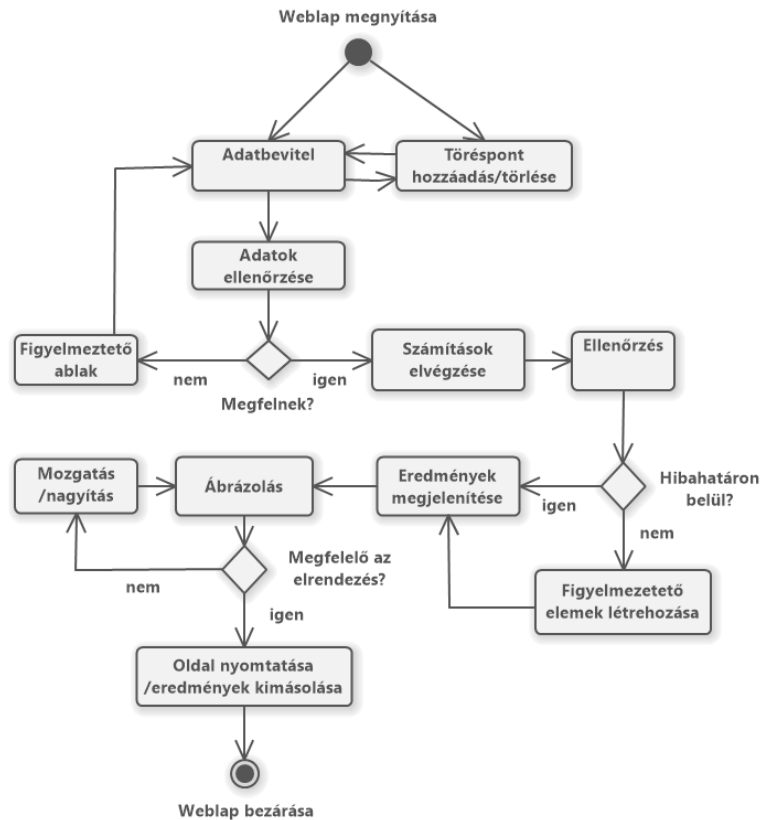
2. ábra. Az alkalmazás használati eset diagramja

A komponens diagram a szoftverkomponensekből felépülő rendszert írja le. A komponensek a szoftver jól leírható részei. A weblapunk három fő komponensből épül fel. A HTML állomány tartalmazza CSS formázási stílusokat, valamint a JavaScriptet, ami pedig különböző rutinokat tartalmaz, melyeket a HTML-ben elhelyezett gombok segítségével hívhatunk meg (3. ábra).



3. ábra. Az alkalmazás komponens diagramja

Az aktivitás diagram egy használati eset (use-case) lefutását írja le. A folyamatokat téglalapok tartalmazzák, a kapcsolatokat nyilak jelölik, melyek a döntési lehetőségeknél elágaznak (4. ábra).



4. ábra. Az alkalmazás aktivitás diagramja

A felhasználói felület tervezésénél az volt a cél, hogy a weboldal átláthatóan rendszerezze a felhasználó számára a mérési adatokat, a számításokat, a sokszögpontok koordinátáit és azok grafikus ábrázolását. Az átláthatóság miatt blokkokra bontottuk a weblap megjelenítendő tartalmát. Egy-egy külön blokk tartalmazza az adatbevitelt, a mérési adatok összegzését, a koordináták táblázatos összefoglalását, a számítások rövid leírását és a sokszögvonala grafikus megjelenítését. A blokkokat bekereteztük, hogy elkülöníthetők legyenek, sőt a fontosabb blokkokat eltérő háttérszínnel is emeltük (5. ábra).

Adatbevitel

Tájékozási pont:
 Y: 10
 X: 10

Kezdőpont:
 Y: 40
 X: 40

Irányértékek:

(K) hátra: 100-10-10	előre: 299-41-5
(1) hátra: 100-10-10	előre: 195-48-21
(2) hátra: 100-10-10	előre: 351-5-21
(3) hátra: 100-10-10	előre: 9-21-5

Vízszintes távolságok:

(K) előre: 53.85	előre: 40.35
(1) hátra: 53.85	előre: 30.16
(2) hátra: 40.35	előre: 55.69
(3) hátra: 30.16	előre: 55.69

Töréspont hozzáadása Töréspont törlése

Számol Új sokszögvonal Információk

Ismert pontok

ID	Y	X
TK	10.00	10.00
K	40.00	40.00

Adatok:

Φ1 = 199-30-55
 Φ2 = 95-38-11
 Φ3 = 250-55-11
 Φ4 = 269-10-55

t1 = 53.85 m
 t2 = 40.35 m
 t3 = 30.16 m
 t4 = 55.69 m

Számított pontok

ID	Y	X
TK	10.00	10.00
K	40.00	40.00
1	88.61	63.17
2	74.91	101.12
3	98.37	120.07
4	133.98	77.26

Számítások

ők→tk= 225-0-0

ID	δ' (° ' ")	t (m)	ΔY (m)	ΔX (m)
K→1	64-30-55	53.85	48.61	23.17
1→2	340-9-6	40.35	-13.70	37.95
2→3	51-4-17	30.16	23.46	18.95
3→4	140-15-12	55.69	35.61	-42.82

Ábrázolás

Graphical display of the polygon with points K, 1, 2, 3, 4 and axes X and Y.

5. ábra. A weblapok felépítése

Az alkalmazás fejlesztése során a HTML állomány felépítését végeztük el először. Létrehoztuk a már említett blokkokat, majd megszerkesztettük őket. Az adatbeviteli blokkba három űrlapot helyeztünk el: egyet az ismert koordináták számára, mint a kezdőpont és végpont vagy a tájékozási pontok, egyet az irányértékek számára és egyet a távolságoknak. Az űrlapok bevétel mezőkből állnak, melyekbe beírhatjuk a mérési adatainkat. Az űrlapokon kívül az alkalmazás irányításához szükséges gombokat helyeztük még el az adatbeviteli blokkban. Ezekkel a gombokkal tudunk a töréspontok számán változtatni hozzáadással vagy törléssel, valamint a számításokat elindítani. A többi blokk, nem tartalmaz bevitelt, azokat a JavaScript tölti fel tartalommal. A formázáshoz szükséges stílusokat a HTML fejrésze tárolja. A stílusokat a CSS stílus leíró nyelvvel adtuk meg. Minden blokkhoz készült egy stílus. Ezek a stílusok a blokkok elhelyezkedését, méretét, háttérszínét tartalmazzák a hozzájuk tartozó margó és szegély megadásával. HTML felépítése és formázása után következett a fejlesztés lényegi része, a JavaScript megírása. A JavaScriptbe 6 függvényt hoztunk létre a weboldal kezelésére és 7 függvényt a grafikus ábrázoláshoz. Minden függvényhez tartozik egy a weblapon megjelenő nyomógomb, melyre rákattintva lefuttathatjuk őket. Ezen függvények rövid ismertetése következik.

A töréspont hozzáadása gombbal egy olyan függvényt indíthatunk el, ami a HTML DOM családfáját változtatja meg. Új elemeket, input mezőket hoz létre, melyek az adatbeviteli blokkban található űrlapokba kerülnek bele. A töréspont törlése gombbal szintén a DOM-on hajthatunk végre módosításokat. Már meglévő input mezőket törölhetünk az űrlapokból, ezzel csökkentve a törésszögek számát. Az új sokszögvonala funkcióval tulajdonképpen a töréspontok törlése függvényt futtatjuk le többször egymás után egy ciklus segítségével. Az alkalmazása után törölődnek a weboldal megnyitásakor bevitt mintaadatok és töréspontok száma is a minimális mennyiségre csökken.

A számolás paranccsal hajtjuk végre a számításokat, a blokkok adattal való feltöltését és grafikus megjelenítés létrehozását. A számítások során a sokszögvonala számítások lépéseit követi program az alapvető matematikai műveletek végrehajtásával. Legelőször beolvassa az űrlapokba beírt adatokat, azokat átváltja a számítások elvégzéséhez alkalmas formátumba, pl. a szöveget radiánba. A JavaScript legnagyobb előnye a táblázatkezelőkkel szemben, hogy képes a ciklusok, elágazások használatára. Segítségükkel bizonyos számításokat többször elvégezhetünk egymás után automatikusan. Ez azért nagyon lényeges, mert nem tudhatja az alkalmazás előre a töréspontok számát. A számítások után a függvény feltölti adatokkal a blokkokat, majd elvégzi a grafikus ábrázoláshoz szükséges számításokat.

A grafikus ábrázolásért felelős SVG koordináta rendszere nem egyezik meg a számításokban használt koordináta rendszerrel, ezért át kell váltani. Az átváltás után a függvény létrehoz egy SVG-t, amit beilleszt a HTML megjelenítendő blokkjába.

Az ábrázolás nevű blokkban további gombokat helyeztünk el. Ezekkel a gombokkal mozgathatjuk az SVG-ben ábrázolt sokszögvonala és változtathatjuk a méretarányát. Ezt úgy valósítja meg az alkalmazás, hogy a gombok lenyomása esetén egy függvény módosítja az SVG-n belüli koordinátákat, majd újra beilleszti az SVG-t a HTML állományba, ezzel frissítve a megjelenítést.

A fejlesztés során rendszeresen elvégeztük a belső teszteket. A kódblokkokról kódblokkra haladva folyamatosan kipróbáltuk az alkalmazást. Az alkalmazások teszteléséhez a Google Chrome webböngésző fejlesztő eszközeit használtuk. Ha a webböngésző JavaScript motorja a programok futtatása közben olyan hibát észlelt, ami miatt nem tudta végrehajtani a parancsokat, akkor az kijelzésre került. Így hamar meg lehetett találni a hibás kódrészletet és gyorsan lehetett javítani őket.

Eredmények

A fejlesztés során egy működőképes alkalmazást sikerült kifejleszteni. Az alkalmazást több mintafeladat számításaival is ellenőriztük, valamint más szoftverekkel is összehasonlítottuk. Egy valódi mérés eredményeit is feldolgoztuk egy az erdőmérnök hallgatók által készített Excel táblázat alapján, a GeoEasy geodéziai feldolgozó programmal és a webes alkalmazással. A számított sokszögpontok koordinátáit mm élességgel hasonlítottuk össze.

1. táblázat. A webes alkalmazás és az Excel számítás összehasonlítása

ID	Alkalmazás		Excel		Eltérések		
	Y	X	Y	X	ΔY (mm)	ΔX (mm)	Δt (mm)
K	464446,330	262314,980	464446,330	262314,980	-	-	-
1	464432,602	262330,885	464432,603	262330,881	1	4	4
2	464407,187	262360,664	464407,190	262360,659	3	5	6
3	464385,175	262414,832	464385,178	262414,828	3	4	5
4	464429,287	262425,684	464429,288	262425,679	1	5	5
5	464430,417	262471,148	464430,417	262471,145	0	3	3
6	464482,214	262434,990	464482,214	262434,989	0	1	1
7	464509,945	262410,406	464509,948	262410,403	3	3	4
V	464540,310	262382,620	464540,310	262382,620	-	-	-
Átlag:							4,0

2. táblázat. A webes alkalmazás és a GeoEasy összehasonlítása

ID	Alkalmazás		GeoEasy		Eltérések		
	Y	X	Y	X	ΔY (mm)	ΔX (mm)	Δt (mm)
K	464446,330	262314,980	464446,330	262314,980	-	-	-
1	464432,602	262330,885	464432,602	262330,885	0	0	0
2	464407,187	262360,664	464407,187	262360,665	0	1	1
3	464385,175	262414,832	464385,175	262414,832	0	0	0
4	464429,287	262425,684	464429,287	262425,684	0	0	0
5	464430,417	262471,148	464430,417	262471,148	0	0	0
6	464482,214	262434,990	464482,214	262434,990	0	0	0
7	464509,945	262410,406	464509,945	262410,406	0	0	0
V	464540,310	262382,620	464540,310	262382,620	-	-	-
Átlag:							0,1

A webes alkalmazás és az Excel által számított koordináták között 4 mm az átlagos eltérés jött ki (1. táblázat). Ez annak tudható be, hogy az Excel táblázat a vonalas záróhibát nem a sokszög-
oldalak hosszúságának arányában osztja le, hanem egyenlően. A GeoEasy és webes alkalmazás koordinátái között pedig nagyon kicsi különbség, a 0,1 mm eltérésének nincs gyakorlati jelentősége (2. táblázat).

Összefoglalás

A fejlesztett webes alkalmazás beváltotta a hozzá fűzött reményeket. Gyorsabb és kényelmesebb a használata, mint a GeoEasy és hibatűrőbb a használata, mint a Microsoft Excelben írt számításoké, valamint az Interneten bárholnan és bárkinek elérhető lesz majd. A számítások pontossága pedig megegyezik az olyan geodézia feldolgozó szoftverekével, melyek szintén a közelítő kiegyenlítést alkalmazzák. Az alkalmazás fejlesztése folytatódik, melynek során a háromszögelések (előmetszés, hátrametszés, oldalmetszés, ívmetszés) számításival is bővílni fog a program.

Köszönetnyilvánítás: Jelen publikáció a „GINOP-2.3.3-15-2016-00039 – Fás biomassa termesztési feltételeinek vizsgálata” című projekt támogatásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- BÁCSATYAI L. (2002): Geodézia. Nyugat-Magyarországi Egyetem
BÁNYAI L. (2010): Automatizált geodéziai adatgyűjtés. Nyugat-Magyarországi Egyetem
NAGY G. (2010): Informatika. Nyugat-Magyarországi Egyetem
STIFTINGER M. (2010): Rendszertervezés. Nyugat-Magyarországi Egyetem
TARSOLY P. (2010): Geodézia. Nyugat-Magyarországi Egyetem
<https://www.w3schools.com/>- hivatkozva: 2020. 04. 21.

ROSTIRÁNYBAN TÖMÖRÍTETT FAANYAG ZSUGORODÁSÁNAK ÉS DAGADÁSÁNAK CSÖKKENTÉSE

BÁDER MÁTYÁS, NÉMETH RÓBERT

Soproni Egyetem, Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi és Művészeti Kar, Faanyagtudományi Intézet.
9400 Sopron, Bajcsy-Zs. u. 4.
bader.matyas@uni-sopron.hu

Bevezetés

A XX. század elején Max Hanemann szabadalmaztatta a faanyagok rostirányú tömörítését, majd az 1920-as években megszületett az első sorozatgyártásra alkalmas technológia is (Báder és Németh 2018c). A rostirányú tömörítés nagymértékben hajlítható faanyagot eredményez. A fa hosszirányú tömörítéséhez és annak bármely irányban elvégezhető hajlításához magas minőségű, egységes felépítésű és károsodásoktól mentes alapanyag szükséges. Eddigi ismereteink alapján kizárólag közepes- vagy magas sűrűségű keménylombos fafajok modifikálhatók ilyen módon. Csak nedves faanyag használható fel alapanyagként, melynek a tömörítési folyamat alatt teljes keresztmetszetében legalább 80 °C hőmérsékletűnek kell lennie. A hosszirányú tömörítés akkor valósítható meg, ha a munkadarab egyenes állapotban marad a préselési folyamat során. A tömörítési műveletet követően a faanyag lehül és a kötőszövet újból megszilárdul, ennek ellenére lényegesen kisebb erővel és nagyobb mértékben válik hajlíthatóvá a munkadarab.

Jellemzően 20%-os tömörítési arányt alkalmaznak (Sparke 1989). A tömörítési műveletet követően a gépből azonnal kivéve a tömörített faanyag visszarugózik, és 3-5% maradandó rövidülést szenved. Amíg 20% fölött van a nedvességtartalma, megtartja alakíthatóságát, és csak a szárítás során rögzül a forma. A faanyag rugalmassági modulusa a harmadára, hajlítószilárdsága felére csökken. A hajlító vizsgálat során elviselt behajlás többszörösére növekszik és a dinamikus törési munkai igény másfél-kétszeresére javul, tehát egy ellenállóbb, nagyobb alakváltozásokat elviselni képes anyagot kapunk végtermékként. A hajlítási viszonyszám meghaladhatja az 1/4 értéket, azaz egy 2 cm vastagságú lécet egy 8 cm sugarú, vagy akár annál kisebb ívű sablonra is rá lehet hajlítani (Báder és Németh 2018b).

Az abszolút száraz és a rosttelítettség közti nedvességtartalmi állapotokban a faanyagok fizikai-mechanikai tulajdonságai változnak (Báder és Németh 2017). Ez jellemzően gyengébb mechanikai tulajdonságokat jelent magasabb nedvességtartalom mellett, továbbá fizikai aspektusban legfontosabbnak a méretnövekedést. A faanyag dagadási értékei nulla és rosttelítettségű nedvességtartalom között húrirányban 10-12%, sugárirányban 5-6%, míg hosszirányban 0,1-0,3%. Hosszirányban tömörített faanyagok esetében utóbbi 4-6-szoros értéket vesz fel, ami nagyon jelentős dimenzióstabilitási problémát jelent (Báder és Németh 2018b). Az előzetes zsugorodás-dagadást vizsgáló kutatások eredményeit az 1. táblázat tartalmazza.

Az 1. táblázat adatai közül érdemes külön kiemelni a hosszirányú méretváltozásokat. A hosszirányú tömörítés hatására meggyűrődött sejtfa a nedvességváltozás következtében a memória-effektusnak megfelelően megpróbálnak kiegyenesedni, ahogy eredeti állapotukban voltak. Ennek köszönhető a nagymértékű, közel nagyságrendi változás a dagadási és a zsugorodási értékekben, valamint ez okozza a hosszirányban tömörített faanyag megbízhatatlanságát változó nedvességtartalmi körülmények között. A következőkben bemutatott kísérlet célja e probléma legalább részbeni megoldása polimerizált tejsav alkalmazásával.

1. táblázat. Bükk faanyag zsugorodási és dagadási vizsgálatainak eredményei a három fő anatómiai irányban (sugár - R, húr - T és rost - L) és térfogatilag (V). Rövidítések: α – dagadási együttható; β – zsugorodási együttható

	Első zsugorodási ciklus				Dagadási ciklus				Második zsugorodási ciklus			
	β_{R1}	β_{T1}	β_{L1}	β_{V1}	α_R	α_T	α_L	α_V	β_{R2}	β_{T2}	β_{L2}	β_{V2}
Kezeletlen	4.2%	9.7%	0.2%	13.6%	4.4%	10.9%	0.2%	15.9%	4.6%	10.6%	0.2%	14.9%
Gőzölt	4.8%	10.8%	0.1%	15.3%	5.2%	12.0%	0.2%	18.0%	5.3%	11.5%	0.1%	16.4%
Tömörített	4.7%	10.8%	1.1%	15.9%	4.9%	12.0%	1.4%	19.1%	5.0%	11.4%	1.1%	16.7%

Anyagok és módszerek

Bükk (*Fagus sylvatica* L.) mintákat használtunk a kísérletek során, mert hosszirányú tömörítéshez ez a keménylombos fafaj magas nedvességtartalommal kiválóan alkalmas. Ennek megfelelően kivágás után a rönkök rövid időn belül fel lettek dolgozva 30x20x200 mm méretű mintákká és le lettek fagyasztva. A kísérleteket megelőzően további feldolgozás során mind-egyikből egy 15x20x200 mm és egy 12x20x200 mm méretű minta készült, melyek nedvességtartalma a rosttelítettségi határ felett volt. Utóbbi mintaméret alkalmas tömörítetlen kontrollként való felhasználásra, míg a tömörítő berendezés befogadóképességéhez igazodva 2 db 15x20x200 mm méretű minta lett tömörítve egyidejűleg. A procedura menete Báder és Németh (2018a) kísérleteit alapul véve történt: minimum 45 perc gőzölést követően a dupla-mintákat 15 m/(m·h) relatív tömörítési sebességgel 20% mértékben tömörítettük az eredeti hosszukhoz képest, majd egy perc összenyomott állapotban tartás (fixálás) következett a feszültegek részbeni relaxációja érdekében. Klímaszobában 20 °C hőmérsékleten és 65% relatív páratartalomon száradtak az egyensúlyi tömegállapot eléréséig, végül fokozatosan emelkedő hőmérsékleten abszolút száraz állapotra lettek szárítva.

A telítéshez az Acros Organics b.v.b.a. (Belgium) L(+)-tejsav monomerének vizes oldatát (töménység $\geq 90\%$) használtuk fel. Az alkalmazott monomer híg folyadék, melynek meg kell oldani a faanyagba jutását és azon belül a rögzítését, célszerűen polimerizációval. Így az összekapcsolódó monomerek hosszú polimer láncokat alkotva és esetleg a faanyag összetevőivel is kapcsolatot létesítve a faanyagba épülnek. Tekintettel arra, hogy a faanyag, a tömörítési technológia és a tejsav-monomer egyaránt kizárólag természetes és természetesen káros összetevőktől mentes, környezetbarát anyagok és technológia, az iparban katalizátorként használt kiegészítők alkalmazását igyekeztünk elkerülni. Noël és tsai. (2015) tanulmányát alapul véve egy hosszabb, de katalizátoroktól mentes főzési folyamattal tejsav-oligomereket képeztünk, mely szobahőmérsékleten átlátszó, méz állagú anyaggá vált. A monomert Witeg MSH-20D típusú (Witeg GmbH, Németország), mágneses keverővel ellátott főzőlapon 175 RPM fordulatszámú folyamatos keverés közben, 150 mbar vákuumon tartva kezeltük egy Memmert VO-400 típusú vákuumkamrában (Memmert GmbH+Co KG, Németország). Először a víz eltávolítása történt meg 70 °C hőmérsékleten 90 perc alatt, majd 100 °C-on 125 percig és további főzéssel 130 °C-on 200 percig kezelve a korábbi kísérletek alapján legalább részben tejsav-oligomerek keletkeztek.

A tömörítetlen és tömörített faminta-csoportok ketté lettek osztva és egyik felük kezeletlenként, míg másik felük tejsav-oligomerrel kezelve lett felhasználva. A telítésre szánt, abszolút száraz faminták az előkészített tejsav-oligomerbe kerültek, fémlapokkal lesúlyozva és 90 °C hőmér-

sékleten 30 percig 100 mbar vákuumban kezelve. A ciklus végén a vákuum fokozatos csökkentésével 20 perc alatt elérte a légköri nyomást, majd a telített minták szárazra törölve és alufóliába csomagolva a Memmert 100-800 típusú szárítószekrénybe kerültek (Memmert GmbH, Németország), ahol 6 órán keresztül 120 °C hőmérsékleten ment végbe a faanyagban lévő oligomerek polimerizációja.

A bemutatott kezelés célja a faanyag zsugorodásának és dagadásának csökkentése, azaz a méretstabilitás javítása. Ennek megfelelően a tömegnövekedést vizsgáltuk a telítés hatására (weight percentage gain, WPG), valamint a tömegcsökkenést az áztatás során (weight percentage loss, WPL), minden esetben abszolút száraz állapotú faanyagot felhasználva. Az áztatás desztillált vízben történt 10 napon keresztül, a zsugorodás-dagadási képesség vizsgálatához a három anatómiai főirány (sugár, húr és hossz, rendre radial, tangential, longitudinal, R , T , L) méretei rögzítésre kerültek áztatást megelőzően, áztatás után és az ismételt szárítást követően. A dagadás és a zsugorodás az ISO 13061-13, 14, 15, 16 szabványnak megfelelően lettek kiszámítva. A telítés előtti és utáni, valamint az áztatás előtti és utáni két abszolút száraz állapot közti tömegkülönbség adta a százalékos tömegcsökkenést (1. egyenlet):

$$WPG = \frac{m_{0 \text{ telített}} - m_{0 \text{ kezeletlen}}}{m_{0 \text{ kezeletlen}}} \cdot 100; WPL = \frac{m_{0 \text{ telített}} - m_{0 \text{ áztatott}}}{m_{0 \text{ telített}}} \cdot 100 \quad (1)$$

A dagadás-csökkentési hatékonyság (anti-swelling efficiency, ASE_{α}) és a zsugorodási-csökkentési hatékonyság javulásának (anti-shrinkage efficiency, ASE_{β}) meghatározásához a következő képleteket használtuk (2. egyenlet):

$$ASE_{\alpha} = \frac{\alpha_{ut} - \alpha_t}{\alpha_{ut}} \cdot 100; ASE_{\beta} = \frac{\beta_{ut} - \beta_t}{\beta_{ut}} \cdot 100 \quad (2)$$

ahol α_{ut} , β_{ut} : kezeletlen faanyag dagadási és zsugorodási együtthatója százalékban, valamint α_t , β_t kezelt faanyag dagadási és zsugorodási együtthatója százalékban.

Eredmények és értékelés

A telítés során, és főként annak első fázisában a vákuum fokozatos növelésekor buborékként megfigyelhető volt a bükk faanyagban tárolt levegő eltávozása, ami előrevetítette a folyamat sikerességét. A kezelés hatására a faanyag színe jelentősen sötétedett, ezzel egy melegebb árnyalatú, az emberi szemnek még kellemesebb felületű faanyag jött létre. Az 1. ábrán látható néhány tipikus minta; a világos színűek nem lettek telítve tejsav-oligomerrel, míg a sötétebb színűekbe bejutott a kezelőszer. Az 1.b ábrán látható, hosszközépen kettévágott faanyagok bizonyítják, hogy a kezelés eredményeképpen a felhasznált tejsav-oligomerek teljes keresztmetszetben átjárták a faanyagot.

A tömegméréssel meghatározott tejsavfelvételi számítások igazolták feltevésünket, a telítés hatására bekövetkezett tömegnövekedés tömörítetlen bükkfa esetében 73%, míg tömörített bükkfa esetében 64% volt. A faanyag mérete vízzel való telítés során növekszik, bükk esetében a legnagyobb átlagos növekedés a három fő anatómiai irányban (R , T , L) rendre 5,8% 11,8% és 0,3% (Wagenführ 1996). A nagymértékű tejsavfelvétel hatására a tömörítetlen faanyag méretei a vízzel való telítéshez hasonló mértékben növekedtek, 4,6% 13,5% és 0,2%-kal, míg a tömörített faanyag méretei 4,9% 13,6% és 1,1%-kal. Természetesen a faanyag sűrűsége is jelentősen magasabb lett: tömörítetlen faanyag esetén 43% és tömörített faanyagnál 36% sűrűség-növekedés következett be, amivel mindkét bükk mintacsoport elérte a 0,94 g/cm³ sűrűségi értéket.

A tejsavval telített faanyag érintése ugyan kissé műanyagos hatású, de az optikai javulással együtt ezt a problémát kiküszöböli a felületkezelés, ami szinte minden esetben megtörténik a

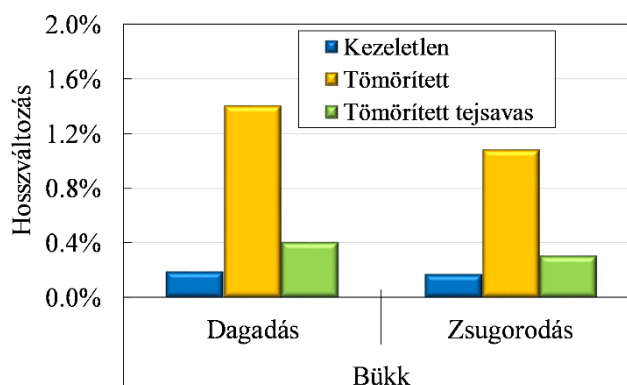
késztermékek gyártása során. A bükk faanyag 35,6% nedvességtartalom mellett éri el rosttelítettségi állapotot (Báder és Németh 2017), ezen értékeket a bemutatott kezelés csökkentette. Ennek eredménye, hogy szűkebb nedvességi tartományban képes a kezelt faanyag méterváltozásokra, tehát a méret- és alakváltozási képessége romlik.



1. ábra. Kezeletlen (világos színű) és tejsav-oligomerrel telített (sötét színű) bükk minták oldalnézeti (a) és keresztmetszeti (b) képei. A hosszabb, de kisebb keresztmetszetű minták tömörítetlenek, míg a rövidebb, de nagyobb keresztmetszetűek tömörítettek

Áztatás során a telítő anyag kimosódása következett be, ami jelentéktelen hatással volt a bemutatott eredményekre, az $ASE\alpha$ és az $ASE\beta$ javulására. Ennek az az oka, hogy a telítést követő kimosódás a polimerizált tejsav-frakciókat csupán minimálisan érinti (Noël és tsai. 2015) és a nem polimerizálódott részeket mossa ki a víz. Utóbbi elemek viszont sem fizikai, sem kémiai kötással nem kapcsolódnak sem a faanyaghoz, sem egymáshoz, tehát a minták tulajdonságaira nem gyakorolhatnak szignifikáns hatást.

A minták tehát körülbelül az abszolút telített állapotuknak megfelelő méreteket vették fel a tejsav-oligomerrel való telítés hatására. Ez előrevetítette, hogy a víz valószínűleg nagyon korlátozottan fog csak tudni hozzáférni a faanyag funkciós csoportjaihoz melyekkel kémiai kötést létesíthet, dagadást okozva ezzel. A dagadási-zsugorodási vizsgálatok eredményeit a 2. ábra szemlélteti legjobban.



2. ábra. Dagadási és zsugorodási vizsgálatok eredményei bükk faanyag hosszanti irányában

Kémia szempontból a leglényegesebb változás a faanyagba jutó tejsav mennyisége és ennek az áztatás után is a faanyagban maradó hányada. Mivel a nem polimerizálódott tejsav jelentős része nem tud a faanyagban maradni a vízben áztatás során és a faanyag tulajdonságaira sincs kimutatható hatással, ezért célszerű a polimerizálódott részt hatékony mennyiségnek tekinteni, azaz az áztatás után megmaradt tejsav-polimer tömeggel számolni, mint funkcionáló összetevő. A tejsav-oligomerrel kezelt minták rostirányú ASE_{α} és ASE_{β} eredményei ugyan nem érték el, csak megközelítették a kezeletlen faanyag kiváló értékeit, de jelentős javulást idéztek elő a rostirányban tömörített minták eredményeihez viszonyítva. Leszögezhető, hogy a kutatás sikeres volt.

Következtetések

A tejsav-oligomeres kezeléssel a további használatra való alkalmasság szempontjából egy kiváló terméket sikerült létrehozni. Ez a fa-műanyag kompozit rendszer kizárólag biológiai úton lebomló összetevőkből épül fel, környezetbarát az alkalmazása. A rostirányban tömörített bükk faanyag sikeres telítése következtében annak dagadási és zsugorodási képessége jelentősen lecsökkent, azaz a komoly problémákat okozó dimenzióstabilitási problémákon nagymértékben sikerült javítani. Az eljárás alkalmas lehet ipari méretekben kezeletlen és a legkülönbébb módokon kezelt faanyagok dimenzióstabilitásának javítására. Az eljárás és a felsorolt lehetőségek további kísérleteket igényelnek a további tulajdonságváltozások meghatározása és a nagyobb volumenű felhasználhatóság elérése érdekében.

Köszönetnyilvánítás: A publikáció elkészítését az EFOP-3.6.2-16-2017-00018 („Termeljünk együtt a természettel - az agrárerdészet mint új kitörési lehetőség”) projekt támogatta a Széchenyi2020 program keretében. A projekt megvalósítását az Európai Unió támogatja, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával.

Irodalomjegyzék

- BÁDER M. – NÉMETH R. (2017) Hygroscopicity of longitudinally compressed wood. *Acta Silv et Lignaria Hungarica* 13:135–144. doi: 10.1515/aslh-2017-0010
- BÁDER M. – NÉMETH R. (2018a) Influence of longitudinal compression rate on the properties of wood. In: Barbu M. – Petutschnigg A. – Tudor EM (eds) *Proceedings of the 5th International Conference on Processing Technologies for the Forest and Bio-based Products Industries*. Freising/Munich, Germany, pp 62–68.
- BÁDER M. – NÉMETH R. (2018b) Production technology and properties of longitudinally compressed wood. In: Župčić I. – Španić N. (eds) *Proceedings of the 29th International Conference on Wood Science and Technology*. Zagreb, Croatia, pp 35–43.

- BÁDER M. – NÉMETH R. (2018c): The effect of the relaxation time on the mechanical properties of longitudinally compressed wood. *Wood Research*. 63(3): 383–398.
- NOËL M. – GRIGSBY W. – VOLKMER T. (2015): Evaluating the extent of bio-polyester polymerization in solid wood by thermogravimetric analysis. *Journal of Wood Chemistry and Technology* 35(5): 325-336
- SPARKE B. (1989) Procedure for the production of wood with continued flexibility, especially for use as edge strips, furniture parts and similar purposes, where stringent demands are made on the flexibility of the wood (Fremgangsmåde til fremstilling af træ med blivende fleksibilitet, især til anvendelse som kantlister, møbeldele og lignende formål, hvor der stilles store krav til træets bøjelighed). 170364 B1, Danmark Patentdirektoratet, 6 p.
- WAGENFÜHR R. (2007) *Atlas of Wood*, 6., neu bearb. und erw. Aufl. Fachbuchverl. Leipzig im Hanser Verl, Leipzig, 816 p.

AZ ELSŐ KATONAI FELMÉRÉS TARTALMI ELLENŐRZÉSE EGY FELSŐ- RÁBA-VÖLGYI PÉLDÁN KERESZTÜL

BALÁZS PÁL¹, KIRÁLY GÉZA², NAGY DEZSŐ³, KONKOLY-GYURÓ ÉVA⁴

¹Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Környezet- és Földtudományi Intézet

²Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Geomatikai, Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Intézet

³Miskolc város Polgármesteri Hivatala

⁴Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Erdővagyon-gazdálkodási és Vidékfejlesztési Intézet
balazs.pal@uni-sopron.hu

Bevezetés

Az első katonai felmérés értékes információkkal szolgál az egykori Habsburg Birodalom területéről, amelyeket a térségben folytatott hosszú távú felszínborítás-, földhasználat- és tájváltozás kutatások során előszeretettel használnak fel. Az őrségi táj változásával kapcsolatos kutatásaink során a 18. századra vonatkozóan azonban olyan eredményeket kaptunk, amelyek megkérdőjelezzik a felszínborítás ábrázolásának pontosságát (Konkoly-Gyuró et al. 2016; Balázs 2017). Elsősorban az első katonai felmérés szántó, gyep és erdőterületeivel kapcsolatban merült fel kétség, amelyek a korabeli leírások és a térképes állományok közötti ellentmondásokból adódnak (VaML 1782-85; Nemes-Népi Zakál 1818).

A bizonytalanságok tisztázása végett a térképállományokat lehetőség szerint össze kell vetni velük azonos időben készült térképekkel, így a tájhasználat mintázatának és arányainak helyességét is ellenőrizni tudjuk (NAGY 2008). Vizsgálatainkat szerettük volna az Őrségben folytatni, amellyel tisztázhattuk volna az őrségi gazdálkodás jellegzetességeiből adódó esetleges pontatlan térképrajzolást. Jó állapotban lévő, összehasonlításra alkalmas térképművet azonban csupán az Őrség közelében, a Rába-völgyben találtunk. Habár vizsgálatunk egy adott mintaterületre korlátozódik, bízunk benne, hogy mindazok számára hasznos információkkal szolgál, akik a 18. században készített nagyszabású térképművet felhasználják kutatásaik során. Mindez azért is fontos, mert az első olyan korai térképsorozatról van szó, amely még a jelentős természetátalakítások előtti állapotot tükrözi és amely a felszínborítás és tájváltozás változásának elemzésénél kiindulási alapul szolgál a későbbi, 19. és 20 századi katonai felmérésekkel történő összehasonlításnál.

A vizsgálat tárgyát képező térképállományok bemutatása

A Habsburg Birodalom első katonai felmérése 1763 és 1787 között zajlott (1. ábra). Ennek során mintegy 3400 db kézzel festett térképszelvény készült 1:28 800 léptékben (Jankó 2007); A terepi felvételezéseket 1787-ig elhúzódó utómunkálatok - pótmérések, térképlapok illesztése, áttekintő rajzok készítése, szelvényvázlatok összeállítása - követték, melyek lezárultával a térképmű titkos minősítést kapott (Pánya 2013). A térkép ábrázolja a domborzatot, az egykori közlekedési hálózatot, vízrajzot, építményeket, közigazgatási határokat, a területek művelési ágát, valamint a települések és földrajzi képződmények neveit. Az egész birodalom területére kiterjedő páratlan levéltári anyag kidolgozottságában, mind pedig korábban hatalmas értéket képvisel. Az eredeti, kéziratos szelvények az Osztrák Állami Levéltárban találhatóak, digitalizált változataik azonban ma már a felmérés teljes területére vonatkozóan hozzáférhetőek, illetve megvásárolhatóak (Arcanum 2004; Biszak et al. 2014).

A terület nélküli térképmű pontosságával több térképész, kutató foglalkozott már (Pánya 2013; Molnár et al. 2014). A térképműről kialakult általános vélemény szerint a térkép nehezen illeszthető, tartalmára vonatkozóan pedig a hosszú idő alatt készült szelvények között számottevő

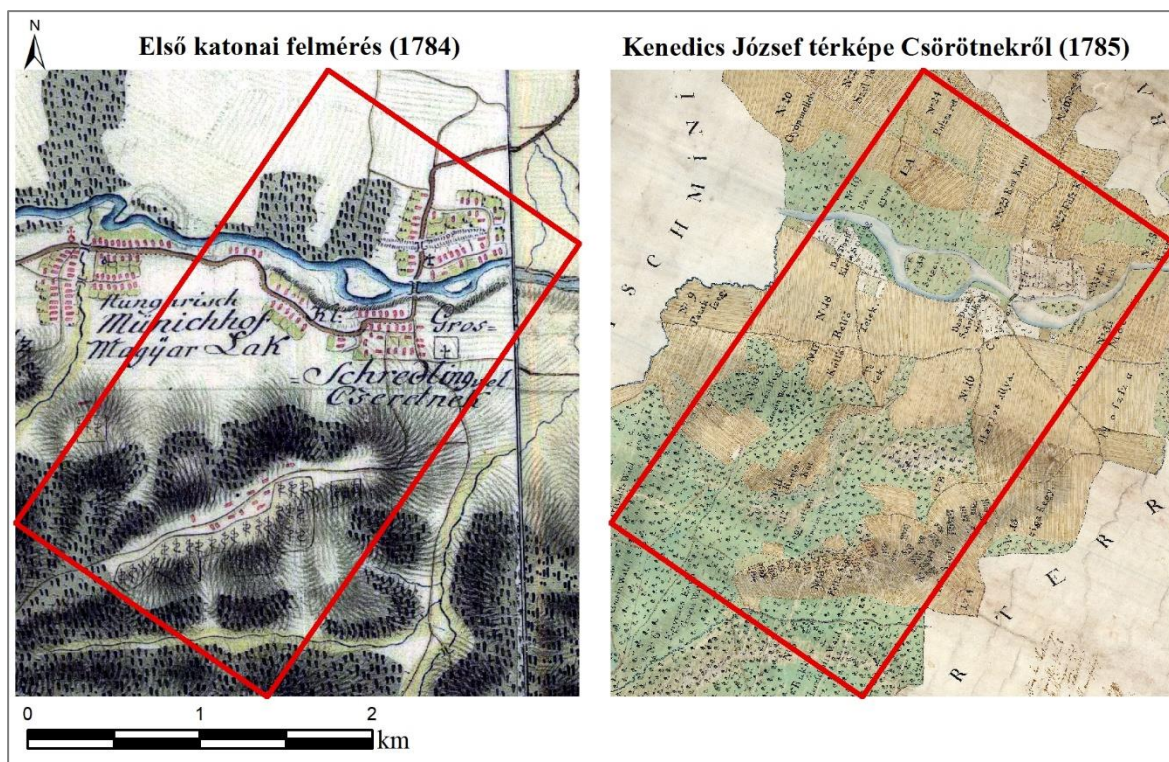
eltérés tapasztalható (Pányá 2013). Jelen esetben az úgynevezett gumilepedő módszert alkalmaztuk a szelvények vetületbe illesztéséhez, amelynek alkalmazását korábbi tanulmányokban már részletesen kifejtettünk (Nagy 2004; Király et al. 2008; Balázs et al. 2012; Konkoly-Gyuró et al. 2017).



6. ábra. Az első katonai felmérés menete és kiterjedése (1763–1787). Forrás: Jankó (2007)

A katonai felmérés vonatkozó állományát Csörötnek földhasználatát ábrázoló térképpel vetettük össze, amely 1785-ben készült, egy évvel a terület katonai felmérését követően (2. ábra). A térkép Kenedics József mérnök, térképész munkája, aki Zala és Vas vármegye térségéről számos térképet készített a 18. század második felében, elsősorban nagybirtokos családok számára. Munkásságának egyik jelentős részét képezi Vas vármegye átnézeti (1785), majd úthálózati térképe (1790), valamint a Rába-meder első összefüggő felvétele (Kenyeres 2001). Csörötnek térképe a levéltári források alapján hozzávetőleg 1: 15 500-as léptékben készült, amely az első katonai felméréshez képest jóval részletesebb ábrázolást tesz lehetővé.

A térkép pontosságát illetően hasonló problémákba ütköztünk, mint a katonai felmérés esetében. A vetület nélkül készült térkép georeferálása, megfelelő számú illesztőpont hiányában meglehetősen nehézkes. A vetületbe illesztés során főként az első, valamint a második katonai felmérések georeferált állományait vettük figyelembe, amelyek a térképhez időben közelebb állnak, így illesztési pontok is könnyebben felkutathatók.



7. ábra: Az első katonai felmérés és a Kenedics-féle térkép Csörötnek térségéről a mintaterület határait (Balázs 2017)

Térképműveken ábrázolt felszínborítási információk összevetése

A két térkép felszínborítási információit először egymás mellé helyezve hasonlítottuk össze. A különböző felszínborítások között húzódó határok mindkét esetben jól felismerhetők, megkönnyítve az interpretációt. Tartalmukat tekintve a katonai felmérésen és Kenedics térképén többnyire ugyanazok a felszínborítás típusok láthatók. A katonai felmérés során - a térkép céljaiból adódóan - nagyobb hangsúlyt kaptak a terepi sajátosságok, így a gátak, az árkok, a kiszáradt patakmedrek, ezzel szemben Kenedics a domborzati jellemzők feltüntetésére kevesebb figyelmet fordított. A két térkép közötti alapvető különbség az ábrázolt foltok mérete: az eltérő lépték miatt az 1785-ös térkép sokkal részletgazdagabb a katonai felméréshez képest, ahol a kisebb foltokat már nem ábrázolták. A közel azonos keletkezési időpont ellenére a térképek az ábrázolt felszínborítás típusok kiterjedésére vonatkozóan jelentősen különböznek egymástól. A feltárt különbségeket a jelentős területi arányt képviselő kategóriák sorrendjében tárgyaljuk.

Erdő

Lényegesen nagyobb arányú erdőborítottságot láthatunk a Kenedics-féle térképen, amelyet nem írhatunk egyértelműen a léptékbeli különbség rovására. A katonai felmérésről hiányzik a Rábától délre fekvő közösségi erdő nagy része, helyén szántót találunk. Ugyancsak szántó található a Rába északi partját szegélyező erdőfoltban. Emellett Kenedics a Rába szigeteit is fás vegetációval borítottként jelöli. A fafajokra vonatkozóan az 1785-ös térképen két esetben találunk információt, mely szerint az adott erdőrészt bukk és gyertyán alkotta. Emellett néhány szántóterület elnevezéséből következtethetünk a közelben fekvő erdő összetételére: pl. „Hársos allya”. A katonai térképen a fafajra vonatkozóan semmiféle utalás nincs.

Szántó

A terület nagy részét kitevő szántók kiterjedését és elhelyezkedését tekintve nincs jelentős különbség a két térképmű között.

Gyep

A gyepekkel kapcsolatos fontos észrevétel, hogy a déli erdőséget átszelő patak mentén Kenedics nem ábrázolt gyepeket. A katonai felmérés csörötneki állományán, valamint az őrési állományokon is szinte minden patak mentén gyepeket jelöltek a felmérők. Ennek oka az lehet, hogy a patakok, mint az erdőségeken való áthaladás lehetséges útvonalai nagyobb hangsúlyt kaphattak a katonai célra készített térképen. Kenedics feltehetően azért nem ábrázolta ezeket, mert legelőként, illetve kaszálóként való hasznosításuknak a településtől való távolság miatt alacsony a jelentősége. A település környékén található gyepfelületek viszont a katonai felméről hiányoznak. Ezek egy része – pl. a telkek közötti gypsávok hiánya - a léptékbeli különbségnek tudható be. A Rába északi partján lévő, két nagyobb gyepfolt hiánya viszont már nem magyarázható a méretaránybeli különbségekkel.

Egyéb felszínborítás típusok

A települések ábrázolása eltér abban a tekintetben, hogy a házakhoz tartozó kertségek a katonai térképen zöld színezéssel jól lehatároltak. A Kenedics-féle térképen ez a lehatárolás hiányzik. A feltüntetett házak számában is jelentős különbségeket találunk. Amíg a katonai felmérés több kőből épült házat jelenít meg a Csörötnektől délre fekvő szőlőhegyen, addig az egy évvel későbbi térképművön csupán egy-két ilyen épületet láthatunk. A léptékbeli különbségek miatt az úthálózat, valamint a szőlőterületek ábrázolásának részletessége az 1785-ös térképen jóval nagyobb. A vízhatású területek, nedves gyepek, mocsarak ábrázolása viszont a részletesség ellenére hiányzik Kenedics térképéről.

Statisztikai összehasonlítás

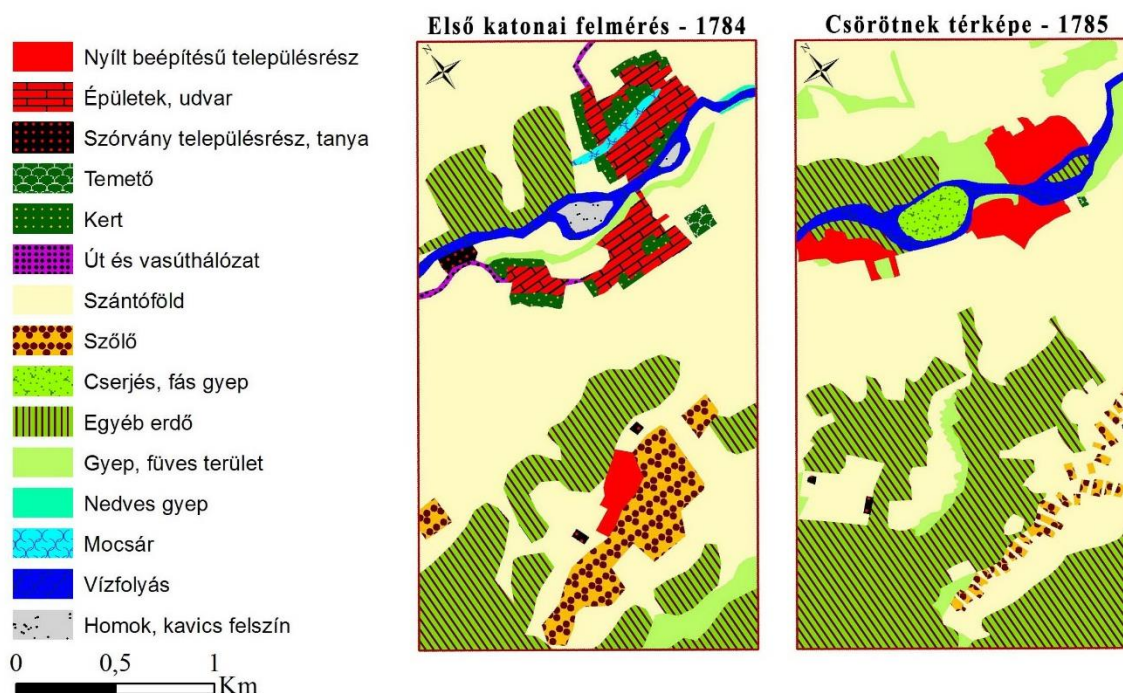
A különbségek számszerűsítéséhez a vetületbe illesztést követően a térképek egy 5 km²-t lefedő részét digitalizáltuk és összevetettük (3. ábra).

A statisztikai összehasonlítás alapjaként a pontosabbnak vélt Kenedics-féle térképet választottuk, azaz 100%-nak az ezen a térképen ábrázolt felszínborítás típusokat tekintettük. Az összehasonlítást fő felszínborítás típusonként végeztük el (1. táblázat).

3. táblázat: Az első katonai felmérés és a Kenedics-féle térkép csörötneki állományainak felszínborítási statisztikája (Balázs 2017)

** ahol 100% a Kenedics féle térképen ábrázolt adott felszínborítás típusokhoz tartozó területnagyság*

Felszínborítás típus	Területi arány (%) Első katonai felmérés 1784	Területi arány (%) Kenedics-féle térkép 1785	Területi arány eltérés (%)	Adott felszínborítás típushoz képest mutató eltérés*(%)
Beépített terület	9,59	4,90	-4,69	195,83
Szántóföld	56,61	49,86	-6,74	113,52
Szőlő	6,05	1,53	-4,52	395,27
Erdő	20,92	34,49	13,57	60,65
Gyep	2,81	6,08	3,27	46,16
Vizenyős terület	0,48		-0,48	
Nyílt vízfelszín	2,43	3,14	0,71	77,34
Homok, kavics felszín	0,65		-0,65	



3. ábra: A mintaterület digitalizált felszínborítási térképei (Balázs 2017)

A statisztikai eredmények alapján a kérdéses felszínborítás típusok közül a szántóterület nagysága mutatja a legnagyobb hasonlóságot a két térképen. A Kenedics-féle térképen ábrázolt szántók 113%-a jelent meg a katonai felmérésen. Az erdővel, illetve gyeppel borított területek esetében viszont kevesebbet ábrázoltak a katonai térképeken: az erdőnek 60, a gyepeknek pedig csupán 46%-át.

A többi felszínborítás típus közül a legnagyobb eltérést a szőlőterületek esetében tapasztaltuk, mely szerint a katonai térképen mintegy négyszer annyi szőlőt ábrázoltak. Ez a különbség a katonai térkép alacsony méretaránya miatt alkalmazott pontatlanabb ábrázolással hozható összefüggésbe. Egyrészt a települési, ill. beépített területek esetében kapott kb. kétszeres érték is magyarázható ezzel, ugyanakkor nem szabad elfeledkeznünk az előzőekben már említett hiányzó szőlőhegyi épületekről sem, amelyek jócskán megnövelték a kategória arányát a katonai felmérésen. A vízfolyások tekintetében tapasztalt különbség a két térkép készültkor jellemző eltérő vízállásra, ill. a térképek illesztésének pontatlanságára utal.

Következtetések

A két térkép összevetése során az egyes felszínborítás típusok esetében jelentős eltéréseket tapasztalunk. A kérdéses felszínborítási kategóriákat tekintve a Kenedics József által feltüntetett gyepterületeknek csupán felét ábrázolták a katonai felmérés szelvényein. Ezt az alacsony ábrázolási arányt tovább rontja, ha a patakok erdei szakaszainak és a folyók töltéseinek mentén feltételezett gyepeket a Kenedics-féle térkép esetében is figyelembe vesszük. Így a gyepek valódi kiterjedése ebben az időben hozzávetőleg duplája lehetett a katonai felmérésen ábrázoltaknál. Ugyancsak alacsonyabb ábrázolási arányt (60%) tapasztaltunk az erdő esetében, melynek oka nagyrészt a Kenedics-féle térképen feltüntetett közösségi erdő katonai felmérésről való hiánya. A hiány okára vonatkozóan csupán találgatásokba bocsátkozhatunk, emiatt messzemenő következtetéseket az erdőkre vonatkozóan nem vonhatunk le. Ugyancsak fenntartásokkal kell

kezelni a szántókkal kapcsolatos eredményeket, mivel a közösségi erdő helyén a katonai felmérésen szántó volt. Ezzel a szántókra vonatkozó eltérés valamelyest kompenzálódik, azonban így is feltételezhetjük, hogy kb. 10%-al több szántót ábrázoltak a katonai felméréseken a valódi területi arányoknál. A kérdéses kategóriákon kívül kiugróan magas eltérést kaptunk a szőlő és a települési területekre vonatkozóan.

A tapasztalt különbségek elsősorban az eltérő lépték és az illesztőpontok hiányából fakadó georeferálási pontatlansággal hozható összefüggésbe. Az eltéréseket ugyan nem lehet általánosítani az első katonai felmérés egészére vonatkozóan, de figyelembevételük mindenképpen ajánlatos a térképművet feldolgozó kutatások, elemzések során.

Köszönetnyilvánítás: Jelen publikáció az „EFOP-3.6.1-16-2016-00018 – A felsőoktatási rendszer K+F+I szerepvállalásának növelése intelligens szakosodás által Sopronban és Szombathelyen” című projekt támogatásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- ARCANUM 2004: Első Katonai Felmérés: Magyar Királyság (1763-1787) 1:28800. Georeferált változat - The First Military Survey: Kingdom of Hungary (1763-1787) 1:28.800. Georeferenced version. DVD-ROM. Arcanum Adatbázis Kft., Budapest
- BALÁZS, P. 2017: Az őrési táj változásának és karakterének elemzése. PhD értekezés. Soproni Egyetem. Erdőmérnöki Kar. Kitaibel Pál Környezettudományi Doktori Iskola, Sopron. 179 p. <http://doi.org/10.13147/SOE.2018.003>
- BALÁZS, P.; KONKOLY-GYURÓ, É.; BACSÁRDI, V.; KIRÁLY, G. 2012: A tájváltozás percepciója, a táj átalakulásának feltárása történeti térképelemzés és kérdőíves felmérés alapján az Őrségben és a Vendvidéken. Szakmai jelentés a "Transnational Ecological Network in Central Europe" projekt 6-os munkacsomagjában. Szerkesztette: Konkoly-Gyuró Éva. Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, Sopron. 64 p. Online ISBN 978-963-334-073-8
- BISZAK, E.; KULOVITS, H.; BISZAK, S.; TIMÁR, G.; MOLNÁR, G.; SZÉKELY, B.; JANKÓ, A.; KENYERES, I. 2014: Cartographic heritage of the Habsburg Empire on the web: the MAPIRE initiative. Conference paper. 9th International Workshop on Digital Approaches to Cartographic Heritage Budapest, 4-5 September 2014. pp. 26-31. <http://dx.doi.org/10.13140/2.1.4331.4561>
- JANKÓ, A. 2007: Magyarország katonai felmérései: 1763-1950. Military Surveys of Hungary: 1763-1950. Argumentum, Budapest. 196 p. ISBN 9789634464334
- KENYERES, Á. (Ed.) 2001: Magyar Életrajzi Lexikon 1000-1990. CD-ROM (Javított, átdolgozott kiadás ed.). Arcanum Adatbázis Kft, Budapest
- KIRÁLY, G.; WALZ, U.; PODOBNIKAR, T.; CZIMBER, K.; NEUBERT, M.; KOKALJ, Ž. 2008: Georeferencing of historical maps – methods and experiences. In: Csaplovics, E.; Wagenknecht, S.; Seiler, U. (Eds.): Spatial Information Systems for Transnational Environmental Management of Protected Areas and Regions in the Central European Space. Selected Results and Outputs of the Interreg IIIB Project SISTEMaPARC. Rhombos-Verlag, Berlin. pp. 53-63. ISBN 978-3-941216-01-3
- KONKOLY-GYURÓ, É.; BALÁZS, P.; NAGY, D.; KIRÁLY, G. 2016: Felszínborítás-változás a Vendvidéken és az Őrségben. In: Bartha, D. (Ed.): Az Őrségi Nemzeti Park. I. kötet. Őrségi Nemzeti Park Igazgatósága, Óriszentpéter. pp. 437-447. ISBN 978-615-5600-05-0
- KONKOLY-GYURÓ, É.; KIRÁLY, G.; NAGY, D.; BALÁZS, P.; TIRÁSZI, Á. 2017: Overview of the 18th-20th century military surveys in the light of the land cover change assessment in Eastern Central Europe. e-Perimetron, Vol. 12(4). pp. 142-180.
- MOLNÁR, G.; TIMÁR, G.; BISZAK, E. 2014: Can the First Military Survey maps of the Habsburg Empire (1763-1790) be georeferenced by an accuracy of 200 meters? 9th International Workshop on Digital Approaches to Cartographic Heritage, Budapest. pp. 127-132.
- NAGY, D. 2004: A történeti tájhasználat és felszínborítás rekonstrukciójának lehetőségei archív térképek feldolgozásával. Környezetvédelmi Értékelési Program Pályázati tanulmányok 2003-2004, Budapest. 40 p.

- NAGY, D. 2008: A történeti felszínborítás térképezése a Tisza-völgyben. In: Flachner, Z.; Kovács, A.; Kelemen, É. (Eds.): A történeti felszínborítás térképezése a Tisza-völgyben. A Tisza biológiai változatosságának megőrzése integrált ártéri gazdálkodás segítségével. SZÖVET (Szövetség az Élő Tiszáért), Nagykörű, Eger, Budapest. pp. 40-58. ISBN 978-963-87616-6-8
- NEMES-NÉPI ZAKÁL, G. 1818: Eörségnek leírása ugymint: Annak Természete, Története, Lakosai ezeknek szokásiai, nyelv szokása. A'mellyeket öszve szedegetett Nemes-Népi Zakál György: 1818-dik Esztendőben. (2. ed.). Fertő-Hanság Nemzeti Park Igazgatóság, Szombathely. 90 p.
- PÁNYA, I. 2013: Az I. és III. katonai felmérés térbeli pontosítása. NYME EMK Tájtudományi és Vidékfejlesztési Intézeti Tanszék. 9 p.
- VAML 1782-85: Vas megye települései az 1782-85 évi országleírásban. Settlements of Vas county in the description of the country 1782-85. Vas Megyei Levéltár/Archives of Vas county, Szombathely. 103 p.

TÁJVÁLTOZÁSSAL KAPCSOLATOS KUTATÁSOK A HAZAI ÉS NEMZETKÖZI SZAKIRODALOMBAN

BALÁZS PÁL¹, BERKI IMRE¹, KONKOLY-GYURÓ ÉVA²

¹ Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Környezet- és Földtudományi Intézet

² Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Erdővagyon-Gazdálkodási és Vidékfejlesztési Intézet

balazs.pal@uni-sopron.hu

Bevezetés

Az Európai Tájegyezmény megfogalmazásában a „táj az ember által érzékelt terület, melynek jellege természeti tényezők, illetve emberi tevékenységek hatása és kölcsönhatása eredményeként alakult ki” (Európa Tanács 2000). A táj fontos közérdekű szerepet tölt be környezeti, ökológiai, társadalmi, valamint kulturális téren, alapvető eleme az európai természeti és kulturális örökségnek, valamint hozzájárul az emberek jólétéhez és az európai identitás erősítéséhez. Az egyezményt aláírók vállalják, hogy elvégzik a tájak számbavételét, karakterük elemzése alapján az országok teljes területére. Többek között ezt a vállalást rögzíti hazánk 2017-2026 időszakra vonatkozó Nemzeti Tájstratégiája is (FM 2017). A tájak változásának elemzése, valamint a tendenciák feltárása, elsősorban a prognózisok felállításában játszanak kulcsszerepet, hiszen a múltban zajlott, esetenként ma is jellemző folyamatok révén formálódott a táj olyanná, amiként azt ma érzékeljük (Balázs 2017). A változási folyamatok ismeretében vagyunk képesek megfelelően értékelni a jelenlegi állapotot, amelyből pontosabb következtetéseket vonhatunk le a táj jövőjét illetően (Konkoly Gyuró 1994; Antrop 2005).

Az alábbiakban egy áttekintést kívánunk nyújtani a tájváltozással kapcsolatos kutatásokról, bízva abban, hogy ez nemcsak magunknak, hanem az olvasónak is hasznára válik.

A változó táj

A táj egy szinte folyamatosan változó dinamikus jelenség. Mindennek, amit ma a tájban érzékelünk múltba visszanyúló gyökere van, még a legutóbbi változások is történések hosszú láncolatának a részei ill. eredményei (Clark et al. 2003). A táj változásának mértéke, nagyságrendje, így jelentése is meglehetősen tág keretek között mozog. Tájváltozásnak tekinthető ugyanis a legapróbb módosulás, amely két vizsgált időpont között a táj alkotóelemeiben érzékelhető (Kertész 2010). A fogalom ugyanakkor magába foglalja a legszembetűnőbb, nagyobb volumenű változásokat is. A változás megítélése nagyban függ a referencia állapottól, amihez viszonyítva szemléljük a változásokat, a változás ismétlődő jellegétől valamint a változás nagyságától (Antrop 1998). A tájváltozás mozgatórugói között kezdetben a természeti tényezők voltak jellemzőek. Évezredek folyamán saját szükségleteinknek megfelelően alakítottuk környezetünket, ennek a kölcsönhatásnak a következményeként a táj folyamatosan formálódott. A tájak mai állapota tehát „a régóta ható természeti és az újabb keletű antropogén tényezők, mozgásfolyamatok — egymásra állandóan és változó mértékben ható — együttes eredménye” (Pécsi et al. 1972). A tájban végbemenő folyamatok, bonyolult hatásmechanizmusok teljeskörű bemutatása szinte lehetetlen feladat. A változás lényegét az ember tájalakító tevékenységén, az embereknek a tájhasználatra irányuló elképzelésein, illetve annak megnyilvánulásain keresztül lehet megismerni (Csemez 1996). A tájhasználat a földhasználatban, a felszínborításban mutatkozik meg, amelynek változásából következtethetünk a táj korábbi állapotára, a folyamatok dinamikájára és mértékére. Fontos azonban hangsúlyozni, hogy csupán a felszínborítást vizsgálva nem kaphatunk teljes képet a tájról. A felszínborítás csupán egy lényeges alkotóeleme a tájnak. Könnyen belátható, hogy minél több tényezőt vizsgálunk a táj változása kapcsán, annál

pontosabb következtetéseket vonhatunk le a táj egykori állapotáról. A vizsgált időintervallum függvényében azonban sokszor a felszínborítás az egyetlen fontos információ, amelyet elemzéseinkhez felhasználhatunk.

A tájak változásának elemzéséhez az első komplex útmutatóként az úgynevezett történelmi táj-jellemzés (Historic Landscape Characterization – HLC) szolgált, amely hasonlóan egy régész szemléletéhez, segít megérteni a jelenlegi tájak történelmi dimenzióját, elsősorban a táj fizikai jellemzőire helyezve a hangsúlyt (Clark et al. 2003). Egy másik megközelítés az úgynevezett 'útfüggőség' (path dependency), amelynek lényege, hogy a tájban korábban folytatott tevékenységek a későbbi változások egész sorát befolyásolják (Zarina 2010). A tájtörténelmi vizsgálatokban legtöbbször előforduló megközelítés az úgynevezett tájéletrajz (landscape biography) (Máté 2013). Jacobs (2006) szerint a táj életrajzának vizsgálatakor három dimenziót szükséges figyelembe venni. Az első a fizikai dimenzió, amely a táj kézzel fogható elemeit tartalmazza, ez az úgynevezett „matterscape”. A második az úgynevezett „socialscape”, amely a táj fizikai elemeihez kötődő normákat, értékeket, jelentéseket foglalja magába. A harmadik elem pedig a „mindscape”-nek nevezett dimenzió, amelyet az eddigi életünk, tapasztalataink, neveltetésünk, génjeink által befolyásolt személyes percepciók alkot. A tájéletrajzi megközelítés segíthet ösztönözni a tervezőket és az érintetteket a tájjal kapcsolatos hosszabbtávú gondolkodásra, hogy a jelen döntései a távoli jövő folyamatait befolyásolhatják (Palang et al. 2011).

A tájváltozási vizsgálatok céljai, valamint az azokkal szorosan összefüggő értékelési szempontok igen sokrétűek lehetnek. Az elemzések révén felderíthetők többek között a védett ökoszisztémákat, élőhelyeket, vagy akár a táj egyediségét meghatározó, értékes karakterjegyeket veszélyeztető tájváltozási tendenciák, amelyek figyelembevételével megfelelő környezetgazdálkodási, természet- és tájvédelmi döntések hozhatók. Ahhoz, hogy egy folyamatot, vagy annak eredményét pozitívként, illetve negatívként ítéljük meg, mindig valamilyen szempontból kell vizsgálnunk azokat. Ez a szempont többek között lehet ökológiai, ökonómiai, műszaki, természetvédelmi vagy akár esztétikai is (Lóczy 2002). A hazai és külföldi tájváltozási kutatások ezeknek a céloknak, illetve értékelési szempontoknak széles spektrumát ölelik fel.

A tájtörténelmi kutatásokhoz szervesen kapcsolódnak a vegetáció, az élőhelyek, a felszínborítás ill. a földhasználat változásainak vizsgálatai. Az erdőállományok múltbéli kiterjedését, szerkezetét és összetételét, valamint azok változásait feltáró elemzésekre már a 20. század első felétől kezdődően folyamatosan találunk példákat (Zügn 1938; Jakucs 1956; Firtás 1963; Csapody 1968; Riezing 2011). Az erdőtörténelmi kutatások mellett a vegetáció és az élőhelyek változásait vizsgáló munkák száma is jelentős a hazai szakirodalomban (Zólyomi 1952; Pócs et al. 1958; Szabó - Ruprecht 2005; Kenéz et al. 2008; Molnár - Gergely 2008). A földhasználat, illetve felszínborítás változásának vizsgálatára koncentrált kutatások száma a 2000-es évek elején ugrásszerűen megnőtt, ami a térinformatikai eljárások fejlődésével hozható összefüggésbe, számos hazai (Gábris - Miczek 1999; Szilassi 2009; Konkoly-Gyuró et al. 2011; Biró et al. 2013; Király et al. 2013) és külföldi (Cousins 2001; Gautam et al. 2003; Feranec et al. 2010; Disperati - Virdis 2015; Munteanu et al. 2015; van Vliet et al. 2015) publikációt eredményezve.

A tájtörténelmi kutatások elindítója széles körben Frisnyák Sándor volt a történelmi földrajz diszciplináris alapjainak lefektetésével: a Kárpát-medence egyes településeire, tájaira vonatkozó történelmi földrajzi munkáival 1970-es évek végétől kezdődően találkozhatunk (Frisnyák 1977, 1990). Füleky György az ő nyomdokaiba lépve szervezte a 'Táj változásai a Kárpát-medencében' elnevezésű tájtörténelmi konferenciasorozatot, amellyel összefogta a témával foglalkozó hazai szakembereket (Füleky 1997). A tájban bekövetkezett komplex változások feltárásának igénye a 20. század végétől, a tájökológiai szemlélet terjedésével vált népszerűvé (Konkoly-Gyuró 1990, 1994; Barcsi et al. 1996; Csorba 1996; Füleky 1997; Illyés 1997). Kezdetben a változás értékelésére alkalmazott módszerek elsősorban áttekintő jellegű elemzésekre voltak alkalmasak. Leginkább a korabeli leírások, monográfiák, szóbeli közlések feldolgozásával va-

lamint a történeti térképek és az aktuális állapot egymás mellett történő megjelenítésével, összehasonlításával került meghatározásra a változás mértéke és minősége (Petek - Urbanc 2004). A térinformatika nyújtotta lehetőségek kiaknázásával azonban a tájváltozások mennyiségi értékelése is hatékonyabbá vált. Ekkor kezdtek elterjedni a táj egykori állapotának térképi rekonstrukcióját is magába foglaló kutatások (Nagy 2003; Lukács et al. 2004; Zagyvai 2008; Olah et al. 2009; Saláta 2011). A tájtörténeti kutatások jelentős része az aktuális állapot értékeléséhez és a helyes tervezéshez való hozzájárulás céljával valósul meg. A táj szerkezetében, mintázatában, funkciójában, karakterében bekövetkezett változások feltárását sokszor természetvédelmi és rehabilitációs szempontok teszik szükségessé (Lukács et al. 2004; Szabó et al. 2011; Takács 2011). A változási folyamatokat kiváltó ill. befolyásoló természeti, társadalmi és gazdasági tényezők feltárása (Bürgi et al. 2005) és segítségükkel a jövőbeli változások modellezése is a népszerű táj kutatási területek közé tartozik (Bender et al. 2005; Duray 2009). Egyes vizsgálatok kimondottan azzal a céllal készültek, hogy általuk a helyi emberek megismerjék a táj eddigi fejlődését, erősítsék a tájhoz való kötődésüket és ezáltal hozzájáruljanak ahhoz, hogy a későbbi tájtervezési feladatoknak is jobban részeseivé váljanak (McClure - Griffiths 2002).

A történeti feldolgozások, a forrásanyagaik és ebből kifolyólag a lefedett időtáv és az alkalmazott módszertan tekintetében rendkívül nagy változatosságot mutatnak. A különböző történeti források felhasználhatóságáról, elemzésekbe való bevonásuk szerepéről számos kutatás született (Erdősi 1978; Király 1999; Nagy 2004). A tájtörténeti vizsgálatok alapvető forrásai a korabeli tájleírásokon, statisztikákon túl a korabeli térképek, amelyek a táj mintázatáról is fontos információkat hordoznak. A történeti térképek vizsgálatokba való bevonása elsősorban a 20. század végén kezdett elterjedni. A Kárpát-medence térségére a 18. századtól kezdődően elérhető katonai felmérések és a 20. század során készített topográfiai térképek alkalmazása mára szinte általánossá vált. A távérzékelés fejlődésével, a műholdfelvételekre, a légifotókra épülő változáselemzések is egyre népszerűbbek (Keveiné Bárány 2006; Kertész 2010). Az 1:100 000-es méretarányú CORINE felszínborítási adatbázis, amely az 1990-es évektől kezdődően nyújt tájváltozás-elemzésre is alkalmas értékes információkat, lehetővé tette az európai léptékű vizsgálatokat (Feranec et al. 2010). Mindazonáltal a helyi, ill. regionális léptékű elemzések azok, amelyekkel a leggyakrabban találkozunk a szakirodalom áttekintése során.

A tájtörténeti munkák legnagyobb része a korabeli földhasználat ill. felszínborítás idősoros elemzéseire épül, amelyben változástérképekkel, átalakulási mátrixokkal ill. a domborzati szintekhez kötődően szemléltetik a tájban bekövetkező változásokat (Tóth - Centeri 2008; Kertész 2010; Konkoly-Gyuró et al. 2016). Egyes munkák, a felszínborítási ill. földhasználati kategóriákat a hozzájuk rendelt használati intenzitás ill. természetesség értékekkel egészítik ki, amely révén pontosabban jellemezhető az adott tájhasználat (Konkoly-Gyuró - Tirászi 2007; Zagyvai 2008). A tájat alkotó foltok méretére, alakjára és egymástól való távolságára épülő tájmetriai indexek tájtörténeti alkalmazására a 2000-es évek elejétől találunk példákat a szakirodalomban (Fu et al. 2006; Plieninger 2006; Szabó 2015). A vizuális és esztétikai információkat nélkülöző különféle mutatók, számok, statisztikák azonban önmagukban nem alkalmasak a táj változásának pontos leírására. Ezt a hiányt igyekszik pótolni például a múltbeli tájak újrafotózása, egy olyan technika, amely révén a térképeken nem látható vizuális változások elemzése is lehetővé válik (Webb et al. 2010; Tirászi et al. 2013). A tájban élők percepcióinak bevonása egy ugyancsak fontos lépés a táj változásának minél teljesebb leírása felé (Balázs et al. 2012; Konkoly-Gyuró 2016).

Következtetések

A tájtörténeti kutatások jelentős része a táj aktuális állapotának értékeléséhez és a helyes tervezéshez való hozzájárulást célozza. A tájjal kapcsolatos kutatások számára a technika, elsősorban a térinformatika fejlődése óriási lehetőségeket biztosít. Azonban miként a táj sem pusztán kézzelfogható elemekből épül fel, a tájkutatás során sem szabad csupán műholdképekre, felszínborítási adatbázisokra vagy földhasználati statisztikákra hagyatkoznunk. A kihívást elsősorban a perцепcionális és esztétikai tényezők kutatásba való bevonása jelenti.

Köszönetnyilvánítás: Jelen publikáció az „EFOP-3.6.1-16-2016-00018 – A felsőoktatási rendszer K+F+I szerepvállalásának növelése intelligens szakosodás által Sopronban és Szombathelyen” című projekt támogatásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- ANTROP, M. 1998: Landscape change: Plan or chaos? *Landscape and Urban Planning*, Vol. 41(3-4). pp. 155-161. [http://dx.doi.org/10.1016/s0169-2046\(98\)00068-1](http://dx.doi.org/10.1016/s0169-2046(98)00068-1)
- ANTROP, M. 2005: Why landscapes of the past are important for the future. *Landscape and Urban Planning*, Vol. 70(1–2). pp. 21-34. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2003.10.002>
- BALÁZS, P. 2017: Az őrségi táj változásának és karakterének elemzése. PhD értekezés. Soproni Egyetem. Erdőmérnöki Kar. Kitaibel Pál Környezettudományi Doktori Iskola, Sopron. 179 p. <http://doi.org/10.13147/SOE.2018.003>
- BALÁZS, P.; KONKOLY-GYURÓ, É.; BACSÁRDI, V.; KIRÁLY, G. 2012: A tájváltozás perцепciója, a táj átalakulásának feltárása történeti térképelemzés és kérdőíves felmérés alapján az Órségben és a Vendvidéken. Szakmai jelentés a "Transnational Ecological Network in Central Europe" projekt 6-os munkacsomagjában. Szerkesztette: Konkoly-Gyuró Éva. Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, Sopron. 64 p. Online ISBN 978-963-334-073-8
- BARCZI, A.; GRÓNÁS, V.; PENSZKA, K. 1996: A tihanyi táj változásai a századforduló óta. *Agrártörténeti Szemle*, Vol. 38(1-4). pp. 298-316.
- BENDER, O.; BOEHMER, H. J.; JENS, D.; SCHUMACHER, K. P. 2005: Using GIS to analyse long-term cultural landscape change in Southern Germany. *Landscape and Urban Planning*, Vol. 70(1–2). pp. 111-125. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2003.10.008>
- BIRÓ, M.; CZÚCZ, B.; HORVÁTH, F.; RÉVÉSZ, A.; CSATÁRI, B.; MOLNÁR, Z. 2013: Drivers of grassland loss in Hungary during the post-socialist transformation (1987-1999). *Landscape Ecology*, Vol. 28(5). pp. 789-803. <http://dx.doi.org/10.1007/s10980-012-9818-0>
- BÜRGI, M.; HERSPERGER, A. M.; SCHNEEBERGER, N. 2005: Driving forces of landscape change - current and new directions. *Landscape Ecology*, Vol. 19(8). pp. 857-868. <http://dx.doi.org/10.1007/s10980-005-0245-3>
- CLARK, J.; DARLINGTON, J.; FAIRCLOUGH, G. 2003: *Pathways to Europe's Landscape*. English Heritage, London. 113 p. ISBN 1 8999 07 75 0
- COUSINS, S. A. O. 2001: Analysis of land-cover transitions based on 17th and 18th century cadastral maps and aerial photographs. *Landscape Ecology*, Vol. 16(1). pp. 41-54. <https://doi.org/10.1023/a:1008108704358>
- CSAPODY, I. 1968: Sopron város és volt úrbéres községei egykori erdeinek története (XIII. - XX. sz.). *Az Országos Erdészeti Egyesület Erdészettörténeti Szakosztálya Közleményei*, Vol. 3-4. pp. 3-16.
- CSEMEZ, A. 1996: *Tárjtervezés - tájrendezés*. Mezőgazda Kiadó, Budapest. ISBN 963 286 010 1
- CSORBA, P. 1996: Landscape-ecological change of the land use pattern on the east foothill area of the Tokaj Mountains (Hungary). *Ekológia (Bratislava)*, Vol. 15(1). pp. 115 - 127.
- DISPERATI, L.; VIRDIS, S. G. P. 2015: Assessment of land-use and land-cover changes from 1965 to 2014 in Tam Giang-Cau Hai Lagoon, central Vietnam. *Applied Geography*, Vol. 58. pp. 48-64. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeog.2014.12.012>

- DURAY, B. 2009: Tájdinamikai vizsgálatok - a tájhasználat-változás és regenerációs potenciál összefüggéseinek modellezése. Doktori (PhD) értekezés tézisei. SZTE Földtudományi Doktori Iskola, Szeged. 16 p.
- ERDŐSI, F. 1978: Történelmi források és térképek szerepe a környezetben antropogén hatásra végbement változások vizsgálatakor. Földrajzi közlemények, Vol. 26(102). pp. 118-127.
- EURÓPA TANÁCS 2000: Európai Táj Egyezmény. Aláírás dátuma: 2000. október 20. Firenze
- FERANEC, J.; JAFFRAIN, G.; SOUKUP, T.; HAZEU, G. 2010: Determining changes and flows in European landscapes 1990–2000 using CORINE land cover data. Applied Geography, Vol. 30(1). pp. 19-35. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeog.2009.07.003>
- FIRBÁS, O. 1963: A Sopron megyei erdők helyzete II. József korában. Soproni Szemle, Vol. 17(3). pp. 236-241.
- FM 2017: Nemzeti Tájstratégia (2017-2026). Készült a Földművelésügyi Minisztérium, Nemzeti Parki és Tájvédelmi Főosztály koordinálásával. Földművelésügyi Minisztérium, Budapest. 85 p.
- FRISNYÁK, S. 1977: Mezőkeresztes településformája és -határa a 18. századi térképeken. A Bessenyei György Tanárképző Főiskola Tudományos Közleményei, Vol. 7/f. pp. 73-79.
- FRISNYÁK, S. 1990: Magyarország történeti földrajza. Tankönyvkiadó, Budapest. ISBN 9631829103
- FU, B. J.; HU, C. X.; CHEN, L. D.; HONNAY, O.; GULINCK, H. 2006: Evaluating change in agricultural landscape pattern between 1980 and 2000 in the Loess hilly region of Ansai County, China. Agriculture, Ecosystems and Environment, Vol. 114(2-4). pp. 387-396. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2005.11.012>
- FÜLEKY, G. (Ed.) 1997: A táj változásai a Honfoglalás óta a Kárpát medencében. A Gödöllőn 1996. június 24-26-án megtartott tudományos konferencia kiadványa. Gödöllői Agrártud. Egyetem. 455 p.
- GÁBRIS, G.; MICZEK, G. 1999: A földhasználat változása a természeti tényezők függvényében két évszázad alatt egy mezőföldi községben. In: Füleky, G. (Ed.): A táj változásai a Kárpát-medencében. GATE, Gödöllő. pp. 121-126.
- GAUTAM, A. P.; WEBB, E. L.; SHIVAKOTI, G. P.; ZOEBISCH, M. A. 2003: Land use dynamics and landscape change pattern in a mountain watershed in Nepal. Agriculture, Ecosystems & Environment, Vol. 99(1–3). pp. 83-96. [http://dx.doi.org/10.1016/S0167-8809\(03\)00148-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-8809(03)00148-8)
- ILLYÉS, Z. 1997: Tájváltozási folyamatok Magyarországon. A területhasználat és a tájszerkezet alakulása a honfoglalástól napjainkig. Kandidátusi értekezés, Kertészeti és Élelmiszeripari Egyetem - Tájvédelmi Tanszék, Budapest
- JACOBS, M. H. 2006: The Production of Mindscapes: A Comprehensive Theory of Landscape Experience. Dissertation. Wageningen University, Wageningen. 268 p.
- JAKUCS, P. 1956: Geobotanische Untersuchungen und die Karstaufforstung in Nordungarn. Acta botanica Hungarica, Vol. 2(1-2). pp. 89-131.
- KENÉZ, Á.; SZABÓ, M.; SALÁTA, D.; MALATINSZKY, Á.; PENKSZA, K. 2008: A pénzegyőr-hárskúti hagyásfás legelő tájtörténete és vegetációja. Folia Musei historico-naturalis Bakonyiensis = A Bakonyi Természettudományi Múzeum közleményei, Vol. 25. pp. 7-18.
- KERTÉSZ, Á. 2010: Hogyan értékelhető a tájváltozás? In: Szilassi, P.-Henits, L. (Eds.): Tájváltozás értékelési módszerei a XXI. Században Tudományos konferencia és műhelymunka tanulmányai. JATEPress, Szeged. pp. 125-134. ISBN 978-963-315-021-4
- KEVEINÉ BÁRÁNY, I. 2006: Tájszerkezet és tájváltozás vizsgálatok karsztos mintaterületen. Tájökológiai Lapok, Vol. 1(2). pp. 21-27.
- KIRÁLY, G. 1999: Táj- és erdőtörténeti adatok felhasználásának lehetőségei és jelentősége vegetációértékelési és erdőművelési kérdések tisztázásában. Doktori Szigorlati Dolgozat, Erdészeti és Faipari Egyetem, Sopron
- KIRÁLY, G.; KONKOLY-GYURÓ, É.; MÁRKUS, I.; NAGY, D.; SÁGI, É. 2013: A Fertő tónak és környékének változásai régi térképek alapján. In: Konkoly-Gyuró, É.; Tirászi, Á.; Nagy, G. M. (Eds.): Tájstudomány-Tájtervezés. V. Magyar Tájökológiai Konferencia, Sopron. Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó. pp. 55-61.
- KONKOLY-GYURÓ, É. 2016: Changing character of transfrontier landscapes, case studies: Hungary-Austria, Hungary-Slovenia, Germany-France. Presentation. 16th COE workshop on the ELC - Landscape and transfrontier cooperation, Andorra

- KONKOLY-GYURÓ, É.; BALÁZS, P.; TIRÁSZI, Á.; KIRÁLY, G. 2016: Felszínborítás-változások a történelmi Magyarország tájain a 19. század közepétől napjainkig. In: Horváth, G. (Ed.): Tájhasználat és tájvédelem – kihívások és lehetőségek. VI. Magyar Tájökológiai Konferencia. Eötvös Loránd Tudományegyetem, Földrajz- és Földtudományi Intézet, Környezet- és Tájföldrajzi Tanszék, Budapest. pp. 87-96. ISBN 978-963-284-778-8
- KONKOLY-GYURÓ, É.; NAGY, D.; BALÁZS, P.; KIRÁLY, G. 2011: Assessment of land cover change in western Hungarian landscapes. In: Balázs, P.-Konkoly-Gyuró, É. (Eds.): TransEcoNet Workshop on Landscape History, Proceedings. University of West Hungary Press, Sopron. pp. 75-89. ISBN 978-963-334-029-5
- KONKOLY-GYURÓ, É.; TIRÁSZI, Á. 2007: Tájvédelmi modellterv a Fertő-Hanság középtáj térségére. Tájműhely Kft. Megbízó: Fertő-Hanság és Órségi Nemzeti Park Igazgatóság. 142 p.
- KONKOLYNÉ GYURÓ, É. 1990: A tájpotenciál és a tájhasználat összefüggései a Zempléni-hegységben. Kandidátusi értekezés. 158 p.
- KONKOLYNÉ GYURÓ, É. 1994: Táj történelmi feltárás a tájvédelem szolgálatában a Tokaj–hegyaljai borvidék példáján. In: Simon, I.-Boros, L. (Eds.): Észak– és Kelet Magyarországi Földrajzi Évkönyv. Vol. I. pp. 209-214.
- LÓCZY, D. 2002: Tájértékelés, földértékelés. Dialóg Campus Kiadó, Budapest-Pécs. 307 p.
- LUKÁCS, A.; SZIGETVÁRI, C.; BOTOS, I. C.; RÉV, S. 2004: Táj történelmi vizsgálatok és a tájrehabilitáció lehetőségei a Nyírségben. Ifjú Botanikusok Baráti Köre és az E-misszió Természet- és Környezetvédelmi Egyesület, Nyíregyháza. 24 p.
- MÁTÉ, G. 2013: A Mecsek-vidék táj története. Táj és ember viszonyának változása háromszáz év tükrében. Doktori értekezés. Dissertation, Pécsi Tudományegyetem, Földtudományok Doktori Iskola, Pécs. 334 p.
- MCCLURE, J. T.; GRIFFITHS, G. H. 2002: Historic Landscape Reconstruction and Visualisation, West Oxfordshire, England. Transactions in GIS, Vol. 6(1). pp. 69-78. <http://dx.doi.org/10.1111/1467-9671.00095>
- MOLNÁR, Z.; GERGELY, A. 2008: A Körtvélyesi-sziget élőhelyváltozásai. Tájökológiai Lapok, Vol. 6(3). pp. 333-341.
- MUNTEANU, C.; KUEMMERLE, T.; KEULER, N. S.; MÜLLER, D.; BALÁZS, P.; DOBOSZ, M.; GRIFFITHS, P.; HALADA, L.; KAIM, D.; KIRÁLY, G.; KONKOLY-GYURÓ, É.; KOZAK, J.; LIESKOVSKY, J.; OSTAFIN, K.; OSTAPOWICZ, K.; SHANDRA, O.; RADELOFF, V. C. 2015: Legacies of 19th century land use shape contemporary forest cover. Global Environmental Change, Vol. 34. pp. 83-94. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.06.015>
- NAGY, D. 2003: Táj történelmi kutatások a Gömör-Tornai-karszton I. A történelmi táj rekonstrukciója az ANP környezetében az I-III. Katonai Felmérések alapján. ANP füzetek. Kutatások az Aggteleki Nemzeti Parkban. Vol. 2, Jósvafő
- NAGY, D. 2004: A történelmi tájhasználat és felszínborítás rekonstrukciójának lehetőségei archív térképek feldolgozásával. Környezetvédelmi Értékelési Program Pályázati tanulmányok 2003-2004, Budapest. 40 p.
- OLAH, B.; BOLTÍZIAR, M.; GALLAY, I. 2009: Transformation of the Slovak Cultural Landscape Since the 18th Cent. and its Recent Trends. Journal of Landscape Ecology, Vol. 2(2). pp. 41-55. <http://dx.doi.org/10.2478/v10285-012-0018-z>
- PALANG, H.; SPEK, T.; STENSEKE, M. 2011: Digging in the past: New conceptual models in landscape history and their relevance in peri-urban landscapes. Landscape and Urban Planning, Vol. 100(4). pp. 344-346. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.01.012>
- PÉCSI, M.; SOMOGYI, S.; JAKUCS, P. 1972: Magyarország tájtípusai. Földrajzi értesítő, Vol. 21(1). pp. 5-12.
- PETEK, F.; URBANC, M. 2004: The Franziscan Land Cadastre as a Key to Understanding the 19th-century Cultural Landscape in Slovenia. Vol. 44(1). pp. 25. <http://dx.doi.org/10.3986/ags44104>
- PLIENINGER, T. 2006: Habitat loss, Fragmentation, and Alteration – Quantifying the Impact of Land-use Changes on a Spanish Dehesa Landscape by Use of Aerial Photography and GIS. Landscape Ecology, Vol. 21(1). pp. 91-105. <http://dx.doi.org/10.1007/s10980-005-8294-1>
- PÓCS, T.; DOMOKOS-NAGY, É.; PÓCS-GELENCSÉR, I.; VIDA, G. 1958: Vegetationsstudien im Órség. Die Vegetation ungarischer Landschaften. Vol. 2. Akadémiai Kiadó, Budapest. 124 p.

- RIEZING, N. 2011: A Vértesalja erdeinek vizsgálata, a tájhasználat és vegetáció kapcsolata. Doktori (Ph.D.) értekezés, Nyugat-Magyarországi Egyetem. 125 p.
- SALÁTA, D. 2011: Tájváltozás vizsgálata a Körös-Maros Nemzeti Park három kis-sárréti területén: Kisgyanté, Kisvátyon és Sző-rét. CRISICUM, Vol. 7. pp. 129-151.
- SZABÓ, A.; RUPRECHT, E. 2005: Tájéörténet és botanika egy észak-mezőségi terület példáján. In: Fekete, A. (Ed.): Az erdélyi táj kérdései. Művelődés Kiadó, Kolozsvár. pp. 94-101. ISBN 973 86529-03-6
- SZABÓ, B.; CENTERI, C.; VONA, M. 2011: A Turai Legelő Természetvédelmi Terület és környékének tájváltozás vizsgálata katonai térképek alapján. Tájökológiai Lapok, Vol. 9(1). pp. 1-11.
- SZABÓ, S. 2015: Tájmetriai módszerek kritikai alkalmazása a tájanalízisben. MTA doktori értekezés. Debreceni Egyetem, Debrecen. 115 p.
- SZILASSI, P. 2009: A területhasználat változás főbb tendenciái a Balaton vízgyűjtőjén. In: Kázmér, M. (Ed.): Környezettörténet. Az utóbbi 500 év környezeti eseményei történeti és természettudományi források tükrében. Hantken Kiadó, Budapest. pp. 207-222.
- TAKÁCS, G. 2011: Tájalakítás és a felszínborítás változásai a Hanságban a XVIII –XX. században. Tájökológiai Lapok, Vol. 9(1). pp. 13-42.
- TIRÁSZI, Á.; TERPÓ, V.; KONKOLY-GYURÓ, É. 2013: Tájváltozás vizsgálat múltbéli és jelenkori fényképfelvételek alapján a Fertő tájon. Tájökológiai Lapok, Vol. 11(2). pp. 325-334.
- TÓTH, A.; CENTERI, C. 2008: Tájváltozás vizsgálat Galgahévíz településen és környékén. Tájökológiai Lapok, Vol. 6(1-2). pp. 165–180.
- VAN VLIET, J.; DE GROOT, H. L. F.; RIETVELD, P.; VERBURG, P. H. 2015: Manifestations and underlying drivers of agricultural land use change in Europe. Landscape and Urban Planning, Vol. 133. pp. 24-36. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.09.001>
- WEBB, R. H.; BOYER, D. E.; TURNER, R. M. (Eds.) 2010: Repeat Photography: Methods and Applications in the Natural Sciences. Island Press, Washington/Covelo/London. 392 p. ISBN 978-1597267120
- ZAGYVAI, G. 2008: Tájörténeti vizsgálatok cserhádi mintaterületen. Tájökológiai Lapok, Vol. 6(1-2). pp. 127-144.
- ZARINA, A. 2010: Path dependency and landscape biographies in Latgale, Latvia: a comparative analysis. European Countryside, Vol. 2(3). pp. 151-168. <http://dx.doi.org/10.2478/v10091-010-0011-7>
- ZÓLYOMI, B. 1952: Magyarország növénytakarójának fejlődéstörténete az utolsó jégkorszaktól. Az MTA Biológiai Tudományok Osztályának Közleményei. pp. 491-530.
- ZÜGN, N. 1938: Soproni erdészeti régiségek. Soproni Szemle, Vol. 2. pp. 31-51.

VASÚTI FELSŐVEZETÉK ELEKTROMOS TERÉNEK MÉRÉSE ÉS SZÁMÍTÁSA

BARTA EDIT¹, BAKKI-NAGY IMRE SÁNDOR²

¹Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Matematikai Intézet

²Soproni SC, Vas-és Villamosipari Szakképző Iskolája és Gimnáziuma
barta.edit@uni-sopron.hu

A villamos vasúti vontatás feszültség alatt lévő hosszlánc elemeinek elektromos terét tanulmányoztuk. Mértük és számítottuk a térerősséget a vasúti pálya középvonalára merőleges távolság függvényében. A vezetékrendszert a legegyszerűbb, egyvezetékes modellel közelítettük, ami a vezetékrendszertől nagyobb távolságokra ad megfelelő közelítést, míg a közelebbi tartományokban a mérési eredményekre illesztett regressziós polinomok segítségével végeztünk becsléseket. Megállapítottuk, hogy a térerősség csak a vasúti pálya középvonalától 5 méteres távolságon belül haladja meg a lakossági 24 órás kitettségre vonatkozó egészségügyi határértéket.

Bevezetés

Az elektromágneses terek emberre gyakorolt hatását néhány évtizede kutatják. A tér biológiai és egészségi hatásának megállapítása az élettudományok művelőinek feladata. Annak tisztázása után, hogy az elektromágneses tér mely fizikai jellemzői hogyan fejtik ki hatásukat, több nemzetközi szervezet is olyan egészségügyi határértékeket fogalmazott meg e térjellemzőkre, amely alatt nem lépnek fel káros hatások. A hatások függenek az elektromágneses tér frekvenciájától, így a határértékeket is frekvenciatartományokra bontva adják meg (Varjú 2002). Az elektromos és mágneses tér létrejötte és hatásmechanizmusa jelentősen eltér egymástól, ezért hatásukat összegzés nélkül, külön-külön kell vizsgálni (Varjú 2002). Az elektromos tér jellemzésére az elektromos térerősség (E) szolgál, melyet V/m egységekben adnak meg, a mágneses teret a mágneses indukcióval (B) jellemzik, amit T (tesla) egységekben adnak meg. Magyarországon e két térjellemzőre elfogadott határértékeket a Nemzetközi Bizottság a Nem-ionizáló Sugárzás Védelméről ajánlásainak (ICNIRP 1998) megfelelően állapították meg. Eszerint az 50 Hz-es váltakozófeszültséget is magába foglaló extrém kisfrekvenciás terek esetében az elektromos térerősségre foglalkozási körben 10000 V/m, lakossági körben 5000 V/m, a mágneses indukcióra foglalkozási körben 500 μ T, lakossági körben 100 μ T egészségügyi határértékeket állapítottak meg (63/2004 (VII. 26.) ESzCsM rendelet 1. sz. melléklete). Ezek a határértékek olyan magasak, hogy a környezetünkben csak a nagyfeszültségű távvezetékek és a villamos vasúti felsővezetékek közvetlen környezetében alakulhat ki határértéket meghaladó térerősség. Jelenlegi vizsgálatunk kettős célt szolgált. Egyrészt arra kerestük a választ, hogy a villamosított vasútvonal környezetében kialakuló elektromos térerősség hogyan változik a sínektől mért távolság függvényében, ezek az értékek hogyan viszonyulnak a hatósági határértékekhez; másrészt arra voltunk kíváncsiak, hogy a bonyolult vezetékrendszer modellezhető-e egyetlen vezetékkel, az egyvezetékes modell segítségével végzett számításokkal lehet-e becsülni a térerősséget azokban a pontokban, amelyekben az meghaladja a mérőműszer méréshatárát.

Mérési és számítási módszerek

Méréseinkhez a Sopron-Szombathely vasútvonal Lövő és Sopronkövesd közötti szakaszán választottunk egy alacsony forgalmú földutat, mely a 84-es számú főúttól leágazva keresztezi a vasúti pályát. A választásnál szempont volt az, hogy az út merőleges legyen a pályára, a terep vízszintes vagy ahhoz közeli legyen, ne legyenek rajta a térerősséget befolyásoló tereptárgyak. A tereptárgyak – akár egyetlen fa is – ugyanis jelentősen megváltoztatják az elektromos tér

szerkezetét, és árnyékoló hatásuk révén csökkentik a térerősséget. A mérőhely távlati képe az 1. ábrán látható.



1. ábra. Mérési helyünk távlati képe

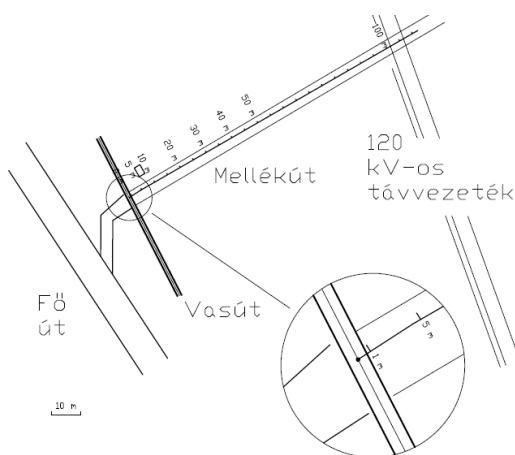


2. ábra. ME 3851A típusú elektroszmog analízátor

A távlati képen bejelöltük azt a 120 kV-os távvezetékét, amely mérési helyünkön a vasúttól 100 méteres távolságban keresztezi a vasútra merőleges mérési egyenesünket.

A térerősség mérésére egy ME 3851A típusú digitális elektroszmog analízátort (2. ábra) használtunk. A készülék az elektromos térerősséget 200 és 2000 V/m méréshatárokkal méri.

Távvezetékek, felsővezetékek elektromos és mágneses tereinek mérésére vonatkozóan nincs egységes szabvány. Az európai gyakorlat az, hogy a vezetékek környezetében kialakuló térerősség jellemzésére a föld felett 1,5-1,8 méteres magasságban mérhető értékeket adja meg a vezeték nyomvonalára merőlegesen a távolság függvényében (Varjú, 2002). Ennek megfelelően a vasút nyomvonalára merőleges egyenes mentén, a műszert 1,5 méteres magasságban tartva végeztük méréseinket. A vasúti pálya középvezetékétől 20 méteres távolsáig méterenként, onnan két méterenként végeztünk méréseket. A mérés helyszínrajza a 3. ábrán látható.



3. ábra. A mérés helyszínrajza



4. ábra. A felsővezeték-rendszer

A számoláshoz először tanulmányoztuk a vasúti felsővezetékek feszültség-viszonyait és a vezetékrendezés geometriáját. Magyarországon a vasúti vontatás energiaellátása egyfázisú, 25 kV feszültségű, 50 Hz frekvenciájú váltakozó áramú munkavezetékkel történik. A munkavezeték egy fölé elektromosan el nem szigetelt tartósodrony tartja, melyre adott távolságokban rászertelt függesztők rögzítik. Ezt a kettős vezetékét a méretezésnél párhuzamosan kapcsolt

áramvezetőként fogják fel. A két vezeték távolsága a tartóoszlopok között és a tartóoszlopoknál nem egyenlő, és a kettős vezeték síkja sem minden hőmérsékleten függőleges. A felsővezeték magassága közúti kereszteződéseknél és állomásokon 6 méter, egyéb helyeken 5,7 méter (Rónai 2009, Vincze, Balázs). Felülnézetben a felsővezeték és az azt tartó megerősítő-vezeték a pálya középvonalához képest jobbra és balra kigyózva vezetik, hogy az áramszedő saruja egyenletesen kopjon. A kigyózás legnagyobb mértéke az új építésű vagy felújított pályákon az 1995 óta bevezetett ± 30 cm. A munkavezeték 65, 80 vagy 100 mm^2 keresztmetszetű ötvözött rézvezeték, a tartósodrony pedig 50 mm^2 keresztmetszetű bronz vagy acélsodrony (Rónai 2009). A felsővezeték mellett fut még két vezeték: egy kommunikációs optikai kábel és egy vonali tápvezeték, ami szintén 25 kV-os feszültség alatt van, de máshonnan kap betáplálást. Feladata a karbantartás vagy üzemzavar miatt szükséges feszültségmentesítés idején a táplálási szakasz további részén az energia ellátásának biztosítása. Ez a munkavezetékkel közös oszlopsoron legfelül, a külső oldalon fut, anyaga alumínium. Rónai (2009) alapján úgy becsültük, hogy a vasúti pálya síkja felett 9 méteres magasságban, a középvonalától pedig 3 méterrel kintebb futhat. A mérési helyünkön a vezetékrendszer elrendezése a 4. ábrán látható. A tápvezeték a mérésünkkel ellentétes oldalon fut.

A vezetékrendszer által keltett elektromos teret a vezetékeken felhalmozódó töltések hozzák létre, amit vonalmenti töltéssűrűséggel vehetünk figyelembe. A töltéssűrűséget a feszültségen kívül számos más tényező is befolyásolja, többek között a vezeték keresztmetszete, a feszültség alatt lévő vezetékek geometriai elrendezése, a vezetékektől elszigetelt, földelt tartóoszlopok távolsága, a vezetékek belógása, stb.

Számításainkhoz olyan fizikai modellt kerestünk, amely egyszerű matematikai eszközökkel teszi lehetővé a térerősség megfelelő pontosságú becslését. A legegyszerűbbnek az egyvezetékes modell kínálkozott, melynek lényege, hogy a számos ismeretlen paramétert is tartalmazó bonyolult töltésselosztást egyetlen vezetékkel helyettesítjük. A helyettesítő vezeték helye valahol a vezetékrendszer elektrosztatikai középpontjában keresendő, ami azt a helyzetet jelenti, amelyben a vezetéken felhalmozódott (helyettesítő) töltésselosztás a vezetéktől kellő távolságban megközelítőleg olyan szerkezetű elektromos teret kelt, mint amelyet az eredeti vezetékrendszer. Modellünkben a talajt végtelen kiterjedésű vízszintes sík felületnek, a helyettesítő vezeték egy h_0 magasságban, vele párhuzamosan futó végtelen hosszú egyenes elektródának tekintettük, melyen éppen akkora q egyenletes vonalmenti töltéssűrűség halmozódik fel, amely révén potenciálja a talajhoz viszonyítva éppen U_0 . U_0 nem feltétlenül 2×25 kV. A szinuszosan váltakozó feszültség önmaga körül szintén szinuszosan váltakozó elektromos térerősséget kelt. Ennek időfüggésétől úgy tekinthetünk el, hogy a váltakozó feszültséget az effektív értékével helyettesítjük, a térerősséget pedig úgy számítjuk, mintha az effektív értékének megfelelő egyenfeszültség kelténé.

Egy ilyen elrendezés esetén alkalmazható a töltés tükrözésének elve: a felsővezeték tükrözzük a talajra, és a tükröképet $-q$ töltéssűrűséggel vesszük figyelembe. A két, egymással párhuzamos, $+q$ és $-q$ töltésű elektróda pontosan ugyanolyan elektromos teret kelt maga körül, mint az egy elektróda és a vele párhuzamos nulla potenciálú sík felület. A térerősség ezek után a két elektróda által keltett térerősségek szuperpozíciójaként számítható.

Egyetlen q vonalmenti töltéssűrűséggel bíró hosszú egyenes vezeték elektromos terének térerőssége a vezetéktől mért r távolság függvényében az elektrosztatika Gauss-tételéből (Maxwell IV. egyenlete) levezethető:

$$E(r) = \frac{q}{2\pi\epsilon} \cdot \frac{1}{r},$$

ahol ϵ a levegő dielektromos állandója.

A Gauss-tétel, a feszültség, a potenciál és potenciálfüggvény definíciója, a tükrözéses módszer és a szuperpozíció elve, valamint a két párhuzamos, egymástól $2h_0$ távolságban elhelyezkedő elektródák közötti feszültség és a rajtuk lévő q töltéssűrűség kapcsolata levezetésekkel együtt

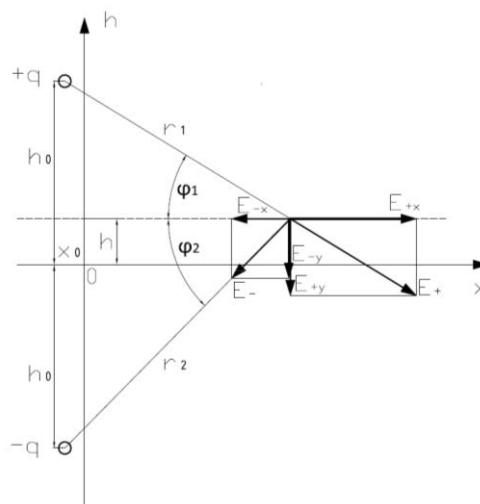
számos elektrotechnikával foglalkozó tankönyvben megtalálhatók (pl. Fodor 2005 és Standeisky 2007). A teljes számítást terjedelmi okok miatt itt nem közöljük, csak a számítás főbb lépéseit és a végső képletet mutatjuk be.

Az elektródán felhalmozódott töltéssűrűség az elektróda potenciáljával egyenesen arányos (Fodor 2005, Standeisky 2007). Ily módon a térerősség is egyenesen arányos a potenciállal, valamint fordítottan arányos a vezetéktől mért távolsággal:

$$E(r) = k \frac{U_0}{r}.$$

A k egy dimenzió nélküli arányossági tényező, amellyel minden olyan tényezőt figyelembe veszünk, amely a mérés során állandó, beleértve a vezetékek keresztmetszetét és egyéb geometriai tulajdonságait, az egyszerűsítés során fellépő konstansokat, a levegő dielektromos állandóját, stb.

Ebből a képletből kiindulva számításainkat a 5. ábrán látható geometriai elrendezéssel és bevezetett jelölésekkel végeztük.



5. ábra. A számításokhoz bevezetett jelölések

Az ábra jelölései:

h_0 : a helyettesítő vezeték távolsága a talajtól (becsült érték: 6 – 9 m),

h : a mérési magasság a talaj felett (rögzített: 1,5 m),

x_0 : a helyettesítő vezeték vízszintes távolsága a pálya középvezetékétől (becsült: 0 – 3 m)

r_1 : a helyettesítő vezetéktől mért távolság (számítható),

r_2 : a helyettesítő vezeték tükörképétől való távolság (számítható),

E_+ : a $+q$ vonalmenti töltéssűrűségtől származó térerősség,

E_- : a $-q$ vonalmenti töltéssűrűségtől származó térerősség,

x : a mérés távolsága a vezeték függőleges vetületétől (mért érték).

A térerősségvektorok irányai az ábra szerinti, nagyságuk pedig:

$$E_+(r_1) = kU_0 \cdot \frac{1}{r_1},$$

$$E_-(r_2) = kU_0 \cdot \frac{1}{r_2}.$$

A könnyebb összegezhetőség céljából mindkettőt vetületeire bontva számoljuk ki, felhasználva, hogy

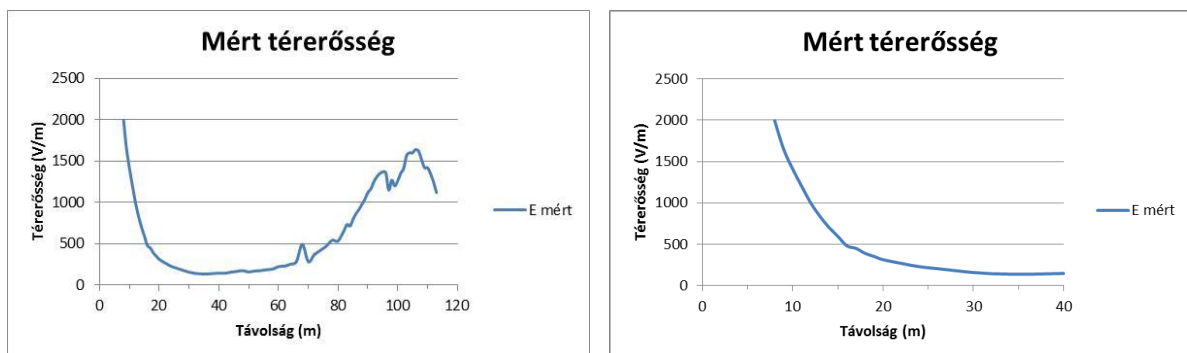
$$\begin{aligned}\sin \varphi_1 &= \frac{h_0-h}{r_1}, \\ \sin \varphi_2 &= \frac{h_0+h}{r_2}, \\ \cos \varphi_1 &= \frac{x+x_0}{r_1}, \\ \cos \varphi_2 &= \frac{x+x_0}{r_2}.\end{aligned}$$

Az r_1 és r_2 távolságok a becsült x_0 és h_0 , a rögzített h , valamint a mért x értékekből Pitagorasz tétele alapján helyettesíthetők a térerősség képletébe. A vízszintes vetületek nagyságát kivonva egymásból, a függőlegeseket összeadva kapjuk az eredő térerősség két vetületét, melyeket végül Pitagorasz tételével összeadjuk. A kapott összefüggés:

$$E(x) = kU_0 \sqrt{(x+x_0)^2 \left(\frac{1}{(x+x_0)^2+(h_0-h)^2} - \frac{1}{(x+x_0)^2+(h_0+h)^2} \right)^2 + \left(\frac{h_0-h}{(x+x_0)^2+(h_0-h)^2} + \frac{h_0+h}{(x+x_0)^2+(h_0+h)^2} \right)^2}.$$

A konkrét számolást MS Excel programmal hajtottuk végre. U_0 -t mint a feszültség szint jellemző értékét 25000 V-nak választottuk. A helyettesítő vezeték x_0 és h_0 koordinátáit becsléssel határoztuk meg. A vezeték elrendezéséből adódik, hogy x_0 0 és 3 méter, h_0 6 és 9 méter közé eshet. A legszélső helyzeteket kizárva 0,5 méteres lépésközönként minden $(x_0; h_0)$ értékpárhoz minden mérési pontunkhoz az ott mért térerősség felhasználásával kiszámoltuk a k arányossági tényezőt. Azt tekintettük a helyettesítő vezeték „legjobb helyzetének”, amelynél a k értéke a vezetéktől „kellő távolságban” nagyjából állandó. Ez a kellő távolság az a távolság, ahol a vezetékrendszer geometriai méretei (egymástól mért távolságok, keresztmetszetek) a mérés szempontjából már elhanyagolhatóak a mért távolságokhoz képest. Ezzel a k értékkel lehet a „kellő távolság”-nál nagyobb távolságokban a térerősséget számítással becsülni.

A vasúti pályához közeledve a vezetékrendszer geometriai méretei nem elhanyagolhatóak, k várhatóan nem állandó, így a közeli pontokban a térerősség becsülésére regresszió számítást végeztünk.



6. ábra. A mért térerősség a távolság függvényében

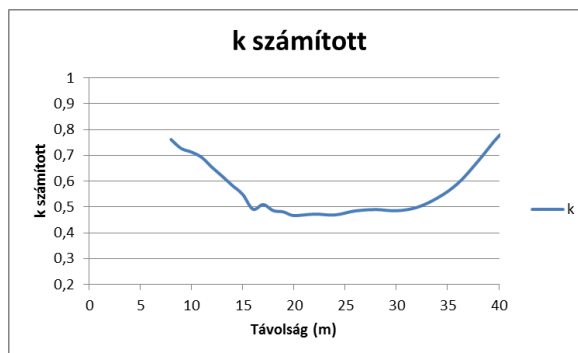
Vizsgálati eredmények

Műszeres méréseink eredményét a teljes mérési tartományon a 6. ábra bal oldali grafikonja szemlélteti. A 0-7 méteres tartományon a térerősség nagysága meghaladta műszerünk mérési határát, így ebben a tartományban nincsenek mérési adataink.

A közelben futó 120 kV-os vezeték hatása jól látható a grafikonon: a vasúti sínektől távolodva a térerősség egy darabig csökken, aztán a távvezeték hatására növekedni kezd. A növekedés 38

métertől indul, innen már semmiképpen nem tulajdoníthatjuk a térerősséget tisztán a vasúti felsővezeték hatásának. A távvezeték hatása már kisebb távolságoknál is ráakad a felsővezetékére, de nagyjából 32 méterig még elhanyagolható. A továbbiakban csak eddig a távolságig tekintjük az adatokat relevánsnak. A 6. ábra jobb oldalán látjuk a térerősség menetét kinagyítva a 0-40 méteres mérési tartományon.

A k értékeit minden $(x_0; h_0)$ értékpárhoz kiszámolva egyszerű szemrevételezéssel láttuk, hogy a lineáris szakasz 16 és 32 méter közé tehető. Az ebbe a tartományba eső k értékeknek meghatároztuk az átlagát és szórását, majd a szórást elosztottuk az átlaggal. 0,025 és 0,050 közötti értékeket kaptunk, melyek közül a legkisebb hányadoshoz tartozó $(x_0; h_0)$ értékpárt tekintettük a helyettesítő vezeték helyzetét megadó koordinátáknak. Eszerint a vezeték 1 méterrel fut a sínpálya középvonalától távolabb, magassága pedig 6,5 méter. Az ehhez az értékpárhoz tartozó k arányossági tényezőre a releváns mérési tartományunkban (0-32 m) a 7. ábrán látható görbét kaptuk. A vízszintes szakaszon a k átlaga 0,48523, szórása 0,012605. Ez az a k érték, amely a mérés helyétől független, csak a kiinduló vezetékrendezés geometriájától függő állandó, ezzel lehet távolabbi pontokban becsülni a térerősséget. Eszerint például a vezetéktől 100 méterre a talaj felett 1,5 méter magasságban 48,52 V/m lenne a térerősség a távvezeték befolyása nélkül.



7. ábra. A k arányossági tényező számított értékei a távolság függvényében

A vezetékhez közeli tartományban kialakuló térerősséget extrapolálással becsültük úgy, hogy a 8-32 méteres szakaszon mért térerősségekre regresszió számítással függvényeket illesztünk, és ezek értékeit határoztuk meg azokban a mérési pontokban, ahol a műszerünk méréshatárát meghaladó értékeket már nem tudtuk mérni. Mivel a térerősség és a vasúti pálya középvonalának távolsága közötti összefüggés ebben a közeli tartományban nem ismert, ezért legcélzerűbbnek az ismeretlen függvény polinomokkal való közelítése mutatkozott. A kipróbált polinomok közül a negyed-, ötöd- és hatodfokú polinomok bírtak a legjobb korrelációs együtthatókkal (0,9994-0,9996), és ezeknek a menete hasonlított leginkább az elvárthoz. Ezekkel becsülve a pálya középvonalában kialakuló térerősséget, az 6200-7200 V/m közé esett, de a helyettesítő vezeték helyén is alig haladta meg a 8000 V/m-t.

Vizsgálati eredmények értékelése, következtetések

Méréseink és számításaink alapján megállapítható, hogy az egyvezetékes modell a mérési helyünkön a vasúti pálya középvonalától mért 16 méteren túli tartományban ad jó közelítést az elektromos térerősségre. A vezetékek közelében a térerősség meghaladta a műszer méréshatárát, így ott azt a mérési eredményekre illesztett polinomok segítségével, extrapolálással becsültük. Számításaink szerint a térerősség kizárólag a sínpálya közvetlen közelében, a középvonalától mért 4-5 méteres távolságon belül haladja meg a lakossági 24 órás kitettségre vonatkozó 5000 V/m határértéket, de nem éri el a foglalkozási körben napi 8 órás kitettségre megállapított 10000 V/m-es határértéket. A sínekhez ilyen közelségben általában nem tartózkodunk huzamosabb ideig, így módon a magas értéknek nincs egészségügyi kockázata. A vonaton utazó közönség pedig azért nincs kitéve a káros hatásnak, mert maga a szerelvény árnyékolja le a vezetékek elektromos terét.

Bár a távvezetékek elektromos terének vizsgálata jelen tanulmánynak nem volt a témája, de érdemes megjegyezni, hogy itteni mérési eredményeink azt mutatják, hogy a 120 kV-os távvezeték alatt mért maximális érték (1640 V/m) jóval elmarad a megengedettől, tehát még akkora kockázata sincs, mint a vasúti felsővezetéknek.

Köszönetnyilvánítás: Jelen publikáció az „EFOP-3.6.1-16-2016-00018 – A felsőoktatási rendszer K+F+I szerepvállalásának növelése intelligens szakosodás által Sopronban és Szombathelyen” című projekt támogatásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

1. számú melléklet a 63/2004 (VII. 26.) ESzCsM rendelethez: A 0 Hz – 300 GHz frekvenciájú elektromos, mágneses és elektromágneses terek lakásságra vonatkozó egészségügyi határértékei (2020. április 23.) <https://net.jogtar.hu/getpdf?docid=a0400063.esc&targetdate=20170105&printTitle=6>
- FODOR GY. (2005): Elektromágneses terek, Műegyetemi kiadó.
- ICNIRP (1998): Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (Up To 300 GHz). Health Physics 74, 494-521.
- RÓNAI E. (2009): Vasúti villamos felsővezeték. <https://docplayer.hu/3613643-Vasuti-villamos-felsovezetek.html>
- STANDEISKY I. (2007): Elektrodinamika. Universitas-Győr Kht. Győr.
- VARJU GY. (2002): Élet a sugárözönben. Magyar Tudomány, 2002/8, 1048.o. <https://epa.oszk.hu/00700/00775/00045/1048-1064.html>
- VINCZE GY., BALÁZS G. GY: Villamos járművek. https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0048_VIVEM263HU/ch04s03.html

OKTATÁSI FEJLESZTÉSEK AZ OKLEVELES ERDŐMÉRŐ SZAK FÖLDMÉRÉS TANTÁRGY GYAKORLATAIN

BROLLY GÁBOR, BAZSÓ TAMÁS

Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Geomatikai, Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Intézet
brolly.gabor@uni-sopron.hu

A Földmérés gyakorlatok célja, hogy az erdőmérnök hallgatók elsajátítsák azokat a mérési és feldolgozási ismereteket, amelyek az erdészeti szakigazgatás és erdőgazdálkodás során felmerülő térképezési feladatok ellátásához szükségesek. A hallgatónak képessé kell válnia arra, hogy az erdőterületen előforduló műszaki munkákhoz szükséges geodéziai felmérési és térképkészítési munkákat elvégezze, illetve az ezzel megbízott földmérőkkel mint kivitelezőkkel konstruktív együttműködést folytasson.

A gyakorlat tananyagának összeállítása során nemcsak arra törekszünk, hogy a technika jelenlegi szintjét képviselő műszerek használatát megtanítsuk, hanem arra is, hogy a közvetlenül mért adatok feldolgozásának alapelveit tanítsunk. Véleményünk, hogy aki egy adott műszertípus működési alapelveit és használatának módját ismeri, képes arra, hogy munkája során bármely gyártó, bármilyen technikai szintű műszerének kezelését rövid betanítást követően elsajátítsa. Ennek okán, gyakorlatainkon továbbra is helyet kap az analóg műszerek használata. Hasonló a koncepciónk a geodéziai számítások és a geodéziai feldolgozó szoftverek használatát illetően is, azaz a számítások ismerete alapozza meg a tudatos szoftverhasználatot, ami egybeesik Enemark (2009) Nyugat-európai tapasztalataival.

A Földmérés gyakorlatok elsősorban a Geomatika tantárgy keretében elsajátított fogalmakra, műszertani, méréstani és térképezési alapismeretekre építkeznek, de nem nélkülözhetik az ábrázoló geometriai és matematikai alapismereteket sem. A Geoinformatika – bár lehallgatása nem kötelező – kiválóan alkalmas arra, hogy rámutasson a gyakorlatok során végzett mérések további feldolgozási módjára: A koordináta, mint földrajzi adat geoinformációs környezetben történő felhasználására, ami további értékes információk levezetését teszi lehetővé. A félév szorgalmi időszakában elsajátított gyakorlati képességeket a Geomatika tárgykörben tartott nyári szakmai gyakorlat keretében kell a hallgatónak készség szintre emelni. A Földmérés gyakorlatok ismeretanyaga – eltérő mértékben – szükséges a Távérzékelés, az Erdészeti úttervezés, az Erdészeti útépités, az Erdészeti vízgazdálkodás, valamint az Erdőrendezés tantárgy sikeres elsajátításához.

Anyag és módszer

Az oktatási fejlesztések egyik motivációja, hogy a GINOP-2.3.3-15-2016-00039 projekt keretében az intézet műszerparkja kibővült, ami egyebek mellett lehetővé tette öt darab Leica TS03 típusú korszerű, elektronikus mérőállomás bevonását a gyakorlati oktatásba. A korábbi években az azonos típusú műszerek hiányában az egyes gyakorlati csoportok műszerezettségé nem lehetett egységes.

A mérések feldolgozására szintén többféle szoftvert használtunk, ami kényszer szülte megoldás volt, mivel az eltérő műszertípusoknak nem volt olyan közös adatformátuma, ami minden célra megfelelő lett volna. Többször kísérletet tettünk arra, hogy a feldolgozás egy részére – a részletmérések számítására – hallgatói feladatként kiadjuk a számítás elvégzésére alkalmas Excel táblázat elkészítését, de ennek sikere meglehetősen esetlegesnek bizonyult. Egy olyan geodéziai célszoftver egységes bevezetését láttuk a legjobb megoldásnak, ami teljesíti az alábbiakat: Képes minden olyan művelet elvégzésére, ami a gyakorlataink anyagát képezi Grafikus felülettel és magyar nyelvű menüvel rendelkezik

Kezeli az intézet műszerinek széleskörű adatformátumait
 Hallgatóink saját számítógépükre ingyenesen és jogtiszta telepíthetik
 A tanulmányok végeztével is hatékonyan és széleskörben használható

Ezeket a szempontokat követve jutottunk el a Digikom kft. által fejlesztett, nyílt forráskódú (GPL2) GeoEasy szoftverhez, ami oktatási és szakmai körökben is bevált alkalmazás (SIKI, 2017; DIGIKOM 2018).

A 2019/2020-as tanév II. féléve a Koronavírus-járvány elleni védekezés részeként március közepétől távoktatási formában zajlik. A tervezett fejlesztések egy részét tehát nemcsak kidolgozni kellett, hanem távoktatásba is át kellett ültetni, ilyen például a feldolgozó szoftver használata, vagy ami összetettebb; az új mérőállomások használata. Általánosságban elmondható, hogy a távoktatás nem jelentette akadályát a fejlesztések megvalósításának, de a gyakorlatok továbbra is alapvetően személyes részvétel mellett biztosítják a szükséges képességek elsajátítását. A földmérés gyakorlatok korábbi, fejlesztett, és távoktatásban megvalósított módozatait az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat: A félévzáró felmérési feladat hagyományos, tervezett, és távoktatásban megvalósított jellemzői

	Korábbi évek	Terv 2020-tól	2020 távoktatás
Részvétel	Csoportban		Egyénileg
Oktatási forma	Nappali		Távoktatás
Optikai műszer (tahiméter)	Zeiss Dahlta 010		Nincs
Elektronikus mérőállomás	Nem egységes	Leica TS03	Leica TS03 szimulátor
Sokszögvonalszámítás "papíron"	Van		
Sokszög.-számítás szoftverrel	Nem egységes	GeoEasy	
Részletmérések számítása	MS Excel	GeoEasy	
Ábrázolás papíron	Van		Nincs
Ábrázolás szoftverrel	Opcionális	Kötelező	

Eredmények és megvitatásuk

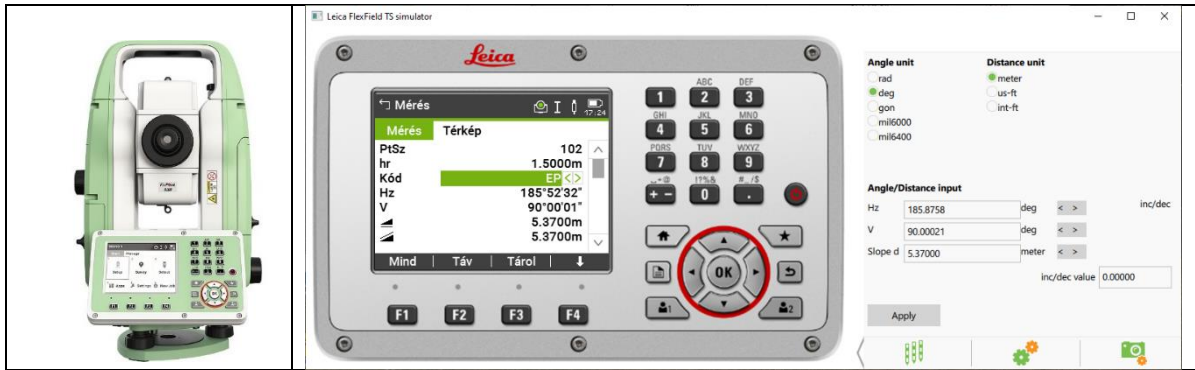
A tervezett oktatási fejlesztéseket a félévet záró geodéziai felmérési feladatban valósítottuk meg, ami a félév gyakorlatai során tanultakat foglalja össze. A feladat egy helyszínrajz készítéséhez szükséges mérések elvégzése és feldolgozása. A feladat célja, hogy egy minta méretű felmérésen keresztül a vízszintes térképezés teljes munkafolyamatát bemutassa. A feladat az alábbi három részre tagolódik:

Helyszíni mérések

Számítások

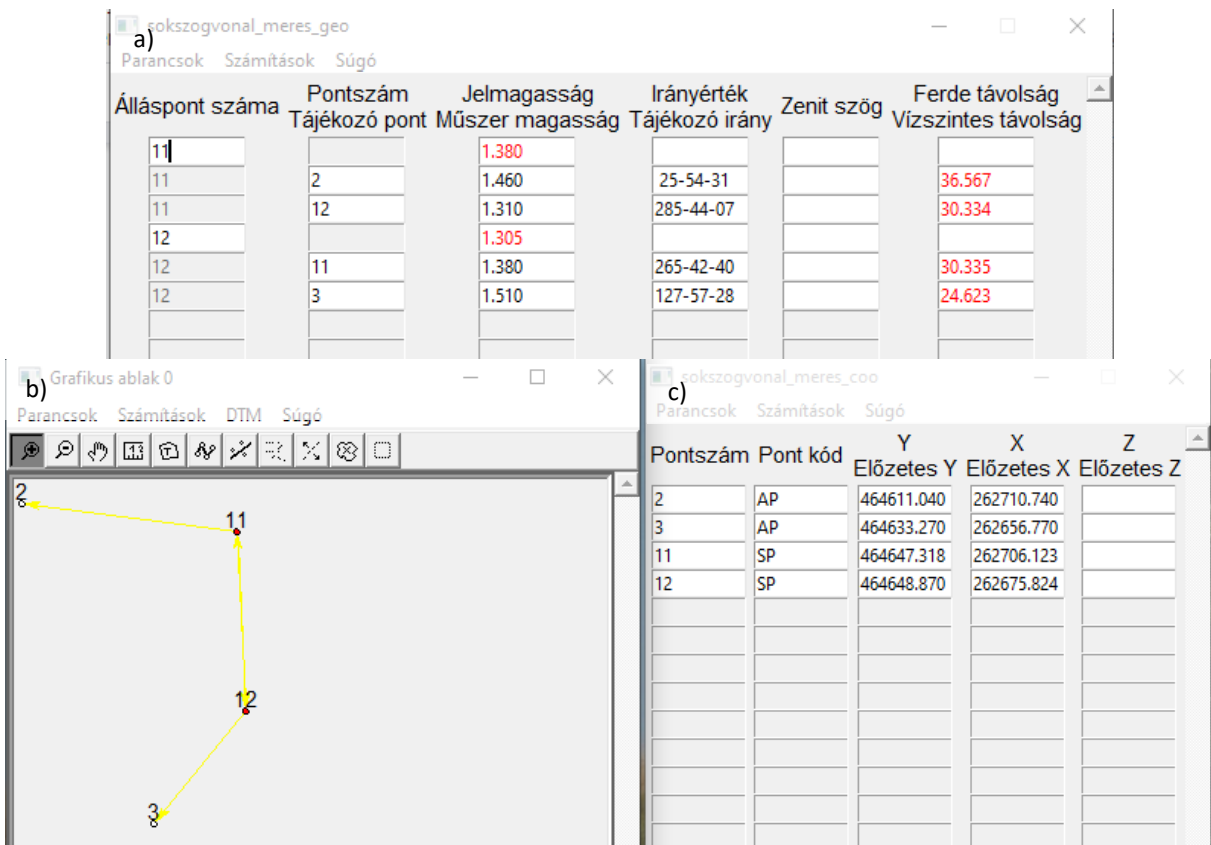
Ábrázolás

A helyszíni mérések során vízszintes alappontsűrítést és részletmérést kell a hallgatóknak végrehajtani. Személyes jelenlét esetén a munka mérőcsoportokban történik, mérőcsoportonként két műszerrel: Zeiss Dahlta 010 diagram-tahiméterrel (Deumlich, 1980) és Leica TS03 típusú elektronikus mérőállomással (Leica Geosystems, 2020). Az előbbinél a távmérést optikai úton, az adatrögzítés manuálisan történik; míg az utóbbi elektro-optikai távmérést és digitális adatrögzítést végez. Az alappontsűrítés beillesztett sokszögvonalszámításával és mérésével valósul meg, a részletmérés módszere poláris pontmérés (Bácsatyi, 2003). A távoktatásban a feladat egyénileg történik, a mérőállomás szoftverének használatát szimulátoron oktatjuk. A mérőállomásba a valós használat során mért értékeket egy adatbeviteli mezőbe kell kézzel betáplálni (1. ábra). A pontraállítás és irányzás művelete csak személyes jelenléttel sajátítható el, de műszer használatához szükséges idő a szoftver ismeretében máris jelentősen csökkenthető.



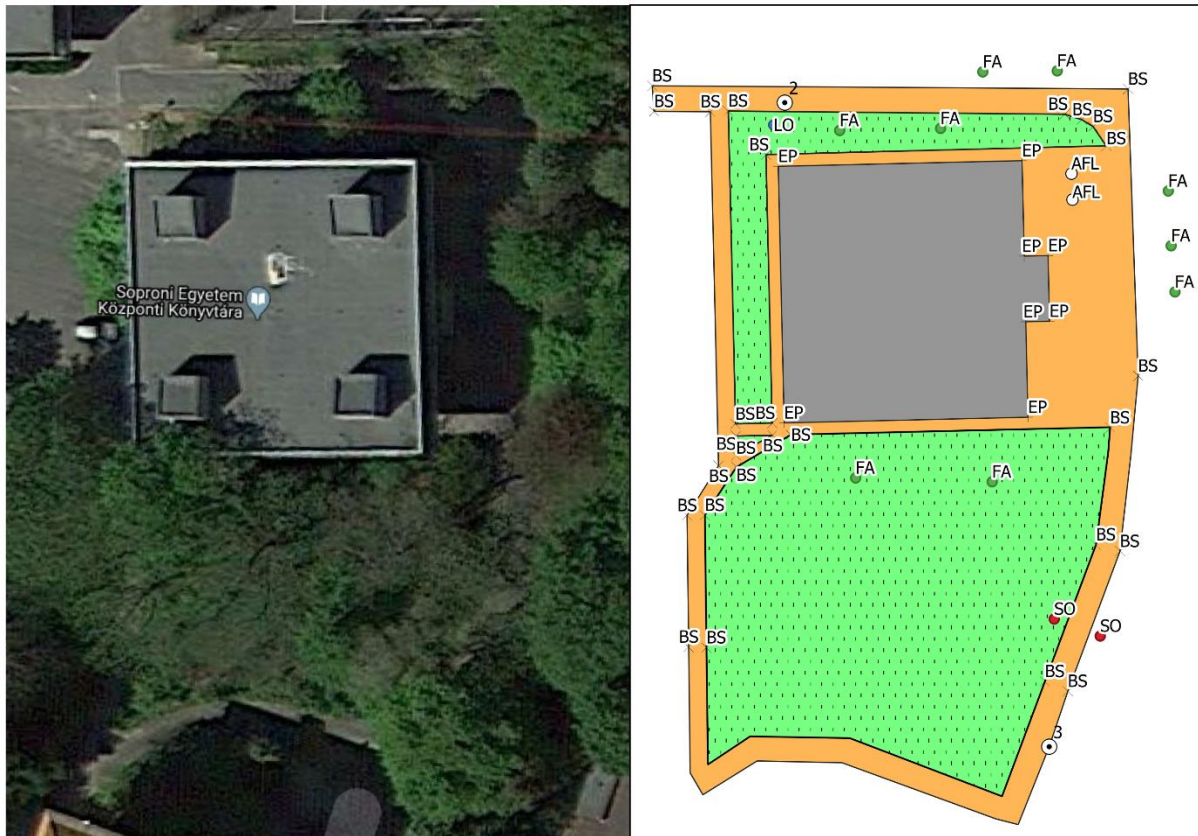
ábra: Leica TS03 mérőállomás, és a hozzá tartozó Flexnet szoftver használatát bemutató szimulátor (Leica Geosystems, 2020)

A mérőállomással (tahiméterrel) mért adatok egy részét hagyományosan (papíron, számológép használatával) kell kiszámolni. Ez magába foglalja a sokszögvonalat és néhány részletpontot, például az épület sarokpontjait, amelyek ábrázolás után meggyőző vizuális visszajelzést adnak a hallgatónak a számítás helyességéről. A teljes mérési állományt GeoEasy szoftverrel kell feldolgozni, ami a különálló ablakokban áttekinthetően szemlélteti a közvetlen mérési eredményeket, a számítási eredményeket és ezek grafikus interpretációját (2. Ábra a – c). Didaktikai szempontból feltétlen előny, hogy számos parancs a grafikus ablakban megjelenített szimbólumokra kattintva is elérhető, ami a hallgató számára nyilvánvalóvá teszi, hogy egy-egy számítási művelet pontosan hol történik.



ábra: Egy sokszögvonalszámítás kellékei a GeoEasy szoftverben: mérési jegyzőkönyv (a), grafikus ablak (b) és koordinátajegyzék (c)

A hallgatók a Geoinformatika tanulmányaik során megismert programokat, így a nemzetközi, nyílt-forráskódú fejlesztésben megvalósult és rohamosan fejlődő QGIS-t (qgis.org), vagy a magyarországi erdészeti célú geoinformációs igényekre fejlesztett TopoLynx topoXmap (topolynx.hu) programot egyaránt használhatják. A számítógépes ábrázolást megelőzően, a hallgatók néhány jellegzetes pontot papíron, kézzel is kiszerkesztenek, ami a számítógépes munka önellenőrzésére szolgál. A gyakorlat keretében a feldolgozás csak a pontok beolvasására, a vonal vagy terület típusú objektumok létrehozására, és a legszükségesebb jelkulcsi ábrázolásra korlátozódik (3. ábra).



ábra: A felmérési feladat eredményének megjelenítése geoinformatikai rendszerben. Távoktatás során a közvetlenül mért adatokat az oktató generálja, ügyelve rá, hogy a feladat végeredménye geodéziai szempontból valóságghű legyen.

Összefoglalás

Munkánkban az okleveles erdőmérnök képzés Földmérés tantágyának gyakorlataihoz kapcsolódó oktatási fejlesztéseket mutatunk be. A fejlesztések célja, hogy hallgatóink a kor műszaki színvonalát képviselő geodéziai műszerek és szoftverek használatát sajátíthassák el. Hangsúlyozzuk, hogy szándékunk szerint nem műszereket és szoftvereket tanítunk, hanem ezek tudatos használatát. A fejlesztések tehát egyrészt geodéziai-műszaki jellegűek, ilyen az új mérőműszerek vagy a korszerű szoftverek bevezetése. Másrészt, ezeknek a műszaki újdonságoknak az elsajátításához olyan oktatástechnikai fejlesztések is társulnak, amelyekkel a gyakorlatok korlátozott időkerete hatékonyabban kihasználható. Jó példa erre a műszer-szimulátorok alkalmazása, vagy a hallgatók saját számítógépére telepíthető, nyílt forráskódú szoftverek előtérbe helyezése, amelyek segítenek abban, hogy a hallgató a gyakorlatra felkészültebben érkezzen, és utána a mérések feldolgozását önállóan el tudja végezni. A fejlesztéseket a nappali, kontakt gyakorlati oktatásra terveztük, de a folyamatban lévő megvalósításuk a jelenlegi szükségállapotban bevezetett távoktatásban is eredményesnek tűnik.

Köszönetnyilvánítás: Jelen publikáció a „GINOP-2.3.3-15-2016-00039 – Fás biomassza termesztési feltételeinek vizsgálata” című projekt támogatásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- BÁCSATYAI, L. (2002): Geodézai erdő- és környezetmérnököknek. MTA FKK Geodéziai és Geofizikai Kutató Intézet, Sopron p.355
- DEUMLICH, F. (1980): Instrumentenkunde der Vermessungstechnik. Verlag für Bauwesen, Berlin
- DIGIKOM (2018): GeoEasy V3 – Geodéziai Feldolgozó Program. http://www.digikom.hu/szoftver/geo_easyleiras.html
- ENEMARK, S. (2009): Surveying Education: Facing the Challenges of the Future. Navigating the Future of Surveying Education. FIG Commission 2 Workshop Vienna, Austria, 26-28 February 2009.
- LEICA GEOSYSTEMS (2019): Leica FlexLine TS03/TS07 Manual Total Stations. <https://leica-geosystems.com/products/total-stations/manual-total-stations/leica-flexline-ts03>
- SIKI, Z. (2017): GeoEasy. Mérnökgeodézia 2017. konferencia Budapest, BME 2017.10.28. (<http://mmk-ggt.hu/konferenciak/20171028/gizi3poszter.pdf>)

FÖLDI LÉZERSZKENNELT PONTHALMAZOK TÁJÉKOZÁSÁRA ALKALMAS SZOFTVEREK ÖSSZEHASONLÍTÁSA ERDEI FÁK TÉRKÉPEZÉSE SZEMPONTJÁBÓL

BROLLY GÁBOR, KIRÁLY GÉZA

Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Geomatikai, Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Intézet
brolly.gabor@uni-sopron.hu

Erdei környezetben végzett földi lézerszkennelés a növényzet és a talaj felületének térbeli pontjait és opcionálisan spektrális adatit szolgáltatja. A pontthalmaz alapján a domborzat felszíne és a fák térképezéshez szükséges pozíciója automatikus úton előállítható. Amennyiben a térképezés nagyobb területre terjed ki, a pontthalmazt nem csak egy, hanem több műszerállásból kell rögzíteni (multi-scan, rövidítve: MS). A multi-scan adatgyűjtés előnye, hogy a fák törzsének felületét több irányból is felmérjük, ezért az eredmény pontthalmazban a törzs teljes alakja megjeleníthető, szemben az egyszerű szkenneléssel előállított pontthalmazokkal, amelyekben a törzseknek csak a műszer felé néző oldalát látjuk. A multi-scan pontthalmazok előállításához az egyes felmérési álláspontból készített pontthalmazokat a térben össze kell illeszteni. Az összeillesztéshez szükséges transzformációs paraméterek meghatározását tájékozásnak hívjuk. A tájékozás pontossága közvetlenül befolyásolja a fák pontthalmazban látható alakját és méreteit, így a tájékozás minősége kihat a fák térképezési pontosságára. Munkánkban erdei környezetben készített lézerszkenneléseket kétféle szoftverrel (Leica Cyclone, CloudCompare) tájékoztunk, majd megvizsgáltuk, hogy az egyes megoldások alkalmazása hogyan befolyásolja a levezetett törzstérképek pontosságát.

Bevezetés

A multi-scan (MS), azaz több álláspontból végzett lézerszkennelés nagyobb kiterjedésű erdei mintaterületek, összetett szerkezetű faállományok, vagy egyed szintű, részletes szerkezeti modellek előállítását teszi lehetővé. Alkalmazásával egyenletesebb ponteloszlás érhető el, ami javítja a pontthalmaz alapján végzett becslések pontosságát, leginkább fiatalabb korú és színtezett állományokban (BROLLY ÉS KIRÁLY, 2017). Az egyes álláspontokból felmért pontthalmazok összeillesztése a felmérést követő feldolgozás része. Első lépésben az egyes pontthalmazok átfordító területein azonos pontokat kell megjelölni, amelyek alapján a pontthalmazok egymáshoz viszonyított helyzete egy térbeli vektor, három forgatási szög és opcionálisan egy méretaránytényező formájában meghatározható (relatív tájékozás). A közös pontokat az erdőbecslési célú felmérések túlnyomó többségénél a tájékozás céljára kifejlesztett mesterséges tárgyak testesítik meg, melyeket ebben a dolgozatban összefoglaló néven kapcsolójelnek nevezünk. Léteznek olyan tájékozási módszerek is, amelyek nem igénylik kapcsolójelnek kihelyezését, mert a közös pontokat a pontthalmazok részleteinek egyeztetésével automatikusan felderítik. Ezek inkább mesterséges környezetben alkalmazhatók. Amennyiben legalább két pont helye valamely térképezési rendszerben ismert, a pontthalmaz földi vonatkozási rendszerbe is átszámítható (abszolút tájékozás). Az átszámítás leggyakoribb formája a térbeli hasonlósági (Helmert) transzformáció vagy egybevágósági (merev test) transzformáció; mindkettő a térbeli affin transzformáció speciális esetének tekinthető.

Az MS felvételek feldolgozása, különösen a tájékozás, jelentős ráfordítást igényel, mind a szükséges szoftver, mind a feldolgozási idő tekintetében. Ezt jól érzékelteti, hogy BAUWENS *et al* (2016) másfél órát fordítottak öt álláspontból végzett felmérések feldolgozására, szemben az egy álláspontból végzett felmérések tíz perces feldolgozásával. Egy adott műszertípus pontfelhőinek tájékozása leghatékonyabban a műszergyártó által javasolt, professzionális szoftverrel

végezhető el. Ezeknek a szoftvereknek a beruházási igénye a műszer árához viszonyítva is jelentős tétel, ami az erdészeti ágazatban akadály lehet az egyébként ígéretes technológia gyors elterjedésének.

Intézetünk a régebb óta használt, ingyenesen elérhető CloudCompare szoftver mellett, 2019. óta a GINOP-2.3.3-15-2016-00039 projekt támogatásából Leica Cyclone feldolgozó programhoz szükséges licensszel is rendelkezik, ezért időszerű, hogy a két szoftver alkalmazhatóságának kereteit meghatározzuk. A szerzők olyan szoftveres megoldásokat vizsgálnak, amelyekkel rövid idő alatt, de magas színvonalon elvégezhető a lézerszkennelt ponthalmazok alapvető feldolgozása, mindenekelőtt a pontfelhők tájékozása. A tájékozás megoldása egyben hiányt pótló feladat, hiszen mások által regisztrált pontfelhőkből – saját fejlesztésű algoritmussal – eredményesen tudunk faállománybecslést végrehajtani (LIANG *et al.*, 2018).

A tanulmány célja, hogy röviden ismertesse a szerzők tapasztalatait a pontfelhők tájékozásának területén, amelyet egy ingyenesen elérhető, nyílt forráskódú és egy kereskedelmi forgalomban kapható, professzionális szoftver összehasonlításával szereztek.

Vizsgálati anyag és módszer

A tájékozási eljárások különböző jellegű szoftverekkel történő összehasonlítását a Pilisi Parkerdő Zrt. kezelésében álló, Esztergom-Pilisszentlélek községhatárban található ProSilva erdőállományban végrehajtott felmérés alapján végeztük el. A felmérés közelítőleg 50×50 méter területet fed le, amelyen idős bükk állomány található alacsony újulattal és gyér aljnövényzettel. A felmérés 2018 decemberében történt (lombtalan állapotban) négy álláspontból, Leica BLK360 lézerszkennelvel (1. a ábra). Egy szkennelési ciklusban a négy álláspont egyikéről történt az adatgyűjtés, a maradék három műszerállványon pedig egyenként két darab, saját készítésű jeltárcsát alkalmaztunk kapcsolójelként. A felső jeltárcsa hagyományos prizmatalpra rögzítve foglalt helyet a műszerállványon, míg az alsó a műszerállvány lábára lett felerősítve. A felső jeltárcsa nyomtatott, egyedi azonosítót tartalmaz. Az alsó jeltárcsa tartalékként szolgált, emellett az irányzások pontosságának ellenőrzését is lehetővé tette. A mérési ciklusok közötti átálláskor a szkennel egy saját tervezésű, saját gyártású adapteren keresztül (vízszintes értelemben) központosan rögzíthető a felső jeltárcsa helyére. A négy felvételi álláspont mellett egy további jeltárcsát is kihelyeztünk, amit egy mérőállomás prizmatotjára erősítettünk fel. Egy műszerállásból minimum három kapcsolójel jól irányozhatóan látszott a ponthalmazban (1. b-c ábra).

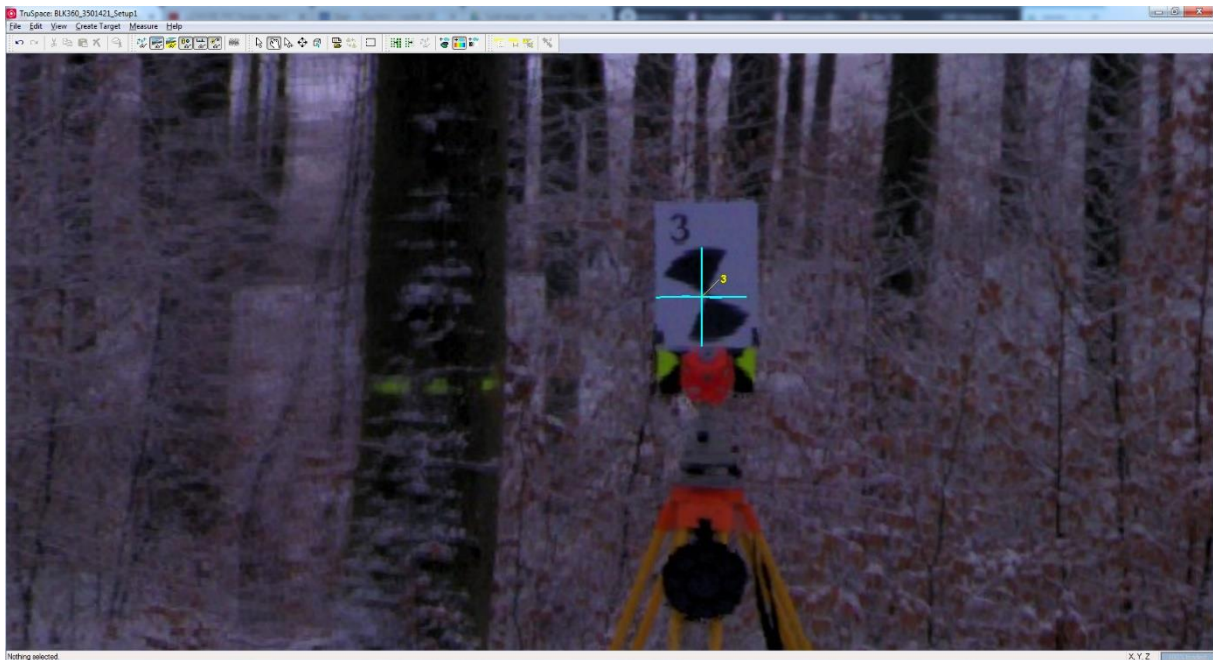


1. ábra. Téli felmérés Leica BLK360 lézerszkennelvel (a). Az állványra helyezett kapcsolójel intenzitás szerinti leképeződése a ponthalmazban (b), egy kapcsolójel közelről, amelyen látszik, hogy az intenzitásértékek a pontokhoz tartoznak (c)

A felmérés során nagyfelbontású szkennelést alkalmaztunk, ami 10 méter távolságban 0,5 cm-es névleges ponttávolságot eredményez. A műszer a fényképek alapján minden koordináta-hoz RGB színeket is rendel. A termális kép adatainak pontokhoz rendelésére jelenleg csak a mérés utófeldolgozására szolgáló szoftverrel végezhető el.

A pontthalmazok relatív tájékozását a Leica Cyclone 9.3.2 (leica-geosystems.com) próbaverziójával és a CloudCompare 2.10 (cloudcompare.org) ingyenesen elérhető, nyílt forráskódú szoftverével végeztük el.

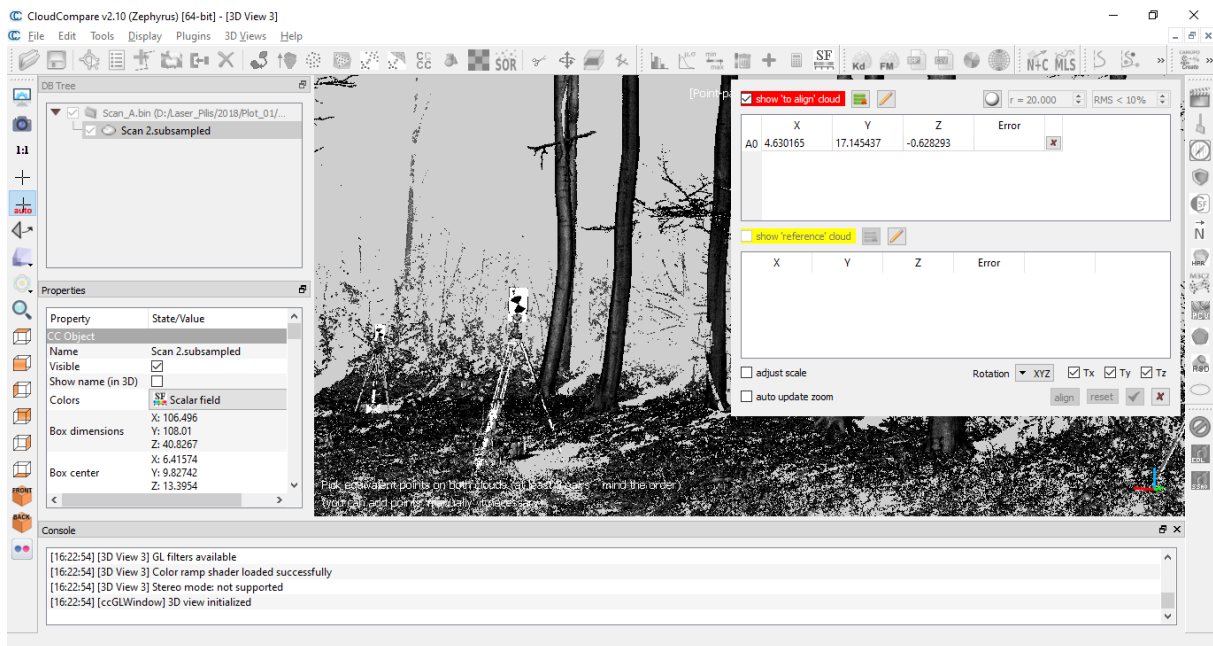
A Cyclone (2. ábra) közvetlenül olvassa a szkennertől mért adatokat, és a kihelyezett jeltárcsák többségét automatikusan felismerte, valamint meghatározta a jel középpontját. A jeltárcsák azonosítását a rajtuk található azonosító szám leolvasásával a felhasználó végzi el. A tájékozás során a pontthalmazok tájékozási adatai együttes kiegyenlítéssel kerülnek meghatározásra, hasonlóan a fotogrammetriából ismert tömbkiegyenlítéshez.



2. ábra: A Leica Cyclone 9.3. felhasználói felülete

A CloudCompare (3. ábra) nem értelmezi a Leica BLK360 szkennertől használt zárt fájlformátumot, ezért az ASTM E57 fájlformátumon keresztül konvertálásra van szükség. A jeltárcsák megjelölése csak manuálisan lehetséges, amihez egy nagyon szűk funkciókészletet nyújtó felület tartozik. A relatív tájékozás során egy tetszőlegesen választott pontfelhőt fixnek tekintünk, a többi pedig sorban hozzá kapcsoljuk a közös kapcsolójelek megirányozásával. Ez a módszer a fotogrammetria kettős képkapcsolási módszerére hasonlít. A CloudCompare-rel történő tájékozás időszükséglete a felmérési álláspontok számával közel egyenesen arányos, jelentős részét az adatok előfeldolgozása (konverziók, lehatárolás, közelítő tájékozás, tisztítás) teszi ki. Az operátori munkaigény nagyobb aránya miatt a feldolgozás időszükséglete erősen függ a feldolgozást végző személy rutinjától.

A Cyclone és CloudCompare programokkal tájékozott pontthalmazokat BROLLY et al. (2015) módszere szerint, azonos beállításokkal dolgoztuk fel, ami két törzstérképet és két faegyed-szintű becslési sorozatot eredményezett. A törzstérképek és becslések eltérései kizárólag a modellek forrásaként szolgáló pontthalmaz tájékozásának módjától, illetve az azzal elért pontosságtól függ. A teljesség kedvéért megjegyezzük, hogy a pontthalmazok abszolút tájékozása helyett az abból előállított törzstérképet tájékoztuk hozzá egy korábbi felmérésből előállított, EOVS vetületű törzstérképhez. A faegyed szintű paraméterek meghatározásának pontosságát az abszolút tájékozás nem befolyásolja.



3. ábra: A CloudCompare 2.10. felhasználói felülete

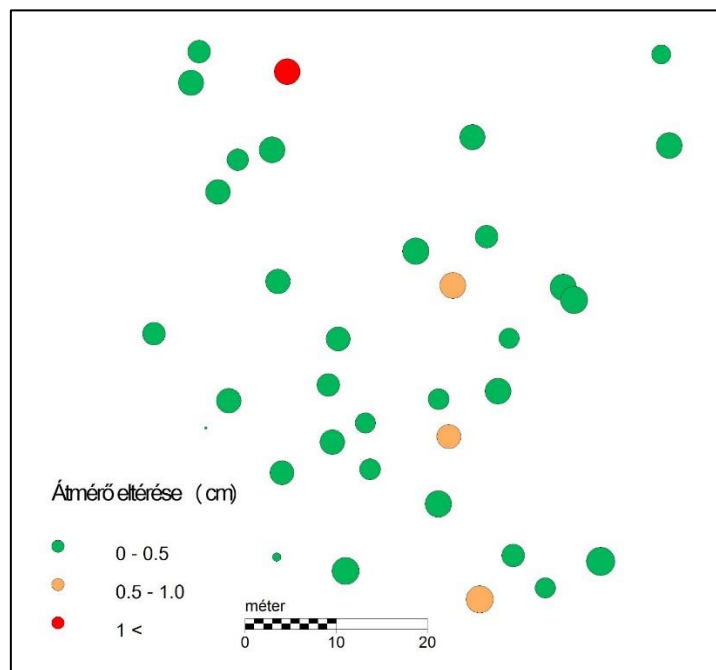
Eredmények és következtetések

A Cyclone-nal és a CloudComparrel a relatív tájékozások átlagos belső pontossága rendre $\pm 0,6$ cm és $\pm 0,9$ cm. A három illesztett pontfelhő transzformációs eltolásvektorának átlagos eltérése vízszintesen 0,9 cm, magasságilag -1,1 cm, míg a vízszintes elforgatás átlagos eltérése $1'34''$.

A transzformációs paraméterek eltéréseinek legfőbb oka, hogy a Cyclone objektum szinten értelmezi a kapcsolójeleket, ezért a jeltárcsa intenzitásértékeinek mintázata alapján képes arra, hogy annak közepét a mérések távolságát meghaladó pontossággal jelölje meg. A CloudCompare ezzel szemben csak adat szinten teszi lehetővé az irányzást, ami azt jelenti, hogy a jeltárcsa közepét az ahhoz legközelebbi pontméréssel helyettesíti. Ezzel a közelítéssel 20 méteres távolságig és nagy pontsűrűségű mérési beállítás mellett legfeljebb 5 mm körüli hibára számíthatunk. Az ennél nagyobb hibák oka, hogy a szkennerek a tárcsák sötétebb felületéről – különösen 10 méternél nagyobb távolságban – már nem detektál minden pontmérést. A jeltárcsák közepénél előforduló adathiány a CloudCompare esetében akkor is lehetetlenné teszi a középpont megjelölését, ha az a tárcsán látható mintázatból egyébként becsülhető. További hibaforrás, hogy a jeltárcsákat a különböző irányból történő szkennelések miatt forgatni kell, ami néhány milliméteres külpontossági hibát okoz.

A fájlomány adatok feldolgozása mindkét szoftver használata mellett 35 faegyed detektálását eredményezte. A relatív tájékozás hibája, gyakorlati szempontból nézve, elsősorban az átmérőbecslésben jelentkezik. Az átmérőbecslés az azonosított fákra automatikus úton létrehozott, egyed szintű törzsmodellek alapján történt. A relatív tájékozás átmérőbecslésben betöltött szerepének fontosságát a 3. ábra érzékelteti. Könnyen belátható, hogy a tájékozási hibák a törzs palástja mentén elhelyezkedő pontok látszólagos elcsúszását okozza, ami hibás alakú keresztmetszetet és hibás átmérőbecslést okoz. A különböző módon tájékozott pontthalmazok alapján

végzett átmérőbecslések eltéréseit a 4. ábra szemlélteti. A 35 faegyedre az átmérőbecslés eltérésének átlaga 0,1 mm, a legnagyobb abszolút eltérés 2,2 mm. Az abszolút eltérés 31 faegyed (89%) esetén 0,5 mm-nél kisebb.



4. ábra. A Cyclone és CloudCompare szoftverekkel tájékozott ponthalmazokból levezetett átmérőbecslések eltérései

Az összehasonlítás alapján elmondható, hogy az ingyenes, nyílt forráskódú CloudCompare, és a kereskedelemben kapható, professzionális Cyclone programokkal elvégzett tájékozás a gyakorlat szempontjából teljesen azonos törzstérképhez és átmérőbecsléshez vezetett. Ez annál is inkább figyelemre méltó, mert a transzformációhoz meghatározott eltolásvektorok vízszintes komponense az átmérőbecslések eltérésénél jelentősen nagyobb, átlagosan 0,9 cm eltérést mutatott. Hangsúlyozzuk, hogy a közölt összehasonlítás a két különböző módszerrel tájékozott ponthalmaz feldolgozásának eredményeire vonatkozik, és nem terepi referenciamérésekre. A közölt eredmények ezért csak a tájékozás átmérőbecslésre gyakorolt hatásáról tájékoztatnak. Az átmérőbecslés abszolút pontosságának vizsgálata nem célja ennek a tanulmánynak, de LIANG *et al.* (2018) munkájában részletes elemzés olvasható az általunk használt eljárás átmérőbecslési pontosságáról.

Összefoglalás

A tanulmány több álláspontból végzett földi lézershakkenelés során felmért térbeli ponthalmazok tájékozási feladataira keres szoftveres megoldást. Egy erdei környezetben készített, négy álláspont felmérését tartalmazó ponthalmaz relatív tájékozását összehasonlítás céljából a kereskedelmi forgalomban megvásárolható Cyclone és az ingyenesen elérhető CloudCompare szoftverrel végeztük el. A tájékozott ponthalmazokból automatikus úton levezetett fa pozíciók és mellmagassági törzstérképek az erdészeti gyakorlat szempontjából azonosnak tekinthetők. A CloudCompare választása esetén a beruházáson megtakarított költség – az irodai utófeldolgozás magasabb aránya révén – később jelentkezik. Mintavételes, vagy néhány álláspontból készített felmérések esetén a CloudCompare költséghatékony megoldást nyújt a pontfelhők tájékozására, de a munkaterület és a felvételi álláspontok növelésével indokoltá válhat a magasabb fokon automatizált Cyclon szoftver alkalmazása.

Köszönetnyilvánítás: A kutatás a „Fás biomassza termesztési feltételeinek vizsgálata” GINOP-2.3.3-15-2016-00039 projekt és a Pilisi Parkerdő Zrt. támogatásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- BAUWENS S. – BARTHOLOMEUS H. – CALDERS K. – LEJEUNE P. (2016): Forest Inventory with Terrestrial LiDAR: A Comparison of Static and Hand-Held Mobile Laser Scanning. *Forests*. 7. 127; doi:10.3390/f7060127
- BROLLY G. – KIRÁLY G. – CZIMBER K. (2015): Fejlesztések egyesfák dendrometriai jellemzőinek automatizált meghatározására földi lézerszkennerek adataiból. V. Kari Tudományos Konferencia. Nyugat-magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Sopron. 67-72.
- BROLLY G. – KIRÁLY G. (2017): Lézerszkenneres faállomány-becslési eredmények összehasonlítása a felmérési mód és az állományjellemzők alapján. VI. Kari konferencia. Soproni Egyetem Kiadó, Sopron. 128-132.
- LIANG X. – HYYPPÄ J. – KAARTINEN H. – LEHTOMÄKI M. (további 27 szerző) (2018): International benchmarking of terrestrial laser scanning approaches for forest inventories. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 144, 137-179.

LÉGI LÉZERES ÉS HIPERSPEKTRÁLIS FAÁLLOMÁNY-FELMÉRÉS ELSŐ EREDMÉNYEI

CZIMBER KORNÉL¹, BURAI PÉTER², ROMÁN ANDRÁS³

¹ Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Geodéziai, Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Intézet

² Debreceni Egyetem, Távérzékelési Szolgáltató Központ

³ Pannónia Kft.

czimber.kornel@uni-sopron.hu

Ebben a cikkben ismertetjük a hiperspektrális légifelvétel alapú fafajterképezés és a légi lézeres letapogatással készült faállomány felvételezési projekt módszertanát és eddigi eredményeit. A hiperspektrális légifelvételek a multispektrális műholdfelvételeknél, az infraszínes ortofotóknál hatékonyabban tudják térképezni a felső lombkoronaszint fafajait. A teljes jelalakos légi lézeres letapogatás voxeles feldolgozása képes közvetlen vagy levezetett erdőleltározási adatokat szolgáltatni, úgymint törzspozíciók, törzsméret, fmagasság, lombkorona terület és térfogat, záródás és fatérfogat. A légi módszereket képfeldolgozás alapú körleltározásokkal egészítettük ki. A földi mérésekhez fejlesztett eljárások a körleltározás, fafaj, elegyarány becsülésében segítenek. A légi felvételezés feldolgozását szerver környezetben, szuperszámítógépekre, a földi fotogrammetriát pedig mobil eszközökre fejlesztettük. A légi és a földi módszer kombinálása után megszülettek az első eredmények, amelyekről e cikk keretében számolunk be.

Bevezetés

Korábbi földmérő oktatóink állították, hogy a geodéziában mindent kitaláltak, papírra vetettek, nincs már új kutatási terület. Előbb a számítástechnika fejlődése cáfolta meg ezt az állítást, majd a mérés technika gyors fejlődése. Ráadásul ez a fejlődés napjainkban is zajlik. A számítógépekkel együtt megjelentek a számítást, térképprajzolást segítő programok, később a térbeli elemzést nyújtó geoinformatikai szoftverek. A mérés technikát is átalakította a digitális fejlődés, lézeres letapogatás, digitális képalkotók, és folyamatosan jönnek ki különféle adathordozókhoz (földön, vízben, levegőben, űrben) az egyre hatékonyabb érzékelők, amelyek hatalmas mennyiségű adathalmazt (*big data*) szolgáltatnak, mindez új feldolgozási eljárások, szoftverek fejlesztését indukálja.

Erdőgazdálkodói, tulajdonosi, fatermesztői, tervezési, felügyeleti szempontból az erdő, mint megújuló természeti erőforrás minél pontosabb ismerete alapvető igény. A távérzékelési adatokat (űrfelvételek, légifelvételek, lézeres letapogatások) egyre gyakrabban használják erdőleltározásra (ANDERSEN et al. 2011; BARRETT et al. 2009) a dendrológiai (fafaj, elegyarány), valamint dendrometriai (átmérő, magasság, fatérfogat, záródás) jellemzők kinyerésére. Hazánkban is számos kutatás folyik ezzel kapcsolatban (KIRÁLY et al. 2012, KOVÁCS et al. 2018). Több kutatás is foglalkozik lombkorona elkülönítéssel és ez alapján egyesfa felméréssel, de ezt általában egykorú, tülevelű erdőkben teszik. A földi távérzékelési eljárások is folyamatosan fejlődnek, például a közel fotogrammetria (CZIMBER, 2018) vagy a földi lézerszkennelés (BROLLY ET AL. 2013). A mai mérés technikai, feldolgozási eljárások, adatmennyiség megteremti a lehetőséget a precíziós erdőgazdálkodás kialakítására, hasonlóan a mezőgazdaság más területeihez, itt is centiméteres geometriai pontossággal tudunk adatokat az állományt alkotó faegyedekről. Természetesen vannak eltérések, itt nem tápanyag utánpótlási tervet, hanem pontos, egyedszintű felmérést, nyomon követést, nevelést, gépvezérlést lehet megvalósítani.

A címben jelzett témában 2016-ban kezdtük meg kutató-fejlesztő tevékenységünket, amelyben pontos menetrend szerint haladtunk, kijelöltünk és felmértünk faállományokat, fejlesztettük a feldolgozó szoftvereket, és kiértékeljük az eredményeket. Tettük mindezt egy kutatás (GINOP-2.1.1-15-2016-01030) keretén belül. Az eddigi eredményeket több előadásban ismertettük, de most szeretnénk írásban is az érdekeltek elé tárni. Fejlesztéseink a szakirodalomban megismert

módszerek alkalmazásán, továbbfejlesztésén és új eljárások kidolgozásán alapulnak. A kutatás módszerének tesztelésébe számos erdőgazdasággal vettük fel a kapcsolatot. A teszterületek kiértékelése nagyobb részt elkészült, néhány még folyamatban van.

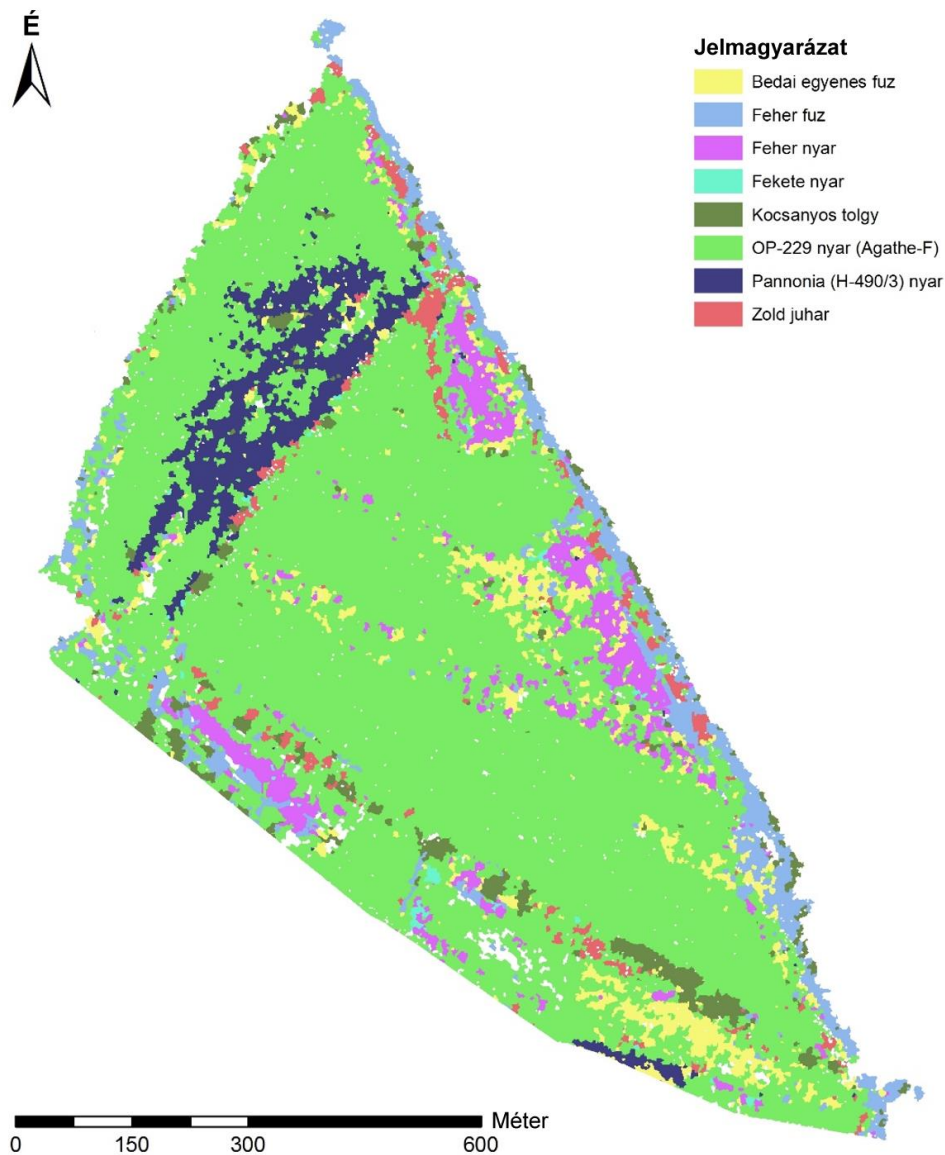
A kutatás során többféle adatforrást, adatgyűjtési eljárást kipróbáltunk. A műholdas felvételek előnye, hogy nagyterületről készít homogén adathalmazt, és a felvételek sok esetben ingyenesen hozzáférhetők, hátránya, hogy a felbontás kisebb és bizonyos időközönként készülnek felvételek. A felhőzet korlátozza a műholdképek feldolgozhatóságát. A légi eljárás előnyei az előbbihez képest a jóval nagyobb felbontás. Lézeres letapogatás esetén akár cm-es pontosságú. A légi adatgyűjtés ideje kiválasztható. A légi hordozók a kisrepülőgépek és a drónok (pilóta nélküli légijárművek). A drónok hatékonysága napi néhány 100 hektár, egy kisrepülőgép ezalatt akár több százezer hektárt is fel tud mérni. Minden előbbi eljárás földi referencia adatokra támaszkodik. A földi eljárások hátránya a nagy élőkommunka- és költségigény, az adatgyűjtés gyakran mintavétel jellegű. A földi fotogrammetriát és földi lézerszkennelést a fatörzsek, az aljnövényzet kitakarása befolyásolja. Fenti előnyök és hátrányok mérlegelése alapján döntöttünk kisrepülőgépes légifelvételezés és légi lézeres letapogatás mellett földi referencia mérésekkel kiegészítve.

Hiperspektrális fafajterképezés

A feldolgozási folyamat első része a megfelelő pontosságú fafajterkép előállítás, amely az uralkodó lombkoronaszintről készít 1 méteres felbontású térképet. A hiperspektrális felvevők 100 fölötti spektrális sávban rögzítenek információkat, ezáltal a fafajokat elkülönítő kis különbségeket képesek rögzíteni. Összehasonlításképp az emberi szem a látható fény három sávjában (kék, zöld, vörös) képes érzékelni. Terepi felbontás tekintetében tapasztalataink szerint nem célszerű 1 méter alá menni a felbontással, mert túl zajos képeket és sok félreosztályozást eredményez. Az általunk használt pixel alapú módszer egy összesített spektrumot rögzít a fák koronájáról. A feldolgozáshoz megfelelő számú földi referenciamérés szükséges, adott földrajzi pozícióban milyen fafaj lombkoronája található, de földi referencia spektrumokat nem kell gyűjteni.

1. táblázat. Osztályozás mátrix (általában a sikeres osztályozás, átlón kívül a félreosztályozás %-os értékei) egy gemenci erdőrészletben.

<i>Fafaj</i>	<i>BEFU</i>	<i>OPNY</i>	<i>FF</i>	<i>FRNY</i>	<i>ZJ</i>	<i>PANY</i>	<i>FTNY</i>	<i>KST</i>	<i>Mind</i>
<i>BEFU</i>	81.48	0.00	0.00	3.70	2.86	0.00	0.00	0.00	8.25
<i>OPNY</i>	12.96	97.18	0.00	35.19	0.00	3.09	75.47	0.00	36.32
<i>FF</i>	1.85	0.00	96.36	1.85	0.00	0.00	0.00	0.00	9.65
<i>FRNY</i>	0.00	0.00	0.00	59.26	0.00	0.00	0.00	0.00	5.61
<i>ZJ</i>	0.00	2.11	0.00	0.00	62.86	0.00	0.00	0.00	4.39
<i>PANY</i>	3.70	0.70	0.00	0.00	34.29	96.91	1.89	0.00	19.30
<i>FTNY</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.64	0.00	2.11
<i>KST</i>	0.00	0.00	3.64	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	14.39
<i>Mind</i>	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00



1. ábra. Hiperspektrális képből készült tematikus fafajterkép

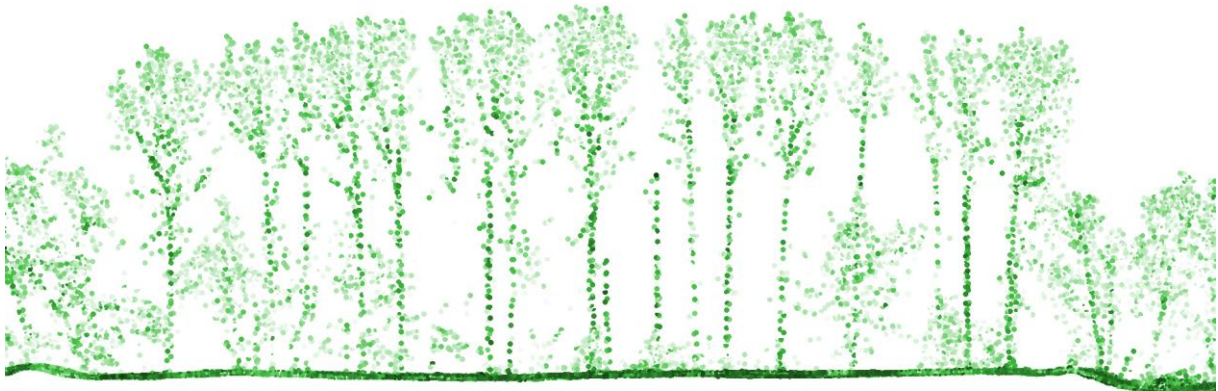
A referencia adatok felét a hiperspektrális képosztályozó tanítására, másik felét az osztályozó tesztelésére használjuk. Minél több tanítóterületet adunk meg, annál hatékonyabb a módszer. A tanítópixelek pozíciói erdőterületen több évtizeden keresztül használhatók. Az osztályozáshoz Random Forest (RF) vagy Support Vector Machine (SVM) osztályozókat használunk. Az eddigi osztályozások átlagos pontossága a tesztek alapján 80% fölötti eredményt adott (1. táblázat). Az osztályozó szépen teljesít a felső lombkoronában lévő fafajok, az egyes tölgyek és cser szétválasztásában, kevésbé jó a második lombkorona térképezésében, bizonyos nyárfajok elkülönítésében (fehér és feketenyár). Az osztályozás eredménye egy tematikus térkép, amely az egyes fák lombkoronája alapján összesíthető (1. ábra).

Légi lézeres letapogatás

A légi lézeres letapogatás során a hordozóra szerelt kibocsátó-érzékelő berendezés egy pásztázó lézersugarat bocsát ki. A másodpercenként több százezer kibocsátott lézersugár a széttartás miatt különböző felületekről (ágak, levelek, törzsek, talajfelszín) eltérő időpontokban verődik

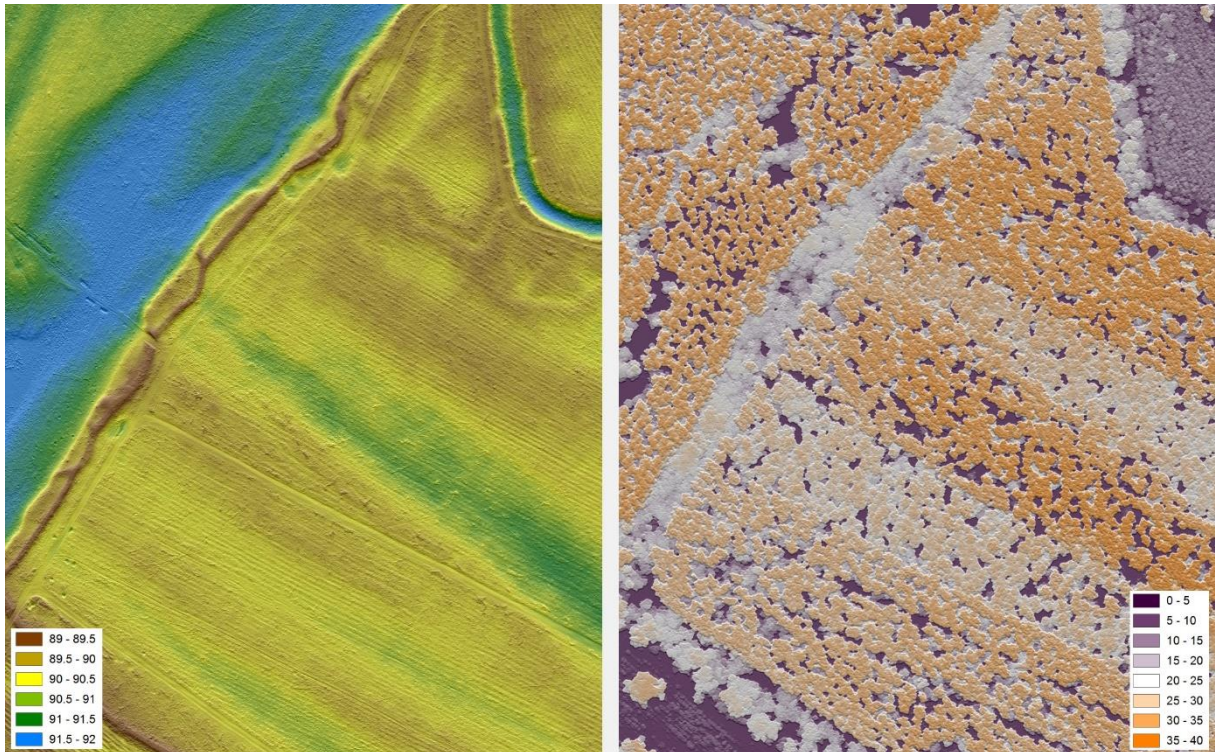
vissza, amelyet az érzékelő rögzít. A repülőgép pontos helyzetéből (GNSS pozíció és repülési irány) valamint az időadatokból a felületek pontjainak térbeli koordinátái számíthatók. A keletkezett pontok száma több százmillió, ezért pontfelhőről beszélünk. A pontok a pozíción kívül egyéb fontos adatokat is tartalmaznak, úgymint intenzitás, visszaverődés száma, képi adatok. A letapogató berendezést kisrepülőgép, újabban műhold és drón is képes hordozni. A letapogató berendezések folyamatosan fejlődnek, időközönként megduplázódik a teljesítményük, vannak már multispektrális lézerek (zöld, vörös, infravörös), valamint függőleges és ferde felvételezési tengelyűek is (MORSODORF et al 2009).

A kutatáshoz felhasznált légi lézeres adatok 12 pont/m² sűrűséggel készültek, amely a repülési magasság, sebesség, a szenzor teljesítményének függvénye. Az felvételezési sávok átfedése és a többszörös visszaverődés miatt a végleges pontsűrűség ennek 2-4-szerese. Ez a pontsűrűség már elegendő információt nyújt a talajfelszín, törzsek, vastagabb ágakat, első és a második lombkorona szint azonosításához (2. ábra). A felvételezést lombtalan állapotban végezzük, hogy a pontok a fák törzséről, vastagabb ágairól, és ne a falevelekről verődjenek vissza. A kisrepülőgépre telepített letapogató berendezés naponta több ezer km² területet képes felvételezni. Az előállított adatmennyiséget szuperszámítógépen dolgozzuk fel.



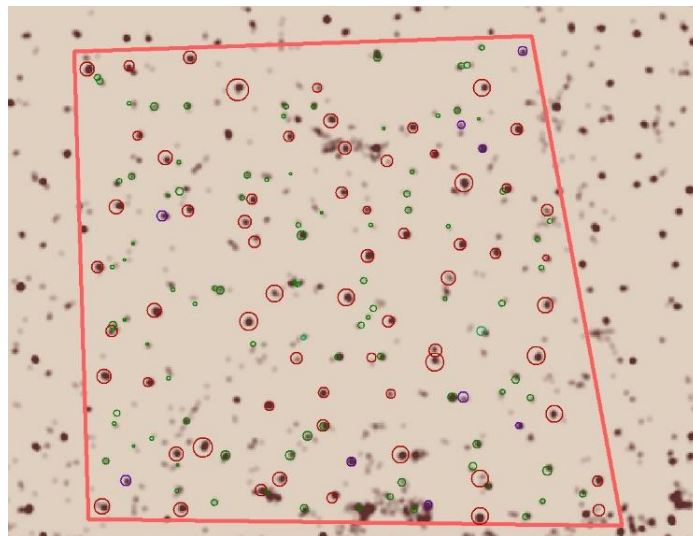
2. ábra: Pontfelhő 4 méter széles sávjának oldalnézeti képe az intenzitás szerint színezve

A légi lézeres adatok feldolgozása több lépésben valósul meg. Elsőként a pontokat egy rács adatszerkezetbe töltjük be, majd rendezzük a pontokat magasság szerint, hogy gyorsan lehessen belőlük térbeli elemeket, voxeleket (térbeli kockákat) képezni. Betöltés után kiszűrjük a környező pontokhoz képest alacsonyan vagy magasan fekvő zajos pontokat. Ezután kúp (VOSSELMANN, 2000) és morfológiai szűrőkkel kiválogatjuk a talajpontokat és a felső lombkorona pontjait. A szűrés után mozgó regressziós síkokkal történik a domborzat- és a lombkoronafelszín interpolációja (3. ábra). A domborzatmodell olyan részletességű, hogy a kirajzolódik az évtizedekkel ezelőtti talajművelés vagy a fekvő holtfák.



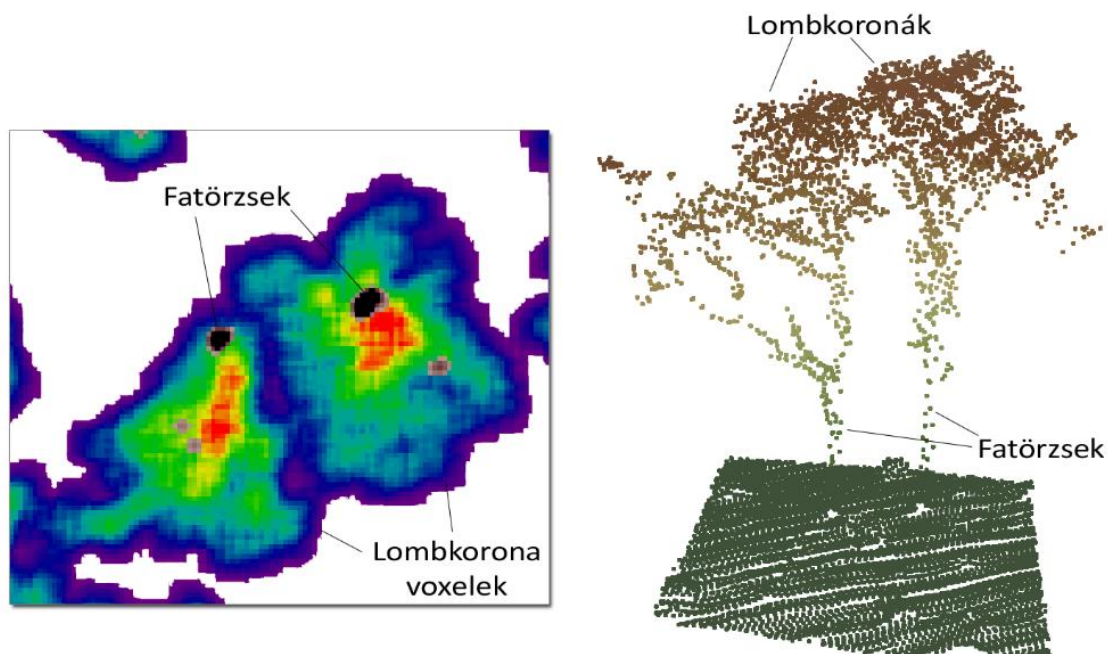
3. ábra: Gemenci terület domborzatmodellje (bal) és lombkorona felszíne (jobb)

A fáállomány a két detektált felület között helyezkedik el. Az algoritmus ezután átvált voxel alapú feldolgozásra. A voxel eljárás előnye, hogy képes kezelni az átfedéseket, valamint könnyen definiálhatók a térbeli kapcsolatok, térbeli elemző módszerek. 10 és 50 cm közötti voxelekkel dolgozunk. Az eljárás 2-20 méteres tartományban több magassági sávban keres voxel csoportosulásokat. Második lombkorona jelenlétének az alacsonyabb sávokban történik detektálás, magas aljnövényzetnél viszont a 10 méter feletti zónákban. A voxeleket térbeli kernellel és az intenzitással súlyozzuk, amely segít a törzsek felismerésében és a törzsvastagságra is mérőszámot ad (4. ábra). A vastag törzseket nagy pontossággal (90% fölött), a vékony törzseket 12-15 cm-től ismeri fel az eljárás, amely a jövőben a pontsűrűség növelésével tovább javulhat. A felismerésben gondot okozhatnak a fafajfüggő sűrű oldalágak vagy a törzsekhez közeli cserjék, fiatal egyedek.



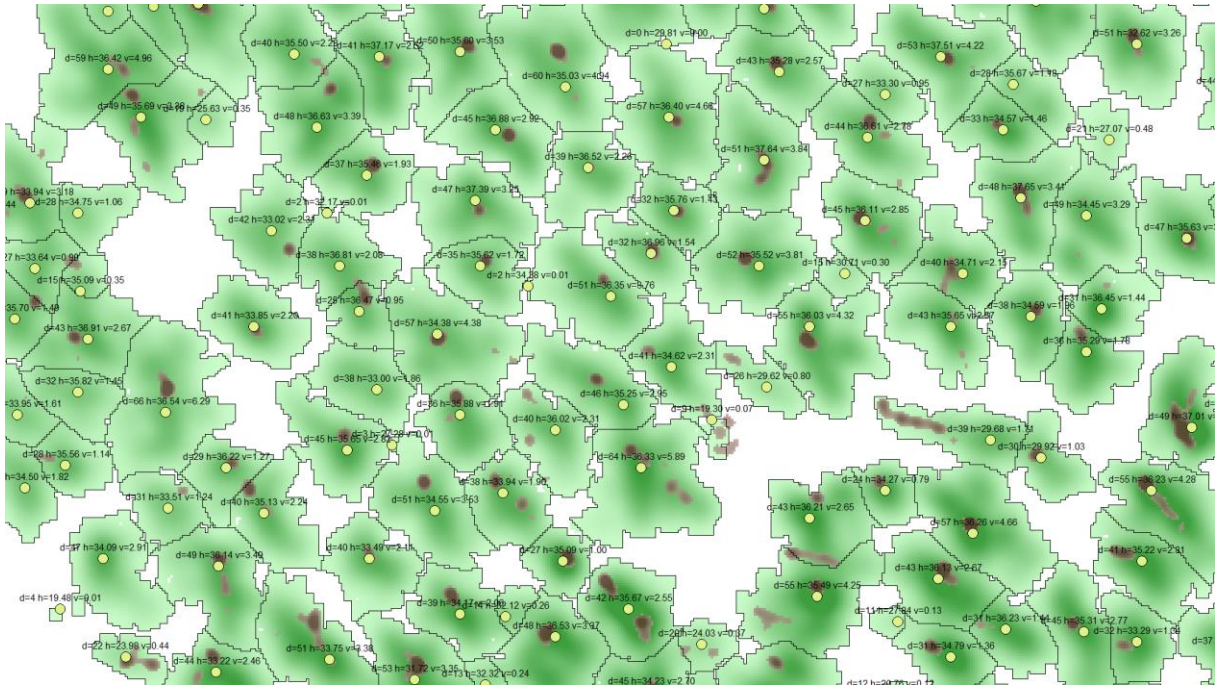
4. ábra: 1-4 méteres magasságban felismert törzsek voxeltérképe (barna) és a referencia átmérők (zöld és vörös körök)

Az algoritmus következő lépése a korona voxeltömeg előállítás. Itt is egy kernellel súlyozzuk a korona voxeleket és függőlegesen összesítjük a magasság felső harmadában. A lombkorona összesítés történhet a felső lombkoronaszinten kívül a második lombkorona magassági sávjában is. Az összegfelület kirajzolja az egyes fák koronáit, maximumpontja a fakorona csúcsa (5. ábra). Ez a módszer eredményesen tudja elkülöníteni lombos fák összeérő koronáit, ahol a szakirodalomban eddig ismertetett elkülönítési eljárások egyként ismernek fel (például inverz vízgyűjtő vagy távolság alapú szegmentálás). A nagyobb fák összetett koronáját ugyanezek az eljárások több részkoronára bontják, addig ez az eljárás az egy törzshöz kapcsolódó lokális maximumpontokat összekapcsolja. Az új algoritmus nem alkalmaz erőteljes simítást (például inverz vízgyűjtő módszer), mellyel az egymástól viszonylag távol álló koronákat összemosza, és ezáltal jelentősen növeli az egyes fák lombkoraméretét, amely hamis térfogat adatokat eredményez. A csúcspont és a közeli törzspozíció összekapcsolásával pontos ferde famagasságot lehet számítani. A voxeleket ezután egy iteratív algoritmussal soroljuk a maximumpontokhoz, így megkapjuk a koronát felépítő voxeleket.

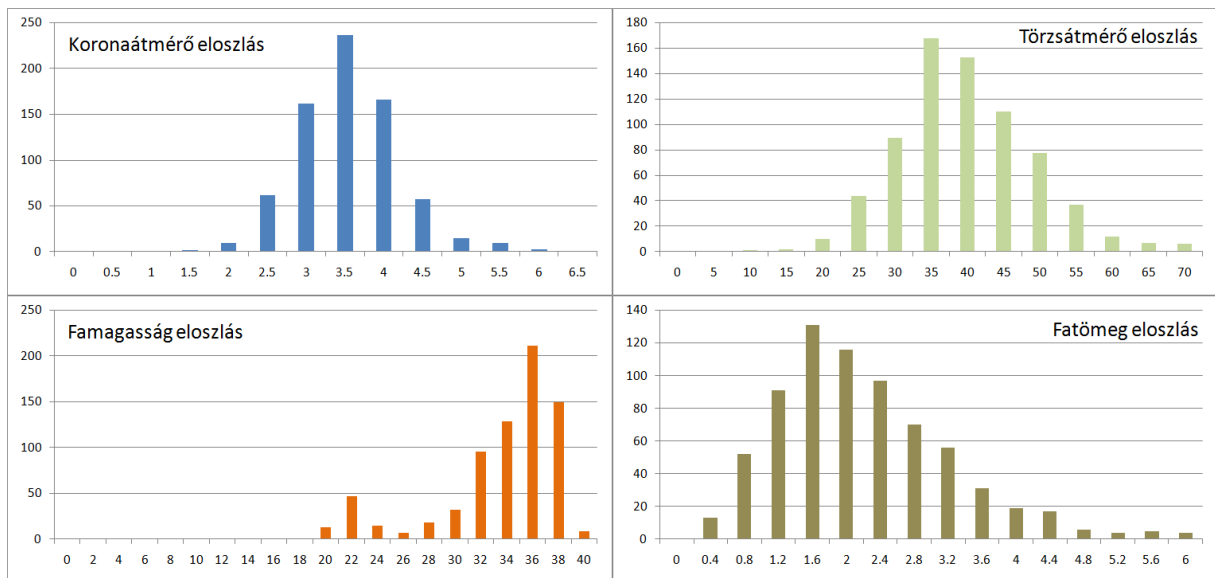


5. ábra: Lombkorona elkülönítés voxelek egyesítésével (bal) a térbeli pontfelhőből (jobb)

A besorolás egyedileg azonosít minden fakoronát, ezáltal a törzsszámot, és faegyedenként a voxeltömegből koronaterület, koronaterület és átlagos korona átmérő számítható. A koronajellemzők és a törzsátmérő között szoros összefüggés van, amelynek levezetése fatermési táblák-ból vagy a később bemutatott terepi módszerekkel lehetséges. Az egyes fák térfogata a fafaj ismeretében a magasságból, és a négy lehetséges módszerből (famagasság, koronaterület, koronaterület, törzs voxelek) közvetetten számított törzsátmérőből lehetséges. Ha a törzs nem látható, vagy nem megfelelő törzsátmérő számítható a törzs voxelekből, akkor a koronaterület és a famagasságot használjuk. A fakoronák csúcspontját és poligonjait a voxelek alapján digitalizáljuk és a dendrometriai jellemzőkkel együtt vektoros térinformatikai állományba írjuk, amelyet akár faegyedenként vagy erdőrészletre összesítve is vizsgálhatunk (6. ábra). Összesítés után a koronaátmérő, törzsátmérő, famagasság, fatérfogat eloszlása előállítható és grafikonokon megjeleníthető (7. ábra).



6. ábra Lombkorona összesített voxel térkép (zöld), törzsek összesített voxel térképe (barna) és az egyes fák meghatározott törzsátmérő, famagasság, fatérfogat adatai (feliratok)



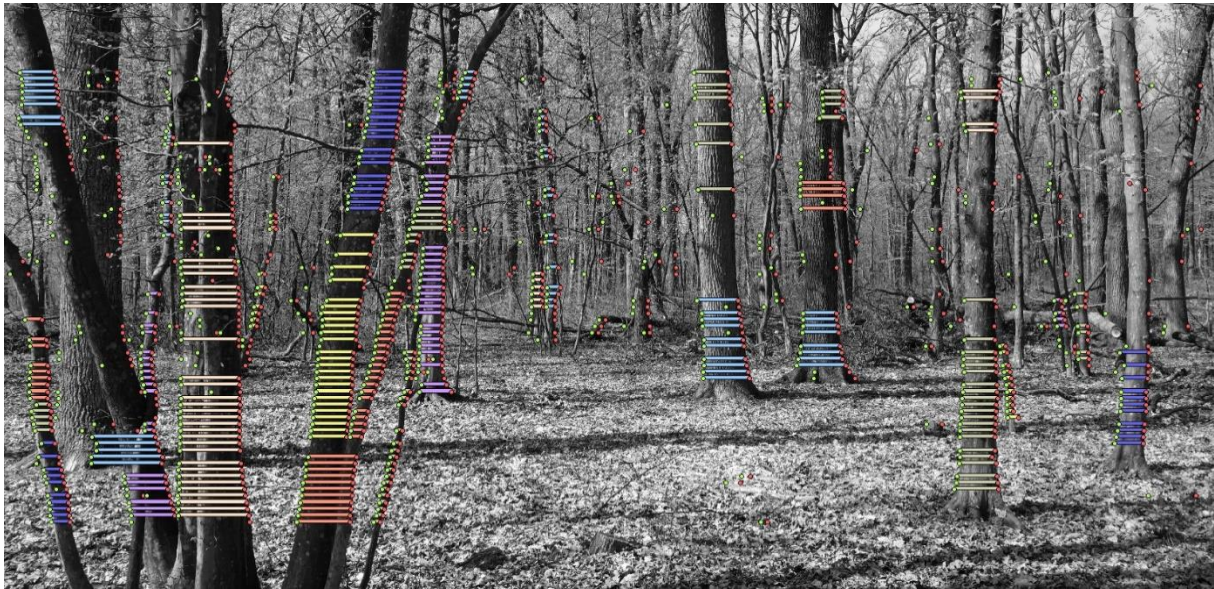
7. ábra Voxelok összesítéséből levezetett dendrometriai jellemzők eloszlása egy erdőrésztben

Földi referencia mérések

A földi referenciaméréseknek több célja van, információt nyújt a faállomány térbeli szerkezetéről, az aljnövényzet, második lombkoronaszint jelenlétéről, a lombkoronaszinteket alkotó fafajokról, azok elegyarányáról és körlapösszegekről, szükség esetén az átlagátmérőről, átmérő eloszlásáról (utóbbi számlálás, vegyeskorú állomány esetén fontos).

A referenciamérések helyszínét a légi adatgyűjtés után, a fafajterkép és a lézeres adatokból előállított famagasság modell után jelöltük ki. A képi és magassági adatokból területnövesztő szegmentálással (CZIMBER, 2018) homogén csoportokat képeztünk, és középpontjukban jelöltük ki a felvételi pontokat.

A terepi méréseknél a felkeresett helyszíni pontokon körben digitális fényképeket készítettünk. A felvételeket először kalibráltuk, mely a radiális irányú torzulásokat csökkenti. A kalibrált fényképekhez egy algoritmust fejlesztettünk, mely a szín és textúra leíró jellemzőinek változása alapján határozza meg automatikusan a törzseket (8. ábra). A jellemzők kinyerése alkalmassá teszi az algoritmust tanulásra, ezáltal fafajok meghatározására is. Előfordul magas aljnövényzetű állományban, hogy az algoritmus nem ismeri fel egyértelműen a törzseket, ilyenkor lehetőség van a manuális javításra. Az alapján, hogy a detektált törzsek milyen szög alatt látszanak, az eljárás fafajonként tudja számolni a hektáronkénti körlapösszeget és körlappal súlyozott elegyarányt tud meghatározni. Minden $\arctan(1/50)$ foknál vastagabb törzs 1 m²/ha körlapot képvisel. A mai fényképezőgépek (mobiltelefonos és kompakt digitális kamerák) szögfelbontása nagyon magas, 1 szögpercnél is jobb, a hagyományos optikai eszközöknél pontosabban lehet eldönteni, hogy egy törzs a határszélességnél vastagabb vagy sem.



8. ábra Közel fotogrammetria egyképes körlap meghatározáshoz

Az algoritmust előbb prototípus szoftverként használtuk, azóta beépítettük az Android, iOS és Windows platformon futó topoXpress szoftver erdészeti moduljába.

Eredmények

A hiperspektrális képosztályozáshoz, a légi lézeres letapogatáshoz kidolgoztunk egy teljes feldolgozási sort, amely előállítja a fafajterképet, domborzatmodellt, lombkoronafelszínt, lombkorona térfogatot, törzstérképet. Az algoritmus voxel alapokon dolgozik és a paraméterek megadása után automatikusan fut multiprocesszoros környezetben. A paramétereket egyelőre nem tudjuk területenként változtatni, ezért egy időben egy erdőrészt dolgozunk fel. Későbbi célunk, hogy az algoritmust felkészítsük a paraméterek futás idejű adaptív változtatására.

Elkészült két közel fotogrammetriai módszer. Az egyképes automatizált eljárás felismeri a fatörzseket, tanítás után képes a fafajokra is becslést adni. A kétképes módszer az átlagátmérő számításában és átmérőeloszlás becslésében segít. A földi felméréssel pontosítható a légi eljárás, a fel nem ismert vagy vékony törzsek, valamint a faj és elegyarány pontosabb megadásában.

A két módszer kombinációjával a törzsenkénti földi felvételi módszerrel összehasonlítható pontosságú eljárást kaptunk. A módszert eddig hét területen dolgoztuk fel, további területek feldolgozása folyamatban van. A kapott fatérfogat adatok összehasonlítását az adattár és a törzsenkénti felvétel adataival a 2. táblázat foglalja össze.

2. táblázat: A mintaterület élőfakészletének becslési pontossága

<i>Mintaterület</i>	<i>Erdőállomány Adattár</i>	<i>Törzsenkénti felvétel</i>	<i>Csak légi eljárás</i>	<i>Földivel korrigált</i>	<i>Eltérés</i>	<i>Mértékegység</i>
<i>Szenyér 18 D</i>	849	1 302	1 143	1 235	-5%	m^3
<i>Erdősmecske 12 B</i>	288	408	361	378	-7%	m^3/ha
<i>Pilisszentlélek 22 A</i>	513	-	397	438	-	m^3/ha
<i>Terem 140 A</i>	167	367	347	376	+2%	m^3/ha
<i>Ibrány 1 C</i>	294	421	366	-	-13%	m^3/ha
<i>Fenyőfő 7 E</i>	193	283	251	292	+4%	m^3/ha
<i>Baja 58 E</i>	249	401	328	375	-7%	m^3/ha

A táblázatból látható, hogy nagy eltérés (közel 40%-os) van az Erdőállomány Adattár és a törzsenkénti felvételek között. Az is látható, hogy a csak légi eljárás (regressziós koronaméret – törzsátmérő összefüggés alapján) szisztematikusan alul becsüli a fatérfogatot, ami érthető, mert nem ismer fel minden faegyedet. A földi referenciamérés ezért fontos, ezekkel lehet hiányzó faegyedek arányát, a koronaterfogot-törzsátmérő közötti összefüggést javítani. Sok helyütt találtunk ellentmondást az adattár körlap, átmérő, törzsszám, magasság, fatérfogot, valamint a terepi mérések és a légi felvételezés között.

Összefoglalás

A hiperspektrális térképezés a felső lombkoronaszint fafajainak hatékony térképezési eljárása lehet. A kutatás-fejlesztési projekt és a teszterületek feldolgozása alapján kijelenthetjük, hogy a faállományokról készült légi lézeres letapogatással előállított pontfelhőből számos dendrometriai jellemzőt lehet kinyerni. A földi fotogrammetriával támogatott földi referencia mérések a hagyományos méréseknél gyorsabbak és nélkülözhetetlen adatokat szolgáltatnak a légi eljárásokhoz. A cikkben bemutatott eljárást az ismert paramétereken túl további jellemzők kinyerését is biztosítja, úgymint a törzs elágazási magassága, a kidőlt fák helye, átmérője, hossza, a cserje szint jelenléte és magassága, valamint a pontos záródás. A projekt kezdete óta újabb és nagyobb felbontású szenzorok érhetőek már el, amellyel egyrészt a területlefedés, másrészt a pontsűrűség is növelhető. Léteznek már ferdén elhelyezett szkennerek, amelyek alkalmasabbak a fatörzsek függőleges felületeinek letapogatására. Megjelentek a multispektrális lézerszkennerek is, ezek a fafaj meghatározását segíthetik. Új lehetőségeket nyit a drónokra szerelhető lézerszkennerek, vagy lombkorona alatt repülő drónok fényképeinek egyeztetéséből előállított pontfelhők feldolgozása.

A légi lézeres letapogatás eddig nem látott domborzati és talajfelszíni részleteket mutatott meg az erdőterületeken. A korábbi szintvonalas térképeink, elérhető domborzati adatbázisok pontossága vitatható, akár több méteres eltérést is mutathat domb és hegyvidéki erdeinkben. A lézeres letapogatás nemcsak a pontos domborzat és famagasság meghatározást teszi lehetővé, hanem a nyiladékok határát, erdei földutak, patakok, vízmosások, árkok helyét nagy pontossággal képes megmutatni, ezáltal a hatékony erdőterképezést a következő szintre emelheti. A fatörzsek pontos térképezése a modern erdészeti gépek, a fahasználat automatizálását, a precíziós erdőgazdálkodás kialakulását segítheti.

Folyamatban van újabb közel 100 erdőrészlet kiértékelése. Jelenleg még heterogén, vegyes állomány szerkezetű erdőrészletekben nem hatékony az eljárás, amikor erdőrészleten belül kellene változtatni a futási paramétereket. A módszert próbáljuk ezirányban fejleszteni, teljesen automatizálni.

A kutatás-fejlesztés befejeztével az algoritmus finomhangolása, továbbfejlesztése a mai napig nem állt le. Párhuzamosan különböző faállományviszonyú erdőrészekben, jelenleg erdőtümbökön teszteljük. Ezen túl, igyekszünk egy felhő alapú, webes szolgáltatást felállítani a feldolgozott adatok publikálására.

Köszönetnyilvánítás: Jelen publikáció az „EFOP-3.6.1-16-2016-00018 – A felsőoktatási rendszer K+F+I szerepvállalásának növelése intelligens szakosodás által Sopronban és Szombathelyen” című projekt támogatásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- ANDERSEN, H.-E. – STRUNK, J. – TEMESGEN, H. (2011): Using Airborne Light Detection and Ranging as a Sampling Tool for Estimating Forest Biomass Resources in the Upper Tanana Valley of Interior Alaska. *West. J. Appl. For.* 26(4) 2011, pp 157-164.
- BARRETT, T.M. – ANDERSEN, H.-E. – WINTERBERGER, K. C. (2009): Integrating field and lidar data to monitor Alaska's boreal forests. *Extending Forest Inventory in Space and Time*, May 19-22, 2009, Quebec City, Canada
- BROLLY G. – KIRÁLY G. – CZIMBER K. (2013): Mapping Forest Regeneration from Terrestrial Laser Scans, *Acta Silvatica Et Lignaria Hungarica* 9: pp. 135-146.
- CZIMBER K. (2018): Távérzékeléssel és mobil térinformatikával segített erdészeti adatgyűjtés. In: Molnár, Vanda (szerk.) *Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában IX: Theory meets practice in GIS*, Debrecen, Magyarország, Debreceni Egyetemi Kiadó, (2018) pp. 63-69.
- MORS DORF F – NICHOL C – MALTHUS T – WOODHOUSE I H (2009): Assessing forest structural and physiological information content of multi-spectral LiDAR waveforms by radiative transfer modelling, *Remote Sensing of Environment*, Volume 113, Issue 10, 2009, Pages 2152-2163
- KOVÁCS Z. – BEKŐ L. – BURAI P. (2018): Voxel alapú fapozíció-meghatározás pontfelhőből. In: Molnár, Vanda (szerk.) *Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában IX: Theory meets practice in GIS*, Debrecen, Magyarország, Debreceni Egyetemi Kiadó, (2018) pp. 171-178.
- KIRÁLY G. – BROLLY G. – BURAI P. (2012): Tree Height and Species Estimation Methods for Airborne Laser Scanning in a Forest Reserve. In: Nicholas Coops, Mike Wulder (szerk.) *Full Proceedings of SilviLaser 2012: 12th International Conference on LiDAR Applications for Assessing Forest Ecosystems*. 492 p. Konferencia helye, ideje: Vancouver, Kanada, 2012.09.16-19. Vancouver: pp. 260-270.
- VOSELNAN, G. (2000). Slope based filtering of laser altimetry data. *IAPRS. XXXIII*.

A SOPRONI SZENNYVÍZTISZTÍTÓ TELEP BIOGÁZÜZEMRE VETÍTETT ENERGIAMÉRLEGE

CZUPY IMRE, MÉSZÁROS IMRE, VÁGVÖLGYI ANDREA
Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Erdészeti-műszaki és Környezettechnikai Intézet
czupy.imre@uni-sopron.hu

Bevezetés

A szennyvíziszapból mint szervesanyagból anaerob fermentációval biogáz állítható elő. A biogázt gázmotorban elégetve villamos- és hőenergiát nyerhetünk. Az így termelt „zöld energiával” csökkenthető a vizsgált szennyvíztisztító telep külső -fosszilis- forrásból történő energiaellátása, ezzel együtt a villamos energia költségei is.

Kutatásunkban azt vizsgáltuk, milyen arányban fedezhető egy szennyvíztisztító telep villamosenergia-igénye, a telepen helyben, szennyvíziszapból termelt biogázból. Eredményeink alapján javaslatot tettünk a gázmotor üzemének optimalizálására.

A biogáz a villamosenergia-termelés fontos forrása; kihasználása nem csak energiatermelési kérdés, hanem hulladékkezelési és környezetvédelmi megfontolásokból is fontos. Magyarországon egyre több szennyvíztisztító telepen termelnek biogázt, melynek nagy részét a telep villamosenergia- és hőtermelésére használják fel. A szennyvíziszap szerves anyag, melyből anaerob körülmények között, mikroorganizmusok jelenlétében biogáz termelhető. A rothasztás, anaerob lebomlás során az anyag struktúrája átalakul. Szárazanyag tartalma csökken, hiszen egy részéből biogáz és víz keletkezik. Kezelhetősége, a víz fázis szétválaszthatósága javul (BENKŐ ÉS PITRIK, 2011). Szerves anyagok lebontásakor 1 kg tömegű alapanyagból akár 750-1120 dm³ gázhozam nyerhető. A rothasztóba betáplált szervesanyagra vonatkoztatva ez az érték 500-700 dm³/kg (SCHULZ ÉS EDER, 2001).

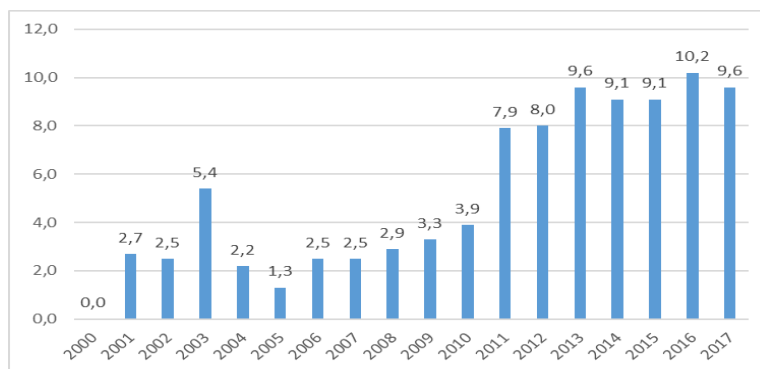
A Szennyvíziszap Kezelési és Hasznosítási Stratégia (2014-2023) alapján Magyarországon az összes szennyvíztisztító telep 2013. év végi biológiai terhelése 8.750.148 LE volt, melyből a becsült iszap mennyisége 179.378 t_{szá}/év. Az országos átlag 20,5 kg¹/LE²/év nagyságrendű. A szennyvíziszap szárazanyag tonnára vetített biogáz kihozatala átlagosan 450-600 Nm³ (Normál m³) (KACZ ÉS NEMÉNYI, 1998). Fenti adatokkal számolva hozzávetőlegesen 90 millió m³ biogáz állítható elő szennyvíziszapból, amely felhasználható kazánokban, gázmotorokban, mikroturbinákban vagy üzemanyagcellákban. Ha ehhez hozzávesszük, hogy egy m³ biogázból (CH₄ 65%) 1,5-2,2 kWh villamos energia állítható elő, akkor ez kb. 180 millió kWh villamos energia termelését jelenti évente. Így a biomassza, a biomasszából közvetve vagy közvetlenül előállított energiaforrás, és a hulladéklerakóból, illetve szennyvízkezelő létesítményből származó gáz, valamint biogáz is – részben – megújuló energiaforrásnak minősül.

A hasznosítását gazdasági- és környezetvédelmi szempontok is indokolják. A villamos energiáról szóló 2007. évi LXXXVI. törvény, és a távhőszolgáltatásról szóló 2005. évi XVIII. törvény a megújuló energiaforrásból előállított villamos- és hőenergia termelésének elősegítését irányozza elő.

A megújuló alapú villamosenergia-termelésben a biogáz részarányának változását mutatja az 1. ábra.

¹ iszap szárazanyagban értendő

² A lakosegyenérték (LE) azt a szerves eredetű, biológiailag lebomló terhelést jelenti, melynek 5 napos biokémiai oxigén igénye (BOI₅) 60 g oxigén/nap.



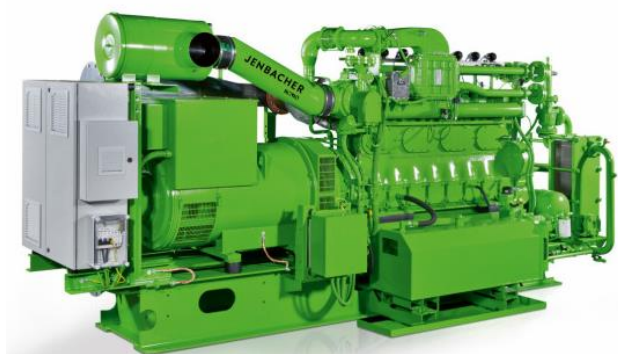
1. ábra: A megújuló alapú villamosenergia termelésben a biogáz részarányának változása Magyarországon 2000-2017 (%) (KSH, 2020)

A 2003-as kiugró értéktől eltekintve a villamos energiáról szóló 2005-ös és a távhőszolgáltatásról szóló 2007-es törvények hatása 2010-ig szembeűnő, 2010-ben ugrásszerű a növekedést produkált a biogázból előállított villamos energia részarányban.

A biogáz legelterjedtebb felhasználási módja a gázmotorban történő elégetés (KABDEBON, 2015). A gázmotor a nagyerművekkel megvalósított kapcsolt energiatermeléshez képest kisebb teljesítményű, az energiafelhasználás helyéhez közel telepíthető berendezés. Magyarországon a '90-es években ismerték fel a gázmotorok előnyeit, ezért gyorsan elterjedtek, és a hazai városok fűtőműveit szívesen bővítették, egészítették ki ezekkel a korszerű berendezésekkel (BEKE, 2016). Később ezek a berendezések a szennyvíztisztító telepen is megjelentek, mint villamos- és hőenergia előállítását szolgáló berendezések. A gázmotor önálló szabályozó automatikával rendelkező berendezés, amely a gázoldali betáplálás és a termelt villamos energia elvezetésén kívül más beavatkozást nem igényel. A hűtő és olajellátó rendszer vezérlését az automatika saját maga végzi. A gázmotorban elégetett biogáz kémiai energiája átalakul, és az így létrehozott elektromos- és hőenergiát lehet a szennyvíztisztító telepen hasznosítani. A gázmotor 50-100% terhelés tartományban üzemelhet, ami lehetővé teszi, hogy a keletkező biogázt az igényeknek megfelelően (villamos energia és hőenergia igény) lehessen felhasználni.

Anyag és módszer

Kutatásunk során a szennyvíztisztító telepen mért és rögzített adatok segítségével vizsgáltuk a szennyvíztisztító telep éves energiafogyasztását. Elemeztük a különböző gépcsoportok villamos energia felhasználását. Összevetettük a biogáz motor üzeme során felhasználott és megtermelt energiamennyiséget. Végül javaslatokat tettünk a biogáz mennyiségének növelésére. A szennyvíztisztító telepen egy Jenbacher Type-2 típusú gázmotor üzemel (2. ábra).



2. ábra: Jenbacher Type-2 típusú gázmotor (URL. 1.)

Technológia bemutatása

A Jenbacher Type-2 típusú gázmotor legfontosabb adatait az 1. táblázat foglalja össze.

1. táblázat: A gázmotor legfontosabb adatai (AQUINNO KFT.)

Hengerek száma	8 db
Hengerűrtartalom	16,6 dm ³
Fordulatszám	1500/min
A motor tömege	2000 kg
Elektromos teljesítmény	330 kW
Hőteljesítmény	405 kW
Felvett összes energetikai igény	852 kW
Max. biogáz felhasználás (6,4 kWh/Nm ³)	133 Nm ³ /h
A tápgáz szükséges nyomása	>60 mbar
Villamos áram termelési hatásfok	38,7%
Hasznosítható hőtermelési hatásfok	47,5%
Összes hatásfok	86,2%

Az irányítástechnikai rendszer minden fontos üzemelési adatot rögzít, ami a technológia indulásától fogva elérhető.

2015 előtti adatokat nem célszerű figyelembe venni, mivel a telep nagyobb mennyiségű zsíros hulladékokat is fogadott. Az év augusztusában érte el a gázmotor a harmincezer üzemórás szerit, amit az üzemeltető elvégeztetett az előírások szerint. Volumenére jellemző, hogy mintegy 15 millió forintba került. 2015. szeptembertől kezdődően mondható el, hogy üzemszerű állapotok állnak fenn a telepen.

A szennyvíztisztító telep, így a teljes technológia üzemeltetője, tulajdonosai az önkormányzatok. Az új technológia indulásakor az a döntés született, hogy a gázmotor üzemeltetését szakcégre bizzák, akinek van egy helyi megbízottja. A gázmotor üzemeltető, a helyi üzemeltető és a szennyvíztisztító telep üzemeltetője között többször volt érdekellentét. Egy példa: A gázmotor üzemeltetője inkább hosszabb, de nem a mélyvölgyi (0-06 óráig) időszakra nyúló üzemmenetet szeretett volna, minél kisebb teljesítménnyel. A telep üzemeltetőjének nagy, téli időszakban igen nagy mennyiségű hőre van szüksége. Tehát az ő érdekei szerint célszerűbb lett volna rövidebb ideig, de nagyobb teljesítménnyel üzemeltetni a gázmotort. Mivel a visszaadott hőmennyiség elégtelen volt, ezért a technológia üzemeltetője igényei szerint kénytelen volt beindítani biogáz kazánjait. Így elhasználta a biogáz egy részét a gázmotor elől. A fentiek alapján 2015. novembertől 2016. márciusig nem elemezhetők a gázmotor teljesítményadatai, mert nem mérve adóak.

A gázmotor és a technológia üzemeltetője között elindult tárgyalások alapján 2016. áprilistól a gázmotor helyi üzemeltetőjének képviselője a szennyvíztisztító telep üzemeltetője lett. Így az adatsor 2016. áprilistól újra irányt adó. A rothasztóból kilépő gáz tulajdonságai: hőmérséklete kb. 38 °C; páratartalma kb. 100% körüli; szennyező anyagot tartalmaz (pl. nitrogén, szén-monoxid, esetünkben nincs de jellemző még a kén-hidrogén is, valamint anyagi szennyeződések pl. iszap). A soproni telep jellemző gázösszetétele: metán: 63.47%, szén-dioxid: 31.6%, kén-hidrogén: kevesebb mint 100 ppm.

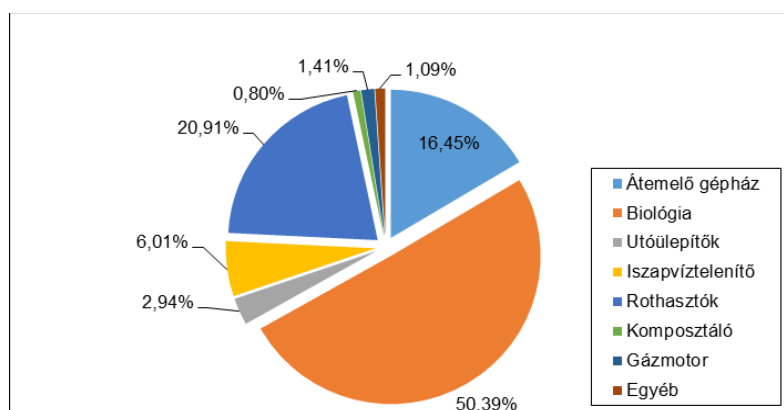
Gázmennyiség-mérés három helyen történik. Mindkét rothasztó toronynál mérik a megtermelt, valamint a gázmotornál az általa felhasznált biogáz mennyiségét. A biogáz mérése a termoelemes hőmérséklet mérés elve alapján történik. Nagyon nehéz a pontos mérés egy ilyen szennyezett, páratartalmú gáznál. Az érzékelőkre esetenként szennyező anyag rakódik le, amely hibával terhelt eredményt produkál. Mivel a gázmotorra némiképp tisztított (vizes kavicstöltetű mosó berendezés), mosott páratartalmában erősen csökkentett gáz kerül (a motorra

érkező páratartalomra nincsen határérték), és az összes mennyiséget a gázmotorral használják el, ez a mérés a mértékadó. Elméletileg meg kellene egyeznie a két rothasztó tornyon mért és a gázmotornál 100%-ban felhasznált gázmérés eredményeinek, de ez a legritkább esetben egyezik meg.

A gázmotorban elégetett biogáz kémiai energiája átalakul, és az így létrehozott elektromos és hőenergiát lehet a szennyvíztisztító telepen hasznosítani. A gázmotor 50-100% terhelés tartományban üzemelhet, ami lehetővé teszi, hogy a keletkező biogázt az igényeknek megfelelően (villamos- és hőenergia igény) lehessen felhasználni.

Eredmények és megvitatásuk

A villamosenergia-felhasználás megoszlását a telepen a 3. ábra szemlélteti.



3. ábra: A villamos energia megoszlása a szennyvíztisztító telepen 2016. április - 2017. március (MÉSZÁROS, 2017)

A számadatokban kifejezett értékeket az 2. táblázat tartalmazza.

2. táblázat: A villamos energia megoszlása a szennyvíztisztító telepen 2016. április -2017. március között kW-ban (MÉSZÁROS, 2017)

Gépcsoport	Megoszlás (%)	Fogyasztás (kW)
Átemelő gépház	16,45	428.723
Biológia	50,39	1.313.221
Utóülepítők	2,94	76.585
Iszapvíztelenítő	6,01	156.633
Rothasztók	20,91	544.966
Komposztáló	0,80	20.954
Gázmotor	1,41	36.704
Egyéb	1,09	28.488
Összesen	100	2.606.274

Az adatok alapján látható, hogy a telepen a biológiai szennyvíztisztítási technológia elemei a legnagyobb energiafogyasztók (50,39%), ezt követi a rothasztó tornyok energiafogyasztása, a gázmotoré mindössze 1,41%.

A biogáztermeléssel és energiafogyasztással kapcsolatos adatok a 3. táblázat mutatja be.

3. táblázat: A biogáztermeléssel és energiafogyasztással kapcsolatos adatok a szennyvíztisztító telepen (MÉSZÁROS, 2017)

2016-2017 év	Biogáz			Villamos energia			
Hónap	Termelt (m ³)	Gázmotor által felhasznált (m ³)	A gázmotor által hasznosított biogáz %-os aránya	A telep fogyasztása (KWh)	Gázmotor által termelt (kWh)	Gázmotor termelés részaránya a telep fogyasztásából (%)	Gázmotor termelés (kWh/m ³)
Április	62 845	56 489	89,89	218 043	133 100	61,04	2,36
Május	55 795	53 369	95,65	237 664	123 300	51,88	2,31
Június	50 784	47 253	93,05	228 529	108 300	47,39	2,29
Július	53 270	48 460	90,97	228 638	110 700	48,42	2,28
Augusztus	53 322	49 320	92,49	205 644	114 300	55,58	2,32
Szeptember	48 016	45 843	95,47	209 099	105 300	50,36	2,30
Október	53 949	49 015	90,85	223 771	112 000	50,05	2,29
November	61 885	51 914	83,89	213 350	119 100	55,82	2,29
December	65 511	56 070	85,59	203 782	128 800	63,20	2,30
Január	92 509	43 631	47,16	203 868	97 700	47,92	2,24
Február	72 321	30 927	42,76	201 809	67 000	33,20	2,17
Március	98 416	53 618	54,48	232 077	122 900	52,96	2,29
Összesen:	768 623	585 909	-	2 606 274	1 342 500	-	-
Átlag:	64 052	48 826	80,19	217 190	111 875	51,49	2,29

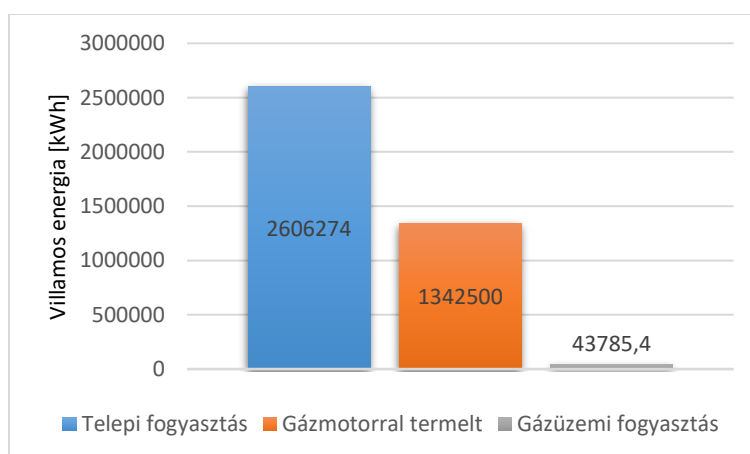
A szennyvíziszap rothasztása során megtermelt biogáz átlagosan 80%-a a gázmotorban hasznosításra került, de a táblázat alapján látható, hogy volt olyan hónap is, ahol ez az arány 90% feletti volt. A 80-90%-os biogáz hasznosulás jellemzően abból adódik, hogy egygépes üzem, nincs lehetőség tervszerű karbantartás, javítás, meghibásodás, üzemzavar elhárítás alatt másik gázmotor indítására, tehát biogázból villamosenergia-termelésre. Egygépes üzembről beszélünk, mivel a termelődő biogáz mennyiségét az egygépes rendszer is képes elhasználni, így a második gép üzembeállításának üzembiztonsági szempontja lehet. A biogázmotor tervszerű karbantartásának, javításának, meghibásodásának, üzemzavarának esetére két gázkazán is rendelkezésre áll. A vizsgálat évében a telep összes villamosenergia fogyasztása több mint 2,5 millió kWh volt. Az adatok szerint a gázmotor a telep villamos energia fogyasztásának, több mint 50%-át fedezni tudta.

A szennyvíztisztítási technológia szervesanyagterhelése, figyelemmel a tisztítóvonal közel másfél napos tartózkodási idejére, valamint az iszapvonal, a rothasztó torony közel húsz napos tartózkodási idejére, közel egyenletesnek vehető. Ugyan Sopron város speciális lakosságösszetételének következtében (állandó lakosok, bejelentetten ideiglenes lakosok, bejelentés nélkül itt tartózkodók számának változása) változó a szervesanyagterhelés, de ez a képződő biogáz hasznosítását nem akadályozza. Normál biogázmotor üzem esetén a teljes keletkező biogáz mennyiség felhasználásra kerül. A tisztítástechnológiánál a hétvégi hidraulikai terhelés 15%-kal, a szervesanyagterhelés 30%-kal is nőhet, szemben a szakirodalom által is jelzett várható csökkenéssel. Ez a megnövekedett terhelés a biogáz termelésre nem hat közvetlenül, a folyamat időbeni hossza révén kiegyenlítődik.

A soproni szennyvíztisztító telepen a megtermelt villamos energiát kiadják a villamos hálózatra, tehát így nincs korlátja a gázmotor üzemi teljesítményének. Gyakori megoldás más

szennyvíztisztító telepeken az, hogy a megtermelt villamos energiát telepen belül hasznosítják, így gyakorlati tapasztalatok alapján a gázmotor termelésének korlátja lehet a saját fogyasztás. Növelheti a villamos energiából származó bevételt, ha a gázmotort lehetőség szerint mélyvölgyi időszakban nem üzemeltetik. Az áram csúcsidőszakban 38.417 Ft/kWh, míg völgy időszakban 34.386 Ft/kWh, mélyvölgy időszakban 14.041 Ft/kWh, bár ebben az időszakban nem volt gázmotorüzem. Az előbbi időszakok egy átlagos havi üzemidőre vetítve közel 400.000 Ft különbözetet adnak. Ez egy évre 4.800.000 Ft kiesés üzemeltetési szempontból (2015-ös áram árak alapján).

A rohasztó tornyok mezofil hőmérséklet tartományban üzemelnek, tehát 35-38 C°-on. Üzemeltetői tapasztalat, hogy a gáztermelés 39-40 C°-on a legjobb, mivel ezen a hőmérsékleten a legjobb a gázkihozatal a tartózkodási idő, és iszapminőség függvényében. A gázmotor által termelt hőmennyiséget nem mérik (hőteljesítményén nincs mérés.) A megtermelt hő teljes egészében a fermentorok hőn tartására, a technológiai épület fűtésére fordítódik. Üzemeltetői tapasztalat, hogy minél nagyobb a gázmotor villamos teljesítménye, annál jobb a fajlagos hőteljesítmény. Azt mondhatjuk, hogy inkább legyen a napi üzemidő rövidebb, de a teljesítmény magasabb, melynek természetesen gazdasági vonzata is van. Hiszen a gázmotor karbantartás üzemóra szerint történik, és igen jelentős költség (az első harmincezer üzemórás nagyszervíz költsége meghaladta a 14 millió forintot). A telep villamos biogázüzem vonatkozásában vett fogyasztási arányait a 4. ábra mutatja be. A gázmotor üzem saját energiafogyasztása a gázmotor által termelt villamos energia és a telepi fogyasztás mellett csekély, a telepi fogyasztás 1,41%-a.



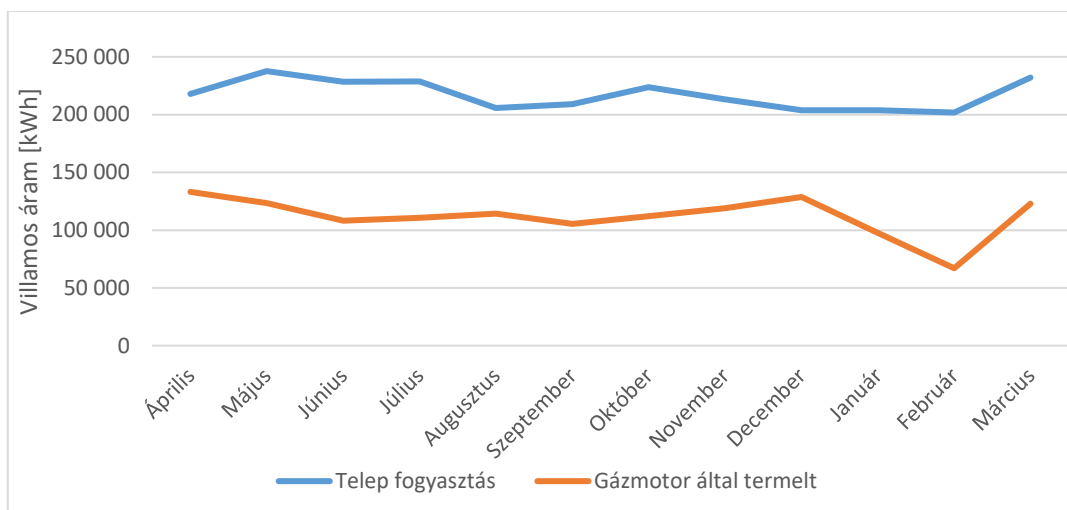
4. ábra: Villamos áram fogyasztási arányok a biogáz üzem vonatkozásában 2016. április - 2017. március (MÉSZÁROS, 2017)

A fogyasztott – termelt villamos áram mérlegét az 5. ábra mutatja be. A vizsgált időszak során gyakorlatilag folyamatosan tartotta az energiamérleg a közel 50%-ot.

A gázmotor az elmúlt időszakban is közel azonos kihozattal, megbízhatóan működik. Jelentős leállás, üzemzavar, hozamingadozás nem volt. Az iszapkezelési technológiában változás nem történt. Tekinthejtük az elemzési bázisul választott 2016-2017-es időszakot jellemzőnek. Az adatok, következtetések a folyamatos monitoring alapján napjainkban is helytállóak.

Összefoglalás

Kutatásunkban azt vizsgáltuk, milyen arányban fedezhető egy szennyvíztisztító telep villamos-energia-igénye, a telepen helyben, szennyvíziszapból termelt biogázból. A soproni szennyvíztisztító telepen végeztük vizsgálatainkat. A telepen képződött biogázból átlagosan a telepi villamos-energiafogyasztás 50%-át tudtuk megtermelni.



5. ábra: Fogyasztott - termelt villamos áram 2016. április - 2017. március (MÉSZÁROS, 2017)

Az Aquinno Kft. a tisztítás-technológia generáltervezője az üzemeltető adatait elemezve a következő üzemóra-ra vetített gázmotor költségeket számolta: fenntartási költség: 1800 Ft/üh, amortizációs költség: 1000 Ft/üh. Mivel a gázmotor TMK (tervszerű megelőző karbantartás) jellegű költségei 30.000 üzemóránként igen jelentősek, ezért javasolt a magasabb terhelésen való üzem. A téli, hideg időjárásban fontosabb a gázmotor villamos teljesítményénél a hőteljesítmény, a tisztítóüzem szempontjából. Javasolt a magasabb teljesítményen való üzem, így ugyan kevesebb az üzemóra (a jelentős TMK költség is), de mégis több a leadott hő. A technológia, helységek nem igényelnek folyamatos fűtést, inkább hőntartást. A fentiek alapján mindenképpen javasoljuk a magasabb terhelésen való üzemeltetést. A termelt villamos áramot közvetlenül a külső hálózatra termelik ki, ezért gazdasági szempontból javasoljuk az üzemelés ideje amennyire lehetséges fedje a csúcsidőszak időtartamát, és minél kevésbé fedje a völgyi időszakot, és kerülje a mélyvölgyi időszakot.

Köszönetnyilvánítás: A tanulmány/kutató munka a „Fenntartható Nyersanyag-gazdálkodási Tematikus Hálózat – RING 2017” című, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 jelű projekt részeként a Szechenyi2020 program keretében az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- AQUINNO KFT.: Soproni szennyvíztisztító telepnek korszerűsítése iszap és szennyvízkezelés. Végleges kezelési utasítás.
- BEKE P. (2016): A hazai CHP- alapú villamosenergia-termelés idősoros elemzése, a gázmotoros megoldások jövője és zajterhelési vonatkozásai *Journal of Central European Green Innovation* 4 (2) 21-38.
- BENKŐ ZS. I. – PITRIK J. (2011): TAMOP 4.2.5 Energetika – Energiamenedzsment.
- KABDEBON B. (2015): A biogáz-termelés és -felhasználás alakulása Magyarországon és az EU tagállamaiban. Szakdolgozat, Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar.
- KACZ K. – NEMÉNYI M. (1998): A megújuló energiaforrások. Agrárműszaki Kiskönyvtár, Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó. Budapest.
- KÖZPONTI STATISZTIKAI HIVATAL ADATBÁZISA (2020), www.ksh.hu.
- MÉSZÁROS I. (2017): Biogázmotorok üzemeltetése. Szakdolgozat Széchenyi István Egyetem, Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar, Mosonmagyaróvár.
- SCHULZ, H.- EDER, B. (2001): Biogas – Praxis, ökobuch Verlag. Staufen bei Freiburg.

Szennyvíziszap Kezelési és Hasznosítási Stratégia (2014-2023).

Távhőszolgáltatásról szóló 2005. évi XVIII. törvény.

Villamos energiáról szóló 2007. évi LXXXVI. törvény.

Internetes hivatkozások:

URL. 1. <https://www.innio.com/en/products/jenbacher/type-2>

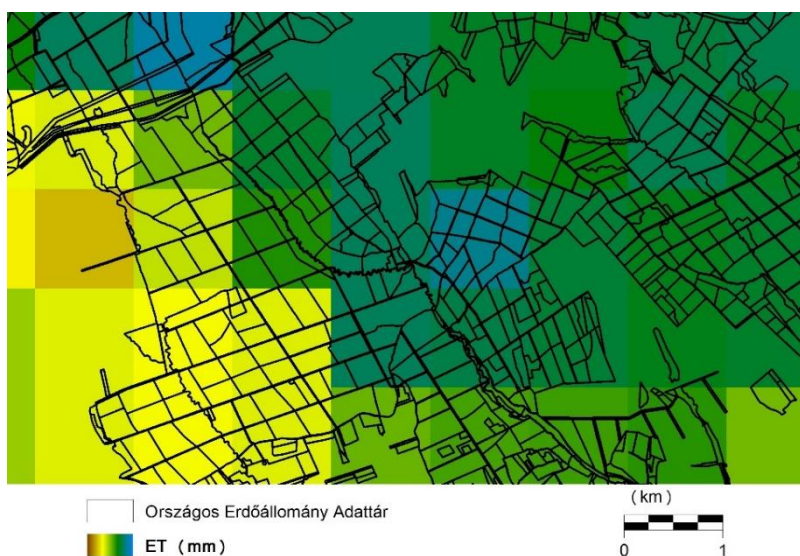
ERDŐÁLLOMÁNYOK VÍZHÁZTARTÁSÁNAK VIZSGÁLATA AZ ALFÖLDÖN, LESKÁLÁZOTT PÁROLGÁSTÉRKÉPEK SEGÍTSÉGÉVEL

CSÁKI PÉTER, CZIMBER KORNÉL, KIRÁLY GÉZA, KALICZ PÉTER, ZAGYVAINÉ KISS KATALIN
ANITA, GRIBOVSZKI ZOLTÁN
Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Geomatikai, Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Intézet
csaki.peter@uni-sopron.hu

Bevezetés

Az egyre szélesebb körben alkalmazott távérzékelési adatokon alapuló párolgásbecslő módszerek segítséget nyújtanak az erdők vízháztartásának vizsgálatában. Hazánk tekintetében jelenleg a legmegbízhatóbb térben osztott párolgásbecslő modell a CREMAP (Calibration-Free Evapotranspiration Mapping, SZILÁGYI – KOVÁCS 2011), mely MODIS felszíni hőmérséklet adatokon alapul.

A CREMAP modellel készült párolgástérképek térbeli felbontása 1000 m * 1000 m (1 km²). Így használatukkal csak korlátozott léptékű elemzések folytathatók, pl. az erdőt, mint egy felszínborítási kategória lehet összehasonlítani a többi kategóriával (mezőgazdasági területek, mesterséges felszínek, stb., CSÁKI *et al.* 2017). Az Országos Erdőállomány Adattár (2012) vektoros adatbázisa alapján a hazai erdőgazdálkodásban használt erdőrészek jóval kisebbek (átlagosan 5-6 ha) a CREMAP párolgástérkép 1 km²-es pixeleinél (1. ábra).



1. ábra: Az Országos Erdőállomány Adattár vektoros adatbázis és az 1 km² felbontású raszteres párolgástérkép (ET) metszete

Nagyobb felbontású párolgástérképekkel lehetőség nyílik az egyes erdőrészek, erdőállományok vízforgalma közötti különbségek elemzésére. Ezért egy korábbi kutatás során a CREMAP párolgástérképek leskalázási módszerének kidolgozását tűztük ki célul (CSÁKI *et al.* 2019a,b). Jelen tanulmányban a leskalázás eredményeképpen kapott nagyobb felbontású párolgástérképek segítségével elemezzük az Alföld erdőterületein található különböző erdőállományok vízfelhasználását, egy szárazabb és egy nedvesebb év példáján.

Vizsgálati anyag és módszer

A leskálázás során a CREMAP párolgástérképek (SZILÁGYI–KOVÁCS 2011) pixeleinek 1 km²-es felbontását növeltük, abból kiindulva, hogy a létrejövő több pixel átlaga az eredeti nagyobb pixel értéke. A párolgástérképek mellé, a szakirodalmak alapján (ALLEN *et al.* 2011, HONG *et al.* 2011, MAHOUR *et al.* 2017) a MODIS NDVI-t (Normalizált Vegetációs Index) használtuk, mint változó, a regresszió meghatározásához. A leskálázást a 2003-as és a 2005-ös évek vegetációs periódusára (május-október) végeztük el (CSÁKI *et al.* 2019a,b). Előbbi egy szárazabb (magasabb átlaghőmérséklet, kevesebb csapadék), míg utóbbi egy nedvesebb (alacsonyabb átlaghőmérséklet, több csapadék) időszak volt.

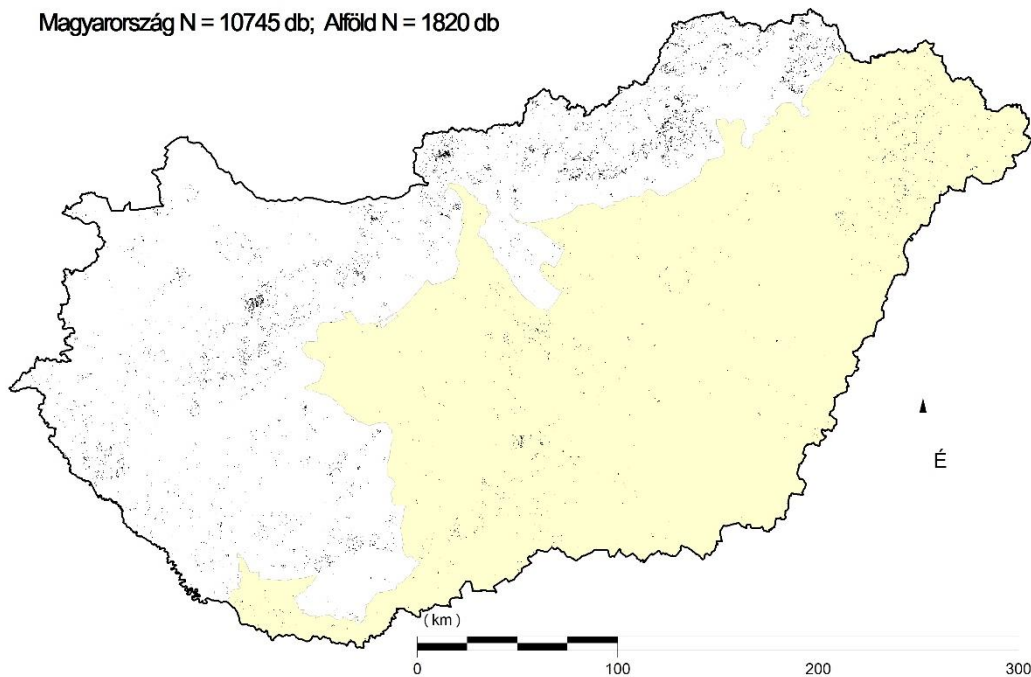
Az erdőállomány típusok vízháztartásának számszerűsítéséhez az előállított raszteres párolgástérképeket az Országos Erdőállomány Adattár (2012) vektoros állományával metsztük. A különböző erdőállományok hidrológiai összehasonlítása érdekében a korábban alkalmazott 101 db faállomány típust 15 db típusba (célállomány) vontuk össze a 61/2017. XII. 21. FM rendelet („az erdőről, az erdő védelméről és az erdőgazdálkodásról szóló 2009. évi XXXVII. törvény végrehajtásáról”) alapján. Ezek a következők: bükkös, gyertyános-tölgyes; tölgyes; cseres; molyhos tölgyes; akácos; hazai egyéb kemény lombos; idegenhonos kemény lombos; nemes nyáras vagy nemes fűzes; hazai nyáras; víztűrő egyéb lágylomb; hazai egyéb lágylomb; erdei fenyves; feketefenyves; egyéb fenyves. Az egy típusba tartozó, egymás mellett elhelyezkedő területeket összevontuk, majd egy, a párolgástérképre illeszkedő 250 m * 250 m-es rácshálóval metsztük. Az így létrejött vektoros állományt, ami alkalmas a területi szűrésre, feltöltöttük a hozzá tartozó párolgásértékekkel. Egy párolgás pixelhez több faállomány típus is tartozhat. A statisztika során az ilyen „kevert pixelek” értéke beszámításra kerülne több kategóriába is, tom-pítva ezzel a faállomány típusok között jelentkező különbségeket. E probléma kiküszöbölésére területi szűréseket alkalmaztunk. Az elemzéseknél csak a teljes „homogén pixeleket” vettük figyelembe, tehát csak azokat a cellákat, amelyek teljes területe (6,25 ha) egy faállomány típusba tartozott.

Vizsgálati eredmények

A leskálázott párolgástérképen az Alföld nagytáj erdőterületein a vizsgálathoz összesen 1820 db „homogén pixel” állt rendelkezésre (tehát amelyek teljes, 6,25 hektáros területe egy faállomány típusba tartozott; 2. ábra).

Az eredmények a 3. ábrán láthatók. Az Alföld erdőterületein a 15 db célállomány típusból 12 db volt megtalálható az Adattár alapján.

A melegebb és szárazabb időszakban (2003. május-október) nagyobbak voltak az egyes faállomány típusok párolgás értékei között jelentkező, valamint az egyes kategóriákon belüli (szóródás, szórás, variációs együttható) különbségek is. Mindkét vizsgált évben a „Gyertyános-tölgyes” kategória átlagos párolgása volt a legmagasabb (545 és 527 mm). Ezt követték a „Víztűrő egyéb lágylomb” és a „Hazai egyéb kemény lombos” kategóriák (2003-ban az előbbi, 2005-ben pedig az utóbbihoz tartozott magasabb átlag). Meg kell említeni, hogy mind a három előzőleg említett kategória alacsony pixelszámmal rendelkezik. A legalacsonyabb átlagos párolgása az első időszakban a „Feketefenyves” faállomány típusnak (369 mm), míg a második időszakban az „Egyéb fenyves” kategóriának (404 mm) volt. Alacsony átlagos érték tartozott még a „Cseres” és a „Hazai nyáras” kategóriákhoz.

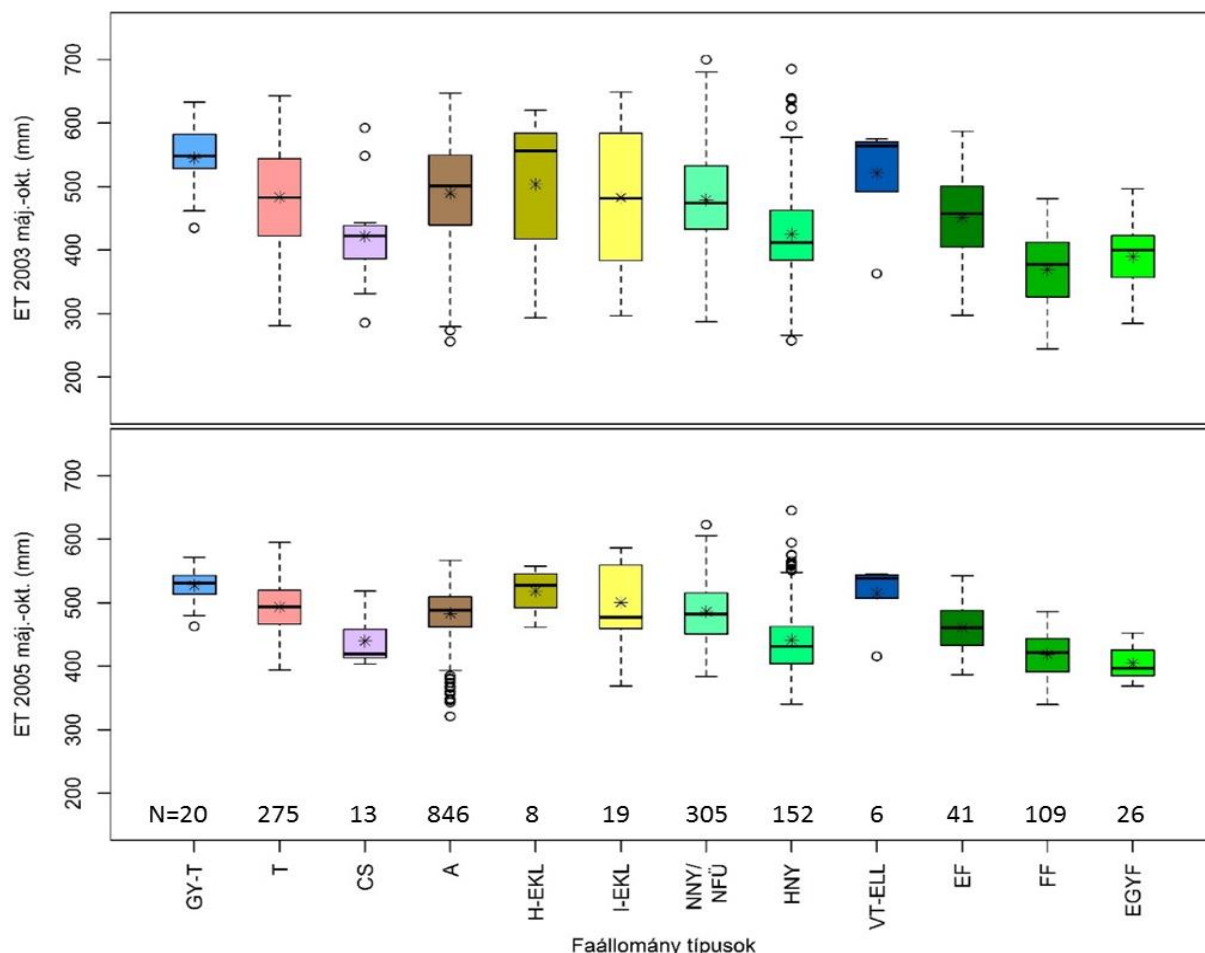


8. ábra: A „homogén” erdőállomány pixelek Magyarországon és az Alföld erdészeti nagytájon (sárgával jelölve).

A melegebb és szárazabb 2003-as év vegetációs időszakában a „Gyertyános-tölgyes” kategória átlagos párolgása magasabb volt, mint a 2005-ösben. A „Feketefenyves” faállomány típus esetében jelentkezett a legnagyobb különbség a két időszak között: az átlagos párolgása 50 mm-rel volt magasabb a hűvösebb és csapadékosabb 2005-ös évben. A „Tölgyes”, „Cseres”, „Hazai egyéb kemény lombos”, „Idegenhonos kemény lombos”, „Hazai nyáras”, „Erdeifenyves” és „Egyéb fenyves” kategóriáknál is a 2005-ös évben volt magasabb az átlagos érték. A „Nemes nyáras vagy nemes fűzes” és a „Víztűrő egyéb lágylomb” kategóriák értékei hasonlóan alakultak mindkét vizsgált időszakban. Az utóbb említett kategória Alföldre eső 6 db pixelje valószínűleg folyamatosan jó vízellátottságú helyeken található. Az „Akác” faállomány típus eredményei nem mutattak nagy különbséget a szárazabb és a nedvesebb évek között az Alföld esetében.

Vizsgálati eredmények értékelése, következtetések

A leskálázott adatok nyilvánvalóan több bizonytalansággal terheltek, mint az eredeti értékek (HONG *et al.* 2011). A kutatásban alkalmazott módszer bizonytalanságai a következő forrásokból erednek. Először is, az eredeti párolgástérképek (CREMAP) 1 km²-es felbontása miatt elmosódik a pixelen belüli területek különbözősége, tehát az eredeti párolgásérték egy térbeli átlagnak tekinthető (KOVÁCS 2011). Továbbá, a felhasznált műholdas adatok – a CREMAP-hoz MODIS felszíni hőmérséklet adatokat használtak fel, a leskálázáshoz pedig MODIS NDVI értékeket használtunk – szintén terheltek bizonytalanságokkal (MIURA *et al.* 2000, SUN *et al.* 2004). A különböző faállomány típusok térbeli elkülönítéséhez használt Országos Erdőállomány Adattár esetében elmondható, hogy az adatbázisban szereplő adatok nem minden esetben fedik a valóságot (BÁRDOS 2016). Vizekre és vizenyős területekre a módszer nem használható, az ezekre a helyekre jellemző nagyon alacsony NDVI értékek miatt.



9. ábra: Faállomány típusok párolgásának összehasonlítása (2003. május-október és 2005. május-október) az Alföld nagytájon.

B: bükkös, GY-T: gyertyános-tölgyes, T: tölgyes, CS: cseres, MOT: molyhos tölgyes, A: akác, H-EKL: hazai egyéb kemény lombos, I-EKL: idegenhonos kemény lombos, NNY/NFÜ: nemes nyáras v. nemes fűzes, HNY: hazai nyáras, VT-ELL: víztűrő egyéb lágylomb, H-ELL: hazai egyéb lágylomb, EF: erdeifenyves, FF: feketefenyves, EGYF: egyéb fenyves. (Doboz: az eredmények 50%-a. Alsó és felső basz: alsó kvartilis, felső kvartilis. Csillag: átlag. Vastag vonal: medián. Karika: kiugró értékek.)

A leskálázáshoz használt NDVI helyett valószínűleg szorosabb kapcsolatot adna a párolgással a LAI (levélfelületi index), ám ez a paraméter jelenleg csak 500 m * 500 m-es felbontásban érhető el (URLI). A faállomány típusok vízháztartásának összehasonlításához a párolgás helyett jobb lenne a párolgás csapadékhhoz viszonyított arányát vizsgálni. Ám, mivel a rendelkezésre álló csapadéktérképek alacsony térbeli felbontásúak, az interpolálásuk a 250 m * 250 m-es felbontásra csak még jobban növelné a bizonytalanságot.-A bizonytalanságok figyelembevételével a módszer használható kiindulási alapként térben osztott párolgásadatok leskálázására. Jelen tanulmányban azt mutattuk be az Alföld erdőterületeinek példáján, hogy a leskálázás eredményeképpen kapott nagyobb felbontású párolgástérképek segítségével miként elemezhető különböző erdőállományok vízfelhasználása.

Köszönetnyilvánítás: A kutatást az EFOP-3.6.2-16-2017-00018 („Termeljünk együtt a természettel - az agrárerdészet mint új kitörési lehetőség”) projekt és az Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-17-3-III kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programja támogatta.

Irodalomjegyzék

- ALLEN, R. G. – PEREIRA, L. S. – HOWELL, T. A. – JENSEN, M. E. (2011): Evapotranspiration information reporting: I. Factors governing measurement accuracy. *Agricultural Water Management*, 98(6), 899-920.
- BÁRDOS, ZS. (2016): Az erdők vízháztartásra gyakorolt hatásának értékelése párolgástérképek segítségével a Kiskunságban. Diplomamunka. Nyugat-magyarországi Egyetem Erdőmérnöki Kar. Sopron.
- CSÁKI, P. – PEIXOTO NETO, A. M. L. – ZAKOTA, T. Z. – CZIMBER, K. – KALICZ, P. – GRIBOVSZKI, Z. (2017): Különböző felszínborítású területek vízháztartása 2000–2008 között, különös tekintettel az erdőkre. In: BIDLÓ, A. – FACSKÓ, F. (eds.) 2017. Soproni Egyetem Erdőmérnöki Kar VI. Kari Tudományos Konferencia. Soproni Egyetem Kiadó, Sopron, Magyarország. 5 p.
- CSÁKI, P. – CZIMBER, K. – KIRÁLY, G. – KALICZ, P. – ZAGYVAI-KISS, K. A. – GRIBOVSZKI, Z. (2019a): NDVI-based Downscaling of the CREMAP Actual Evapotranspiration Maps. *Regional and Business Studies*, 11(1), 39-45.
- CSÁKI, P. – CZIMBER, K. – KIRÁLY, G. – KALICZ, P. – ZAGYVAINÉ KISS, K. A. – GRIBOVSZKI, Z. (2019b): A CREMAP párolgástérkép leskálázása erdőállományok vízháztartásának vizsgálatához. In: Király, G. – Facskó, F. (eds.) 2019. Soproni Egyetem Erdőmérnöki Kar VII. Kari Tudományos Konferencia. Soproni Egyetem Kiadó, Sopron, Magyarország. 6 p.
- HONG, S. H. – HENDRICKX, J. M. – BORCHERS, B. (2011): Down-scaling of SEBAL derived evapotranspiration maps from MODIS (250 m) to Landsat (30 m) scales. *International Journal of Remote Sensing*, 32(21), 6457-6477.
- KOVÁCS, Á. (2011): Tó- és területi párolgás becslésének pontosítása és magyarországi alkalmazásai. PhD értekezés. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem. Budapest.
- MAHOUR, M. – TOLPEKIN, V. – STEIN, A. – SHARIFI, A. (2017): A comparison of two downscaling procedures to increase the spatial resolution of mapping actual evapotranspiration. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 126, 56-67.
- MIURA, T. – HUETE, A. R. – YOSHIOKA, H. (2000): Evaluation of sensor calibration uncertainties on vegetation indices for MODIS. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 38(3), 1399-1409.
- SUN, L. – CHEN, L. F. – LIU, Q. – LIU, Q. H. – SONG, A. B. (2004): Analysis on uncertainty in the MODIS retrieved land surface temperature using field measurements and high resolution images. In IGARSS 2004. 2004 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (Vol. 3, pp. 2083-2086).
- SZILÁGYI, J. – KOVÁCS, Á. (2011): A calibration-free evapotranspiration mapping technique for spatially-distributed regional-scale hydrologic modeling. *J. Hydrol. Hydromech.*, 59, 2011, 2, 118–130.
- URL1: MODIS levélfelületi index (LAI) adatlap:
<https://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/mod15.php>. Hivatkozás dátuma: 2020. március 31.

VÍZSZENNYEZÉSI ADATOK MODELL VIZSGÁLATA

CSANÁDY VIKTÓRIA

Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Matematikai Intézet
csanady.viktoria@uni-sopron.hu

Bevezetés

A fejlődő világban az áru kínálat kiszélesedésével, és az ennek köszönhetően növekvő fogyasztással együtt járó negatív folyamatok pontos elemzésére egyre nagyobb szükség lehet. Ezek közül a talán leglátványosabb és egyben legkárosabb folyamatok a természet- illetve környezetkárosító folyamatok, melyek gyakran nem megfordíthatók, jobb esetben esetleg csak lassíthatók. Ezen időbeli folyamatok vizsgálata esetén általában magát a folyamatot kell vizsgálni. Mivel ezek az időfüggő folyamatok nem mutatnak menetükben határozott tendenciát így leggyakrabban vizsgálatuk során csak a mérési pontok összekötését végzik el, ami nem alkalmas pontosabb következtetések levonására. Ehhez szükséges egy bonyolultabb matematikai modell alkalmazása, mivel a közismert alap modellek nem adnak kielégítő választ leggyakrabban a felhasználó számára. Így tehát szükséges egy speciális modell kialakítása, amely megfelelő pontossággal követi a vizsgált folyamatot, lehetőséget adva arra, hogy annak fő jellemző értékeit meghatározhassuk.

A modell megválasztása azon folyamatok esetében, melyek menetükben vagy szigorún növekedők vagy szigorúan csökkenők, inflexiós ponttal rendelkezők, korlátosak, asszimptotikusak – tehát nem tartanak a végtelenbe – nem rendelkeznek lokális szélsőértékekkel viszonylag egyszerű, itt a választás általában életfüggvényekre (telítési görbékre) esik. Az említett függvények esetében teljesül az origóból történő indítás, az inflexiós pont léte, a korlátosság és az asszimptotikus jelleg, így a folyamatot jól követik, a jellegzetes értékek a modell alapján pontosan meghatározhatók. Több szélsőérték, inflexiós pont esetében azonban már nem alkalmazhatók, ezen esetekben más bonyolultabb modell illesztése indokolt. Természetesen gyakran használnak polinom függvényeket, melyek magasabb fokszám, ennek megfelelően magas paraméterszám esetén követik a pontsört, kedvező korrelációs együtthatóval, viszont paramétereik nem adnak a folyamatra jellemző információt. Ugyanakkor nem hanyagolható el az a tény sem, hogy míg az illesztést a statisztikai programok gyorsan végrehajtják a kezdő értékek helyes indítása bonyodalmakat eredményez, a pontsorból való meghatározás nem kivitelezhető így gyakran sok időt igénylő folyamat. Mind ezen tények indokolják az új összetett modell alkalmazását, melynek bemutatására a továbbiakban sor kerül.

Vizsgálati anyag és módszer:

A vizsgált adathalmazok és az alkalmazott modellek:

A vizsgálat tárgyát két adathalmaz adja, az első adatsort az 1. táblázat tartalmazza, melyben egy modellkísérlet adatai olvashatók, míg a 2. táblázat a Központi Statisztikai Hivatal 5.4.4. A magyarországi folyók jellemző vízminőségi értékei (1995-2018) a Duna folyó, Rajka mintavételi hely esetén az Ammónium (NH_4) $\mu\text{g N/l}$ értékeit tartalmazza.

A lehetséges reprodukálhatóság végett megadásra kerülnek a vizsgált adatsorok.

1. táblázat: Modellkísérlet.

Dátum: hó/nap	VAR1	Ezre- lék*	VAR2
4	4	1,1	1,1
5	5	1,7	1,7
6	6	3,0	3,0
7	7	6,4	6,4
8	8	8,1	8,1
9	9	9,0	9,0
10	10	8,0	8,0
11	11	6,0	6,0
12	12	4,3	4,3
13	13	4,0	4,0
14	14	6,1	6,1
15	15	9,0	9,0
16	16	12,0	12,0

Dátum: hó/nap	VAR1	Ezre- lék*	VAR2
17	17	12,0	12,0
18	18	8,0	8,0
19	19	3,4	3,4
20	20	1,1	1,1
21	21	2,0	2,0
22	22	3,9	3,9
23	23	5,5	5,5
24	24	8,1	8,1
25	25	9,0	9,0
26	26	8,6	8,6
27	27	6,4	6,4
28	28	3,6	3,6
29	29	2,0	2,0

*Ezrelék: egyenletesen áramló folyóvíz folyamatosan változó mértékű azonos jellegű szennyezettsége, adott hónapban naponként mért ezrelékes nagyságrendben.

2. táblázat: A Duna/ Rajka Ammónium (NH₄) µg N/l értékek.

Dátum/év	VAR1	NH ₄ µg N/l	VAR2	Dátum/év	VAR1	NH ₄ µg N/l	VAR2
1995	1995	90,0	90,0	2007	2007	34,2	34,2
1996	1996	86,0	86,0	2008	2008	25,8	25,8
1997	1997	78,0	78,0	2009	2009	39,2	39,2
1998	1998	74,0	74,0	2010	2010	50,0	50,0
1999	1999	72,0	72,0	2011	2011	40,0	40,0
2000	2000	80,0	80,0	2012	2012	32,3	32,3
2001	2001	63,8	63,8	2013	2013	75,8	75,8
2002	2002	80,7	80,7	2014	2014	50,0	50,0
2003	2003	52,3	52,3	2015	2015	57,5	57,5
2004	2004	64,1	64,1	2016	2016	66,4	66,4
2005	2005	46,5	46,5	2017	2017	42,5	42,5
2006	2006	46,2	46,2	2018	2018	60,0	60,0

Az alábbiakban a pontthalmazok ábrája jól mutatja az értékek időbeni változását, mely változást a regressziós modellnek követnie kell.

Az alkalmazott regressziós modellek:

Három Gauss függvény kompozíciója (GAU3).

Matematikai alak:

$$y = \frac{b_8}{e^{(b_7(x-b_6))^2}} + \frac{b_5}{e^{(b_4(x-b_3))^2}} + \frac{b_2}{e^{(b_1(x-b_0))^2}}$$

Számítógépes alak:

$$\text{var2} = b_8 / \exp((b_7 * (\text{var1} - b_6))^2) + b_5 / \exp((b_4 * (\text{var1} - b_3))^2) + b_2 / \exp((b_1 * (\text{var1} - b_0))^2)$$

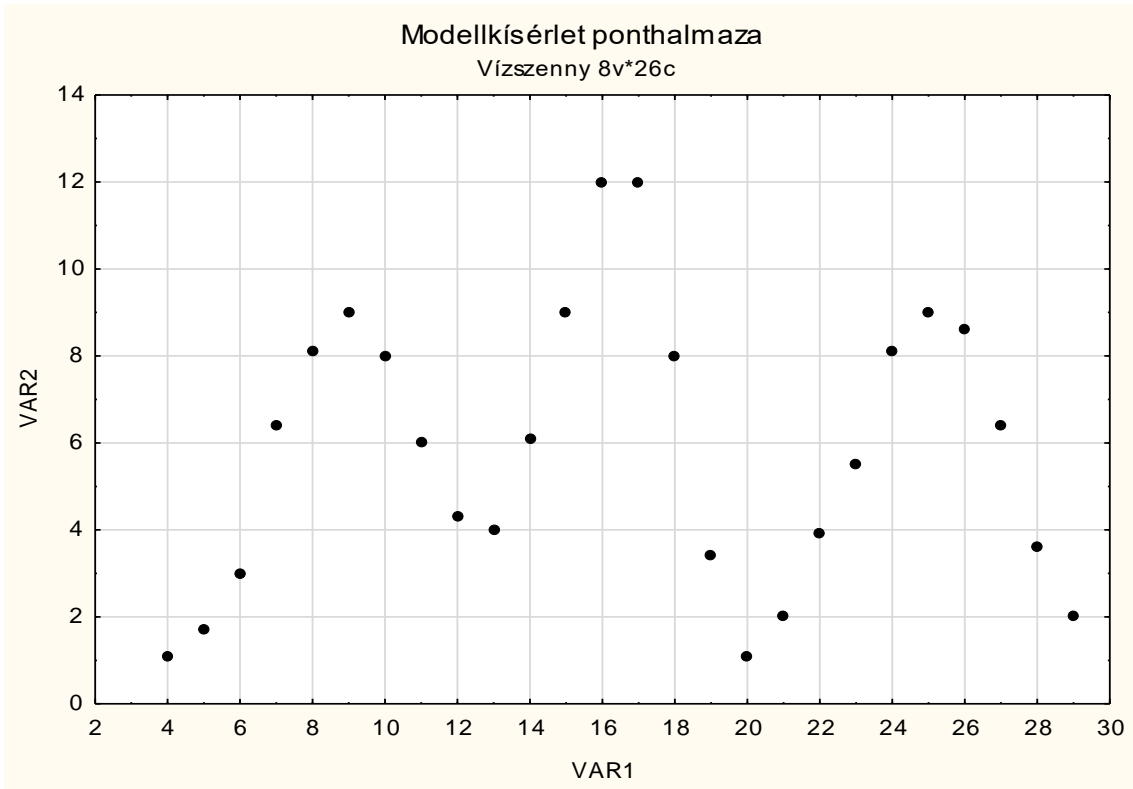
Transzformált szinusz függvény (SIN4P).

Matematikai alak:

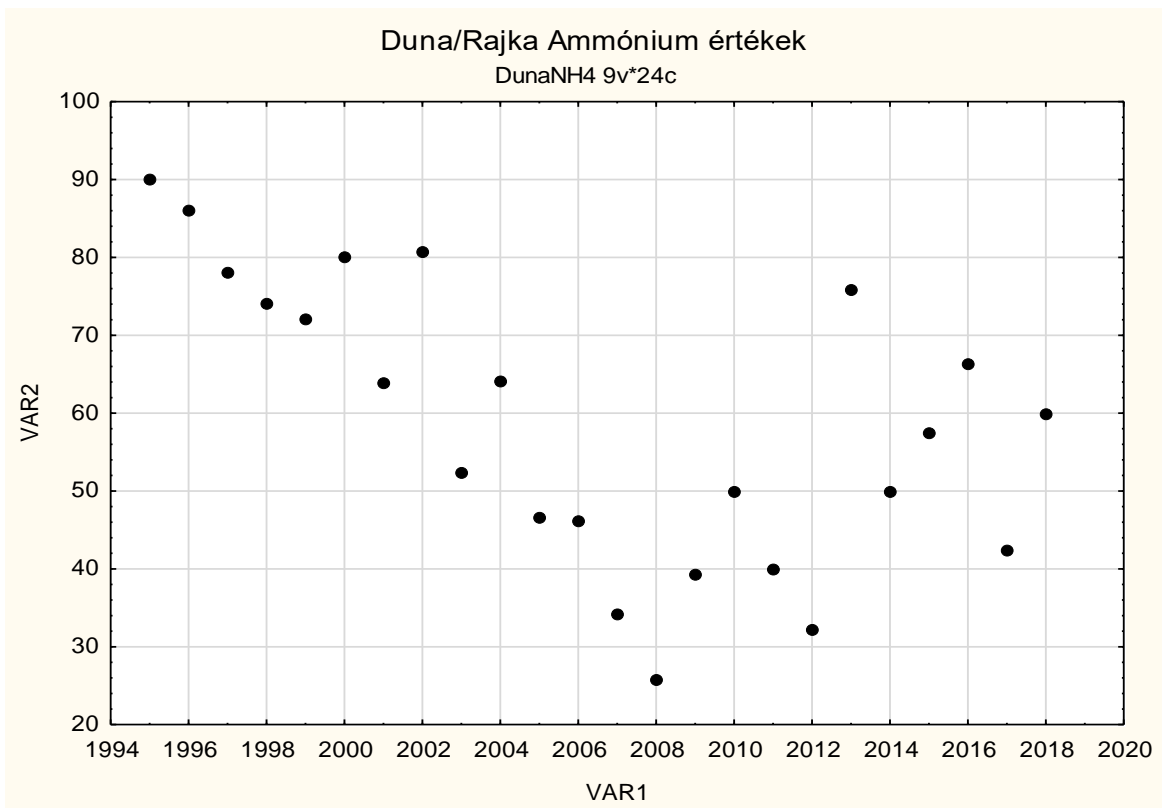
$$y = b_3 \sin(b_2(x - b_1)) + b_0$$

Számítógépes alak: $\text{var2} = b_3 * \sin(b_2 * (\text{var1} - b_1)) + b_0$

1. ábra: Modellkísérlet.



2. ábra: A Duna/ Rajka Ammónium (NH_4) $\mu g N/l$ értékek.



A kezdőértékek meghatározásánál a következők a mértékadók a GAU3 esetén b8,b5,b2 a pont-halmaz maximum értékei, b6,b3,b0 a pont-halmaz maximum értékeinek helyei, b7=b4=b1=0,1 gép által kínált, nyújtó faktor. A 4 paraméteres szinusz függvény kezdőértékei a gép által kínált változatlan értékekkel futtatható minden kezdőérték 1.

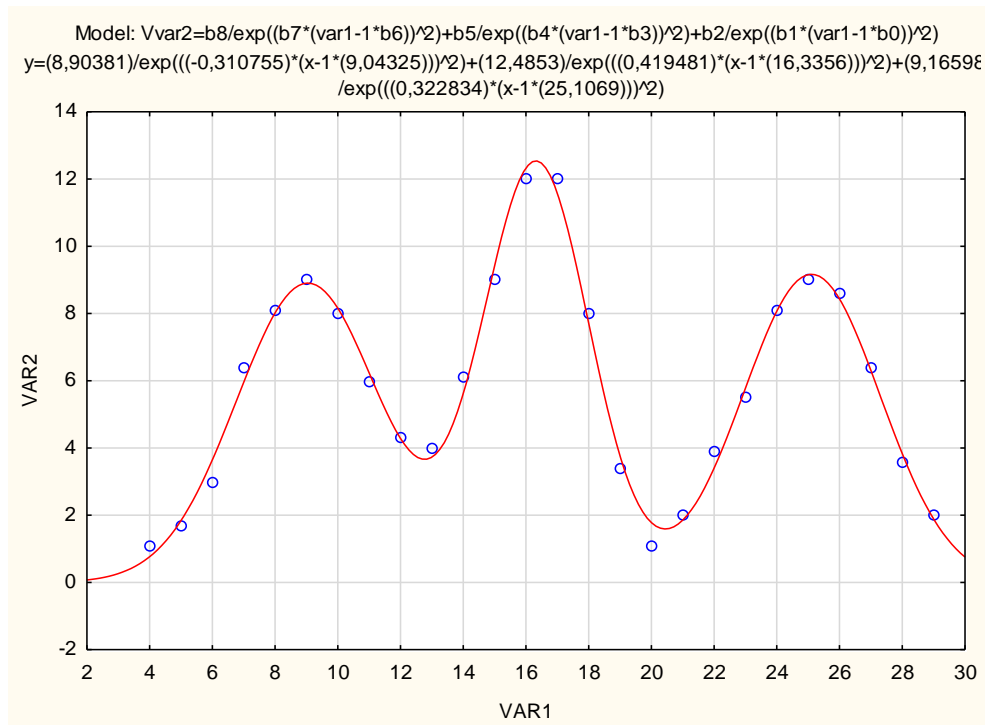
Vizsgálati eredmények:

Az alábbiakban előbb a modellkísérlet, majd a Duna/Rajka Ammónium adatok regressziós eredményei és az illesztett modellek grafikonjai kerülnek közlésre.

3. táblázat: A GAU3 illesztési eredménye a modellkísérlet esetén.

Model: var2=b8/exp((b7*(var1-1*b6))^2)+b5/exp((b4*(var1-1*... (Vízszenny)									
Dep. var: VAR2 Loss: (OBS-PRED)**2									
Final loss: 2,763471895 R= ,99454 Variance explained: 98,912%									
N=26	b8	b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0
Estimate	8,903812	-0,310755	9,043252	12,48530	0,419481	16,33563	9,165976	0,322834	25,10689

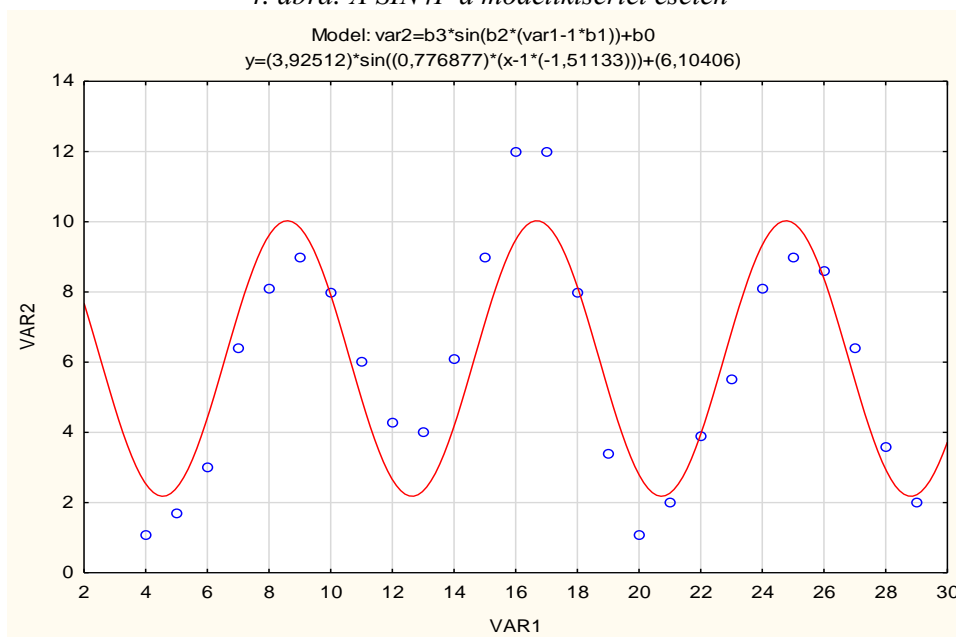
3. ábra: A GAU3 a modellkísérlet esetén



4. táblázat: A SIN4P illesztési eredménye a modellkísérlet esetén.

Model: var2=b3*sin(b2*(var1-1*b1))+b0 (Vízszenny)				
Dep. var: VAR2 Loss: (OBS-PRED)**2				
Final loss: 44,981640967 R= ,90713 Variance explained: 82,288%				
N=26	b3	b2	b1	b0
Estimate	3,925120	0,776877	-1,51133	6,104062

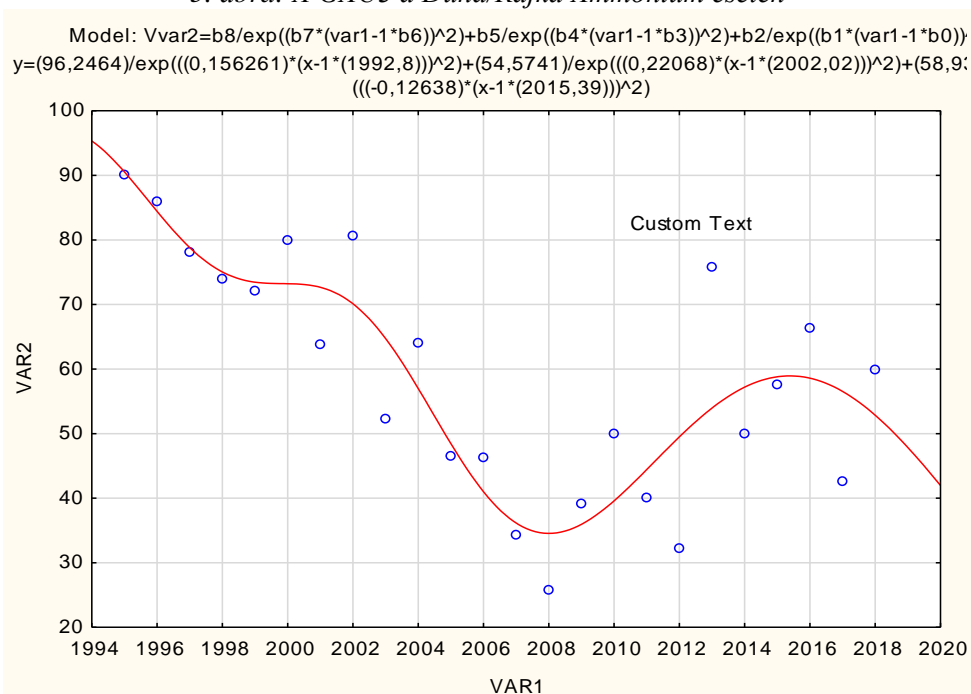
4. ábra: A SIN4P a modellkísérlet esetén



5. táblázat: A GAU3 illesztési eredménye a Duna/Rajka Ammónium esetén.

	Model: $\text{var2} = b8 / \exp((b7 \cdot (\text{var1} - 1 \cdot b6))^2) + b5 / \exp((b4 \cdot (\text{var1} - 1 \cdot b3))^2) + b2 / \exp((b1 \cdot (\text{var1} - 1 \cdot b0)))$ (DunaNH4)								
	Dep. var: VAR2 Loss: (OBS-PRED)**2								
	Final loss: 1833,5176799 R= ,87331 Variance explained: 76,267%								
N=24	b8	b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0
Estimate	96,24635	0,156261	1992,798	54,57413	0,220680	2002,019	58,93435	-0,126380	2015,394

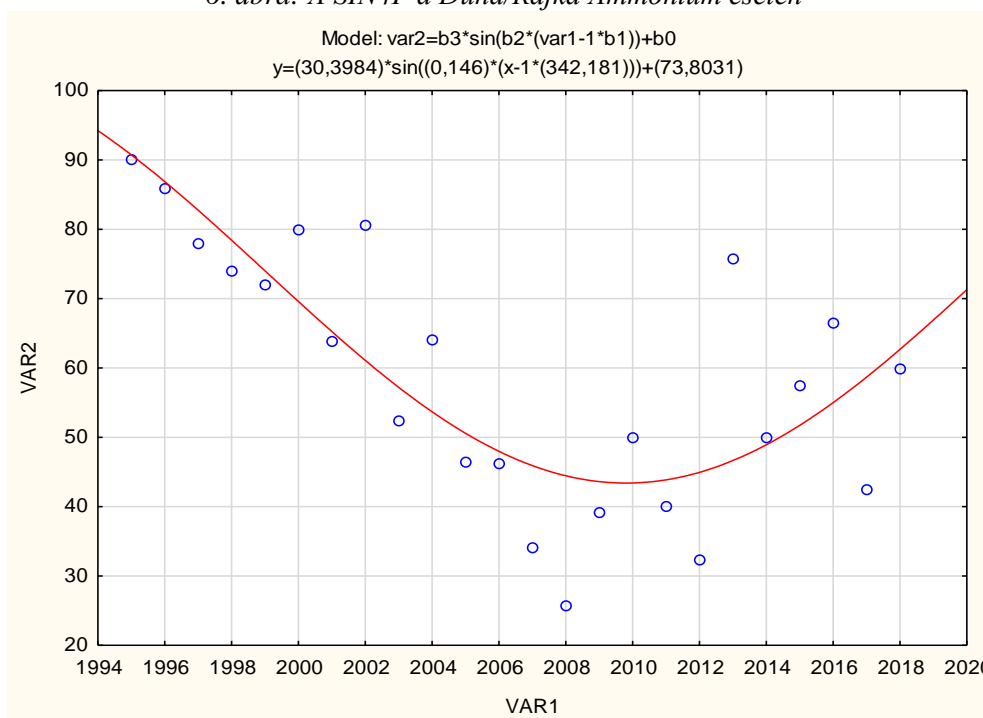
5. ábra: A GAU3 a Duna/Rajka Ammónium esetén



6. táblázat: A SIN4P illesztési eredménye a Duna/Rajka Ammónium esetén.

	Model: $\text{var2} = b3 \cdot \sin(b2 \cdot (\text{var1} - 1 \cdot b1)) + b0$ (DunaNH4)			
	Dep. var: VAR2 Loss: (OBS-PRED)**2			
	Final loss: 2701,0223637 R= ,80646 Variance explained: 65,037%			
N=24	b3	b2	b1	b0
Estimate	30,39842	0,146000	342,1808	73,80310

6. ábra: A SIN4P a Duna/Rajka Ammónium esetén



Vizsgálati eredmények értékelése, megvitatása, következtetések:

A modellkísérletnél a kapott görbe és a paraméterek a GAU3 esetén pontosan megadják a vizsgált folyamat adott időtartományán belüli összes fő értéket.

- Az 1. tartomány: növekedés 4-9-dik napig, maximum 9(b6)-dik napon 8,9(b8) ezrelék, csökkenés 9-13-dik napig.
- A 2. tartomány: növekedés 13-16-dik napig, maximum 16(b3)-dik napon 12,5(b5) ezrelék, csökkenés 16-20-dik napig.
- A 3. tartomány: növekedés 20-25-dik.napig, maximum 25(b0)-dik.napon 9(b2) ezrelék, csökkenés 25-29-dik napig.
- Két tartományon belüli legkisebb érték: 13-dik nap 4,0 ezrelék, 20-dik napon 1,1 ezrelék.
- A vízszennyezés határozottan ismétlődő, de jellege szabálytalan.

A korrelációs együttható értéke a GAU3 illesztésénél $R=0,9945$ ami szoros kapcsolatra utal, ez a SIN4P-nél is magas hiszen $R=0,9071$ azonban az ábra jól mutatja, hogy itt a folyamat követése sokkal rosszabb mint a GAU3-nál ami természetesen adódik a szinusz függvény jellemzőiből.

A Duna/Rajka Ammónium adathalmaz a modellkísérlet adathalmazához képest egy szórt felhőt ad, így itt nem várható el olyan szoros korreláció, mint az előző esetben. A korrelációs együttható értéke viszont itt is kielégítő a GAU3-nál $R=0,8733$ a SIN4P-nél $R=0,8065$. A folyamat követése viszont lényegesen jobb a GAU3 esetén, ami követi a folyamat tendenciáját még elfogadható pontszóródás mellett. Ez viszont nem mondható el a SIN4P-ről ami a pontthalmaz követését elnagyolja így belőle nem olvashatók le jellemző adatok, és a folyamatot jellemző intervallumok. A Duna/Rajka Ammónium folyamatában a szórt pontthalmaz ellenére is elkülöníthetők az egyes változó tendenciájú szakaszok azok jellemző értékeivel. Így összességében megállapítható, hogy mindkét adathalmaznál a hármas Gauss kompozíció jól vizsgázik, a modell paramétereiből megkapjuk a folyamatot jellemző főbb értékeket, ahogy az ábrák is mutatják a modell jól követi az időbeli folyamatot. Mind ez nem mondható el az alkalmazott szinusz

függvényről, ami ugyan magas korrelációt mutat, mégsem rendelkezik az említett tulajdonságokkal. Így kijelenthető, hogy szélsőséges pontfelhők esetén is jól használható a hármas Gauss kompozíció (GAU3).

Köszönetnyilvánítás: „Jelen publikáció az „EFOP-3.6.1-16-2016-00018 – A felsőoktatási rendszer K+F+I szerepvállalásának növelése intelligens szakosodás által Sopronban és Szombathelyen” című projekt támogatásával valósult meg”.

Irodalomjegyzék

CSANÁDY, V., HORVÁTH-SZOVÁTI, E, SZALAY, L.,(2013): Alkalmazott statisztika, SOPRON. Nyugat-Magyarországi Egyetem Kiadó. 175p.
<https://www.ksh.hu/stadat>

PAMO MANGALA FARM (ÉSZAK-ZAMBIA) VADÁLLOMÁNYÁNAK ÁLLAPOTA

DEÁK ISTVÁN GYÖRGY, HORVÁTH SÁNDOR

Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Erdővagyon-gazdálkodási és Vidékfejlesztési Intézet
deak.istvan.gyorgy@phd.uni-sopron.hu

Zambia bemutatása

Zambia Afrika déli részén, az afrikai felföldön fekszik a szárazföld közepén. Tengeri kijárata nincsen. Területe 752 614 km², ez alapján a világ 39. legnagyobb országa. Az ország jelentős édesvíz készletekkel rendelkezik. A Zambézi folyó keresztülfolyik az országon, de jelentős a felszín alatti vízkészlet is (260 millió m³) (Chilese, 2005). Zambia népessége 18,09 millió fő, amely folyamatosan növekszik, és fenyegető körülményt jelent a természetes vegetációra, és a vadállományra egyaránt (FAO, 2019).

A kutatási terület bemutatása

A kutatási területem a Pamo Mangala farmon (Ndesha farm) Zambia északi részén Shiwa Ngandu körzetében található. Az Ndesha farm területe ~5500 ha, 2 folyó határolja (1. ábra). A Mansha folyó 16 km-en át folyik a területen, ennek egész évben stabil a vízhozama, ami az öntözhetőség szempontjából lényeges. Körülbelül 2 000 ha területen egy dombvidék helyezkedik el, mely vadfarm/állattartás számára kiváló lehetőségeket biztosíthat. A farmon jelenleg 23 hektáron arabkávét (*Coffea arabica*), makadámdió (*Macadamia integrifolia*), kukorica (*Zea mays*), és banántermelés (*Musa x paradisiaca*) folyik, illetve 110 db szarvasmarha és 200 db kecske legeltetése zajlik. A megtermelt mennyiség bevétele fedezi a jelenlegi 42 alkalmazott éves bércöltségét.

A farmot jelenleg fás szavannai erdő, úgy nevezett Miombo Woodland borítja. A korábbi erdészeti felmérés alapján a területen különböző eloszlásokban 86 fafaj található. Ezeknek körülbelül 30%-a keményfa. Az állomány jelentős része a helyi szokások által megkövetelt éves aljnövényzet égetés miatt sérült, sarjerdő (Moore, 1994). Vadállomány tekintetében sajnálatosan a terület nagyon fajszegény. A Miombo fás szavannai terület helyet ad Afrika növényevő nagyemlőseinek, mint például az afrikai elefántnak (*Loxodonta africana*), zsiráfnak (*Giraffa camelopardalis*), antilopoknak, illetve nagyragadozóknak (Worldbank, 2012). Sajnos ma már ezek a vadállatok szinte teljesen eltűntek a vizsgált területről.

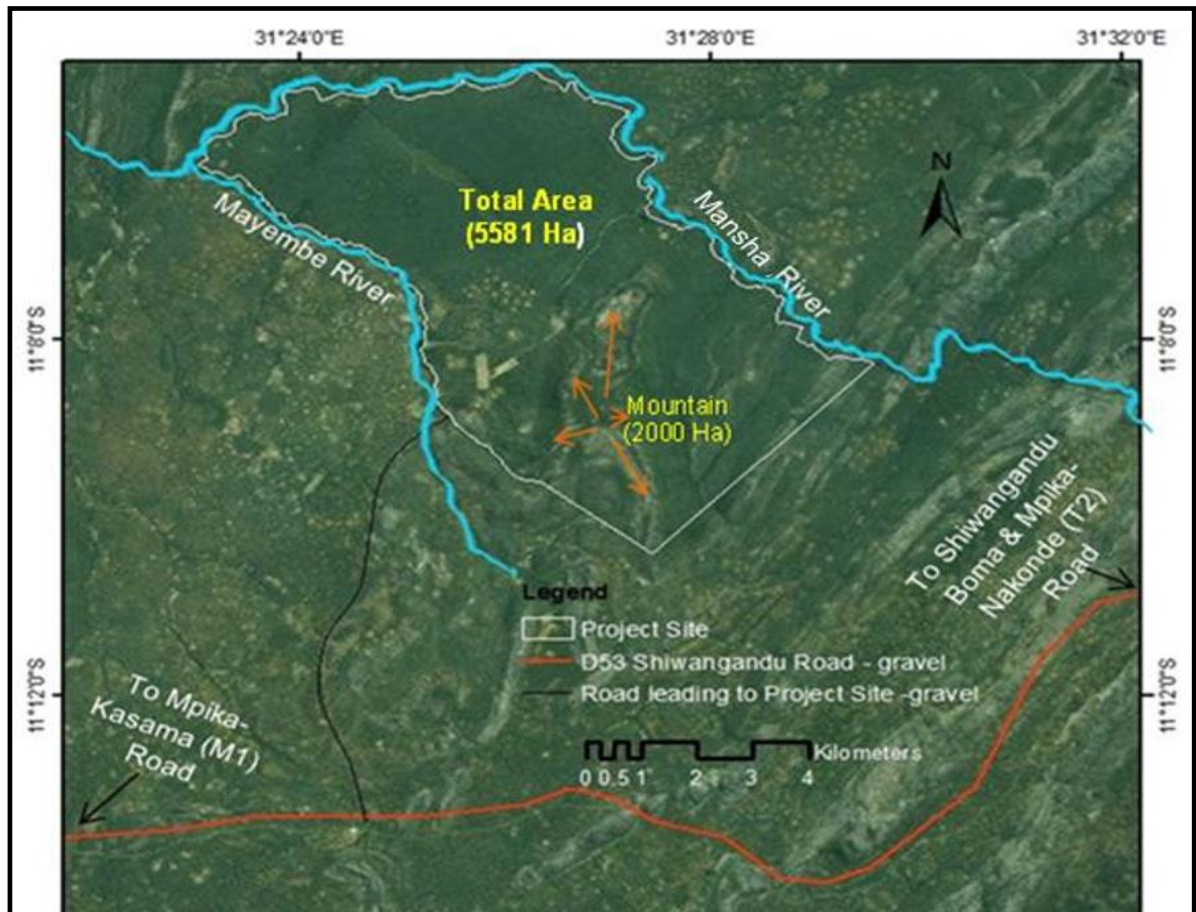
Anyag és módszer

A farm tájtörténetéről, előzményéről sajnos nagyon keveset tudunk, mivel írott kutatás, vizsgálati feljegyzés, vagy tulajdoni lapok nem állnak rendelkezésre. A terület korábbi állapotáról ezért csak feltételezések lehetnek, a helyi vidéki népesség elbeszéléseiből lehet informálódni a múltbeli vadállomány nagyságáról, és annak eltűnése okairól.

A farm történetéről, állapotáról semmilyen információ nem áll a rendelkezésre az ország függetlenedésének előtti időszakából. A vizsgált farm 1970-től magánkézben volt, azóta többször cserélt gazdát az évtizedek során, ám soha egyetlen tulajdonos sem fektetett kellő hangsúlyt a vadállomány védelmére.

A kutatási módszerem a helyi lakosság körében történő információ gyűjtés volt, mely során a farm szomszédságában lévő Mayembe faluból felmérés keretében meghallgattam a falu idősebb korosztályát, és feljegyeztem, hogy milyen volt a farm vadállománya az 1970-es évektől. Több független személlyel is készítettem felmérést, mely keretében részletekbe menően, ugyanazokat a kérdéseket tettem fel minden résztvevőnek, de csak azokat vettem figyelembe, melyeket legalább öt független személy is alátámasztott.

Tíz fő helyi bamba lakossal folytattam a felmérést, akik egész életükben a faluban, vagy annak közelében éltek, és hajlandóak voltak információval szolgálni a farm történetéről, vadállományáról. Ezekből az információkból kaphattam egy képet a korábbi vadállomány állapotáról, valamint annak eltűnésének az okairól. Ezek az információk sajnos nem adhatnak teljes bizonyosságot a múltbéli eseményekről, viszont mivel nem maradt semmi más információ, ezért véleményem szerint ez is jó betekintést nyújthat a kutatási területem vadállományáról, annak előzményéről.



1. ábra: Pamo Mangala farm területe

Eredmények

Az interjúk során betekintést nyerhettem a farm tájtörténetében, visszavezették az elbeszéléseikkel a vadállomány alakulását a vizsgált farmon (1. táblázat).

Elmondásuk szerint az 1970-es években Zambia függetlenedése után a farm területén jelen volt a kafferbivaly (*Syncerus caffer*), az afrikai elefánt, különböző antilopfajták és nagyragadozók is. Ezek az állatok korábban nagy bosszúságot okoztak a faluban élőknek, hiszen az éves kasszava (*Manihot esculenta*), és kukorica vetéseikben minden évben volt vadkár, melyet az elefántok, és további növényevő emlősök okoztak. Mr Diamond a falu 'headmenje (másnéven polgármester) egyik fiútestvérét pedig egy oroszlán támadásban veszítette el, körülbelül 1970-ben.

Az 1970-es évek elején a falu lakói megelégték a vadállatok által a terményeikben okozott károkozásukat, ezért hajtóvadászatot indítottak a területen élő állatok ellen. Elmondásuk szerint egy hét alatt, végighajtották, vagy levadászták, elkergették az ott élő vadállatokat illegális fegyverekkel, eszközökkel. Azóta nem lépett fel számottevő vadkár a mezőgazdasági területeiken, és a vadállatok sem települtek vissza.

Kb. 1973-tól a dél-afrikai hadsereg birtokolta a területet. Erről az időszakról nem maradt fenn semmiféle írott anyag vagy dokumentum, lévén, hogy titkosították és a helyi néességnek sincsen számottevő információja abból az időkből.

1980-tól a hadsereg felhagyott a tevékenységével a farmon, gazdát cserélt a terület. Ekkorra tehető, hogy amíg az új tulajdonos nem vette birtokába a területet, körülbelül 1985-ig a helyi néesség egy része letelepedett a farmon. Az új tulajdonos kilétét is homály fedi, hiszen nem található hivatalos irat, dokumentum róla. A helyiek elmondása alapján bányászati tevékenységet folytattak e területen, de a helyi néesség nem volt bevonva, így nekik is kétes, és hiányos információik vannak az 1980-as évekből. A terület egy részén illegálisan továbbra is vadászott a vidéki néesség a még megmaradt minimális vadállományra.

1990-től egy ausztrál család vásárolta meg a területet, akik ugyancsak nem foglalkoztak a vadállomány állapotával, így továbbra is alacsony létszámon maradt.

2014-től a Pamo Mangala Farm Ltd. tulajdonába került a terület. Ekkor már nem volt található vadállomány a farmon, ez köszönhető a folyamatos illegális vadászatnak, illetve annak, hogy nincsen bekerítve a terület, így nem lehet megvédeni azt. Biztonsági őrszolgálat működik a farmon, de a számuk nem elég nagy, hogy érdemben meg tudják védeni a területet.

Elvéve szoktak látni a helyiek páviánokat (*Papio hamadryas*) és malbrouck majmokat (*Chlorocebus cynosuroides*), de ezek is csak időszakosan jelennek meg, és rájuk is vadásznak a helyiek.

1. táblázat: A farm vadállománytörténete

Dátum	Tulajdonos	Vadállomány	Esemény - Tevékenység
-1970	Ősi törzsi terület volt	Magas diverzitásban, és egyedszámban voltak jelen a Miombo őshonos állatai.	Tradicionális életmód: Vadászat, és gyűjtögetés. - az alacsony népsűrűség nem volt döntő kihatással a vadállományra.
1970-1980	Dél-afrikai hadsereg	A helyiek kihajtották és levadászták az állatállományt.	Titkosítás a farm területén, ezért szinte semmit nem tudni, a farmon történekekről.
1980-1990	Kétes, bányászati	A folyamatos illegális vadászatnak köszönhetően ⁸³²²³² elvéte előfordultak antilopok a területen, de számuk végig alacsony maradt.	Bányászati tevékenység, ugyancsak titokban.
1990-2014	Anderson Family	Kerítés hiányában az illegális vadászat folytatódik, a vadállomány nem tud regenerálódni.	Egy ausztrál család vásárolja meg a farmot, kisüzemi mezőgazdaságba fognak rajta.
2014-	Pamo Mangala Farm Ltd.	A vadállomány továbbra sem települt vissza, az illegális vadászatot nehéz megállítani kerítés hiánya nélkül.	A Pamo Mangala Farm mezőgazdaság tevékenységbe kezd a területen.

Eredmények értékelése

A zambiai népességrobbanás következtében a vidéki lakosság továbbra is túlhasználja a területeket, illegálisan vadásznak a még megmaradt őshonos vadállományra (Worldbank, 2019). Ma Zambiában természetvédelmi szabályozást, vadgazdálkodást kerítés nélkül szinte lehetetlen folytatni. Ehhez viszont hatalmas anyagi befektetések szükségesek.

A vizsgált farm ~5 500 hektárjának a bekerítése óriási összegeket ölelne fel, melyre a mostani helyzetben nincsen lehetőségük a tulajdonosoknak. A helyi vidéki népességet az illegális vadászat tekintetében szinte lehetetlen kontrollálni, mivel sokszor az életben maradásukért, élelem-szerzés gyanánt vadásznak. A másik probléma a gyenge törvényi és jogi szabályozás az országban, melyben nincs változás a huszadik század végétől (Lindsey et al. 2013). Ennek következtében a fejletlen vidéki régiókat nem tudják a helyi hatóságok kontrollálni.

A megoldás a helyi szabályozások, kerítésépítés, vadőri, biztonságiőri csapatok megszervezése lehetne, illetve ezek rendszeres ellenőrzése. Ebben az esetben vissza lehetne telepíteni az őshonos állatfajokat, illetve természetesen is vissza tudna települni a farm területére, hiszen itt továbbra is megtalálhatnák az életterüket.

Sajnos ezek mind csak óriási befektetések árán valósulhatnak meg, mivel a vizsgált farm fő üzleti modellje nem a vadállomány fejlesztésre, majdani vadásztatásra, turizmusra épül, ezért ez ma nem lehetséges.

Köszönetnyilvánítás: „Jelen publikáció az „EFOP-3.6.1-16-2016-00018 – A felsőoktatási rendszer K+F+I szerepvállalásának növelése intelligens szakosodás által Sopronban és Szombathelyen” című projekt támogatásával valósult meg”.

Irodalomjegyzék

- CHILESHE R. A., (2005) Land Tenure and Rural Livelihoods in Zambia: Case Studies of Kamena and St. Joseph. PhD thesis. Faculty of Arts, University of Western Cape. South Africa
- FAO (2018) State of the World's Forests, 2018. FAO, Rome
- LINDSEY P, NYIRENDA V, BARNES J, BECKER M, TAYLOR A, ET AL. (2013) The reasons why Zambian game management areas are not functioning as ecologically or economically productive buffer zones and what needs to change for them to fulfil that role. Lusaka, Zambia: Wildlife Producers Association of Zambia.
- MOORE L. HENRIETTA ÉS VAUGHAN MORGAN (1994) Cutting Down Trees; Gender, Nutrition and Agricultural Change in Northern Zambia, 1890 – 1990. University of Zambia Press
- WORLD BANK (2012) Wildlife sector policy: Impact analysis and recommendations for the future policy. Lusaka, Zambia: Technical Environment and Natural Resources Unit Africa Region, World Bank. p 41.
- WORLDBANK (2019) Population of Zambia, <https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL?locations=ZM>

A KÖZLEKEDÉS KÖRNYEZETI HATÁSAINAK LEHETSÉGES MONITOROZÁSA AZ M85 GYORSFORGALMI ÚT TÜKRÉBEN

ELEKNÉ FODOR VERONIKA, BIRÓ BARBARA, HORVÁTH ADRIENN, POLGÁR ANDRÁS
Soproni Egyetem Erdőmérnöki Kar Környezet- és Földtudományi Intézet
elekne.fodor.veronika@uni-sopron.hu

Bevezetés

A közlekedési tevékenységek jelentős szerepet játszanak életünkben. A közlekedés révén hozzájuthatunk termékekhez és szolgáltatásokhoz, biztosíthatjuk az egyéni mobilitást és a jobb életminőséget, emellett fontos szerepet játszik a gazdasági és társadalmi fejlődésben is (HORVÁTH et al. 2010). Az említett pozitív hatások mellett azonban a környezet egyes elemeit, rendszereit érő károsító, terhelő hatásokkal is számolni kell. A közlekedésben a fenntarthatóság fontos kritériuma a megfelelő infrastruktúra mellett a környezet terhelésének csökkentése. A környezeti elemek, rendszerek állapotának megfigyelésére monitorig rendszer kiépítésére van lehetőség, amellyel nyomon követhetjük a ténylegesen jelentkező változásokat, szükség esetén hatásmérséklő beavatkozásokat határozhatunk meg, illetve ellenőrizhetjük azok sikerességét is.

Anyag és módszer

Munkánk a közlekedés környezetterhelő hatásait megfigyelő rendszer kiépítését készíti elő. A monitoring rendszerek megfelelő tervezéséhez tudnunk kell, hogy a közlekedés megjelenéséből adódóan milyen változásokra számíthatunk. Munkánk első lépéseként a hazai és nemzetközi szakirodalom tanulmányozásával a közlekedésből származó jelentősebb környezeti hatások feltárását végeztük el.

Ezt követően megvizsgáltuk, hogy az egyes környezeti elemeket, elemegyütteseket – mint a víz, levegő, talaj, élővilág, ember, ökoszisztéma, művi környezet – érintő hatásokat miként lehet megfigyelni, a bekövetkező változásokat nyomon követni.

A monitoring rendszer alapjainak pontosítása érdekében az esettanulmányok segítségével feltártuk már létező monitoring rendszerek fontosabb tervezési szempontjait. A vizsgált esettanulmányok között első- és másodrendű főutak mellett az M85 gyorsforgalmi főút egyes szakaszai is szerepeltek.

Munkánk során célul tűztük ki egy gyakorlatban jól alkalmazható, hosszú távon is fenntartható monitoring rendszer legfontosabb paramétereinek, jellemzőinek feltárását, melyek segítségével a fellépő negatív hatások gyorsan beazonosíthatók és csökkenthetők.

A közlekedés környezetterhelő hatásai

A különböző úttípusok esetén más-más forgalmi viszony, infrastruktúra és gépjármű összetétel jellemző, azonban általánoságban ugyanazokkal a környezeti hatásokkal lehet számolni. A közúti szállításnak a környezetre gyakorolt hatása jelenleg minden más közlekedési ágazaténál jelentősebb (SZWALEC et al. 2020).

Természetesen a különböző területi adottságok, éghajlati viszonyok tovább súlyosbíthatják a környezet elszennyeződését. A forgalomból eredő környezetszennyező anyagok elsősorban az üzemanyagok elégetéséből származnak, azonban jelentős szennyezést eredményez a különböző alkatrészek (fékbetétek, gumiköpenyek) kopása, a járműkarosszériák korróziója (NAPIER et al.

2008), de meg kell említeni a kiegészítő tevékenységek (út karbantartása, téli csúszásmentesítés) környezetterhelő hatásait is (HORVÁTH 2016).

A közlekedésből származó anyagok jelentős része *por* formájában jelenik meg, ami lerakódik az utak közvetlen környezetében a talajra, illetve a növényekre. A közlekedés során kikerülő por mennyisége és terjedése elsősorban a vegetációtól, a terület szélviszonyaitól, a járművek sebességétől, gyakoriságától és a kitettségtől függ. Összetételétől függően eredményezheti a talaj szemcseösszetételének, a C/N arányának és a talaj pH-jának megváltozását is (BARTHA et al. 2000). A porok már önmagunkban is jelentős szennyezők, jelentős nehézfém-tartalmuk miatt azonban még nagyobb környezetkárosító hatással rendelkeznek (THORTON 1991).

A járműforgalomból származó *fém-szennyezés* egy része a levegőben dúsul fel, másik része száraz vagy nedves ülepedés útján lerakódik a növények felszínén, illetve bemosódik az útközeli talajok felső rétegébe (FIEDLER 1990). A hatásfolyamatok eredményeképpen a szennyezők a talajvízbe, növényzetbe kerülve további szennyeződéseket okozhatnak. A legfontosabb közlekedésből származó nehézfémek a kadmium (Cd), a króm (Cr), a réz (Cu), a higany (Hg), a nikkel (Ni), az ólom (Pb), a platina (Pt) és a cink (Zn) (PÁLFI 2004). Annak el, hogy az előbb felsorolt szennyezések az egyik legjelentősebb teherviselővé teszik a talajokat, az utak tervezési szakaszában talajvédelmi tervet csak humuszos talajréteg mentését megalapozóan kell készíteni a Termőföld védelméről szóló 2007. évi CXXIX. törvény, valamint 153/2009. (XI.13.) FVM rendelet előírásainak alapján. A felső 20 cm-es humuszos feltalaj mentése, majd felhasználása a fenntartható mezőgazdasági termelés nélkülözhetetlen eleme. A humuszanyag a talaj tápanyag-, víz-, levegő-, és hőgazdálkodását javítja és mezőgazdasági felhasználás céljából védelmének kiemelkedő szerepet kell tulajdonítani. Itt viszont meg kell említeni, hogy egyes nehézfémeket, pl. higanyionokat az ásványi és a szerves kolloidok erősen adszorbeálják (STEINNES 2013). Tehát az utak mellett található mezőgazdasági területeken a humuszanyagok fémmegkötő tulajdonsága miatt a talajok folyamatos monitoringja erősen javasolt.

Jelentős mértékű a közlekedésből származó *gázhalmazállapotú légszennyezők* mennyisége is. A környezeti ártalom szempontjából legveszélyesebb szennyezők a kipufogógázokból kerülnek az út menti környezetbe. A gépjárművek működése során tökéletlen égés zajlik le, így a kipufogógázban olyan káros anyagok jelennek meg, mint a szén-monoxid (CO), a szén-dioxid (CO₂), a szénhidrogének (CH), a nitrogén-oxidok (NO_x), az ólomvegyületek és a kén-dioxid (SO₂). Fontos megemlíteni továbbá a napsugárzás hatására létrejövő fotokémiai másodlagos reakciók termékeit is, mint például az ózont vagy a peroxidokat.

A kijuttatott kipufogógáz összetevők nagyobb mennyiségű Cu, Cr, Cd, Zn, Mn, Ni és Co tartalmazhatnak (MODRZEWSKA ÉS WYSZKOWSKI 2014), melyet a szél és a csapadék közvetít a talajra, valamint az élővizetekbe. A talajfelszín elszennyeződése a légköri ülepedés hatására, valamint a vegetáció sztómáit eltömítő porszemcsék lemosódásával vagy az útburkolatról lefolyó csapadékkal szállított szennyezők hatására történhet (BÖRÖCZ 2009).

Az útkörnyezeti vízrendszerek közvetlen módon csak kisebb mértékben, inkább a szennyezett talaj közvetítésével szennyeződhetnek. Az utak felszínéről lemosódó szennyezők a vízgyűjtő terület azon vízfolyásaiban okozhat problémát, ahol az üledékben a fitoplanktonokban, a bentonitban, illetve a halakban nehézfém halmozódhat fel. Ezek környezeti kockázata erősen függ a vízgyűjtő terület fizikai, kémiai tulajdonságától, a csapadékvíz mennyiségétől és a nehézfémek szerves vagy szervetlen komplex formáinak elfordulásától (GONDI et al. 2004).

Jelentős hatótényezőként meg kell említeni a közlekedésből eredő zajt, mely hatás nem folyamatos, inkább hosszútávon káros, de mégis negatívan befolyásolhatja az élővilág egyedeinek bioritmusát és életfunkcióit. A járműveket az elhaladási zaj jellemzi, amit elsősorban a motorfordulatszám és az azzal arányos menetsebesség határoz meg. A közúti közlekedési zajra vonatkozó előírásokat a zaj- és rezgésvédelemről szóló 284/2007.(X.29) Korm. rendelet tartalmazza.

Járolékos tényező az utak mellett megjelenő hulladék, mely nem csak a lakossági szemételésre korlátozódik, hanem különféle szállítási tevékenységek révén akár veszélyesebb anyagok is kerülhetnek az utak környezetébe (KORONIKÁNE PÉCSINGER et al. 2019).

Az éjszakai közlekedés jellegzetes hatótényezője a *fénykibocsátás* (fényszennyezés). Elősorban a rovarokra veszélyes a mesterséges fény. Egyrészt a kerekek alá kerülve pusztulnak el, vagy kimerülnek, miközben a fényszórók fénye felé próbálnak repülni, másrészt a vízben élő repülőképes ízeltlábúak a magasból az utakat, megvilágított területeket vízfelületnek nézik és arra leszállva a gépjárművek áldozataivá válnak. Ez a probléma egyes fajoknál (például kérészek) olyan súlyos veszteségeket okozott, hogy a fajt csaknem a kipusztulás szélére sodorta.

Az éjszakai kivilágítottság hatására a madarak éjszaka is szükségét érzik területük jelölésének, ezért énekelnek. Mindez ahhoz vezet, hogy a pihenési idejük drasztikusan lecsökken, az életritmusuk megváltozik, meghiúsul a fészkelésük, párválasztásuk és szaporodásuk, így az élettartamuk csökkenése mellett egyedszám-csökkenés következik be (TÓTH et al. 2001).

Komplex hatótényező a *gáthatás*, szegélyhatás, mely sokszor irreverzibilis élőhely-feldarabolódást eredményez (PÉCSINGER et al. 2019). Az ökológiai folyosók feldarabolódása az izoláció révén korlátozhatja a populációk közötti génkicserélődést, valamint negatívan hat a szaporodásra és a táplálékszerzésre. A közlekedési zaj elrettentő hatással lehet az állatokra, míg a járművek, közúti lámpák okozta fényszennyezés inkább növeli az elütések számát.

Eredmények

A környezeti monitoring célja a környezeti elemek, elemegyüttesek és rendszer állapotában bekövetkező változások figyelemmel kísérése, a kiváltó okok azonosítása (GOUVEIA és FONSECA 2008). A mérési program megvalósítása, a kapott környezeti adatok rendszerezett tárolása és ellenőrzése lehetővé teszi bizonyos elemzések elkészítését, a kapott mérési eredmények értékelését, ezáltal környezeti információk előállítását.

Egy monitoring rendszer megtervezéséhez CLEMENT és SZILÁGYI (2011) szerint négy fő szempont figyelembevételre szükséges. Elsőként a *vizsgálati paraméterek* meghatározása történik. Olyan fizikai, kémia vagy biológiai paramétert (indikátor szervezetet) kell kiválasztani, amely jól tükrözi a környezet állapotában bekövetkező változásokat. Az utóbbi időben egyre nagyobb hangsúlyt kap a biológiai monitoring, szemben a hagyományos, analitikai monitoringgal, a kettő azonban nem válthatja ki egymást. Míg a biomonitoring a környezetet ért hatások összességét képes kimutatni, addig a hagyományos monitoring inkább a kitettséget, koncentrációt mutatja.

A mérőhálózat *mintavételi pontjainak helyét* szintén úgy kell meghatározni, hogy azok jól jellemezzék a vizsgálati területet. Az egyes mérőpontok kijelöléséhez az elméleti, geometriai alapok mellett célszerű figyelembe venni a terület sajátos földrajzi adottságait és a mérőpontok megközelíthetőségét is, ami még hangsúlyosabbá teszi a terepi alapállapot-felmérések szükségességét. A vizsgált környezeti elemtől függően változhat a mérőpontok mennyiségének, illetve elhelyezésének módja is. A levegőminőség vizsgálata során fontos a magasság figyelembevétel, míg például egy talajvizsgálat esetében az út középtengelyétől adott távolságokban, több mélységben célszerű mintát venni (SZWALEC et al. 2020).

A vizsgálati paraméterek és a kijelölt mérőpontok alapján a *mintavétel gyakoriságát* kell meghatározni, melyet a tér- és időbeli változékonyság befolyásol. Minél változékonyság jellemző, annál gyakrabban kell mérést végezni. A mintázási időközöket a változékonyság figyelembe vételével az adatrögzítés gyakorisága adja meg. Ez környezeti elemtől függően, napi, heti, havi, de akár éves méréseket is jelenthet. Bizonyos paraméterek a mintavételi ponton fixen telepített, automatikus érzékelő műszerek segítségével is mérhetők.

A fenti szempontok alapján tudjuk kiválasztani a megfelelő *mérési módszert*. Ennek első lépése a mintavételezés, mely nagymértékben meghatározza az eredmények pontosságát. Ezt követi a

speciális műszerek vagy eszközök segítségével történő koncentráció-meghatározás, általában laboratóriumi körülmények között, szabványok által rögzített eljárással.

A forgalomból származó hatások megfigyelésére szolgáló monitoring rendszerek többségét a levegőbe és talajba kerülő szennyezők, valamint a zaj mértékének vizsgálata céljából hozzák létre. Ezek ismeretében kutatásunk során is ezen hatások vizsgálatára helyeztük a hangsúlyt, kiegészítve a szintén fontos, de ritkábban figyelembe vett élővilággal. Eredményeinket az *I. táblázatban* foglaltuk össze.

Légszennyező anyagok esetén a vizsgálandó komponensek között a nitrogén-oxidok (NO_x), nitrogén-dioxid (NO₂), szén-monoxid (CO), kén-dioxid (SO₂), szénhidrogének (ezen belül is a BTEX), az ózon (O₃) és a szállópor (PM₁₀) szerepelt. A mérőpontok elhelyezkedését és a mérések idejét a 6/2011. (I. 14.) a levegőterheltségi szint és a helyhez kötött légszennyező források kibocsátásának vizsgálatával, ellenőrzésével, értékelésével kapcsolatos szabályokról szóló VM rendelet alapján határozzák meg, melyet az aktuálisan vizsgált út egyes adottságai módosíthatnak. Az egyes szennyezőkre vonatkozó mérési módszereket a jogszabályban megjelölt szabványok rögzítik.

A porszennyezés az utak melletti első méterekben a legerősebb, 20 m után már csökkenő értéket mutat, de az úttól akár 1000 méterre is eljuthatnak a részecskék (KORONIKÁNÉ PÉCSINGER 2008).

Talajszennyezők tekintetében az ólomvegyületek közvetlen hatásterület az uralkodó széliránytól függően az úttól 50-100 m-es sávban és a talajfelszíntől 4-5 m-es magasságig terjedhet. A levegő ólomfeldúsulása a forgalom függvényében exponenciális jelleget mutat. Az úttól távolodva fokozatosan csökken a növény, a talaj és a víz terheltsége. A talaj felső, 10-20 cm-es rétegében, főként az útpadkán és annak környezetében nagymértékű lehet a fém feldúsulása.

A talaj és a gyeptakaró nehézfémtartalmára vonatkozóan KÁDÁR (1993) az M7-es autópálya mentén végzett vizsgálatokat, melyek kimutatták, hogy az útpadkánál legnagyobb a mennyiségük, ami annak köszönhető, hogy a szennyezők részben közvetlenül az útra kerülnek és onnan a porral és esővel a padkára jutnak. A légkörbe kerülő szennyezők másik része az uralkodó szelekkel távolabbra kerül. A mérőpontok kijelölésénél szükséges tehát ezek figyelembevétel is. A nehézfémek vertikális terjedését TAKÁCS (1983) vizsgálta, és kimutatta, hogy a mélységgel az általa vizsgált talajtípusokban csökkent az ólom mennyisége.

Látható tehát, hogy az egyes nehézfémek esetén is fontos a mérőpontok kijelölésénél a helyi adottságok figyelembevétel. A környezetterhelés mértékének megállapítására szolgáló méréseket ebben az esetben is a vonatkozó szabványok alapján szükséges elvégezni.

A közlekedés a zaj szempontjából lineáris forrásnak tekinthető. A településeken belüli zajterhelés nagyságát az egyes útvonalak járműforgalmán kívül a beépítési viszonyok, ezen belül a zajforrások és a védendő homlokzatok közötti távolság, az útkereszteződések is befolyásolják. Így akár néhány száz méteres útszakaszon is jelentősen változhat az okozott közúti zajterhelés nagysága. Ezek ismerete különösen fontos a monitoring rendszer mérési pontjainak kijelölésekor. A közlekedési zajmérés mérőpontjainak elhelyezkedését (talajfelszíntől és kibocsátó forrástól számított távolság), a mérések gyakoriságát, illetve azok módját a 25/2004 (XII. 20.) a stratégiai zajtérképek, valamint az intézkedési tervek készítésének részletes szabályairól szóló KvVM rendelet határozza meg. A környezeti zaj vizsgálatát és értékelését az MSZ 18150-1:1998 szabványban előírtaknak megfelelően kell elvégezni.

A forgalom élővilágra gyakorolt környezeti hatásainak megállapítására az alapállapot felmérést követően az újonnan megjelenő növényfajok számbavétel, valamint a vadátjárók megfigyelése szolgál. A tervezési szempontok meghatározása jelentősen függ az vizsgált út típusától, illetve elhelyezkedésétől.

táblázat: Az utak esetében alkalmazható monitoring rendszerek tervezési szempontjai

Vizsgált környezeti elem	Vizsgálati paraméterek	Vizsgálati pontok helye	Mérési gyakoriság	Mérés módja
Levegőminőség	nitrogén-oxidok (NO _x), nitrogén-dioxid (NO ₂), szén-monoxid (CO), kén-dioxid (SO ₂), szénhidrogének (BTEX), ózon (O ₃), szállópor (PM ₁₀)	a vizsgált úttól függően változnak; kijelölésük a 6/2011.(I.14.) VM rendelet alapján történik (pontos távolság, magasság, elhelyezkedés)	Az út létesítésének szakaszában (24órás) napi mérés. A forgalom megindulása után 90-120 nap között	az egyes szennyezőkre vonatkozó mérési módszereket a jogszabályban megjelölt szabványok rögzítik.
Talajszennyezők	nehézfémek (általában Pb, Zn, Cu, Cd)	a vizsgált úttól függően kerülnek kijelölésre (úttól való távolság, mintavétel mélysége)		az egyes szennyezőkre vonatkozó mérési módszereket szabványok rögzítik
Zaj-rezgés	nappali és éjszakai mértékadó egyenértékű A-hangnyomásszint	a 25/2004 (XII.20.) KvVM rendelet szerint	alapállapot felmérés; építési munkálatok alatt; forgalomba helyezést követően 90-120 nap között és fél év múlva	25/2004 (XII.20.) KvVM rendelet és MSZ 18150-1:1998 szabvány szerint
Élővilág	ökológiai átjárók (inkább nagyvad)	a vizsgált úttól függően	a forgalomba helyezést követően min. 5 évig	
	invazív fajok előfordulása	az alapállapot-felmérés során rögzített területen, illetve annak 500-500 méteres kisajátítási szakaszán	kivitelezés megkezdése előtt; a forgalomba helyezést követően 2 évig évente	terepi felmérés

Összefoglalás

Vizsgálataink során meghatároztuk a közúti közlekedés legfontosabb környezeti hatásait, melyek figyelemmel kísérésére, illetve hatáscsökkentésére fontos monitoring rendszert tervezni. A szakirodalmi áttekintés, illetve az esettanulmányok eredményei alapján feltártuk azokat a paramétereket, amelyek figyelembevétele feltétlenül szükséges egy jól működő, hosszútávon fenntartható rendszer kiépítéséhez.

Tapasztalataink alapján a legtöbb út esetében csupán a légszennyezés, illetve a zajszennyezés vizsgálatára javasoltak monitoring rendszert, amelyek rendelkeznek kellő jogszabályi és szabványi háttérrel is. Annak ellenére azonban, hogy jelentős hatások érik a talajt, illetve az élővilágot is, azok állapotának változására nem helyeztek nagy hangsúlyt. Az általunk vizsgált módszerek méréseken alapultak, amelyek a kitettséget mutatják, éppen ezért javasoljuk bizonyos

szennyezők esetén (légszennyezés, nehézfémek) a hatásokat jól indikáló biomonitring módszer párhuzamos alkalmazását is.

Köszönetnyilvánítás: Jelen publikáció az „EFOP-3.6.1-16-2016-00018 – A felsőoktatási rendszer K+F+I szerepvállalásának növelése intelligens szakosodás által Sopronban és Szombathelyen” című projekt támogatásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- 153/2009. (XI. 13.) FVM rendelet az erdőről, az erdő védelméről és az erdőgazdálkodásról szóló 2009. évi XXXVII. törvény végrehajtásáról
2007. évi CXXIX. törvény a termőföld védelméről
25/2004. (XII. 20.) KvVM rendelet. a stratégiai zajtérképek, valamint az intézkedési tervek készítésének részletes szabályairól.
284/2007. (X. 29.) Korm. rendelet a környezeti zaj és rezgés elleni védelem egyes szabályairól
6/2011. (I. 14.) VM rendelet a levegőtérheltségi szint és a helyhez kötött légszennyező források kibocsátásának vizsgálatával, ellenőrzésével, értékelésével kapcsolatos szabályokról
BARTHA D., BIDLÓ A., KOVÁCS G. (2000): Esettanulmány az utak és az ökológiai folyosók konfliktuspontjaira erdei ökoszisztémákban. In: Pallag O. (szerk.): Nyomvonalas létesítmények élőhely-fragmentáló hatása - Nemzeti jelentés az IENE COST 341 témában, Budapest, pp. 67-68.
BÖRÖCZ, T. (2009): Közúti járművek ásványolaj-kibocsátásainak vizsgálata. Diplomamunka. BME.
CLEMENT A., SZILÁGYI F. (2011): Környezeti monitoring. Oktatási segédanyag. BME, Budapest
FIEDLER, H. J., (1990): Bodennutzung und Bodenschutz. Jena. VEB Gustav Fischer, Verlag, Stuttgart.
GONDI F., HALMÓCZKI SZ., DANKÓ GY., DURA GY., LIGETI ZS., SZABÓ I. (2004): Kármentesítési Útmutató 7., A mennyiségi kockázatfelmérés módszertana. Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium, Budapest.
GOUVEIA C., FONSECA A. (2008): New approaches to environmental monitoring: the use of ICT to explore volunteered geographic information. *GeoJournal* 72, 185-197
HORVÁTH B., KOREN CS., PRILESZKY I., TÓTH-SZABÓ ZS. (2010): Közlekedéstervezés. Széchenyi István Egyetem
KÁDÁR I. (1993): Adatok a közlekedés, település és az ipar által okozott talajszennyezés megítéléséhez. *Növénytermelés*, 42. 185-190. p.
KORONIKÁNÉ PÉCSINGER J. (2008): Az útkörnyezet hatásterjedést befolyásoló szerepe természeti területeken. Doktori disszertáció. NyME Sopron.
KORONIKÁNÉ PÉCSINGER, J., ELEKNÉ FODOR, V., POLGÁR, A, PINTÉRNÉ NAGY, E. (2019): Útkörnyezeti hatások monitorozása - Biomonitring módszer fejlesztése a közlekedési eredetű környezetterhelés indikálásához. 17th International Conference on Application of Natural-, Technological- and Economic Sciences. pp. 115-121.
MODRZEWSKA, B., WYSZKOWSKI, M. (2014): Trace metals content in soils along the state road 51 (north-eastern Poland). *Environ Monit Assess* 186, 2589–2597
MSZ 18150-1:1998. A környezeti zaj vizsgálata és értékelése.
PÁLFI Á. szerk. (2004): Útmenti zöld növényzet károsanyag-terhelése. BME OMIKK Környezetvédelem, 2004/19-20.
STEINNES, E. (2013): Mercury. In: ALLOWAY, B.J. (Ed.): *Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability*. Springer Science & Business Media. pp. 411-428.
SZWALEC A., MUNDALA P., KEDZIOR R., PAWLIK J.(2020): Monitoring and assessment of cadmium, lead, zinc and copper concentrations in arable roadside soils in terms of different traffic conditions. *Environmental Monitoring and Assessment* 192:155. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-8120-x>
TAKÁCS M. (1983): Az ólomtartalom változásának vizsgálata az Általér környezetvédelmi modellterület néhány talajtípusán. In: CSATHÓ P. (1994): *A környezet nehézfém szennyezettsége és az agrártermelés*. MTA, Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézet, Budapest.
THORTON, I. (1991): Metal contamination of soils in urban areas. In: BULLOCK, P., GREGORY, P. J. (Eds.) *Soils in the Urban Environment*. Blackwell, Oxford. p. 184.
TÓTH M., GURÁLY H., TÓTH E., GÖRÖGH Z. (2001): Az energiafelhasználás hatékonyságának javítása. Tanulmány. Nyíregyháza

A TŰZIFA, AZ ENERGETIKAI CÉLÚ ERDEI APRÍTÉK, VALAMINT AZ IPARI FA KITERMELÉSI ÉS PIACI VÁLTOZÁSAI 2007 ÉS 2018 KÖZÖTT

FÜLÖP VIKTOR GÉZA, HORVÁTH SÁNDOR

Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Erdővagyon-gazdálkodási és Vidékfejlesztési Intézet
fulop.viktor.geza@phd.uni-sopron.hu

Bevezetés

A magyarországi fapiac és ipari fatermelés, valamint tűzifatermelés és értékesítés komoly változásokon ment keresztül az elmúlt bő tíz évben. Ennek okai részben a piaci körülmények megváltozása részben az energetikai szektornak bizonyos fokú strukturális változása, a megnövekedett biomassza igény és még ezen kívül több gazdasági tényező okozta. A nagymértékű változásokat az energetikai célú erdőműi fának az árváltozása komoly mértékben kihathatott a lakossági tűzifa értékesítésére, valamint a piaci árakra. Főként a lakossági és szociális tűzifa ellátásnál érzékelhető a megnövekedett kereslet, valamint komoly gazdasági profithoz juttatta az elmúlt években mind az állami tulajdonú erdőgazdaságokat mind pedig a magán erdőgazdálkodókat. A kitermelés volumenének mértéke, illetve az árképzés közötti összefüggések szempontjából érdekes, hogy a kereslet és a kínálat miként alakult az elmúlt évtizedben. A vizsgálat arra is irányul, hogy milyen mértékben változott a termelési volumen és az ár mértékének változása mert ebből kitűnik, hogy a kereslet és kínálat ökonómiai összefüggésének milyen jellegű fogyasztói és gazdálkodói magatartás alakult ki a piacon.

Anyag és módszer

A vizsgálat során a számok és a statisztikai adatok a gazdálkodótól származnak, mivel éves beszámolási kötelezettségének eleget téve, az Agrárminisztérium, a Központi Statisztikai Hivatal, illetve a Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal részére szolgáltatnak. Az adatok táblázatos formában rendezve, egymással összevetve jelennek meg, melyben szerepelnek a különböző fa termékeknek választék szerinti felosztásban, évekre lebontva a kitermelés mennyisége, valamint az árbevételre vonatkozó adatok. Az árbevétel adatai csak a belföldi faértékesítésre vonatkoznak, az exportra vonatkozó adatok kihagyásra kerültek, mivel elsősorban a magyar nemzetgazdaságon belüli piaci változások kerültek vizsgálatra. Elsősorban az évenkénti termelés és árváltozása száznak megfigyelésére bázis és láncviszonyszámok alkalmazása, A kapott adatok további feldolgozása grafikus módszerrel, tehát diagramok és táblázatok alkalmazásával történik. A grafikonok és a diagramok elemzéséből történik a következtetések és konklúziók levonása, valamint az összefüggések megállapítása, illetve az adatok kiértékelése összegzése.

Árbevételi és kitermelési jellemzők elemzése

Az adatok összesítésénél a két vizsgált tényező a fakitermelés változása, valamint az értékesítésből származó árbevétel, mely a belföldi értékeket tartalmazza, az export adatok nem relevánsak a kutatás szempontjából, mivel a magyarországi piaci változások képezik a vizsgálat tárgyát.

Az összesített adatokból kitűnik (1. táblázat), hogy a választékonkénti árbevétel szempontjából az ipari fa utáni bevétel egy lassú növekedési ütemet mutat 2010-től kezdődően, előtte 2009. évben egy drasztikus visszaesés figyelhető meg, mely a 2008-as gazdasági válság hatásának következménye. A válság kihatásának végét 2016-ra datálni, mivel az árbevétel akkor érte el a 2008-as szintet.

1. táblázat: Az egyes választékokból származó éves árbevétel

Év	Értékesítés éves szinten (eFt)			
	Rönk összesen	Energetikai célú erdei apríték	Vastag tűzifa	Vékony tűzifa
2007	12 107 655	399 011	13 893 077	485 941
2008	12 148 986	1 092 062	19 501 186	664 407
2009	8 674 847	1 245 200	21 085 344	612 797
2010	8 574 390	2 015 131	21 245 096	596 613
2011	9 655 165	1 640 557	21 071 446	726 215
2012	9 672 100	1 878 550	17 942 643	730 161
2013	9 998 576	1 307 780	17 913 910	1 116 455
2014	10 295 120	4 493 127	17 604 574	939 411
2015	11 511 476	3 885 211	21 963 940	961 454
2016	12 527 599	3 256 860	23 927 332	1 002 938
2017	13 137 264	4 450 332	27 540 290	1 144 320
2018	11 643 449	3 636 692	23 205 668	819 289

2. táblázat: Az árbevétel változása évenként ipari rönkfa értékesítéséből belföldön

Árbevétel változás (belföldi rönk)				
Évek	Árbevétel (eFt)	Árbevétel változása (2007=100%)	Árbevétel változása (Előző év=100%)	Árbevétel változásának mértéke előző évhez képest
2007	12 107 655	100,00%	-	
2008	12 148 986	100,34%	100,34%	0,34%
2009	8 674 847	71,65%	71,40%	-28,60%
2010	8 574 390	70,82%	98,84%	-1,16%
2011	9 655 165	79,74%	112,60%	12,60%
2012	9 672 100	79,88%	100,18%	0,18%
2013	9 998 576	82,58%	103,38%	3,38%
2014	10 295 120	85,03%	102,97%	2,97%
2015	11 511 476	95,08%	111,81%	11,81%
2016	12 527 599	103,47%	108,83%	8,83%
2017	13 137 264	108,50%	104,87%	4,87%
2018	11 643 449	96,17%	88,63%	-11,37%

A választékonkénti árbevétel-változásoknál szintén megfigyelhető immár százalékos kimutásban a válság utáni visszaesés, viszont jól látszik, hogy az ipari fa értékesítése (2. táblázat) 2011-ben több, mint 12%-os árbevétel-növekedést mutat, mely a további években lassan növekszik, 2015-17 között van egy jelentősebb felfutás, de 2018-ban az árbevétel az előző évhez képest csökken. Az is látható a statisztikából, hogy a 2007-es bázisévhez képest nagyobb árbevételt csak három évben sikerült produkálni (2008-válság előtt;2016;2017).

Az energetikai célú apríték a vizsgálata (3. táblázat) szempontjából a 2007 és 2008 közötti árbevétel növekedés az egyik kiugró pont, a másik, pedig a 2013 és 2014 közötti árbevétel növekedés, mely a továbbiakban kulcsszerepet játszik a tűzifa árbevételének változásában. 2018-ban szintén visszaesés figyelhető meg, hasonlóan az iparifa (rönk) árbevételéhez.

A tűzifa választékoknál (4. és 5. táblázatok) jellemző, hogy 2015 évben ugrásszerűen megnőtt az árbevétel-főként a vastag tűzifa esetében, az energetikai célú apríték árbevétel-növekedését követően. Jól látszik, hogy a 2007-es bázisévhez képest a tűzifa árbevétele 2016-17-ben a duplájára nőtt.

Az egyes választékok évenkénti árbevétel-változását az 1. számú ábra szemlélteti. Ezen kitűnik, hogy a 2008-as válság a tűzifa-piacot nem érintette olyan mélyen, mint az iparifa-kereskedelmet. Kiugró értékek, a már említett 2013 utáni felívelése az energetikai célú apríték értékesítés árbevételének és az ezt követő tűzifa árbevétel növekedése.

3. táblázat: Az árbevétel változása évenként energetikai célú apríték értékesítéséből belföldön

Árbevétel változás (belföldi energetikai célú apríték)				
Évek	Árbevétel (eFt)	Árbevétel változása (2007=100%)	Árbevétel változása (Előző év=100%)	Árbevétel változásának mértéke előző évhez
2007	399 011	100,00%	-	
2008	1 092 062	273,69%	273,69%	173,69%
2009	1 245 200	312,07%	114,02%	14,02%
2010	2 015 131	505,03%	161,83%	61,83%
2011	1 640 557	411,16%	81,41%	-18,59%
2012	1 878 550	470,80%	114,51%	14,51%
2013	1 307 780	327,76%	69,62%	-30,38%
2014	4 493 127	1126,07%	343,57%	243,57%
2015	3 885 211	973,71%	86,47%	-13,53%
2016	3 256 860	816,23%	83,83%	-16,17%
2017	4 450 332	1115,34%	136,64%	36,64%
2018	3 636 692	911,43%	81,72%	-18,28%

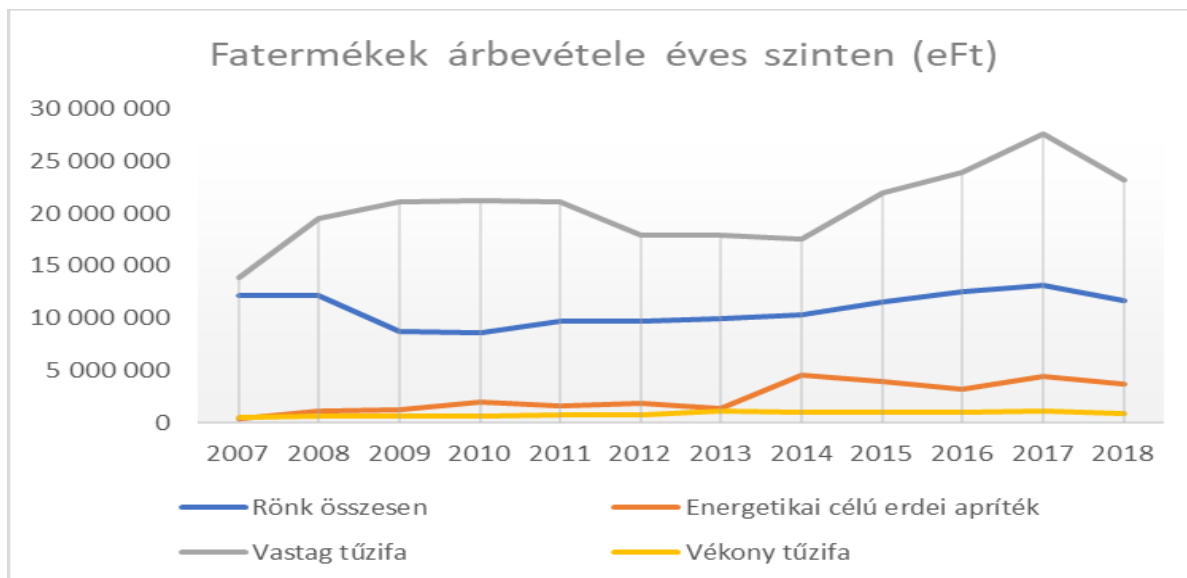
4. táblázat: Az árbevétel változása évenként vastag tűzifa értékesítéséből belföldön

Árbevétel változás (belföldi vastag tűzifa)				
Évek	Árbevétel (eFt)	Árbevétel változása (2007=100%)	Árbevétel változása (Előző év=100%)	Árbevétel változásának mértéke előző évhez képest
2007	13 893 077	100,00%	-	
2008	19 501 186	140,37%	140,37%	40,37%
2009	21 085 344	151,77%	108,12%	8,12%
2010	21 245 096	152,92%	100,76%	0,76%
2011	21 071 446	151,67%	99,18%	-0,82%
2012	17 942 643	129,15%	85,15%	-14,85%
2013	17 913 910	128,94%	99,84%	-0,16%
2014	17 604 574	126,71%	98,27%	-1,73%
2015	21 963 940	158,09%	124,76%	24,76%
2016	23 927 332	172,22%	108,94%	8,94%
2017	27 540 290	198,23%	115,10%	15,10%
2018	23 205 668	167,03%	84,26%	-15,74%

5. táblázat: Az árbevétel változása évenként vékony tűzifa értékesítéséből belföldön

Árbevétel változás (belföldi vékony tűzifa)				
Évek	Árbevétel (eFt)	Árbevétel változása (2007=100%)	Árbevétel változása (Előző év=100%)	Árbevétel változásának mértéke előző évhez
2007	485 941	100,00%	-	
2008	664 407	136,73%	136,73%	36,73%
2009	612 797	126,11%	92,23%	-7,77%
2010	596 613	122,77%	97,36%	-2,64%
2011	726 215	149,45%	121,72%	21,72%
2012	730 161	150,26%	100,54%	0,54%
2013	1 116 455	229,75%	152,91%	52,91%
2014	939 411	193,32%	84,14%	-15,86%
2015	961 454	197,85%	102,35%	2,35%
2016	1 002 938	206,39%	104,31%	4,31%
2017	1 144 320	235,49%	114,10%	14,10%
2018	819 289	168,60%	71,60%	-28,40%

Annak megállapítása, hogy az árbevétel-növekedés minnek a következménye, ahhoz a termelési volumen adatait is elemezni kell, mivel két lehetősége van az árbevétel-növekedésnek: 1. A termelési volumen növekedésével az értékesített termék mennyiségének emelkedése miatt nő az árbevétel; 2. A termelési volumen markánsan nem változik, hanem az értékesített termék piaci ára növekszik, ezáltal növekszik az árbevétel.



1. ábra: Fatermékek árbevételének változása évenként

Az összesített kitermelési adatokat a 6. táblázat foglalja össze, a táblázat a vizsgált választékok évenkénti kitermelt mennyiségét tartalmazza, köbméterben. Az összesítésben egyedül az energetikai célú erdei apríték esetében látható egy komolyabb termelési volumennövekedés, mégpedig a 2013-as évben. Addig egy egyenletes növekedésnek lehetünk tanúi.

6. táblázat: Az egyes választékokból kitermelt éves mennyiség köbméterben

Kitermelés éve	(Ipari) Rönk összesen köbméterben (m ³)	Energetikai célú erdei apríték hengeresfa egyenértékben (m ³)	Vastag tűzifa tömör köbméterben (m ³)	Vékony tűzifa tömör köbméterben (m ³)
2007	788 430	7 555	1 817 567	179 901
2008	799 242	18 359	1 793 992	206 968
2009	704 350	43 756	2 031 372	198 061
2010	700 995	80 597	2 057 569	210 273
2011	705 385	85 519	2 055 419	225 004
2012	705 135	78 564	1 860 662	214 996
2013	691 902	107 324	1 802 014	242 054
2014	681 944	131 638	1 698 931	220 398
2015	686 287	118 384	1 739 950	224 013
2016	680 608	138 385	1 794 533	213 503
2017	633 250	131 680	1 908 391	247 962
2018	662 361	110 100	1 811 485	173 548

Az éves kitermelési adatoknál, az egy évben történő összes kitermelt mennyiség szerepel, tehát nem csak a belföldön értékesített mennyiség. A kitermelt mennyiség nem egyenlő az éves hazai és export mennyiség összegével, mivel a kitermelésből készleten is marad évente (ezt vizsgálni a készletváltozások elemzésével lehetne, de ez a jelen vizsgálatok szempontjából nem releváns. A kitermelés elemzésénél a trendek vizsgálata az érdemleges és a kutatás szempontjából releváns. A választékonkénti adatok elemzése során el lett végezve a viszonyszámokkal történő termelés-változás kimutatása. Ezekből látszik, hogy az ipari rönkfa-termelés (7. táblázat) a válság idején egy komoly, 11%-os visszaesést produkált, a többi évben viszonylag egyenletes kitermelés történt, ez kitűnik a termelés-változás évenkénti változásának oszlopából. A kitermelés változása összességében egy enyhe visszaesést mutat.

7. táblázat: Az éves kitermelés mennyiségének változása ipari rönkfa esetében

Kitermelés volumenének változása (rönk)				
Évek	Kitermelés (m3)	Kitermelés változása (2007=100%)	Kitermelés változása (Előző év=100%)	Fakitermelés változásának mértéke előző évhez képest
2007	788 430	100,00%	-	
2008	799 242	101,37%	101,37%	1,37%
2009	704 350	89,34%	88,13%	-11,87%
2010	700 995	88,91%	99,52%	-0,48%
2011	705 385	89,47%	100,63%	0,63%
2012	705 135	89,44%	99,96%	-0,04%
2013	691 902	87,76%	98,12%	-1,88%
2014	681 944	86,49%	98,56%	-1,44%
2015	686 287	87,04%	100,64%	0,64%
2016	680 608	86,32%	99,17%	-0,83%
2017	633 250	80,32%	93,04%	-6,96%
2018	662 361	84,01%	104,60%	4,60%

Az energetikai célú erdei apríték kitermelési volumene már kevésbé kiegyenlített képet mutat. (8. táblázat) A 2007-es évhez képest 2008-ban és 2009-ben erőteljesen megnövekedett az erdei apríték termelése. 2012-ben volt egy visszaesés, de ez az előző évek növekedési ütemének figyelembevételével elhanyagolható. 2013-2014-ben ismét volt egy növekedés, ez az árbevétel változásával összevetve részben van összhangban, viszont az látszik, hogy a termelési volumen növekedésével az árbevétel is növekszik 2014-ben.

A tűzifa-választékok esetében (9. és 10. táblázat) megállapítható, hogy a kitermelés üteme meglehetősen kiegyenlített képet mutat. Az évenkénti eltérés nem haladja meg egy kivétellel a 10%-ot a vastag tűzifa esetében, a vékony tűzifa adatainál lényegesen nagyobb eltérések vannak, de az évenkénti kitermelés kiegyenlített, mivel, egy nagyobb kitermelési volumenű év után minimális visszaesés jelentkezik. Ennek oka a kitermelés tervezésében keresendő, mivel az előző évről készleten maradt famennyiség részben meghatározza a következő évi vágási tervet.

8. táblázat: Az éves kitermelés mennyiségének változása energetikai célú erdei apríték esetében

Kitermelés volumenének változása (Energetikai célú erdei apríték)				
Évek	Kitermelés (m3)	Kitermelés változása (2007=100%)	Kitermelés változása (Előző év=100%)	Fakitermelés változásának mértéke előző évhez képest
2007	7 555	100,00%	-	
2008	18 359	243,00%	243,00%	143,00%
2009	43 756	579,17%	238,34%	138,34%
2010	80 597	1066,80%	184,20%	84,20%
2011	85 519	1131,95%	106,11%	6,11%
2012	78 564	1039,89%	91,87%	-8,13%
2013	107 324	1420,57%	136,61%	36,61%
2014	131 638	1742,40%	122,65%	22,65%
2015	118 384	1566,96%	89,93%	-10,07%
2016	138 385	1831,70%	116,89%	16,89%
2017	131 680	1742,95%	95,15%	-4,85%
2018	110 100	1457,31%	83,61%	-16,39%

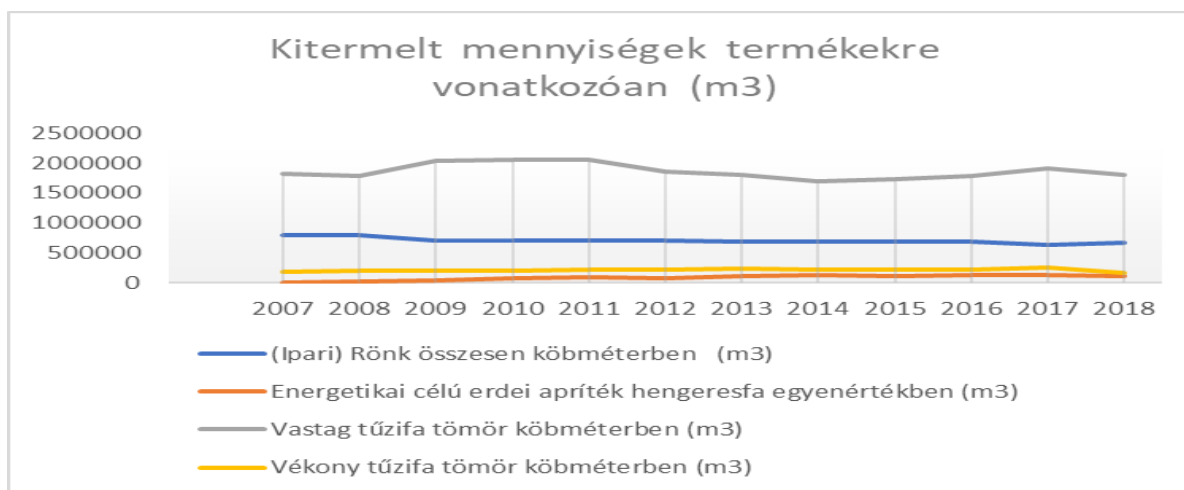
9. táblázat: Az éves kitermelés mennyiségének változása vastag tűzifa esetében

Kitermelés volumenének változása (vastag tűzifa)				
Évek	Kitermelés (m3)	Kitermelés változása (2007=100%)	Kitermelés változása (Előző év=100%)	Fakitermelés változásának mértéke előző évhez képest
2007	1 817 567	100,00%	-	
2008	1 793 992	98,70%	98,70%	-1,30%
2009	2 031 372	111,76%	113,23%	13,23%
2010	2 057 569	113,20%	101,29%	1,29%
2011	2 055 419	113,09%	99,90%	-0,10%
2012	1 860 662	102,37%	90,52%	-9,48%
2013	1 802 014	99,14%	96,85%	-3,15%
2014	1 698 931	93,47%	94,28%	-5,72%
2015	1 739 950	95,73%	102,41%	2,41%
2016	1 794 533	98,73%	103,14%	3,14%
2017	1 908 391	105,00%	106,34%	6,34%
2018	1 811 485	99,67%	94,92%	-5,08%

10. táblázat: Az éves kitermelés mennyiségének változása vékony tűzifa esetében

Kitermelés volumenének változása (vékony tűzifa)				
Évek	Kitermelés (m3)	Kitermelés változása (2007=100%)	Kitermelés változása (Előző év=100%)	Fakitermelés változásának mértéke előző évhez képest
2007	179 901	100,00%	-	
2008	206 968	115,05%	115,05%	15,05%
2009	198 061	110,09%	95,70%	-4,30%
2010	210 273	116,88%	106,17%	6,17%
2011	225 004	125,07%	107,01%	7,01%
2012	214 996	119,51%	95,55%	-4,45%
2013	242 054	134,55%	112,59%	12,59%
2014	220 398	122,51%	91,05%	-8,95%
2015	224 013	124,52%	101,64%	1,64%
2016	213 503	118,68%	95,31%	-4,69%
2017	247 962	137,83%	116,14%	16,14%
2018	173 548	96,47%	69,99%	-30,01%

A kitermelt mennyiségek változásait grafikusán a 2. számú diagram összesíti. A kérdés-felvetés ez esetben az volt, hogy a termelési volumen megnövekedése okozza a tűzifa és az energetikai célú erdei apríték esetében az árbevétel-növekedést. A diagramból kitűnik, hogy a kitermelésre vonatkozó, olyan markáns kiugrások 2014. év és azt követően nincsenek, mint az árbevétel esetében.



2. ábra: Kitermelt mennyiségek évenkénti változása az egyes választékok szerint

Eredmények értékelése, következtetések

Az adatok és az abból képzett viszonyszámok összevetése és elemzése után megállapítható, hogy a tűzifa választék árbevétel-növekedése a gazdálkodóknál nem a termelési volumen növekedésének következménye, ebből további következtetésként megállapítható, hogy a tűzifa piaci árának emelkedése az oka az árbevétel-növekedésnek. A tűzifa árának növekedése összefüggést mutat az energia célú apríték árbevétel növekedésével, az adatokból képzett grafikus kimutatásokból látható, hogy a tűzifa árbevétel-növekedése az energetikai célú erdei apríték árbevétel-növekedését követi. Ennek oka a csúcserőművek tüzelőanyag-ellátásával hozható összefüggésbe. A keresletnövekedés a biomassza tüzelőkre, a piaci ár növekedéséhez vezetett, ezt követően a megnövekedett kereslet kielégítésére az erőművi fa ára a tűzifa ár-növekedését is okozta, hiszen a megnövekedett kereslet a gazdálkodókat abba az irányba mozdította el, hogy a megtermelt tűzifát eladhatja erőművi biomasszának vagy az energetikai célú erdei apríték árával megegyezően értékesíti másik piacon. A lakossági fogyasztónak ebben az esetben nincs választása, kénytelen az erőművi biomassza árán megvenni a szükséges tűzifát. Ezzel a tűzifa árának emelkedése a biomassza-kereslet felfutásával olyan mértékűen emelkedett, mely komolyan torzított és torzítja a tűzifa-piacot. A biomassza iránti kereslet erőművi célokra hosszú távon csökkenhet, ez a továbbiakban mérsékelheti a tűzifa árát, és visszarendeződést okozhat a piacon.

Köszönetnyilvánítás: Jelen publikáció az „EFOP-3.6.1-16-2016-00018 – A felsőoktatási rendszer K+F+I szerepvállalásának növelése intelligens szakosodás által Sopronban és Szombathelyen” című projekt támogatásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- Magyarország Agrárminisztériuma-<https://agrarstatisztika.kormany.hu/erdogazdalkodas2> / Erdei fatermékek termelése és készletváltozása_idősor_2007_2018 (Utoljára felkeresve: 2020. 04. 28.)
- Magyarország Agrárminisztériuma-<https://agrarstatisztika.kormany.hu/erdogazdalkodas2> / Erdei fatermékek termelése és készletváltozása szektorális bontásban_2018 (Utoljára felkeresve: 2020. 04. 28.)
- Magyarország Agrárminisztériuma-<https://agrarstatisztika.kormany.hu/erdogazdalkodas2> / Nettó fatermelés_idősor_2000_2018 (Utoljára felkeresve: 2020. 04. 28.)
- Magyarország Agrárminisztériuma-<https://agrarstatisztika.kormany.hu/erdogazdalkodas2> / Nettó fatermelés szektorális bontásban_2018 (utoljára felkeresve: 2020. 04. 28.)

METEOROLÓGIAI MÉRÉSEK A SOPRONI-HEGYSÉGBEN

GÁLOS BORBÁLA¹, KISS MÁRTON²

¹Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Környezet- és Földtudományi Intézet

²Országos Meteorológiai Szolgálat, Soproni Meteorológiai Observatórium
galos.borbala@uni-sopron.hu

A meteorológiai mérések története Sopronban és a hegyvidéken

Sopronban – hazánkban elsőként – 1717-ben indult meg a műszeres meteorológiai mérés, mely Gensel János Ádám városi főorvos nevéhez fűződött. Az évszázadok során egyre pontosabb műszerekkel és egyre több meteorológiai elem mérése, megfigyelése kezdődött meg. Szervezett, intézeti keretek között 1856. január elseje óta folyik az adatgyűjtés, előbb az osztrák, majd 1871 óta az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) állomásaként. Ennek köszönhetően Sopronból hosszú és az ország leghomogénebb adatsora áll rendelkezésre. Az egyetem Botanikus kertjében működő meteorológiai állomás az OMSZ állomásaként működött 1925-től 1974-ig. A megfigyeléseket az Egyetem Erdővegytani-, majd Termőhely-ismerettani Tanszéke végezte az Országos Meteorológiai Szolgálattal együttműködésben. A meteorológiai főállomás 1974-ben önálló telephelyre, a Kurucdombra költözött, ugyanakkor a mérések tovább folytatódtak az egyetemi műszerkertben, kezdetben Martos András, majd Vig Péter vezetésével.

A Soproni-hegység éghajlatának vizsgálata ennél jóval rövidebb múltra tekint vissza. 1931-ben létesült az első hegyvidéki csapadékmérő állomás Brennbergbányán, majd 1935-ben Görbehalomban. Ez a két állomás az OMSZ országos mérőhálózatának részeként a mai napig is működik. Az egyetemen kibontakozó, a hegyvidéki erdőkre kiterjedő kutató munka fontos részét képezte már az 1950-es évektől az éghajlat vizsgálata és folyamatainak megismerése. Ennek felismerése vezette Botvay Károlyt és Martos Andrást arra, hogy a csapadék eloszlását egy sűrűbb mérőhálózattal végezzék. 1956-ban 22 mérőállomással indult meg a munka Sopron környékén. A csapadék mérésén túl egy klíma adatokat gyűjtő hálózatot is létrehoztak az OMSZ és az Egyetem közreműködésével. Ebben a körben létesült mérőállomás Hermesén, ahol 1971-től indult a folyamatos mérés, ez az állomás a hegyvidék tetőrégiójára vonatkozóan a leghosszabb hőmérsékleti adatsorral rendelkezik. Az adatok kiértékelésével ugyan a hálózat sűrűsége csökkent, de a főbb, a térség éghajlatának vizsgálatához szükséges állomások napjainkig fennmaradtak. A manuális megfigyelés mellett a hegyvidéken 1985-ben, a Hidegvíz-völgyi mérőállomáson telepítették az első automata berendezést, az Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Tanszék gondozásában, mely a kezdeti nehézségek után az 1993-as évről adott először hiánytalan tájékoztatást. 1996-ban Vig Péter irányításával települt állományklíma mérőállomás a Magas-bérc közelében, az István-aknánál, melynek 19 m magas tornyában az aktív felszín felett, standard meteorológiai adatok nyerhetők. Az OMSZ csapadékmérő hálózata 2005-ben Muck-kilátó és Kertváros állomásokkal bővült, melyek szintén a hegyvidék éghajlati viszonyairól adnak részletesebb képet.

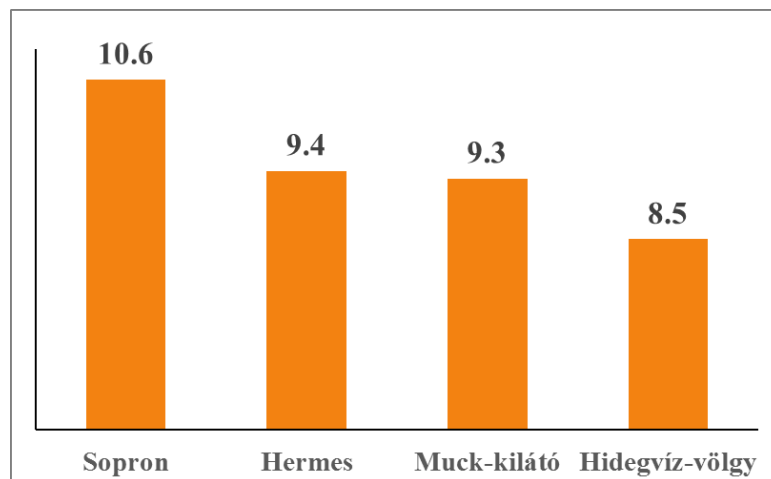


1. ábra: Hermes, éghajlati állomás (2020.04.26.)

A hegyvidék hőmérséklet viszonyai

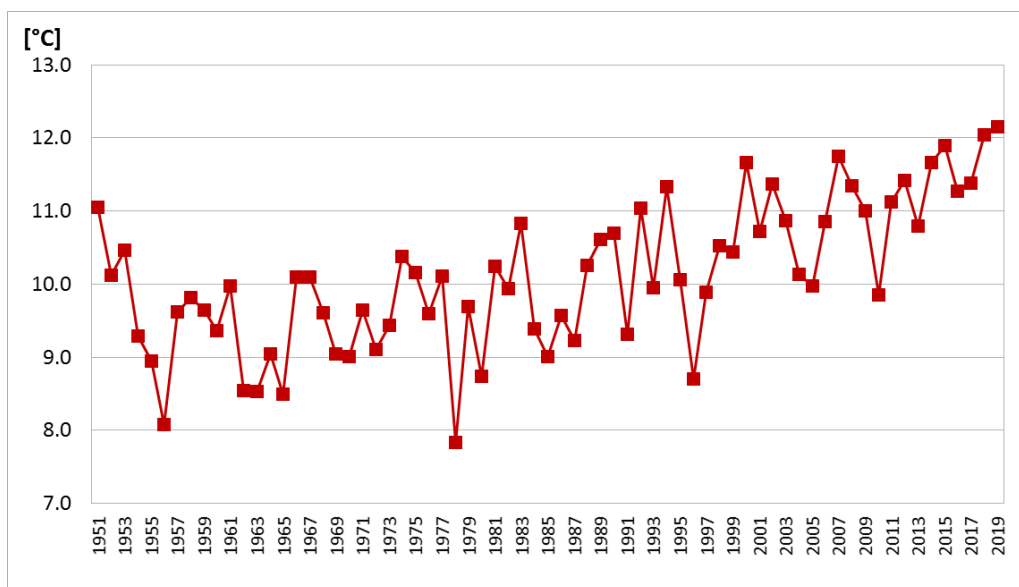
A Soproni-hegység hőmérsékleti viszonyait alapvetően a hőmérsékleti gradiens határozza meg, melynek mértéke a helyi megfigyelések alapján kb. $-0,9\text{ }^{\circ}\text{C}/200\text{ m}$. Ezt azonban jelentősen befolyásolják a helyi terepi viszonyok. A Soproni-hegység leghidegebb pontjai nem a hegytetőkön, hanem a hegyvidékbe ékelődött völgyekben találhatók.

A hegylábi részeken $10,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ körül alakul az átlaghőmérséklet, míg a hegység tetőrégiójára a $9,0\text{-}9,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os érték a jellemző. A derült éjjeleken fellépő gyakori inverzió és a korlátozott besugárzás miatt a magasabban fekvő völgyekben (300-400 m tszfm között) a $8,5\text{-}9,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os évi értékek a jellemzők. Ennek megfelelően hőmérsékleti szempontból a Soproni-hegység változatos képet mutat és több hőmérsékleti régió is sejthető az eddig megfigyelt adatok alapján. Az egyik a hegység előterében lévő enyhe, gyakran széles Soproni-medence, a másik a hegyek közé benyúló szélvédett völgyek, ahol a legnagyobb hőingást tapasztalhatjuk, a harmadik a hegység keleti része, Muck-tól Harkáig terjedő enyhébb, de az előzőeknél kiegyenlítettebb hőmérséklet járású vidéke, míg a negyedik a Brennbergbányától nyugatra lévő hegységrészt, mely a legkiegyenlítettebb, leghűvösebb klímájú terület. A rendelkezésre álló mért adatok alapján a Hidegvíz-völgy éves átlaghőmérséklete $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ -kal hidegebb, mint Soproné (2. ábra; GÁLOS – KISS 2019).

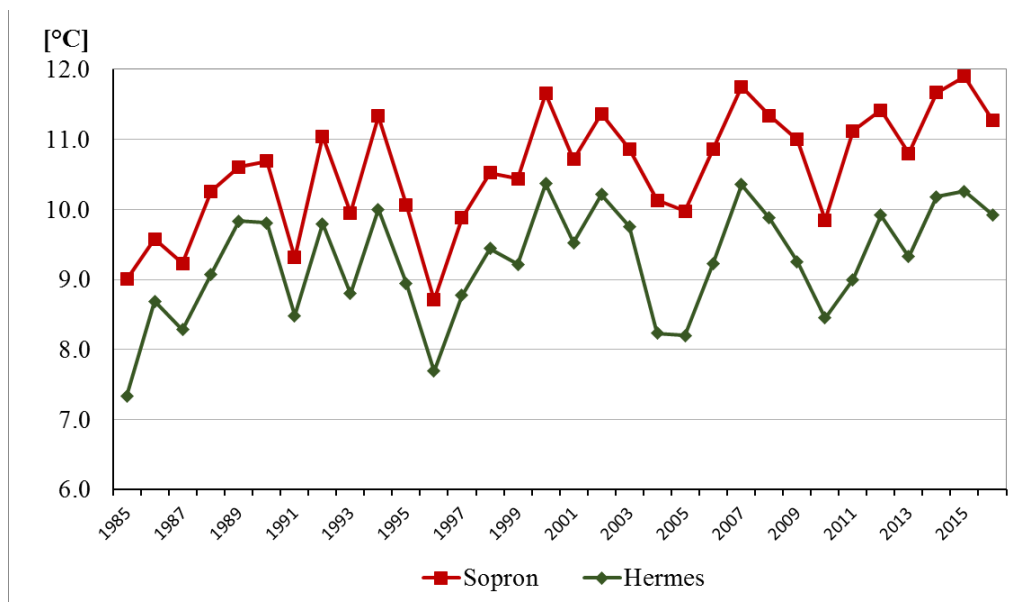


2. ábra: Évi középhőmérsékletek ($^{\circ}\text{C}$) különböző mérőállomásokon (1985-2016)

Az elmúlt évtizedekben a hőmérséklet az év minden hónapjában emelkedő tendenciát mutat. Míg az 1901-1930 közötti 30 év átlaghőmérséklete Sopronban 9,3 °C volt, addig az 1987-2016-os időszaké 10,6 °C. Az 1961-1990-es időszakhoz képest az 1981-2010-es időszak éves átlaghőmérséklete 0,7 °C-kal melegebb (ez egyezést mutat az országos tendenciával). 2018-ban a mérések kezdete óta először érte el az éves középhőmérséklet Sopronban a 12 °C-ot (3. ábra). A 2019-es év ennél is melegebb volt (12,2 °C). A hegyvidék hőmérséklete is együtt mozog a soproni értékekkel (4. ábra), ezért arra következtethetünk, hogy a Soproni-hegységben is jelentős melegedés zajlott.



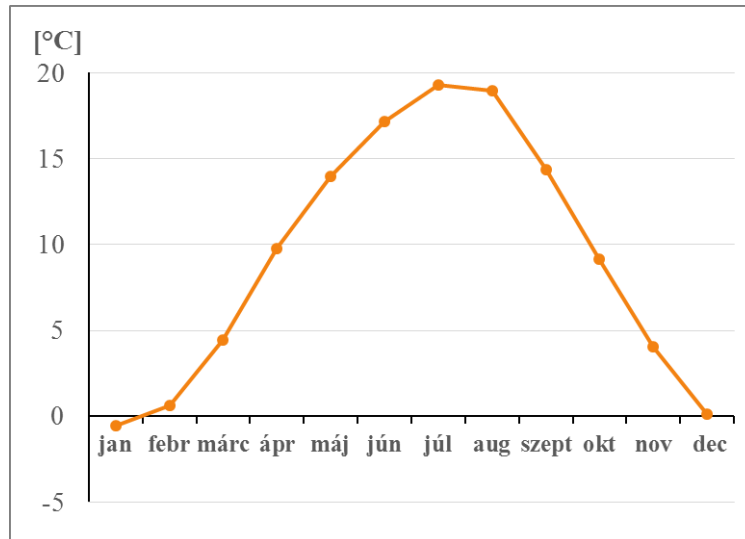
3. ábra: Sopron Kuruc-domb állomás évi középhőmérsékleteinek menete 1951-2019



4. ábra: Sopron és Hermes állomások évi középhőmérsékleteinek menete 1985-2016

A leghidegebb átlaghőmérsékletű hónap a térség egészén a január, a legmelegebb a július (5. ábra). A januári középhőmérséklet az elmúlt évtizedek emelkedő tendenciájának köszönhetően a hegyvidéken is csak kevéssel marad fagypont alatt, sőt a legutóbbi 30 éves átlagidőszakban

Sopronban már nincs 0 °C alatti átlaghőmérsékletű hónap. Hermeszen egyedül a január mutat -0,6 °C-os átlagos értéket, míg a Hidegvíz-völgyben még mindhárom téli hónap középhőmérséklete a negatív tartományban marad, azonban ez csak nagyon kis területre, a magasabban fekvő völgyekre tekinthető érvényesnek. A júliusi átlaghőmérséklet a hegyvidék 400 m feletti részein nem éri el a 20 °C-ot, Hermeszen csupán 19,3 °C, míg Sopronban már ennél közel 2 °C-kal magasabb, 21,1 °C. A hőmérséklet éves járása a megszokott, szabályos képet követi.



5. ábra: Havi átlaghőmérsékletek Hermes állomáson (1985-2016)

Az egyes hónapokra Hermes és Sopron adatsorát összehasonlítva megállapíthatjuk, hogy a nyári félévben nagyobb a két állomás közti hőmérséklet különbség, mint a téli félévben. A hegyvidék tetőrégiója nyáron 1,3-1,7 °C-kal hűvösebb, mint a Soproni-medence, míg télen mindössze 0,2-1,2 °C-kal. A nagyobb borultság, a több csapadék, a nedvesebb levegő hűti nyáron a hegyvidéket, míg a télen gyakrabban jelentkező inverzió enyhíti azt. Az adatok alapján megállapítható, hogy a hegység éghajlata jóval kiegyenlítettebb, mint Soproné. Az átlagos évi hőingás Sopronban 21,1 °C, míg Hermeszen 19,9 °C (GÁLOS – KISS 2019).

A küszöbnapok számában még jobban megmutatkozik a hegység mérsékelt, hűvösebb jellege. A hegyvidéki fagyos napok száma összességében meghaladja Sopronét, de a távolabbi, síkvidéken lévő Sopronhorpács és Fertőrákos állomásokénál már alacsonyabb, a téli napok száma azonban valamivel több, mint a Soproni-medencében és a Kisalföldön. A zord napok, azaz a -10 °C-nál hidegebb minimumhőmérsékletű napok számát tekintve hasonló az előfordulási gyakoriság Sopronéhoz, de a még alacsonyabban fekvő Fertőrákoshoz viszonyítva már 2 nappal kevesebb. Megjegyzendő, hogy a völgyekben – a már említett inverzió és domborzat együttes hatása következtében – a fagyos és a zord napok száma lényegesen magasabb, egyes években a dupláját is eléri a hermesi és a soproni értékeknek. A nyári hónapok hűvössége a nyári és hőségnapok számában mutatkozik meg leginkább. A 25 °C feletti maximumhőmérsékletű (nyári) napok száma a hegyvidéken a felét sem éri el a Sopronban regisztráltaknak. A 30 °C-ot elérő vagy meghaladó maximumhőmérsékletű napokra (hőségnapokra) pedig a hegyvidéken jelenleg alig számíthatunk. Hermeszen többségében még mindig 30 °C alatt marad az év során mért abszolút maximum hőmérséklet. Egy átlagos évben Sopronban már 4 napon fordul elő olyan nap, amikor a 35 °C-ot eléri a hőmérséklet, míg Hermeszen ilyen magas érték még nem jelent meg az adatsorban, a rendkívül forró nyarú 2007-es és 2013-as években sem.

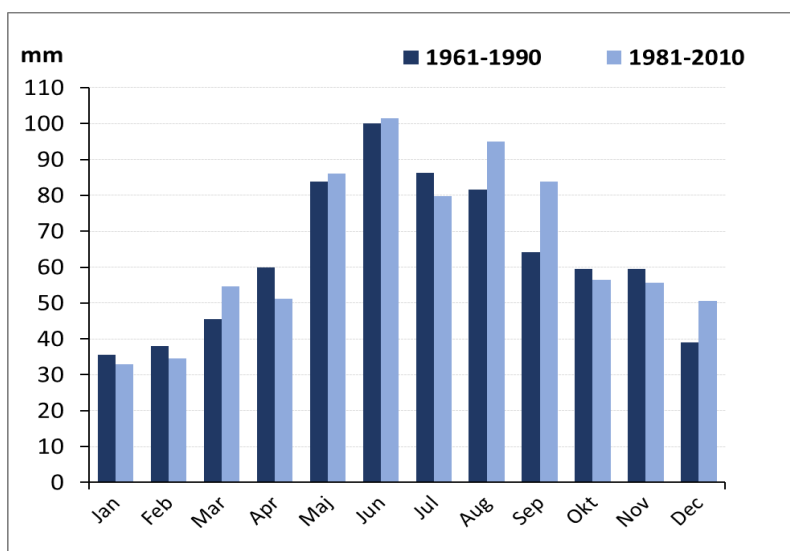
A hegyvidék csapadék viszonyai

A Soproni-hegység jelentős csapadéktöbblettel rendelkezik a tőle keletre és északra elhelyezkedő Kisalföld területéhez képest. A csapadéktöbbletnek van egy kelet-nyugat irányú és egy magassággal növekvő, ún. orografikus komponense (1. táblázat). Míg a hegylábi 200 m-es tengerszint feletti magasságon 628.4 mm az átlagos éves csapadékösszeg, addig a hegység 500 m-es tengerszint feletti magasságú részein már 797.1 mm. A magasságból eredő csapadéktöbblet hazai átlagértéke 30-35 mm/év, ez a Soproni-hegység területén 42 mm/év. Az azonos térszintben elhelyezkedő állomások adatai alapján elmondható, hogy a csapadék mennyisége a hegyvidék közelében drasztikusan (8-9 mm/km/év), majd egyre kisebb mértékben (1-2 mm/km/év) csökken keleti irányban.

1. táblázat: Évi csapadékösszegek mm-ben (1971-2010)

Sopron	Görbehalom	Hidegvíz-völgy	Brennbergbánya	Muck-kilátó	Hermes
639	741	764	774	848	792

A hegység területén a legszárazabb hónap pontosan nem meghatározható. A január és a február hónap átlagértéke egyaránt 35-35 mm körül mozog, egyes mérőállomásokon a január, másokon a február a szárazabb, de az eltérés csupán pár mm. A legcsapadékosabb hónap a június, a síkvidéken 75-80 mm, a hegység lábánál 80-90 mm, a hegységben 90-110 mm-es értékekkel (6. ábra). A csapadék éves menetében megfigyelhető egy nagyon enyhe másodmaximum novemberben. A csapadékos napok száma a hegység előterében 120, a hegységben 150 körül alakul GÁLOS – KISS 2019).

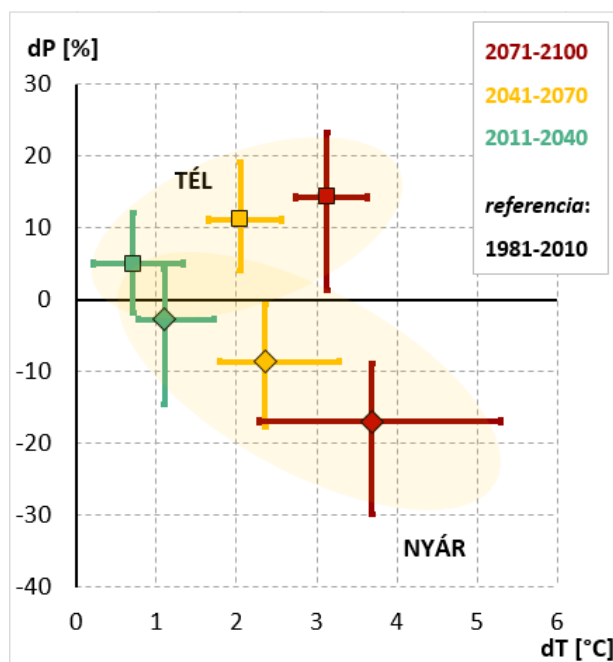


6. ábra: Brennbergbánya állomás átlagos havi csapadékösszegei

Sopron térségében az éves csapadékösszegek az utóbbi másfél évtizedben enyhén emelkedő tendenciát mutatnak, ugyanakkor a csapadék éven belüli eloszlása is változott. Az egyes hónapokat nézve április mutatja a legjelentősebb csökkenést, a csapadék éves menetében mutatkozó késő őszi másodmaximum évtizedről-évtizedre csökken és december elejére húzódik (6. ábra). A nyári hónapok növekedése az egyre hevesebb, intenzív csapadékot adó nyári zivataroknak köszönhető. A nyári csapadékos napok száma ezzel ellentétben enyhén csökken, azaz rövidebb idő alatt több csapadék hullik.

A hegyvidék várható éghajlati viszonyai

A hegyvidéken megfigyelt melegedő tendencia várhatóan a század végéig folytatódni fog, Az átlagos becslések alapján a melegedés mértéke a század közepe után elérheti a 2 °C-ot, a század végére a 3 °C-ot is meghaladja (mely a globális átlaghoz képest kb. 1 °C-kal magasabb; GÁLOS – FÜHRER 2018). Ennek következtében rövidesen a hegyvidéken sem lesz majd olyan hónap, amelynek átlaghőmérséklete fagypont alatt marad. Télen ezért a csapadék inkább eső, mint hó formájában hullik majd. A meleggel összefüggő hőmérsékleti szélsőségek (hőség- és forrónapok, hőhullámok) gyakoriságának növekedése a század során folytatódni fog, olyan értékek is felléphetnek, amelyeket a mérések kezdete óta még nem észleltek. A korábbi kitavaszkodás a kései fagyok kockázata növekedhet.



7. ábra: Nyári és téli átlaghőmérsékletek és csapadékösszegek várható változása a Soproni-hegység térségében, az 1981-2010-es időszakhoz képest, regionális klíma előrejelítések eredménye alapján, az IPCC A1B kibocsátási forgatókönyv feltételezésével. A hibaszávok a várható változások lehetséges tartományát jelölik.

A melegedés télen a csapadékmennyiség egyértelmű növekedésével, nyáron pedig csökkenésével járhat (7. ábra). Nyáron a magas hőmérsékletek miatt az ariditás fokozódására lehet számítani. A csapadék várhatóan kedvezőtlenebb időbeni eloszlású lesz, mint korábban. Főleg a nyári félévben ritkábban eshet, de nagyobb mennyiségű csapadék, aminek következtében megnövekedett az aszály kialakulásának a veszélye. A heves záporok, zivatarok gyakoriságának növekedése pedig hirtelen áradásokhoz, vezethet.

A mérések korszerűsítése

Az elmúlt évek kutatási és eszközbeszerzési projektjei lehetőséget biztosítottak a Botanikus kert (8. ábra), valamint a hegyvidék több állomásának fokozatos korszerűsítésére, automatizá-

lására. A Boreas Fejlesztő és Szolgáltató Kft. eszközeivel, szenzoraival hőmérséklet, páratartalom, csapadék, talajhőmérséklet és talajnedvesség, sugárzás és szél mérés folyik az egyes helyszíneken.



8. ábra: Botanikus kerti meteorológiai állomás

Az automata meteorológiai állomások segítségével végzett mérések hozzájárulnak az erdőállományok, agrárerdőszeti rendszerek mikroklímájának jobb megismeréséhez, a fás biomassa termesztési feltételeinek vizsgálatához. A hosszútávon fenntartott mérések alapján számszerűsíthető lesz ezeknek a felszínborításoknak a mikroklímára gyakorolt hatása, és az esetleges klímaváltozás mérsékelő szerepe (hőmérséklet-csökkentő, páratartalom növelő, valamint hóhullám- és aszály-intenzitás mérsékelő hatása) más felszínborításokhoz képest.

Köszönetnyilvánítás: A meteorológiai eszközök beszerzése a Fás biomassa termesztési feltételeinek vizsgálata GINOP 2.3.3-15-2016-00039-es projekt keretében valósult meg.

Irodalom

GÁLOS B., KISS M. (2019): A tájvédelmi körzet természetföldrajzi viszonyai. Éghajlati adottságok. In: Soproni Tájvédelmi Körzet. Monografikus tanulmányok a Soproni-hegység természeti és kulturális értékeiről (szerk.: Kárpáti L.). Fertő-Hanság Nemzeti Park Igazgatóság Szaktudás Kiadó Ház Zrt., Budapest ISBN 978-615-5224-82-9, 44-48.

GÁLOS B., FÜHRER E. (2018): A klíma erdőszeti célú előrevetítése. Erdészettudományi Közlemények 8(1): 43-55.

PÁROLGÁS OKOZTA NAPI INGADOZÁS ÉS ANNAK INFORMÁCIÓTARTALMA (MÓDSZEREK AZ EVAPOTRANSZSPIRÁCIÓ SZÁMÍTÁSÁRA)

GRIBOVSZKI ZOLTÁN, KALICZ PÉTER

Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Geomatikai, Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Intézet
e-mail: gribovszki.zoltan@uni-sopron.hu

A talajnedvességben, talajvízszintben és legtöbbször a kisvízgyűjtők lefolyásában észlelhető napi ingadozás kevéssé vizsgált jelenség, annak ellenére, hogy számos fontos információ forrása lehet. A fluktuáció okai sokfélék lehetnek: a fagyás-olvadás hatásai mellett, az egyenlítő környékén jellegzetesen délutánonként megjelenő csapadékok, a vízfolyás medrének hőmérséklet hatására jelentkező hidraulikus vezetőképesség változása éppúgy az ilyen periodikus változás oka lehet, mint a vegetáció napi ciklusú vízfelvétele. Az okozó hatások közül az egyik legjelentősebb a mi klímánkon a vegetáció vízfogyasztása, ennek okán jelen írás a párolgás okozta napi ingadozás információtartalmával foglalkozik. Pontosabban a rövid tanulmány feladata a talajnedvességben, a talajvízszintekben és a vízfolyások alapvízhozamában jelentkező, napi ingadozást felhasználó helyi vagy vízgyűjtő szintű evapotranszspirációt (ET) számító eljárások rendszerezése.

A napi ciklusú változás

A talajnedvesség, a talajvíz és a lefolyás időbeli változatosságában hosszabb (többéves vagy éven belüli változékonyság) és rövidebb (pl. a napi periódus) ciklikus változásokat különböztethetünk meg. Az évszakos változások jellemzőinek vizsgálatával a különböző szakcikkek sora foglalkozik és a hidrológiai szakkönyvekben is hosszasan taglalják ezt a jelenséget, azonban a talajnedvesség, a talajvízjárás és az alapvízhozam napi ingadozásáról irodalmat a szakkönyvekben alig találunk.

Példaként BAUMGARTNER–LIEBSCHNER (1990) csak egy rövid bekezdést szentel a kérdésnek, ahol a jelenséget a levegőhőmérséklet változásával magyarázza. Ez a megfigyelés a Harz-hegységbeli kísérleti terület eredményeihez kapcsolódik (DELFS et al. 1958). HEWLETT (1984) "Az erdészeti hidrológia alapelvei" című munkájában említi a jelenséget egy bekezdés erejéig és okának már az evapotranszspirációt (ET) adja meg. LEE (1980) "Erdészeti hidrológia" című tankönyvében említi a talajvízben jelentkező szignált és a White-módszert (WHITE 1932) be is mutatja, de részletesebben nem elemzi a problémát. Az evapotranszspiráció talajvízre gyakorolt hatásának tárgyalásánál DINGMAN (2002) elemzi a napi ritmusú talajvízszint-változást és leírja a White-féle eljárást, mint az evapotranszspiráció meghatározásnak egy módszerét a felszínközeli talajvízű területeken. A témával részletetekbe menően foglalkozott PÖRTGE (1996), aki a rövid periódusú változások közül szintén a napi periódusidejű lefolyásváltozást vizsgálta behatóbban. A hazai szakkönyvek közül V. NAGY (1965) és JUHÁSZ (2002) említi a talajvíz napi ciklusú járását, mindketten UBELL (1960) a VITUKI kecskeméti kísérleti telepén végzett méréseire hivatkoznak. Az ingadozást a talajhőmérséklet napon belüli hullámzásához kapcsolják és okának kizárólag a talajlevegő abszolút páratartalmában, a párolgás és kicsapódás folyamatai miatt, bekövetkező változásokat tekintik. A talajvízszintekben jelentkező napi ciklusú változás megjelenését előbbi szerzők a vegetációs időszakhoz kötik és csak a felszínközeli talajvizeknél veszik jellemzőnek. A közelmúltban már egyre több cikk jelenik meg, melyek a hidrológiai jellemzőkben bekövetkező napi ciklusú változás alapján igyekeznek magyarázni és számszerűsíteni bizonyos vízháztartási jellemzőket. Magyarországi viszonylatban GRIBOVSZKI et al. (2009) és GRIBOVSZKI et al. (2010a) tekintette át a hidrológiai

jellemzőkben kimutatható napi hullámozás jellegzetességeit, okait és az ennek alapján nyerhető információkat.

A lefolyásban jelentkező napi periódusú ingadozás PÖRTGE (1996) szerint csak kisvízgyűjtőkön (kb. 40 km² nagyságig) kisvízi időszakban tapasztalható és csak a rajzoló vízmércével rendelkező állomásokon mérhető értékelhető formában. A jelenség ritkábban magában a vízfolyás medrében vizuálisan is felismerhető. LUNDQUIST és CAYAN (2002) vizsgálatai szerint azonban a napi periódusú hullámozás több ezer km²-es vízgyűjtőnagyságnál is tapasztalható. A napi periódusidejű hullámozás nagyobb vízgyűjtők lefolyásában való megjelenését igazolják TROXELL (1936) és MEYBOOM (1965) korábbi vizsgálatai is, ahol a jelenséget 40 km²-nél jóval nagyobb vízgyűjtőkön elemezték.

A tény, hogy a napi periódusú talajnedvesség-, és talajvízjárásnak, valamint vízhozam-ingadozásnak, a korábbi tudományos irodalomban csak igen kevés figyelmet szenteltek, azon alapulhatott, hogy az általa képviselt mennyiségi változás vízgazdálkodási szempontból alárendelt jelentőségűnek ítélt. Ehhez járult még az a tényező, hogy e jelenség sokszor egyszerűen ismeretlen volt a mérést végző számára. Közvetlenül a mederben sokszor alig felismerhető a napi ciklusú vízszintváltozás, a rajzoló nélküli vízmércéken és a régi típusú, nem megfelelő érzékenységgű rajzolókon pedig ritkán kimutatható. A kimutathatóság korlátját jelentette a hidrológiai gyakorlatban a lefolyási adatok gyűjtésénél alkalmazott napi vagy a talajnedvesség és talajvízszintek észlelésénél használt heti egyszeri észlelés, amellyel lehetetlen érzékelni ezeket a napi ciklusidejű változásokat.

A jelenlegi korszerű digitális adatgyűjtő eszközök robbanásszerű fejlődésével egyre több lehetőség adódik nagy frekvenciás adatgyűjtésre, amely rengeteg új információt szolgáltat a napi periódusú hullámozásról.

A napi ciklusú hullámozásból levonható információk nemcsak a vízkészletek és az azokból történő vízfelhasználás pontos számszerűsítésére, az adott terület, ill. víztartó hidrológiai jellemzőinek becslésére alkalmasak, hanem nagyon jó diagnosztikai mutatói a klímaváltozásnak is. A napi hullámozásból nyerhető információk kiegészítői lehetnek a pontszerű hőmérséklet és csapadékméréseknek, amelyek a felső vízgyűjtőkön sokszor ritkák, általában nem egy egész vízgyűjtő integrált hatását mutatják és kevésbé befolyásoltak a vízgyűjtő biológiai jellemzői által (pl. növényállományok). Az integrátor hatás és a biológiai jellemzőkkel való szoros kapcsolat a talajnedvességben, a talajvízjárásban és alapvízhozamokban tapasztalható napi ciklusú hullámozást a klímaváltozás komplex hatásainak igen jó indikátorává teszi.

A legtöbb esetben a felszínközeli talajvízjárásban és az alapvízhozamokban tapasztalható napi ciklusú változás fő indukáló faktorainak a napsugárzást és a hőmérsékletet tekintjük. Ezek szabályozzák a napi ciklusú vízfelvételt és vízleadást, a csapadék, az evapotranszspiráció, az infiltráció és a hóolvadás vagy egyszerűen a hőmérséklet napon belüli fagypon alatti és fölötti változása révén. Egyes folyamatok (pl. hóolvadás) a vízfolyásokban vagy a felszínközeli talajnedvességben közvetlenül és szinte azonnal érzékelhetőek, míg a talajvíznél kisebb a jelentőségük, ill. bizonyos késleltetéssel jelentkeznek.

Mivel az indukáló hatások közül a párolgás az egyik legjelentősebb, ezért ezen információnak a szignál elemzése alapján történő visszanyerésével részletesebben foglalkozunk. Áttekintjük és rendszerezük a párolgási típusú hullámozás alapján ET-t számító módszereket.

A párolgási típusal kapcsolatos vizsgálatok rendszerezése

A párolgási típus mind a talajnedvességben, mind a talajvízszintekben és a lefolyásban is megjelenhet, amennyiben a terület adottságai szerint a felszín alatti vízkészletek az ET által érintettek lehetnek. A klasszikus szinuszhullámhoz hasonló szignál kialakulása a hidrogeológiai értelemben vett feláramlási zónákban vagy másként jelentős utánpótlódással

rendelkező (discharge) területeken jellemző. A beszivárgási (recharge) zónákban a szignál egy lépcsős függvényként és elsősorban a talajnedvességben jelentkezik, mivel itt háttérből származó utánpótlódásra nem lehet számítani. Amennyiben a recharge zónában a talajvízszint közel lenne a felszínhez a talajvízszintekben szintén lépcsős függvény megjelenése várható az ET hatására (MÓRICZ et al. 2016).

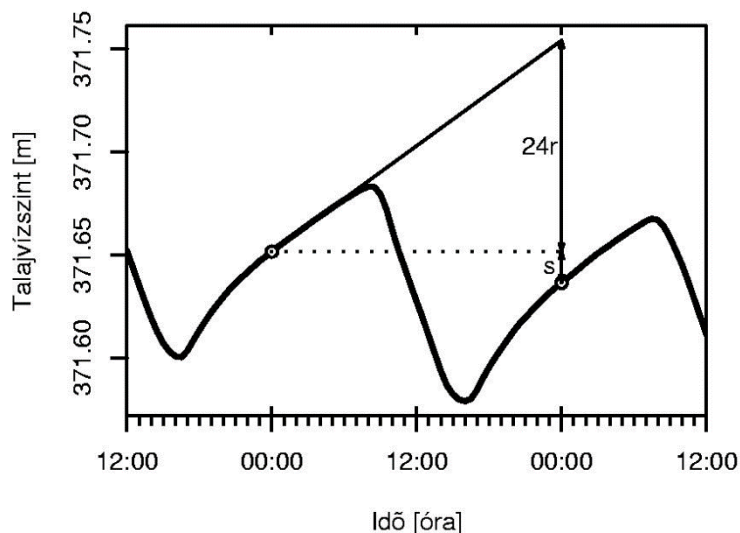
A témával kapcsolatos irodalmat áttekintve jellemző, hogy elsőként a talajvízszintekben és a lefolyásban észlelt szignál megjelenéséről számol be a legtöbb publikáció és csak a talajnedvesség mérésének automatizálásától kezdve találunk olyan irodalmat, amely a talajnedvességben is detektálja a szignált, így a talajnedvesség esetében kidolgozott módszerek is később jelennek meg.

A talajvízben és talajnedvességben jelentkező szignál alapján ET-t számító módszerek alapjául szinte minden esetben a White-féle eljárás szolgál, ezért röviden ismertetjük a módszer lényegét.

WHITE (1932) szerint, ha az evapotranszpirációt elhanyagolhatónak tételezzük fel, a késő éjjeli, kora hajnali órákban (0-4 h. között), akkor a talajvízállás növekedési rátája ebben az időszakban egyenlőnek vehető a terület talajvíz-utánpótlásával. A görbéhez ebben az időszakban húzott egyenes iránytangense (r [L]), tehát az egységnyi idő (pl. 1 óra) alatti talajvíz-utánpótlódás. Ha ezt az utánpótlódási rátát, az evapotranszpiráció jelenléte nélkül, meghosszabbítanánk 24 órán keresztül, akkor a talajvízszint $24r$ magasságra emelkedne. Mivel azonban az evapotranszpiráció jelen van, általában a növekedés helyett, egy nap alatt még egy s [L] értékkel jellemezhető csökkenés is beáll a talajvízszintben (1. ábra). Mindezek alapján WHITE (1932) szerint a talajvízből származó evapotranszpirációs (ET_{GW}) vízfogyasztás a következőképpen kalkulálható (1. egyenlet).

$$ET_{GW} = S_y \cdot (24 \cdot r \pm s) \quad (1)$$

Ahol S_y a talajvízszint feletti talajrétegre jellemző fajlagos hozam (leürülő gravitációs pórustér).



1. ábra. A White-módszer alapelve (GRIBOVSKI et al. 2008 nyomán)

A White-módszer, egyszerűsége miatt – bár többször kiegészítették és pontosították – a továbbiakban is jól felhasználható előzetes, tájékoztató vizsgálatokra.

A lefolyás esetében a becslés alapjául legtöbbször a napi maximumok burkológörbéje és az aktuális vízhozamok közötti különbségek szolgálnak. A talajvízszint és az előbbi

vízhozammérések napi ingadozása alapján meghatározott ET értékek között nagyságrendi különbségek lehetnek. Feltételezhetően a talajvízből történő meghatározás a pontosabb, mivel ez mutat közelebbi értékeket a meteorológiai mérések alapján számított ET értékekkel. Az újabb, tározómodellekkel dolgozó, a lefolyás napi ingadozásán alapuló eljárások ET értékei közelebbiek, mind a talajvíz alapú becslésekhez, mind a meteorológiai mérések alapján számított ET értékekhez. Hátrányuk viszont, hogy alkalmazásukhoz igen pontos vízhozammérések szükségesek.

Az egyre pontosabb, nagy időbeli felbontású talajnedvesség profil mérések az S_y ismerete nélkül is alkalmasak az ET becslésére. GRIBOVSKI (2018) alapján azt is láthattuk, hogy a napi hullámzás elemzése alkalmas lehet talajfizikai paraméterek meghatározására is.

A következő táblázatban (1. táblázat) rendszerezve találhatók meg azok a kutatások (a kidolgozott eljárással kapcsolatos alapszolgáltatásokkal kiegészítve), amelyek új folyamatra hívták fel a figyelmet, vagy legalábbis lényegesen hozzájárultak a napi ingadozáson alapuló ET becslés fejlődéséhez.

Összefoglalás

A javasolt módszerek alkalmazásának lehetőségei a jövőben valószínűleg nőni fognak, ahogy a talajnedvesség, a talajvíz és a lefolyás nagyobb gyakoriságú folyamatos monitorozása egyre megbízhatóbbá és olcsóbbá válik. Az alkalmazással kapcsolatos igények, a talajvízfüggő társulások vízigényének meghatározásakor pl. az EU Víz Keretirányelv bevezetése kapcsán is egyre inkább előtérbe kerülnek. Az egyre melegebbé és esetenként szárazabbá váló klimatikus viszonyok között a talajvízfüggő erdőtürsulások vízigénye a jövőben valószínűleg nőni fog. A vízfelvétel pontos számszerűsítése vízkészletgazdálkodási szempontból lényeges kérdés, különösen akkor, ha vízpótlás vagy vízvisszatartás kérdése merül fel az erdők többletvízigényének kielégítése kapcsán. Az új eljárások emellett nemcsak a klasszikus erdőtürsulások, hanem a faültetvények, az agro-erdészeti rendszerek vagy egyéb vízigényes mezőgazdasági kultúrák vízfelhasználására is pontos adatokat szolgáltathatnak.

Köszönetnyilvánítás

Jelen publikáció az „EFOP-3.6.1-16-2016-00018 – A felsőoktatási rendszer K+F+I szerepvállalásának növelése intelligens szakosodás által Sopronban és Szombathelyen” című projekt támogatásával valósult meg.

1. táblázat. A talajnedvesség, a talajvíz és a lefolyás napi ingadozásból ET-t számító eljárások.

Szerző (publikálás év)	Alapinformációk az eljárásról
Talajnedvesség	
NACHABE et al. (2005)	A White-módszer (WHITE 1932) adaptálása talajnedvesség adatokra.
GRIBOVSKI (2014)	A GRIBOVSKI et al. (2008) empirikus technikájának adaptálása talajnedvesség adatokra.
Talajvízszint	
WHITE (1932)	Az eredeti talajvíz napi ingadozásán alapuló módszer.
TROXELL (1936)	Javaslat (elméleti szinten) a napon belül is változó utánpótlódás becslésére.
MEYBOOM (1965)	Az S_y 50%-ának figyelembevétele az ET _{gw} számításánál.
DOLAN et al. (1984)	Az utánpótlódás figyelembevétele az adott napra a megelőző és a követő éjszaka adatai alapján.
HAYS (2003)	Utánpótlódás számítása az éjszakai időszak alapján, de értéke csak a napközbeni időszakban figyelembe véve.
ENGEL et al. (2005)	A White-módszer módosítása a regionális talajvízszint-változás, mint additív konstans figyelembevételével.
LOHEIDE II et al. (2005)	A White-módszerhez alkalmazandó S_y becsléséhez talajfizika-függő nomogram kidolgozása.
SCHILLING (2007)	ET _{gw} becslése a talajvíz lépcsős napi ingadozása alapján.
GRIBOVSKI et al. (2008)	ET _{gw} becslés az utánpótlódás napi ingadozásának figyelembevételével (empirikus és hidraulikus módszer).
LOHEIDE II et al. (2008)	Regresszió alapú ET _{gw} -t becselő eljárás a trendmentesített talajvíz-ingadozásokat felhasználva.
SOYLU et al. (2012)	Fourier-transzformáció alapú ET _{gw} számítás.
WANG és POZDNIAKOV (2014)	Statisztikai ET _{gw} becslés a trend és mérési zaj mentesített napi ingás szórása alapján.
Lefolyás	
MEYBOOM (1965)	Vízfolyás menti ET _{gw} becslése a napi maximális alapvízhozamok burkológörbéje és az aktuális vízhozam idősor különbségeként.
REIGNER (1966)	Csak a telítettségközeli légnedvességű hajnali időszakok használata a maximális vízhozamok burkológörbéjének előállítására.
KIRCHNER (2009)	Vízgyűjtőszintű ET _{gw} becslése az utánpótlódásra nemlineáris tározómodellt felhasználva.
GRIBOVSKI et al. (2010b)	Vízfolyás menti ET _{gw} becslése az utánpótlódásra naponta más paraméterű lineáris tározómodellt felhasználva.
CADOL et al. (2012)	Vízfolyás menti ET _{gw} becslése a vízfolyás menti zónára átszámított trendmentesített vízállás és a vízállásváltozás közötti kapcsolat alapján.
SZÉLES et al. (2018)	Vízfolyás menti ET _{gw} becslése a diurnális lefolyás-ingadozást a sugárzási bevételnek megfelelő exponenciális válaszfüggvénnyel közelítve (a Meyboom (1965) módszer egyfajta változata).

- BAUMGARTNER, A. – LIEBSCHNER, H. J. (1990): Allgemeine Hydrologie, Quantitative Hydrologie. Gebrüder Borntraeger, ISBN 3-443-30001-4
- CADOL, D. – KAMPF, S. – WOHL, E. (2012): Effects of evapotranspiration on baseflow in a tropical headwater catchment. *Journal of Hydrology* 462-463, 4-14. doi: 10.1016/j.jhydrol.2012.04.060
- DELFS, J. – FRIEDRICH, W. – KIESEKAMP, H. – WAGENHOFF, A. (1958): Der einfluß des waldes und des kahlschlages auf den abflußvorgang, den wasserhaushalt und den bodenabtrag. *Mitt. A. d. Niders. Landes-forstverwaltung, Aus dem Walde*, 3:223.
- DINGMAN, S. L. (2002): *Physical Hydrology*. Prentice Hall, ISBN 0-13-099695-5
- DOLAN, T. J. – HERMANN A. J – BAYLEY S. E. – ZOLTEK J. (1984): Evapotranspiration of a Florida, USA, fresh-water wetland, *Journal of Hydrology*, 74 (3-4), 355–371, doi:10.1016/0022-1694(84)90024-6
- ENGEL, V. – JOBBAGY, E. G. – STIEGLITZ, M. – WILLIAMS, M. – JACKSON, R. B. (2005): The hydrological consequences of eucalyptus afforestation in the argentine pampas. *Water Resources Research*, 41:10 doi: 10.1029/2004WR003761
- GRIBOVSZKI Z. – KALICZ P. – SZILÁGYI J. – KUCSARA M. (2008): Riparian zone evapotranspiration estimation from diurnal groundwater level fluctuations. *Journal of Hydrology*, 349: 6–17. doi:10.1016/j.jhydrol.2007.10.049
- GRIBOVSZKI Z. – KALICZ P. – SZILÁGYI J. (2009): Napi periódusú változás a hidrológiai jellemzőkben. *Hidrológiai Közlöny*, Vol 89, 2, p. 23-37.
- GRIBOVSZKI Z. – SZILÁGYI J. – KALICZ P. (2010a): Diurnal fluctuations in shallow groundwater levels and in streamflow rates and their interpretation - a review. *Journal of Hydrology* (385), 371–383. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.02.001>
- GRIBOVSZKI Z. – KALICZ P. – SZILÁGYI J. (2010b): Talajvíz evapotranszpiráció számítása a vízhozamok napi periódusú ingadozása alapján. *Hidrológiai Közlöny*, Vol 90, 5, 19-28.
- GRIBOVSZKI Z. (2014): Diurnal Method for Evapotranspiration Estimation from Soil Moisture Profile. *Acta Silv. Lign. Hung.*, Vol. 10, Nr. 1 67–75. doi: 10.2478/aslh-2014-0005
- GRIBOVSZKI Z. (2018): Comparison of specific-yield estimates for calculating evapotranspiration from diurnal groundwater-level fluctuations. *Hydrogeology Journal* 26(3), 869-880. doi:10.1007/s10040-017-1687-9
- HAYS, K. B. (2003): Water use by saltcedar (*Tamarix* sp.) and associated vegetation on the Canadian, Colorado and Pecos rivers in Texas, Ph.D. thesis, Texas A & M University
- HEWLETT, J. D. (1984): *Principles of Forest Hydrology*. University of Georgia Press. ISBN 0-8203-0608-8.
- JUHÁSZ, J. (2002): *Hidrogeológia*. Akadémiai kiadó, Budapest, 1176 p. ISBN 963-05-7891-3
- KIRCHNER, J. W. (2009): Catchments as simple dynamical systems: Catchment characterization, rainfall-runoff modeling, and doing hydrology backward. *Water Resour. Res.*, 45, W02429. doi:10.1029/2008WR006912
- LEE, R. (1980): *Forest hydrology*. Columbia University Press. ISBN 0-231-04718-5
- LOHEIDE II., S. P. – BUTLER, J. J., JR. – GORELICK, S. M. (2005): Use of diurnal water table fluctuations to estimate groundwater consumption by phreatophytes: A saturated-unsaturated flow assessment. *Water Resources Research*, 41: W07030. doi:10.1029/2005WR003942
- LOHEIDE II., S. P. (2008): A method for estimating subdaily evapotranspiration of shallow groundwater using diurnal water table fluctuations. *Ecohydrology*, 1: 59–66. doi: 10.1002/eco.7
- LUNDQUIST, J. D. – CAYAN, D. R. (2002): Seasonal and spatial patterns in diurnal cycles in streamflow in the western united states. *Journal of Hydrometeorology*, 3(October): 591–603.
- MEYBOOM, P. (1965): Three observations on streamflow depletion by phreatophytes. *Journal of Hydrology*, 2:248–261.
- MÓRICZ N. – TÓTH T. – BALOG K. – SZABÓ A. – RASZTOVITS E. – GRIBOVSZKI Z. (2016): Groundwater uptake of forest and agricultural land covers in regions of recharge and discharge. *iForest* 9(5): 714-719. doi: 10.3832/ifer1864-009
- NACHABE, M. – SHAH, N. – ROSS, M. – WOMACKA, J. (2005): Evapotranspiration of two vegetation covers in a shallow water table environment. *Soil Science Society of America Journal*, 69:492–499.

- PÖRTGE, K. H. (1996): Tagesperiodische Schwankungen des Abflusses in kleinen Einzugsgebieten als Ausdruck komplexer Wasser- und Stoffflüsse. Verlag Erich Goltze GmbH KG, ISBN 3-88452-103-9.
- REIGNER, I. C. (1966): A method for estimating streamflow loss by evapotranspiration from the riparian zone. *Forest Science*, 12(2):130–139.
- SCHILLING, K. E. (2007): Water table fluctuations under three riparian land covers, Iowa (USA). *Hydrological Processes*, 21, 2415–2424. doi: 10.1002/hyp.6393
- SOYLU, M. E. – LENTERS, J. D. – ISTANBULLUOGLU, E. – LOHEIDE II, S. P. (2012): On evapotranspiration and shallow groundwater fluctuations: A Fourier-based improvement to the White method. *Water Resour. Res.*, 48, W06506. doi:10.1029/2011WR010964
- SZÉLES B. – BROER, M. – PARAJKA, J. – HOGAN, P. – EDER, A. – STRAUSS, P. – BLÖSCHL, G. (2018): Separation of scales in transpiration effects on low flows: A spatial analysis in the Hydrological Open Air Laboratory. *Water Resources Research*, 54, 6168–6188. <https://doi.org/10.1029/2017WR022037>
- TROXELL, H. C. (1936): The diurnal fluctuation in the ground-water and flow of the Santa Anna river and its meaning. *Transactions, American Geophysical Union*, 17 (4):496–504.
- UBELL K. (1960): A talajvízállás előrejelzése. Beszámoló, VITUKI
- V. NAGY I. (1965): Hidrológia. Tankönyvkiadó, Budapest.
- WANG, P. – POZDNIAKOV, S. P. (2014): A statistical approach to estimating evapotranspiration from diurnal groundwater level fluctuations. *Water Resources Research* 50(3), 2276–2292. doi: 10.1002/2013WR014251
- WHITE, W. N. (1932): Method of estimating groundwater supplies based on discharge by plants and evaporation from soil - results of investigation in Escalante valley. Technical report, Utah - U.S. Geological Survey. Water Supply Paper 659-A.

VÍZPÓTLÁSOK ERDŐTERÜLETEN, ELMÉLET ÉS ESETTANULMÁNYOK

GRIBOVSZKI ZOLTÁN

Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Geomatikai, Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Intézet
e-mail: gribovszki.zoltan@uni-sopron.hu

A klímaváltozás hatásai legnyilvánvalóbban a hőmérséklet emelkedésében jelentkeznek (a 21. század végére +3-+5 °C), és ez igen jelentős hatással van a hidrológiai ciklusra (kiemelten a csapadékeloszlásra és a párolgásra). Az extremitások, mint pl. a hosszabb aszályos időszakok valószínűleg sokkal gyakoribbá válnak. Az erdők hidrológiai jellemzőinek ismerete a változó klimatikus viszonyok között egyre fontosabbá válik. Különösen érdekes a tématerület, mivel az erdő rendelkezik az egyik legkomplexebb vízkörforgalommal a szárazföldi ökoszisztémák közül és a vízkészletekre mind mennyiségi, mind minőségi szempontból jelentős hatása van. A erdőtársulások vízigénye szempontjából megközelítve a kérdést, hazánkban az erdők sok esetben a szárazsági erdőhatáron helyezkednek el. Elterjedésük korlátja, különösen a síkvidékeken, tehát egyre inkább a víz lesz. Az ország területére hulló csapadéknak a nagy folyókban hazánkba érkező vizek mennyisége a duplája. Ennek a folyókban érkező vízkészletnek a felhasználása a síkvidéki erdők esetében kulcskérdés.

Jelen tanulmány az erdők vízforgalmának, vízigényének áttekintése után megvalósult vízpótlással kapcsolatos esettanulmányokat mutat be hazai példák kapcsán.

Az erdők hidrológiája és vízigénye

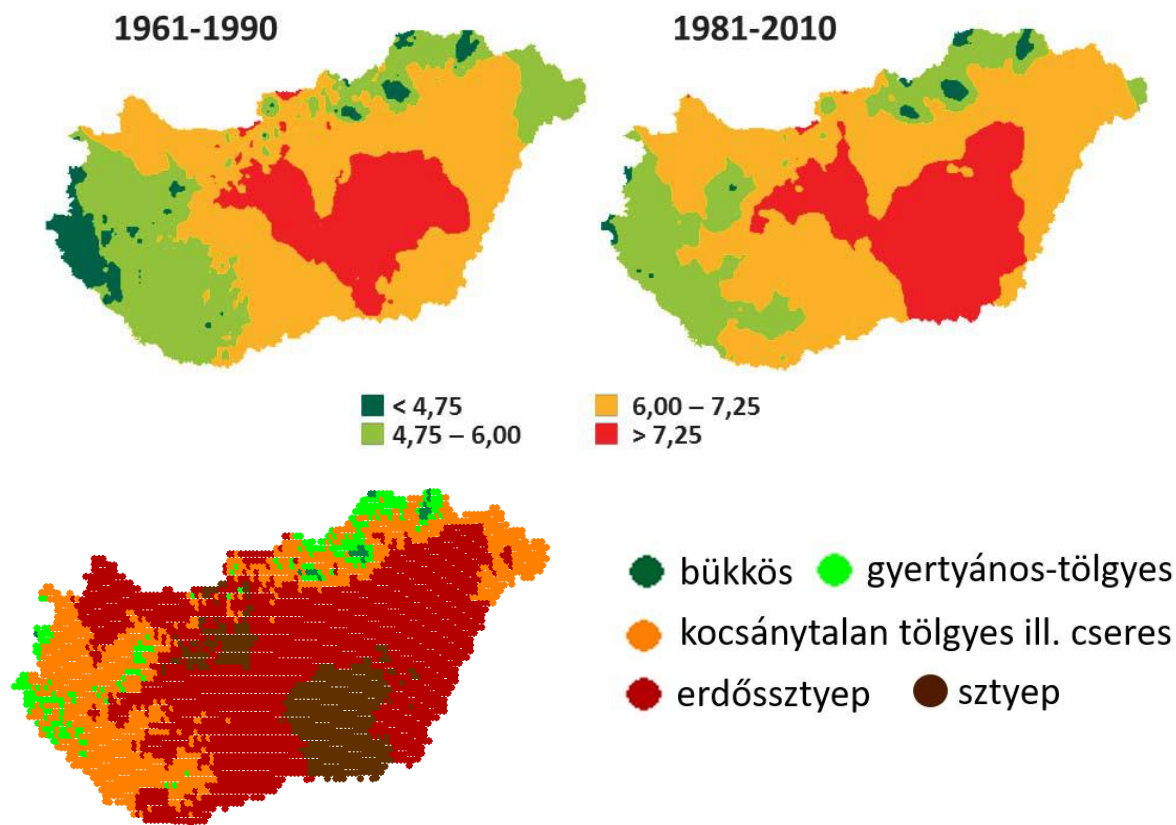
A vízforgalomra jelentős befolyással bíró erdei ökoszisztéma hidrológiai jellemzőinek ismerete sok szempontból fontos. A klíma-előrejelzések következményeként a klímazonális fafajoknak az erdészeti szárazsági index (FAI) alapján (FÜHRER 2018) lehatárolható potenciális elterjedése jelentősen módosul (1. ábra), sőt a Nagyalföld déli részén többletvízforrások nélkül az erdők léte is megkérdőjeleződik (MÁTYÁS *et al.* 2018). A faállományok vízigénye szempontjából megközelítve a kérdést, hazánkban az erdők egyre inkább szárazabb körülmények közé kerülnek és az ökológiai szempontból értékes erdőtársulások, vagy a nagy hozamú gazdasági erdők és faültetvények esetében a vízellátottság egyre inkább a kritikus szinthez közelít. Az előbbieket alapján mindenképpen szükségszerű a tématerület alaposabb vizsgálata a lehetséges vízpótlás szemszögéből is.

Mivel az erdőterületek vízpótlásának tudományos igényű megalapozásához szükséges az erdő vízháztartásának ismerete, ezért foglalkozunk a kérdéssel röviden a következőkben.

Az erdő vízháztartását az érkező, ideiglenesen tárolt és távozó vízmennyiségek összevetésével, az ún. vízháztartási egyenlettel jellemezhetjük.

$$P + p + Rin_{s,g} - I - T_{soil} - T_{gw} - Rout_{s,g} = dS/dt \quad (1)$$

Ahol: P : a folyékony és szilárd makrocsapadék; p : a folyékony és szilárd mikrocsapadék; $Rin_{s,g}$: hozzáfolyás a felszínen és talajban (ez utóbbi elsősorban vízfolyások mentén és talajvíz feláramlási zónákban lehet jelentős, és a vízpótlások is ebben a tételben jelennek meg); I : intercepció (lombkorona és avar); T_{soil} : a telítetlen zónából történő párolgotatás; T_{gw} : a talajvízből történő párolgotatás (ha a talajvíz elérhető mélységben van); $Rout_{s,g}$: az elfolyás a felszínen és a talajban; dS/dt : a területen tárolt vízkészlet változása.



1. ábra A klímazonális fafajok potenciális elterjedése a FAI (erdészeti szárazsági index) alapján Führer 2018 és Gálos Führer 2018 nyomán

Az erdőterületre hulló csapadék egy része a vegetáció benedvesedésére fordítódik, és visszapárolog a légkörbe. Ezt a mennyiséget nevezzük intercepciónak, pontosabban koronaintercepciónak, amely a csapadék durván 20-45%-a hazai erdőkben JÁRÓ (1980), FÜHRER (1992, 1994), KOLOSZÁR (1981), KUCSARA (1996, 1998) és SZABÓ (1979) kutatásai szerint. A fenyőknél a koronaintercepció veszteség általában nagyobb, mint a lombosoknál és a többszintű állományok esetében jelentősebb, mint egyszintűnél. Az állományjellemzők közül a leginkább a levélfelületi indextől függ. A koronán áthulló és a törzseken lefolyó csapadék állományi csapadékként eléri az avarfelszínre, itt részben az avar benedvesedésére fordítódik és avarintercepcióként (az éves csapadék 5-15%-a) csökkenti a talajba szivárgó vizet (FÜHRER 1994, ZAGYVAINE *et al.* 2014). Az így fennmaradó vízmennyiség beszivárog az erdőtalajba, ennek legnagyobb részét a növények veszik fel és párologtatják el (transzspiráció, amely hazánkban a csapadék 40-65%-a). A maradék a talaj nedvességtartalmát növeli vagy az esetlegesen jelenlévő felszínközeli vízzáró réteg hatására felszín közeli lefolyásként jelenik meg (amely az erdőterületen a jellemző árhullámokat indukáló lefolyási forma kb. 1%-a az éves csapadéknak), ill. a telített zóna vízkészletéhez járul, mint talajvízutánpótlódás (az éves csapadék kb. 8-10%-a) (GRIBOVSKI *et al.* 2006, KOVÁCS 2011). A telített zóna vízkészlete adja a források, ill. szivárgók vízhozamát, így a vízfolyások alapvízhozamát is. Amennyiben a leérkező csapadék nem tud teljes egészében a talajba szivárogni, akkor felszíni lefolyás alakul ki, bár ez a jelenség a hazai erdőkben ritka.

A jellemzően az ún. erdős-sztyep klímájú magyar Alföld esetében, pusztán a csapadékmennyiség nem lenne elegendő az erdő vízigényének kielégítésére (IJÁSZ, 1939), így a fák a fokozott párologtatáshoz szükséges vizet csak a talajvízből vagy az esetleges felszíni elöntésből pótolhatják. Ez így volt a múltban, így van a jelenben és még inkább így lesz a jövőben is. A vízigényes erdőtársulások talajvízből történő többlet vízfelhasználása 15-30%-a is lehet a szabadtéri csapadékhöz viszonyítva (MAJOR 2002, MÓRICZ *et al.* 2012, SZILÁGYI *et*

al. 2012). A Kárpát medence síkvidékein mind az elöntések, mind a talajvíz szorosan kapcsolódik a nagy folyók vízkészletéhez, ezen vízkészlettel való ésszerű gazdálkodás lehet általában a vízpótlások kulcsa.

Vízpótlási beavatkozások erdőterületen

A következőkben néhány vízpótlási beavatkozást mutatunk be röviden, amely erdőterületet érintett, a helyszíneket a 2. ábra szemlélteti.



2. ábra A vízpótlások helyszínei

Vízpótlás a Debreceni Nagyerdőben

A felszín alatti vízkészleteink monitoring kútjai egyértelműen mutatják a klímaváltozás hatásait, amelyek sok helyen a talajvízszint tartós csökkenéséhez vezetnek. A hosszabb idejű vízszint csökkenések nagy területeken jelentős mértékben ronthatják a hazai erdők ökológiai állapotát. A felszín alatti vízkészletek mesterséges utánpótlása sok tekintetben segítheti a fenntartható vízkészletgazdálkodást és javíthatja az erdők ökológiai állapotát. Az előbbire szép példa a Debreceni Nagyerdőben végrehajtott vízpótlás, amelynek megtervezését egy háromdimenziós hidrodinamikai modellel készült esettanulmány alapozta meg (SZÜCS *et al.* 2019). Az esettanulmány bemutatta, hogy hogyan lehet a felszín alatti áramlási modell segítségével szimulálni a vízpótlás eredményeként előálló talajvízszint emelkedés térbeli és időbeli alakulását.

A Fekete-Körös menti vízpótlás

A 1990-es évekre kialakult aszályos időszak súlyos kárláncolatoknak lett kiindulópontja. A Fekete-Körös mentén (a Mályvádi- és a Remetei-erdőtömbökben) az erdészet, valamint a vízügy szakemberei együttműködve új vízpótló rendszert alakítottak ki. A két erdőtümbben meglévő természetes medrek és mesterséges lecsapoló csatornák felújításával, a Kettős-Körösön már kialakított duzzasztási rendszer segítségével, vizet juttattak azokba az erdőkbe, ahová az elmúlt száz évben csak katasztrófák alkalmával jutott ki a Körösök vize (PUSKÁS 2006). A fejlesztés eredményeképpen létrejött mintegy 40 km hosszú időszakos vízfolyás, a

mértékadó vízszintet figyelembe véve 16 ha vízfelülettel. A rendszer mind a mai napig 95%-ban erdőterületen működik. A vízpótlás a Békési duzzasztómű hatására gravitációsan üzemel. Az érintett területen az elmúlt negyed évszázad alatt kedvező folyamatok indultak el, számos eredmény mutatkozik meg. A vizes élőhelyek néhány év alatt teljesebben ki. A fás vegetáció negyed évszázados változására az erdők differenciálódása, a változatosság minden téren való megjelenése a jellemző. Az utóbbi időben új lehetőségként jelenik meg a Mályvádi szükségeltározó néhány éve kialakított, szabályozható alsó és felső megnyitási pontja, ami az árhullámok megcsapolási lehetőségén túl a magasabb térszintek elérhetőségét is megteremtheti.

Vízpótlás Gemencen

A Gemenci erdő az alsó Duna alluviális szakaszának legnagyobb kiterjedésű, 180 km² nagyságú, a mai napig ártéren található erdeje. Jelentősége ökológiai és erdőgazdálkodási szempontból is kiemelkedő. A terület vízháztartásával kapcsolatos gondokra először az 1980-as évek második felében világítottak rá az erdészeti szakemberek. Elsősorban a fásszárú és lágyszárú vegetáció változásaiból következtek egy szárazodási folyamatra (TAMÁS – KALOCSA 2003). A Duna folyam vízállásainak többször megismételt statisztikai vizsgálatai a Duna egyértelmű vízszintsüllyedését mutatta ki (KALOCSA – ZSUFFA 1997; KALOCSA – TAMÁS 2003; GODA *et al.* 2007). A folyamat ellensúlyozására a terület kezelői több élőhelyrekonstrukciós célú beavatkozást terveztek meg és hajtottak végre, melyek azonban nem voltak alkalmasak a probléma hosszútávú és fenntartható megoldására (TAMÁS *et al.* 2013). A területen dolgozó szakemberek véleménye szerint a helyzet megnyugtató, hosszú távú kezelése a Duna folyamon Mohács közelében létesítendő duzzasztómű megépítése nélkül nem lehetséges.

A szigetközi vízpótlás

A Duna folyam szlovák oldali 1992-es egyoldalú elterelése következtében a Rajka-Szap közötti szakaszon alapvetően megváltozott a vízjárás. A főmederben kialakult alacsony vízszintek következtében a hullámtéri mellékágrendszerekben szélsőségesen alacsony vízszintek alakultak ki, illetve a medrek nagy része kiszáradt. Az azóta eltelt időszakban végrehajtott vízügyi beavatkozások során épült ki a Szigetközi Hullámtéri vízpótló-rendszer. Olyan rendszer kiépítése volt szükséges, ami a lehető legszélesebb skálán képes kielégíteni a különféle igényeket (KERTÉSZ 2015, 2017). A cél a Duna vízjárás jellemzőinek megvalósítása volt a vízpótlott mellékágrendszerekben is, egy olyan referencia-időszakhoz igazodva, amelyben a Duna vízjárását az érdekelt felek kedvezőnek ítélték (1950 – 1960 közötti időszak) és már rendelkezésre álltak részletes vízrajzi adatok.

A vízpótló rendszer kiépülését megelőzően, a Duna folyam elterelése miatt kialakult helyzet vizsgálatára létrejött a szigetközi erdészeti monitoring, amelynek keretében az Erdészeti Tudományos Intézet vizsgálta az érintett területen található erdőállományokat. Az 1990-96 között mért adatok egyértelműen rámutattak a Duna elterelés helyi erdőkre gyakorolt hatására. A vízutánpótlásban bekövetkezett csökkenés leginkább a sekély talajú, és emiatt csekély víztartó képességgel jellemezhető területeken mutatkozott meg elsősorban. Az erdőállományok biológiai potenciáljában bekövetkező negatív változás számos vizsgált paraméterben (folyónövedék, fatermés, száradék aránya az összfaterméshez képest) megfigyelhető volt. Ez a csökkenés értelemszerűen a legnagyobb vízigénnyel jellemezhető nyár és fűz állományok esetében a folyónövedék 20-30%-át is elérhette, ugyanakkor minden vizsgált fafaj esetében megfigyelhető volt. A fentiek alapján kijelenthető, hogy az 1990-96 közötti időszakban a Szigetköz összességére vonatkozóan a fatermesztés feltételei romlottak, mely romlás egyértelműen összefüggést mutatott az elterelés következtében bekövetkezett jelentős vízszint csökkenéssel. Az elterelés, majd a vízpótló rendszer hosszútávú hatásainak további vizsgálatát teszi lehetővé a tavalyi évtől új keretek közt folytatódó erdészeti monitoring program.

A Kaszói erdőtümb vízpótlása

A talajvízszint csökkenésének következtében elinduló szárazodási folyamat kedvezőtlenül hatott a kaszói erdők, lápok élővilágára, egészségi állapotuk romlott, hosszú távon megmaradásuk veszélybe került. Az enyves éger és magas kőris alkotta ligeterdők visszaszorulnak, helyükbe más, természetvédelmi szempontból kevésbé értékes élőhelyek lépnek. A KASZÓ-LIFE projekt keretében elvégzett erdei vízpótlás célja az időjárás okozta szélsőségek hatásainak kiegyenlítése a csapadék helyben tartásával, ezzel biztosítva az erdőállományok egészségi állapotának javítását. A vízpótlás keretében tavak felújítását, kotrását, új tavak létesítését végezték el, valamint a vízfolyások lefolyását mederbordák beépítésével próbálták elérni. A hatások vizsgálatára talajvíz monitoring rendszert hoztak létre, amely kontrollkutakat is tartalmazott. A mérések alapján a beavatkozások hatására az átlagos talajvízszint emelkedés 20 cm volt a vizsgálati területen a kontrollkutakhoz képest. A vízpótlás a legjelentősebb hatással az új tavak 100-200 m-es környezetében érezte a hatását, ahol 40-50 cm talajvízszint emelkedés is megfigyelhető volt. A mederbordák kedvező hatása nem volt egyértelműen kimutatható (EÖTVÖS – HORVÁTH 2018, SZÖKE *et al.* 2019).

Kállósején Nyárjas láp

A kállósejéni Nyárjas láp vízforgalmának numerikus modellezése egy szép példa egy vízpótlás hosszabb távú tudományos vizsgálatára. Az egykor ~100 ha-os terület a XIX. század végéig a Nyírség egyik jelentős vizes élőhelye volt. A láp a közeli belvízcsatorna és a regionálisan csökkenő talajvízszintek hatására szinte teljesen kiszáradt. Környezetében szántók és eltérő korú faültetvények (nyár, akác, tölgy) találhatóak. A Nyárjas időszakos vízborítás esetén feltételezhetően hidraulikai kapcsolatban áll a közeli, szintén kiszáradással fenyegetett láppal, a Mohos-tóval. A két élőhely megőrzésére a Hortobágyi Nemzeti Park évtizedek óta komoly erőfeszítéseket tesz, folyamatos vízpótlást biztosítva felszín alóli vízkivétellel. Hidrológiai modellszámításokkal vizsgálták a láp kiszáradásának folyamatát a 1961-2010 időszakban, illetve a vízpótlás lehetőségét és hatását. Kitekintés jelleggel elemezték a vízháztartás közeljövőben várható alakulását, valamint a Nyárjas láp, a Mohos-tó és a környező erdők kapcsolatát (ÁCS *et al.* 2019).

Összefoglalás

Az előbbieket szerint a vízügyi és az erdész szakma együttműködésében született vízpótlásokra számos jó példát találhatunk Magyarországon. A beavatkozások nemcsak az erdők biológiai produktójára és egészségi állapotára kedvezőek általában, hanem komplex ökológiai és tájpotenciál javító hatásuk is megkérdőjelezhetetlen. A bemutatott esettanulmányok tapasztalatai alapján javasolt több területre is kiterjeszteni az ilyen jellegű munkákat. Fontos azonban kiemelni, hogy a beavatkozásokkal csak az adott terület komplex jellemzőinek tükrében, a területen élők és gazdálkodók igényeinek-ismereteinek figyelembevételével érhetünk el jó eredményeket.

Köszönetnyilvánítás

Jelen publikáció az „EFOP-3.6.1-16-2016-00018 – A felsőoktatási rendszer K+F+I szerepvállalásának növelése intelligens szakosodás által Sopronban és Szombathelyen” című projekt támogatásával valósult meg.

- ÁCS, T – BARNA, P. – DECSI, B. – KOZMA, ZS. (2019): Water budget studies of the nyárjas fen of Kál-lósemlén, Hungary. Hydrocarparth International Conference, Catchment processes in regional hydrology: coupling field experiments and data assimilation into process understanding and modelling in Carpathian drainage basins, Vienna, Austria, 14 November 2019 (ISBN 978-963-334-350-0)
- EÖTVÖS, Cs. B., HORVÁTH, L. (2018): A szentai-erdő talajvízszint változásai a KASZÓ-LIFE projekt hatására. Erdészettudományi Közlemények 8(2): 17-23. DOI: 10.17164/EK.2018.018
- FÜHRER, E. (1992): Intercepció meghatározása bükk, kocsánytalan tölgy és lucfenyő erdőben. Vízügyi közlemények. 3: 281-294.
- FÜHRER E. (1994): Csapadékmérések bükkös-, kocsánytalan tölgyes és lucfenyves ökoszisztémában. Erdészeti Kutatások, 84: 11-35.
- FÜHRER, E. (2018): A klímaértékelés erdészeti vonatkozásai, Erdészettudományi Közlemények 8 (1): 27-42. DOI: 10.17164/EK.2018.002
- GÁLOS, B. – FÜHRER, E. (2018): A klíma erdészeti célú előrevetítése. Erdészettudományi Közlemények 8(1): 43-55. DOI: 10.17164/EK.2018.003
- GRIBOVSZKI, Z. – KALICZ, P. – KUCSARA, M. (2006): Streamflow Characteristics of Two Forested Catchments in Sopron Hills. Acta Silvatica et Lignaria Hungarica 2: 81-92.
- GODA L. – KALOCSA B. – TAMÁS E.A. (2007): Riverbed erosion on the Hungarian section of the Danube. Journal of Environmental Science for Sustainable Society (JESS) 1: 47-54. DOI: 10.3107/jesss.1.47
- IJJÁSZ, E. (1939): A fatenyészet és az altalajvíz, különös tekintettel a nagyalföldi viszonyokra. Erdészeti Kísérletek. 42: 1–107.
- JÁRÓ, Z. (1980): Intercepció a gödöllői kultúerdei ökoszisztémában, Erdészeti kutatások, 73: 7-17.
- KALOCSA, B., ZSUFFA, I. (1997): A Duna magyar szakaszának vízállásváltozásai. HIDROLÓGIAI KÖZLÖNY 77 (4 SZ.), 183-192.
- KALOCSA, B., TAMÁS, E.A. (2003): A folyamszabályozás morfológiai hatásai a Dunán. In: Somogyvári Orsolya (szerk.) Élet a Duna-ártéren: Természetvédelemről sokszemközt. Duna-Dráva Nemzeti Park Igazgatósága; Baja Ifjúsági Természetvédelmi Egyesület, 251-257. ISBN: 963 214 245 4-
- KERTÉSZ, J. (2015): A Szigetközi vízpótló-rendszer térbeli kiterjesztése és a hatékonyságának a növe-
lése. Magyar Hidrológiai Társaság XXXIII. Országos Vándorgyűlése.
- KERTÉSZ, J. (2017): A vizes élőhely rehabilitáció 25 éve a Szigetközben. Magyar Hidrológiai Társaság XXXV. Országos Vándorgyűlés.
- KOLOSZÁR, J. (1981): Természetes erdei ökoszisztémák és a csapadék, Erdő és víz, VEAB kiadvány: 75-88.
- KOVÁCS, Á. D. (2011): Tó-és területi párolgás becslésének pontosítása és magyarországi alkalmazásai. PhD Thesis, BME, Budapest, p. 101.
- KUCSARA, M. (1996): Csapadék és lefolyás erdészeti kisvízgyűjtőn, doktori értekezés, Sopron.
- KUCSARA, M. (1998): Az erdő csapadékviszonyainak vizsgálata, Vízügyi Közlemények, 3.füzet: 456-475.
- MAJOR, P. (2002): Síkvidéki erdők hatása a vízháztartásra. Hidrológiai Közlöny 82. 6: 319–324.
- MÁTYÁS, C. – BERKI, I., BIDLÓ A. – CSÓKA, G. – CZIMBER, K. – FÜHRER, E. – GÁLOS B. – GRIBOVSZKI, Z. – ILLÉS G. – HIRKA A. – SOMOGYI Z. (2018): Sustainability of Forest Cover under Climate Change on the Temperate-Continental Xeric Limits, Forests, MDPI AG, 9:489. doi:10.3390/f9080489
- MÓRICZ, N. – MÁTYÁS, C. – BERKI, I. – RASZTOVITS, E. – VEKERDY, Z. – GRIBOVSZKI, Z. (2012): Comparative water balance study of forest and fallow plots. iForest-Biogeosciences and Forestry. Vol 5(4) 188.
- PUSKÁS, L. (2006): Ökológiai vízpótlás a mályvádi tározóban. AEE kutató nap kiadványa. 39-47.
- ZAGYVAINÉ, KISS, K., A. – KALICZ, P. – CSÁFORDI, P. – GRIBOVSZKI, Z. (2014): Forest litter interception model for a sessile oak forest. Acta Silvatica et Lignaria Hungarica 1: 91–101.
- SZABÓ, M. (1979): Egy cseres-tölgyes erdő ("síkfőkut project") víz- és ásványianyag forgalma. Kandi-dátusi értekezés. Budapest.

- SZILÁGYI, J. – KOVÁCS, Á. – JÓZSA, J. (2012): Remote sensing based groundwater recharge estimates in the Danube-Tisza Sand Plateau region of Hungary. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*. Vol 60.(1): 64-72.
- SZŐKE, E. – GRIBOVSKY, Z. – KALICZ, P. – ZAGYVAINÉ, KISS K. A. – CSÁKI, P. (2019): Vízpótlási rendszerek hatásai egy somogyi erdőtömbön belül a vízfolyás menti zónák vízforgalmára In: Facskó, F; Király, G (szerk.) VII. KARI TUDOMÁNYOS KONFERENCIA: a konferencia előadásainak és poszttereinek kivonatai. Sopron, Magyarország: Soproni Egyetem Kiadó, (2019) p. 32
- SZŰCS, P. – MADARASZ, T. – CIVAN, F. (2009): Remediating over-produced and contaminated aquifers by artificial recharge from surface waters. *Environmental Modeling and Assessment*, 14: 511-520. DOI: 10.1007/s10666-008-9156-4.
- TAMÁS, E.A. – KALOCSA, B. (2003): A Rezéti-Duna feltöltődésének vizsgálata. In: Somogyvári Orsolya (szerk.) *Élet a Duna-ártéren: Természetvédelemről sokszemközt*. Duna-Dráva Nemzeti Park Igazgatósága; Baja Ifjúsági Természetvédelmi Egyesület. 43-49. ISBN: 963 214 245 4
- TAMÁS, E.A.,– VARGA, A. – SZIEBERT, J. – VARGA, GY. – KOCH, D. (2013): A Vén-Duna mellékág vízzsállításának és hordalékviszonyainak vizsgálata: 15 évvel az élőhely-rekonstrukciós célú részleges megnyitás után. *Magyar Hidrológiai Társaság XXXI. Országos Vándorgyűlés*.

AZ ÉGHAJLATVÁLTOZÁS HATÁSA AZ ÚTPÁLYASZERKEZETRE

HERCEG ANDRÁS, KALICZ PÉTER, PRIMUSZ PÉTER, GRIBOVSZKI ZOLTÁN
Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Geomatikai, Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Intézet
herceg.andras@uni-sopron.hu

Bevezetés

A környezeti jellemzők (itt elsősorban a hőmérséklet, a csapadék, a légnedvesség, a fagyás-olvasztás ciklusok és a talajvíz mélysége) jelentős hatást gyakorolnak az útburkolatokra így a pályaszerkezetek méretezésénél is fontos tényezőként vehetők figyelembe. Különösen fontos a környezeti jellemzők alaposabb vizsgálata az alsóbbrendű vagy mezőgazdasági utaknál, illetve az erdők feltáróhálózatánál, valamint az agro-erdészeti rendszerek kiszolgáló útjainál. Ezeknél az úthálózatoknál az időjárásnak való kitettség a vékonyabb pályaszerkezet miatt erőteljesebben is érezteti hatását.

A klimatikus jellemzők szezonális változékonysággal bírnak, tehát célszerű a pályaszerkezet méretezését is ezekhez a változásokhoz kapcsolni (GUPTA 2014). A hajlékony pályaszerkezetek méretezésénél három fő környezeti jellemző változását célszerű figyelembe venni:

Az aszfalt rétegek hőmérsékletének változásai. Az aszfaltkeverékek modulusai nagyon érzékenyek a hőmérsékletváltozásra. Az aszfaltkeverékekhez kapcsolódó tönkremeneteli formákat három jellegzetes hőmérséklet tartományhoz rendelik (PETHŐ 2008):

alacsony hőmérsékleti tartomány (<0 °C), repedésképződés az aszfaltburkolatban;
közepes hőmérsékleti tartomány (5-15 °C), az aszfaltkeverékek fáradása;
magas hőmérsékleti tartomány (>30 °C), plasztikus deformációs hajlam (keréknyomképződés).

A valós környezeti változásoknak kitett és igénybevétellel terhelt pályaszerkezeteken a felsorolt tönkremeneteli formák együttesen, illetve egymásra hatást gyakorolva jelennek meg (PETHŐ 2008).

Az alsó rétegek (elsősorban a földmű) talajnedvességének változásai. A földmű modulusok általában az optimális talajnedvességre és tömörségre vonatkoznak. Sok esetben viszont az optimálistól eltérő jellemzőkre korrekciós faktorok szükségesek.

A fagyás-olvasztás jelensége és ennek ciklusai igen jelentősen befolyásolják az alsó rétegek és a földmű teherbírását. Hiszen a fagyos periódusok alatt a földmű teherbírása nő, míg az olvasztási periódusok alatt jelentősen csökken, tehát a fagyás mélységének és az egyes olvasztási ciklusok egymásra következésének ismerete is egy fontos kérdés.

Az aszfaltburkolatú pályaszerkezetek tartósságának számításánál tehát, az egyszerűen meghatározható és általában könnyen elérhető meteorológiai paraméterek közül, a hőmérséklet, ennek ingadozása és a csapadék a figyelembe vehető tényezők (BOROMISSZA 1997). Jelen cikk e két paraméter jövőbeli, általános változási tendenciáit mutatja be Magyarországon.

A klímaváltozás Magyarországon és az utakra való lehetséges hatásai

Magyarországon a 21. század végére akár 3-4 °C-kkal is magasabbak lehetnek a hőmérsékletek, az évszakok közül pedig a nyarak hőmérséklete emelkedhet a leginkább (BARTHOLY *et al.* 2011).

A csapadékösszeg tekintetében hazánkra vonatkoztatva nem szignifikáns a jövőbeli változás, mivel az átmeneti zónában helyezkedik el. Nyáron viszont minden klímamodell eredménye szerint a csapadékmennyiség jelentősebb csökkenése várható a század végére, ugyanakkor a telek csapadékosabbá válhatnak (SZÉPSZÓ 2008; GÁLOS *et al.* 2014). Hazánkra a szabálytalan

csapadékeloszlás jellemző, így ugyanolyan valószínűséggel jelentkehetnek heves csapadékesemények, mint erős szárazság (GÁLOS *et al.* 2015; NOVÁKY – BÁLINT 2013).

A napi maximum és minimum hőmérsékletek tekintetében egyaránt növekedés várható a 21. század során és vélhetően gyakoribbá válnak majd a meleg hőmérsékleti szélsőségek (hőség és forró napok), de a hideg szélsőségek (téli és fagyos napok) száma csökken (SZÉPSZÓ 2008).

A csapadék időbeli eloszlása is átalakul majd a prognózisok szerint. A század végére a csapadékos napok száma tovább csökken a jelenhez képest is. A nagycsapadékok (20mm<) előfordulása általában (a nyár kivételével) növekedni látszik (HREX, 2012). A nagycsapadékok következtében előforduló villámárvizek gyakoribbá válhatnak. A hosszabb csapadékmentes periódusok viszont szélsőségesebb aszályokat indukálnak majd (GÁLOS *et al.* 2007).

Az éghajlatváltozás sajátos jellemzője, hogy a megváltozó környezeti feltételek visszahatnak a klímaváltozást elsősorban indukáló társadalmi gazdasági tevékenységre. A következmények megjelenhetnek útjaink állapotában is. Különösen lényeges a kérdés az alsóbbrendű vagy mezőgazdasági, ill. erdészeti utak esetében, amelyek a környezeti jellemzőkre, különösen a földmű nedvességtartalmával kapcsolatos változásokra érzékenyebbek.

Megállapítható, hogy a klímaváltozás a megváltozó környezeti jellemzők miatt a pályaszerkezetek tervezési paramétereinek, esetleg magának a tervezési elveknek a módosítását indukálja.

Klimatikus jellemzők és változásuk

Magyarország az éghajlati elemek szempontjából nagyjából egységes éghajlati körzetekre osztható. Az egyes régiók a következők: Dunántúl (D), Közép-Dunántúl (KD), Közép-Magyarország (BK, Budapest és körzete), Észak-Alföld (EA), Dél- Alföld (DA), Nyugat-Dunántúl (NYD), Észak-Magyarország (EM). A régiók elhelyezkedései viszonylag jól követik a csapadék és a hőmérséklet országos megoszlást is.

A paraméterekre a klimatikus vizsgálatokban is szokásos 30-éves átlagokban történnek a számítások. A későbbiekben jelennek hivatkozott időszak az 1981-2010-es periódus értékeire vonatkozik. A Jövő esetében a rendelkezésre álló regionális klímamodellek adatai közül a Közép-Európára leginkább megfelelő REMO (JACOB *et al.* 2007) regionális klímamodell bias korrekcióval módosított adatait használtuk fel. A jövőbeli értékelési időszak a 2016-2045 közötti periódus (A1B scenárió, FORESEE adatbázis) (DOBOR *et al.* 2013).

A klimatikus jellemzők jelenbeli (1981-2010) alakulása Magyarország területén

Az éves átlaghőmérséklet 11,1 °C. A legalacsonyabb átlaghőmérséklet Észak-Magyarországon jellemző, a Bükk-fennsíkon 10,14 fokkal (1. táblázat). Ha az orográfia hatását nem számítjuk, akkor az ÉK-i területek a leghűvösebbek 9-9,5 °C-os átlaghőmérséklettel. Átlaghőmérséklet tekintetében a legmelegebb terület a Dél-Alföld, ill. a Dunántúl déli része 11,6 és 11,53 °C-kal.

Az 1. táblázat alapján megállapítható, hogy a legmelegebb D-i rész között 3-3,5 °C-os átlaghőmérséklet különbségek vannak, ami indokolhatja a régiók kialakítását, a pályaszerkezet méretezés hőmérsékleti korrekciójának szempontjából.

Az átlagok mellett a hőmérséklet szezonális menete is lényeges kérdés, hiszen a pályaszerkezet méretezés a havi jellemzők figyelembevételén alapul. A havi átlaghőmérsékletek a -0,6 (január) és a 21,7 (július) °C között változnak. A napi átlaghőmérsékletek esetében a leghidegebb az 1981-2010 közötti időszakban -20,7 °C, míg a legmelegebb 32,5 °C volt. A legtöbb fagypon alatti átlaghőmérsékletű nap januárban volt, átlagosan 17 nap a hónapból. Fagypon alatti hőmérsékletű napok októbertől-áprilisig, a 30 °C fölötti maximális hőmérsékletű napok pedig dominánsan júliusban jellemzőek (átlagosan 6 nap évente).

1. táblázat: Az éves átlaghőmérsékletek térbeli statisztikái a magyarországi régiókban (1981-2010).

Régió	Min. [Celsius]	Max. [Celsius]	Átlag [Celsius]	Szórás
D	11,06	11,96	11,53	0,20
KD	9,68	11,78	11,08	0,45
BK	9,52	11,87	11,24	0,49
EA	10,16	11,64	10,79	0,45
DA	11,066	11,96	11,60	0,19
NYD	10,37	11,58	10,97	0,21
EM	8,34	11,28	10,14	0,61

A csapadék esetében 586 mm/év az országos átlag az 1981-2010 közötti időszakban. A legkisebb éves átlagos csapadékösszeg Közép-Magyarországon és a Dél-Alföldön jellemző 480-490 mm/év, míg a legnagyobb csapadéku a nyugat-dunántúli régió (614 mm/év). A csapadék területi eloszlását a 2. táblázat mutatja.

2. táblázat: Az éves átlagos csapadékösszegek [mm/év] térbeli statisztikái a magyarországi régiókban (1981-2010).

Régió	Min. [mm]	Max. [mm]	Átlag [mm]	Szórás
D	512	713	586	47,19
KD	501	651	554	34,09
BK	487	649	523	36,22
EA	499	622	546	33,56
DA	490	570	521	16,32
NYD	505	764	614	66,84
EM	505	671	574	36,80

A földmű tavaszi modulusai lehetnek jelentősen kisebbek alapvetően az olvadás következtében előálló felázottság miatt (Fi *et al.*, 2012). A felázottság a magasabb talajnedvesség értékekben jelentkezik, amire leginkább a nyugalmi időszak (november-április) csapadékösszege van hatással, ezek a csapadékok akkumulálódnak a talajban, növelve annak nedvességtartalmát. A nyugalmi időszak (téli félév) csapadékok területi eloszlást mutatja az 3. táblázat, amely szerint a hegyvidéki részekon kívül a Nagyalföld ÉK-i része, valamint a Dunántúl DNy-i területei rendelkeznek magasabb téli csapadékösszeggel.

A téli félév csapadékösszege átlagosan 146 és 231 mm között van, 178 mm-es átlag értékkel. Mivel a nyugalmi időszak párolgása durván 80-100 mm körüli, ezért a lefolyást is figyelembe véve (a csapadék kb. 10%-a, ~20 mm) átlagosan 20 és 130 mm közötti csapadék áll rendelkezésre a talaj nedvességekészletének feltöltésére.

3. táblázat: Az átlagos téli csapadékösszegek [mm] térbeli statisztikái a magyarországi régiókban (1981-2010).

Régió	Min. [mm]	Max. [mm]	Átlag [mm]	Szórás
BK	158	221	174	15,09
D	171	230	190	13,94
DA	160	192	174	6,41
EM	146	217	168	14,90
NYD	162	231	185	17,40
KD	168	210	182	8,98
EA	150	207	175	14,07

A klimatikus jellemzők jövőbeli (2016-2045) alakulása Magyarország területén

Az évi középhőmérséklet eloszlását hazánkban a 2016-2045 közötti időszakban a 4. táblázat mutatja. Az éves átlaghőmérséklet 12,0 °C, ami 0,9 °C-kkal magasabb, mint a jelenre vonatkoztatott érték (1981-2010: 11,1 °C), a legalacsonyabb átlaghőmérséklet Észak-Magyarországon jellemző a jövőben is a Bükk-fennsíkon 9,3 °C-os (1981-2010: 8,3 °C) értékkel. Ha az orográfia hatását nem számítjuk, akkor az ÉK-i területek, valamint az Alpokalja a leghűvösebbek 11,0-11,5 °C-os (1981-2010: 9,0-9,5 °C) átlaghőmérséklettel. A legmelegebb terület a Dél-Alföld, ill. a Duna-Tisza köze nyugati része, valamint a Dél-Dunántúl déli és keleti része, ahol 12,5-13 °C-os (1981-2010: 12 °C) átlaghőmérsékletek jellemzőek. Az átlaghőmérséklet régiók szerinti megoszlást a 4. táblázat tartalmazza.

4. táblázat: Az éves átlaghőmérsékletek térbeli statisztikái a magyarországi régiókban (2016-2045).

Régió	Min. [Celsius]	Max. [Celsius]	Átlag [Celsius]	Szórás
BK	10,41	12,81	12,18	0,50
D	11,98	12,93	12,46	0,22
DA	12,01	12,89	12,54	0,19
EA	11,17	12,59	11,76	0,43
EM	9,32	12,25	11,12	0,61
KD	10,53	12,71	11,96	0,47
NYD	11,16	12,47	11,79	0,23

Az orográfia hatását elhanyagolva, a jövőben a leghidegebb ÉK-i rész és a legmelegebb D-i rész között 3,5 °C-os átlaghőmérséklet különbségek valószínűsíthetők (1981-2010: 3-3,5 °C) (4. táblázat). Ez a területi különbség a jelenhez közel hasonló mértékben teheti indokolttá régiók alkalmazását a pályaszerkezet méretezés hőmérsékleti korrekciójának szempontjából.

A havi átlaghőmérsékletek a -0,1 °C januári (-0,6 a január az 1981-2010-es időszakban) és a 22,8 °C júliusi (21,7 °C a július az 1981-2010-es időszakban) között változnak. A napi átlaghőmérsékletek esetében a leghidegebb a 2016-2045 közötti időszakban -16,7 °C (az 1981-2010

közötti időszakban $-20,7\text{ °C}$), míg a legmelegebb $35,2\text{ °C}$ (az 1981-2010 közötti időszakban $32,5\text{ °C}$) mint jövőben várható értékek. Az összehasonlítás alapján kiderül, hogy a két harminc éves periódus között a napi átlaghőmérsékletek minimumai emelkednek, míg a maximális napi átlaghőmérsékletek jelentősen (több fokkal) magasabbak is lehetnek. Ezek szerint a szélsőségek változásának mértéke a meleg nyári hónapokban jelentősebb lesz, mint az átlagokban jelentkező növekedés. A fagypont alatti átlaghőmérsékletű napok csökkennek a téli időszakban (mintegy 6-7 nappal évente). Míg a 30 °C fölötti napok száma is nő és már nemcsak júliusban és augusztusban, hanem májustól szeptemberig előfordulhatnak majd. A pályaszerkezetek vonatkozásában a fagyos napok jelentősége csökken, ami az olvadási károkkal sújtott időszak hosszának növekedését jelentheti. Míg a magas hőmérsékletek (hőségnapok számának) emelkedése várható, ami a keréknyomképződés fokozódásához vezethet.

Az éves átlagos csapadék eloszlását az 5. táblázat **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.** mutatja. A csapadék esetében 527 mm/év az átlagos évi csapadékösszeg a 2016-2045 közötti időszakban (586 mm/év az országos átlag az 1981-2010-es időszakban). A legkisebb éves átlagos csapadékösszeg 2015-2045-ös időszakban a Kiskunság Északi részén jellemző $400\text{--}450\text{ mm}$ (de az egész Nagyalföld középső részén 500 mm/év alatt marad az éves csapadék), míg a legnagyobb csapadékú a délnyugat-dunántúli régió 604 mm/év körüli értékkel (1981-2010: 614 mm/év).

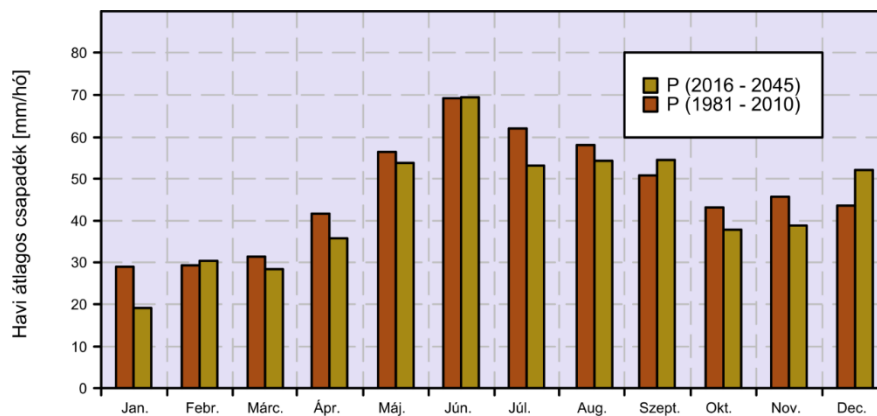
5. táblázat: Az éves átlagos csapadékösszegek [mm/év] térbeli statisztikái a magyarországi régiókban (2016-2045).

Régió	Min. [mm/év]	Max. [mm/év]	Átlag [mm/év]	Szórás
BK	442	629	482	44,04
D	456	691	554	54,27
DA	443	545	489	25,13
EA	452	585	505	33,24
EM	461	646	543	41,72
KD	458	621	521	38,89
NYD	497	731	604	55,85

A csapadék havi eloszlását szemlélteti a 1. ábra, amely szerint az 1981-2010-es periódushoz képest az 2016-2045-ös időszakban a téli csapadékösszeg közel változatlan volta mellett a nyári csapadékösszeg jelentősebb csökkenése várható. A pályaszerkezetek szempontjából a fagy és olvadási károk téli időszakában a csapadékösszeg hasonló marad. A klímamodellek csapadékeloszlása jelentősen eltérhet a valós csapadékeloszlástól, így ezeket az eredményeket fenntartással érdemes kezelni.

A jelenhez hasonlóan a lehetséges jövőre vonatkozóan elemezzük a nyugalmi időszak (november-április) csapadékösszegeit.

A téli félév csapadékösszege átlagosan 131 mm (1981-2010: 146 mm) és 254 mm (1981-2010: 231 mm) között van, 171 mm-es (1981-2010: 178 mm) átlagos értékkel az országban. Az átlagos tendencia tehát alig 7 mm átlagos csökkenés a térbeli szélsőségek növekedése mellett (6. táblázat). Az előbbieket szerint a téli félév csapadékösszege mintegy 15 mm-es csökkenéssel jellemezhető majd. A tavasz csapadékcsökkenése ennél jelentősebb lesz, a melegedés pedig valószínűleg többletpárolgással jár majd. Ezek a hatások valószínűleg csökkentik majd a tavaszi talajnedvességeket.



1. ábra: A havi átlagos csapadékösszegek [mm/hó] szezonális eloszlása a 2016-2045, valamint az 1981-2010-es időszakban.

A téli párolgást és a lefolyást figyelembe a 100 mm fölötti téli csapadékösszegek lehetnek kedvezőtlenek az alapvetően kötött talajú területeken.

6. táblázat: Az átlagos téli csapadékösszegek [mm] térbeli statisztikái a magyarországi régiókban (2016-2045).

Régió	Pixel	Min. [mm]	Max. [mm]	Átlag [mm]	Szórás [mm]
BK	7079	137,852	207,871	155,64	17,91
D	14429	148,293	246,401	186,48	22,80
DA	18545	138,541	191,915	162,07	11,08
EA	18041	132,370	214,544	162,56	18,52
EM	13438	130,870	205,357	155,98	16,60
KD	11454	148,216	208,271	177,65	14,93
NYD	11177	172,161	254,821	204,78	19,06

Összefoglalás

A klimatikus jellemzők hatásai az útpályaszerkezetre a két vizsgálati periódusban (1981-2010; 2016-2045) a következőképpen foglalhatók össze:

A jövőre (2016-2045) vonatkoztatott éves átlaghőmérséklet 12,0 °C, ami 0,9 Celsius fokkal magasabb, mint a jelenre (1981-2010: 11,1 °C) kapott értékek. A jövőben a leghidegebb ÉK-i rész és a legmelegebb D-i rész között 3,5 °C átlaghőmérséklet különbségek valószínűsíthetők (1981-2010: 3-3,5 °C). Ez a területi különbség a jelenhez közel hasonló mértékben teheti indokolttá régiók alkalmazását a pályaszerkezet méretezés hőmérsékleti korrekciójának szempontjából. Az 1981-2010 és a 2016-2045 periódus között a napi átlaghőmérsékletek minimumai emelkednek, míg a maximális napi átlaghőmérsékletek jelentősen (több fokkal) magasabbak is lehetnek. Ezek szerint a szélsőségek változásának mértéke a meleg nyári hónapokban jelentősebb lesz, mint az átlagokban jelentkező növekedés. Az 2016-2045-ös periódusban fagypont alatti átlaghőmérsékletű napok csökkennek, mintegy 6-7 nappal évente az 1981-2010-es periódushoz képest. Míg a 30 °C fölötti napok száma nő a jövőben. A pályaszerkezetek vonatkozása-

sában a fagyos napok jelentősége tehát csökken, ami az olvadási károkkal sújtott időszak hosszának növekedését jelentheti, a hősnapok számának emelkedése pedig a keréknyomképződés fokozódásához vezethet.

A csapadék esetében 527 mm/év az átlagos évi csapadékösszeg a 2016-2045 közötti időszakban (1981-2010: 586 mm/év). A csapadék havi eloszlása szerint a 2016-2045-ös időszakban a téli csapadékösszeg közel változatlan volta mellett a nyári csapadékösszeg jelentősebb csökkenése várható. A pályaszerkezetek szempontjából a fagy és olvadási károk téli időszakában a csapadékösszeg hasonló marad mindkét vizsgálati periódusban. A nyugalmi időszak (november-április) csapadékösszegei akkumulálódva növelik jelentősen a kritikus tavaszi időszakban a földmű nedvességtartalmát. A téli félév csapadékösszege átlagosan 171 mm (1981-2010 178 mm) az országban. Az átlagos tendencia tehát alig 7 mm átlagos csökkenést jelent a jövőben. A tavaszi csapadékcsökkenése várhatóan jelentős lesz, a melegedés pedig többletpárolgással jár majd. Ezek a hatások valószínűleg csökkentik majd a tavaszi talajnedvességeket. A téli párolgást és a lefolyást figyelembe véve a 100 mm fölötti téli csapadékösszegek lehetnek kedvezőtlenek az alapvetően kötött talajú területeken.

Köszönetnyilvánítás: A publikáció megírását az EFOP 362-16-2017-00018 „Termeljünk együtt a természettel – Az agrárerdészet, mint új kitérési lehetőség” pályázat támogatta.

Irodalomjegyzék

- BARTHOLY, J. – BOZÓ, L. – HASZPRA, L. (SZERK.) (2011): Klímaváltozás – 2011. Klímaszcenáriók a Kárpát-medence térségére. Magyar Tudományos Akadémia és az Eötvös Loránd Tudományegyetem Meteorológiai Tanszéke, Budapest, p. 281.
- FI, I. – BONCS, P. – PETHŐ, L. – TÓTH, CS. (2012): Útburkolatok méretezése. Terc Kft. ISBN 978 963 9968 349, p. 457.
- GÁLOS, B. – LORENZ, PH. – JACOB, D. (2007): Will dry events occur more often in Hungary in the future? Environ. Res. Lett., 2, 034006 (9pp), <https://doi.org/10.1088/1748-9326/2/3/034006>
- GÁLOS, B. – ANTAL V. – CZIMBER, K. – MÁTYÁS, CS. (2014): Forest ecosystems, sewage works and droughts – possibilities for climate change adaptation. In: Santamarta J.C., Hernandez-Gutiérrez L.E., Arraiza M.P. (eds) 2014. Natural Hazards and Climate Change/Riesgos Naturales y Cambio Climático. Madrid: Colegio de Ingenieros de Montes. ISBN 978-84-617-1060-7, D.L. TF 565-2014, 91-104, <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3947.6963>
- GÁLOS, B. – FÜHRER, E. – CZIMBER, K. – GULYÁS, K. – BIDLÓ, A. – HÄNSLER, A. – JACOB, D. – MÁTYÁS, CS. (2015): Climatic threats determining future adaptive forest management – a case study of Zala County, IDŐJÁRÁS, Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service Vol. 119, No. 4, October – December, 2015, pp. 425–441.
- GUPTA A. (2014): „A review of Environmental Factors on Flexible Pavement Modelling”, Modern Traffic and Transportation Engineering Research, vol:3 iss:1 pg:14-20
- HREX JELENTÉS (2012): Éghajlati szélsőségek változásai Magyarországon: közelmúlt és jövő, Lakatos M.– Szépszó G. Bihari Z. Krüzselyi I. Szabó P, Bartholy J. Pongrácz R. Pieczika I. Torma Cs. (szerk.) http://www.met.hu/doc/IPCC_jelentes/HREX_jelentes-2012.pdf
- JACOB, D. – BARRING, L. – CHRISTENSEN, OB. – CHRISTENSEN, JH. – CASTRO, M. – DEUE, M. – GIORGI, F. – HAGEMANN, S. – HIRSCHI, M. – JONES, R. – KJELLSTRÖM, E. – LENDERINK, G. – ROCKEL, B. – SANCHEZ, E. – SCHAR, C. – SENEVIRATNE, SI. – SOMOT, S. – VAN ULDEN, A. – VAN DEN HURK, B. (2007): An inter-comparison of regional climate models for Europe: model performance in present-day climate. ClimChange, 81:31-52, <https://doi.org/10.1007/s10584-006-9213-4>
- NOVÁKY, B. – BÁLINT, G. (2013): Shifts and Modification of the Hydrological Regime Under Climate Change in Hungary; <http://doi.org/10.5772/54768>
- PETHŐ L. (2008): A hőmérséklet eloszlás alakulása az aszfalt burkolatú pályaszerkezetekben és ennek hatása a pályaszerkezeti rétegek méretezésére, technológiai tervezésére. PhD értekezés. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem.

SZÉPSZÓ G. (2008): Regional change of climate extremes in Hungary based on different regional climate models of the PRUDENCE project, *Időjárás* 112 265–83.

BÜKK (*FAGUS SYLVATICA* L.) FAANYAG POLIFENOL KÉSZLETÉNEK FOLYADÉKKROMATOGRÁFIÁS/TÖMEGSPEKTROMETRIÁS VIZSGÁLATA

HOFMANN TAMÁS, VISINÉ RAJCSI ESZTER, ALBERT LEVENTE
Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Kémiai Intézet
hofmann.tamas@uni-sopron.hu

A bükk (*Fagus sylvatica* L.) ökológiai és gazdasági szempontból is Európa egyik legjelentősebb kemény lombos fafaja (MOLNÁR 2004). Különösen érzékeny a klíma szárazodására, ezért jövőbeli fenntarthatósága sok kérdést vet fel. Faanyagának minél szélesebb körű hasznosítását, piaci értékét jelentősen korlátozza legfontosabb szerkezeti és szín anomáliája, az álgesztesedés. Az álgesztmentes és álgesztes bükk hasznosításának egyik ígéretes területét nyitja meg a szöveteiben előforduló antioxidánsok (elsősorban polifenolok) kivonása és azonosítása. Erre alkalmasak a feldolgozás során keletkező melléktermékek is (levél, ággöcs, kéreg, fűrészpor, stb.). Ebben a tekintetben a bükkre vonatkozóan hiányosak az ismereteink, csak néhány kutatás foglalkozott a bükk faanyag polifenolos összetételének feltérképezésével (HOFMANN ET AL. 2004, VEK ET AL. 2013, 2015). Nagy hatékonyságú folyadék-kromatográfiás/tömegspektrometriás vizsgálatot (mely a legbővebb információt szolgáltatná ezen a területen) csak egy alkalommal végeztek, ez azonban részleges információt szolgáltatott (MÄMMELÄ 2001).

Jelen kutatás célja a bükk polifenolok azonosítása és szerkezetük vizsgálata nagy hatékonyságú folyadék-kromatográfiás/tandem tömegspektrometriás (LC-MS/MS) eljárással. Külön vizsgáltuk a polifenol készletet a szíjácsban, a szíjács/álgeszt határon (színhatár) és az álgesztes szövetben.

Az eredmények nem csak a bükk faanyag jobb kémiai hasznosításához járulhatnak hozzá, hanem az álgesztesedés jelenségének jobb megértéséhez is.

Anyag és módszer

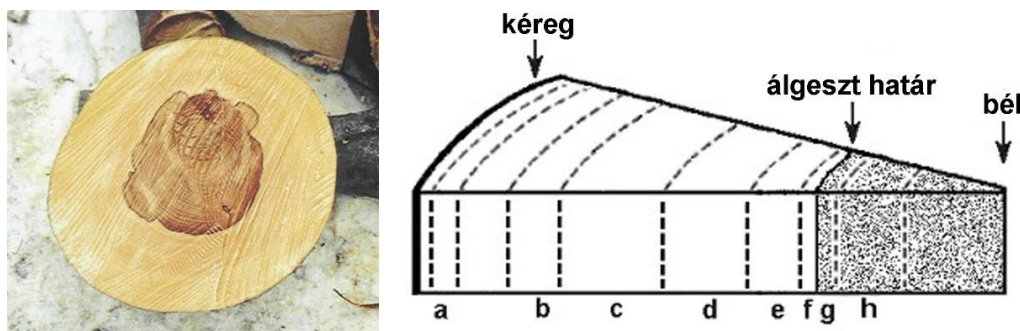
Mintavétel

Egy álgesztes törzsből származó korongot vizsgáltunk. A törzset 2017. decemberében döntötték a Tanulmányi Erdőgazdaság Soproni Erdészete területén. A törzsből egy korongot vágunk ki 1,5 méter magasságból. A korongból a mintákat az 1. ábrán feltüntetett felosztásban jelöltük ki. A kijelölt minták közül csak a „b”, „f” és a „h” jelűeket vizsgáltuk, ezek rendre a szíjács, a szíjács/álgeszt határ és az álgeszt belseje. A mintákat kivágás után ráspollal dolgoztuk fel, és a kapott faport extraháltuk: 40 mg fapor + 20 ml 4:1 metil-alkohol:víz elegy; 30 perc; ultrahangos extrakció. Az extraktumokból 10 ml-t nitrogéngázzal 40 °C-on szárazra pároltunk, majd tiszta oldószerrel 1 ml-re oldottuk vissza. A kapott oldatokat vizsgáltuk LC-MS/MS eljárással.

Az LC-MS/MS analízis körülményei

A kromatográfiás elválasztást Shimadzu LC-20 folyadék-kromatográfal végeztük el. Állófázis: Phenomenex, Kinetex C18, 2,6 µm, 150 mm x 4,6 mm, 40 °C. Mozgófázis: A (víz + 0,1% hangyasav), B (acetonitril + 0,1% hangyasav), gradiens elúció (5%B → 100%B, 36 min.), 1,2 ml/min áramlással. Minta injektálás: 6 µl. Detektálás: UV detektálás 250-300 nm tartományon, valamint tömegspektrometriás detektálás AB Sciex 3200 QTRAP® LC/MS/MS hármass kvadrupól/lineáris ioncsapda detektor segítségével, negatív elektroporlasztásos ionizációval. Polifenolok azonosítása: IDA (Information Dependent Analysis) segítségével a 160-1200 m/z tartományon. Gázellátás: a tömegspektrometriás mérésekhez alkalmazott porlasztógáz, függönygáz

és szárítógáz nitrogén volt, melyet egy továbbfejlesztett Mistral EVO 35 L nitrogéngenerátor segítségével állítottuk elő.



1. ábra. Az álgesztes korong és a mintavételi helyek a korongon belül

Eredmények és értékelésük

A kromatográfiai elválasztás, valamint a tömespektrometriás információ alapján 58 vegyületet azonosítottunk (1. táblázat). A korábbi eredményekkel összhangban azonosítottuk a (+)-katechint, (-)-epikatechint, valamint taxifolin-*O*-pentozydokat és taxifolin-*O*-hexozidokat (MÄMMELÄ 2001, HOFMANN ET AL. 2004). Ezeket a vegyületeket, valamint a procianidin származékokat (dimerek és trimerek) a bükk kéregből is kimutattuk (HOFMANN ET AL. 2015).

Elsőként mutattunk ki bükk faanyagból a naringenin, izorhamnetin, kvercetin, galluszsav, vanillinsav, valamint konjugátumaik jelenlétét. A naringenin-*C*-hexozidokat (40, 43) korábban bükk levélben is sikerült kimutatni (HOFMANN ET AL. 2017). A 2. ábra alapján megállapítható, hogy a geszthatáron (f) magasabb a polifenolok mennyisége, mint a szíjácsban (b), mely igazolja azt a korábbi megállapítást, mely szerint a polifenolok mennyisége a kéregtől a színhatárig növekszik (ALBERT ET AL. 2003). A szíjács/álgeszt határ szöveteinek polifenolos összetételét vizsgálva megállapítottuk (1. táblázat), hogy a színhatáron olyan vegyületek is megjelennek, vagy megemelkedett koncentrációban vannak jelen, melyek a színtelen faanyagban nem, vagy csak nyomokban fordulnak elő és az álgesztből egyáltalán nem mutathatók ki (pl. 32, 47, 48, 55, 56). Az eredmények bizonyítják, hogy a színhatáron *in situ* polifenol szintézis zajlik, mely feltehetően az álgesztesedés molekuláris folyamataival és a színeképződéssel függ össze.

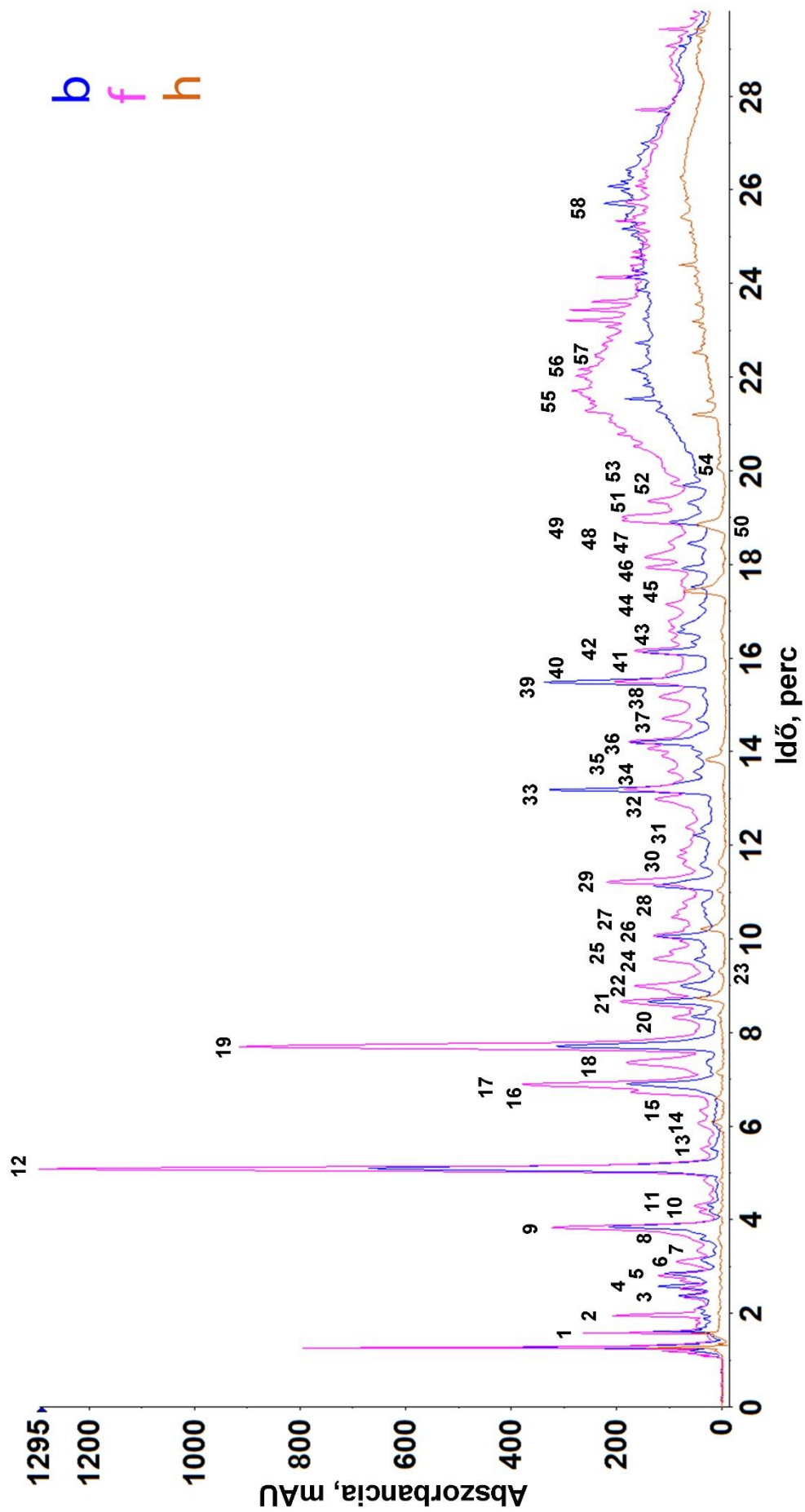
Az álgesztből kevesebb polifenolos vegyületet mutattunk ki, glikozidok egyáltalán nincsenek jelen, csak szabad aglikonok (23, 27, 45, 50, 54, 58). A mérések során az álgesztből nagy molekulatömegű, oxidált polimer polifenolokat (pl. flobafének) nem mutattunk ki.

Az eredmények alapján feltételezhető, hogy az álgeszt színanyagai vagy alacsony molekulatömegű színes vegyületek, vagy a sejtfa vázanyagához kémiaiilag kötött, ún. nem extrahálható polifenolok, vagy a vázanyagok átalakulása során keletkezett termékek és a polifenolok reakcióiban keletkező anyagok.

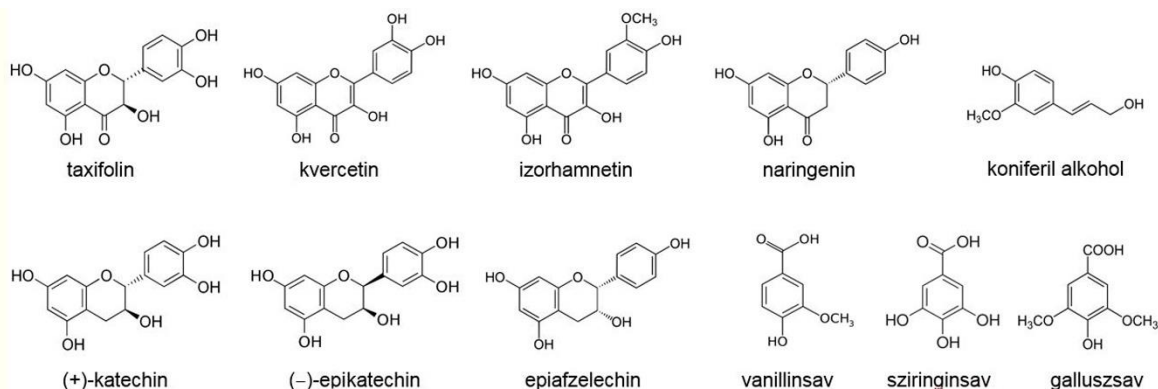
A főbb polifenol aglikonok képleteit a 3. ábra szemlélteti.

1. táblázat. Bükk faanyag polifenoljainak kromatográfiás/tömegspektrometriás azonosítása. b: fehér faanyag (szíjács); f: szíjács/álgesz határ; h: álgeszt belseje

Csúcs	t _r (min)	Vegyület neve	b f h	[M-H] ⁻ m/z	MS/MS m/z
1	1.32	Monogalloil glükóz	x x	331	169, 125
2	1.95	Monogalloil glükóz	x x	331	169, 125
3	2.35	Ismeretlen	x x	865	739, 695, 755, 407, 289, 125
4	2.53	Procianidin C trimer	x x	865	739, 695, 755, 407, 289, 125
5	2.86	Monogalloil glükóz	x x	331	169, 125
6	3.10	Procianidin C trimer	x x	865	739, 695, 755, 407, 289, 125
7	3.34	Ismeretlen	x x	315	201, 165, 152, 108
8	3.70	Ismeretlen	x x	343	205, 163, 135, 93
9	3.83	Vanillinsav-O-hexozid	x x	397	329, 235, 167, 152, 123, 108
10	4.16	Ismeretlen	x x	391	183
11	4.30	Ismeretlen	x x	345	183, 168, 139, 124
12	5.10	Sziringinsav-O-hexozid	x x	359	239, 207, 197, 182, 167, 153, 138, 123, 95
13	5.65	(Epi)katechin-O-hexozid	x x	451	289, 245, 203, 125, 109
14	6.10	(Epi)katechin-O-hexozid	x x	451	289, 245, 203, 125, 109
15	6.34	Sziringinsav-O-hexozid	x	359	239, 207, 197, 182, 167, 153, 138, 123, 95
16	6.73	Dihidro-kumársav-O-hexozid	x x	327	179, 165, 147, 121
17	6.87	Procianidin B dimer	x x	577	451, 425, 407, 289, 245, 125
18	7.39	Procianidin B dimer	x x	577	451, 425, 407, 289, 245, 125
19	7.71	(+)-Katechin	x x	289	245, 203, 125, 123, 109
20	8.29	Procianidin C trimer	x x x	865	739, 695, 755, 407, 289, 125
21	8.60	Digalloil glükóz	x x x	483	439, 313, 169, 125
22	8.90	Ismeretlen	x x	511	467, 313, 197, 169, 125
23	9.26	Kvercetin	x	301	300, 271, 255
24	9.57	Procianidin D tetramer	x x	1153	865, 695, 577, 451, 407, 289, 245, 125
25	9.77	Procianidin C trimer	x x	865	739, 695, 755, 407, 289, 125
26	10.07	Ismeretlen	x x	463	417, 305, 235, 181, 166, 135, 121, 109
27	10.21	Sziringinsav	x	197	182, 167, 153, 138, 123, 121, 95
28	10.80	Procianidin E pentamer	x x	1441	[M-2H] ²⁻ : 720; 865, 577, 451, 425, 289, 125
29	11.26	(-)-Epikatechin	x x	289	245, 203, 125, 123, 109
30	11.61	Ismeretlen-O-hexozid	x x	431	385, 223, 205, 161, 153, 123
31	12.12	Ismeretlen	x x	405	357, 161
32	12.83	Digalloil glükóz	x	483	439, 313, 169, 125
33	13.21	Taxifolin-O-hexozid	x x	465	285, 303, 339, 257, 179, 151, 107
34	13.58	Procianidin C trimer	x x	865	739, 695, 755, 407, 289, 125
35	13.83	Ismeretlen	x	187	119, 92
36	14.21	Taxifolin-O-hexozid	x x	465	285, 303, 339, 257, 179, 151, 107
37	14.72	Procianidin B dimer	x x	577	451, 425, 407, 289, 245, 125
38	15.19	Procianidin dimer monogallát	x x	729	603, 559, 577, 451, 441, 425, 407, 289
39	15.50	Taxifolin-O-pentozid	x x	435	303, 285, 257, 179, 151, 107
40	15.63	Naringenin-C-hexozid	x x	433	387, 343, 313, 283, 271, 193, 151, 119, 107
41	15.95	Izorhamnetin-O-hexozid	x x	477	315, 314, 300, 271
42	16.15	Taxifolin-O-pentozid	x x	435	303, 285, 257, 179, 151, 107
43	16.38	Naringenin-C-hexozid	x x	433	387, 343, 313, 283, 271, 193, 151, 119, 107
44	17.15	Ismeretlen-O-glikozid	x x	539	377, 359, 313, 209, 193, 180, 149
45	17.45	Taxifolin	x	303	285, 275, 217, 177, 151, 125
46	17.95	Ismeretlen	x x	441	397, 330, 217, 205, 187, 133, 109
47	18.20	(Epi)katechin monogallát	x	441	289, 245, 205, 169, 125, 109
48	18.31	Izorhamnetin-O-hexozid	x x	477	315, 314, 300, 271
49	18.86	Ismeretlen	x x	419	404, 373, 359, 344, 313, 281, 175, 124
50	19.07	Izorhamnetin	x	315	300, 271, 255, 227 135
51	19.37	Ismeretlen	x x	551	419, 401, 373, 359, 358
52	19.78	Taxifolin-O-pentozid	x x	435	303, 285, 257, 179, 151, 107
53	19.91	Kvercetin-O-hexozid	x x	463	301, 300, 271, 255, 215, 179, 151
54	20.07	Szinapaldehid	x	207	192, 177, 163
55	21.42	Izorhamnetin-O-pentozid	x x	447	315, 314, 300, 271, 243
56	22.25	(Epi)afzelechin-O-hexozid	x x	435	315, 273, 179, 167
57	22.43	Izorhamnetin-O-hexozid	x x	477	315, 314, 300, 271
58	25.40	Naringenin	x	271	177, 151, 119, 107, 93



2. ÁBRA. A BÜKK FAANYAG KIVONATÁNAK UV (250-300 NM) KROMATOGRAMJA (B: SZÍJÁCS; F: SZÍJÁCS; H: SZÍJÁCS/ÁLGESZT HATÁR; H: ÁLGESZT BELSEJE).



3. ábra. Főbb polifenol aglikonok a bükk faanyagban

Összefoglalás

Módszeresen és részletesen azonosítottuk az álgesztes bükk szíjácsában, határzónájában és álgesztjében található polifenolos vegyületeket. Az eredmények hozzájárulnak a színesedés molekuláris folyamatainak megértéséhez és elősegítik fontos vegyületek kivonását és hasznosítását a faanyagból, akár a melléktermékekből is. Új kutatási területeket is megnyitnak, mivel a molekuláris szerkezetek ismeretében tanulmányozhatóvá válik a kimutatott kémiai anyagok hozzájárulása a faanyag tartósságához, gombaállóságához és színtabilitásához, valamint azok potenciális bioaktív (pl. antibakteriális, antivirális, antiproliferatív, stb.) hatásához is.

Köszönetnyilvánítás: A tanulmány/kutatómunka a „Faipari termékek tovább feldolgozása zöld kémiai és technológiai alapokon, korszerű kutatási infrastruktúra létrehozásával” című és GINOP-2.3.3-15-2016-00038 projekt részeként a Szechenyi2020 program keretében az Európai Unió támogatásával, az Európai Regionális Fejlesztési Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- ALBERT, L., HOFMANN, T., NÉMETH, ZS. I., RÉTFALVI, T., KOLOSZÁR, J., VARGA, SZ., CSEPREGI, I. (2003): Radial variation of total phenol content in Beech (*Fagus sylvatica* L.) wood with and without red heartwood, *Holz als Roh- und Werkstoff* 61: 227–230.
- HOFMANN, T., ALBERT, L., RÉTFALVI, T. (2004): Quantitative TLC analysis of (+)-catechin and (-)-epicatechin from *Fagus sylvatica* L. with and without red heartwood. *Journal of Planar Chromatography* 17: 350–354.
- HOFMANN, T., NEBEHAJ, E., ALBERT, L. (2015): The high-performance liquid chromatography/multi-stage electrospray mass spectrometric investigation and extraction optimization of beech (*Fagus sylvatica* L.) bark polyphenols. *J. Chromatogr. A* 1393: 96–105.
- HOFMANN, T., NEBEHAJ, E., ALBERT, L. (2017): Leaf polyphenols as indicators of climatic adaptation of beech (*Fagus sylvatica* L.) – an HPLC-MS/MS via MRM approach. *International Labmate* 42 (3): 12–14.
- MÄMMELÄ, P. (2001): Phenolics in selected European hardwood species by liquid chromatography–electrospray ionisation mass spectrometry. *The Analyst* 126 (9): 1535–1538.
- MOLNÁR, S. (szerk.) (2004): Faanyagismeret. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest.
- VEK, V., OVEN, P., HUMAR, M. (2013): Phenolic extractives of wound-associated wood of beech and their fungicidal effect. *International Biodeterioration & Biodegradation* 77: 91–97.
- VEK, V., OVEN, P., POLJANŠEK, I., TERS, T. (2015): Contribution to understanding the occurrence of extractives in red heart of beech. *BioResources* 10 (1): 970–985.

BÜKK (*FAGUS SYLVATICA* L.) LEVÉL ANTIOXIDÁNS KAPACITÁSÁNAK ÉS POLIFENOL KÉSZLETÉNEK VIZSGÁLATA

HOFMANN TAMÁS, VISINÉ RAJCSI ESZTER, ALBERT LEVENTE
Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Kémiai Intézet
hofmann.tamas@uni-sopron.hu

Különböző fák levélkivonatainak számos jótékony hatása lehet az emberi szervezetre (antioxidáns, rákellenes, gyulladáscsökkentő hatás stb.), így az ezekben a növényi szövetekben megtalálható antioxidáns jellegű vegyületek vizsgálata is kiemelten fontos kutatási terület. Az antioxidáns tulajdonságokért felelős egyik jelentős vegyületsorozat a polifenolok osztálya. Gyümölcsök, zöldségek, gyógynövények antioxidáns tulajdonságairól, polifenolos összetételéről számos eredményt találhatunk a szakirodalomban, az erdei fák leveleit azonban lényegesen kevesebben tanulmányozták. A levél polifenolok vizsgálatának fontosságát az is indokolja, hogy kitüntetett szerepet töltenek be a növényi szövetek biotikus, illetve abiotikus stresszre (pl. klimatikus adaptáció) adott válaszreakcióiban is.

Kutatásunk célja a bükk (*Fagus sylvatica* L.) fafaj levélszövegeinek vizsgálata volt. Az elemzések során követtük az antioxidáns kapacitás és polifenol tartalom változását a májustól szeptemberig tartó időszakban. Mivel a bükk levél fenoloidok azonosítására a szakirodalomban nem találtunk utalást, HPLC-MS/MS eljárással elválasztottuk és azonosítottuk ezeket a vegyületeket. Az eredmények gazdagítják az ismereteinket a bükklevelek kémiai összetételéről, ráirányíthatják a kutatók figyelmét az azonosított vegyületekre a bükk különböző életfolyamatainak értelmezésében és hozzájárulhatnak a bükk levélszövet extraktumainak és a belőlük kivonható polifenoloknak a gyakorlatban történő hasznosításához.

Anyag és módszer

Mintavétel és extrakció: A mintavétel a Soproni Egyetem Botanikus kertjének területén történt 2017. május és szeptembere között. A levélmintákat (1 faegyed/faj, 20 db fény + 20 db árnyéklevél/faegyed) mikrohullámmal (700 W, 1 perc) kezeltük, daráltuk, majd extraháltuk (ultrahangos extrakció, 0,2 g levél + 20 ml 4:1 metanol:víz, 20 perc).

Totálfenol-tartalom meghatározás. A spektrofotometriás elvű Folin-Ciocalteu módszerrel a reakcióoldat abszorbanciáját 760 nm-en mértük, standardként kvercetin használtunk. Az eredményeket mg kvercetin/g száraz levélben adtuk meg (SINGLETON – ROSSI 1965).

Összes flavonoid tartalom meghatározás. A KALITA ET AL. (2013) által leírt módszert alkalmaztuk, kvercetin standard használatával. A reakcióelegy homogenizálását követően az abszorbanciát 415 nm-en mértük, az eredményeket mg kvercetin/g szárazanyagban (mg Q/g sz.a.) adtuk meg.

Összes flavan-3-ol tartalom meghatározás. A meghatározás TREUTTER (1989) munkája alapján történt, standardként (+)-katechint alkalmaztunk. A spektrofotometriás mérést 640 nm-en végeztük el. Az eredményeket mg (+)-katechin/ g szárazanyagban (mg C/g sz.a.) adtuk meg.

DPPH-antioxidáns kapacitás meghatározás. A reakció a DPPH (1,1-difenil-2-pikrilhidrazil)-gyökkel ment végbe 30 perc alatt, a reakcióelegy abszorbanciáját 515 nm-en mértük. Az eredményeket IC₅₀-értékben, µg/ml-ben adtuk meg (SHARMA – BHAT 2009).

ABTS-antioxidáns kapacitás meghatározás. A reakció az ABTS (2,2'-azinodi-(3-etilbenzotiazolin)-6-szulfoninsav) oxidációján alapul, 734 nm-en követhető nyomon. Az eredményeket mg trolox ekvivalens/g száraz levél egységben adtuk meg (STRATIL et al. 2007).

FRAP-antioxidáns kapacitás meghatározás. A spektrofotometriás mérés a vasredukáló-képességen alapul, aszkorbinsav standardot használtunk, 593 nm-en mértünk. Az eredményeket mg aszkorbinsav/g száraz levél egységben adtuk meg (BENZIE – STRAIN 1996).

HPLC-MS/MS vizsgálat. A mérés Shimadzu LC 20 folyadékkromatográf és AB Sciex 3200 Qtrap tömegspektrométer segítségével történt. Állófázis: Phenomenex Kinetex C18, 150 mm × 4,6 mm, 2,6 µm core-shell oszlop; 40°C. Mozgófázis: A (H₂O + 0,1% HCOOH), B (Acetonitril + 0,1% HCOOH). Gradiens elúció 1,2 ml/min térfogatárammal a következő gradiens szerint: 10% B (0–1 min), 12% B (8 min), 18% B (10 min), 22% B (13 min), 28% B (19 min), 98% B (23 min), 98% B (23–32 min), 10% B (33 min), 10% B (33–40 min). Minta injektálás: 4 µl. UV-detektálás: 250-380 nm.

Tömegspektrométer beállításai: osztószepel ionforrás előtt (az ionforrásba belépő áramlás 0,6 ml/min). -ESI ionizáció, ion spray feszültség: -4500V, függőnygáz (N₂) nyomás: 30 psi, porlasztógáz (N₂) nyomás: 40 psi, szárítógáz (N₂) nyomása: 30 psi, ionforrás feszültség: 500 °C. Komponensek azonosítása: IDA elemzés MS/MS tömegspektrumok alapján (160–1300 m/z). Adatgyűjtés és értékelés Analyst 1.6.1 szoftverrel.

Eredmények és megvitatásuk

A levelek antioxidáns kapacitásának és összes polifenol tartalmának szezonális változását az *I. táblázat* foglalja össze. A levelek összes polifenol tartalma tavaszról őszi növekszik. PIRVU ET AL. (2013) bükk levelek esetében szintén növekedést írtak le az őszi időszak felé haladva: a legnagyobb összes polifenol-tartalmat a szeptemberi levelek esetében határozták meg. Az eredmények összhangban vannak Iqbal et al. kutatásával is, akik a *Moringa oleifera* leveleinek vizsgálatánál megállapították, hogy a totálfenol-tartalom a frissen nyílt levelekben volt a legalacsonyabb, és fokozatosan nőtt, párhuzamosan a levelek érettségével (IQBAL et al. 2006).

Az összes flavonoid-tartalom szezonális változása jelentősen eltér az összes polifenol-tartalom változás tendenciájától. Ennek egyik magyarázata, hogy nem minden polifenolos extraktanyag flavonoid-típusú, így a két mennyiség nem szükségszerűen korrelál egymással. Másrészt az összes polifenol-tartalom mérésére alkalmazott Folin-Ciocalteu módszer nem csak a polifenolokat határozza meg, számos interferáló vegyület zavarhatja a mérést. Az összes flavonoid-tartalom májustól augusztusig/szeptemberig csökken, májusi maximummal. A bükknél tapasztalt szezonális tendencia összhangban van a Pirvu és munkatársai által mért eredményekkel (PIRVU ET AL. 2013).

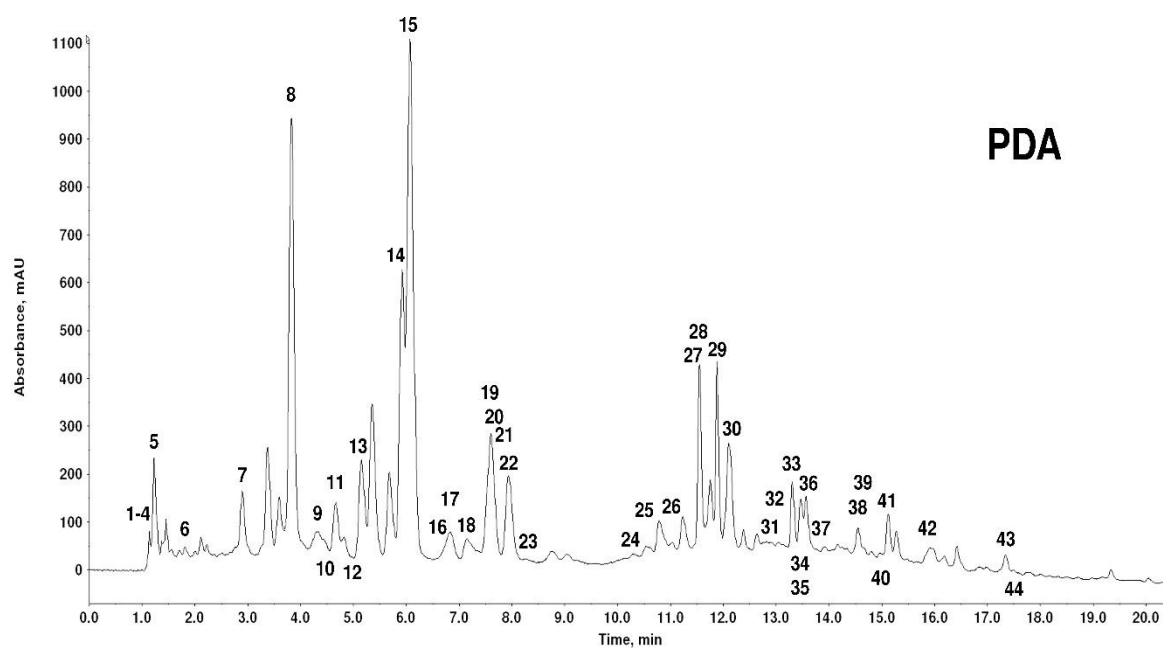
Tavaszi őszi növekedés figyelhető meg a flavan-3-ol tartalmakban. A bükk levelekből mért flavan-3-ol-tartalmak összevethetők az irodalomban talált értékekkel. SEN ET AL. (2013) a megsárgult és a zöld bükk levelek összes flavan-3-ol-tartalmát vizsgálva azt állapították meg, hogy a teljes flavan-3-ol-tartalom 30 és 100 mg C/g sz.a. között változott attól függően, hogy a növényt melyik évben vizsgálták, és a levelek milyen egészségi állapotban voltak. Ez utóbbit a színük alapján állapították meg. FEUCHT – TREUTTER (1994) azt a következtetést vonták le, hogy a flavan-3-ol jellegű vegyületek fontos szerepet töltenek be a bükk levelek antioxidáns, és védelmi rendszerében.

A FRAP antioxidáns kapacitás értékek tendenciája a totálfenol értékhez hasonló, szezonális növekedést mutat. Az ABTS antioxidáns kapacitás értékek esetében szintén enyhe növekedés figyelhető meg tavaszról őszi, a tendenciát a júniusi érték törli meg. A DPPH esetében nem figyelhető meg egyértelmű tendencia. Az alkalmazott antioxidáns kapacitás meghatározási módszerek (DPPH, FRAP, ABTS) más-más vegyületcsoportokra szelektívek, így együttes meghatározásukkal kaphatunk csak átfogó képet az extraktumok antioxidáns tulajdonságairól. Az *I. táblázat* eredményei alapján az is kivehető, hogy az egyértelmű, monoton szezonális tendenciák legtöbbször nem érvényesülnek, ez feltételezhetőleg időjárási, környezeti behatásokkal magyarázható, illetve azzal, hogy a növény antioxidáns rendszer összetett, sok vegyület által meghatározott, melyek összessége adja a mért antioxidáns kapacitásokat.

1. táblázat. Bükk levelek polifenol tartalma és antioxidáns kapacitása (átlag ± szórás) különböző módszerekkel. A felső indexben lévő betű a hónapok közti szignifikáns különbséget mutatja adott p szinten. TF: totálfenol, TFL: összes flavonoid, TFL3: összes flaván-3-ol tartalmak.

	Május	Június	Július	Augusztus	Szeptember
TF (mg Q/g) p<0,05	37,82 ± 1,01 ^a	56,83 ± 0,99 ^c	48,12 ± 1,28 ^b	47,38 ± 3,14 ^b	57,71 ± 2,59 ^c
TFL (mg Q/g) p<0,05	4,34 ± 0,07 ^c	4,15 ± 0,10 ^c	2,80 ± 0,14 ^b	2,23 ± 0,07 ^a	2,70 ± 0,09 ^b
TFL3 (mg C/g) p<0,02	12,4 ± 0,40 ^a	22,6 ± 1,04 ^c	23,0 ± 0,65 ^c	15,5 ± 0,61 ^b	24,1 ± 0,10 ^c
FRAP (mg AS/g) p<0,05	30,26 ± 1,60 ^a	40,13 ± 0,71 ^c	36,40 ± 0,53 ^b	36,71 ± 0,63 ^b	53,10 ± 1,53 ^d
ABTS (mg T/g) p<0,05	119,45 ± 6,64 ^a	156,82 ± 4,82 ^b	132,28 ± 11,60 ^a	115,54 ± 3,55 ^a	155,05 ± 11,46 ^b
DPPH IC ₅₀ (µg/ml) p<0,02	10,47 ± 1,25 ^a	18,18 ± 1,92 ^c	13,36 ± 0,63 ^{ab}	15,23 ± 1,04 ^{bc}	11,35 ± 0,73 ^a

Elvégeztük a bükk levél kivonat polifenolos vegyületeinek és az elválasztott vegyületek szerkezetének vizsgálatát tandem tömegspektrometriás eljárással. Az 1. ábra egy bükk levél kivonat kromatogramját mutatja.



1. ábra. Bükk levél PDA (250-380 nm) kromatogramja

Az azonosítást a kapott fragmensek segítségével végeztük, szakirodalmi adatok és adatbázisok, valamint fragmentációs szabályok felhasználásával. Az azonosított vegyületek listája a 2. táblázatban látható.

A 2. táblázat alapján látható, hogy a bükk levélben legnagyobb számban a procianidin vegyületek fordulnak elő (dimer és trimer izomerek). A kromatogram (1. ábra) csúcsmagasságai alapján az is megállapítható, hogy ezek a vegyületek a legnagyobb mennyiségben előforduló polifenolok a bükk levélben. Az eredmények összhangban vannak az 1. táblázatban foglalt adatokkal, melyek szerint a levelek flaván-3-ol tartalma nagyon magas. A procianidin vegyületek prekursorai ((+)-katechin, (-)-epikatechin) szintén flaván-3-ol szerkezetűek, kisebb mennyiségben fordulnak elő, mint a dimerek, illetve a trimerek. Feltételezhető, hogy magasabb polimerizációs

fokú procianidinek is megtalálhatók a bükk levélben (tetra-, penta-, illetve hexamerek), de ezek mennyisége alacsonyabb mint a di- és trimereké.

2. táblázat. Bükk levél polifenol készlete. *[M-H]⁻*: anyaiion; *MS/MS* legintenzívebb fragmensek. *Ism.*: ismeretlen vegyület.

<i>Csúcs</i>	<i>tr</i>	Vegyület neve	<i>[M-H]⁻</i>	<i>MS/MS</i>	<i>Csúcs</i>	<i>tr</i>	Vegyület neve	<i>[M-H]⁻</i>	<i>MS/MS</i>
	(<i>min</i>)		<i>m/z</i>	<i>m/z</i>		(<i>min</i>)		<i>m/z</i>	<i>m/z</i>
1	1.12	Ism.1	439	97	23	8.26	Procianidin B dimer	577	407, 289
2	1.12	Kávészav- <i>O</i> -hexozid	341	179, 161	24	10.3	Procianidin B dimer	577	407, 289
3	1.13	Ism.2	533	191	25	10.53	Procianidin C trimer	865	407, 289
4	1.16	Ism.3	481	191	26	11.04	Procianidin B dimer	577	407, 289
5	1.22	Ism.4	191	85	27	11.51	Procianidin C trimer	865	407, 289
6	1.83	Procianidin C trimer	865	125	28	11.56	Naringenin- <i>C</i> -hexozid	433	343, 313
7	2.89	Klorogénsav izomer	353	191, 179	29	11.88	Naringenin- <i>C</i> -hexozid	433	343, 313
8	3.76	Procianidin B dimer	577	407, 289	30	12.10	Naringenin- <i>C</i> -hexozid	433	343, 313
9	4.26	Ism.5	311	149	31	12.92	Koniferin szárm.	451	341
10	4.35	Procianidin B dimer	577	407, 289	32	12.97	Procianidin C trimer	865	407, 289
11	4.67	(+)-Katechin	289	245, 203	33	13.22	Procianidin B dimer	577	407, 289
12	4.93	Procianidin C trimer	865	407, 289	34	13.31	Ism.6	413	57
13	5.15	Klorogénsav izomer	353	191, 179	35	13.31	Kvercetin- <i>O</i> -hexozid	463	301, 300
14	6.04	Procianidin C trimer	865	407, 289	36	13.48	Kvercetin- <i>O</i> -glükuronid	477	301, 300
15	6.05	Procianidin B dimer	577	407, 289	37	13.58	Kvercetin- <i>O</i> -hexozid	463	301, 300
16	6.76	Procianidin B dimer	577	407, 289	38	14.55	Kemperfol- <i>O</i> -hexozid	447	284, 227
17	6.85	Procianidin C trimer	865	407, 289	39	14.56	Kvercetin- <i>O</i> -pentozid	433	301, 300
18	7.28	Klorogénsav izomer	353	191, 179	40	14.81	Koniferin szárm.	451	341
19	7.56	Procianidin C trimer	865	407, 289	41	15.12	Kemperfol- <i>O</i> -hexozid	447	284, 227
20	7.57	(-)-Epikatechin	289	245, 203	42	15.88	Kemperfol- <i>O</i> -pentozid	417	284, 255
21	7.65	Koniferin izomer	341	207, 179	43	17.34	Kemperfol- <i>O</i> -deoxihexozid	431	285, 255
22	7.95	Feruloil-treonsav	311	279, 193	44	17.49	Koniferin szárm.	451	341

A flavan-3-ol vegyületeken kívül kvercetin-, kempferol-, és naringenin glikozidokat is azonosítottunk, melyek közül a naringenin vegyületek bizonyíthatóan C-glikozidok.

Az alkalmazott szerkezetvizsgálati (tandem tömegspektrometriás) eljárással a három azonosított klorogénsav izomer szerkezetéről nem sikerült további információkat szerezni.

Összefoglalás

Munkánk során a bükklevelek totálfenol-tartalmának és antioxidáns kapacitásának összehasonlító vizsgálatát végeztük el a vegetációs időszak során. Kromatográfiás/tandem tömegspektrometriás eljárással elválasztottuk és azonosított a bükklevél főbb polifenolos vegyületeit. Megállapítottuk, hogy a levelek totálfenol-tartalma általában késő nyáron/kora ősszel volt a legmagasabb. A vegetációs időszak során az összes flavonoid tartalom csökkent, míg az összes flavan-3-ol tartalom nőtt. Az antioxidáns kapacitás értékek nem minden esetben követték ezt a tendenciát. Mivel a DPPH-, FRAP- és ABTS- módszerek alkalmazása során bizonyos (módszerenként eltérő) típusú antioxidánsok „láthatatlanok” maradnak (módszerek eltérő szelektivitása), maximum-értékeik más-más időpontra estek. Ahhoz, hogy megfelelő képet kaphassunk a növényi részek komplex antioxidáns tulajdonságairól fontos az egymást kiegészítő módszerek együttes alkalmazása. A bükk levélben legnagyobb számban és mennyiségben flavan-3-ol vegyületek ((+)-katechin, (-)-epikatechin, procianidin B dimerek, és C trimerek) találhatóak. Ezen kívül kimutattunk klorogénsav izomereket, valamint flavonoid-glikozidokat és egyéb kisebb mennyiségben jelen lévő vegyületeket. Az eredmények hozzájárulhatnak a bükk levélnek mint

biomasszának a jövőbeli felhasználásához, a kivont polifenolok sokoldalú hasznosításához, valamint a polifenolok szerepének tisztázáshoz a környezeti stresszfolyamatokban. Jövőbeni céljaink között szerepel, hogy a gyakorlati felhasználás szempontjából is (gombaállóság, más biológiai tesztek) megvizsgáljuk a kivonatokat.

Köszönetnyilvánítás: Jelen publikáció az „EFOP-3.6.1-16-2016-00018 – A felsőoktatási rendszer K+F+I szerepvállalásának növelése intelligens szakosodás által Sopronban és Szombathelyen” című projekt támogatásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- BENZIE, I. F. F. – STRAIN, J. J. (1996): The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": The FRAP assay. – *Anal. Biochem.* 239. 70–76.
- FEUCHT, W. – TREUTTER, D. (1994): Accumulation of flavanols in yellowing beech leaves from forest decline sites. *Tree Physiol.* 14, 403–412.
- IQBAL, S. – BHANGER, M. I. (2006): Effect of season and production location on antioxidant activity of *Moringa oleifera* leaves grown in Pakistan. - *Journal of Food Composition and Analysis* 19: 544-551.
- KALITA, P. – Barman, T.K. – Pal, T.K. – Kalita, R. (2013): Estimation of total flavonoids content (TFC) and anti oxidant activities of methanolic whole plant extract of *Biophytum sensitivum* Linn. *J. Drug Deliv. Ther.* 3, 33–37.
- NEBEHAJ, E. – STEFANOVITS-BÁNYAI, É. – HOFMANN T. (2013): Falevelek totálfenol tartalmának és antioxidáns értékének meghatározása különböző fafajok esetében. - NymE, EMK, Kari Tudományos Konferencia, Sopron (H), 2013.12.10, p. 45.
- PIRVU, L. – GRIGORE, A. – BUBUEANU, C. – DRAGHICI, E. – (2013): Comparative analytical and antioxidant activity studies on a series of *Fagus sylvatica* L. leaves extracts. *JPC - J. Planar Chromatogr. - Mod. TLC* 26, 237–242.
- SEN, S. – DE, B. – DEVANNA, N. – CHAKRABORTY, R. (2013): Total phenolic, total flavonoid content, and antioxidant capacity of the leaves of *Meyna spinosa* Roxb., an Indian medicinal plant. *Chin. J. Nat. Med.* 11, 149–157.
- SHARMA, O. P. – BHAT, T. K. (2009): DPPH antioxidant assay revisited. - *Food Chemistry* 113: 1202-1205.
- SINGLETON, V. L. – ROSSI, J. A. (1965): Colometry of total phenolics with phosphomolibdic-phosphotungstic acid reagents. - *American Journal of Enology and Viticulture* 161:144-158.
- STRATIL, P. – KLEJDUS, B. – KUBAN, V. (2007): Determination of phenolic compounds and their antioxidant activity in fruits and cereals. - *Talanta* 71: 1741-1751.
- TREUTTER, D. (1989): Chemical reaction detection of catechins and proanthocyanidins with 4-dimethylaminocinnamaldehyde. *J. Chromatogr. A* 467, 185–193.

TÖLGYFAJOK LEVÉL-ANTIOXIDÁNS TARTALMÁNAK ÖSSZEHASONLÍTÓ VIZSGÁLATA

HOFMANN TAMÁS, VISINÉ RAJCZI ESZTER, ALBERT LEVENTE

Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Kémiai Intézet

hofmann.tamas@uni-sopron.hu

A levél polifenolok kitüntetett szerepet töltenek be a növényi szövetek biotikus- illetve abiotikus stresszre adott válaszreakcióiban, emellett antioxidáns hatásukon keresztül számos humán egészségügyi hatással is rendelkezhetnek (rákellenes, gyulladáscsökkentő, antivirális, stb. hatás). A tölgyfajok Magyarországon kiemelt jelentőségűek, mind ökológiai mind gazdasági szempontból. Az őshonos nemestölgyek (kocsányos-, kocsánytalan- és molyhos tölgy) valamint a csertölgy együttvéve a magyarországi erdők területének több mint 30%-án van jelen (KSH 2019). Kutatásunkban három Magyarországon őshonos tölgyfaj levélszövegeinek antioxidáns tartalmát hasonlítottuk össze. A kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea* L.) gyakori faj a magyarországi erdőkben, hasonlóképpen a csertölgy (*Quercus cerris* L.) melynek jövőbeli jelentőségét szárazságtűrése is indokolja. A molyhos tölgy (*Quercus pubescens* Willd.) már ritkább Magyarországon, de levél összetételére és antioxidáns tulajdonságaira kevés adat áll rendelkezésünkre. A három faj összehasonlító elemzése során a levelek antioxidáns tartalmát és polifenol készletét július hónap során vizsgáltuk. Meghatároztuk, mely kivonatok rendelkeznek a legmagasabb összes-polifenol-tartalommal és antioxidáns kapacitással. Mivel a vizsgált fajok tekintetében az antioxidáns tulajdonságokat meghatározó fenolos vegyületek minőségi összetételére a szakirodalomban nem találtunk utalást, HPLC-MS/MS eljárással elválasztottuk és azonosítottuk ezeket a vegyületeket. A nagy mennyiségű levél biomasszát termelő tölgy állományok levélpolifenol összetételének ismerete hozzájárulhat a levélszövet extraktumokból kivonható polifenoloknak a gyakorlatban történő hasznosításához.

Anyag és módszer

Mintavétel és extrakció: A mintavétel a Soproni Egyetem Botanikus Kertjének területén történt 2018. júliusában. A levélmintákat (1 faegyed/faj, 20 db fény + 20 db árnyéklevél/faegyed) Epsilon 1-4 LSCplus liofilizálóval (Martin Christ GmbH) fagyasztva szárítottuk majd extraháltuk (ultrahangos extrakció, 0,2 g fagyasztva szárított levél + 20 ml 4:1 metanol:víz, 20 perc).

Totálfenol-tartalom meghatározás: A spektrofotometriás elvű Folin-Ciocalteau-módszerrel a reakcióoldat abszorbanciáját 760 nm-en mértük, standardként kvercetin használtunk. Az eredményeket mg kvercetin/g száraz levélben adtuk meg (Singleton – Rossi 1965).

DPPH-antioxidáns kapacitás meghatározás: A reakció a DPPH (1,1-difenil-2-pikrilhidrazil)-gyökkel ment végbe 30 perc alatt, a reakcióelegy abszorbanciáját 515 nm-en mértük. Az eredményeket IC50-értékben, µg/ml-ben adtuk meg (Sharma – Bhat 2009).

ABTS-antioxidáns kapacitás meghatározás: A reakció az ABTS (2,2'-azinodi-(3-etilbenzotiazolin)-6-szulfonsav) oxidációján alapul. A reakció 734 nm-en követhető nyomon. Az eredményeket mg trolox ekvivalens/g száraz levél egységben adtuk meg (Stratil et al. 2007).

FRAP-antioxidáns kapacitás meghatározás: A vasredukáló-képességen alapuló módszernél aszkorbinsav standardot használtunk, a spektrofotometriás mérésnél 593 nm volt a hullámhossz. Az eredményeket mg aszkorbinsav/g száraz levél egységben adtuk meg (Benzie – Strain 1996).

HPLC-MS/MS vizsgálat: Állófázis: Phenomenex Luna C18, 5 µm, 250 mm x 4.6 mm; 40°C. Mozgófázis: A (H₂O + 0.1% HCOOH), B (Acetonitril + 0.1% HCOOH). Gradiens elúció 1.2 ml/min áramlással: 3% B → 100% B (90 perc). Minta injektálás: 8 µl. UV-detektálás: 250-380

nm. Komponensek azonosítása: IDA elemzés MS/MS tömegspektrumok alapján (160–1300 m/z), -ESI ionizáció.

Vizsgálati eredmények és értékelésük

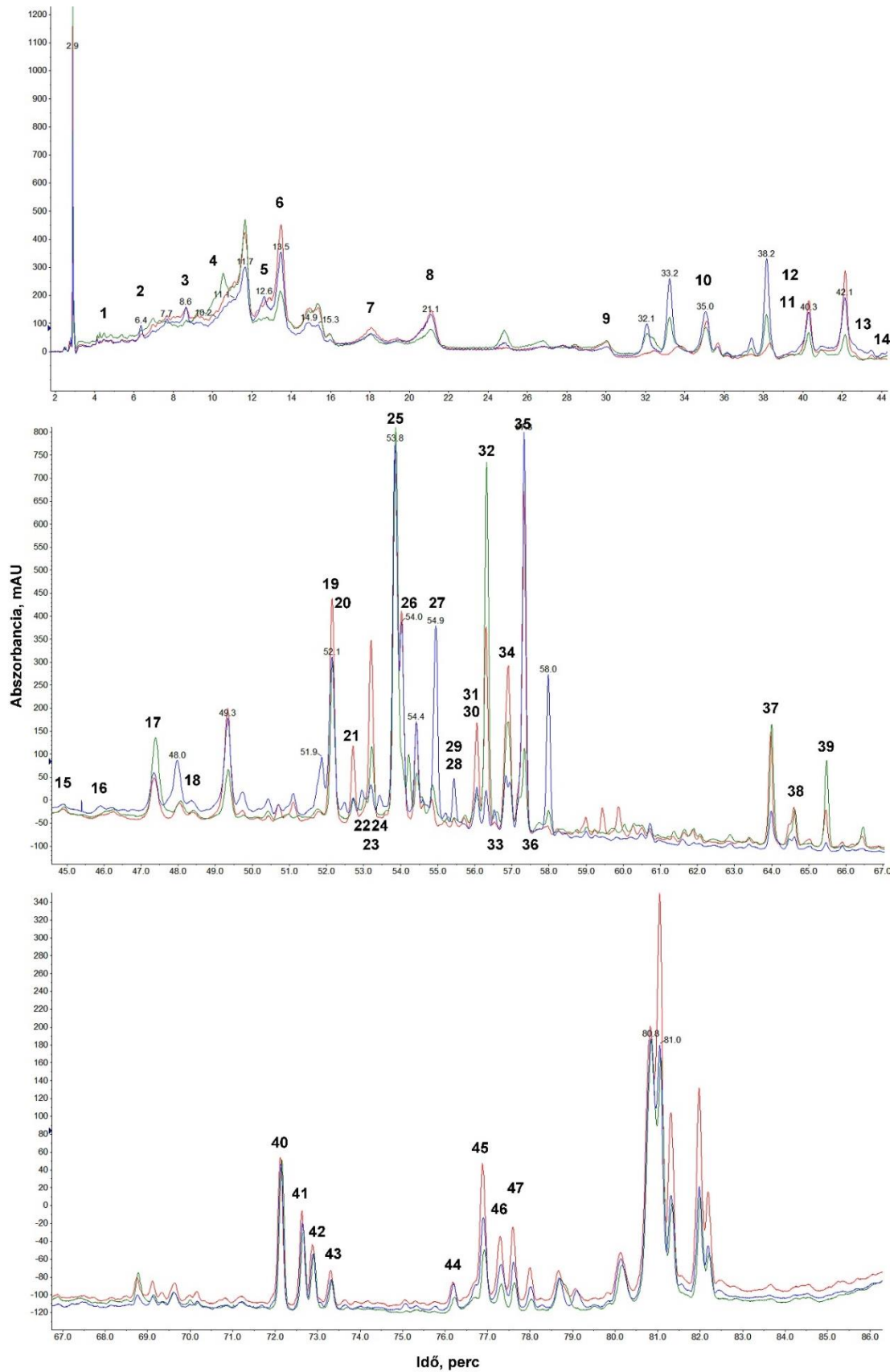
A levelek polifenol tartalmát és antioxidáns kapacitását az 1. táblázat foglalja össze. A totálfe-nol-tartalom és az összes flavonoid tartalom tekintetében nem mutattunk ki szignifikáns különbségeket a fajok mintái között. A flavan-3-ol vegyületek összes mennyisége a csertölgyben a legalacsonyabb, a molyhos tölgyben a legmagasabb. A FRAP és DPPH antioxidáns kapacitás értékei között nem mértünk szignifikáns különbséget, míg a csertölgy minták ABTS antioxidáns kapacitása szignifikánsan magasabb volt, mint a másik két fajé.

1. táblázat. Tölgy levelek polifenol tartalma és antioxidáns kapacitása (átlag ± szórás) különböző módszerekkel. Az alsó index betűjele a fajok közti szignifikáns különbséget jelzi adott p szinten. TF: totálfe-nol, TFL: összes flavonoid, TFL3: összes flavan-3-ol tartalmak.

	TF (mg Q/g szá.a) p<0,05	TFL (mg Q/g szá.a) p<0,05	TFL3 (mg C/g szá.a) p<0,02	FRAP (mg AS/g szá.a) p<0,05	ABTS (mg T/g szá.a) p<0,05	DPPH IC ₅₀ (µg/ml), p<0,02
<i>Q. petraea</i>	59,15 ± 4,06 _A	3,19 ± 0,19 _A	3,44 ± 0,12 _B	64,21 ± 2,52 _{AB}	155,39 ± 3,18 _A	7,73 ± 0,67 _A
<i>Q. pubescens</i>	63,80 ± 3,31 _A	3,71 ± 0,36 _A	4,35 ± 0,04 _C	67,03 ± 2,12 _{AB}	142,86 ± 2,47 _A	8,05 ± 0,38 _A
<i>Q. cerris</i>	65,89 ± 1,54 _A	3,76 ± 0,52 _A	2,27 ± 0,04 _A	69,23 ± 2,28 _A	189,82 ± 4,05 _B	7,21 ± 0,47 _A

Az antioxidáns kapacitás nagyságát enzimes és nem enzimes antioxidánsok határozzák meg, a nem enzimes antioxidánsok egyik legjelentősebb csoportját a polifenolok képezik. A tölgy fa-jok levél polifenoljait számos kutató vizsgálta (SCALBERT – HASLAM 1987, SALMINEN ET AL. 2004, GARCÍA-VILLALBA ET AL. 2017, MOLINA-GARCÍA ET AL. 2018), de az általunk vizsgált fajokra vonatkozó nagy hatékonyságú, részletes kromatográfiás/tömeg-spektrometriás kutatásokat, melyeknek célja a levél- polifenolok szerkezetének felderítése volt, nem végeztek.

A levél polifenolok HPLC kromatogramját az 1. ábra mutatja. A kromatogramok átfedéséből megállapítható, hogy a három faj esetében az elválasztott vegyületek hasonlóak. A tandem tömegspektrometriás kiértékelés során összesen 47 vegyületet azonosítottunk. Néhány kivételtől eltekintve mindegyik vegyület megtalálható volt az összes mintában (2. táblázat). A korábbi kutatások (SCALBERT – HASLAM 1987, SALMINEN ET AL. 2004, GARCÍA-VILLALBA ET AL. 2017, MOLINA-GARCÍA ET AL. 2018) eredményeihez hasonlóan elsősorban galluszsavat (3), ellagsavat (25) és cukrok-konjugátumaikat (hidrolizáló tanninokat), valamint flavonoid glikozidokat azonosítottunk. A flavonoid vegyületek közül a legnagyobb számban jelen lévő kaempferol származékok (31, 34, 37-47) mellett több kvercetin konjugátumot (17, 18, 20, 21, 23, 26, 30, 35) és izoramnetin glikozidot (22, 27, 33, 36) azonosítottunk. Kimutattuk a (+)-katechint (10) és a (-)-epikatechint (13), azonban oligomerjeik (kondenzált tanninok, procianidinek) nem találhatók a mintákban.



1. ábra. A tölgy levél kivonat UV (250 - 380nm) kromatogramja. Kék: molyhos tölgy, vörös: csertölgy, zöld: kocsánytalan tölgy

2. táblázat. Tölgyfajok levél polifenoljainak kromatográfiás/tömegspektrometriás azonosítása. m: molyhos tölgy; c: csertölgy; k: kocsánytalan tölgy

Csúcs	t _r (min)	Vegyület neve	m c k	[M-H] ⁺ m/z	MS/MS m/z
1	4.4	Monogalloil-glükóz	x x x	331	271, 211, 169, 151, 125
2	6.4	Monogalloil-glükóz	x x x	331	271, 211, 169, 151, 125
3	8.6	Galluszsav	x x x	169	125
4	10.5	Galloil kinasav	x x x	343	191, 173, 169, 125
5	12.6	Galloil kinasav	x x x	343	191, 173, 169, 125
6	13.6	Veszkalagin	x x x	933	569, 493, 425, 301, 273, 249
7	18.2	Gallokatechin	x x x	305	261, 219, 179, 167, 137, 125
8	21.0	Kasztalagin	x x x	933	569, 493, 425, 301, 273, 249
9	30.2	Metil gallát	x x x	183	168, 139, 124
10	35.0 (+)	Katechin	x x x	289	245, 203, 125, 123, 109
11	39.3	Szinapaldehid	x x x	207	192, 177, 163
12	39.5	Trigalloil-glükóz	x	635	465, 313, 297, 169, 125
13	42.9 (-)	Epikatechin	x x x	289	245, 203, 125, 123, 109
14	44.4	Kumaril kinasav	x x x	337	191, 173, 163, 119
15	44.9	Kumaril kinasav	x x	337	191, 173, 163, 119
16	45.9	Trigalloil-glükóz	x	635	465, 313, 297, 169, 125
17	47.4	Kvercetin-O-hexozid	x x x	463	301, 300, 271, 255, 179
18	48.2	Kvercetin-O-hexozid	x x x	463	301, 300, 271, 255, 179
19	52.1	Pentagalloil glükóz	x x	939	768, 617, 465, 429, 169, 125
20	52.2	Kvercetin-O-pentozid	x x x	433	301, 300, 271, 255, 243, 179
21	52.7	Kvercetin-O-hexozid-gallát	x x x	615	463, 301, 300, 255, 169, 125
22	53.1	Izoramnetin-O-hexozid	x x	477	315, 314, 300, 299, 271
23	53.2	Kvercetin-O-hexozid-gallát	x x x	615	463, 301, 300, 255, 169, 125
24	53.3	Kumaroil-O-galloil glükóz	x	477	331, 313, 169, 125
25	53.9	Ellagsav	x x x	301	284, 257, 299, 185
26	54.1	Kvercetin-O-hexozid	x x x	463	301, 300, 271, 255, 179
27	55.0	Izoramnetin-O-hexozid	x x	477	315, 314, 300, 299, 271
28	55.5	Pentagalloil-hexozid	x x	939	768, 617, 465, 429, 169, 125
29	55.5	Pentagalloil glükóz	x x	939	768, 617, 465, 429, 169, 125
30	56.1	Kvercetin-O-pentozid	x x x	433	301, 300, 271, 255, 243, 179
31	56.1	Kaempferol-O-hexozid	x x x	447	285, 284, 255, 227
32	56.3	Galluszsav származék	x x x	599	313, 285, 256, 169, 125
33	56.6	Izoramnetin-O-pentozid	x	447	315, 314, 300, 299, 271, 243
34	56.9	Kaempferol-O-hexozid	x x x	447	285, 284, 255, 227
35	57.2	Kvercetin-O-ramnozid	x x x	447	301, 300, 271, 255, 151
36	57.4	Izoramnetin-O-hexozid	x x x	477	315, 314, 300, 299, 271
37	64.0	Kaempferol-O-rutinozid	x x x	593	447, 285, 284, 255, 227
38	64.7	Kaempferol-O-rutinozid	x x x	593	447, 285, 284, 255, 227
39	65.5	Kaempferol-O-rutinozid	x x x	593	447, 285, 284, 255, 227
40	72.2	Kaempferol-ramnóz-hexóz-ramnóz	x x x	739	593, 453, 285, 284, 255, 229
41	72.7	Kaempferol-ramnóz-hexóz-ramnóz	x x x	739	593, 453, 285, 284, 255, 229
42	72.9	Kaempferol-ramnóz-hexóz-ramnóz	x x x	739	593, 453, 285, 284, 255, 229
43	73.3	Kaempferol-ramnóz-hexóz-ramnóz	x x x	739	593, 453, 285, 284, 255, 229
44	76.2	Kaempferol származék	x x x	781	635, 557, 495, 285, 284, 255, 229, 227
45	77.0	Kaempferol származék	x x x	781	635, 557, 495, 285, 284, 255, 229, 227
46	77.3	Kaempferol származék	x x x	781	635, 557, 495, 285, 284, 255, 229, 227
47	77.7	Kaempferol származék	x x x	781	635, 557, 495, 285, 284, 255, 229, 227

A nem-flavonoid vegyületek közül a mintákban az ellagsav (25) fordul elő legnagyobb mennyiségben, valamint egy azonosítatlan szerkezetű gallotannin vegyület (32), mely leginkább a csertölgy- és a kocsánytalan tölgy leveleiben van jelen. Az 1. ábrán látható, hogy számos, jelentős magassággal rendelkező kromatográfiás csúcs azonosítása nem történt meg, mely további munkát és kiértékelést igényel.

További vizsgálatokra lesz szükség annak megállapításához is, hogy az egyes vegyületek milyen mértékben járulnak hozzá a kivonatok antioxidáns kapacitásához. A vegyületek bioaktív

hatásának vizsgálata is jövőbeli feladat lesz. Mindezek tisztázása szélesíteni fogja az erdei mellékterméknek tartott tölgy levelek jövőbeli hasznosításának lehetőségeit.

Összefoglalás

Három kiválasztott, Magyarországon őshonos tölgyfaj (kocsánytalan tölgy, csertölgy, molyhos tölgy) levél- antioxidáns tartalmát, valamint polifenol készletét vizsgáltuk. Jelen ismereteink szerint a három fajra ilyen részletességgel még nem történtek vizsgálatok. Az összes polifenol tartalmak, valamint az antioxidáns kapacitások között csak két esetben találtunk szignifikáns eltérést, ami arra utal, hogy a vizsgált fajok antioxidáns paraméterei hasonlóak. A kivonatokból összesen 47 vegyületet azonosítottunk, ebből 42 vegyületet név szerint. A vegyületek közül 37 mindegyik fajban kimutatható. Az eredmények hozzájárulhatnak a tölgy levél kivonatok jövőbeli hasznosításához.

Köszönetnyilvánítás: Jelen publikáció a „GINOP-2.3.3-15-2016-00039 – Fás biomassza termesztési feltételeinek vizsgálata” című projekt támogatásával valósult meg.

Felhasznált irodalom

- BENZIE I. F. F., STRAIN J. J. (1996): The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": The FRAP assay. - *Analytical Biochemistry* 239: 70-76.
- GARCÍA-VILLALBA R., ESPÍN J. C., TOMÁS-BARBERÁN, F. A., ROCHA-GUZMÁN N. E. (2017): Comprehensive characterization by LC-DAD-MS/MS of the phenolic composition of seven *Quercus* leaf teas. - *Journal of Food Composition and Analysis* 63: 38–46.
- KSH (2019): Faállománnyal borított erdőterület és az élőfakészlet megoszlása fafajcsoportok és korosztályok szerint. http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_ome002b.html. Hozzáférés: 2019.11.7.
- MOLINA-GARCÍA L, MARTÍNEZ-EXPÓSITO, R., FERNÁNDEZ-DE CÓRDOVA M. L., LLORENT-MARTÍNEZ E.J. (2018): Determination of the Phenolic Profile and Antioxidant Activity of Leaves and Fruits of Spanish *Quercus coccifera*. - *Journal of Chemistry*, ID 2573270, 9 p.
- SALMINEN J. P., ROSLIN, T., KARONEN M., SINKKONEN J., PIHLAJA K., PULKKINEN P. (2004): Seasonal variation in the content of hydrolyzable tannins, flavonoid glycosides and proanthocyanidins in oak leaves. - *Journal of Chemical Ecology* 30(9): 1693-1711.
- SCALBERT A., HASLAM E. (1987): Polyphenols and chemical defence of the leaves of *Quercus robur*. - *Phytochemistry* 26(12): 3191-3195.
- SHARMA O. P., BHAT T. K. (2009): DPPH antioxidant assay revisited. - *Food Chemistry* 113: 1202-1205.
- SINGLETON V. L., ROSSI J. A. (1965): Colometry of total phenolics with phosphomolibdic-phosphotungstic acid reagents. - *American Journal of Enology and Viticulture* 161:144-158.
- STRATIL P., KLEJDUS B., KUBAN V. (2007): Determination of phenolic compounds and their antioxidant activity in fruits and cereals. - *Talanta* 71: 1741-1751.

A HARVESZTERES FAKITERMELÉS TELJESÍTMÉNYÉNEK JAVÍTÁSI LEHETŐSÉGEI SZIMULÁTOR SEGÍTSÉGÉVEL

HORVÁTH ATTILA LÁSZLÓ, SZAKÁLOS NÉ MÁTYÁS KATALIN
Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Erdészeti-műszaki Környezettechnikai Intézet
ahorvath@uni-sopron.hu

Bevezetés

Az elmúlt évtizedben a hazánkban működő harveszterek száma jelentősen emelkedett, azt mondhatjuk, hogy évente körülbelül megduplázódott. Számuk, lassan akár a százat is elérheti. A harveszter gépkezelők hiánya évek óta egyre súlyosabb probléma. Nemcsak megfelelő tudású és megbízható gépkezelőt, hanem egyáltalán minimális gyakorlattal rendelkezőt is nehéz alkalmazni. Ez nem csoda, hisz évek óta nincs ilyen jellegű gépkezelő képzés hazánkban. A *harveszteres gépkezelők szimulátoros képzésének hatása a munka gazdaságosságára* című publikációban (ld. ugyanebben a kiadványban) a 'Döntés' műveletemhez tartozó időadatok elemzését végeztük el, különböző tudással/gyakorlattal rendelkező gépkezelők esetében. Megvizsgáltuk ennek hatását a teljesítményre is. Az alábbiakban a produktív időhöz tartozó további műveletelemek időadatait értékeljük ki.

Vizsgálati anyag és módszer

A harveszteres fakitermelésekkel kapcsolatos korábbi és a szimulátorhoz kötődő kezdeti kutatásaink, vizsgálataink szerint a kezdő, haladó és profi kategóriába sorolt gépkezelők munkavégzésének összehasonlítására és kielemezésére adnak lehetőséget. Jelen kutatás alapja szintén a 4 erdőrészlet, 2 állománytípusában (A és Gy-EF) végzett mérés. Az akácokban tarvágást hajtott végre egy 2-3 éves gyakorlattal rendelkező harveszterkezelő (profi) és egy kezdő (1-2 napos tapasztalat). A gyertyános-erdeifenyvesben lécek kerültek kivágásra, gyakorlatilag kis kiterjedésű (2 db 900 m²-es, 2 db 1700 m²-es és egy 2200 m²-es) véghasználatok. Ennél a vizsgálatnál ez egyik gépkezelő 2-3 éve (profi) a másik 1-2 éve (haladó) dolgozik harveszterrel. A kutatás itt is 3 különböző márkájú, de azonos méretkategóriába sorolható gépet érintett. A terepi adatrögzítés a fent megnevezett publikációban részletesen leírtak szerint történt, haladó (folyamatos) időméréses módszer került alkalmazásra. A műveletelemek időtartama mellett rögzítésre kerültek az egyes ciklusonként feldolgozott faanyag mennyiségek, ill. az átállások távolságai is. Az elkülönített műveletelemek a következők voltak: döntés, átállás, csak döntés, gallyanyag rendezése, faanyag rendezése, pihenő, hibaelhárítás, karbantartás és várakozás.

Az adatok kiértékelése által összevethető a különböző szakmai tapasztalattal és gyakorlottsággal rendelkező gépkezelők munkája, műveletelemenkénti átlagos és összes időfelhasználása, valamint teljesítménye. Teljesítmények kalkulálásához a terepen rögzített választékadatok és a műveletem adatok szükségesek. Ezek alapján 3 teljesítmény kategóriát határoztunk meg:

Fakitermelési időben (T_f): A 'Döntés' és az 'Átállás' időtartama kerül figyelembe vételre ($t_f = D + \dot{A}$). A gép maximális teljesítményét mutatja.

Produktív időben (T_{pr}): A ténylegesen munkavégzéssel töltött időtartam ($t_{pr} = D + \dot{A} + CD + G + R$) alatti gépteljesítményt eredményezi.

Üzemidőben ($T_{\dot{u}}$): A folyamatos mérés teljes időtartamára ($t_{\dot{u}} = D + \dot{A} + CD + G + R + P + H + K + V = \ddot{U}$) adja meg a gép teljesítményét.

Produktív időre (t_{pr}) a teljesítmény (T_{pr}) számításának módja a következő:

$$T_{pr(h)} = (Q/t_{pr}) \times 60$$

ahol:

$T_{pr(h)}$: óránkénti teljesítmény produktív időre (m^3/h);

Q: mérés időtartama alatt kitermelt fatérfogat (m^3);

t_{pr} : a ténylegesen munkavégzéssel töltött műveletelemek (D+Á+CD+G+R) együttes időtartama az adott mérés teljes idejére nézve (min).

Vizsgálati eredmények

Az vizsgált területeken kialakult munkaidőszerkezet, produktív időt alkotó műveletelemeinek százalékos megoszlása látható az 1. táblázatban. (A teljes időszerkezet a cikk első részében található.) Az 1-es és 2-es területen akác tarvágást, míg a 3-as és 4-es területen gyertyános-erdeifenyves állományban lékes felújítógátást hajtottak végre a gépkezelők.

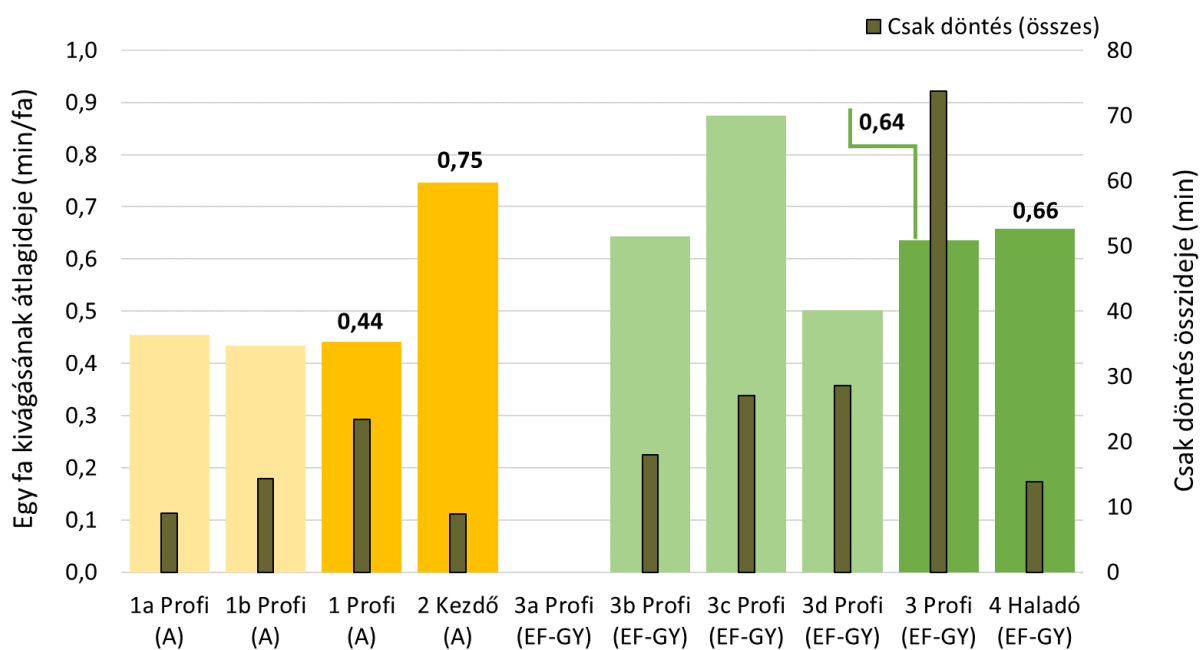
1. táblázat: Munkaidőszerkezetek a vizsgált területeken.

Terület		1a	1b	1	2	3a	3b	3c	3d	3	4
		Gépkezelői tudás		Kezdő		Profí		Haladó			
Műveletelemek		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
D	Döntés (<i>Fakitermelés</i>)	46,9	46,5	46,7	55,9	53,5	72,7	50,0	39,0	54,1	40,0
Á	Átállás	3,8	3,9	3,9	4,5	8,4	9,1	14,1	8,3	9,6	8,5
CD	Csak döntés	2,9	3,7	3,4	3,4	0,0	7,9	15,4	12,8	7,7	3,9
G	Gallyanyag rend.	23,8	22,1	22,9	29,5	5,1	4,1	5,6	5,0	4,9	6,8
R	Faanyag rend.	2,6	3,9	3,4	1,2	0,9	4,1	9,4	0,0	3,0	1,5

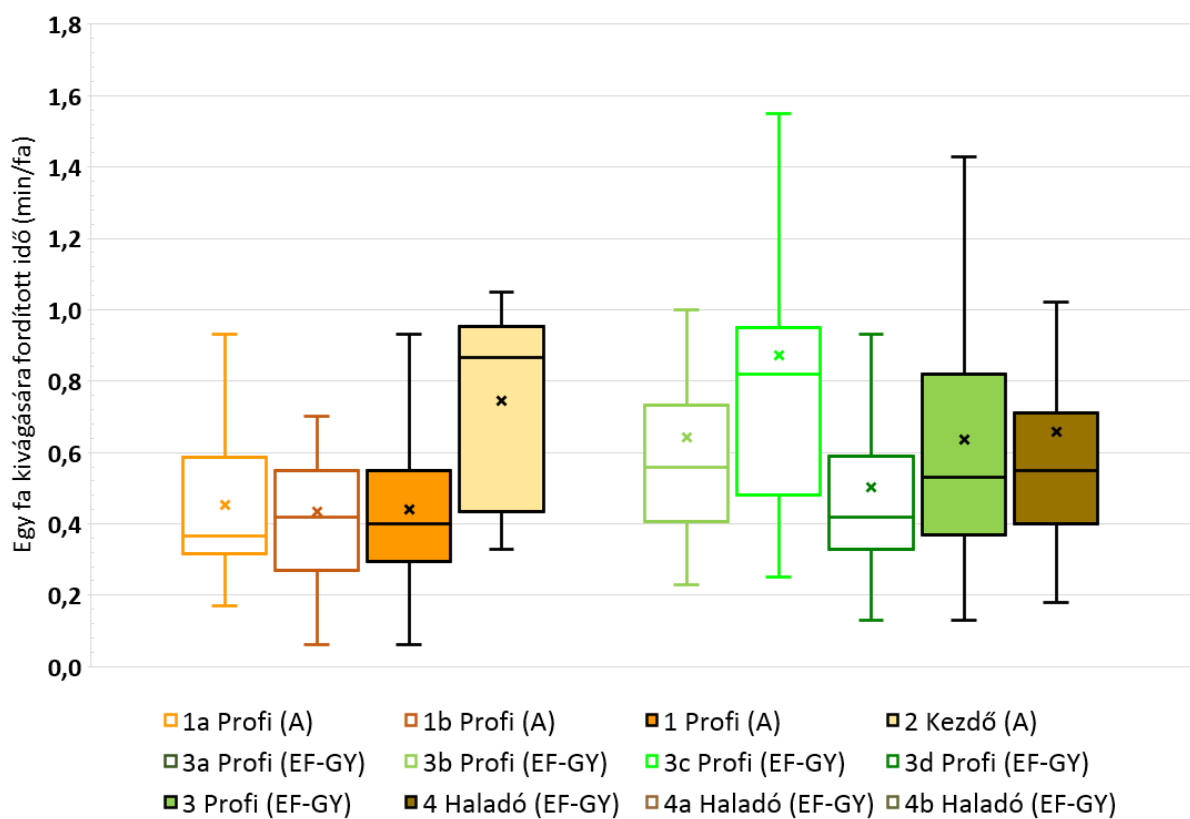
Az 1-es és 3-as terület esetében több mérési nap adatai állnak rendelkezésre, a betűkiegészítések erre vonatkoznak, a másik két esetben egy-egy vizsgálat történt. Az 1-es és 3-as terület esetében az összesített adatok is szerepelnek a jobb összehasonlíthatóság kedvéért, ill. a későbbiekben is kerülnek feltüntetésre az ábrákon.

Az elkülönített műveletelemek sorában van egy olyan elem, amely jelentősen befolyásolhatja a teljesítményt, miközben közvetve nem ad számbavételezhető választékot, ez a 'Csak döntés'. Ez ugyanis a nagyon vékony, ill. rosszminőségű (pl. teljesen korhadt) faegyed kitermelésére fordított idő, amely során nem keletkezik választék. Ezekből a fákból holtfa (biztonsági és/vagy technológia okokból szükséges kivágni) vagy vékony tűzifa („ágfaszedők” által gyűjtésre kerülő), ill. apríték alapanyag lesz. A 'Döntés' műveletemhez hasonlóan ez is bonyolult és összetett gépirányítási mozdulatsorokat igényel. Teljesítmény szempontjából nagyon fontos, hogy ezen műveletlem hossza a lehető legkisebb legyen. Az 1. ábrán látható, hogy a kevés gyakorlattal rendelkező kezdő gépkezelő – akác állományban – átlagosan 0,3 min-el több fordított erre a műveletemre faegyedenként. Ez elsöre nem tűnik soknak, de ha csak 10 egyedet veszünk alapul, akkor ez már 3 min, amely alatt a profi gépkezelő 3 faegyed teljes kitermelését és feldolgozását végre tudja hajtani. A másik állománytípusban haladó és a profi gépkezelő között jelentős különbség nem mutatkozik. Tehát a haladó gépkezelő a fafelkeresés és döntőfűrészvágás végrehajtásában kellő gyakorlattal és tudással rendelkezik, viszont a kitermelési eredményekkel összevetve (lásd. *A harveszteres gépkezelők szimulátoros képzésének hatása a munka gazdaságosságára* című publikációban) megállapítható a döntően kívüli technológiai műveletek (gallyazás, választékolás, darabolás és rakásolás) elvégzése terén még nem rendelkezik nagyfokú gyakorlattal. A precíz és összetett gépirányítási mozdulatsorokat igénylő fel-

adatokat még pontatlanul, nehezebben, lassabban hajtja végre a gépkezelő. Hasonló eredményeket kapunk és következtetésekre juthatunk, ha a 'Csak döntés'-hez tartozó adatok interkvartilis tartományait vizsgáljuk meg (2. ábra).



1. ábra: Egy fa kivágásához szükséges átlagos időfelhasználás, területenként és gépkezelőnként.



2. ábra: Egy fa kivágására fordított idők eloszlása, területenként és gépkezelőnként.

A 2. ábrán megjelenő téglalapok (dobozok) szélei mutatják az alsó és felső kvartilis közötti távolságot, míg a közepen megjelenő vonal a medián értékét. Az akácokban a kezdő gépkezelőnél (2) ezek az értékek a következők: alsó 0,44 min/fa; felső 0,95 min/fa; medián 0,87 min/fa. Profinál (1) ezek az értékek: alsó 0,30 min/fa; felső 0,55 min/fa; medián 0,44 min/fa. Gyertyános-erdeifenyvesben a profi gépkezelőnél (3) a doboz alsó éle 0,37 min/fa; felső éle 0,82 min/fa; a medián pedig 0,64 min/fa értéknél van. Haladónál (4) ezek az értékek: alsó 0,40 min/fa; felső 0,71 min/fa; medián 0,55 min/fa. Az ábrán, a dobozokban található X jelöli az átlagot. Az interkvartilis (felső és alsó kvartilis különbsége) másfélszerese a dobozból felfelé és lefelé irányuló vonalak hossza. (ÁCS ET AL., 2014)

A 'Gallyanyag rendezése' műveletelemnek ott van nagyobb jelentősége, ahol a későbbiek során a vékony faanyag (vágástéri melléktermék) közelítésre, majd aprításra kerül. Ez esetben a harveszteres ugyan saját teljesítményét némiképp csökkenti (gyakorlottságtól függően), de a közelítést végző forvarderes jelentősen meg tudja növelni, azáltal ha koncentrálna a gallyanyagot. A gallyanyag összegyűjtési időszükségletének csökkentése a faegyed gallyazási helyének a megválasztásával is elvégezhető, de ez sok esetben akadályoztatva lehet pl. terepadottságok, újulat, visszamaradó faegyedek, keskeny közelítőnyom stb. által. A harveszterfejeket nem faanyag mozgatására fejlesztették ki (sok a holtter, kicsi a megfogószerkezet), így nagyfokú szakértelmet és ügyességet igényel a gallyanyag földről való felemelése és mozgatása. A 3. és 4. ábrákon látható, hogy a kezdő kategóriába sorolt gépkezelőnek nagy problémát okozott ezen műveletek végrehajtása. A haladó gépkezelő adataiból látszik, hogy ügyesebben dolgozik a géppel, átlagban 0,2 min-nel rosszabb az átlagideje a profihoz képest.

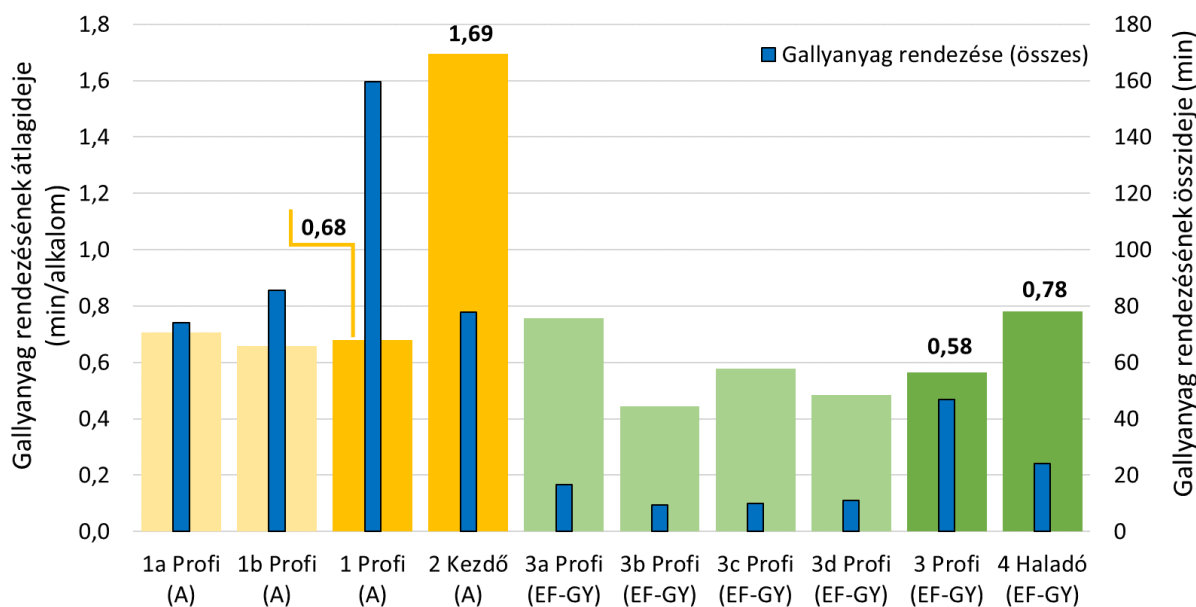
A dobozdiagrammok kvartilis értékei a következők:

A - profi: alsó 0,33 min/alk.; felső 0,87 min/alk., medián 0,52 min/alk.;

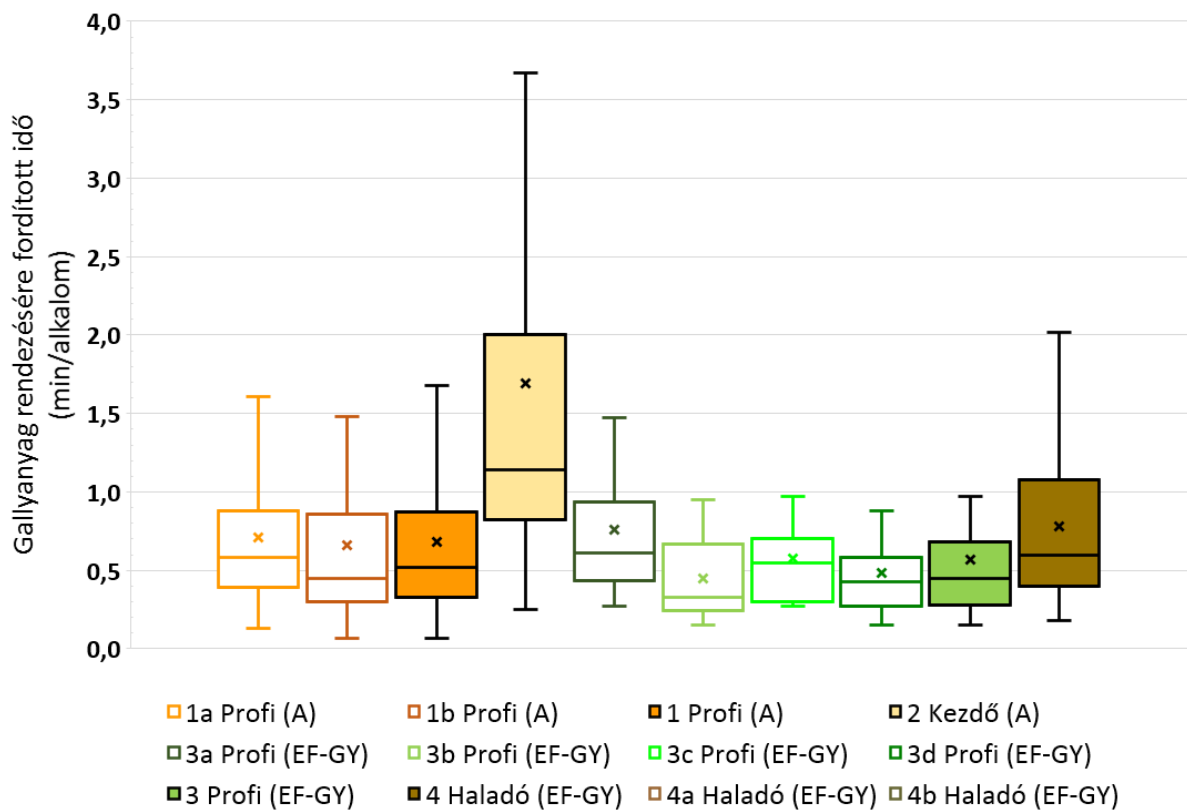
A - kezdő: alsó 0,82 min/alk.; felső 2,0 min/alk., medián 1,14 min/alk.;

GY-EF - profi: alsó 0,28 min/alk.; felső 0,68 min/alk.; medián 0,45 min/alk.;

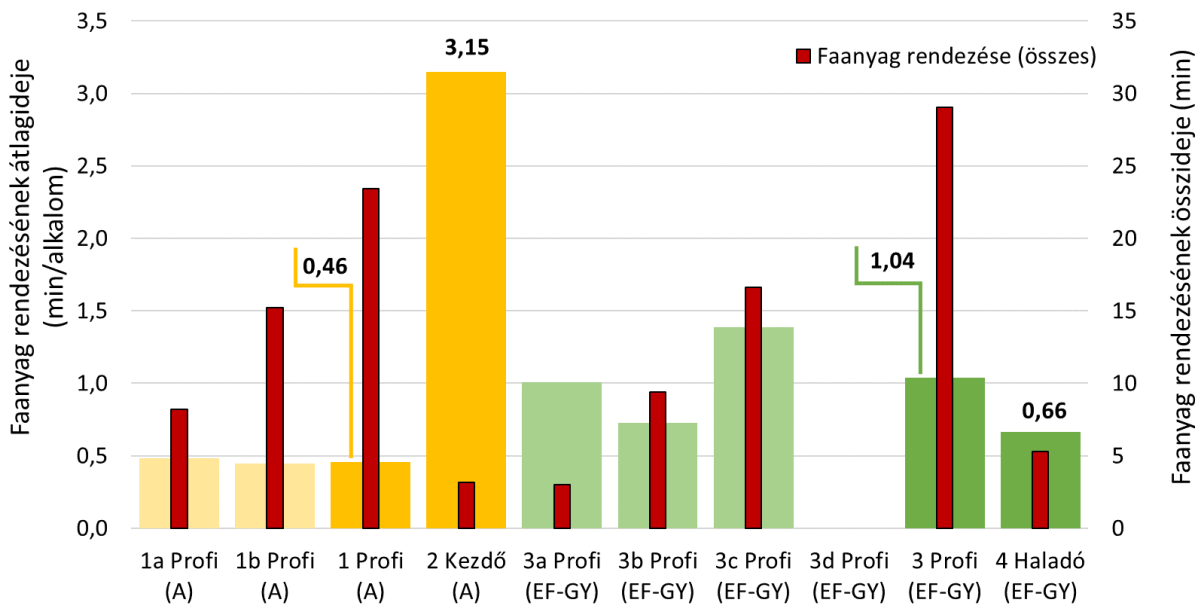
GY-EF - haladó: alsó 0,4 min/alk.; felső 1,08 min/alk., medián 0,6 min/alk.



3. ábra: Gallyanyag rendezéséhez szükséges átlagos időfelhasználás különböző tudásszintű gépkezelők esetében.



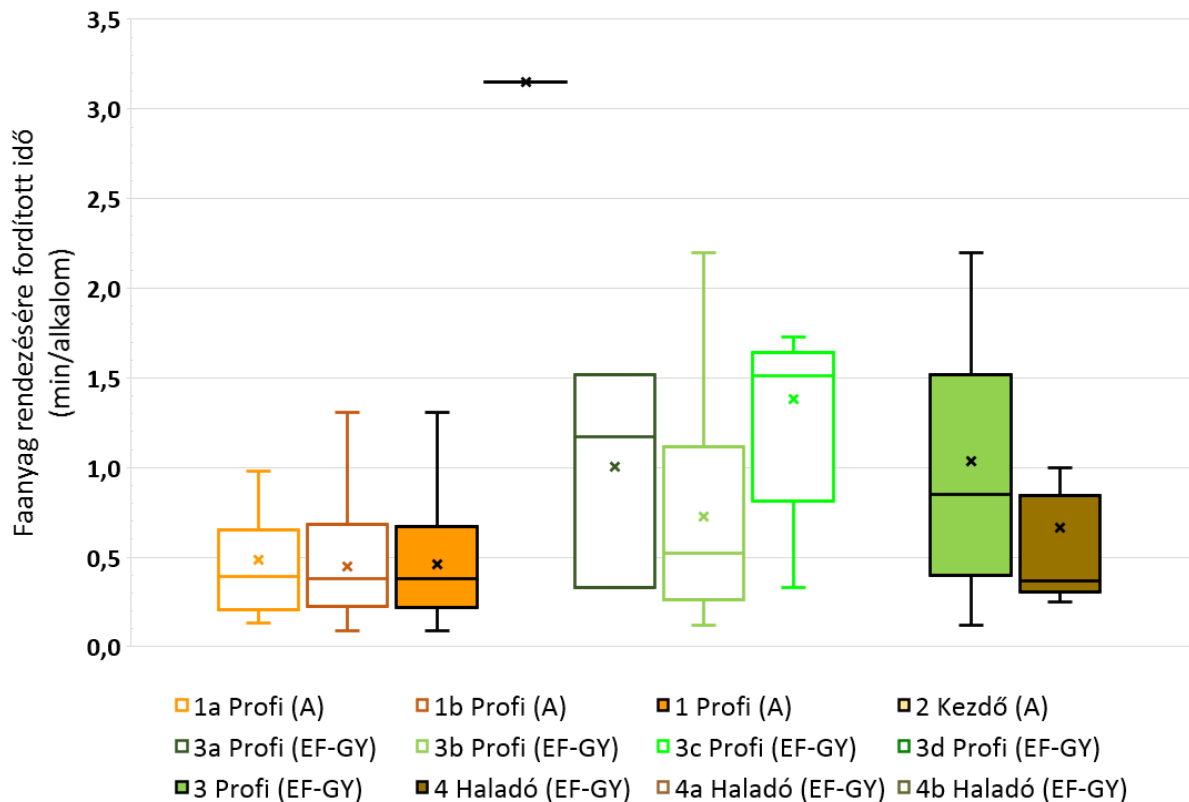
4. ábra: Gallyanyag rendezésére fordított idők eloszlása, területenként és gépkezelőnként.



5. ábra: Faanyag rendezéséhez szükséges átlagos időfelhasználás különböző tudásszintű gépkezelők esetében.

A 'Faanyag rendezése' műveletnek átlagosan a legkisebb a %-os részaránya a munkaidő-szerkezetekben, mivel a faegyedek feldolgozása (gallyzás, darabolás, rakásolás) során az egyes választékok térbeli rendje kialakítható és ez alapján az egyes választékok koncentráltan elhelyezhetők a vágásterületen. Természetesen vannak esetek, amikor ez valamely oknál fogva (pl. döntés során a fe fennakad) nem kivitelezhető teljes mértékben, vagy a korábban elhelyezett

választék zavaró tényezőként funkcionál a döntés, átállás során. Ilyen esetekben korrigálni szükséges a faanyag helyzetét. Az 5. és 6. ábrákon látható a profi és a haladó gépkezelők nagyon kevés időt töltöttek ezzel a művelettel, mind összes idő, mind átlagidő tekintetében. A kezdő gépkezelő adata kiugróan magas, a vizsgálat során esetében egy alkalommal fordult elő ez a művelet, akkor is nagyon sok időt töltött el vele. Minden bizonnyal, ha többször is szükséges lett volna a faanyag rendezésre, akkor is magas értékeket produkált volna a gépkezelői tapasztalatlansága miatt. A dobozdiagrammok kvartilis értékei a következők:
 A - profi: alsó 0,22 min/ alk.; felső 0,67 min/ alk., medián 0,38 min/ alk.;
 GY-EF - profi: alsó 0,4 min/ alk.; felső 1,52 min/ alk.; medián 0,85 min/ alk.;
 GY-EF - haladó: alsó 0,31 min/ alk.; felső 0,85 min/ alk., medián 0,37 min/ alk.



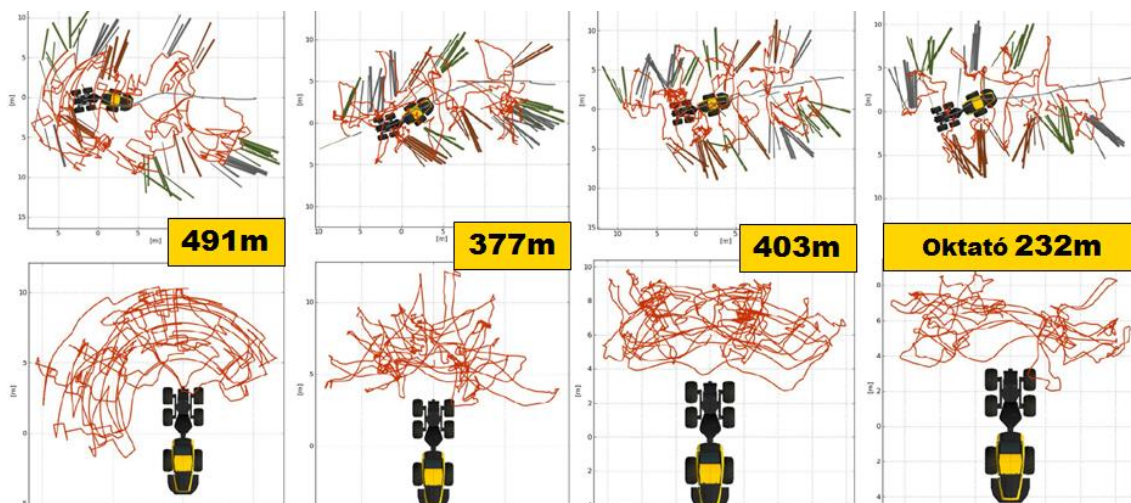
6. ábra: Faanyag rendezésére fordított idők eloszlása, területenként és gépkezelőnként.

A gépkezelői képzettség/tapasztalat a teljesítmények tekintetében is megmutatkozik. A 2. táblázatban látható, hogy produktív időben a kezdő gépkezelő 24,8%-kal, a haladó pedig 39%-kal kisebb teljesítményt ért el a profikhoz képest. Természetesen minél nagyobb hektáronkénti faterfoggal rendelkezik a faállomány, annál hatványozottabban jelentkezik az idővesztésekből adódó teljesítménycsökkenés és ezáltal a bevételecsökkenés.

A szimulátorok már más szakterületeken is bizonyítottak (pl. versenyautó- és repülőgéppilóta, űrhajós képzés; orvostudomány; gyógyszeripar, stb.). Nagyértékű, összetett működésű és nagy üzemóráköltségű gépek esetében minden szempontból hasznos lehet a gépkezelők magas szintű képzése. A 7. ábrán látható, hogy egy profi gépkezelő darukezelése milyen mértékben térhet el (negatív irányban) egy profi oktatóétól.

2. táblázat: Gépkezelők által elért teljesítmények a vizsgált területeken.

Terület	<i>1a</i>	<i>1b</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3a</i>	<i>3b</i>	<i>3c</i>	<i>3d</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
Gépkez. tudás	Profi		Kezdő		Profi		Haladó			
Teljesítmény	m ³ /műszak									
Fakitermelési időben (<i>T_f</i>)	72,2	64,2	67,8	50,3	375,7	278,8	174,3	216,9	280,9	171,9
Produktív időben (<i>T_{pr}</i>)	45,7	40,4	42,8	32,2	342,4	233,0	118,2	157,7	225,4	137,4
Üzem időben (<i>T_ü</i>)	36,6	32,3	34,3	30,4	232,7	228,1	111,6	102,7	178,9	83,5



7. ábra: Harveszterfej által megtett út 17 db fa kitermelése során (PONSSE, 2020).

Vizsgálati eredmények értékelése, megvitatása, következtetések

A kutatás rávilágított, hogy a produktív időn belüli kevésbé mérvadónak tartott műveletelemeknek is nagy befolyásoló ereje lehet, különös tekintettel képzetlen, kis gyakorlattal rendelkező gépkezelők esetében. Ezen problémás területek fejlesztésében nagy szerepe van a harveszter-szimulátoros képzéseknek, továbbképzéseknek.

Köszönetnyilvánítás: Jelen publikáció a „GINOP-2.3.3-15-2016-00039 – Fás biomassa termesztési feltételeinek vizsgálata” című projekt támogatásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- ÁCS P. – OLÁH A. – KARAMÁNNÉ PAKAI A. – RAPOSA L. (2014) : Gyakorlati adatelemzés. Pécsi Tudományegyetem Egészségtudományi Kar; Pécs; ISBN 978-963-642-682-8; 280 p.
- HORVÁTH A. L. – SZNÉ. MÁTYÁS K.– HORVÁTH B. (2012): Investigation of the Applicability of Multi-Operational Logging Machines in Hardwood Stands. Acta Silvatica et Lignaria Hungarica Vol. 8, Magyar Tudományos Akadémia Erdészeti Bizottsága, Sopron, ISSN 1786-691X, pp 9-20.
- HORVÁTH A. L. (2015): Többműveletes fakitermelő gépek a hazai lombos állományok fahasználatában. NYME EMK EMKI, Doctoral (PhD) dissertation, Sopron, 180 p.
- PONSSE (2020): Ponsse training - Effective Harvester working. Anne Härkönen előadása. Ponsse Plc, Vieremä, Finland.

A HARVESZTERES GÉPKEZELŐK SZIMULÁTOROS KÉPZÉSÉNEK HATÁSA A MUNKA GAZDASÁGOSSÁGÁRA

HORVÁTH ATTILA LÁSZLÓ, SZAKÁLOS NÉ MÁTYÁS KATALIN
Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Erdészeti-műszaki Környezettechnikai Intézet
ahorvath@uni-sopron.hu

Bevezetés

A harveszter gépkezelők szakmai és gyakorlati tudása alapvetően meghatározza a fakitermelés gazdaságosságát. Egyesek úgy születnek, hogy a "vérükben van" egy adott szakma, de legalábbis az átlagnál sokkal könnyebben sajátítják el az adott tudásanyagot. A nagytöbbség viszont hosszú és fáradtságos tanulási és gyakorlati folyamat révén válik az adott szakma kiváló művelőjévé. Képzési kereteken belül a minél jobb minőségű elméleti és gyakorlati alaptudás megszerzése a cél. A készség szintű tudás a szakmában eltöltött munkaórák (évek) számának növekedésével mindinkább kialakul, megszilárdul. Nincs ez másként a fakitermelésben sem, különösen a többműveltes fakitermelő gépek (harveszterek) kezelése tekintetében. A nagyértékű, magas üzemóraköltségű, bonyolult és összetett működésű és irányítású gépekkel történő erdei munkavégzés nemcsak géptani (pl. mechanikai, hidraulikai) tudás és erdészeti (pl. dendrológiai, fakitermelői) ismereteket igényel, hanem többek között informatikait, logisztikait és gépkezelőit is. Ha a gépkezelő bármelyik területben hiányosságokkal rendelkezik, annak előbb-utóbb anyagi következményei lesznek.

Az elmúlt évtizedben a hazai harveszterek száma jelentősen megemelkedett. Míg 2010 környékén még csak egy-két hazai tulajdonú gép dolgozott az országban, addigra napjainkban számuk már eléri a 90-et. A harveszter gépkezelők hiánya évek óta egyre súlyosabb probléma. Nemcsak megfelelő tudású és megbízható gépkezelőt, hanem egyáltalán minimális gyakorlati tapasztalattal rendelkező gépkezelőt is nehéz találni. Ez nem csoda, hisz évek óta nincs ilyen jellegű gépkezelő képzés hazánkban. A gépkezelők többsége autodidakta módon próbálta/próbálja elsajátítani az ehhez szükséges tudást. A szerencsésebbek voltak 1-2 napos "gyorstalpalón", de elvétve akad olyan gépkezelő is, aki több hetes külföldi képzésen vehetett részt. Külföldi képzések és továbbképzések (pl. több éves gépkezelői gyakorlattal rendelkezők számára tartott tanfolyam) fontos eleme a szimulátoros képzés-gyakorlás. A kezdők teljesen az alapoktól indulva (pl. kezelőszervek, alapbeállítások), az egyszerű gépmozgásoktól, az összetettebbekben keresztül egészen a valósághú fakitermelési feladatokig tudják a gépkezelést elsajátítani. Mindezt úgy, hogy az elkövetett hibáknak semmilyen következménye sincs, nincs személyi sérülés, anyagi kár és faállományban vagy gépben történő károkozás. Sőt a hibák kielemezhetők, értékelhetők. Az egyes feladatok igény szerint ismételhetők, a helyes mozdulatsorok begyakorolhatók, a fejlődés nyomon követhető. Haladó és profi gépkezelők esetében a rossz beidegződések feltárása és megszüntetése (pl. az ívkések zárását működtető gomb szükségesnél hosszabb idejű nyomva tartása, amely a hidraulika alrendszer indokolatlan terhelésének következtében korábbi meghibásodáshoz vezet.). Továbbá a teljesítménynövelés lehetőségeit is fel lehet tárni az elvégzett feladatsorok kiértékelésével (pl. a daru optimális használati módja és útvonala.). Az Erdészeti-műszaki és Környezettechnikai Intézet által februárban megvásárolt Ponsse harveszter-forvarder szimulátor – az előzőekben a szükségesség szempontjából részletezett – gépkezelői képzések, továbbképzések, de közép és felsőfokú szakképzésben történő alkalmazására is kiváló lehetőséget nyújt, továbbá az ezekhez kapcsolódó kutatási célokra is alkalmas.

Vizsgálati anyag és módszer

A harveszteres fakitermelésekkel kapcsolatos korábbi és a szimulátorhoz kötődő kezdeti kutatásink, vizsgálataink a kezdő, haladó és profi kategóriába sorolt gépkezelők munkavégzésének

összehasonlítására és kielemezésére ad lehetőséget. A terepi adatgyűjtés 4 erdőrészletben történt, de két állománytípusban: akác és gyertyános-erdeifenyves. Az akácokban tarvágást hajtott végre egy profi kategóriába sorolt gépkezelő (2-3 éves gépkezelői gyakorlat) és egy kezdő (1-2 napos tapasztalat). A gyertyános-erdeifenyvesben fokozatos felújítás első bontó vágását hajtották végre, melynek során lékeket alakítottak ki a gépkezelők. A lékek 900 m² (2 db), 1700 m² (2 db) és 2200 m² területűek voltak. Az egyikük 2-3 éve (profi) a másikuk 1-2 éve (haladó) harveszter gépkezelő. A vizsgálatok 3 különböző márkájú, de azonos méretkategóriába (közepes harveszterek) sorolható gépeket érintettek (akácokban 2 féle gép, gyertyános-erdeifenyvesben 1 db gép).

A terepi adatfelvétel haladó (folyamatos) időméréses módszerrel történt. A műveletelemek időtartama mellett rögzítésre kerültek az egyes ciklusonként feldolgozott faanyag mennyiségek, ill. az átállások távolságai is. A felvételezés során a következő műveletelemek kerültek elkülönítésre (HORVÁTH ET AL., 2012; HORVÁTH ET AL., 2015):

Döntés (D): Az az időtartam, amely alatt a gépkezelő a manipulátorkar segítségével ráhelyezi a harveszterfejet a fa törésére (fa felkeresése), valamint a fa döntését, előközelítését, gallyazását, választékolását, darabolását és választékonkénti rakásolását (döntés, feldolgozás) magában foglaló időtartam.

Átállás (Á): Helyváltoztató mozgás időtartama.

Csak döntés (CD): Nagyon vékony, ill. rosszminőségű (pl. teljesen korhadt) faegyed kitermelésére fordított idő, amely alatt nem keletkezik választék.

Gallyanyag rendezése (G): Valamely oknál fogva zavaró tényezőként jelentkező gallyanyag átrakása.

Faanyag rendezése (R): Valamely oknál fogva zavaró tényezőként jelentkező faanyag (választék) áthelyezése.

Pihenő (P): Személyi szükségletek kielégítésének időtartama.

Hibaelhárítás (H): A munkavégzés során bekövetkező műszaki meghibásodások elhárításának időtartama.

Karbantartás (K): gépi szükségletek kielégítésének időtartama (pl. lánccsere, tankolás);

Várakozás (V): Egyéb veszteségidő (pl. telefonálás).

Az adatok kiértékelése során többek között meghatározhatók az egyes munkaidő-szerkezetek, teljesítményadatok. Összevethetők a különböző szakmai tapasztalattal és gyakorlottsággal rendelkező gépkezelők munkája, műveletelemenkénti átlagos és össze időfelhasználása, valamint teljesítménye. Teljesítmények kalkulálásához a terepen rögzített választékadatok és a művelet-elem adatok szükségesek. Ezek alapján 3 féle teljesítmény kategória került meghatározásra:

Döntési időben (T_d): A 'Döntés' (t_d = D) műveletelemre vonatkozóan a harveszterfej és a darukar abszolút teljesítményét mutatja.

Produktív időben (T_{pr}): A ténylegesen munkavégzéssel töltött időtartam (t_{pr} = D+Á+CD+G+R) alatti gépteljesítményt eredményezi.

Üzemidőben (T_ü): A folyamatos mérés teljes időtartamára (t_ü = D+Á+CD+G+R+P+H+K+V = Ü) adja meg a gép teljesítményét.

Produktív időre (t_{pr}) a teljesítmény (T_{pr}) számításának módja a következő volt:

$$T_{pr(h)} = (Q/t_{pr}) \times 60$$

ahol:

T_{pr(h)}: óránkénti teljesítmény produktív időre (m³/h);

Q: mérés időtartama alatt kitermelt fatérfogat (m³);

t_{pr}: a ténylegesen munkavégzéssel töltött műveletelemek (D+Á+CD+G+R) együttes időtartama, az adott mérés teljes idejére nézve (min).

Vizsgálati eredmények

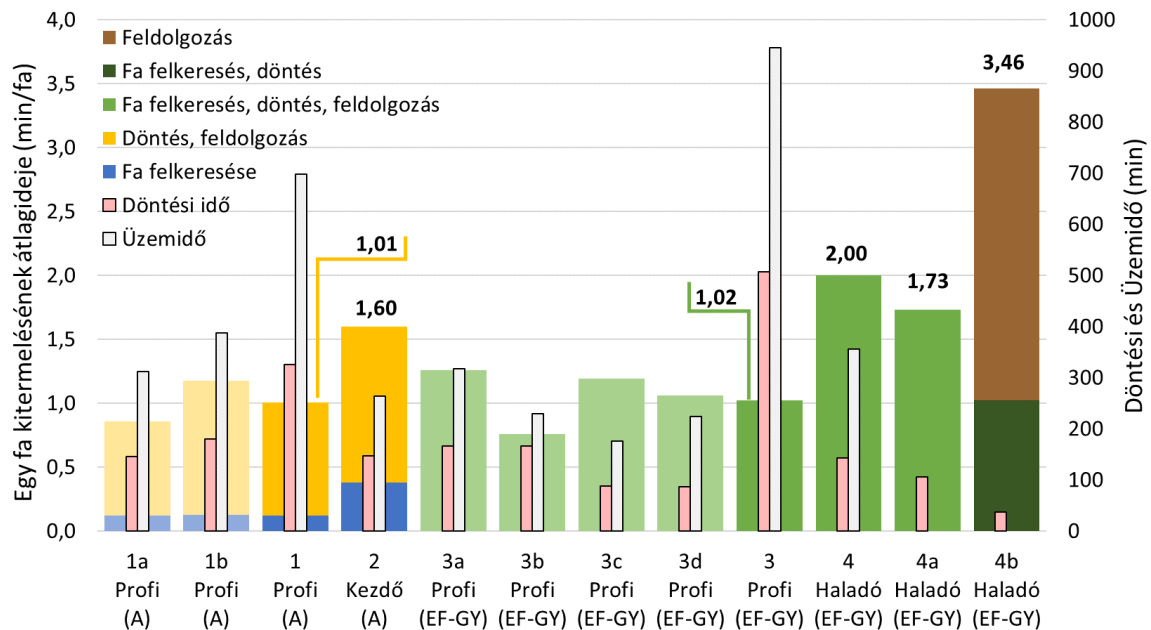
A vizsgált erdőrészek fakitermelése során kialakult munkaidőszerkezet, azaz a műveletelemek százalékos megoszlása látható az 1. táblázatban. Az 1-es 2-es területen akác tarvágást, míg a 3-as 4-es területen gyertyános-erdeifenyves állományban lékes felújítógátást hajtottak végre a gépkezelők.

1. táblázat: Munkaidőszerkezetek a vizsgált területeken.

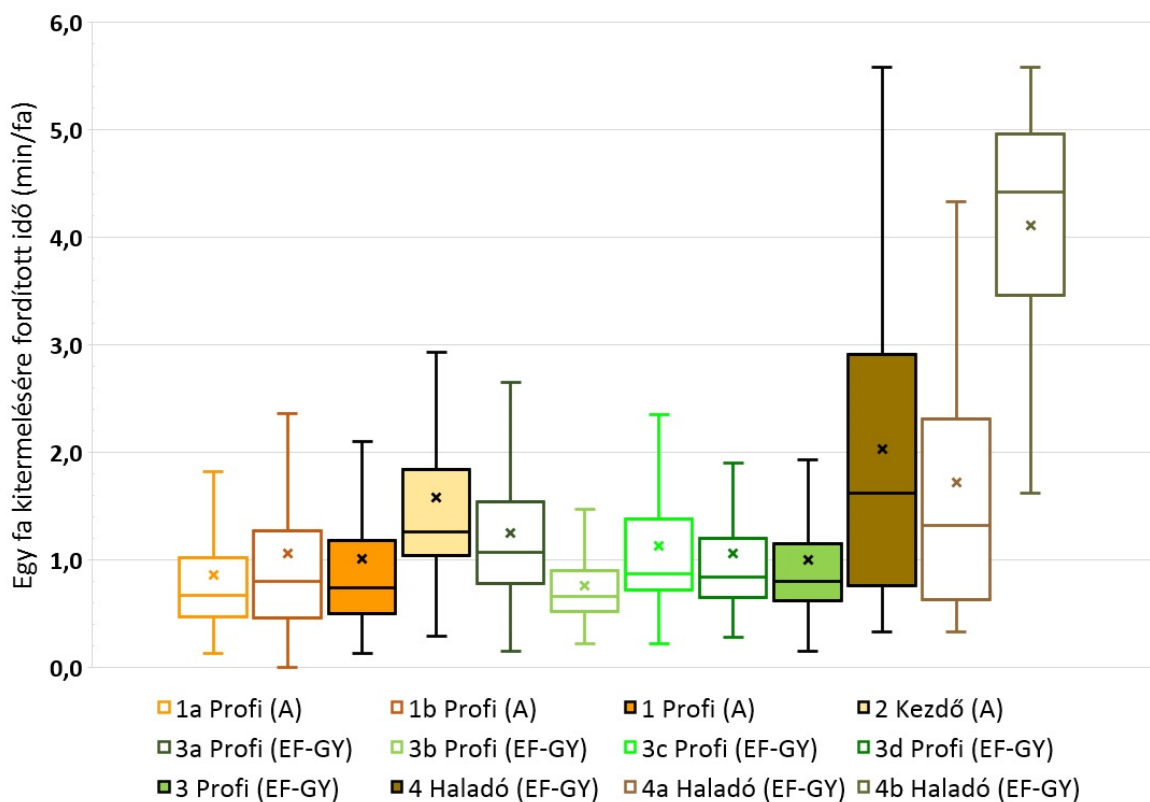
		Terület									
		1a	1b	1	2	3a	3b	3c	3d	3	4
Gépkezelői tudás		Profi		Kezdő		Profi				Haladó	
Műveletelemek		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
<i>D</i>	Döntés	46,9	46,5	46,7	55,9	53,5	72,7	50,0	39,0	54,1	40,0
<i>Á</i>	Átállás	3,8	3,9	3,9	4,5	8,4	9,1	14,1	8,3	9,6	8,5
<i>CD</i>	Csak döntés	2,9	3,7	3,4	3,4	0,0	7,9	15,4	12,8	7,7	3,9
<i>G</i>	Gallyanyag rend.	23,8	22,1	22,9	29,5	5,1	4,1	5,6	5,0	4,9	6,8
<i>R</i>	Faanyag rend.	2,6	3,9	3,4	1,2	0,9	4,1	9,4	0,0	3,0	1,5
<i>P</i>	Pihenő	5,2	14,3	10,2	2,6	1,5	0,5	4,3	5,0	2,6	18,2
<i>K</i>	Karbantartás	3,5	0,4	1,8	0,0	0,8	0,2	0,0	24,7	6,1	18,0
<i>H</i>	Hibaelhárítás	4,7	2,0	3,2	1,5	27,2	0,0	0,0	0,0	9,3	0,0
<i>V</i>	Várakozás	6,5	3,3	4,7	1,4	2,6	1,4	1,2	5,2	2,7	3,0

Az 1-es és 3-as terület esetében több mérési nap adatai állnak rendelkezésre, a betűkiegészítések erre vonatkoznak, a másik két esetben egy-egy vizsgálat történt. Az 1-es és 3-as terület esetében az összesített adatok is szerepelnek a jobb összehasonlíthatóság kedvéért, ill. a későbbiekben feltüntetésre kerülnek az ide vonatkozó ábrákon is.

Az 1. ábrán látható, hogy a 'Döntés' művelet elem esetén több részműveletelemből áll. Ennek oka az adatrögzítésben és a gépkezelő munkamódszerében keresendő. Van olyan adatsor ahol a 'Fa felkeresése' elkülönítésre került a 'Döntés, feldolgozástól'. Feldolgozás magába foglalja a gallyazást, a választékolást, a darabolást és a rakásolást. Az 1. ábra 4b oszlopdiagramja az eddigiektől eltérő munkamódszert ábrázol. Ez esetben a gépkezelő a döntőfűrészvágást követően a darukarral előközelítette a teljes fát, majd letette a korábban előállított választékok közelébe ('Fa felkeresés, döntés'). Ezt követően vagy folytatta a munkát a normál munkamenetnek megfelelően vagy egy újabb faegyed döntését, előközelítését valósította meg. Amikor már 2-3 db fatörzs összegyűlt, akkor a géppel megközelített a fekvő teljesfákat és végrehajtotta a feldolgozásukat. Ezt a munkamódszert egy haladó kategóriába sorolt gépkezelő hajtotta végre. Látható, hogy ez a módszer nagyon magas átlagidőket eredményezett. Átlagosan egy faegyed kitermelése 3,46 min-t vett igénybe. Normál munkamenet (4a) esetében (a gépkezelő, a gép és az állomány azonos) azonban egy fa kitermelésének átlagideje 1,73 min volt. Habár kis aránnyal fordult elő – ez az (összes) döntési időből is látszik – jelentősen megnövelte a területre vonatkozó fakitermelési átlagidőt. A profi kategóriába sorolt gépkezelő esetében (azonos állomány, azonos gép) az egy fa kitermelésére számított átlagidő majdnem pontosan fele lett (1,02 min) a haladó gépkezelőhöz képest. Akác állomány esetében a profi gépkezelő átlagideje 1,01 min/fa, míg a kezdő gépkezelőé 1,60 min/fa. Ezen esetben is jól megmutatkozik a képzettség hiánya.



1. ábra: Egy fa kitermeléséhez szükséges átlagos időfelhasználás különböző tudásszintű gépkezelők esetében.



2. ábra: Egy fa kitermelésére fordított idők eloszlása, területenként és gépkezelőnként.

Az egyes fák kitermelésére fordított időadatok eloszlásának vizsgálata mélyebb összefüggéseket mutat meg az átlagidőknél. A 2. ábrán megjelenő téglalapok (dobozok) szélei mutatják az alsó és felső kvartilis közötti távolságot, míg a közepén megjelenő vonal a medián értékét. Az akácokban a profi gépkezelőnél (1) ezek az értékek a következők: alsó

0,50 min/fa; felső 1,18 min/fa; medián 0,74 min/fa. Kezdőnél (2) ezek az értékek: alsó 1,04 min/fa; felső 1,84 min/fa; medián 1,26 min/fa. Gyertyános-erdeifenyvesben a profi gépkezelőnél (3) a doboz alsó éle 0,62 min/fa; felső éle 1,15 min/fa; a medián pedig 0,8 min/fa értéknél van. Haladónál (4) ezek az értékek: alsó 0,76 min/fa; felső 2,92 min/fa; medián 1,64 min/fa. Az ábrán, a dobozokban található X jelöli az átlagot. Az interkvartilis (felső és alsó kvartilis különbsége) másfélszerese a dobozból felfelé és lefelé irányuló vonalak hossza (ÁCS ET AL., 2014). A kezdő gépkezelő esetében az inkvartilis adatok is mutatják, hogy közel kétszer annyi időre volt szüksége egy fa kitermeléséhez, mint a profi gépkezelőnek. A haladó gépkezelőnk esetében az adatok nagyobb szórást mutatnak, ez egyrészt a megszakított fafeldolgozásból, másrészt az erdeifenyő morfológiai adottságaiból (korona vastagabb ágainak feldolgozása többlet darumozgást igényel) és nem utolsósorban, a készség szintű gépkezelői tudás kialakulásának hiányából adódik.

A gépkezelői képzettség/tapasztalat a teljesítmények tekintetében is megmutatkozik. A 2. táblázatban látható, hogy döntési időben a kezdő gépkezelő 25,8%-kal, a haladó pedig 22,3%-kal kisebb teljesítményt ért el a profikhoz képest. Természetesen minél nagyobb hektáronkénti fa-térfogattal rendelkezik az állomány, annál hatványozottabban jelentkeznek az időveszteségekből adódó teljesítménycsökkenés, ezáltal a bevételekcsökkenés is.

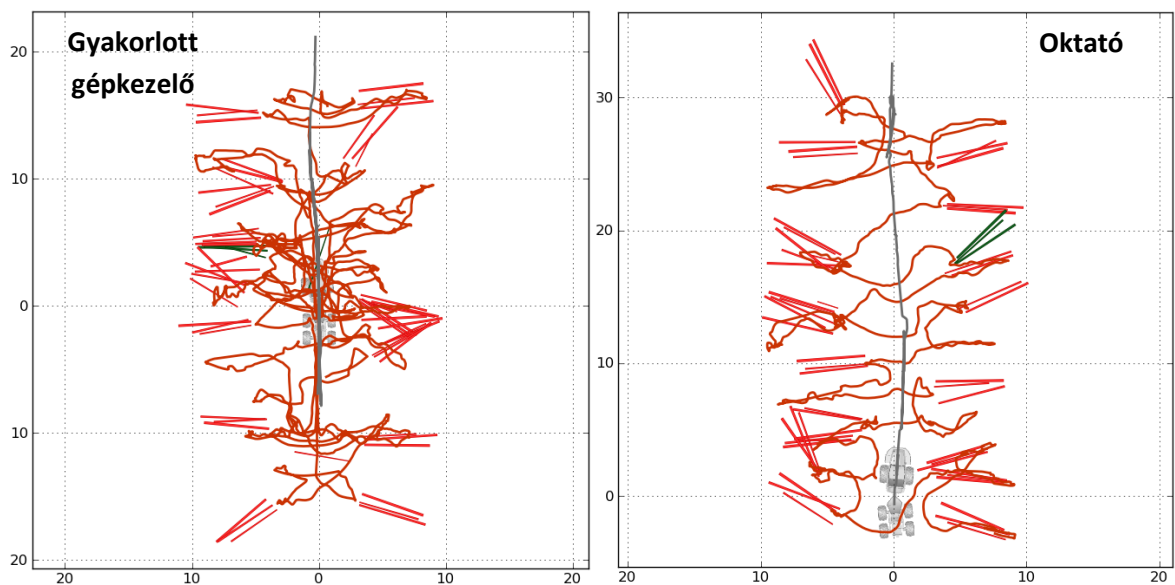
2. táblázat: Gépkezelők által elért teljesítmények a vizsgált területeken.

Terület	1a	1b	1	2	3a	3b	3c	3d	3	4
Gépkez. tudás	Profi		Kezdő		Profi				Haladó	
Teljesítmény	m ³ /műszak									
<i>Döntési időben (Tf)</i>	78,1	69,6	73,4	54,4	434,9	313,7	223,4	263,2	330,8	257,1
<i>Produktív időben (Tpr)</i>	45,7	40,4	42,8	32,2	342,4	233,0	118,2	157,7	225,4	137,4
<i>Üzem időben (Tü)</i>	36,6	32,3	34,3	30,4	232,7	228,1	111,6	102,7	178,9	83,5

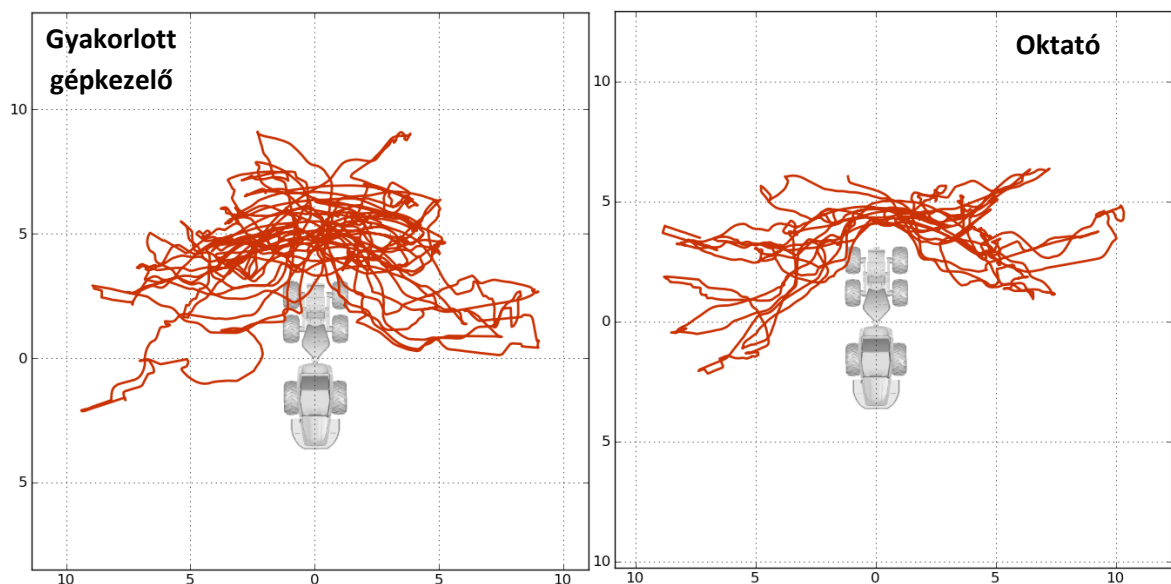
Szimulátor segítségével a nagy gyakorlati tapasztalattal és tudással rendelkező gépkezelők fejlődése, teljesítmény növekedése, ill. a költséghatékonyabb gépüzemeltetése is elérhető. A 3. és 4. ábrán látható, hogy a harveszter szimulátorban létrehozott teszt pályán a profi gépkezelő és az oktató milyen eredménnyel végezte el a feladatot, amely 20 faegyed kitermelése volt. A piros vonalak a harveszter fej által megtett utat mutatják a szimulált vágásterületen (3. ábra), ill. a géptörzshöz képest (4. ábra). Teljesítmény, meghibásodás és költség tekintetében előnyösebb a minél kevesebb és a géptörzshöz minél közelebbi darumozgás, mivel ez kevesebb energiát (tüzelőanyagot) igényel, kisebb a hidraulika rendszer terhelése és ezáltal az alkatrészek élettartama hosszabb. gyakorlott gépkezelő a feladatot 14,80 min alatt teljesítette, miközben a fej 598 m-t tett meg. Az oktató ugyanezen feladatot 9,53 min alatt teljesítette, a fej által megtett út pedig csak 373 m volt. Ha ezen adatokból meghatározzuk a 8 óra alatt megtett utat, akkor azt kapjuk eredményként, hogy a gépkezelő 608 m-rel több utat járna be a harveszterfejjel, mint az oktató (3. táblázat).

3. táblázat: Harveszterfej által 8 óra alatt megtett út.

	Fák száma (db/szim.)	Szim. ideje (min)	Megtett út (m)	Fajl. faki-term (min/fa)	Fajl. út (m/fa)	Fák száma (fa/8h)	Megtett út (m/8h)	Különbség (m/8h)
Gépkezelő	20	14,80	598	0,7400	29,90	648,65	19 395	608
Oktató	20	9,53	373	0,4765	18,65	1007,35	18 787	

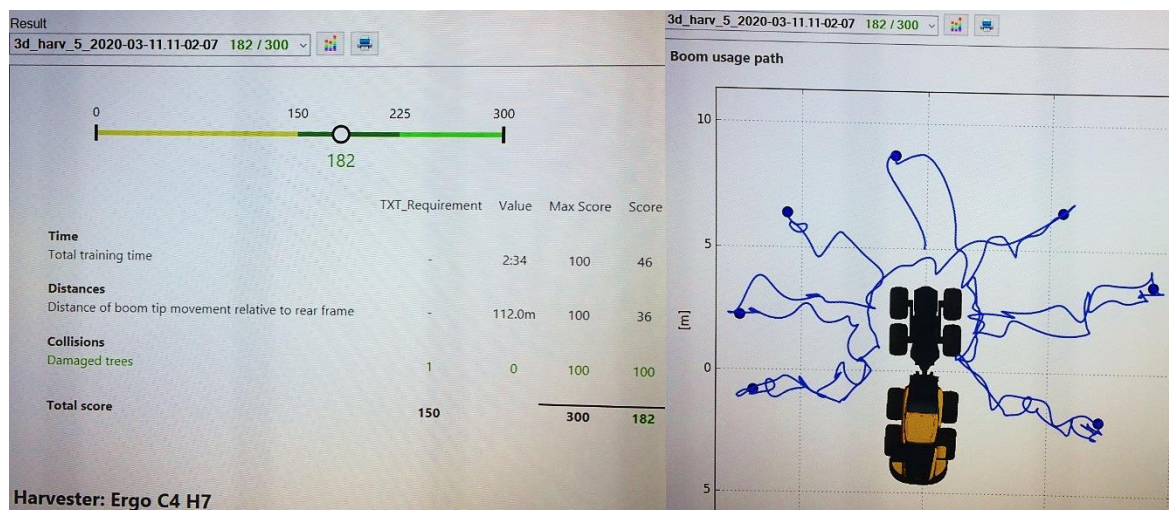


3. ábra: Harvesterfej által megtett út 20 db faegyed kitermelése során (PONSSE, 2020).



4. ábra: Harvesterfej mozgása a géptörzshöz viszonyítva, 20 db faegyed kitermelése során (PONSSE, 2020).

A kezdők számára a szimulátoros oktatás az alapoktól indul. A legegyszerűbb feladatoktól az egyre bonyolultabb és összetettebbekig. Az elvégzendő feladatok személyre és géptípusra szabható, igény esetén egyedei feladatok oktatócsomagok is összeállíthatók. Minden végrehajtott feladat kiértékelhető és csak a beállított teljesítmény minimum elérése után gyakorolható a következő feladat. Az 5. ábrán látható egy elvégzett feladat kiértékelése, ahol a következőket kellett végrehajtani: 7 db térben elhelyezett pontra kellett a harvesterfejet ráilleszteni, majd a behúzó hengereket működésbe hozni. Mindezt úgy hogy közben a faállomány egyedeiben a kárt nem szabad okozni. Az feladat végrehajtásának ideális ideje 90 s, a harvesterfej által bejárt út optimális távolsága 80 m. Az idő és távolság túllépés arányosan pontlevonással jár.



5. ábra: Darukar és a harvesterfej mozgásának gyakorlása állományban, térben elhelyezett pontok felkeresése által (Fotó: HORVÁTH ATTILA, 2020).

Vizsgálati eredmények értékelése, megvitatása, következtetések

A kutatás alátámasztotta, hogy a harveszterek gépkezelőinek tudása erőteljesen befolyásolja a munka minőségét, a termelékenységet és gazdaságosságát. A közeljövőben nagy szerepet kell szentelni a többműveletes fakitermelő gépek kezelőinek képzésére és továbbképzésére. Erre legalkalmasabb eszköze egy szimulátor, amely mind a kezdőknek, mind a gyakorlattal rendelkezőknek segít a tudás biztonságos megszerzésében és a fejlődésben.

Köszönetnyilvánítás: Jelen publikáció a „GINOP-2.3.3-15-2016-00039 – Fás biomassza termesztési feltételeinek vizsgálata” című projekt támogatásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- ÁCS P. – OLÁH A. – KARAMÁNNÉ PAKAI A. – RAPOSA L. (2014) : Gyakorlati adatelemzés. Pécsi Tudományegyetem Egészségtudományi Kar; Pécs; ISBN 978-963-642-682-8; 280 p.
- HORVÁTH A. L. – SZNÉ. MÁTYÁS K.– HORVÁTH B. (2012): Investigation of the Applicability of Multi-Operational Logging Machines in Hardwood Stands. Acta Silvatica et Lignaria Hungarica Vol. 8, Magyar Tudományos Akadémia Erdészeti Bizottsága, Sopron, ISSN 1786-691X, pp 9-20.
- HORVÁTH A. L. (2015): Többműveletes fakitermelő gépek a hazai lombos állományok fahasználatában. NYME EMK EMKI, Doctoral (PhD) dissertation, Sopron, 180 p.
- PONSSE (2020): Ponsse training - Effective Harvester working. Anne Härkönen előadása. Ponsse Plc, Vieremä, Finland.
- RUMPF J. (SZERK.), HORVÁTH A. L., MAJOR T., SZAKÁLOSNÉ MÁTYÁS K. (2016): Erdőhasználat, Mezőgazda Kiadó, Budapest, ISBN:9789632867199, 390 p.

HARVESZTERES FAKITERMELÉSI MÓDSZEREK TERMELÉKENYSÉGEINEK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

HORVÁTH ATTILA LÁSZLÓ, MAJOR TAMÁS, SZAKÁLOSNÉ MÁTYÁS KATALIN
Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Erdészeti-műszaki Környezettechnikai Intézet
ahorvath@uni-sopron.hu

Bevezetés

A többműveletes fakitermelő gépek több évtizedes fejlődése során alakultak ki azok a fakitermelési módszerek, műveletelemek egymáshoz szorosan kapcsolódó sorozata, amelyekkel adott körülmények között a legnagyobb teljesítményt, a leggazdaságosabb üzemeltetést lehet elérni. Mivel a fakitermelésekre számtalan befolyásoló tényező hat, amelyek ráadásul sokszor gyorsan könnyen változnak, adódhatnak olyan helyzetek, elvárások, amikor a jól bevált módszertől többé-kevésbé el kell térni.

Vizsgálati anyag és módszer

A leggyakrabban alkalmazott módszer esetében a harveszteres fakitermelés az alábbi technológiai, anyagmozgatási és irányítási műveletekből, műveletelemekből tevődik össze, faegyedenként ismétlődve:

a kivágandó fa megközelítése a harveszterrel;

a harveszterfej elhelyezése és rögzítése (fogókarok által) a fán, döntési iránnyal ellentétes oldalon;

döntőfűrészvágás végrehajtás;

a kivágott fa előközelítése (2 - 5 m) a közelítőnyom mellé;

faegyed gallyazása, választékolása, darabolása (részműveletelemek egyidejű, ill. folyamatos egymásutánisága által) és az előállított választékok fajtánkénti rakásolása (szétválogatás rövidtávú darumozgás által);

szükség esetén a gallyanyag, ill. a választékok koncentrációja, áthelyezése.

A gyakorlatban szembesülhet a fakitermelő (vállalkozó, gépkezelő) olyan helyzettel, elvárással, amelyek megkívánják ezen műveleti sorrend módosítását. Kutatásunk során két – a normáltól eltérő – módszert vizsgáltunk: szakaszos és hajkvágásos fakitermelést. Az eltérő módszerek nem kizárólagosan, hanem a „szokványos” módszerrel együtt kombinálva kerültek alkalmazásra a terepviszonyoknak, a kitermelendő fák paramétereinek és elhelyezkedéseinek valamint az erdőgazdálkodó elvárásainak megfelelően. Mivel a normál és az eltérő módszerek terepi vizsgálataiból származó adatok erdőállományonként azonos bemeneti paraméterekkel (faállomány, gép, gépkezelő) rendelkeznek ezért összehasonlításuk és a belőlük származó következtetések megalapozottak.

A **szakaszos fakitermelés** esetében a gépkezelő a döntőfűrészvágást követően előközelítette 5-15 m-re a teljes fát (jellemzően csak a darukarral, de esetenként 2-3 m-es helyváltoztató mozgást is végzett a géppel), majd letette a korábban rakásolt választékok közelébe. Ezt követően vagy folytatta a munkát a normál munkamenetnek megfelelően vagy egy újabb faegyed döntését, előközelítését valósította meg. Nagyobb fák esetében előfordult, hogy a törzsrész választékolását, darabolását elvégezte annak érdekében, hogy könnyebben lehessen mozgatni a fa fennmaradó részét. Ilyen esetben a termelt választékokat át kellett helyezni a közelítőnyom közelébe. Amikor már 2-3 db fatörzs összegyűlt, akkor a géppel megközelített a fekvő teljesfákat és végrehajtotta a feldolgozásukat. Az vizsgálatok két gépet és két gépkezelőt (profli: 2-3 éves gyakorlat, haladó: 1-2 éves gyakorlat) érintettek. A profli gépkezelő munkájának vizsgálatára 4 erdőrészletben került sor (2 db cseres-bükkös, 1 db gyertyános-bükkös, 1 db cseres). Ezen állományokat széltörés érte, amelynek következtében a gyökerestül kidöntött és derékba tört fák

rendezetlenül egymáson heverték. Alapvetően ezért volt szükség a szakaszos fakitermelés alkalmazására. A haladó gépkezelő egy gyertyános-erdeifenyvesben lékeket alakított ki. Az általa ritkán alkalmazott szakaszos fakitermelést némileg a faanyag nagyobb fokú koncentrációja, ill. az újulat védelme indokolta, de java részt inkább mindez a kisebb gépkezelői tapasztalatra vezethető vissza. Ugyanis ezen a területen egy profi gépkezelő által végzett munka vizsgálata is megvalósult, ahol nem került alkalmazásra a szakaszos fakitermelés.

A **hajkvágásos fakitermelés** lucos állomány tarvágása során került vizsgálatra. A gép kezelője az 1-2 éves fakitermelői gyakorlata, tapasztalat alapján haladó kategóriába sorolható. Az alkalmazott és vizsgált többműveletes fakitermelő gép, pedig a kisméretű harveszterek közé tartozott. A hajkvágásos fakitermelés alkalmazásának az volt az oka, hogy a kitermelendő fák töátmérője esetenként (fák kb. 10%-a) meghaladta a harveszterfej vágószerkezetében a vezetőlemez hosszát. Annak érdekében a törzs alsó része ne hasadjon fel – ezáltal a fa legértékesebb része ne károsodjon – hajkvágást alkalmazott a gépkezelő. Ezt úgy valósította meg, hogy először a döntési iránynak megfelelő oldalra helyezte fel a fejet, körülbelül az átmérő 1/3-ig elvégezte a hajkalap vágást, majd ezt követően a fejet az ellentétes oldalra pozícionálta és elvégezte a döntőfűrészvágást. Ilyen esetben negatív törési lécet kell alkalmazni, azaz a hajkalap vágás síkja magasabban van, mint a döntőfűrészvágás. Erre azért van szükség, hogy a gépkezelő miközben segíti a harveszterfejjel és a daruval a fa dőlésének a megindulását, nehogy lelökje a fát a tuskóról és a fa a gépre dőljön.

A terepi adatfelvétel haladó (folyamatos) időméréses módszerrel történt. A műveletelemek időtartama mellett rögzítésre kerültek az egyes ciklusonként feldolgozott faanyag mennyiségek, ill. az átállások távolságai is. A különböző módszerek miatt a megszokottnál több művelet elem elkülönítése vált szükségessé, amelyek a műveletek különböző kombinációjából jöttek létre, ennek következtében átfedéseket mutatnak egymás között (HORVÁTH ET AL., 2012; HORVÁTH ET AL., 2015):

Fa felkeresése (F): az az időtartam, amely alatt a gépkezelő a manipulátorkar segítségével ráhelyezi a harveszterfejet a fa törésére;

Döntés, feldolgozás (D): a fa döntését, előközelítését, gallyazását, választékolását, darabolását és választékonkénti rakásolását magában foglaló időtartam;

Hajkvágásos döntés, feldolgozás (Dh): a 'Döntés, feldolgozás (D)' művelet elem időtartama, kiegészítve a hajkvágás végrehajtásához szükséges idővel;

Döntés (feldolgozás) (DD): a fa döntését, előközelítését tartalmazó időtartam, amely esetenként a kidöntött fa egy részének a gallyazását, választékolását, darabolását is magába foglalja;

Fa felkeresése, döntés (FD): a 'Fa felkeresése (F)' művelet elem kiegészítve két művelet, a fa döntése és az előközelítés időtartamával.

Feldolgozás (DF): csak a gallyazásra, választékolásra, darabolásra és választékonkénti rakásolásra fordított idő;

Fa felkeresése, döntés, feldolgozás (FDF): a 'Fa felkeresése (F)' és a 'Döntés, feldolgozás (D)' művelet elemek együttese.

Átállás (Á): Helyváltoztató mozgás időtartama.

Csak döntés (CD): Nagyon vékony, ill. rosszminőségű (pl. teljesen korhadt) faegyed kitermelésére fordított idő, amely alatt nem keletkezik választék.

Gallyanyag rendezése (G): Valamely oknál fogva zavaró tényezőként jelentkező gallyanyag átrakása.

Faanyag rendezése (R): Valamely oknál fogva zavaró tényezőként jelentkező faanyag (választék) áthelyezése.

Pihenő (P): Személyi szükségletek kielégítésének időtartama.

Hibaelhárítás (H): A munkavégzés során bekövetkező műszaki meghibásodások elhárításának időtartama.

Karbantartás (K): gépi szükségletek kielégítésének időtartama (pl. lánccsere, tankolás);

Várakozás (V): Egyéb veszteségidő (pl. telefonálás).

Teljesítmények kalkulálásához a terepen rögzített választékadatok és a műveletelem adatok szükségesek. A teljesítmények 'Döntési időben (T_d)' kerületek meghatározására, mert a két fakitermelési módszer közötti különbség itt jelentkezik torzítás nélkül. Ezek az értékek a döntéshez kötődő műveletelemekre vonatkozóan a harveszterfej és a darukar abszolút teljesítményét mutatja. A döntési idő a következő műveletelemek alapján adódik össze:

normál fakitermelés esetén: $t_d = F+D$ vagy $t_d = FDF$;

szakaszos fakitermelés esetén: $t_d = F+DD+DF$ vagy $t_d = FD+DF$;

hajkvágásos fakitermelés esetén: $t_d = F+Dh$

Döntési időben (t_d) a teljesítmény (T_d) számításának módja a következő volt:

$$T_{d(h)} = (Q/t_d) \times 60$$

ahol:

$T_{d(h)}$: óránkénti teljesítmény döntési időben (m^3/h);

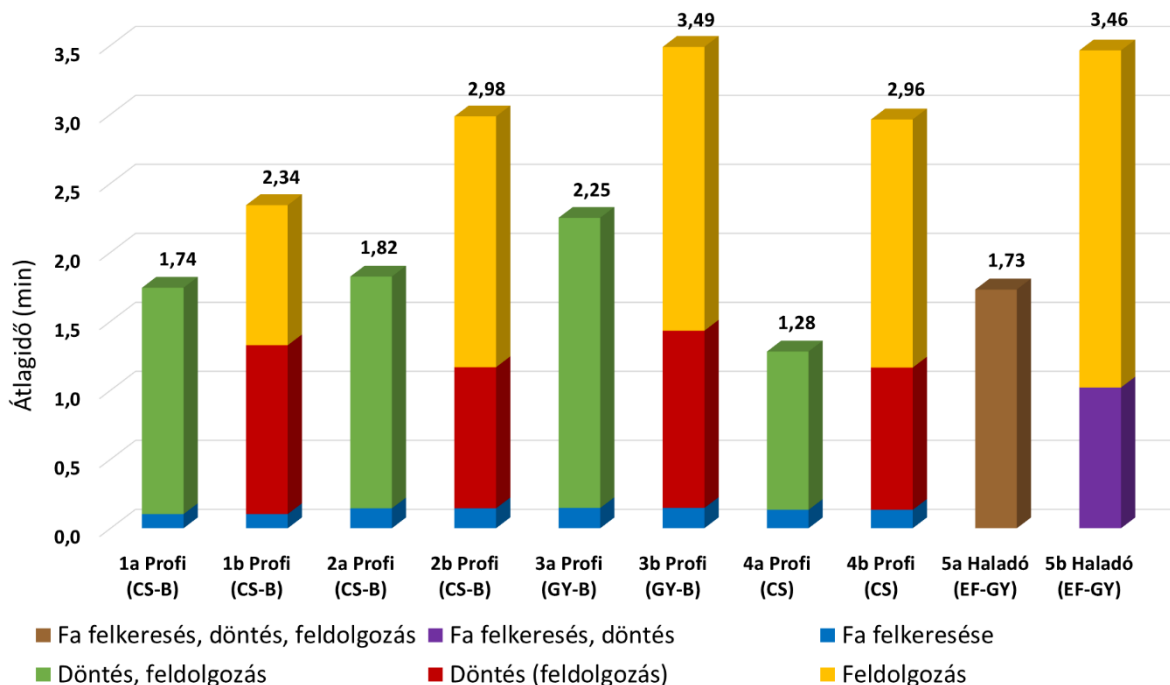
Q: kitermelt fatérfogat (m^3);

t_d : a döntéshez kötődő műveletelemek együttes ideje, fakitermelési módonként (min).

Vizsgálati eredmények

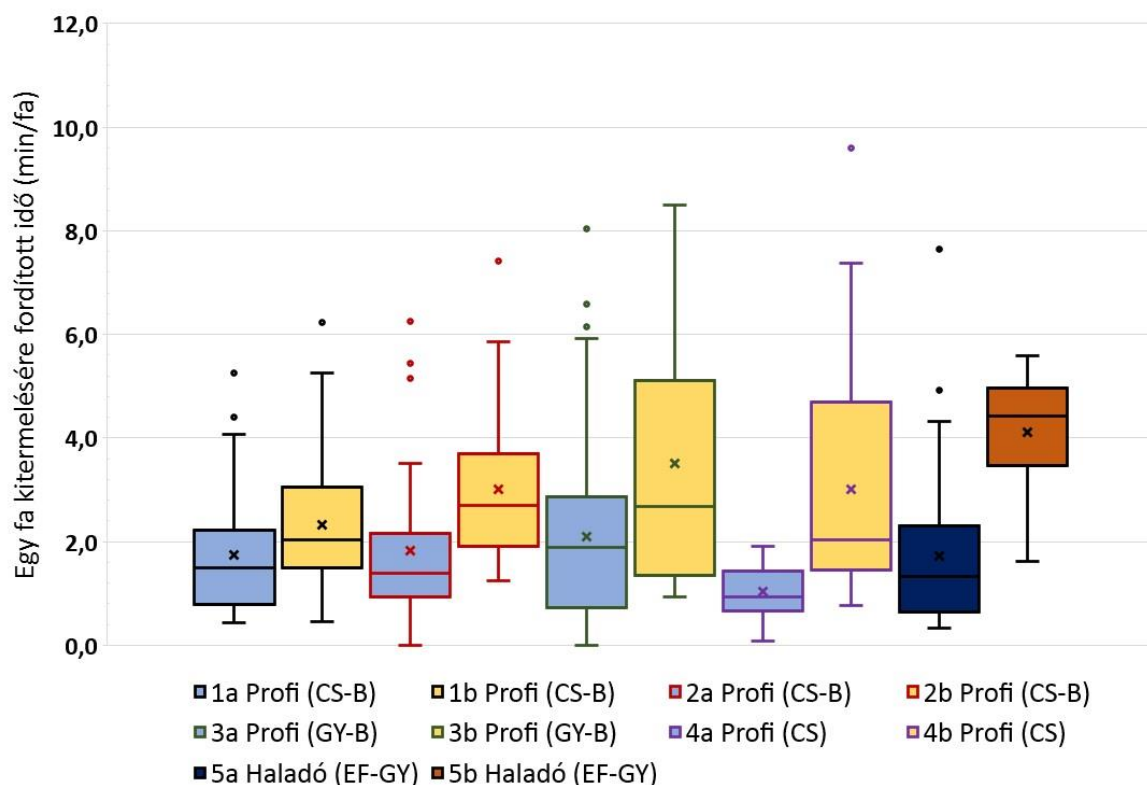
Szakaszos és normál fakitermelés összehasonlítása

Az adatok kiértékelése után megállapítható, hogy a szakaszos fakitermelésnek nagyobb az időszükséglete, mint a normál módszernek. Profi gépkezelőnél átlagosan cseres-bükkös állomány esetében 34,4%-kal, ill. 63,7%-kal; gyertyános bükkös esetén 55,1%-kal; cseres esetén 131,4%-kal több időre volt szükség egy fa kitermeléséhez (1. ábra). Haladó gépkezelőnél ez az érték 100,2%-ra adódott gyertyános-erdeifenyvesben.



1. ábra: Egy fa kitermeléséhez szükséges átlagos időfelhasználás, területenként és gépkezelőnként.
a) normál fakitermelés, b) szakaszos fakitermelés

Az egyes fák kitermelésére fordított időadatok eloszlásának kvartilis vizsgálata megerősíti a fent megállapítást. A 2. ábrán megjelenő téglalapok (dobozok) szélei mutatják az alsó és felső kvartilis közötti távolságot, míg a közepén megjelenő vonal a medián értékét. Az ábrán, a dobozokban található X jelöli az átlagot. Az interkvartilis (felső és alsó kvartilis különbsége) másfélszerese a dobozból felfelé és lefelé irányuló vonalak hossza. A vonalakon túli pontok az úgynevezett kiugró értékek, melyek a doboz szélétől 1,5-3- interkvartilis terjedelemben vannak (ÁCS ET AL., 2014). A 2. ábrán látható, hogy az interkvartilis adatok – az átlagidőkhöz hasonlóan – rendre nagyobb értékeket mutatnak szakaszos fakitermelésnél.

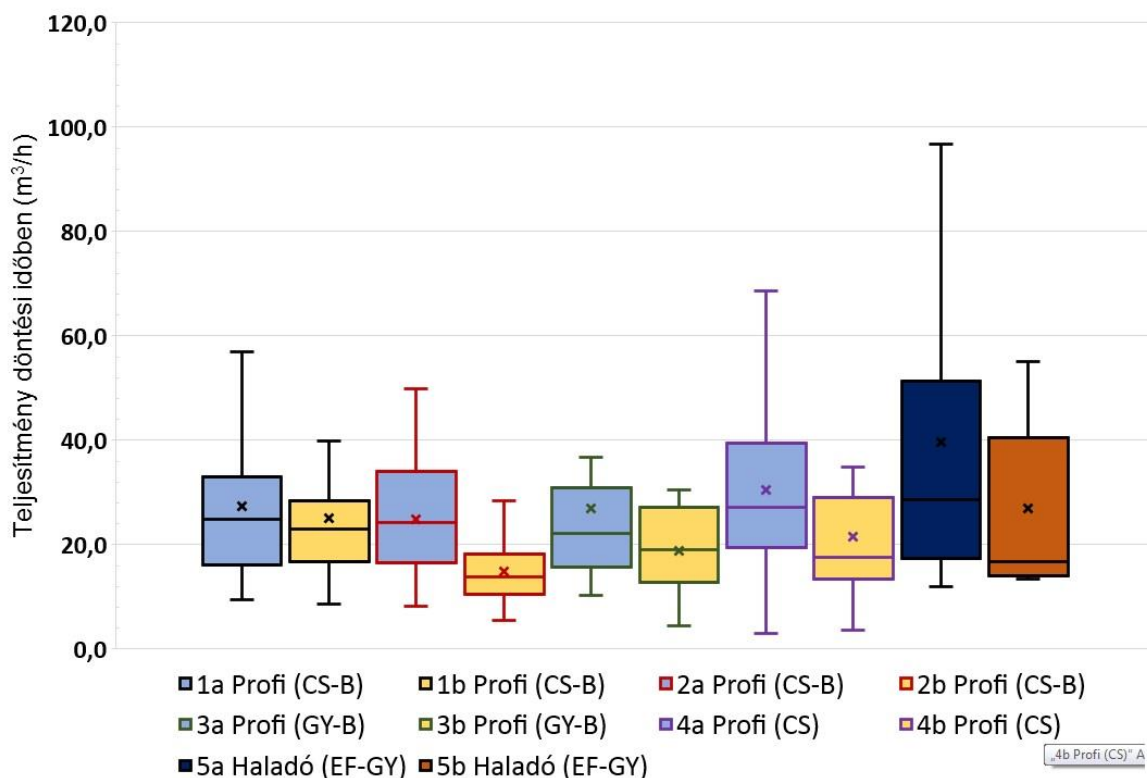


2. ábra: Egy fa kitermelésére fordított idők eloszlása, területenként és gépkezelőnként.
a) normál fakitermelés, b) szakaszos fakitermelés

A vizsgálat időtartama alatt minden egyes kitermelt fa esetében rendelkezésre áll a munka teljes időszükséglete, ill. a termelt fatérfogat (nettó m³), amelyek segítségével minden egyes fa esetében meghatározhatók a harveszterek teljesítményei, döntési időben. A teljesítményadatok eloszlásait szemlélteti a 3. ábra. A normál fakitermelések teljesítményének átlagai, mediánjai, ill. interkvartilis értékei rendre nagyobb értéket mutatnak, mint a szakaszos fakitermelés ilyen adatai (1. táblázat).

1. táblázat: Teljesítmények döntési időben (m³/h), a) normál és b) szakaszos fakitermelés.

Terület	1a	1b	2a	2b	3a	3b	4a	4b	5a Ha-	5b Ha-
	<i>Profi</i>	<i>Profi</i>	<i>Profi</i>	<i>Profi</i>	<i>Profi</i>	<i>Profi</i>	<i>Profi</i>	<i>Profi</i>	<i>ladó</i>	<i>ladó</i>
	<i>CS-B</i>	<i>CS-B</i>	<i>CS-B</i>	<i>CS-B</i>	<i>GY-B</i>	<i>GY-B</i>	<i>CS</i>	<i>CS</i>	<i>EF-GY</i>	<i>EF-GY</i>
Átlag	27,3	25,2	24,8	14,8	26,9	18,9	30,5	21,5	39,6	27,0
Medián	24,9	23,0	24,2	13,8	22,2	19,1	27,3	17,5	28,6	16,7
Alsó kvartilis	16,9	16,9	16,5	10,6	15,8	12,8	19,5	13,5	17,3	14,1
Felső kvartilis	32,9	28,5	34,1	18,3	30,9	27,1	39,4	29,0	51,3	40,5



3. ábra: Teljesítmény döntési időben, területenként és gépkezelőnként.
a) normál fakitermelés, b) szakaszos fakitermelés

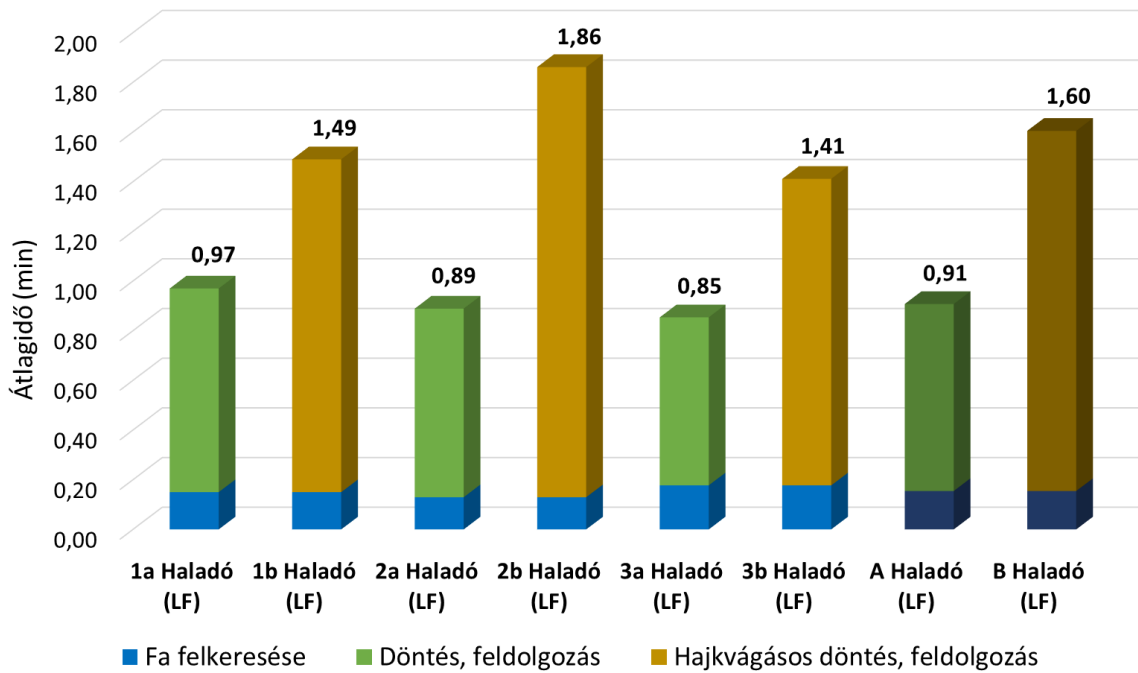
Hajkvágásos és normál fakitermelés összehasonlítása

A gépkezelőnek hajkvágást kellett végrehajtania a faanyag védelme, ill. a minél magasabb értékkihozatal érdekében, olyan alkalmakkor, amikor a kitermelendő faegyed nagy terpeszsel rendelkezett, ezáltal a tőátmérő meghaladta a vágószerkezet hosszát. A4. ábrán látható, hogy ez a minden szempontból helyes gazdálkodói elvárás hogyan befolyásolta a fakitermelések időszükségletét. Átlagidők tekintetében a hajkvágásos fakitermelés végrehajtása 53,6%-kal, 109,4%-kal, ill. 65,3%-kal (átlagban 76,8%-kal) növelte a kitermelési időt.

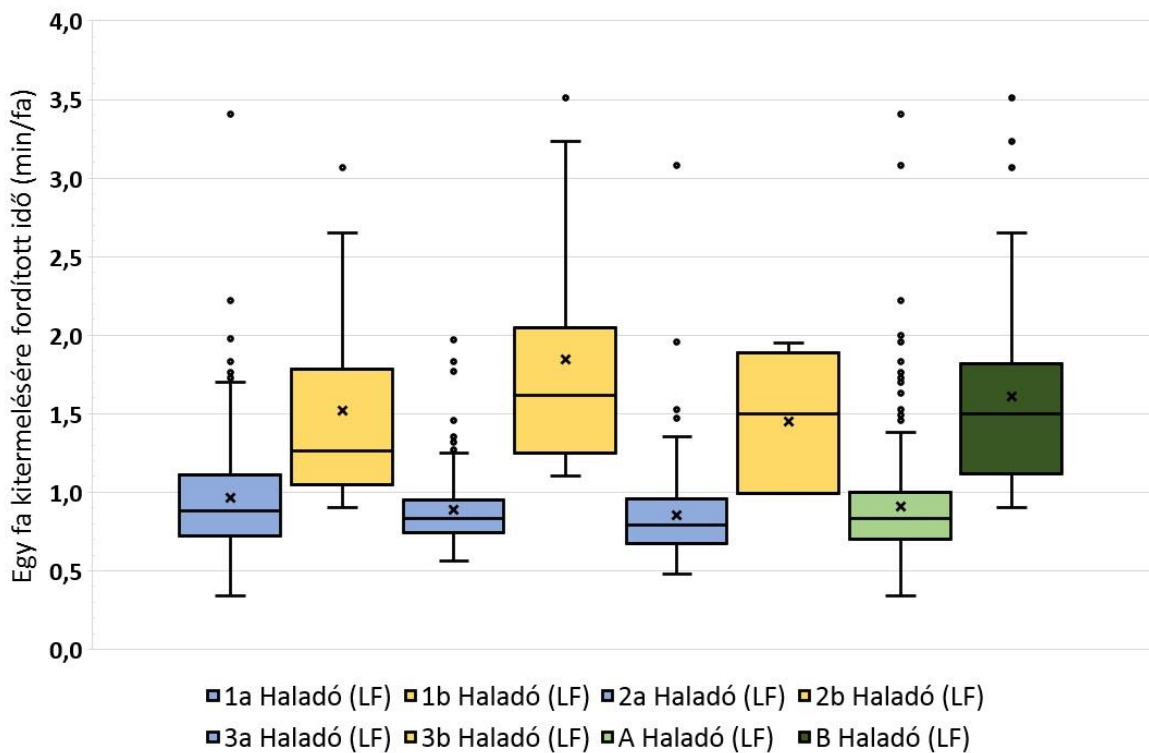
Ha a fák kitermelésére fordított időadatokat eloszlását vizsgáljuk (5. ábra), láthatjuk hogy a két fakitermelési mód időszükségletének interkvartilis adatai jelentős mértékben eltérnek egymástól. Normál fakitermelés esetében az interkvartilisen belüli szórás is sokkal kisebb (0,25 - 0,50 min), mint a hajkvágásos fakitermelés (0,5 - 1,0 min) esetében. Mindezt a hajkvágás kialakításához szükséges precíz és összetett gépirányítási mozdulatsorok időigénye eredményezi. A szakaszos fakitermelési módhoz hasonlóan itt is meghatározásra kerültek a teljesítmény adatok, döntési időben (6. ábra). A normál fakitermelések teljesítményének átlagai, mediánjai, ill. interkvartilis értékei rendre nagyobb értéket mutatnak, kisebb szórással, mint a hajkvágásos fakitermelés ezen adatai (2. táblázat).

2. táblázat: Teljesítmény döntési időben (m^3/h), a) normál és b) hajkvágásos fakitermelés.

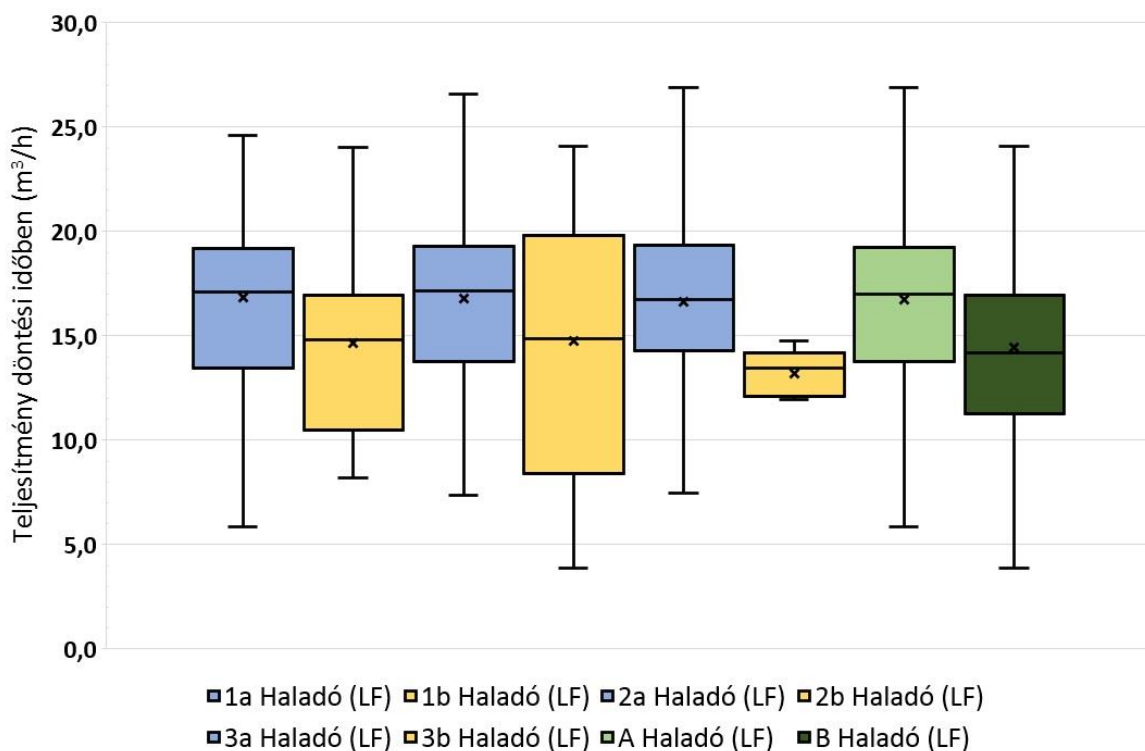
Terület	1a LF	1b LF	2a LF	2b LF	3a LF	3b LF	A LF	B LF
Átlag	16,9	14,6	16,8	14,7	16,6	13,2	16,8	14,5
Medián	17,1	14,8	17,2	14,9	16,8	13,4	17,0	14,2
Alsó kvartilis	13,5	10,5	13,8	8,4	14,3	12,1	13,8	11,3
Felső kvartilis	19,2	17,0	19,3	19,8	19,3	14,2	19,2	17,0



4. ábra: Egy fa kitermeléséhez szükséges átlagos időfelhasználás, területenként és együttesen.
 a) normál fakitermelés, b) hajkvágásos fakitermelés



5. ábra: Egy fa kitermelésére fordított idők eloszlása, területenként és együttesen.
 a) normál fakitermelés, b) hajkvágásos fakitermelés



6. ábra: Teljesítmény döntési időben, területenként és együttesen.
a) normál fakitermelés, b) hajkvágásos fakitermelés

Vizsgálati eredmények értékelése, megvitatása, következtetések

A kutatás során megvizsgált három fakitermelési mód közül, a várakozásainknak megfelelően a hosszú évtizedek során kialakult „szokványos” módszer bizonyult a legtermelékenyebbnek. Természetesen a másik két módszer sem elvetendő, mert mint láttuk előfordulhatnak olyan esetek, amikor a normál munkamenettől szükségszerű eltérni. De ilyen esetekben számolni kell a teljesítmény csökkenéssel (15-30%) és a fakitermelési költségek növekedésével.

Köszönetnyilvánítás: A kutató munka a „Fenntartható Nyersanyag-gazdálkodási Tematikus Hálózat – RING 2017” című, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 jelű projekt részeként a Szechenyi2020 program keretében az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

Irodalomjegyzék

- ÁCS P. – OLÁH A. – KARAMÁNNÉ PAKAI A. – RAPOSA L. (2014) : Gyakorlati adatelemzés. Pécsi Tudományegyetem Egészségtudományi Kar; Pécs; ISBN 978-963-642-682-8; 280 p.
- HORVÁTH A. L. – SZNÉ. MÁTYÁS K.– HORVÁTH B. (2012): Investigation of the Applicability of Multi-Operational Logging Machines in Hardwood Stands. Acta Silvatica et Lignaria Hungarica Vol. 8, Magyar Tudományos Akadémia Erdészeti Bizottsága, Sopron, ISSN 1786-691X, pp 9-20.
- HORVÁTH A. L. (2015): Többműveletes fakitermelő gépek a hazai lombos állományok fahasználatában. NYME EMK EMKI, Doctoral (PhD) dissertation, Sopron, 180 p.
- RUMPF J. (SZERK.), HORVÁTH A. L., MAJOR T., SZAKÁLOS NÉ MÁTYÁS K. (2016): Erdőhasználat, Mezőgazda Kiadó, Budapest, ISBN:9789632867199, 390 p.

A ROSTIRÁNYBAN TÖMÖRÍTETT FAANYAG ZSUGORODÁS-DAGADÁSÁNAK VIZSGÁLATA

HORVÁTH BÍBOR JÚLIA, NÉMETH RÓBERT, BÁDER MÁTYÁS

Soproni Egyetem, Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi és Művészeti Kar, Faanyagtudományi Intézet, bader.matyas@uni-sopron.hu

Bevezetés

Az íves elemekre való igény évezredek óta jelen van a bútorgyártásban. Az egy elemből készült íves tömörfa alkatrészek gyártásánál régóta ismert a gőzöléses hajlítás. Ennek az ipari alkalmazását, és a sorozatgyártásra alkalmas technológiáját Thonet fejlesztette ki a 19. század közepén. Innentől kezdve volt jelentősége az iparban és a nagy sorozatgyártásban a hajlítható faanyagoknak és az ebből készült termékeknek. Ennél az eljárásnál a faanyagot gőzölik, vagy főzik, ennek hatására fellágyul, így könnyebben alakíthatóvá válik az anyag. Sablonba rögzítve a kihülést követően pedig megtartja a kívánt formát. A technológia hátránya, hogy a faanyag csak kb. 80 °C feletti hőmérséklet tartományban alakítható, a kihülést követően elveszíti formálhatóságát. Mivel a hajlított faanyagból készült termékekre nagy igény mutatkozott, szükségessé vált a technológia fejlesztése, egyszerűsítése, új technológiák kidolgozása, hosszabb ideig alacsonyabb hőmérsékleten is formálható, kisebb erővel, egyszerűbb eszközökkel hajlítható alapanyag létrehozása. Ezekkel a tulajdonságokkal leginkább a rostirányban tömörített faanyag és megmunkálási technológiája rendelkezett, a 20. század elején szabadalmaztatták. Ezt követően folyamatos fejlesztések történtek, de az alapelv nem változott. A rostirányban tömörített faanyag ipari alkalmazását a megfelelő gép elkészítése tette lehetővé, a Thonet technológia megjelenése után közel másfél évszázaddal.

Elsősorban a keménylombos fafajokon szokták alkalmazni ezt a faanyagmodifikációs eljárást. A vizsgált lágylombos fafajok kevésbé vagy nem alkalmasak, illetve kevés kutatási anyag áll rendelkezésre ezek tömöríthetőségéről. A fafajok közül tömörítés szempontjából egyértelmű kivételeket képeznek a fenyők. Fenyők nem tömöríthetők, ugyanis a korai pászták tracheidái hajlamosak a mikro-kihajlásra és szálkiszakadásra így tömörödés helyett az anyag tönkremenetele következik be (IVÁNOVICS, 2012). Az iparban tömörítés és hajlítás szempontjából leginkább a bükknek van jelentős szerepe, de az adott faanyagmodifikációs eljárás mind gyűrűs, mind szórtlikacsú fafajokon alkalmazható. Annak érdekében, hogy a kutatás mind két csoportra nézve reprezentatív értékű legyen a vizsgálatok tölgy faanyagon is el lettek végezve. A tömörítésre szánt anyagnak a fafajon kívül számos minőségi követelménynek kell megfelelnie. Ezt a faanyagmodifikációs eljárást kizárólag hibamentes alapanyagon lehet megfelelő minőségben elvégezni. Ennek oka először is maga a tömörítés. Ha a faanyag rostlefutása nem közel párhuzamos a tömöríteni kívánt anyag oldalival, akkor a tömörítés során a faanyag szálirány mentén elhasadhat, vagy a későbbiekben a hajlítás során következhet be szálkiszakadás. Kismértékű ferdeszálúság megengedett, ennek értéke 7°, e mellett még elvégezhető a faanyag tömörítése és hajlítása megfelelő minőségben. Továbbá kizáró tényező az egyenetlen rostszerkezet, ugyanis ez egyenetlenül tömörödik, így a késztermék hajlíthatósága eltérő lehet a hossz mentén. A kismértékű tűgöcsösség a faanyag tömöríthetőségét nem befolyásolja, viszont a hajlítás során töréshez vezethet. Az álgesztesség jelentősen korlátozza a tömöríthetőséget, ráadásul mivel magas hozzáadott értékű termékről van szó, így se ez, se más esztétikai hibák nem megengedhetők. Fontos tényező továbbá a kezelni kívánt faanyag nedvességtartalma. A tömöríteni kívánt alapanyagnál a legideálisabb a frissen kitermelt, élőnedves állapot, de alacsonyabb kiindulási nedvességtartalmú anyag is tömöríthető. Minimálisan szükséges a kezelni kívánt fűrészáru minden pontján a 16%-os kiindulási nedvességtartalom (KUZSELLA ET AL., 2011). A nedvességtartalomnak mind a tömörítésnél, mind pedig a tömörítést megelőző kezelés során komoly jelentő-

sége van. A tömörítést megelőzően a faanyagot plasztifikálni kell. Ez a tömörítési technológiánál jellemzően gőzöléssel történik. A faanyag csak megfelelő nedvesség jelenlétében plasztifikálható. Ehhez nem elég a gőz jelenléte, szükséges, hogy a faanyagban is megfelelő mennyiségben és formában legyen jelen a víz. A víz a fában négy formában lehet jelen. Szabad víz, ami a sejttöregeket folyadék formájában töltheti ki, vízgőz formájában szintén a sejttöregekben, kötött víz mely a sejtfalakban kötődik, ez szárítással eltávolítható, illetve a faanyag kémiai alkotórészeihez kapcsolódó víz (NÉMETH, 2002). Azt a pontot, amikor a faanyagban levő kötött víz eléri a maximumát, de szabad víz még nem jelenik meg, rosttelítettségi pontnak nevezik. A tömörítés során a faanyagnak rosttelítettségi állapot közelében kell lenni, ellenkező esetben előfordulhat, hogy nem megfelelően tömöríthető. A tömöríteni kívánt faanyag a tömörítést megelőzően a rostlágtyítás szempontjából megegyezik a Thonet-technológiánál használt alapanyaggal. Az ehhez szükséges időt befolyásolja a fafaj, annak a nedvességtartalma, és legnagyobb mértékben a kezelni kívánt faanyag mérete, elsősorban a keresztmetszete. A gőzölés során a cél az, hogy a teljes keresztmetszet egyenletesen átmelegedjen, és plasztifikálódjon. A gőzölést követően a faanyag tulajdonságai megváltoznak, a megfelelő hőmérsékletet fenntartva képes elviselni látható szerkezeti károsodás nélkül a rostirányú összenyomást. A plasztifikálás szempontjából a fában levő lignin a legfontosabb, de szerepet játszanak a hemicellulózok is. A lignin a faanyagban a sejtek közti részt tölti ki, ez alkotja az ún. közléplemet. A lignin szerepe a faalkotók összekapcsolása, illetve a faanyag merevségéért felelős. A lignin a sejtfal legkülső részéhez csatlakozik. A kötést a kristályos szerkezetű cellulóz és az amorf szerkezetű lignin közt a sejtfal külső részét alkotó hemicellulózok biztosítják. A gőzölés során a lignin és a többi elem közti kötések felbomlanak. Ez teszi lehetővé, hogy a faanyag hajlítható és tömöríthető, rostjai el tudnak mozdulni egymás mellett, majd lehűlve újra rögzülnek. A faanyag maximális plaszticitását 25-30% nedvességtartalom és min 70-80 °C hőmérséklet mellett éri el, miközben az alkotók degradációja minimális.

A tömörítési folyamat során a faanyag csak hossz mentén változik, a keresztmetszete állandó, vagy a változás mértéke elhanyagolható. A fellágyított faanyag rostjai elmozdulnak egymás mellett, illetve a sejtfalak harmonika-szerűen meggyűrődnek. Ezzel a higro-termo-mechanikus faanyagmodifikációs eljárással többféle, előre tervezhető tulajdonságú anyag állítható elő. A legkézenfekvőbb változtatások a tömörítés mértéke, illetve a tömörítést követő nyomvatartás ideje, az az a fixálási idő módosítása. Természetesen a tömöríthetőségnek fizikai korlátai vannak. Az általánosan elfogadott tömörítési arány 20%, ezen az értéken a faanyag az anizotróp tulajdonságai ellenére is minden részen egyenletes változásokat szenved bükk és tölgy fafaj esetében is. Ettől eltérni természetesen lehetséges, attól függően, hogy milyen tulajdonságú anyagot szeretnénk előállítani, vagy hogy milyen fafajjal dolgozunk. A maximális tömöríthetőség jellemzően 30-32%. A fixálási idő változtatásával a faanyag végleges alakváltozása, azaz visszaruhozása szabályozható. Kezeletlen bükk faanyag esetében a hajlítási viszonzyszám értéke 1:15. Ez 23%-os tömörítés esetén 1:5-re javítható, majd ezt az anyagot 80 °C-os hőmérsékleten megmunkálva 1:4 értéket kapunk (BÁDER, 2015). Ez szépen reprezentálja a hajlíthatóság növekedését a rostirányú tömörítés hatására.

Anyagok és módszerek

A zsugorodás-dagadás vizsgálatot tölgy és bükk faanyagon hajtottuk végre. Ezeket a fafajokat gyakran alkalmazzák hajlításra és tömörítésre. A bükk szórt-, a tölgy gyűrűs likacsú fafaj, így mind két csoport esetében vizsgálható a zsugorodás-dagadás változása a rostirányú tömörítés hatására. A vizsgálat a vonatkozó ISO és magyar szabványok iránymutatásai alapján történt. A vizsgálat során kétfajta tömörítési módszerrel készült próbatestek zsugorodását és dagadását viszonyítottuk a kezeletlen, illetve gőzölt faanyagéhoz. A tömörítési módszerek a korábban már ismertetett tömörített, illetve tömörített-fixált alapanyagot eredményezték. A tömörítés mértéke

mindkét esetben 20 % volt. A tömörített minták az összenyomást követően egy percet lettek nyomva tartva, ennek megfelelően a faanyag a nyomás megszűnése után nagymértékben viszarugózott. A tömörített-fixált minták esetében a fixálási idő lényegesen hosszabb, 18 óra volt. Ebben az esetben a végleges alakváltozás nagyobb.

A tömörítést 200 mm hosszú, $30 \times 20 \text{ mm}^2$ kiindulási méretekkel rendelkező élőnedves anyagon végeztük. Ennek megfelelően csak kisméretű próbatestek gyártására volt lehetőség a zsugorodás-dagadás vizsgálatához. A vizsgálat során több perióduson keresztül történt a próbatestek szárítása, majd klimatizálás 20°C és 65% relatív páratartalom mellett, majd végül desztillált vízben történő áztatása. A kapott értékekből lett meghatározva a különböző periódusokhoz tartozó zsugorodás és dagadás százalékos értéke. A faanyag anizotróp tulajdonságainak mérséklése céljából a próbatestek ugyanannak a rönknek azonos szakaszából készültek. Ez biztosítja, hogy a mérések során a kezeléssel adódó változás játssza a legnagyobb szerepet.

Korábbi vizsgálatok rámutattak, hogy a tömörített faanyag nedvesség hatására igyekszik felvenni az eredeti alakját (BÁDER, 2015). Ebből adódik, hogy a maximális alakváltozása longitudinális irányban lényegesen megnő. A zsugorodás-dagadás növekedését befolyásolja a fixálási idő, ami a végleges alakváltozással van összefüggésben. Tehát a tömörített-fixált faanyag alakváltozása a legnagyobb a vizsgált anyagok közül, de az egyperces fixálással készült tömörített faanyag esetében is igen jelentős különbségek figyelhetők meg a kezeletlen faanyag rostirányú alakváltozásához képest.

Eredmények és értékelés

A tömörítés hatására a faanyag számos tulajdonsága nagymértékben megváltozik. A szilárdsági értékek, a mikro- és makroszkopikus jellemzők megváltozásán túl a faanyag fizikai tulajdonságai is módosulnak. Különös jelentőséggel bír a fa és a víz kapcsolata, mely kezeletlen faanyag esetében is komoly szerepet tölt be. A fa, mint anizotróp anyag a nedvesség hatására a rosttelítettségi határ alatt az anatómiai irányoknak megfelelően eltérő mértékben változik. Legnagyobb alakváltozással a tangenciális, majd a radiális, végül a longitudinális irány rendelkezik; az alakváltozások százalékos értéke ugyanebben a sorrendben bükk faanyag esetében 11,8%; 5,8%, és 0,3%, míg tölgnél 7,8,-10,0%; 4,0-4,6% és 0,4% (MOLNÁR, 1999).

A kezelések hatására a faanyag zsugorodás-dagadása az anatómiai irányokban eltérő mértékben változott meg. A bükk és a tölgy esetén megfigyelhetők különbségek, a zsugorodás és a dagadás azonos jelleget mutat a keresztirányú változások terén az adott fafajokon belül. Mindkét fafaj esetében a tömörítés hatására azonos változások történnek a faanyagban. A kezelések hatására a faanyag keresztirányú zsugorodása és dagadása csak kismértékben változik.

A bükk faanyag radiális irányú zsugorodása és dagadása azonos változásokat mutat a különböző kezelésekre hatására. A kezeletlen minta zsugorodás-dagadása az irodalmi értéknek megfelelően, vagy azonos azzal, vagy kicsit kisebb. Legnagyobb értékkel minden esetben a gőzölt faanyag rendelkezik, ezt követi a tömörített, majd a kezeletlen. Legkisebb értékkel a tömörített-fixált faanyag rendelkezik. A ciklusok során a mintatesetek értékei növekvő tendenciát mutatnak, de eltérő mértékben. Ebből adódik, hogy a ciklusok végére a tömörített-fixált faanyag dagadása megegyezik a kezeletlen faanyag értékével, illetve zsugorodás esetén is megközelíti azt. A bükk faanyag tangenciális irányú változása a radiális irányhoz hasonló. A kezeletlen minta értéke kicsit meghaladja, vagy egyenlő a 11,8%-os irodalmi értékkel. A negyedik mérési ciklusban a kezeletlen minta értéke 12,1%. Itt is a gőzölt faanyag rendelkezik a legnagyobb értékkel a mérések során, ezt pár tizedszázalékos eltéréssel a tömörített faanyag követi, majd a kezeletlen és a tömörített-fixált. Ebben az esetben a fixált faanyag értéke nem éri el a kezeletlen minta értékét, illetve az első ciklus során jelentősebb a tömörített fixált minta eltérése a kezeletlentől. A ciklusok során a próbatestek értékei a 9,7% és 13,0% közti tartományba esnek.

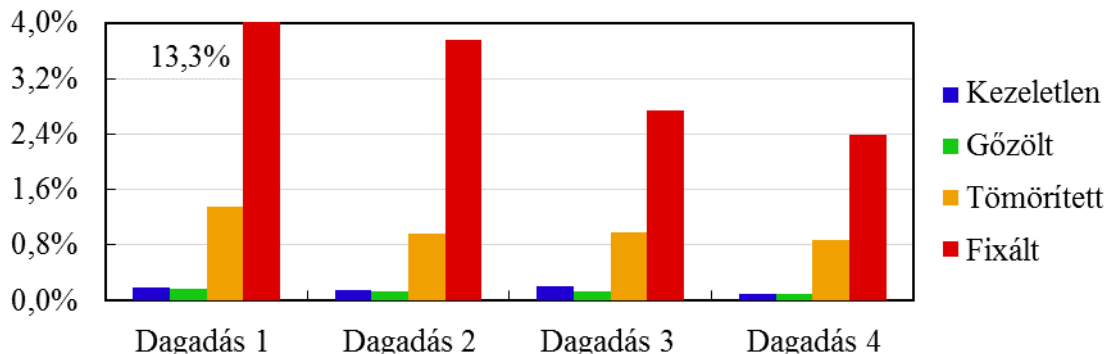
A tölgy faanyag esetében hasonló változások figyelhetők meg. Jelentős különbség, hogy itt a gőzölés hatásra a faanyag zsugorodása és dagadása nem növekszik, hanem csökken. A kezeletlen faanyag radiális irányú változása minden esetben pár százalékkal meghaladja a 4-4,6%-os irodalmi értéket. Tölgynél a mérési ciklusok során a tömörített és a kezeletlen faanyag rendelkezik a legnagyobb zsugorodással és dagadással. Pár esetben a tömörített minta értéke meghaladja a kezeletlen faanyagét, vagy egyenlő azzal.

Tölgynél a faanyag tömörítése és fixálása nagyobb mértékű változást eredményez, mint a bükknél. Az első ciklus során a kezeletlen minta értékének majdnem felére csökken, míg bükk esetén csak kicsit több, mint 10%-os csökkenés figyelhető meg. A tömörített fixált faanyag esetében egyértelműen látható, hogy a faanyag rostirányú tömörítése csökkenti a faanyag zsugorodását és dagadását az adott anatómiai irányban. A ciklusok során a bükkhöz hasonlóan a kezeletlen és a tömörített-fixált minta értéke közti különbség csökken, de itt a negyedik ciklusban is jelentős eltérés van a két érték között.

A tangenciális irány változása a bükkhöz hasonlóan leköveti az adott fafaj radiális irányú változásait. Itt is a tömörített fixált minták esetében nagyobb a változás a kezeletlen mintákhoz viszonyítva. A tömörített-fixált minta az első ciklus során kevesebb mint fele akkora változással rendelkezik, mint a kezeletlen faanyag. A periodikus áztatás hatására ez az érték szintén növekszik, közel 30%-ot a negyedik ciklus végére.

A longitudinális irány zsugorodásának és dagadásának változása a kezelések hatására a keresztirányok változásához képest jóval intenzívebb, és a periódusok során is jelentős változások figyelhetők meg. A radiális irányok vizsgálatánál a zsugorodás és a dagadás azonos jelleget mutatott, ebben az esetben ez nem mindig egyértelmű.

A bükk faanyag longitudinális irányú dagadásánál igen jelentős a különbség a tömörített és a kezeletlen minták értékei között (1. ábra).



1. ábra Kezeletlen és különböző módon modifikált bükk faanyagok dagadása több mérési cikluson keresztül

Ebben az esetben a gőzölés nem okoz látható változást. A tömörített és tömörített fixált anyag dagadásának nagysága közt szintén jelentős a különbség.

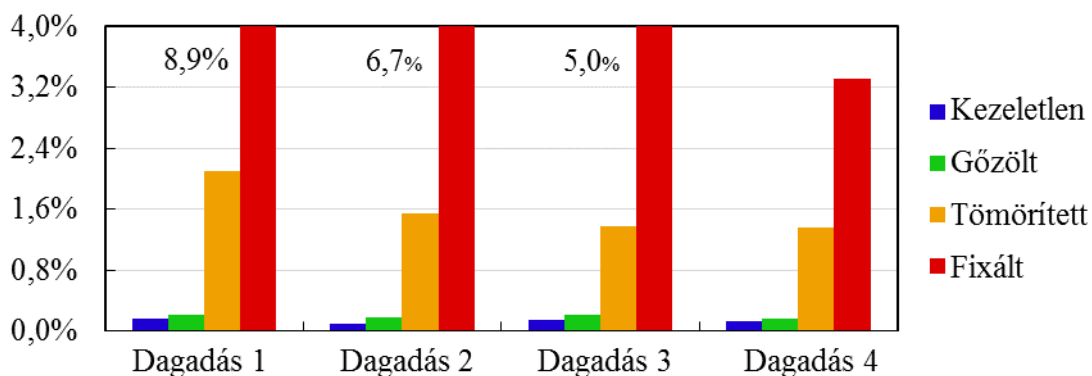
A kezeletlen faanyag értékei minden esetben a 0,3%-os irodalmi érték alatt maradnak. A tömörített és tömörített-fixált minták értékei jelentősen meghaladják a kezeletlen minták értékeit. A tömörített fixált faanyag az első ciklus során hatvanhat és félszeres dagadási értékkel haladja meg a kezeletlen faanyagét. A kezeletlen próbatest értéke ebben az esetben 0,2%, a fixált faanyagé 13,3%. Ez a periodikus áztatás-szárítás hatására az első ciklusban jelentősen csökken, majd a változás nagysága jelentősen mérséklődik. A tömörített faanyag dagadása a mérési ciklus elején hétszerese a kezeletlen faanyag dagadásának. Ezek a különbségek a mérési ciklusok végére mérséklődtek, de a negyedik ciklus során sem tekinthető semmiképpen sem jelentéktelennek. Ebben az esetben megfigyelhető, hogy pár ciklus után állandó értékre kezd beállni a dagadás értéke. A negyedik ciklus végén a tömörített faanyag kilencszer nagyobb dagadással

rendelkezett, mint a kezeletlen minta, a tömörített-fixált faanyag pedig huszonkétszeresen haladta meg a kezeletlen minta értékét.

A bükk longitudinális irányú zsugorodása más jelleget mutat, mint a dagadás, de bizonyos mértékben itt is nyomon követhető az alakváltozás mérséklődése. A kezeletlen minta longitudinális zsugorodás értékei itt is minden ciklusban az irodalmi érték alatt maradtak, vagy legfeljebb azzal voltak egyenlőek. A tömörített-fixált bükk faanyag zsugorodása egy esetben sem ad olyan kiugró értékeket, mint amilyeneket a tömörített-fixált, vagy csak tömörített faanyag dagadása adott. Az első érték 2,2% a második 1,6% a harmadik 2,4% a negyedik ciklusban mért adat 1,9%. Ebből jól látszik, hogy nincs egyértelmű mérséklődés a vizsgált ciklusokban. A zsugorodás értéke a dagadáshoz képest nem nagy, viszont a legjobb esetben is több mint ötszöröse a kezeletlen faanyagénak.

A tömörített faanyag esetében megfigyelhető a periódusok során a zsugorodás-dagadás fokozatos mérséklődése. A vizsgált ciklusok során 1,2%-ról 0,8%-ra csökken a zsugorodás. A ciklus elején a dagadáshoz hasonlóan nagyobb mértékű a változás. Az utolsó két ciklus eredménye alapján azt lehet mondani, hogy egy állandó értéket közelít.

A tölgy próbatestek lineáris irányú dagadása a bükkéhez hasonló tendenciát követ. A tömörített minták eredményei itt is csökkenő tendenciát követnek. A különbség mind a kezeletlen mintákhoz, mind az irodalmi értékekhez viszonyítva igen nagy. A kezeletlen faanyag változásai itt is megfelelnek az irodalmi értéknek (2. ábra).



2. ábra Kezeletlen és különböző módon modifikált tölgy faanyagok dagadása több mérési cikluson keresztül

Érdekes párhuzam, hogy a kezeletlen faanyag esetében a tölgy rendelkezik nagyobb longitudinális irányú dagadással, a tömörített fixált minták esetében ez megváltozik. A bükk a vizsgálat elején 13,3%-os dagadással rendelkezik, míg a tölgyé 8,9% volt.

A tömörített minták esetében a bükkhöz hasonlóan szintén lekövethető a fokozatos csökkenés. A ciklus elején a legnagyobb érték 2,1%. Ez tíz és félszerese a kezeletlen minta értékének. A negyedik ciklusra ez az érték 1,4%-ra csökken. Itt a harmadik és negyedik ciklus értéke azonos. A tölgy minták longitudinális zsugorodási értékei a ciklusok során hasonló tendenciát mutatnak a bükkéhez. A ciklusok elején van egy lényegesen alacsonyabb érték. A változások a ciklusok során nem követnek egyértelműen leírható tendenciát. A legnagyobb zsugorodás fixált faanyag esetén 3,5%. A tömörített faanyag esetében a bükkhöz hasonlóan megfigyelhető a csökkenő tendencia, de a változás mértéke nem olyan nagy, mint a dagadása esetén. Itt a negyedik ciklusra 1,6%-ról 1,2%-ra csökken a tömörített tölgy faanyag longitudinális irányú zsugorodása.

Az ismert adatok egyértelműen rámutatnak a rostirányban tömörített faanyag alakváltozásaival kapcsolatos problémákra. Az alkalmazott kezelések az eltérő anatómiai irányokban eltérő változásokat eredményeznek. A radiális és tangenciális irányú zsugorodás-dagadás változása nem tekinthető jelentősnek a periodikus áztatás során a kezeletlen faanyagéhoz képest. Ez a változás sem felhasználás sem egyéb szempontból nem okoz problémát, hiszen az eltérés ebben

az esetben nem nagy, illetve a faanyag anizotrop tulajdonságainak köszönhetően azt lehet mondani, hogy közel megfelelnek az irodalmi értékeknek. Ennek ellenére a kezelések hatására bekövetkező változások jól nyomon követhetők a kezelések típusainak megfelelően mind két fafaj esetében.

A longitudinális változások nagysága a kereszt irányú változásokkal ellentétben igen jelentős. Itt az alkalmazott faanyagmodifikációs eljárástól függően a kezelés akár két nagyságrenddel is megnövelheti a faanyag hosszirányú dagadását az első mérési ciklus során. A longitudinális irányú változások vizsgálata egyértelműen rámutat arra, hogy a tömörített faanyagok zsugorodás-dagadása nem jellemezhető egy százalékos értékkel, hanem a folyamat teljes egészét szükséges figyelembe venni.

A mérési ciklusok során a tömörített faanyagok longitudinális irányú zsugorodása és dagadása jelentősen változik. Megfigyelhető főleg a tömörített faanyag esetében, hogy a zsugorodás és dagadás értéke a mérési ciklusok során mérséklődik, egy konstans értékhez tart. Ez arra enged következtetni, hogy a tömörített és tömörített-fixált faanyag kellő számú mérés esetén egy közel állandó értékre állna be. A faanyag a legnagyobb változásokat a ciklusok elején produkálta. Ez a longitudinális irány vizsgálatánál egyértelmű, de a kereszt irányok esetében is többnyire lekövethető. Az, hogy a faanyag keresztirányban kisebb zsugorodási és dagadási értékekkel rendelkezik, mint a kezeletlen faanyag arra enged következtetni, hogy a gyűrődött rostoknak köszönhetően az alakváltozás, ami normál esetben a kereszt irányba menne végbe, megjelenik a longitudinális irányban is.

A radiális és tangenciális értékek növekedése, illetve a longitudinális értékek csökkenése a periodikus áztatás hatására egyértelműen azt mutatja, hogy a faanyag eredeti állapotát igyekszik megközelíteni, ennek megfelelően longitudinális irányban rendkívül nagy alakváltozásokra képes. A dagadáshoz viszonyítva alacsony értékek a longitudinális zsugorodási ciklusok esetében szintén ezt támasztják alá. A faanyag visszarugózik. Ez nem csak a hosszirányú változásra igaz, hanem a hajlított elemekre is.

A bükk és a tölgy faanyag eredményei közötti eltérések az adott fafajok tulajdonságaiból adódnak. A tömöríthetőség fafajra jellemző, így más fafajok modifikálása okozhat kismértékű eltéréseket. Ennek ellenére nyomon követhető, hogy a nagy mértékű maradandó alakváltozással járó kezelések esetén mindkét fafaj esetében ugyanazt a változást okozza a faanyag tömörítése és fixálása.

Magas hozzáadott értékű alapanyagról van szó, így a kültéri alkalmazására nem valószínű, hogy sor kerülne, tehát a felhasználás során szélsőséges körülményeknek feltehetően nem lesz kitéve az anyag, viszont a tömörített faanyag a környezet nedvességtartalmára is reagál, ennek megfelelően a levegőben levő párára is, ami eltérő gyártási és beépítési klíma esetén problémát okozhat. A faanyagnak ez a tulajdonsága kezeletlen faanyagok esetében nem jelent gondot, hiszen a hosszirányú zsugorodása kicsi, a keresztirányok változásaiból adódó nehézségek kiküszöbölésére pedig ismertek a megfelelő szerkezeti felépítések mind a bútort, mind az építőipar területén.

A rostirányú tömörítés a faanyag több tulajdonságát is megváltoztatja, nedvesség jelenléte mellett plasztikusabbá, alakíthatóvá, hajlíthatóvá teszi. A forma megtartásának feltétele, a faanyag szárítása. A nedvesség felvételével a fa ismét plasztikusabb jelleget kezd felvenni, ebből adódik, hogy a formatartósság érdekében célszerű lehet további kutatásokat folytatnia a tömörített faanyag nedvességre való érzékenységének csökkentése terén. Mivel a nedvességfelvételnek köszönhető a faanyag zsugorodása és dagadása, így minden olyan kezelés eredményre vezető lehet, amely csökkenti a faanyagban jelen levő szabad hidroxil csoportok számát, ezzel növelve és megkönnyítve a tömörített faanyagok felhasználhatóságát.

Következtetések

A rostirányú tömörítés célja, hogy a faanyag könnyebben hajlítható és formázható legyen. Ennek megfelelően ez a faanyag modifikációs eljárás a faanyag számos tulajdonságát módosítja. A szilárdsági értékek jelentős változása mellett nagymértékben módosul a faanyag longitudinális irányú zsugorodása- és dagadása is. A cikk témája ennek bemutatása. A vizsgálatokat két fafajon lettek elvégezve, bükkön és tölgyön. Az ipari faanyag hajlítás tekintetében csak a bükk rendelkezik jelentősebb szereppel, viszont a rostirányú tömörítés több fafajon is elvégezhető, így a tölgy vizsgálatával jellemezhető a gyűrűs likacsú fafajokra gyakorolt hatása is a kezeléseknek.

A rostirányú tömörítés hatására a faanyag longitudinális irányú zsugorodása és dagadása megnő, illetve a zsugorodás és dagadás értékei nem egyeznek meg az adott anatómiai irány esetén. A vizsgálatok eredményei rámutattak, hogy a tömörített faanyag periodikus áztatás és szárítás hatására nagy mértékben növekszik hosszirányban, ennek megfelelően a longitudinális irányú dagadása a mérési ciklusok elején igen magas, akár 10%-ot meghaladó értéket is felvehet, ami negatívan befolyásolja a felhasználhatóságát.

Köszönetnyilvánítás: A publikáció elkészítését az EFOP-3.6.2-16-2017-00018 („Termeljünk együtt a természettel - az agrárerdészet mint új kitörési lehetőség”) projekt támogatta a Széchenyi2020 program keretében. A projekt megvalósítását az Európai Unió támogatja, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával.

Irodalomjegyzék

- BÁDER M. (2015): Faanyag rostirányú tömörítésével kapcsolatos elméleti és gyakorlati kérdések áttekintése 1. rész: Az alapanyagok és előkészítésük, a tömörítés elmélete. *Faipar.* 63(1): 1-9. DOI: 10.14602/ WOODSCI.2015.1.8
- BÁDER M. – NÉMETH R. (2018): The effect of the relaxation time on the mechanical properties of longitudinally compressed wood. *Wood Research* 63(3): 383–398.
- IVÁNOVICS G. (2012): A nyomott faanyag alakváltozási folyamata. Kézirat. Kecskeméti Főiskola, Kecskemét, 6 p.
- KUZSELLA L. – BÁRCZY P. – SZABÓ I. (2011): Ősi anyag új feldolgozása, avagy tömörített fából energiatároló rugó. *Bányászati és Kohászati Lapok* 144(2): 40-41.
- MOLNÁR S. (1999): Faanyagismeret. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest, 467 p.
- NÉMETH R. (2002): A hidrotermikus kezelés hatása az akác faanyagának szorpciós tulajdonságaira. Doktori disszertáció. Nyugat-Magyarországi Egyetem, Sopron, 105 p.

NAGYVADÁLLOMÁNY VAGYON-KEZELÉSÉNEK ELEMZÉSE AZ ORSZÁGOS VADGAZDÁLKODÁSI ADATBÁZIS ÁLLOMÁNYBECSLÉSI ÉS ELEJTÉSI ADATAINAK TÜKRÉBEN

KAPOCSI GERGELY, HORVÁTH SÁNDOR, LÁSZLÓ RICHÁRD

Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Vadgazdálkodási és Gerinces Állattani Intézet
kapocsi.gergely@phd.uni-sopron.hu

A pénzben kifejezhető érték csupán egy életlen lenyomata annak a színes és részletgazdag világnak, mely kutatásunk tárgya. A vagyone értékkel azért fontos foglalkoznunk, hogy – legalábbis ebben a vonatkozásban – pontosabb képet kapjunk arról, hogy mekkora érték van kezünkben és ennek tudatában igyekezzünk felelősen gondolkodni és gazdálkodni. Kutatásunkban arra próbálunk választ kapni, hogy a vadállomány értékére vonatkozóan a különböző értékelési módszerek alkalmazásával hogyan határozható meg az eszmei érték, illetve a forgalmi érték, valamint ezen értékek hogyan viszonyulnak egymáshoz.

Bevezetés

*„Hiszen enyém az erdő minden vadja, és ezernyi hegynek minden állata.
Ismerem a hegyek minden madarát, enyém a mező vadja is.”
/Zsoltárok könyve 50./*

A vagyone kezelés az állami vagyone (vadállomány) hasznosításának speciális módja, amelynél a vagyone-változással (létszámváltozás) és a hasznosítás bevételeivel (jövedelmével) is el kell számolni. A vadállomány sajátos vagyonelem (ökoszisztéma szolgáltatásokkal, állami nyilvántartással, tervezéssel és felügyelettel), a vagyone kezelésbe vevők a vadgazdálkodásra jogosultak. A mai világban egyre nagyobb jelentősége van az emberi tényezőnek a környezetünk megőrzése szempontjából, emiatt kiemelten fontos a természeti erőforrásokkal való fenntartható gazdálkodás, melynek a vadgazdálkodási vagyone alapja és eszköze is egyben. A vadgazdálkodás által kezelt vagyone több más ágazat (pl.: mezőgazdaság, természetvédelem) is hatással van, emiatt fontos a vadászat és vadgazdálkodás értékének minél pontosabb ismerete, a bölcs hasznosítás biztosításának érdekében.

Jelen publikációban a vadállomány becslési adatok alapján számításokat végeztünk a vadállomány, mint vagyone pénzben kifejezhető értékére vonatkozóan a jogszabályban rögzített vadeértékek alapján („eszmei érték”), illetve a vadászati árlistákban megjelenő árak („forgalmi érték”) alapján. A vizsgálat célja a fenti számítási módszerek eredményeinek összevetése, esetleges eltérések és a módszerekben rejlő hibalehetőség vizsgálata.

Irodalmi áttekintés

Nemzetközi viszonylatban bizonyos értelemben alulértékelt a vadállomány gazdasági értéke, jellemzően esztétikai, illetve turisztikai szempontból vizsgálták. Az utóbbi években-évtizedekben megfigyelhető némi változás, ezek jellemzően az állategészségügyi és állattenyésztési kérdésekre fókuszálnak. (CHARDONETT, 2002.)

Történelmi távlatokban vizsgálódva láthatjuk, hogy Magyarországon az államalapítás idején a vadat még uratlan jószágoknak (res nullius) tekintették, a vadászat minden szabad ember számára alapvető jognak számított. A feudalizmus, illetve a kialakuló birtokrendszerek kapcsán találkozhatunk először a vadászati jogok korlátozásával, illetve adományozásával, majd Szent László idejében már a vadászati jog törvényi korlátozásaival. Vadászati jog szempontjából a legnagyobb mértékű korlátozás Ulászló 1504-ben kiadott dekrétuma volt, mely a vadászból teljes mértékben kizárta a közrendűeket (jobbágyokat, polgárokat és külföldieket), illetve az

1514-ben kiadott királyi rendelet, mely ugyanezen csoportoknak a fegyverviselést és a fegyverhasználatot tiltotta meg (BALLAGÓ, 1980.). A XVIII. században több vadászatot, vadgazdálkodást szabályozó jogszabály születik, ezek többek között szabályozzák a vadászati idényeket, vadkárral kapcsolatos kérdéseket, illetve a vadászat földtulajdonhoz való kötését. A II. világháborút követő „átrendeződés” során egyebek mellett a vadászati jog és a vad tulajdonjoga is az állam kezébe kerül. (JÁNOSKA, 2015.)

Magyarországon jelenleg a vadászati jog – mint vagyoneértékű jog – a földtulajdon elválaszthatatlan része, a vadászterületnek minősülő terület tulajdonosát illeti meg, de az esetek túlnyomó többségében a vadászati jog társult vadászati jogként gyakorolható, illetve a vad – a jogszerű elejtés pillanatáig – az állam tulajdonában van.

Ha a vadállomány értékét kívánjuk vizsgálni, az 1992. június 5-14. között Rio de Janeiro-ban aláírt Biológiai Sokféleség Egyezményt mindenképpen meg kell említenünk, mint a biodiverzitás fontosságát és értékét deklaráló dokumentumot.

Az erdővagyon-gazdálkodásban alkalmazott erdőleltározáshoz hasonlóan (LETT & STARK, 2017) célszerű a vadállománnyal kapcsolatos információk összegyűjtése és elemzése is.

A vadállomány értékét **közvetlen** (fogyasztási és kereskedelmi érték) és **közvetett** (tudományos, turisztikai, etikai értékek) kategóriákba sorolhatjuk, ezek eltérő súllyal rendelkezhetnek attól függően, hogy milyen szempontból vizsgáljuk őket, de alapvetően az alábbi érték kategóriák állíthatók fel (CHARDONETT, 2002.):

gazdasági jelentőség,

élelmezési érték,

ökológiai szerep és

kulturális, történelmi érték.

A fenti pozitív érték kategóriák mellett – emberi értékítélettel vizsgálódva – a vadállománynak negatív értéke is lehet, gondoljunk itt a vadkásra, vad által okozott balesetekre, ragadozó állatok hatására, illetve az invazív fajok által a környezetben okozott károokra. (MÁRKUS-MÉSZÁROS, 1997.)

Anyag és módszertan

A kutatás során a következő adatforrásokat és jogszabályokat dolgoztuk fel:

Vadgazdálkodási adattár 2018/2019. vadászati év

- Lelövés, befogás, vadtelepítés és értékesítés

- Vadállomány becslési jelentés

- A trófeabírálat megyei és országos eredményei

- Pénzügyi adatok

A 2018/2019. vadászati év vadgazdálkodási eredményei, valamint a 2019. év tavaszi vadállomány becslési adatok és vadgazdálkodási tervek

Budapesti Erdőgazdaság 2020. március 1-től érvényes Vadászati árjegyzéke

DALERD Délalföldi Erdészet Zrt. Vadászati árjegyzéke.

1996. évi LV. törvény a vad védelméről, a vadgazdálkodásról, valamint a vadászatról

79/2004. (V. 4.) FVM rendelet a vad védelméről, a vadgazdálkodásról, valamint a vadászatról szóló 1996. évi LV. törvény végrehajtásának szabályairól

Feltételezések:

Jelen kutatásban Az Országos Vadgazdálkodási Adattár legfrissebb 2018/2019-es vadászati érve vonatkozó állománybecslési és terítékadatait használjuk számításainkhoz.

A trófea méretek szerinti megoszlását az elejtett állomány trófeabírálati adataiból arányosítottuk a becsült állományra, feltételezésünk alapja, hogy a hasznosítás kormegoszlása időszakonként hasonló.

Vaddisznó malacra vonatkozóan nincs az OVA adatbázisában állománybecslési információ, hiszen a becslés időpontjában jellemzően nincs ilyen korosztályú vaddisznó, így ennek értékével nem számolunk.

Fácán esetében az állomány mértéke jelentősen függ a kibocsátástól, számításainkban 1:1 ivararányú kibocsátással számoltunk.

Mekkora vadállománnyal rendelkezünk?

Ahhoz, hogy megállapíthassuk a vadállomány értékét, nagyságrendileg ismernünk kell annak nagyságát. Az állománybecslés módszereivel, azok kivitelezésével, illetve elvárható pontosságukkal jelen kutatásban nem foglalkozunk, ehhez részletes összefoglalót ad Csányi Erika 2020-as Vadászévkönyvben „A hazai nagyvadállomány becslésének lehetőségei, valamint a XXI. Század technikájának alkalmazhatósága a vadgazdálkodásban” címmel megjelent cikke. (CSÁNYI, 2020.)

Az Országos Vadgazdálkodási Adattár legfrissebb 2018/2019-es vadászati érve vonatkozó állománybecslési és terítékadatait használjuk számításainkhoz.

1. táblázat: Az OVA adatok alapján összegyűjtött 2018-as elejtési, illetve 2019-es állománybecslési adatok (forrás: Csányi, 2019)

		Szabad területi elejtések száma (2018)	Vadállomány becslési jelentés (2019)
Gímszarvas	bika	15 178	38 538
	tehén	25 070	43 286
	borjú	23 503	32 684
	összes	63 751	114 508
Dámszarvas	bika	3 492	14 269
	tehén	5 667	15 011
	borjú	5 157	10 160
	összes	14 316	39 440
Őz	bak	42 251	132 343
	suta	39 815	145 628
	gida	36 885	107 868
	összes	118 951	385 839
Muflon	kos	1 025	4 551
	jerke	1 478	4 864
	bárány	1 355	3 610
	összes	3 858	13 025
Vaddisznó	kan	26 196	20 268
	koca	28 054	25 524
	süldő	60 514	50 058
	malac	20 633	N/A
	összes	135 397	95 850
Mezei nyúl		56 634	401 270
Fácán		422 417	580 652
Fogoly		2 566	11 831
Röptett réce		64 693	N/A

A vadállomány értékének meghatározásakor vadászati hagyományainkból fakadóan a nagyvadaink esetében a trófea értékével is kalkulálnunk kell. Ezt a számítást a trófeabírálati adatok

alapján tudjuk elvégezni, melynek során a bírálaton bemutatott trófeák adatai alapján számított értékeket vetítjük a teljes állományra.

2. táblázat: Az elbírált trófeák méret szerinti megoszlása az OVA 2018-as trófeabírálati adatai alapján

Gímszarvas													Össz.
	<2 kg	2-3 kg	3-4 kg	4-5 kg	5-6 kg	6-7 kg	7-8 kg	8-9 kg	9-10 kg	10-11 kg	11-12 kg	> 12 kg	
Elbírált trófa (db)	2 232	2 575	2 194	2 094	1 971	1 767	1 404	1 007	530	276	102	43	16 195
	13,78%	15,90%	13,55%	12,93%	12,17%	10,91%	8,67%	6,22%	3,27%	1,70%	0,63%	0,27%	
Dámszarvas													
	<0,5 kg	0,5-1 kg	1-1,5 kg	1,5-2 kg	2-2,5 kg	2,5-3 kg	3-3,5 kg	3,5-4 kg	4-4,5 kg	> 4,5 kg			
Elbírált trófa (db)	411	313	321	364	426	654	691	583	289	123			4 175
	9,84%	7,50%	7,69%	8,72%	10,20%	15,66%	16,55%	13,96%	6,92%	2,95%			
Őz													
	<150 g	150-200 g	200-250 g	250-300 g	300-350 g	350-400 g	400-450 g	450-500 g	500-550 g	550-600 g	> 600 g	Parókás	
Elbírált trófa (db)	5249	3592	6740	9342	8617	5563	2817	1242	474	161	91	8	43 896
	11,96%	8,18%	15,35%	21,28%	19,63%	12,67%	6,42%	2,83%	1,08%	0,37%	0,21%	0,02%	
Muflon													
	<20 cm	20-30 cm	30-40 cm	40-50 cm	50-60 cm	60-70 cm	70-80 cm	80-90 cm	>90 cm				
Elbírált trófa (db)	0	1	5	60	158	384	451	166	20				1 245
	0,00%	0,08%	0,40%	4,82%	12,69%	30,84%	36,22%	13,33%	1,61%				
Vaddisznó													
	<13 cm	13-14 cm	14-15 cm	15-16 cm	16-17 cm	17-18 cm	18-19 cm	19-20 cm	20-21 cm	21-22 cm	22-23 cm	>23 cm	
Elbírált trófa (db)	143	120	116	178	659	977	962	885	611	350	161	102	5 264
	2,72%	2,28%	2,20%	3,38%	12,52%	18,56%	18,28%	16,81%	11,61%	6,65%	3,06%	1,94%	

A jogszabályban rögzített vadértékek alapján történő eszmei érték számítás

A 79/2004. (V.4.) FVM rendelet 20. számú mellékletében megtalálható az egyes vadászható vadfajok jogszabályban rögzített eszmei értéke, ezek alapján az Országos Vadgazdálkodási Adattár vadállománybecslési, illetve terítékadatai alapján kalkulálhatjuk a vadállomány eszmei értékét.

3. táblázat: A vadászható állatfajok vadgazdálkodási értéke a 79/2004 (V.4.) FVM rendelet 20. melléklete alapján

Faj		Érték (Ft / egyed)	
Gímszarvas	bika	0-5 kg	600 000 Ft
		5-10 kg	1 000 000 Ft
		10+ kg	3 750 000 Ft
	tehén, üdő		200 000 Ft
	borjú		100 000 Ft
Dámszarvas	bika	0-3 kg	400 000 Ft
		3+ kg	850 000 Ft
	tehén, üdő		150 000 Ft
	borjú		100 000 Ft
Őz	bak	0-350 g	200 000 Ft
		350+ g	600 000 Ft
	suta		100 000 Ft
	gida		50 000 Ft
Muflon	kos	0-70 cm	350 000 Ft
		70+ cm	600 000 Ft
	juh, jerke		100 000 Ft
	bárány		50 000 Ft
Vaddisznó	kan	12-18 cm	250 000 Ft
		18+ cm	600 000 Ft
	koca		250 000 Ft
	süldő		100 000 Ft
	malac		50 000 Ft
Mezei nyúl			20 000 Ft
Fácán	kakas		10 000 Ft
	tyúk		20 000 Ft
Fogoly			50 000 Ft

A fenti értékekkel számolva az 1. táblázat állomány, illetve trófeabírálati adatainak felhasználásával a 4. táblázatban részletezett eredményekre jutunk, mely szerint a jogszabályban rögzített vadértékekkel, illetve a 2018-as állományadatokkal számolva a vadgazdálkodás által kezelt vadon nagysága a főbb nagyvadfajok és apróvadfajok értékével számolva megközelíti a 156 milliárd Ft-ot.

4. táblázat: Vadgazdálkodás által kezelt főbb vadfajok pénzben kifejezhető értéke a jogszabályi értékekkel számolva

Faj			Érték (Ft / egyed)	Állomány (db)	Összérték (eFt)	
Gímszarvas	bika	0-5 kg	600 000 Ft	21 643	12 985 764	
		5-10 kg	1 000 000 Ft	15 893	15 893 071	
		10+ kg	3 750 000 Ft	1 002	3 757 455	
	tehén, ünő		200 000 Ft	43 286	8 657 200	
	borjú		100 000 Ft	32 684	3 268 400	44 561 891
Dámszarvas	bika	0-3 kg	400 000 Ft	8 506	3 402 300	
		3+ kg	850 000 Ft	5 762	4 897 549	
	tehén, ünő		150 000 Ft	15 011	2 251 650	
	borjú		100 000 Ft	10 160	1 016 000	11 567 499
Őz	bak	0-350 g	200 000 Ft	101 110	20 222 010	
		350+ g	600 000 Ft	31 233	18 739 769	
	suta		100 000 Ft	145 628	14 562 800	
	gida		50 000 Ft	107 868	5 393 400	58 917 979
Muflon	kos	0-70 cm	350 000 Ft	2 222	777 789	
		70+ cm	600 000 Ft	2 328	1 396 975	
	juh, jerke		100 000 Ft	4 864	486 400	
	bárány		50 000 Ft	3 610	180 500	2 841 664
Vaddisznó	kan	12-18 cm	250 000 Ft	8 444	2 110 912	
		18+ cm	600 000 Ft	11 826	7 095 827	
	koca		250 000 Ft	25 524	6 381 000	
	süldő		100 000 Ft	50 058	5 005 800	
	malac		50 000 Ft	N/A	N/A	20 593 539
Mezei nyúl			20 000 Ft	401 270	8 025 400	
Fácán	kakas		10 000 Ft	290 326	2 903 260	
	tyúk		20 000 Ft	290 326	5 806 520	
Fogoly			50 000 Ft	11 831	591 550	17 326 730
				TELJES ÉRTÉK	155 809 302	ezer Ft

Kereskedelmi árlisták alapján történő forgalmi érték számítás

Az erdőgazdaságok hivatalosan elérhető árlistái és OVA vadállománybecslési adatok, illetve terítékadatai alapján végeztünk számításokat, illetve hasonlítottuk össze a bérvadászathoz kapcsolódó bevételekre vonatkozó adatokkal. A részletes értékek az 5. táblázatban láthatóak. Kereskedelmi árakon számolva a vadászható vadfajok állományának forgalmi értéke mintegy 90 milliárd Ft-ra tehető.

5. táblázat: Vadgazdálkodás által vagyonkezelt főbb vadfajok pénzben kifejezhető értéke a kereskedelmi árlisták alapján számolva

Faj			Érték (Ft/egyed)	Állomány (db)	Összérték (eFt)		
Gímszarvas	bika	0-4kg	192 000 Ft	16 660	3 198 716		
		4 kg	288 000 Ft	4 983	1 435 093		
		5 kg	384 000 Ft	4 690	1 800 989		
		6 kg	544 000 Ft	4 204	2 287 246		
		7 kg	800 000 Ft	3 341	2 672 996		
		8 kg	1 120 000 Ft	2 397	2 684 711		
		9 kg	1 440 000 Ft	1 260	1 814 677		
		10 kg	1 920 000 Ft	655	1 257 880		
		11 kg	2 400 000 Ft	243	582 695		
		12 kg	3 200 000 Ft	104	332 968		
		tehén, üdő		41 600 Ft	192 000	7 987 200	
		borjú		28 800 Ft	32 684	941 299	26 996 470
		Dámszarvas	bika	0-2 kg	190 000 Ft	4 816	915 000
2,5 kg	240 000 Ft			1 455	349 305		
3 kg	352 000 Ft			2 235	786 553		
3,5 kg	544 000 Ft			2 362	1 284 667		
4 kg	880 000 Ft			1 992	1 752 918		
4,5 kg	1 344 000 Ft			987	1 327 085		
5 kg	2 008 000 Ft			421	845 238		
tehén, üdő				28 800 Ft	15 011	432 317	
borjú				22 400 Ft	10 160	227 584	7 920 667
Őz	bak			0-200 g	57 600 Ft	26 654	1 535 263
		250 g	76 800 Ft	20 315	1 560 165		
		300 g	112 000 Ft	28 163	3 154 210		
		350 g	208 000 Ft	25 979	5 403 618		
		400 g	384 000 Ft	16 768	6 438 858		
		450 g	640 000 Ft	8 496	5 437 709		
		500 g	1 024 000 Ft	5 969	6 111 917		
		suta		14 000 Ft	145 628	2 038 792	
		gida		14 000 Ft	107 868	1 510 152	33 190 684
		Muflon	kos	0-60 cm	256 600 Ft	819	210 085
70 cm	480 000 Ft			1 404	673 694		
80 cm	800 000 Ft			1 648	1 318 698		
90 cm	1 344 000 Ft			680	913 812		
jerke			28 800 Ft	4 864	140 083		
bárány			22 400 Ft	3 610	80 864	3 256 371	
Vaddisznó	kan		12 cm	112 000 Ft	1 013	113 501	
		14 cm	192 000 Ft	1 131	217 143		
		16 cm	288 000 Ft	6 299	1 814 197		
		18 cm	384 000 Ft	7 112	2 731 024		
		20 cm	480 000 Ft	3 701	1 776 450		
		22 cm	576 000 Ft	1 013	583 718		
	koca		89 600 Ft	25 524	2 286 950		
	süldő		38 400 Ft	50 058	1 922 227		
	malac		28 800 Ft	N/A	N/A	11 445 210	
	Mezei nyúl		9 000 Ft	401 270	3 611 430		
Fácán		6 200 Ft	580 652	3 600 042			
Fogoly		9 100 Ft	11 831	107 662			
				TELJES ÉRTÉK	90 209 402	ezer Ft	

Összefoglalás

A vadgazdálkodás által kezelt vadállomány pénzbeli értéke, illetve annak nagyságrendje leltárszerűen kifejezhető a rendelkezésre álló adatok alapján. Ahogy az várható volt, a pénzbeli értékek meghatározásakor figyelembe kell venni az érték meghatározásának alapját és annak körülményeit.

A vadállomány „eszmei értéke” ezen számítások szerint mintegy 156 milliárd Ft-ra tehető, ebben az esetben a vad teljes jogszabályi értékével számoltunk, melyben a tenyészték (genetikai érték) is megjelenik.

A „forgalmi érték” vizsgálatok az elejtési díjakból kalkulált érték meghaladja a 90 milliárd Ft-ot, ebben az összegben viszont nem jelenik meg a vadhús vagyoneértéke, a tenyészérték, illetve a vagyonhoz kapcsolható egyéb értékek sem.

A számolt értékekhez kapcsolódóan érdekes adalék az, hogy a vadgazdálkodási ágazat éves bevétele a 2018/2019. vadászati évben 27,6 milliárd Ft volt, a ráfordítások 25,8 milliárd Ft, az ágazat nominális eredménye 1,8 milliárd Ft. Ha ezt összevetjük a 90 milliárd Ft-os kezelt vagyon forgalmi értékével, akkor láthatjuk, hogy hozzávetőlegesen 1,9%-os éves hozammal kezeljük közös vagyonunkat, az árbevétel arányos nyereség (ROS) 6,5%.

Fontos megjegyezni, hogy a számításunk alapjául szolgáló vadállománybecslések a tárgyév február/márciusi időszakában készülnek, így jellemzően nem tartalmazzák a szaporulatokat, illetve a vadászati év elejtéseit, ha ezeket a tényezőket is figyelembe vesszük, akkor a kezelt állomány valós értéke jóval magasabb lehet a szaporulat, illetve a hasznosítás mértékének megfelelően. További kutatásokban a fent jelölt tényezőket is érdemes vizsgálni, a vadgazdálkodási ágazat hozamait az erdőhozam-számítás eredményeivel összevetni.

Köszönetnyilvánítás: Jelen publikáció az „EFOP-3.6.1-16-2016-00018 – A felsőoktatási rendszer K+F+I szerepvállalásának növelése intelligens szakosodás által Sopronban és Szombathelyen” című projekt támogatásával valósult meg”.

Irodalomjegyzék

- BALLAGÓ, L (1980.): Vadászat Magyarországon. Idegenforgalmi Propaganda és Kiadó Vállalat. Budapest.
- CHARDONET, PH., CLERS, B. (2002.): The value of wildlife. Rev. sci. tech Off. int. Epiz 21(1), 15-51.
- CSÁNYI, E. (2020.): A hazai nagyvadállomány becslésének lehetőségei, valamint a XXI. század technikájának alkalmazhatósága a vadgazdálkodásban. In: Országos Magyar Vadászkamara (2020): Vadászévkönyv 2020. Dénes Natúr Műhely Kiadó, Budapest.
- CSÁNYI, S. (2019.): Vadgazdálkodási Adattár 2018/2019. vadászati év. Országos Vadgazdálkodási Adattár. SZIE Vadvilág Megőrzési Intézet. Gödöllő.
- CSÁNYI, S. (2020.): A 2018/2019. vadászati év vadgazdálkodási eredményei. 2019. tavaszi vadállomány becslési adatok és vadgazdálkodási tervek. Országos és megyei összesítések. Országos Vadgazdálkodási Adattár. SZIE Vadvilág Megőrzési Intézet. Gödöllő.
- JÁNOSKA, F (2015.): Vadászati Etika és Kultúrtörténet. Szakmérnöki Jegyzet. NyME Erdőmérnöki Kar. Vadgazdálkodási Igazgatási Szakmérnök Szak. Sopron.
- LETT, B., STARK, M. (2017): Amit a számok mutatnak – Differenciált erdővagyon-gazdálkodás. Soproni Egyetem Kiadó. Sopron.
- MÁRKUS, L., MÉSZÁROS, K. (1997): Erdőérték-számítás – Az erdőértékelés alapjai. Az erdei nagyvadállomány értéke. Szaktudás Kiadó Ház. Budapest.

BLK360 LÉZERSZKENNER ALKALMAZÁSA VONALAS LÉTESÍTMÉNYEK FELMÉRÉSÉRE: JELEK ÉS TÁVOLSÁGOK

KATONA CSABA, BAZSÓ TAMÁS, PÉTERFALVI JÓZSEF, PRIMUSZ PÉTER
Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Geomatikai, Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Intézet
csabakatonaa@gmail.com

A tanulmányban a Leica BLK360 földi lézerszkennert alkalmasságát vizsgáltuk vonalas létesítmények felmérésére. Kitérünk az ehhez szükséges jel-műszer távolságokra, a céljelek megválasztására, és a gömbalakú illesztőjelek utófeldolgozására leginkább javasolt regressziós módszerekre. Áttekintettük a nemlineáris legkisebb négyzet módszerén alapuló korlátozással és korlátozás nélküli gömbillesztést, a lineáris legkisebb négyzetek módszerét és a RANSAC eljárást. A műszer terepi vizsgálata egy 530 méter hosszú, önmagába záródó teszt pályán történt, ahol a mérőállomással bemért álláspontok 20-40 méterre helyezkedtek el. A lézerszkennert rögzített gömbalakú illesztőjelek középpontjait és sugárértékeit négy módszerrel számoltuk vissza, és az eljárásokat jellemző hiba (RMSE) vagy sugár értékeket a mérési távolság függvényében elemeztük. A lézerszkennert meghatározott álláspontok koordinátáit végül a mérőállomással bemért pontokkal hasonlítottuk össze. Tanulmányunk végén javaslatot teszünk a gömbalakú illesztőjelek maximális távolságára, és a pontos gömbillesztéshez szükséges minimális pontszámra és RMSE értékre.

Bevezetés

A Leica BLK360 földi lézerszkennert egy kompakt, könnyen kezelhető mérőműszer, amelyet leginkább az építőiparban használnak belső terek felmérésére. Az ilyen típusú méréseknél a több álláspontból felmért ponthalmazok tájékoztatásához nem szükséges kapcsolójeleket alkalmazni, mivel a közös pontokat a pontfelhők részleteinek egyeztetésével (sík felületek illesztésével) automatikusan detektálják a feldolgozó szoftverek. A lézerszkennert részletes specifikációját az 1. táblázat foglalja össze.

A BLK360 lézerszkennert kísérleti jelleggel erdőállományok felmérésére BROLLY ÉS MTSAI. (2019) sikeresen alkalmazták a Pilisi Parkerdő Zrt. területén. A négy műszerállásból készült pontfelhők tájékoztatásához egymástól 10-15 méterre elhelyezett saját készítésű sík jeltárcsákat használtak fel, ami magas pontsűrűségű mérőmód mellett, legfeljebb 5 mm körüli névleges ponttávolságot eredményezett. Ez az illesztőjel távolság és pontosság a legtöbb terület vagy erdőbecslési célú felméréshez elegendőnek tekinthető.

Vonalas létesítmények felmérésénél (pl. erdészeti feltáróutak) a 10-15 méter kapcsolójel távolság már nem elégséges, mivel nem teszi lehetővé a hatékony munkát. Az ilyen célú felhasználáshoz legalább 20-30 méteres jeltávolságok alkalmazása szükséges a mérési pontosság megtartása mellett, mivel egy nap 800-1000 métert is fel kell tudni mérni. Cikkünkben ezért az optimális illesztőjel távolság és hiba nagyság meghatározásával és az ehhez szükséges eszközökkel és feldolgozási módszerekkel foglalkozunk.











Illesztőjelek a pontfelhők tájékoztatásához

Az illesztőjeleket általában statikus földfelszíni lézerszkennelési feladatokban használják kapcsolópontokként a pontfelhők együttes tájékoztatására vagy földi vonatkozási rendszerbe illesztésére (CHOW ÉS MTSAI., 2010). A jelenleg leggyakrabban használt illesztőjel típusok a gömb, a henger és a síkbeli tárcsa (DOLD ÉS BRENNER 2006). A gyakorlatban leginkább az illesztőgömbök és az álló- és fekvőtengelyük körül elforgatható sík jeltárcsák terjedtek el. Az illesztőgömbök nagy előnye, hogy nem kell forgatni őket, minden oldalról ugyanolyan homogén felületet mutatnak a műszernek.

1. táblázat: A Leica BLK360 legfontosabb műszaki jellemzői

Szkenelés	
Táv mérés metodika	Időmérés (ToF) + WFD technológia
Távolság	min. 0,6 m és max. 60 m
Pontmérés sebessége	Legfeljebb 360 000 pont/mp
Mérési pontosság	4 mm @ 10 m és 7 mm @ 20 m
Mérési modellek	3 felbontás: alacsony, közepes és magas

2. táblázat: Ajánlott jeltárcsa méret és távolság a pontsűrűség figyelembevételével (Leica BLK, 360).

Jelek:										
[1] 15,2 cm [2] 11,4 cm										
BLK360 pontsűrűség	Távolság 3,0 m (10')	Távolság 7,5 m (25')	Távolság 10,5 m (35')	Távolság 13,5 m (45')	Távolság 16,5 m (55')					
[1] Alacsony	✓	✓	✗							
[2] Közepes	✓	✓	✓	✓	✓	✗				
[3] Magas	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

A gömbfelület precíz felismeréséhez vízszint – ami a középpont pontos meghatározásának feltétele – viszonylag nagyszámú pontmérésre van szükség. Ezzel szemben a jeltárcsákat mindig a műszer felé kell fordítani, cserébe a felismeréshez kevesebb pont is elegendő, főként az intenzitás a lényeges információ (RADÓCZY 2013).

A hivatalos gyártók által kínált illesztőjelek nagyon magas minőséget képviselnek, de ennek megfelelően igen magas áron juthatunk csak hozzájuk. Sokszor azonban a feladat nem igényli ezeket a hitelesített nagy pontosságú illesztőjeleket, ezért mi magunk is készíthetünk olcsó illesztőgömböket és tárcsákat a pontfelhők tájékozásához. (BRAZEAL 2013) munkájában kimutatta, hogy az olcsó polisztírol vagy a 3D nyomtatással készült gömbök a legtöbb feladat számára jól megfelelnek, és az így készült jelek pontossága csak elhanyagolhatóan marad el a hivatalos illesztőjelekéhez képest.

A Leica cég vizsgálta a BLK360 műszer céltartományait sík jeltárcsák esetén (Leica BLK é. n., 360). A vizsgálatban két eltérő méretű síktárcsát, egy 15,2 cm (6 hüvelyk) és egy 11,4 cm (4,5 hüvelyk) átmérőjűt használtak fel eltérő távolságokban, és mindegyiket három mérési felbontás (pontosűrűség) mellett rögzítették. A kísérlet eredményét a 2. táblázat foglalja össze, amiből jól látszik, hogy a legmagasabb felbontásnál a 16,5 m távolságra lévő ~15 cm átmérőjű tárcsa képe még éppen felhasználható volt a pontfelhők regisztrálásához.

Ez az eredmény előre vetíti, hogy a 15 méternél nagyobb távolságokra elhelyezett illesztőjel méretét mindenképpen 15 cm-nél nagyobbra kell választani, és csak magas pontsűrűségű mérési mód mellett érdemes a felmérést kivitelezni.

Gömbillesztő eljárások

Az illesztőgömbök használatához fontos megválasztanunk a regressziós módszert, amellyel a gömbök középpontját vagy adott esetben sugarát a mérésekből vissza tudjuk számolni. A térbeli pontokra támaszkodó gömbillesztés széles körben tanulmányozott probléma és számos algorit-

mus létezik a megoldására. Ezek a módszerek feltételezik, hogy a térbeli ponthalmaz megfelelően van szegmentálva, tehát az adattáblomány nem tartalmaz a gömbhöz nem tartozó pontokat. A legtöbb eljárás a legkisebb négyzetek módszerével oldja meg a feladatot.

Definíció szerint gömbnek nevezzük a térben azon pontok halmazát, melyek egy adott P ponttól legfeljebb egy rögzített r távolságra vannak. Ekkor P -t a gömb középpontjának, r értékét pedig a gömb sugarának nevezzük. Az analitikus geometriában, az (x_0, y_0, z_0) középpontú és r sugarú gömb felületét azok az (x, y, z) pontok alkotják, melyekre fennáll az alábbi egyenlőség:

$$(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2 = r^2 \quad (1)$$

A továbbiakban három módszert tekintünk át, amelyek a gömb középpontjának és sugarának meghatározására szolgálnak.

Nemlineáris legkisebb négyzetek módszere (NLS)

A nemlineáris legkisebb négyzetek módszere (NLS) minimalizálja az adott ponthalmaz és az arra legjobban illeszkedő gömbfelület közötti távolságok négyzetének összegét. A módszer használatához szükséges célfüggvényt a (2) egyenlet adja, és ortogonális hibafüggvénynek nevezzük (RACHAKONDA ÉS MTSAL. 2017):

$$F = \sum_{i=1}^n f_i^2 = \sum_{i=1}^n \left(\sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 + (z_i - z_0)^2} - r \right)^2 \quad (2)$$

A fenti egyenletben négy ismeretlen van (x_0, y_0, z_0, r) ezért a módszert „ortogonális korlátozás nélküli illeszkedésnek (OUF³)” nevezzük. Ha a gömb sugara ismert és rögzített, akkor már csak három ismeretlent kell meghatározni (x_0, y_0, z_0) ; erre a minimalizálási módszerre röviden „ortogonális korlátozott illesztésként (OCF⁴)” hivatkozunk. A regressziós feladat megoldására több optimalizációs technika közül választhatunk, pl. Gauss–Newton vagy Levenberg–Marquardt-módszerek.

Lineáris legkisebb négyzetek módszere (LLS)

$$F = \sum_{i=1}^n f_i^2 = \sum_{i=1}^n ((x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 + (z_i - z_0)^2 - r^2)^2 \quad (3)$$

A (3) egyenletben szereplő f_i függvény kifejtve:

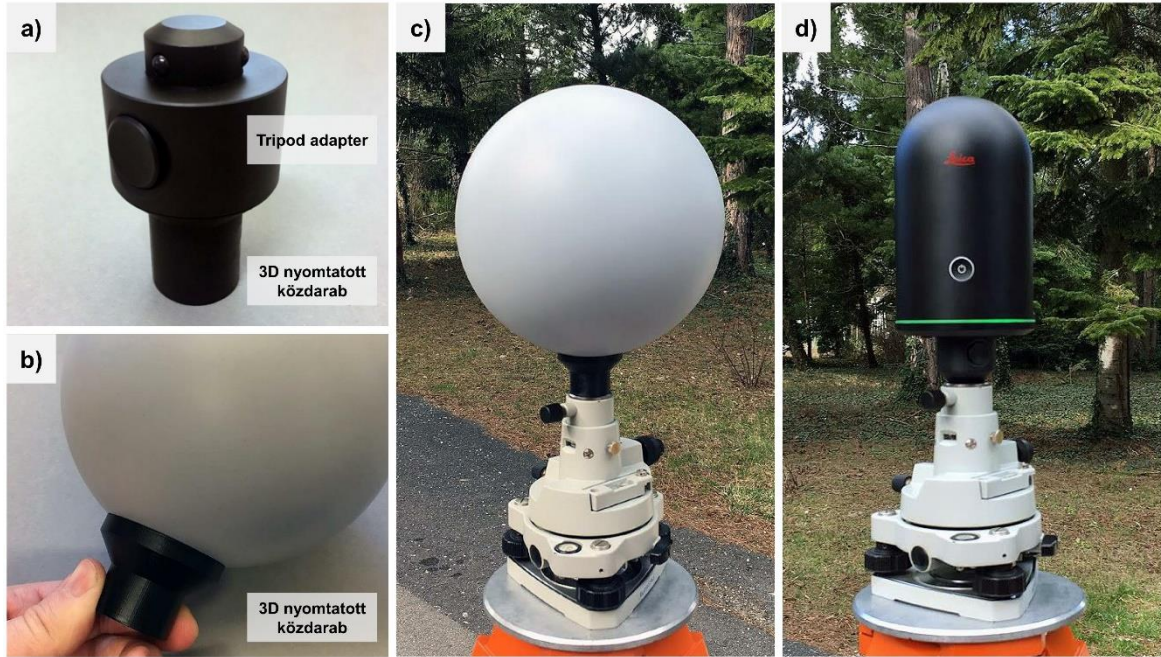
$$f_i = -2x_i x_0 - 2y_i y_0 - 2z_i z_0 + (x_i^2 + y_i^2 + z_i^2) + (x_0^2 + y_0^2 + z_0^2 - r^2) \quad (4)$$

Az előbbieken bemutatott NLS eljárás tipikusan iteratív módszerekkel oldja meg a gömbillesztést, ahol megkövetelt a keresett paraméterek kezdőértékének becslése, amelyet ezután a megoldó algoritmusok folyamatosan finomítanak a megfelelő illesztés érdekében. Egy ilyen kezdeti becslés úgy adható meg, hogy minimalizáljuk az egyenlettel leírt célfüggvényt (RACHAKONDA ÉS MTSAL., 2017):

A (4) egyenletnek négy ismeretlen paramétere van (x_0, y_0, z_0, r) , amiket az F hibafüggvény minimalizálásával határozhatunk meg az $\mathbf{AX} = \mathbf{B}$ lineáris egyenletrendszer megoldásakor (RACHAKONDA ÉS MTSAL. 2017; JEKEL 2016):

3 Orthogonal Unconstrained Fit

4 Orthogonal Constrained Fit



1. ábra: Saját készítésű jelek és adapterek: a) BLK360 tripod adapter és 3D nyomtatott közdarab, b) műanyag kültéri karácsonyfadísz a 3D nyomtatott rögzítő adapterrel, c) 20 cm átmérőjű illesztőgömb prizmatalpon, d) BLK360 lézerekamer prizmatalpon

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} -2x_1 & -2y_1 & -2z_1 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ -2x_n & -2y_n & -2z_n & 1 \end{bmatrix} \quad \mathbf{X} = \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \\ \rho \end{bmatrix} \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} -(x_1^2 + y_1^2 + z_1^2) \\ \vdots \\ -(x_n^2 + y_n^2 + z_n^2) \end{bmatrix} \quad (5)$$

és

$$\rho = (x_0^2 + y_0^2 + z_0^2 - r^2) \quad (6)$$

Az (x_0, y_0, z_0, ρ) paramétereket a (7) egyenletben leírt mátrix műveletek végrehajtásával kapjuk meg, feltéve, hogy a bemért gömbfelszínen négy vagy több térbeli pont áll rendelkezésünkre ($n \geq 4$):

$$\mathbf{X} = [\mathbf{A}^T \mathbf{A}]^{-1} [\mathbf{A}^T \mathbf{B}] \quad (7)$$

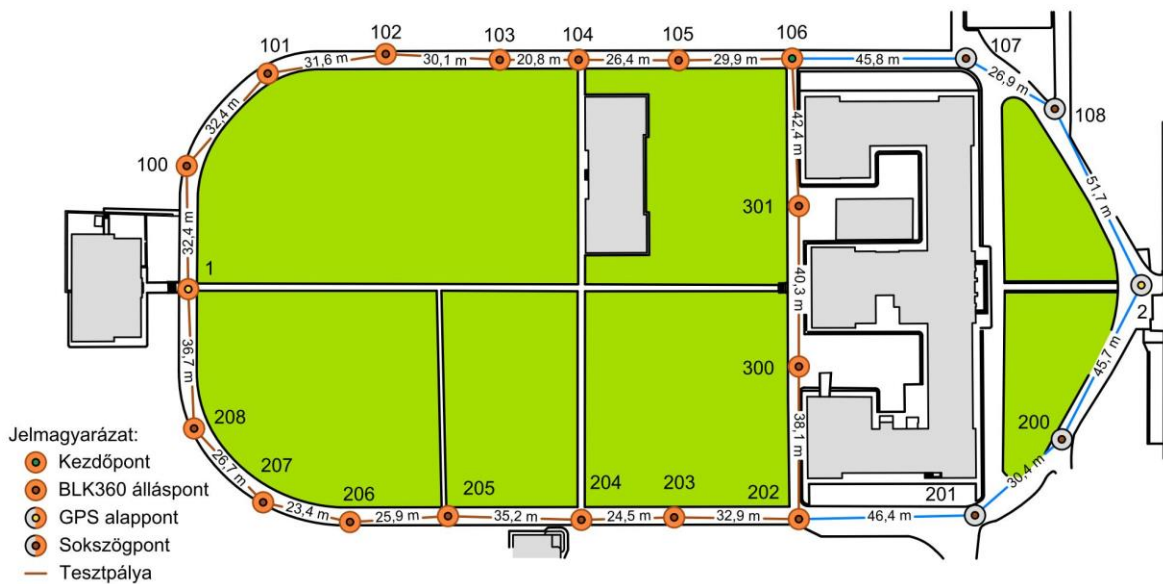
Az \mathbf{X} vektor felhasználásával kiszámíthatjuk a gömb keresett sugarát:

$$r = \sqrt{x_0^2 + y_0^2 + z_0^2 - \rho} \quad (8)$$

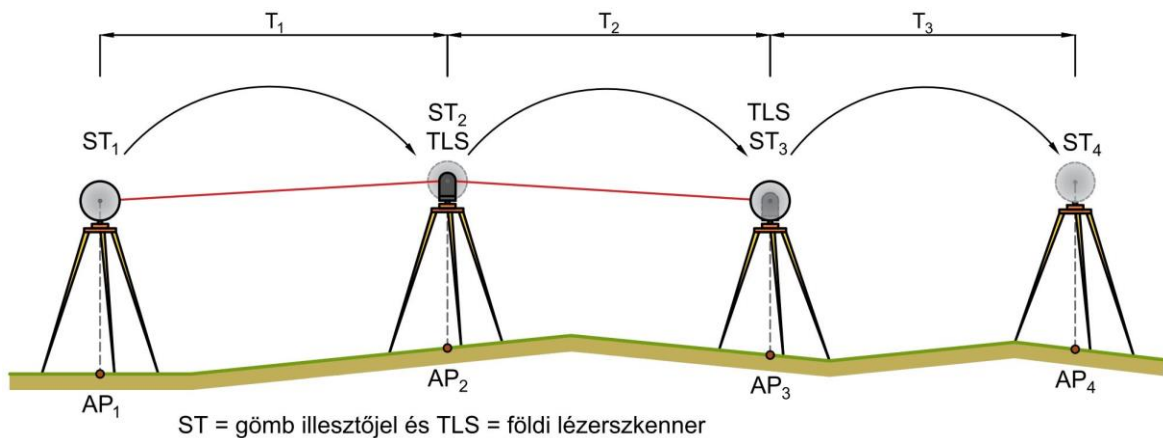
A fentiekben ismertetett gömbillesztés Python nyelvű implementációjának egy lehetséges felépítését mutatja be (JEKEL 2015) weboldala, ahol a NumPy magas szintű matematikai függvénykönyvtár biztosította a többdimenziós tömbök és mátrixok használatához szükséges algoritmusokat.

A Random Sample Consensus (RANSAC) algoritmus

Ez az eljárás is a legkisebb négyzetek elvén alapul, de az eddigiektől eltérően nem minden pontot használ fel a gömbfelület illesztéséhez (FISCHLER ÉS BOLLES 1981). A ponthalmazból az algoritmus véletlenszerűen kiválaszt egy mintát, amiből kihagyja az eredményt nagyban befolyásoló értékeket. Az eljárás véletlenszerűsége miatt nem ad megbízható eredményt a távolságokon alapuló hibavizsgálathoz, valamint a megfelelő minta meghatározása is időigényes folyamat.



2. ábra: A botanikus kertben kialakított tesztpálya vázrajza



3. ábra: A lézershírnél történő mérési folyamatábrája

Ez a módszer leginkább a nem szegmentált pontfelhőkön végzett gömbillesztés problémáját oldja meg, ahol az illesztőjelek pontjaihoz valamilyen objektum közelsége, illetve a jelet tartó állvány érintkezése okoz zavart.

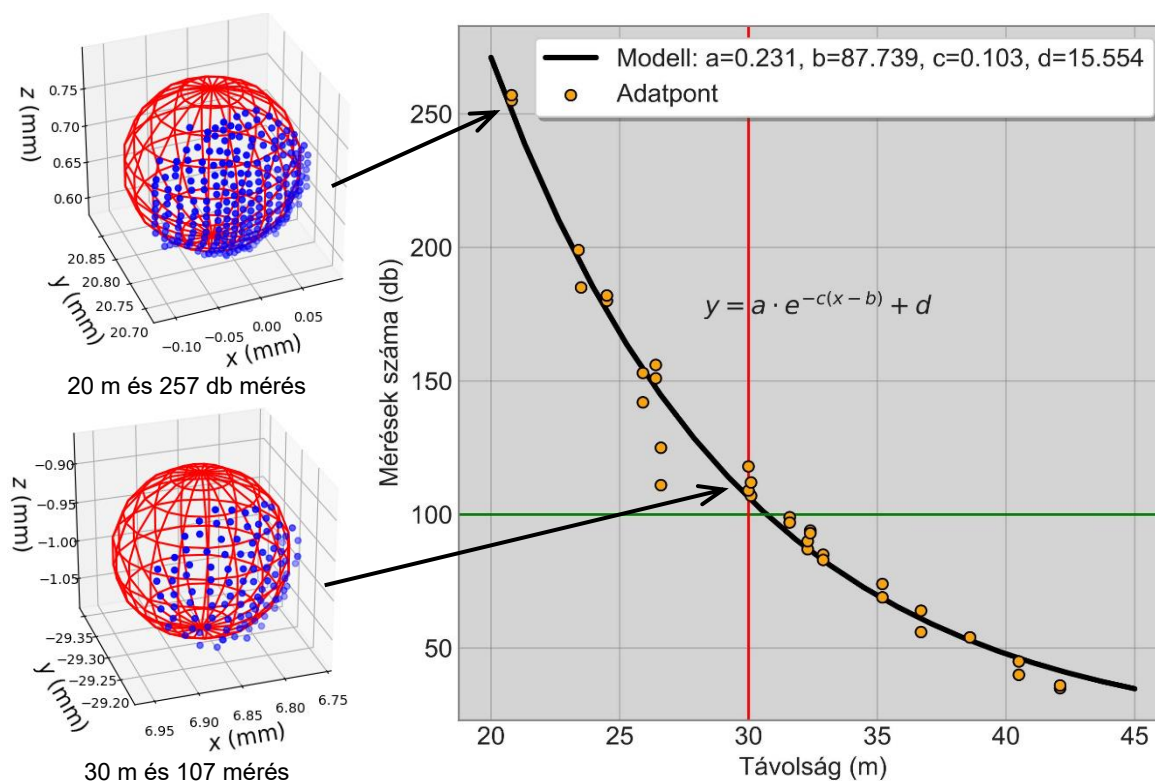
Anyag és módszer

Kutatásunkban a 15 méternél nagyobb műszer-illesztőjel távolságok hibanaságát vizsgáltuk egy vonalas létesítmény felmérésénél. Arra kerestük a választ, hogy a mekkora az a legnagyobb távolság, aminél még a BLK360 műszer a legmagasabb pontsűrűségű mérésmód mellett, még megbízhatóan meg tudja határozni az illesztőjelek paramétereit a pontfelhők pontos tájékozáshoz.

Az előzetes irodalmi adatok alapján min. 20 cm átmérőjű gömbalakú kapcsolójelet kellett használnunk a méréseinkhez, ami nem állt rendelkezésünkre. A Leica BLK360 lézershírnél a hozzá vásárolható gyári tripod adapter 1/4"-os állványmenetével csak fotóállványhoz vagy teleszkópos bothoz rögzíthető.

A tapasztalatok szerint viszont a fotóállványok többsége terepi munkára alkalmatlan, ezért szükség volt egy olyan közdarab elkészítésére, amivel már geodéziai műszerállványhoz is csatlakoztatható a lézershírnél (1.a. ábra).

A pontfelhők tájékozásához a gömbalakú kapcsolójeleket saját magunk készítettük el. Az anyagválasztásnál elsődleges szempont volt az ár és a pontosság.



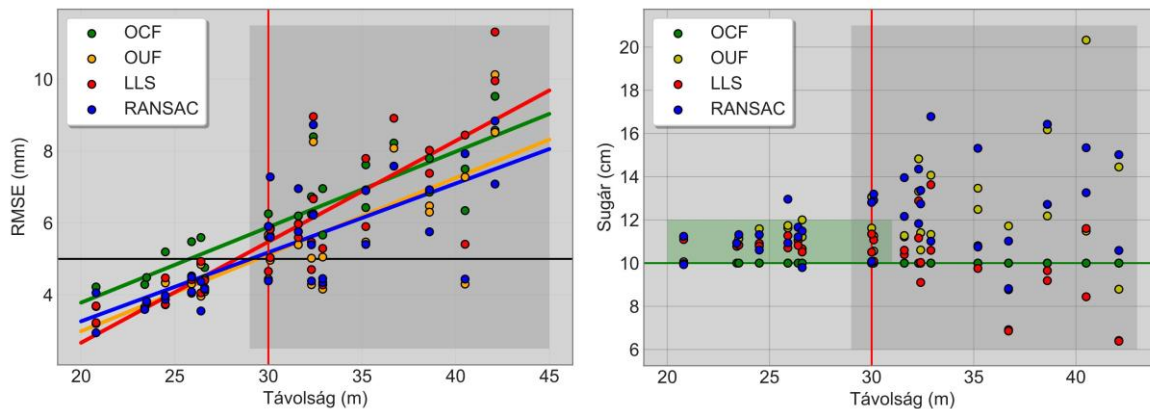
4. ábra: A gömbalakú illesztőjeleken rögzített pontok száma a távolság függvényében

A 10-15 cm-es átmérő tartományban olcsó és pontos jeleket lehet készíteni a kreatív hobbiboltokban kapható polisztirol gömbökből, ennél nagyobb átmérő esetén viszont már csak a drágább műanyag kültéri gömbdíszek jöhetnek szóba a 3D nyomtatás mellett. Mivel a 3D nyomtatás költségét nagyban befolyásolja a nyomtatott darab mérete (vagyis a nyomtatás ideje), ezért a méréshez a 20 cm átmérőjű gömböket a karácsonyi időszakban beszerezhető nagyméretű karácsonyfadíszekből alakítottuk ki. Itt megoldandó feladat volt az eredetileg csillogó gömbfelületeket átfesteni matt fehérre vagy szürkére a lehető legtöbb visszaverődés érdekében. Kísérleti jelleggel a szürke színt választottuk, és a festés követően a gömböket saját tervezésű adapterekhez ragasztottuk (1. b. ábra). Az adaptereket AutoCAD-ben terveztük meg és 3D nyomtatással kivitelezttük, a nyomatoknak ABS anyagot választottunk. A tervezésnél figyelembe vettük, hogy a gömbalakú kapcsolójeleket könnyen lehessen csatlakoztatni a menetes (UNC-5/8) prizmatához vagy a 20 mm belső átmérőjű prizmatához. Az általunk elkészített adaptereknek köszönhetően a mérés alatt a kapcsolójelek és a műszer állótengelye azonosnak tekinthető (1. c. és d. ábra).

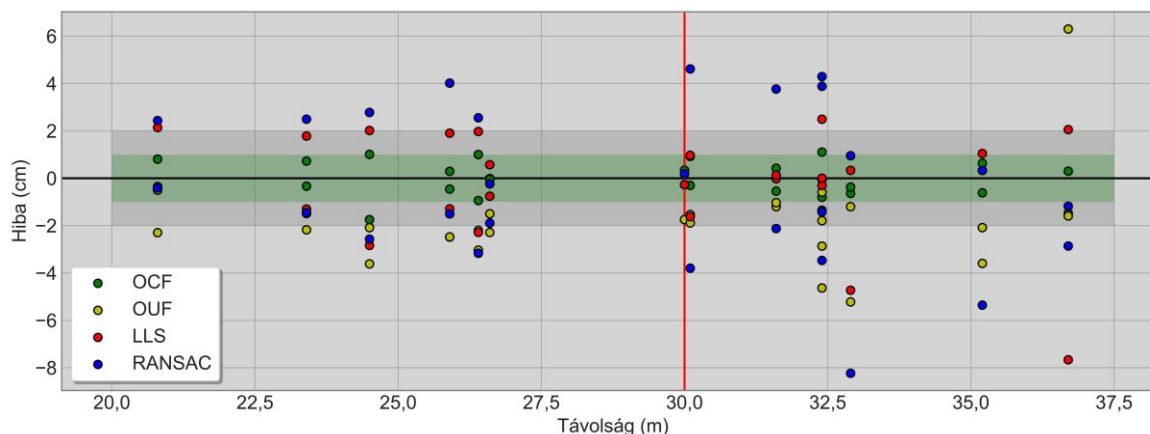
A vizsgálathoz szükséges eszközök beszerzése vagy elkészítése után kijelöltük a mérőpályát a Soproni Egyetem botanikus kertjében, ami egy önmagában végződő útszakasz volt. A kiválasztott aszfaltburkolatú út kezdőpontját a B épület Krasznai Ferenc Sportcsarnok felé eső oldalának egyik sarokpontja adta meg (2. ábra).

A botanikus kertben kialakított tesztpálya felméréséhez első lépésben a Leica 1200 GPS-el alappontokat mértünk be és állandósítottunk az egyetem főbejárata és az E épület előtt. A GPS pontok közötti alappont sűrítéshez egy Sokkia mérőállomást, a bemért sokszögvonalfeldolgozásához pedig a GeoProfi szoftvert használtuk. Az így létrejött 20 darab alappont távolságát a B és az E épületek között úgy választottuk meg, hogy lézerekkel távolság-jelhiba aránya

meghatározható legyen, tehát 20-40 méter távolságban kerültek állandósításra. A pontok állandósításához betonszeget és fehér olajfestéket alkalmaztunk. A szkennelés 17 állásból történt, mérésenként 2 illesztőponttal.



5. ábra: Az RMSE és a visszazámolt sugár a távolság függvényében



6. ábra: A ferde távolság jellemző hibája a gömbillesztő eljárás és a mérési távolság függvényében magas pontsűrűségű mód mellett

A méréseket a legnagyobb felbontás (pontosűrűség) mellett végeztük el, ami álláspontonként körülbelül 20 percet vett igénybe. A mérési folyamat hasonlóan történt egy sokszögeléshez. A lézerszkennер egy mérési ciklus befejeztével az előtte elhelyezett illesztőgömb helyét cserélt a műszerállványok elmozdítása nélkül, majd az eredetileg mögötte lévő jelet egy új alappontra vittük át a 3. ábra szerint. Egy álláspontból tehát két illesztőgömb lett egyszerre megmérve, egy a lézerszkennер előtt és egy mögötte. Minden új műszerállás esetén a műszer és a jelmagasságot feljegyeztük.

A mérések feldolgozásához az ingyenesen elérhető CloudCompare szoftvert használtuk, ami a földi lézerszkenneléskor előforduló valamennyi utómunka végrehajtását támogatja. Az egyes álláspontokban rögzített pontfelhőkből kivágtuk a gömbfelületekhez tartozó térbeli pontokat, majd TXT fájlba exportáltuk a koordináta és intenzitás értékeit. A szegmentált pontokra a már bemutatott négyféle módszerrel gömböt illesztettünk.

Az első módszer a CloudCompare programban található gömbillesztés funkció volt. A módszer előnye, hogy a programmal a szegmentáláson túl, a kiválasztott pontokra néhány kattintással elvégezhettük magát a gömbillesztést is.

A program gömbillesztő funkciója a RANSAC algoritmust használja, ezért minden egyes futtatásra más eredményt adott, ezek közül azt választottuk ki, ami legközelebb volt a valóságos 10 cm-es értékhez. A maradék három módszer a legkisebb négyzetek módszerén alapult és

Python programnyelvben a NumPy magas szintű matematikai függvénykönyvtár felhasználásával mi magunk implementáltuk az NLS és LLS eljárásokat. A TXT állományokból beolvastuk a térbeli pontokat, majd az algoritmusok segítségével meghatároztuk az illesztőgömbök középpontját (x_0, y_0, z_0) és sugarát (r).

Az illesztőgömbök belső hibája

A négyféle illesztéssel meghatározott gömbparaméterek jóságát eltérő szempontok szerint értékeltük. Az első lépésben a gömbillesztés ún. belső pontosságát vizsgáltuk, azaz a regisztrált pontok és az elméleti gömbfelület viszonyát elemeztük.

A gömbalakú illesztőjeleken rögzített pontok száma nagyban meghatározza a regresszió jóságát, ezért a távolság függvényében ábrázolva megállapítható, hogy kb. 30 méter felett már nagyon alacsony a pontsűrűség, így az illesztés bizonytalansága megnő. A mért adatok és az illesztett gömbfelület közötti eltérés mérésére az átlagos négyzetes hiba gyökét használtuk (Root Mean Square Error, RMSE), ami a reziduumok négyzetének átlagából von gyököt:

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y})^2} \quad (9)$$

A (9) képlettel egy jellemző eltérést kapunk a mért és becsült adatok között, mértékegysége azonos a mért adatokéval. Az RMSE mellet az elméleti gömbök sugárértéke is egy jó mutató, hiszen minél jobban megközelíti a valóságos 10 cm-es értéket, annál pontosabbnak tekinthető a gömb középpontja is. Az RMSE és a visszszámolt sugár értékeket a távolság függvényében az 5. ábra mutatja be. Az eltérést mérő mutatók együttes elemzése alapján megállapítható, hogy 30 m mérési távolságig a mérések maximális belső hibája ~10-15 mm körüli. Itt nem szabad elfelejtenünk, hogy a BLK360 szkener pontossága 7 mm 20 m-en. A 30 méter távolság felett a becsült sugárértékek a valósághoz képest jelentősen eltérnek, az adatok szóródását a növekvő RMSE is mutatja.

Az illesztőgömbök külső hibája

A gömbillesztő algoritmusok belső hibájának elemzése után következett a visszszámolt gömbközepppontok és a mérőállomással bemért alappontok között értelmezett ferde távolságok elemzése. Azért, hogy a mért adatok összevethetők legyenek, első lépésben a visszszámolt gömb- és lézerszkener (0,0,0) középpontot a felírt jel- és műszermagasságok felhasználásával a bemért betonszegek szintjére vetítettük. Ezután a ferde távolság a szkener és a jel között már számolható a következő képlet alapján:

$$\text{SD} = \sqrt{(0 - x_0)^2 + (0 - y_0)^2 + ((0 - \text{TLS}_h) - (z_0 - \text{ST}_h))^2} \quad (10)$$

x_0, y_0, z_0 = a visszszámolt elméleti gömbközepppont koordináta
 TLS_h = műszermagasság (mért érték + 15 cm)
 ST_h = jelmagasság (mért érték + 13 cm)

A mérőállomással bemért állaspontok ferde távolságainak és a különböző gömbillesztésekből meghatározott ferde távolságok különbségét a 6. ábra mutatja be. Ebben az elemzésben is jól megfigyelhető, hogy a CloudCompare segítségével illesztett gömbök nagy szórást mutatnak, ezért nem alkalmas további utómunkák végzésére. A belső hibához hasonló tendenciát mutatnak a saját Python kóddal számolt gömbparaméterek, vagyis a sugár korlátozásával végzett illesztés viszonylag távolság független eredményt hoz, ezzel szemben a korlátozás nélküli módszerknél a hiba növekszik a mérési távolság növekedésével (a pontok szóródása miatt). Az rögzített sugaras OCF eljárás ± 1 cm hibát okoz a ferde távolságban, ezért az az eljárás javasolható leginkább az illesztőjelek középpontjának visszszámolására.

Eredmények megvitatása

Földi lézerszkennerek készítésével számos cég foglalkozik, ezért összehasonlításként (RADÓCZY 2013) munkája alapján egy Faro Focus 3D műszert választottunk. A dolgozatban a Faro starter kit hivatalos 139 mm átmérőjű illesztőjeleit 20, 30, 40 és 50 méter távolságban helyezték el és különböző pontsűrűségek mellett vizsgálták, hogy a Faro Scene szoftver a gömbillesztést hogyan tudja elvégezni. A legmagasabb felbontásnál a 20 és 30 méter távolságban lévő gömbök még elfogadható eredményt adtak, amelyet a program utóbbinál 99 gömbfelületre eső mérésből számolt ki. Az ennél távolabb eső gömböket a program megjelölte, hogy az illesztést nem, vagy csak alacsony pontosság mellett tudja végrehajtani. (RADÓCZY 2013) eredményeihez hasonló eredményt kaptunk, miszerint a 30 méter távolságba helyezett jelek alkalmasak a gömbillesztés elvégzésére. Ezen a határon belül a BLK360 szkennerek 100 db-nál több gömbfelületre eső pontot regisztrál, ami már alacsony 5 mm RMSE érték és ± 1 cm hiba nagyság mellett teszi lehetővé a gömbillesztést. Ennél kevesebb mért pontnál a regressziós algoritmusok nagy RMSE mellett és igen változó sugárral és pontossággal végzik el a gömbillesztést. A vizsgált módszerek közül az OCF megoldás, amely a referencia méréshez képest a legkisebb eltérést mutatja, így a szegmentált gömbi koordinátákon végzett gömbillesztésre ezt a módszert javasoljuk.

Összefoglalás

A kutatás célja a BLK 360 földi lézerszkennerek hosszú vonalas létesítmények felmérésére való alkalmasságának vizsgálata volt. Ezt az optimális illesztőjel távolság és hiba nagyság meghatározásán és az ehhez szükséges eszközökön és feldolgozási módszereken keresztül vizsgáltuk. A mérésekhez az általunk készített 10 centiméter sugarú gömb illesztőjelet használtuk. A gömbközpontok és sugarak meghatározására négy módszert tekintettünk át. Az első CloudCompare-ben végzett RANSAC algoritmussal működő illesztésről azt állapítottuk meg, hogy a nem szegmentált felhőkön végzett illesztésre alkalmas, de az általunk áttekintett módszerek közül ez rendelkezik a legalacsonyabb pontossággal. A Python nyelven keresztül implementált OUF, OCF és LLS módszerek a szegmentált felhőkön végzett illesztésre alkalmasak, és a három algoritmus közül a pontossági vizsgálatok eredményeképpen a rögzített sugárértékkel dolgozó OCF algoritmus bizonyult a legpontosabbnak. A kutatás további eredménye, hogy a BLK360 alkalmas lehet hosszú vonalas létesítmények felmérésére, mivel a regressziót az OCF algoritmus-sal ± 1 centiméteres hibával képesek vagyunk elvégezni akár 30 m távolságban elhelyezett jelekkel is. A BLK 360 szkennerek segítségével végzett nagy távolságokat felölelő mérések további fontos vizsgálata a georeferálással keletkezett koordináták térbeli hibáinak meghatározása, ez a munka még folyamatban van.

Köszönetnyilvánítás: A kutatás az „EFOP-3.6.1-16-2016-00018 – A felsőoktatási rendszer K+F+I szerepvállalásának növelése intelligens szakosodás által Sopronban és Szombathelyen” című projekt támogatásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- BRAZEAL, R. (2013): „Low Cost Spherical Registration Targets for Terrestrial Laser Scanning”. <https://doi.org/10/gffn8v>.
- BROLLY, G, PRIMUSZ P, BAZSÓ T., KIRÁLY G. (2019): „Több műszerállásból készített lézerszkennelések tájékozása erdőállományok felmérése során”. In Soproni Egyetem Erdőmérnöki Kar VII. Kari Tudományos Konferencia, 48–53. Sopron: Soproni Egyetem Kiadó.
- CHOW, J, EBELING, A., TESKEY, B. (2010): „Low Cost Artificial Planar Target Measurement Techniques for Terrestrial Laser Scanning”, Proceedings of the FIG Congress 13.

- DOLD, CH., BRENNER, C. (2006): „Registration of Terrestrial Laser Scanning Data Using Planar Patches and Image Data”. <https://doi.org/10.15488/3750>.
- FISCHLER, M. A., BOLLES, R. C. (1981): „Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography”. *Communications of the ACM* 24 (6): 381–395.
- JEKEL, C. F. (2015): „Least Squares Sphere Fit”. Blog. Engineer. Regression. Optimization. 2015. szeptember 13. <https://jekel.me/2015/Least-Squares-Sphere-Fit/>.
- JEKEL, C. F. (2016): „Digital Image Correlation on Steel Ball”. In *Obtaining non-linear orthotropic material models for pvc-coated polyester via inverse bubble inflation* Section: Appendix A, 83–87. Stellenbosch University. <https://hdl.handle.net/10019.1/98627>.
- Leica BLK. é. n. 11. Setting Target Ranges with BLK360. Elérés 2020. április 16. <https://www.youtube.com/watch?v=eLIsyk6TRR4>.
- RACHAKONDA, P., MURALIKRISHNAN, B., COURNOYER, L., CHEOK, G., LEE, V., SHILLING, M., SAWYER, D. (2017): „Methods and Considerations to Determine Sphere Center from Terrestrial Laser Scanner Point Cloud Data”. *Measurement Science and Technology* 28 (10): 105001. <https://doi.org/10/ggrqwh>.
- RADÓCZY, K. (2013): „Szádvár felmérése lézershakkerrel”. Diplomamunka, Budapest: Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem.

FÁS SZÁRÚ ENERGETIKAI ÜLTETVÉNYEK TECHNOLÓGIÁJÁT ÉS ÖKONÓMIÁJÁT BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK A GYAKORLATBAN

KOVÁCS GÁBOR, HEILIG DÁVID, HEIL BÁLINT
Soproni Egyetem, Erdőmérnök Kar, Környezet- és Földtudományi Intézet
kovacs.gabor@uni-sopron.hu

Bevezetés

Magyarországon 2007-ben született meg az első jogszabály a fás szárú energetikai ültetvények telepítéséről. A 72/2007. (VII. 27.) FVM rendelet a rövid vágásfordulójú fás szárú energiaültetvények telepítéséhez nyújtott támogatás igénybevételeinek részletes feltételeiről szól.

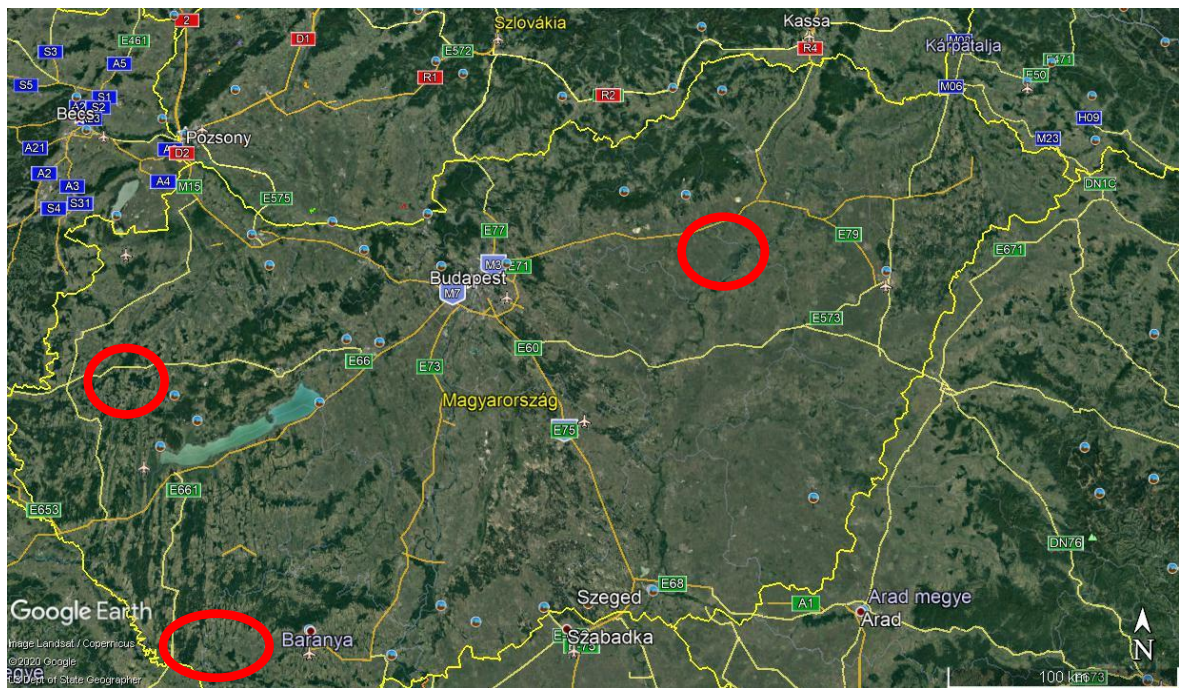
Vágvölgyi (2013) publikációja alapján kifejti, hogy 2005 előtt hazánkban 50-60 ha-on folytak fás szárú energetikai ültetvény kísérletek. Az akkori előrejelzések alapján 2010-re már mintegy 60 ezer hektár fás energetikai ültetvény létesítése volt várható, 1 millió t/év szilárd biomasszát eredményezve. Az Új Magyar Energiapolitika Tézisei szerint 2012-2030 közötti időszakban 210-230 ezer ha fás szárú energetikai ültetvény telepítését tervezték Giber et al. (2005). Gockler (2010) 2020-ra 100-250 ezer, de akár 1 millió ha fás szárú energiaültetvény telepítésével is számolt. Garay et al. (2012) 200 ezer ha-t említ. Ezzel szemben a NÉBIH Erdészeti Igazgatóság 2012-es adatai alapján (2012), Magyarországon 420 fás szárú energetikai ültetvény volt található 2080 ha területtel. Még ha a NÉBIH (2012) nyilvántartása nem is terjed ki valamennyi ültetvényre, nagyságrendileg megállapíthatjuk, hogy a 2012-2015-ös évek után új telepítésről alig-alig látott napvilágot hír (Szalai et al., 2019).

A fás szárú energetikai ültetvények rövid idő alatt jelentős biomassza előállítását teszik lehetővé. Ez azonban csak akkor valósul meg, ha az adott termőhelyi viszonyoknak megfelelően a technológiai lépéseket a gazdálkodók maradéktalanul betartják, ez biztosíthatja folyamatos működtetésüket is egyben.

Vizsgálataink az egyes technológiai lépések során felmerülő nehézségekre koncentráltak, melyek gátjai lehetnek az ültetvények sikeres fenntartásának és további elterjedésének. Kovács és Heil (2015) megfogalmazzák azokat a kutatási területeket az energetikai ültetvényekkel kapcsolatosan, amely kérdésekre a mai napig nincs a gyakorlat számára kézzel fogható kutatási eredmény.

Vizsgálati anyag és módszer

Gyakorlatban tett megfigyeléseink 2008-tól kezdődtek, mintegy 3000 ha fás szárú energetikai ültetvény vizsgálatával (1. ábra). Az ültetvények általános technológiai jellemzői a következők: talajelőkészítésük optimális esetben megfelel a kukorica magágyi előkészítésének. Telepítésük 25-30 cm hosszú nemes nyár (főként AF2, Monviso, kisebb mennyiségben Max, Koltay) dugványokkal történt, 3,0 x 0,4 m, ill. 3,0 x 0,5 m egysoros ültetvényt kialakítva a gépi ápolásnak megfelelően. A sorápolás vegyszerrel vagy mechanikusan, a sorközápolás mechanikusan történik. Az aratás az ültetéstől számított 3-4 évben, maximum 10-12 cm töltésméretig valósul meg. A sarjzatarás időtartama ugyancsak 3-4 év. A sorközi ápolások folyamatosak, évente akár többször is az időjárási viszonyoknak megfelelően. A célszerű letermelés az egymenetes (járvaaprításos) aratás. A biomassza apríték formájában kerül depózásra, majd a depóról történő erőműbe szállítás következik. Amennyiben a fák növekedése meghaladja a 12-15 cm-t, kétmenetes aratás válik szükségessé, melynek első lépése a tőelválasztás. Ez optimálisan döntő-rakásoló géppel történik, ami lehetővé tesz egy effektívebb forwarderes szálfában történő kiközelítést. A tőelválasztást követheti járvaaprítóval helyben történő aprítás és kihordó szerelvényel történő kihordás depóra.



1. ábra: A vizsgált energetikai ültetvények helyszínei (Sümeg-régió, Ormánság régió, Polgár-régió (forrás: Google Earth)

Vizsgálati eredmények

Termőhelyi feltételek

A fás szárú energetikai ültetvények szántó művelési ágú területeken hozhatók létre. A létesíté-
süket megalapozó előzetes termőhelyfeltárás 2007 után még nem volt előírva, kötelezővé csak
a 135/2017. (VI.9.) Kormány rendelet tette, az erdészeti termőhelyfeltárás követelményeinek
megfelelően. A vizsgált nyár ültetvények termőhelyi feltételeit tekintve elmondható, hogy a
telepítésre kiválasztott termőhelyek 90 %-a csak gyenge-közepes fatermőképességet biztosít.
Az ültetvények 10 %-a került az erdőssztyepp klímába, többletvízhatástól független hidrológiai
viszonyok közé, karbonátos humuszos homok talajra. Az ültetvények 90 %-a zárt tölgyes klí-
mában, síkvidéki környezetben fekszik. A termőhelyek 95 %-a többletvízhatástól független. A
termőhelyek 2 %-a pedig az árterekhez köthető felszínig nedves hidrológia. Az ültetvények
több, mint 50 %-a öntés réti talajon, öntés csernozjom talajon, humuszos öntéstalajon áll, kisebb
részarányuk rozsdabarna erdőtalajon, agyagbemosódásos rozsdabarna erdőtalajon, barnaföldön
található.

Ültetés előtti talajelőkészítések és azok hatása az ültetvények fejlődésére

A fás szárú energetikai ültetvények létrehozása 25-30 cm hosszúságú dugványokkal történik.
Hazánkban mintegy 10-15 db nyárdugványozásra alkalmas, egysoros ültetőgép áll rendelkez-
zésre. Az ültetőgép hidraulikusan a talajba nyomja a dugványokat. A tavaszi talajelőkészítés
következménye, a heterogén kihajtás. A megeredési százalék 50-70 %-ra is csökkenhet. A visz-
szamaradt kezdeti fejlődésű dugványokból fejlődött faegyedek a szűk növtér miatt alászorul-
nak, az ültetvény erőteljesen differenciálódik, ami a későbbiekben, az aratás időszakában tech-
nológiai problémát jelent egyes törzsek túlzott vastagodása miatt.

Vizsgálataink szerint ezeken a termőhelyeken a biomassa 20-30 %-kal esik vissza, később az
aratási költségek egységnyi biomasszára vetítve 20-30 %-kal pedig növekednek.

Fajták kiválasztása

A vizsgált területeken 90 %-ban az AF-2 nemesnyár, 5 %-ban P. generosa x P. nigra Monviso nemesnyár, 3 %-ban Populus nigra x maximowiczii és 2 %-ban Koltay nemesnyár fajta került telepítésre. A fajtáknál elsősorban a biomassa vizsgálatokra törekedtünk, azonban a kései fagy vonatkozásában a kihajtás időpontját, ill. a rovar-, valamint egyéb biotikus károsítások gyakoriságát is megfigyeltük. Az azonos termőhelyre telepített AF-2 és Koltay klónok biomassa alakulására jellemző, hogy az AF-2 mintegy 30 %-kal szignifikánsan nagyobb biomasszát adott az első és második rotáció alkalmával.

Szaporító anyag minősége, ültetés szakszerűsége, ültetési hálózatok, pótlási lehetőségek

Gépi ültetésnél az ültetés minősége egyenletes, a dugványtalp közvetlenül érintkezik a talajjal, az ültetés után a dugvány a talajból csak nehezen húzható ki. A magas megeredési arány mellett egy-egy hiányzó dugvány növényterét a szomszédos egyedek rendkívül gyorsan, egy éven belül elfoglalják, pótlásra nincs szükség. Az ültetési hálózatot elsősorban a talajművelő és betakarító gépek határozzák meg. 2010 óta gyakorlatilag csak az egysoros 3,0 m-es sortávú 0,4-0,5 m tőtávolságú ültetvényekkel találkozunk. Az ültetőgépek fejlesztése is erre a távolságra történt.

Talajápolás, sorközi ápolás

A talajápolás, a sorközi talajápolás mind a gyomkonkurencia visszaszorítása, mind pedig a talaj hajszálcsovésségének összetördelése végett fontos tevékenység. A tárcsázással egy menetben mindkét hatást elérjük. Ugyanakkor a szárazabb adottságú, könnyen kiszáradó homok, vagy homokos vályog talajoknál fontos a tárcsázás lezárása, a talajban levő nedvesség minél nagyobb arányú megőrzése. Tárcsázáskor a szélső tárcsalevelek a talaj egy részét a sorra dobják. Ennek kedvező hatása az, hogy a sorban a gyomok a talajhantok alá kerülnek, növekedésük gátolt. Ugyanakkor a folyamatos „bakhátépítés” ahhoz vezet, hogy a fák vágható magassága egyre inkább fölfelé csúszik, egy idő után az aratógépek a vágólapot már nem tudják olyan magasra emelni, hogy meghibásodások nagyobb kockázata nélkül történjen a tőelválasztás.

Egymenetes betakarítás feltételei

Az egymenetes (járvaapritásos) betakarítás kivitelezhetősége nagy mértékben függ az időjárási viszonyoktól ill. a talaj nedvességállapotától. A téli fagyok elmaradása miatt a 16-18 tonnás aratógépek és kihordó járműszerelvények a talaj káros tömörödését okozzák.

Komoly akadályt jelenthet a tuskómagasság kényszerű növekedése a sarjzatatások előrehaladtával a sarjcsokrok tönél tapasztalható eltérébélyesedése, vastagodása ill. a bakhátak kialakulásával. A 3. vágásforduló táján ez már komoly gond lehet.

Tápanyag-utánpótlás

Az eddigi vizsgálatok alapján a korábban mezőgazdasági területeken létrehozott ültetvények több év után sem mutatnak tápanyag-hiányt. Gyenge tápanyagellátottságú helyeken, ill. többszöri rotáció után levélanalízis javasolt annak eldöntésére, hogy szükséges-e a tápanyag-utánpótlás. (Bemmann – Knust, 2010), de a hazai ültetvényekben a tápanyag-utánpótlásnak nincs gyakorlata, annak ellenére, hogy az ültetvényekben mind a szerves trágyázás, mind a műtrágyázás, valamint a szennyvíziszap kihelyezés is megengedett, sőt annak időbeli korlátai is tágabbak, mint hagyományos mezőgazdasági kultúráknál.

Biotikus károsítások, vadkár, rovarkár

A fás szárú energetikai ültetvényekben a biotikus kártételek főleg minőségi kártételnek tekinthetők, függetlenül attól, de a mennyiségi kártétel is megjelenik. A rovarkárosítás elsősorban a friss kihajtások leveleinek lerágásában nyilvánult meg, de a gyors ismételt kihajtás és a további

levélképződés ezt minden esetben tudta kompenzálni. A két éves vagy annál idősebb ültetvényekben pedig a nagy nyárfalevelész, bögölyszitkár kártétele becslések alapján 5 % alatt maradt. A fás szárú energetikai ültetvények kevés kivételtől eltekintve nincsenek bekerítve. A vadisznó alapvetően kárt nem tesz bennük, az őz csak minőségi vadkárt eredményez, azonban a szarvas jelentős kárt tud okozni, nem csak minőségi, hanem mennyiségi vonatkozásban is. Folyamatos kártétel esetén a növény a zöld felület híján elpusztul, vagy másodlagos károsítók hatására fokozatosan kiritkulva semmisül meg. A szarvas által okozott vadkár mértéke összességében 5 % alatt maradt.

Abiotikus károsítások, széldöntés, fagykárak

Abiotikus kártételt a széldöntések és fagykárak okozhatnak. Ez elmúlt 2-3 rotációs időszakban a területek mintegy 5 %-ban lépett fel széltörés, ami elsősorban a 3-4 éves sarjállományokat érintette, a fák mintegy 2-4 %-át eltörve különböző magasságokban. Ennek következtében az állományok ápolása megnehezedett, a gépek nem tudtak a sorokban közlekedni. A törött, kiszáradt törzsek gyakran okoztak az aratógépekben károkat.

Kiterjedt fagykárak egy 45 ha-os tömbben keletkeztek 2014-ben, amikor a februári erős felmelegedést követően márciusi és áprilisi fagyok a friss egy éves kihajtásokban tettek jelentős kárt. Ez összességében csupán a területek 1,5 %-át érintette.

Gépesítési technológia nehézségei

A géprendszereket tekintve, a 20 ha táblaméretet meghaladóan, a leggazdaságosabb aratási mód az egymenetes, körfűrész adapterrel felszerelt, silózó kombájnnal történő betakarítás. Hazánkban jelenleg 4 ilyen működő adapter fej található. A silózó gépek és a kihordó járműszerelevények gyakorlatilag az őszi mezőgazdasági munkák befejeztével, november hónaptól állnak rendelkezésre. A téli betakarítás egyik fontos környezeti eleme a fagy, a talajt káros tömörödésének elkerülése szempontjából. Ez az elmúlt években egyre inkább elmaradt, ami az klímaváltozással vélhetően tendenciózussá válik, jelentősen megnehezítve a munkát. Egy aratási szezonban az aratógépek 300-400 ha ültetvényt aratnak optimális esetben. Ezt figyelembe véve Magyarországon mintegy 900-1200 ha ültetvény aratása valósulhat meg évente.

Biomassza hozamok

A fás szárú energetikai ültetvények telepítésének legfőbb célja a területegységre eső legnagyobb biomassza megtermelése. A lábon álló állományok becslése az aratás tervezhetősége szempontjából fontos. A gyakorlat azt mutatja, hogy az átmérő és a nedves tömeg függvényében végzett becslések igen jók, az egységes állományokban 5 % alatti, a heterogénebb állományokban 5-10 % közötti az eltérés az aratott mennyiségekhez képest.

A biomassza hozamok alakulása a rotációk számának növekedésével az elméleti számítások szerint folyamatosan nő. A gyakorlat a területek 30 %-án azonban mást mutat. A víz- és tápanyagellátottság szempontjából leggyengébb termőhelyeken gyakorlatilag konstansnak tekinthető a hozam a rotációk előrehaladásával. Szárazabb homoki termőhelyeken az átlag 3,4 – 4,5 atrotonna/ha/év mennyiség körül volt, ami egy gyenge-közepes biomasszának tekinthető. Jobb vízellátottságú vályog talajokon, mély termőréteg mellett az első rotációs hozamok 6,8 – 7,4 atrotonna/ha/év értékűek, a 2. rotációtól már 7,4 – 8,8 atrotonna/ha/év mennyiséggel lehetett számolni. A biomassza mennyiségének legfőbb befolyásoló tényezője a csapadékviszonyok alakulása. Azokban az ültetvényekben, amelyekben az aszály közvetlenül a levágást követő években jelentkezett, ott a sarjadzást követően alig volt biomassza képződés, jellemzően hárként 1-2 atrotonna/ha/év. A biomassza mennyiségét ill. az aratás géprendszerének lehetőségeit a tősarjak számának alakulása is jelentősen befolyásolja. A kedvezőbb termőhelyi adottságú állományokban a 2. ill. 3. rotáció után sem csökkent a tőegyedek száma 90 % alá, azonban a

szárazabb termőhelyeken a következő módon alakult: 1 rotáció után 95 %, második után 90 %, harmadik után 80 %, negyedik után pedig 60 %.

Apríték tárolási problémák

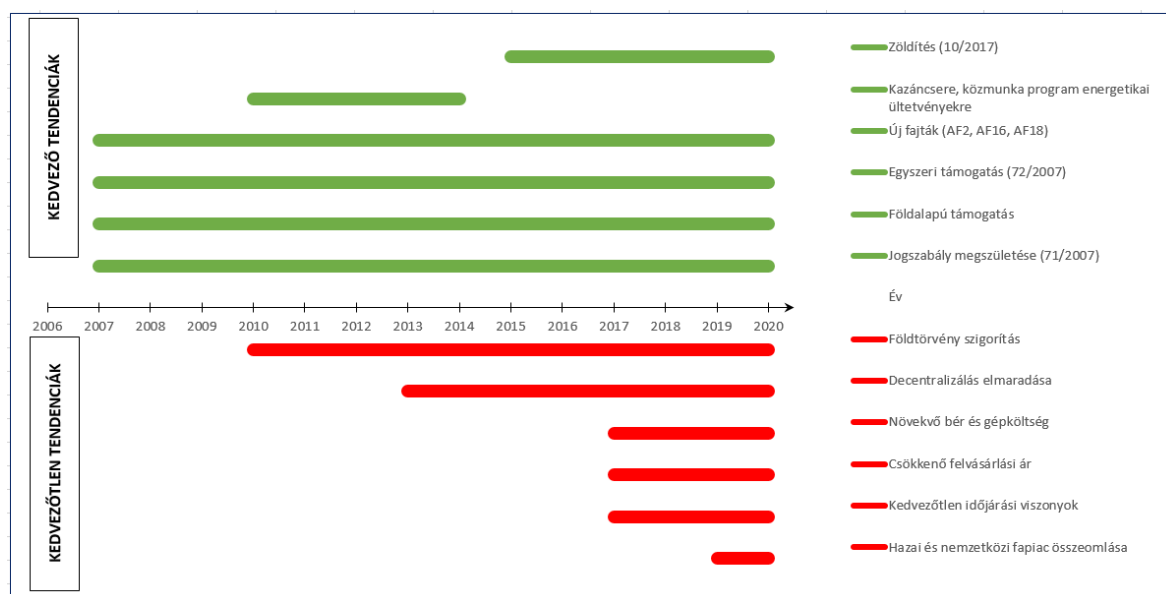
Az apríték tárolása rendszerint közvetlenül az ültetvények mellett kialakított depóhelyeken történik. Az apríték mozgatása, többszöri fel- és lerakása többletköltséget eredményez, ezért a gyakorlatban csak azoknál az ültetvényeknél valósul meg, ahol rövid, néhány kilométeres szállítási távolságra kell az aprítékot fedett tárolótérre vinni. Fedetlen helyen történő tároláskor még a 6-7 m magasra, kúposan kialakított prizmák is jelentős mennyiségű vizet vehetnek fel a csapadékból. A depók roskadása 6 hónapos tárolási időszakot figyelembe véve 10-15 %, hasonló mennyiségű biomassza veszteséggel is számolhatunk. További veszteséget okoz a nem megfelelő, vizes, összefolyásos területen kialakított depókon az alulról történő felázás, ami az erőművi értékesítéskor a fűtőérték alapján számított átvételi árat jelentősen csökkenti. Fontos szempont a depóhelyek minél jobb megközelíthetősége is, lehetőleg időjárástól függetlenül.

Apríték értékesítés nehézségei, külső piaci hatások

Az ültetvényekből származó apríték értékesítésének legnagyobb gondja, a megfelelő felvevő piac, ill. a decentralizált energiafelhasználás hiánya. A 2010-es években indult kazáncsere program kiegészült a fás szárú energetikai ültetvények telepítésének támogatásával. Több olyan biomassza erőmű ill. fűtőmű tervezése történt, amelyek a mai napig nem valósultak meg. Közben a támogatások megszűntek, a felvevő piac diverzifikálása nem történt meg. Jelenleg az értékesítés csupán a monopol helyzetben levő nagyobb erőművekbe lehetséges. A fapiac 2019 évi összeomlása után a helyzet még tovább romlott. 2017 óta az apríték 24.000 Ft/atrotonna erőművi átvételi ára 20.000 Ft/atrotonnára csökkent, miközben a vállalkozói díjak, munkaró, gép- és alkatrészek díjai min. 10-20 %-kal emelkedtek.

Vizsgálati eredmények értékelése, megvitatása, következtetések

Az elmúlt években kedvezőtlen tendenciák jelentkeztek, amelyek az ültetvények gazdaságossága ellen hatnak (2. ábra). Ezek elsősorban a megváltozott téli időjárási viszonyok, a fapiac összeomlása, a decentralizált biomassza energetikai felhasználásának elmaradása, a növekvő munkabérek és alkatrészarak.



2. ábra: Az energetikai ültetvények hazai elterjedését meghatározó tényezők (2007-2020)

Vizsgálataink alapján az ültetvények elterjedésének gátja a bizonytalan gazdasági környezet, a megtermelt biomassza értékesítése. Ezt állapította meg Schweier és Becker (2013) a szélsőséges mezőgazdasági területeken létrehozandó ültetvények hozadékát vizsgálva. A gazdák vonakodása elsősorban az ültetvények bizonytalan gazdasági kilátásaira vezethető vissza. Az egy-emenetes betakarítás eredményessége vizsgálataink szerint 70 euró/ha/év, 50 km-es beszállítási körzetet figyelembe véve. A magasabb járadékok elérése a rotációs ciklus meghosszabbításával, öntözéssel, az apríték szárításával és kétlépcsős betakarítási rendszerrel lehetséges. Faasch és Patenaude (2012) eredményei szerint az ültetvények kevésbé jövedelmezőek a mezőgazdasági növényeknél, de megfelelő támogatások ezt megfordíthatják. Ilyen támogatással indultak hazánkban is az energetikai ültetvények telepítése. Szajkó et al. (2009) szerint érdemes fás szárú ültetvények telepítésében gondolkodni, 50 %-os állami támogatás mellett a beruházások már a 2. ill. 3. rotáció után megtérültek, amit vizsgálataink is megerősítenek, azonban csak a 2016-ig jellemző piac környezetben. Deák és Ferencz (2017) megállapítják, hogy a hazai biomassza termelést hasznosító erőművek száma kevés, ezért az apríték iránti kereslet korlátozott. Az energetikai ültetvények éves működési költségeinek fedezésére 20-25 %-os értékesítési áremelés lenne szükséges, éppen annyi, amennyivel esett az utóbbi években a biomassza ára. A bioenergia csak akkor lenne versenyképes a hagyományos energiaforrásokkal szemben, ha a döntéshozók annak a társadalom számára biztosított minden előnyét figyelembe vennék és ezt anyagilag megfelelő támogatások formájában el is ismernék.

Megállapításaink szerint a szakirodalomban megadott hozamok csak optimális termőhelyi viszonyok mellett valósulnak meg. Rédei et al. (2009) nyárültetvényekben 4 éves vágásfordulóval 12-17 t/ha/év dendromasszát említ. Rénes (2008) szerint két évente 20-23 atrotonna/ha/év mennyiségnek megfelelő fát termelhetünk, ami kb. 400.000 MJ energiahozamot jelent. Marosvölgyi et al. (1999) 14-45 élő nedves t/ha/év mennyiségről számol be. Ivelics (2006) 15,4 atrotonna/ha/év átlagos mennyiséggel jellemzi a hazai nyárültetvényeket, 7-22 atrotonna/ha/év közötti értékek mellett. Az évi 8-10 atrotonna/ha/év mennyiség, a Zöldláng projekt beszámolója (2011) szerint a 7,0 atrotonna/ha/év feletti mennyiség megfelelő lehet, azonban a jelenlegi gazdasági környezetben ahhoz, hogy az aratás és beszállítás költsége ne haladja meg a bevétel 65 %-át, ahhoz 12 atrotonna/ha/év hozam lenne szükséges. Posza és Borbély (2018), Posza (2018) szerint a rövid vágásfordulójú, sarjaztatásos energetikai ültetvények külön-külön megfelelhetnek a gazdasági és a környezeti fenntarthatóság kritériumainak, de mindkettőnek egyszerre nem. Jövedelmezően fenntartható gazdálkodás a kedvező adottságú termőterületen, elsősorban intenzív termesztéstechnológia alkalmazása mellett érhető csak el. Pecenka et al. (2020) is rámutatott arra, hogy tartós fagyban történő aratás az átfagyott törzsek miatt 31 %-kal emelte az aratás energiaigényét. A rotációs időszakok megválasztása 1-3 éves intervallumban az energiámérlegben is megmutatkozik, ahol a nettó energia 172 GJ/év-ről 299 GJ/év-re nőtt (Nassi et al., 2010).

Fontos, hogy az energetikai ültetvények termesztés technológiáját a helyi adottságoknak megfelelően kell megválasztani, kiemelt figyelmet szentelve a betakarítást követően az apríték felhasználási lehetőségeire. A hazai gépfejlesztések, elsősorban a betakarításra fókuszálva, leálltak. Így a 20 ha alatti területeken található ültetvények aratása bizonytalanná vált. Ezért javasolható az ültetvények midirotaációs technológiára történő átalakítása, amellyel mind ipari fát, mind pedig aprítékot tudunk termelni.

Összeségében a fás szárú energetikai ültetvények gazdaságosságát több tényező befolyásolja ugyan (1. ábra), de jövőjüket illetően döntőnek látjuk az állami szerepvállalást, a mezőgazdasági támogatások rendszeréhez való igazítást. Javasolható állami szinten, az erdősítésekhez hasonlóan az ültetvények telepítésének támogatása, hiszen számos példa mutatja a megtermelt biomassza mellett az ültetvények további előnyeit (pl. széndioxid-megkötés, biodiverzitás növelés, munkahelyteremtés, kedvező klímahatás, stb.).

Az új telepítések előmozdítása érdekében javasolható az erdősítési támogatási program kiterjesztése az energetikai célú ültetvényekre is, hiszen az jelenleg csak az ipari célú fás szárú ültetvényekre és a hagyományos erdőtelepítésekre vonatkozik. Ezzel egyidőben azonban szorgalmazni kell olyan beruházásokat is, amelyek térségi szinten valósítják meg helyi erőművek létrehozását és Európa egyik mintaprojektéhez, a güssingihez hasonlóan (Bedő, 2020) megszervezik a térségi önálló energiáhozvezető hálózatot.

Köszönetnyilvánítás: Cikkünket a Soproni Egyetem EFOP-3.6.1-16-2016-00018 - *A felsőoktatási rendszer K+F+I szerepvállalásának növelése intelligens szakosodás által Sopronban és Szombathelyen* című projektje támogatta.

Irodalomjegyzék

- BEDŐ, K. (2020): Fűben-fában energia – a szomszédban. In: Green magazin, 2020. tavasz. 28-33.
- BENETKA, V. – NOVOTNÁ, K. – STOCHOVÁ, P. (2014): Biomass production of *Populus nigra* L. clones grown in short rotation coppice systems in three different environments over four rotations. *iForest – Biogeosciences and Forestry* 7 (4). 233-239.
- BEMMANN, A. – KNUST, C. (2010): AGROWOOD: Kurzumtriebsplantagen in Deutschland und europäische Perspektiven. Weißensee Verlag. Berlin. pp. 46-47.
- DEÁK, ZS. – FERENCZ, Á. (2017): Rövid vágásfordulójú energetikai ültetvény pénzügyi teljesítménye. Jelenkor társadalmi és gazdasági folyamatok. 12 (3). 47-53.
- FAASCH, R. J. – PATENAUDE, G. (2012): The economics of short rotation coppice in Germany. *Biomass and bioenergy*. 45. 27-40.
- GARAY, R. – KOZÁK, A. – NYÁRS, L. – RADÓCZINÉ KOCSIS, T. (2012): The potential for the production and use of biomass-based energy sources in Hungary. In: *Studies in Agricultural Economics* 114. 1-9.
- GIBER, J. – GÖNCZI, P. – SOMOSI, L. – SZERDAHELYI, GY. – TOMBOR, A. – VARGA, T. – BRAUN, A. – DOBOS, G. (2005): A megújuló energiaforrások szerepe az energiaellátásban. In: *A magyar energiapolitikai tézisei a 2006-2030 között időszakokra*. 12. Gazdasági és Közlekedési Minisztérium. Budapest.
- GOCKLER, L. (2010): Fás szárú energiaültetvények a mezőgazdaságban. 2. rész- a sarjaztatásos fás szárú energetikai ültetvények technológiájának megfontolandó elemei. In: *Mezőgazdasági Technika* 5 (11). 40-43.
- IVELICS, R. (2006): Minirotációs energetikai faültetvények termesztés-technológiájának és hasznosításának fejlesztése. Doktori értekezés. Nyugat-magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar. Sopron.
- ZÖLDLÁNG (2011): „ZOLDLANG” projekt II. munkaszakasz eredményeinek bemutatása. www.zoldlang.com/sites/default/files/III%20munkaszakasz_0.pdf. Letöltés: 2020.04.20.
- KONCZ, G. – DEME, P. – KERÉNYI, Z. (2015): Linking green energy to rural development. *Journal of Central European Green Innovation* 3 (TI). 79-96.
- KOVÁCS, G. – HEIL, B., (2015): Fás szárú ültetvények helyzete és jövőbeni szerepük a hazai biomassza ellátásban, kutatási tématerületeik. In: *V. Kari Tudományos Konferencia Kiadvány.* (Szerk.: Bidló, A. – Facskó, F.) 13-20. Nyugat-magyarországi Egyetem. Sopron.
- MAROSVÖLGYI, B. – HALUPA, L. – WESZTERGOM, I. (1999): Poplars as biological energy sources in Hungary. *Biomass and Bioenergy* 16. 245-247.
- MARRON, N. – BEIMGRABEN, T. – BES DE BERC, L. – BRODBECK, F. – ELTROP, L. – FOCKE, J. – HAID, S. – MÄRDTLEIN, M. – NAHM, M. – PELZ, S. – SAUTER, U.H. – VAN DEN KERCHOVE, L. – WEINREICH, A. (2012): “Cost reduction and efficiency improvement of Short Rotation Coppice” on small field sizes and under unfavourable site conditions by focusing on high product quality and a product-oriented cooperative value chain. CREFF Final Report.
- NASSI, N. – GUIDI, W. – RAGAGLINI, G. – TOZZINI, C. – BONARI, E. (2010): Biomass production and energy balance of a 12-year-old short-rotation coppice poplar stand under different cutting cycles. *Bioenergy*. 2 (2). 89-97.
- NÉBIH (2012): Erdővagyon, erdő- és fagazdálkodás Magyarországon.

- PECENKA, R. – LENZ, H. – OLATAYO JEKAYINFA, S. – HOFFMAN, T. (2020): Influence of Tree Species, Harvesting Method and Storage on Energy Demand and Wood Chip Quality When Chipping Poplar, Willow and Black Locust. *Agriculture* 10 (116) 1-16.
- POSZA, B. (2018): A hazai energia ültetvények, mint megújuló energiaforrások gazdasági vizsgálata. Doktori értekezés. Kaposvári Egyetem, Gazdaságtudományi Kar. Kaposvár.
- POSZA, B. – BORBÉLY, CS. (2018): A rövid vágásfordulójú, sarjaztatásos ültetvények fenntarthatósági vizsgálata. *Acta Agronomica Óváriensis* 59 (1). 44-61.
- RÉDEI, K. – CSIHA, I. – VEPERDI, I. (2009): Energiaerdők, faültetvények új területhasznosítási lehetőségek. In: *Magyar Tudomány* 2.
- SCHWEIER, J. – BECKER, G. (2013): Economics of poplar short rotation coppice plantations on marginal land in Germany. *Biomass and Bioenergy* 59. 494-502.
- SZAJKÓ, G. – MEZŐ, A. – PATÓ, ZS. – SCULTÉTY, O. – SUGÁR, A. – TÓTH, A. I. (2009): Erdészeti és ültetvény eredetű fás szárú energetikai biomassza Magyarországon. REKK Műhelytanulmány.
- SZALAI, D. – KERTÉSZ, SZ. – VÁGVÖLGYI, A. (2019): Changes in the legal and support background of woody energy plantations. *Analecta Tehcnica Szegedinensia*. 13 (1). 72-81.
- VÁGVÖLGYI, A. (2013): Fás szárú energetikai ültetvények helyzete Magyarországon napjainkig; üzemeltetésük, hasznosításuk alternatívái. Doktori-értekezés. Nyugat-magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar. Sopron.

AGROERDÉSZETI ERDEI KÖZTES TERMESZTÉSŰ RENDSZEREK TECHNOLÓGIÁJA

KOVÁCS KLAUDIA, VITYI ANDREA, HORVÁTH ATTILA LÁSZLÓ
Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Erdészeti-műszaki és Környezettechnikai Intézet
Kovacs.Klaudia@phd.uni-sopron.hu

Bevezetés

A világ számos részén alkalmaznak agroerdészeti köztes termesztésű rendszereket, de csak kevés helyen segítik vele az erdősítés sikerességét. Ezeknek az erdősítéseknek az alkalmazását többek között a környezeti hatások extrémításai, és emberi túlkapások (esőerdők pusztítása) miatt kénytelenek alkalmazni a helyi társadalmak.

Az agroerdészeti rendszerű köztesművelést a faegyedek túlélési rátájának javítására alkalmazzák Afrikában és Dél-Amerika esőerdeiben. Az afrikai erdősítések inkább az élelmezést szolgálják, de épp úgy védik, és építik a talajt az eróziótól is. Dél-Amerikában az esőerdők visszatelepítése és megóvása a cél, de eközben táplálékot is szolgáltat a helyieknek. (Watson, 2014; Suoza és mtsai., 2010)

A technológia kiválasztása nagymértékben függ az agroerdészeti gazdálkodás alá vont terület talajtípusától, a talaj megmunkálhatóságának (pl. mennyire kötött a talaj) és a felszín lejtésének mértékétől, valamint kitétségétől. Fontos figyelembe venni a létrehozni kívánt rendszer típusát, a párosítandó növényeket és célokat, a fás kultúra gondozási igényét, a fasorok közötti haszonnövény termesztéséhez használandó munkagép munkaszélességét és teljesítményét. Magyarországon régi hagyománya van az erdei köztes művelésnek (vákáncsosok) (Miklós, 1974). A mai napig alkalmazzák ezt a módszert az erdészetek, de nem széles körben. Bár sosem felejtette el ezt a módszert a gyakorlat, technikai fejlettsége helyenként megmaradt a kezdeti szinten.

A kutatás megpróbál segítséget adni a gazdálkodók számára, hogy a jelenlegi szintnél erőforrás-hatékonyabb agroerdészeti módszert válasszanak, valamint rálátásuk legyen a piacon lévő technológiai megoldásokra.

Az erdőfelújítást szolgáló agroerdészeti rendszer kialakítása és fenntartása

A terület kialakításakor fontos figyelembe venni, hogy az erdőművelési ágban lévő területeket csak bejegyzett erdőgazdálkodók erdősíthetik vagy újíthatják fel. Az erdőgazdálkodó köteles az erdőgazdálkodási munkák szakszerűségének biztosítása érdekében a jogszabályban előírt végzettséggel rendelkező szakirányító közreműködését igénybe venni. Ez történhet úgy, hogy az erdőgazdálkodó rendelkezik szakképesítéssel, vagy szakképesítéssel rendelkező személyt foglalkoztat, vagy ilyen személyt foglalkoztató szervezettel szakirányítási szerződést köt. Tehát a gazdálkodásnak ezt a részét nem végezheti mindenki, nagyon komoly jogszabályi követelményeknek kell megfelelni. (Schibera, 2003)

A fent említettek figyelembevételét követően a kialakítás első lépése a teljes talaj előkészítés (tuskózás, forgatás, keverés, lazítás vagy aprítás vagy tömörítés, felszínalakítás) (Horváth, 2011), emellett szükséges egy kézi tisztítás is, melynek során a vetőgép számára akadályt képező növényi hulladékot (kisebb gyökér és ág darabok) eltávolítják a parcelláról. Jelenleg a kisebb növényi hulladékok helyszínről való lejtuttatásának gépesítése nem megoldott.

Ha szükséges vegyszeres kezelés, azt a mezőgazdasági kultúrának megfelelően végzik, de alkalmazhatóak más, mechanikai gyomirtási módszerek is (Davies, 1987). A terep termőhelyi adottságai alapján meghatározható a köztes növény, melynek köre előre determinálásra kerül az erdőrészlet termőhely-típusváltozatával, és a köztes növény haszonvételi céljával.

Közép-Európa sík vidékein a legfőbb fafaj a nyár, akác, néhol a tölgy, amellyel valamilyen mezőgazdasági kultúrát párosítanak, ezért ezeknek a fafajoknak a művelése kerül előtérbe (Paris és Dalla Valle, 2017).

Alföldi erdővel borított tájain a következő társításokat alkalmazták már akác-kukorica, akác-görögdinnye, akác-tök, akác-burgonya, nemesnyár-tök, nemesnyár-kukorica, tölgy-kukorica. Erdélyben előfordul fenyők és földieper párosítás is. (Vityi et al., 2017) Homoktalajon lévő akácokban kedvelt köztesvetésű növény volt a görögdinnye.

Fontos odafigyelni a tápanyag konkurenciára, az árnyékolásra, továbbá az optimális szellőzöttséget is szükséges biztosítani (Nambiar és Sands, 2011).

Bár a napraforgó is jó alternatívának bizonyulna, mert ahogy a kukorica alatt nem füllednek be a csemeték, úgy a napraforgó is engedi a levegőmozgást, így ennek használata is megfelelő mikroklímát hozna létre, ám a napraforgó a csemeték által is hasznosítandó tápanyagokat von el a talaj felső rétegéből.

Az erdei köztestermesztésben a sorok tájolását nem a köztesnövény fogja meghatározni, hanem az adottságok és a praktikusság (pl. közelítőnyomok, tuskósor). Ha nem sík terepen történik a gazdálkodás ebben a formában, akkor a lejtést és a kitétséget is figyelembe kell venni a gazdálkodónak. A hegyvidéki régiókban nem jellemző az akác és nemesnyár gazdálkodás, ezért a gyakorlati példák jelentős része a sík vidékekről származik. A hegyvidéki erdőterületek jelentős része védett, felújításuk csak őshonos fafajokkal végezhető, a terepviszonyok akadályozhatják a technológiát, ezért nehéz (vagy lehetetlen) megoldani a kezelésüket.

A köztes rendszer fenntartási időszakának hosszát legfőképp a növények határozzák meg, illetve a vállalkozó hajlandósága a rendszer fenntartására. Gyorsan növekvő fafajoknál, mint a nemesnyár jellemzően 1-2 év, míg lassan növekvő fafajoknál, mint a kocsányos tölgy (*Q. robur*), 3-4 év is lehet. A fafaj a fasorok távolságát is meghatározza, ez a nemesnyárnál a legnagyobb (ált. 4 méteres sortáv). Ha ennél nagyobb sortávot választanánk, az veszélyeztetné az állomány ellenállóképességét, és csökkenne a fakihozatal minősége. Ebből következik, hogy ezekhez a sortávolságokhoz lesz igazítva a vetést. A sortávolságnak a mai technológia mellett min. 2,5-3 méternek kell lennie, mert kisebb sorok esetén nem megoldható a művelés. Más agroerdészeti köztes termesztésű rendszereknél vitatott kérdés a fasorok távolsága, a mezőgazdasági növény terméshozamájának optimalizálása miatt. (Chhavi és Bangarwa, 2007)

A vetés ideje a fákhöz igazítandó, pl. a tölgy kukorica elsőéves párosításánál, ahol a tölgy-csemetéknek minimum két hét előnyt adunk a kukoricával szemben. A köztesnövény megválasztásának egyik kritériuma annak fejlődési gyorsasága és végmagassága. A kocsányos tölgy pl. fényigényes fafaj, ezért itt köztesnövénynek alacsonyabb növésű kukoricát kell választani.

Az erdőrésztetek öntözése nem széles körben alkalmazott eljárás, de vannak olyan területek, ahol természeti adottságoknak köszönhetően biztosítják az erdőrésztetek öntözésének lehetőségét (Wagner, Flynn, és Gregory, 1998). Ha az öntözés megoldható, akkor természetesen jobb terméshozam érhető el. (pl. Kapuvári Erdészet)

Vizsgálati anyag és módszer

Az agroerdészeti köztes termesztésű rendszerek komplexebbek, mint a hozzájuk hasonló energetikai faültetvények, az erdőtelepítések vagy a mezőgazdasági monokultúrák. Mindez azt a következtetést vonja maga után, hogy bonyolultabb és összetettebb géppark is szükséges kialakításukhoz és fenntartásukhoz. A kétféle gazdálkodási mód, tehát az erdő-, az ültetvényes, és a hagyományos mezőgazdasági műveléshez használt gépek együttese szükséges a mezőgazdasági típusú köztes művelésű gazdálkodáshoz. A kutatás során szerzett eddigi gyakorlati tapasztalatok és saját vizsgálatok alapján áttekintésre kerülnek az egyes műveletekhez kapcsolódó gépigények.

Vizsgálati eredmények

Hagyományos faanyagtermelő erdő

Erdőfelújítás esetén a területen lévő vágástéri apadékot (vékony ágak, tuskók) el kell távolítani, mert akadályozza a magvetést, csemete ültetést. A **terület-előkészítés** (vágástakarítást) hagyományos erdészeti technológiákkal (ágfaszedés - égetés, összetolás, közelítés, zúzás, aprítás, tuskózás) és gépekkel (vágástakarító gépek, faanyagmozgató gépek, erdészeti zúzó, mobil aprítógépek, tuskómaró, tuskófűrő, ill. tuskókiemelő gépek) megvalósítható.

Erdőfelújítás esetén a köztestermesztés miatt **teljes talaj-előkészítést** kell alkalmazni, amely egyenértékű erdőtelepítés esetén a korábban mezőgazdasági hasznosítás alatt álló területen végrehajtott **talajműveléssel**. Végrehajtásához talajművelő gépek (pl.: eke, talajlazító, tárcsa, kombinátor, stb.) működtetésére alkalmas mezőgazdasági és/vagy erdészeti erőgépek szükségesek.

Az erdőfelújítás és az erdőtelepítés jelen esetben történhet **magvetéssel** vagy **csemeteültetéssel**. Ezen munkaműveletek kivitelezéséhez a hagyományos erdészeti ágazatban használt erdészeti apró és nagymagvetőgépek, ill. ültetőgépek alkalmazandók.

A köztesnövény vetése kivitelezhető mindhárom megemlített rendszerben sorvetőgéppel (gabonavető géppel), szemenkénti vetőgéppel, vagy szóróvető géppel magtól és vetési sémától függően. Az ültetés történhet szorítóujjas palántázógéppel, tápkockás palántaültető géppel, vagy automata palántázógéppel. (Szendrő, 2000)

Növényvédelem, növényápolás tekintetében a mezőgazdaságban használt kisebb méretű permetezőgépek használhatók.

Az elő és véghasználatok során a fahasználat gépeinek teljes tárháza alkalmazható a lehetőségek függvényében. Fakitermelés tekintetében a motorfűrészről a harveszterig, faanyagmozgatásnál pedig a vonszolóktól (pl. csörlős, markolós) a kihordó szerelvényeken (traktor rakoncás-darus pótkocsival) át a forwarderekig válogathatnak a gazdálkodók.

A faanyagszállításra természetesen a hagyományos erdőgazdálkodás területén használt gépek használhatók.

Hosszú vágásfordulójú faültetvények

Az új ültetvény létesítésekor (erdőtelepítés) és az újra telepítésekor (erdőfelújítás) a hagyományos faanyagtermelő erdőnél kifejtett terület-előkészítési és talaj-előkészítési munkálatok és gépek egyaránt érvényesek.

Nemesnyár ültetvény **telepítése** történhet gyökeres dugvánnyal (suháng), bot- és karódugvánnyal. Hengeres faültetvény esetén – ahol cél a hámozási rönk minél nagyobb részaránya véghasználatkor - csúcsrügyes karódugvány ültetése javasolt. Csúcsrügyes karódugvány esetében gépi gödörfúrást követően kézi ültetés és beiszapolás szükséges. Gyökeres karódugványnál az ültetés suhángültető géppel történhet.

A mezőgazdasági köztesnövény elhagyását követően a **sörközapolás** (tárcsázás) mezőgazdasági erőgépekkel oldható meg. A szellős talajt évi 2-4 tárcsázással szükséges biztosítani.

Növényvédelem és **tápanyag-utánpótlás** tekintetében a mezőgazdaságban használt kisebb méretű permetezőgépek és műtrágyaszórók használhatók.

Az **ültetvény nyesésével** érhető el a 6-8 m magas ágtiszta törzs, ehhez teleszkópos kézi fűrészek, ill. motoros magassági ágvágók alkalmazhatók.

Az **elő- és véghasználat**, azaz az ültetvény **betakarítása** a hagyományos erdészeti ágazatban használt gépekkel oldható meg (lásd. fentebb).

Rövid vágásfordulójú energetikai faültetvények

Az ültetvény létesítéséhez szükséges **terület-előkészítés** és/vagy **talaj-előkészítés** gépigénye megegyezik a hosszú vágásfordulójú ültetvényeknél használatos gépekkel.

Az ültetvény **telepítése** úgynevezett normál dugvánnyal történik. Ezen szaporítóanyag talajba való juttatásához speciális, erre a célra kifejlesztett dugványozó gépre van szükség.

Növényvédelem és **tápanyag-utánpótlás** tekintetében szintén a mezőgazdaságban használt kisebb méretű permetezőgépek és műtrágyaszórók használhatók.

Az ültetvény betakarítása (célválaszték minden esetben az energetikai apríték) területnagyságtól és gépesítettségi szinttől függően három féle munkarendszerben valósulhat meg:

Kézi eszközös betakarítás: Tőelváasztás tisztítófűrészsel, motorfűrészsel történik. Faanyag közelítése rakodóra kihordó szerelvénnyel (traktor rakoncás-darus pótkocsival), faanyag aprítás pedig mobil aprítógéppel történik.

Gépi többtagú betakarítás: A gépi többtagú betakarítás esetén a faanyag kitermelése és aprítása eltérő időpontban – esetenként különböző helyszínen – valósul meg. A faegyedek kitermelése tőelváasztó vagy döntő-rakásoló géppel történhet. A faanyag közelítése (mozgatása) kihordó-szervénnyel, forvarderrel végezhető el. A fák aprítása aprítógéppel kerül kivitelezésre. Alkalmazhatók speciális gépek is, amelyek a tőelváasztás, feldolgozás (kötegelés, bálázás) és közelítés munkaműveletinek különböző kombinációját valósítják meg (pl. járvakötegelők, járvabálázók, rendvágó-gyűjtő-kihordók, döntő-gyűjtőfejjel felszerelt kihordók).

Gépi egytagú betakarítás: Gépi egytagú betakarításnál a tőelváasztás és az aprítás egy időben valósul meg. A munkarendszer speciális vezérgépe a járvaaprító, amely létezik függesztett, vontatott és önjáró kivitelben. Az előállított apríték közelítése és szállítása mezőgazdasági gépekkel és tehergépjárművekkel történik.

Az ültetvény **felszámolás:** Az utolsó betakarítás után a töveket, gyökereket el kell távolítani és a parcellákban mélyszántást kell végrehajtani, amihez három-pont felfüggesztésű, TLT meghajtású, központos elhelyezkedésű, megerősített speciális tuskómaró a legmegfelelőbb. Az eljárás célja, hogy a tő- és a gyökérrészek jelentős hányadát szétforgácsoljuk és így lehetővé váljon a mélyszántás, mellyel a földterület mezőgazdasági hasznosíthatósága biztosított.

Vizsgálati eredmények értékelése, megvitatása, következtetések

Fontos megjegyezni, hogy ugyan használhatóak a technológiában mezőgazdasági gépek, de számításba kell venni a fasorok távolságát, a köztes növény vetési sémáját, és a gépek munkaszélességét. Mindezt azért, hogy költséghatékony legyen a kialakítás és fenntartás. Továbbá szem előtt kell tartani, hogy az erdősítésekben kisebb munkaszélességű gépeket lehet csak alkalmazni.

Az utóbbi években megnőtt az érdeklődés az agroerdészeti gazdálkodás iránt, ennek ellenére visszafogott a terjedése. Az európai uniós kutatási projektek eredményei szerint, ennek egyik oka a technológia alkalmazásával kapcsolatos tudás- és információhiány. (Rigueiro-Rodríguez, 2009) Az agroerdészeti rendszerek gépesítéséről tudományos, szakmai és ismeretterjesztő publikációk nagyon kevés információt tartalmaznak, különösen magyar nyelven, ezért ez az írás és a hozzá kapcsolódó kutatás hiánypótlónak tekinthető.

A munkaerőigény csökkentése és a gazdaságosság növelése miatt, az erdei és a mezőgazdasági munkák gépesítése szükségessé vált, beleértve az erdei köztes termesztést is. Azonban a régi hagyományos munkagépek nem tudják felvenni a versenyt a mai környezetvédelmi szabályozásokkal és normákkal, ezért a fenntarthatóbb gazdálkodás érdekében elkerülhetetlen a fejlesztés. Már elérhetőek olyan technológiák, amelyek tovább csökkentik a káros anyag kibocsájtást (pl. az AGRO Power motorjai megfelelnek a legújabb EU-s, amerikai kipufogógáz-tisztasági előírásoknak és a Tier 5 Final normának is). (Tátrai, 2018)

Pár éve megjelentek a piacon a mezőgazdasági robotok is, melyek megoldást kínálhatnak a legtöbb problémára. Kiváltják az emberi munkaerőt, akkumulátoroknak köszönhetően környezetbarátabban működnek és munkaszélességük is tökéletesen illeszkedik ezeknek a rendszereknek a paramétereire. (Naio Oz 440, 2011)

Köszönetnyilvánítás: A kutatást az EFOP-3.6.2 – 16 -2017 – 00010 - Ring 2017 és az EFOP-3.6.2 – 16 -2017 – 00018 – Termeljünk együtt a természettel – Az agrárerdészet, mint kitörési lehetőség című projektek részeként a Szechenyi 2020 program keretében az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- CHALKER-SCOTT, L. (2007): Impact of Mulches on Landscape Plants and the Environment. J. Environ. Hort., old.: 239-249. Forrás: <https://ucanr.edu/sites/UrbanHort/files/80212.pdf>
- CHHAVI, S. - BANGARWA, K. S. (2007): Effect of different spacings of poplar-based agroforestry system on soil chemical properties and nutrient status in Haryana, India. Current science, old.: 1403-1407. doi:10.18520/cs/v113/i07/1403-1407
- DAVIES, R. (1987): Trees and Weeds: Weed control for successful tree establishment. London.
- HORVÁTH, B. (2011): Erdészeti gépek. Budapest: Szaktudás Kiadó Ház. Forrás: https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/2011_0001_529_02_Erdeszeti_gepek/ch05.html
- MIKLÓS, ZS. (1974): A debreceni vákáncsosok. In Déry Múzeum Évkönyve (old.: 260-264.). Debrecen.
- NAIO OZ 440. (2011). (Naio Technologies) Forrás: <https://www.naio-technologies.com/en/agricultural-equipment/weeding-robot-oz/>
- NAMBIAR, S. - SANDS, R. (2011): Competition for water and nutrients in forests. Canadian Journal of Forest Research, old.: 1955-1968. doi:10.1139/x93-247.
- PARIS, P. - DALLA VALLE, C. (2017). 32. Hybrid poplar and oak along drainage ditches. Forrás: www.agforward.eu
- RIGUEIRO-RODRÓGUEZ, A.- L. (2009). Agroforestry in Europe: Current Status and Future Prospects. doi:10.1007/978-1-4020-8272-6.
- SCHIBERNA, E. (2003): A magán-erdőgazdálkodási szektor kialakulása és fejlődése. Sopron. Forrás: <http://docplayer.hu/553446-A-magan-erdogazdalkodasi-szektor-kialakulasa-es-fejlolese.html>
- SUOZA, N. H. - CARDOSO, I. M. - FERNANDES, J. M. -GARCIA, F. C. - BONFIM, V. R. - SANTOS, A. C. - MENDONÇA, E. S. (2010): Selection of native trees for intercropping with coffee in the Atlantic Rainforest biome. Agroforestry Systems. doi:<https://doi.org/10.1007/s10457-010-9340-9>
- SZENDRŐ PÉTER (2000): Mezőgazdasági gépszerkezettan. Szaktudás Kiadó Ház. ISBN 963 356 284 8
- TÁTRAI, G. (2018): AGRO Power: 75 év - 1 millió motor. Mezőgazdasági Technika, old.: 59 (5): 15.
- VITYI, A. - MAROSVÖLGYI, B. - KISS, A. - SCHETTER, P. (2017): 38. Weed suppression in alley cropping in Hungary. Innovation leaflets. Forrás: www.agforward.eu
- WAGNER, G. R. - FLYNN, J. - GREGORY, R. (1998): Public perceptions of risk and acceptability of forest vegetation management alternatives in Ontario. old.: 74 (5): 720-727.
- WATSON, C. (2014): Niger Delta rubber agroforestry raises hope for. Letöltés dátuma: 2020. 04. 27., forrás: <http://blog.worldagroforestry.org/index.php/2014/07/17/rubber-agroforestry-in-the-niger-delta-hope-for-youth/>

GYÖKÉRSARJ EREDETŰ AKÁC ÁLLOMÁNYOK ÖSSZEHASONLÍTÓ VIZSGÁLATA A SEFAG ERDÉSZETI ÉS FAIPARI ZRT. TERÜLETÉN

MAJOR TAMÁS, PINTÉR TAMÁS, SZAKÁLOS NÉ MÁTYÁS KATALIN
Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Erdészeti-műszaki és Környezettechnikai Intézet
major.tamas@uni-sopron.hu

Bevezetés

A fehér akác (*Robinia pseudoacacia*) erdőgazdálkodásunk megkerülhetetlen fafaja. Az összes hazai erdőterület egynegyedén akácok találhatók, ez 451 771,95 hektárt és 50 829 689,00 m³ fát jelent (ORSZÁGOS ERDŐÁLLOMÁNYI ADATTÁR, 2015).

A legjelentősebb akáctermesztő körzetek a Nyírség, a Cserhát, a Gödöllői dombvidék, a Duna-Tisza közti homokhát, a Somogyi homokvidék, a Vas-Zalai hegyhát és a Kisalföldi homokvidék. Ezek közül kiemelt minőségű állománnyal a Nyírség, a Duna-Tisza köze és Somogy északi része rendelkezik.

Elterjedtsége és sokrétű felhasználása miatt érdemes megvizsgálni, hogy a különböző eredetű és a különböző környezeti viszonyok között növekvő állományaik milyen választékokat adnak.

Az akáccal való erdősítés történhet mesterségesen mageredetű csemete ültetésével, valamint természetes úton, sarjaztatással. A sarjaztatás elsősorban gyökérsarjról történik, bár Somogyban vannak tuskósarj állományok is. A különböző eredetű (mag, gyökérsarj és tuskósarj) állományok közül Somogyban a gyökérsarj eredetű állományokból van a legtöbb.

Jelen cikkünkben ezen állományok esetében vizsgáljuk, hogy adott talajtípuson (barnaföldön, rozsdabarna erdőtalajon) található gyökérsarj eredetű akác állományok választék-összetételében milyen különbségek vannak a különböző erdőgazdasági tájakon. Továbbá vizsgáljuk, hogy ennek következtében miként alakul az állományok fahasználati árbevétele.

Vizsgálatok leírása

Vizsgálatainkat a SEFAG Erdészeti és Faipari Zrt. területén végeztük. A kutatás során a 2013-2017 közötti időszak véghasználati adatait használtuk fel.

A vizsgálatok megkezdése előtt az adatokon különböző szűréseket végeztünk. Az adatbázisban 5-100%-os elegyarányú erdőrészeket egyaránt megtalálhatóak voltak, ezek közül csak a 90%, vagy annál nagyobb akác elegyaránnyal rendelkező erdőrészek adatait vettük figyelembe a kiértékelések során. Az olyan erdőrészek esetében, amelyekből nem csak akácot választékoltak, hanem más fafajokat is, ott a részlet teljes területét redukáltuk olyan mértékben, ahogyan az akác részesül az összes kitermelt fatérfogatból. A kiértékelésekhez 200 erdőrészlet adata állt rendelkezésre, melyek összesített területe 762,5 hektár. A vizsgált időszakban 100.321,8 m³ faanyagot termeltek ki ezen területeken.

A vizsgálatok során nem csak a választék-összetételt, hanem a kitermelt faanyagból származó hektáronkénti bevételt is összehasonlítottuk. A fahasználati árbevételek számításához használt választékárak a 2017-es fapiaci helyzetet tükrözik (1. táblázat).

A SEFAG Zrt. öt erdőgazdasági tájon gazdálkodik. A vizsgálatok barnaföldön és rozsdabarna erdőtalajon lévő akác állományokra terjednek ki, ugyanis csak ezen talajtípusok esetében van kellő számú adat a különböző erdőgazdasági tájakon található akác állományok választék-szerkezetének összehasonlító vizsgálatához.

1. táblázat. A választékok 2017-es árai

Választék	Ár [Forint]
Fűrészrönk	33.112
Kivágás	24.000
Fagyártmányfa	23.831
Oszlopfélék	31.110
Vadkerítés alapanyag	27.609
Fríz alapanyag (FIC)	18.340
Apríték alapanyag	5243
Vastag tűzifa	15.757
Ágtuskó	7.907
Gyűjtött tűzifa	5.460

Vizsgálatok barnaföldön

Barnaföldön négy erdőgazdasági tájon, összesen 36 erdőrészletben találhatóak kitermelt akác állományok. A 36 erdőrészlet teljes területe 130,83 hektár, melyről 15292,3 m³ faanyagot termeltek ki. Ez hektáronként átlagosan 116 m³ faanyagot jelent.

A Zselicségben található állományok adták a legnagyobb fatérfogatot, valamint a fahasználati árbevétel is ott volt a legnagyobb (2. táblázat). Ezen erdőgazdasági tájon termelték a legtöbb vadkerítés alapanyagot (18,11 m³/ha). A Zselicségben termelt vadkerítés alapanyag kétszerese a Déli Pannonhátan (8,73 m³/ha), valamint a Baranya-Somogy-Tolnai hegyhátan (9,61 m³/ha) termelt vadkerítés alapanyag mennyiségének. Vastag tűzifa alapanyagból szintén a Zselicségben termelték a legnagyobb mennyiséget, átlagosan 45 m³-rel többet, mint a másik három erdőgazdasági táj esetében. A második legértékesebb állományok a Déli Pannonhátan találhatóak. E tájon kiemelkedően magas a fűrészrönk aránya, 10 m³-rel előzi meg a Zselicség erdeit. A Baranya-Somogy-Tolnai hegyhátan egyik választékból sem termeltek kiemelkedő mennyiséget, ahogyan a Nagyberek-Kis-Balaton-Tapolcai láp területén sem. Talán csak a vadkerítés alapanyagot, illetve előbbi erdőgazdasági táj esetén az apríték alapanyagot lehet megemlíteni (1. ábra).

2. táblázat. A kitermelt fatérfogat és a fahasználati árbevétel barnaföldön

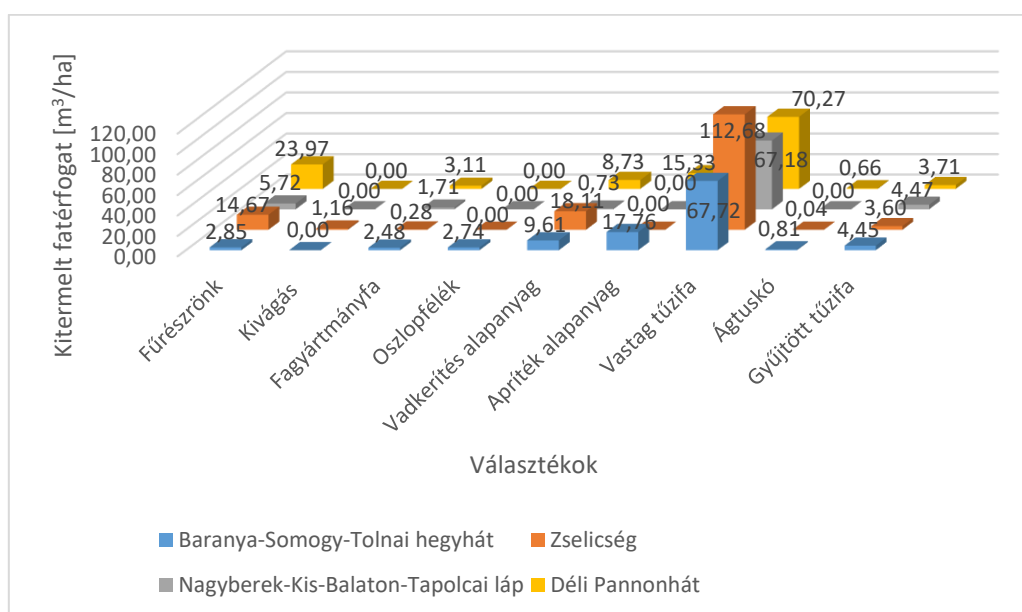
	Baranya-Somogy-Tolnai hegyhát	Zselicség	Nagyberek-Kis-Balaton-Tapolcai láp	Déli Pannonhát
Kitermelt fatérfogat [m ³ /ha]	108,42	150,54	79,81	125,77
Ár [millió Ft/ha]	1,69	2,81	1,33	2,32

Vizsgálatok rozsdabarna erdőtalajon

Rozsdabarna erdőtalaj mind az öt erdőgazdasági tájban megtalálható. A 74 akác állománnyal rendelkező erdőrészlet területe összesen 245,21 hektár. Ezen területen 37200,6 m³ faanyagot termeltek ki, hektáronként átlagosan 151,7 m³-t.

A hektáronként kitermelt fatérfogatot és a hektáronkénti árbevételt nézve, érdekes következtetéseket tudunk levonni (3. táblázat). Habár a Baranya-Somogy-Tolnai hegyhát erdőgazdasági tájban vannak a legnagyobb fatérfogatot adó állományok, a pénzben kifejezett értéküket nézve csak a harmadik helyen állnak. Ennek oka egyrészt a legkisebb fűrészrönk kihozatal, másrészt a kevésbé értékes választékok nagy mennyisége, ami alacsonyan tartja a fahasználati árbevételt (2. ábra). A Baranya-Somogy-Tolnai hegyhátan termelték a legtöbb vadkerítés alapanyagot, és csak itt van apríték termelés, ami ezen a területen igen jelentős választék. Ezen az erdőgazda-

sági tájon termelik a második legtöbb oszlopfélét és vastag tűzifát. A Déli Pannónhát erdőrészeleiben található a második legtöbb fatérfogat és a második legnagyobb árbevétel. A másik négy tájhoz képest kiemelkedő mennyiséget termeltek vastag tűzifából (120,6 m³/ha), ugyanakkor a magas árbevételhez hozzájárul, hogy fűrészrönkből és vadkerítés alapanyagból a második legtöbbet termelő erdőgazdasági tájról van szó. A Nagyberék-Kis-Balaton-Tapolcai láp erdőgazdasági táj állományai a legértékesebbek rozsdabarna erdőtalajokon. A fűrészrönkből 15 m³-rel termeltek többet hektáronként, ezen a tájon, mint a Déli Pannónhát, míg oszlopféléből 13 m³-rel. (Az összes választék közül a fűrészrönk és az oszlopfélék a legdrágábbak, mindkettő ára 30 ezer forint fölött van köbméterenként.) Vastag tűzifából ellenben a legkevesebbet választékoltak. A gyűjtött tűzifa megoszlásában nincsenek nagy különbségek, de a Zselicséggel körülbelül azonos mennyiséget termeltek. Az összes erdőgazdasági táj közül a Somogyi homokvidéken volt a legtöbb erdőrészlet, amelyek rozsdabarna erdőtalajon álltak. Ezen erdőgazdasági tájban egyik választék-csoportból sem termeltek kiemelkedő mennyiséget. Az értékbeli különbség a Zselicséghez képest a fűrészrönk és vadkerítés alapanyag választékok között kerekendő. E két értékes választékból jelentősen többet termeltek, mint a Zselicségben, de a másik három erdőgazdasági tájhoz képest még így is elmarad a hozam.



1. ábra: Akác állományok választék-összetétele barnaföldön

3. táblázat: A kitermelt fatérfogat és a fahasználati árbevétel rozsdabarna erdőtalajon

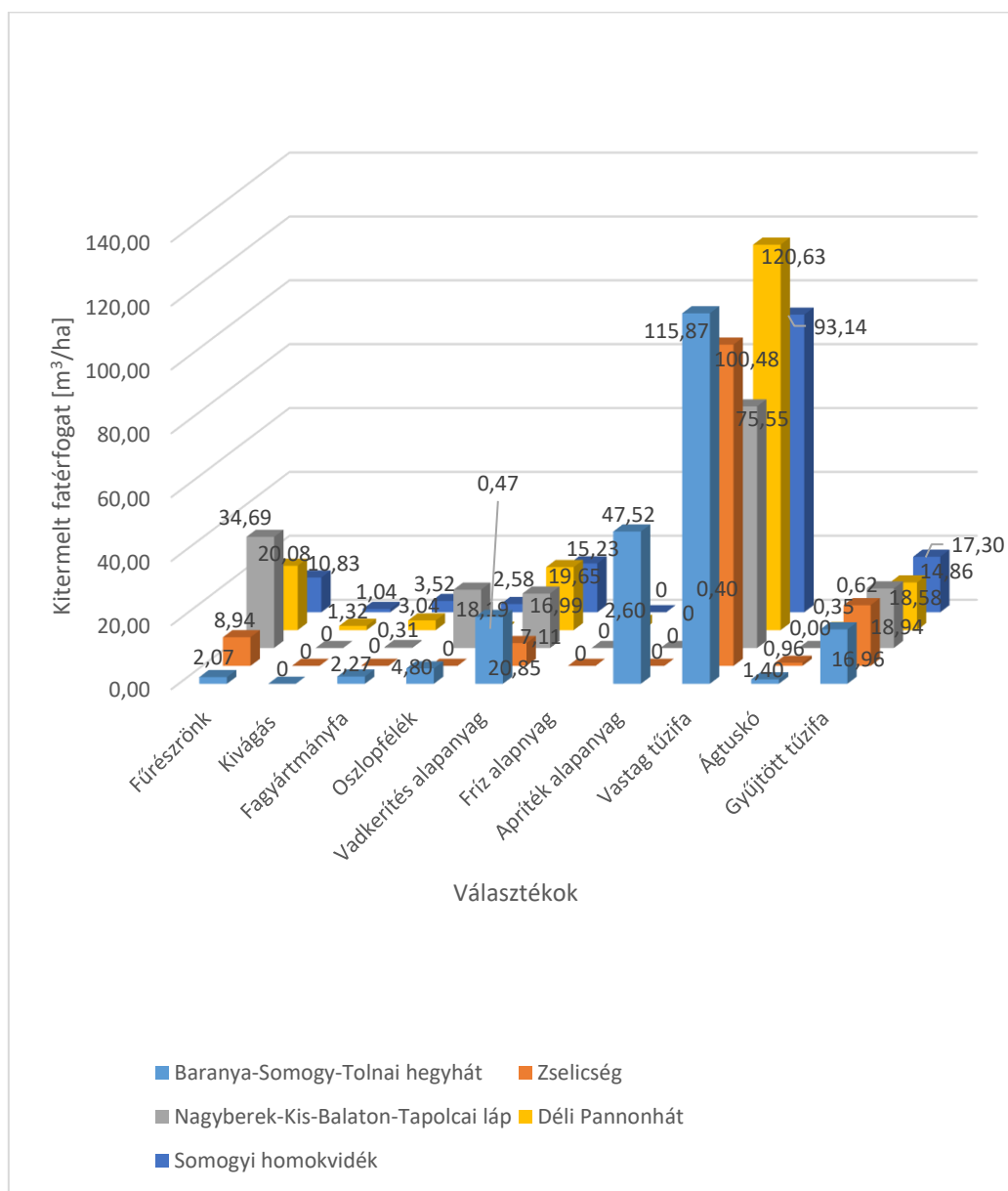
	Baranya-Somogy-Tolnai hegyhát	Zselicség	Nagyberék-Kis-Balaton-Tapolcai láp	Déli Pannónhát	Somogyi homokvidék
Kitermelt fatérfogat [m ³ /ha]	211,73	136,43	164,31	183,02	144,65
Ár [millió Ft/ha]	3,02	2,18	3,48	3,36	2,53

Eredmények értékelése

Össességében elmondható, hogy a barnaföldön található akác állományok mindegyik erdőgazdasági tájban kisebb fatérfogattal rendelkeznek, és kisebb fahasználati árbevételt produkálnak, mind az ugyanazon erdőgazdasági táj rozsdabarna erdőtalajon lévő állományai.

A legszembetűnőbb különbség a Zselicség állományai között van, míg barnaföldön itt található a legnagyobb fatérfogat és a legmagasabb fahasználati árbevétel, addig rozsdabarna erdőtalajon lévő állományaik a legkisebb fatérfogattal rendelkeznek és a legkevésbé értékesnek számítanak.

Fordított a helyzet a Nagyberek-Kis-Balaton-Tapolcai láp erdőgazdasági táj állományai esetében, ott vannak ugyanis a legértékesebb rozsdabarna erdőtalajon található állományok, míg barnaföldön a legkevésbé értékesek.



2. ábra: Akác állományok választék-összetétele rozsdabarna erdőtalajon

A Déli Pannonhát erdőrészelei mindegyik talajtípuson „jól teljesítettek”.

A választék-összetétel tekintetében megállapítható, hogy a rozsdabarna erdőtalajon lévő állományok szortimentje sokkal színesebb. Míg előbbiben alig termelnek kivágást, fagyártmányfát, oszlopféléket és apríték alapanyagot, addig utóbbiban ezek is jelentős mennyiségben megjelenő választékoknak tekinthetők. Ezen megállapítások érvényesek a gyűjtött tűzifa tekintetében is, bár ez a különbség elsősorban nem a termőhelyi tényezőkre, hanem a piaci igényekre vezethető vissza.

Köszönetnyilvánítás: A tanulmány/kutatómunka a „Fenntartható Nyersanyag-gazdálkodási Tematikus Hálózat – RING 2017” című, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 jelű projekt részeként a Szechenyi2020 program keretében az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

Irodalomjegyzék

JÁRÓ Z. (1953): Az akác termőhelyi igénye. *Az Erdő*, 2.4 332-335.

KERESZTESI B. (1984): Az akác. Akadémiai Kiadó, Budapest.

MAJOR T. (2016): A fahasználat irányítási műveletei. In. Rumpf J. szerk. (2016): Erdőhasználat. Mezőgazda Kiadó, Budapest.

MOLNÁR S. (1996): Az akácfa jelentősége, tulajdonságai és ipari felhasználása. I-II. Bútor és Faipar, Budapest.

ORSZÁGOS ERDŐÁLLOMÁNY ADATTÁR, 2015

PINTÉR T. (2018): Akác faállományok választék-összetételének vizsgálata a SEFAG Erdészeti és Faipari Zrt. területén. Diplomamunka, Sopron.

HARVESZTERES GÉPI FAANYAGFELVÉTELEZÉS ÖSSZEHASONLÍTÓ VIZSGÁLATA

MAJOR TAMÁS, HORVÁTH ATTILA, VIRÁG VIVIEN
Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Erdészeti-műszaki és Környezettechnikai Intézet
major.tamas@uni-sopron.hu

Bevezetés

A gyakorlatban a faanyag felvételezésére (számbavételére) a legelterjedtebb módszer a kézi eszközös mérés, és az ezt követő térfogatszámítás, azaz a kézi eszközös köbözés. Jelenleg Magyarországon ez az elfogadott módszer.

Az utóbbi években a többműveletes (többcélú) fakitermelő gépek egyre nagyobb mérvű elterjedésének lehetünk tanúi. Ezekre a gépekre (harveszterek és processzorok) jellemző, hogy nemcsak a faanyag kitermelésére, hanem azzal egyidejűleg a termelt választékok köbtartalmának meghatározására is képesek. A harveszterekkel és processzorokkal végzett munka során ugyanis a gép folyamatosan méri a termelt választékok átmérőjét és hosszát, ebből számolva a kitermelt faanyag térfogatát. A mért és számított adatokat rögzíti, így a készletadatok digitálisan rendelkezésre állnak. Ma még Magyarországon ezen adatok nem elfogadottak, a harveszteres munkát követően a hagyományos módon, kézi eszközös köbözéssel történik a faanyag felvételezése. Számos országban azonban ezen adatokat elfogadják és a készletgazdálkodás alapját képezik.

Amennyiben ezen mérési adatok szolgálnak a készletgazdálkodás alapjául, egyrészt megkönnyítjük a sokszor túlterhelt erdészek munkáját, másrészt számos – az adatrögzítés, digitalizálás és adatfeldolgozás során előforduló – hibalehetőség kiküszöbölésére ad lehetőséget. Az erdei munkáknál is egyre erősödő munkaerőhiány is csak gépesítéssel oldható meg.

Jelen cikkünkben azt vizsgáljuk, hogy a harveszteres készletadatok milyen mértékben térnek el az elfogadott kézi eszközös felméréstől.

Vizsgálatok leírása

A vizsgálatok két erdőrészletben történtek: a Mátraszentimre 24/A és a Gyöngyöspata 26/C erdőrészletekben. Többféle fafaj is előfordult az állományokban. Az adatfelvételezés nagy része fenyőfélékre terjedt ki, nagyobb arányban fordultak még elő tölgyfélék, elenyésző arányban pedig egyéb lombos fafajok.

Mindkét helyen a felvételezést elvégezte az erdész – a Magyarországon elfogadott módon – kézi felvételezéssel, és a harveszter fedélzeti számítógépéből is kinyerésre kerültek az adatok. A Gyöngyöspata 26/C erdőrészletben ezen kívül a sarangokban található választék darabokat egyenként is felvettük cm pontossággal. Mértük az átmérőket és a választék hosszát. Az átmérőket két irányból mértük meg, és az átlagátmérők kerültek rögzítésre. Ennek mérésére colostokot használtunk. Az adatok rögzítésére egy ipari PDA (TT8000-es) volt segítségünkre. Az adatokat a feldolgozáshoz számítógépre, Excel táblázatba importáltuk.

A harveszterek köbözési módszere a következő: A harveszterfejben található egy tüskés felületű mérőkerék, amely a faanyagon végighaladva – a megtett fordulatok alapján – számítja a megtett út hosszát, vagyis a faválaszték hosszát. Mindeközben megtörténik az átmérő mérése is. Ez géptípusonként különbözőképpen történhet, vagy a harveszterfej felső részén lévő ívkéspár, vagy a menesztőhengerek szögelfordulásából számolja a szoftver (1. ábra). Fontos megjegyeznünk azt is, hogy a gép sudarlósságot is számol, mely segítségével meg tudja határozni, hogy még milyen hosszú választék vagy választékok készíthetők anélkül, hogy a választékok átmérője a megengedett minimális csúcsátmérőnél kisebb lenne.



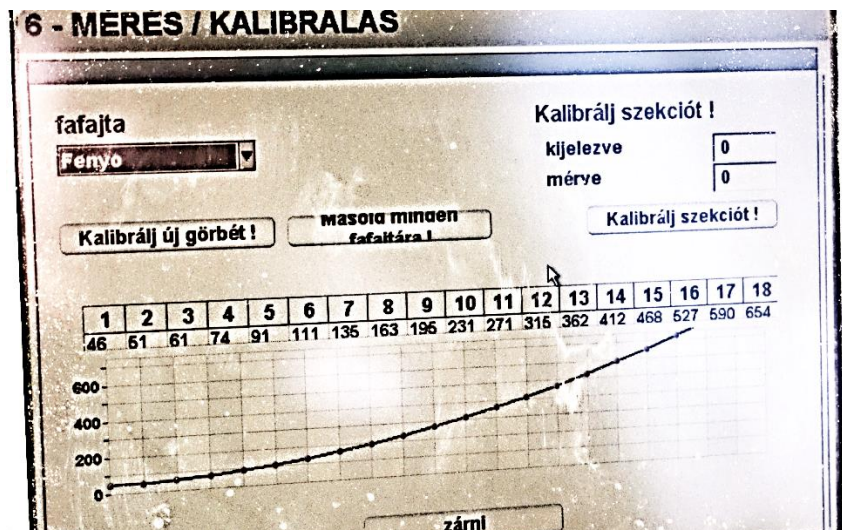
1. ábra: Harveszterfej

A daraboló vágással egyidőben a gép rögzíti az adott választék adatait: a hosszt, az átmérőt és a fatérfogatot kéregben és kéreg nélkül. Minden vágás után ez a művelet előlről kezdődik, ismétlődik.

A mérés során a harveszterfejben lévő, fémből készült mérőkerék fogazata besüllyed a fa törzsébe. Fafajonként változik a fogazat süllyedési mélysége, ugyanis a kéreg keménysége, illetve vastagsága igen eltérő lehet. Ráadásul nem csak a fafaj befolyásolhatja ezt, hanem az időjárási viszonyok vagy a termőhely is. Erre nagyon jó példa lehet, az esős időszak után bekövetkező sáros viszonyok, vagy a téli mínuszok során jelenlévő fagyhatás. Mindkét esetben a mérőhenger könnyedén mérhet téves értéket, továbbá természetes kopásából eredően is produkálhat pontatlanságot. Ezért fontos a rendszeres kalibráció, melyet minden új termelésbe állásakor el kell végezni. (Gondos gépkezelő naponta legalább egyszer, de inkább kétszer megismétli.) Még nagyobb hangsúlyt kell fektetni a rendszeres méret ellenőrzésre, illetve kalibrálásra, ha a kivágásra kerülendő fák minősége rosszabb, több fahibával terheltek. A göcsös, csavart, illetve egyéb fahibákkal rendelkező fák esetén a mérőkerék a hibára ráfutva könnyen megugorhat, megütődhet, ami már a hossz méretben eltérést fog eredményezni. Ennél nagyobb gondot jelent, ha nem csak ezen fahibákat tartalmazó fatermékek nem mérethelyesek, hanem az ezt követően darabolásra kerülő választékok hosszai is hibával terheltek lesznek, a mérőhenger elállítódása miatt.

Ahhoz, hogy minél megbízhatóbb és pontosabb adatokat nyerhessünk ki a harveszter fedélzeti számítógépéből, valamint, hogy az elkészült választékok is mérethelyesek legyenek, nagyon fontos a harveszterfej rendszeres kalibrálása. Ennek a beállítása néhány választék levágása után történik.

A kalibráláshoz a levágott választékoknak mérőszalaggal mérjük a hosszát és az átmérőjét, majd fafajonként betápláljuk az általunk mért és a harveszter által – a méretre vágás során – érzékelt méreteket. Ezeket összeveti a gép szoftvere és beállítja a szükséges módosításokat, valamint a lemért értékek alapján elkészít egy görbét (2. ábra), melynek segítségével fogja a továbbiakban számolni, illetve korrigálni a sudarlósság mértékét. Természetesen minél több hossz, illetve átmérő értéket viszünk fel a harveszter számítógépére, annál pontosabb végeredményt fogunk kapni a választékolás, valamint a fatérfogat számítása során.



2. ábra: A kalibrálás során kapott görbe Timberjack 1270D harveszteren

A mai modern harveszterek esetében a gépből a készletadatok USB csatlakozón keresztül lementhetők, vagy ki lehet küldeni egy kiválasztott számítógépre WIFI, illetve GPS kapcsolaton keresztül. Régebbi harveszter típusok esetén a gépre csatlakoztatott nyomtatóval tudjuk ki-nyomtatni ezeket, vagy egyszerűen a fedélzeti számítógép képernyőjéről kijegyzetelhetők.

Vizsgálati eredmények

A Gyöngyöspata 26/C erdőrészletben rakatonként külön-külön került felvételre a kitermelt fatérfogat, melynek az egyes felvételi módszerekkel meghatározott mennyiségét mutatja az 1. táblázat. Itt az erdész által felvett fatérfogat jelentősebben eltér a másik két módszer eredményétől. A harveszter kéreg nélküli, illetve kéregben mért fatérfogata között a különbség minimális (nem éri el a 0,5 %-ot).

Az eltéréseket a 2. táblázat tartalmazza köbméterben, illetve a százalékban. Az összehasonlítások során a harveszter gépi felvételezéseihez hasonlítottuk a másik két módszert. A táblázat felső része tartalmazza a kéreg nélküli adatokhoz történő hasonlítást, míg az alsó a kéreggel mért adatok eltéréseit foglalja magában. A gépihez képest kisebb értékeket (negatív eltérések) pirossal jelöltük, a pozitív eltéréseket pedig zölddel. Utóbbi csak egy rakat esetében történt, nevezetesen amikor az erdész körülbelül 5 m³-el, azaz 9% -kal többet mért, mint amit a máglya valójában tartalmazott.

1. táblázat. A felvett fatömeg a Gyöngyöspata 26/C erdőrészletben

Gyöngyöspata 26/C	Harveszter felvétele		Erdész kézi felvétele	Saját kézi felvétel
	Kéreg nélkül	Kéregben		
	[m ³]	[m ³]	[m ³]	[m ³]
Összesen	275,7	276,87	237,96	267,92
Sarangok egyesével	29,49	29,62	23,00	28,66
	27,52	27,63	20,00	26,74
	58,84	59,09	47,00	57,18
	102,17	102,61	85,00	99,29
	57,68	57,92	62,96	56,05

2. táblázat. A felvett fatömegek közötti különbség a Gyöngyöspata 26/C erdőrésztben

Gyöngyöspata 26/C	Harveszter kéreg nélküli felvételének és erdész kézi felvételének különbsége	Harveszter kéreg nélküli felvételének és saját kézi felvételeinek különbsége	Harveszter kéreg nélküli felvételének és erdész kézi felvételének különbsége	Harveszter kéreg nélküli felvételének és saját kézi felvételeinek különbsége
	[m ³]	[m ³]	%	%
Összesen	-37,74	-7,78	13,69	-2,82
Sarangok egyesével	-6,49 -7,52 -11,84 -17,17 5,28	-0,83 -0,78 -1,66 -2,88 -1,63	-22,01 -27,32 -20,12 -16,81 9,16	

Gyöngyöspata 26/C	Harveszter kéregben történő felvételének és erdész kézi felvételének különbsége	Harveszter kéregben történő felvételének és saját kézi felvételeinek különbsége	Harveszter kéregben történő felvételének és erdész kézi felvételének különbsége	Harveszter kéregben történő felvételének és saját kézi felvételeinek különbsége
	[m ³]	[m ³]	%	%
Összesen	-38,91	-8,95	14,05	-3,23
Sarangok egyesével	-6,62 -7,63 -12,09 -17,61 5,04	-0,96 -0,89 -1,91 -3,32 -1,87	-22,35 -27,63 -20,46 -17,16 8,69	

Hasonló eredményeket kaptunk a Mátraszentimre 24/A erdőrésztben is (3. táblázat). Itt azonban az erdész felvételezése sem tér el jelentősen a harveszteres felvételezés eredményétől. A három különböző felvételezési módszer köbméter adatai igen nagy összhangban vannak. Közöttük az eltérések nem érik el a 4 m³-t sem, pedig közel 300 m³ fatérfogatról van szó. Ezen eltérés százalékba kifejezve nem egészen 1,3% (4. táblázat).

3. táblázat. A felvett fatömeg a Mátraszentimre 24/A erdőrésztben

Mátraszentimre 24/A	Harveszter felvétele		Erdész kézi felvétele
	Kéreg nélkül	Kéregben	[m ³]
	[m ³]	[m ³]	
Összesen	301,40	301,59	297,80
Sarangok egyesével	165,98 121,37 2,41 11,64	166,09 120,45 2,41 11,65	164,00 119,92 2,38 11,50

Eredmények értékelése

A vizsgálatok alapján kijelenthető, hogy a harveszterrel végzett faanyagfelvételezés (számbavétel) pontos és elfogadható lehet megfelelő kalibráció esetén.

A többcélú fakitermelő gépek terjedése és az egyre súlyosbodó munkaerőhiány miatt elkerülhetetlen, hogy előbb-utóbb a hazai erdőgazdálkodásban is elfogadottá váljon a harveszterek által felvett fatérfogat, és készletgazdálkodásunk alapjául szolgáljon

4. táblázat. A felvett fatömegek közötti különbség a Mátraszentimre 24/A erdőrészletben

Mátraszentimre 24/A	Harveszter kéreg nélküli felvételének és erdész kézi felvételének különbsége	Harveszter kéreg nélküli felvételének és erdész kézi felvételének különbsége
	[m ³]	%
Összesen	-3,60	-1,19%
Sarangok egyesével	-1,98	-1,19%
	-1,45	-1,19%
	-0,03	-1,24%
	-0,14	-1,20%

Mátraszentimre 24/A	Harveszter kéregben történő felvételének és erdész kézi felvételének különbsége	Harveszter kéregben történő felvételének és erdész kézi felvételének különbsége
	[m ³]	%
Összesen	-3,79	-1,26%
Sarangok egyesével	-2,09	-1,26%
	-0,53	-0,44%
	-0,03	-1,24%
	-0,15	-1,29%

Köszönetnyilvánítás: A tanulmány/kutatómunka a „Fenntartható Nyersanyag-gazdálkodási Tematikus Hálózat – RING 2017” című, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 jelű projekt részeként a Szechenyi2020 program keretében az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

Irodalomjegyzék

- HORVÁTH A. (2015): Többszemes fakitermelő gépek a hazai lombos állományok fahasználatában. Doktori (Phd) Értekezés. Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron, 57 pp
- HORVÁTH B. szerk. (2016): Erdészeti gépek. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest, 476 pp.
- MAJOR T. (2016): A fahasználat irányítási műveletei. 86-119 pp. In: RUMPF J. szerk.: Erdőhasználat. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
- PÁSZTORY Z., BÖRCSÖK Z., BOROS J., EDELÉNYI M. (2010): Az energetikai faanyagok objektív szám-bavételének problémái és lehetséges megoldásai. AEE Kutatói Nap, Szolnok, 16 pp.

AZ ÁLLOMÁNY ZÁRÓDÁSA ÉS AZ ÚJULATSZÁM ÖSSZEFÜGGÉSEINEK VIZSGÁLATA NYÍRSÉGI VÖRÖS TÖLGYESEKBE

MARCSISIN TAMÁS, KIRÁLY GERGELY

Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Erdőművelési és Erdővédelmi Intézet
marcsisin.tamas.mate@phd.uni-sopron.hu

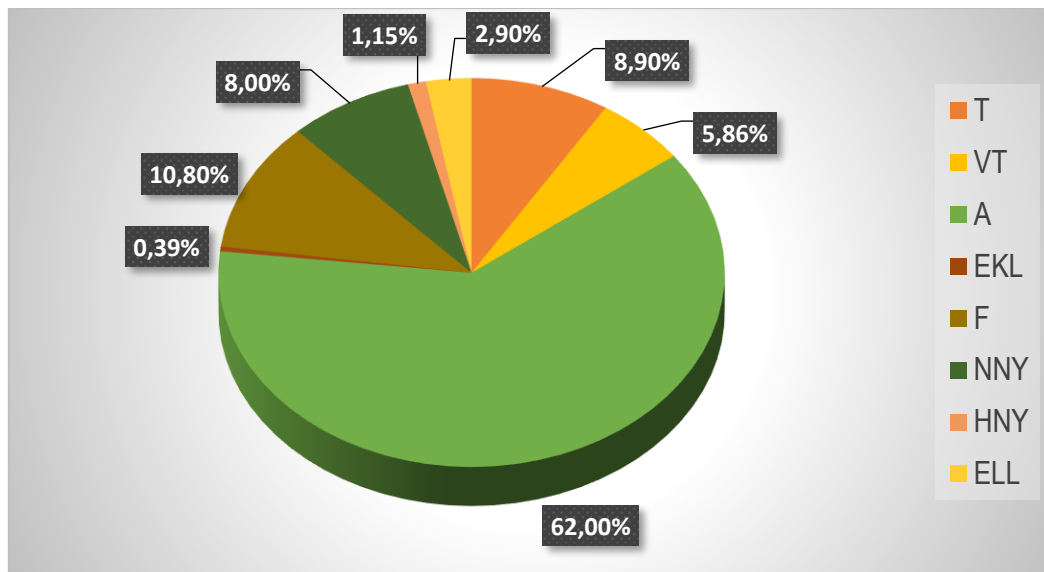
Bevezetés

Az atlantikus Észak-Amerikából származó vörös tölgy (*Quercus rubra* L.) részaránya a hazai erdőkben jelenleg 1% körüli, s bár a térnyerés tendenciája országos szinten kismértékű, ez egyes régiókban mégis jelentősnek nevezhető. A Széchenyi 2020 Vidékfejlesztési Program Erdősítés felhívásban az emelt összeggel támogatható fafajok között szerepel, így azokon az alföldi termőhelyeken, ahol a kocsányos tölgy telepítése már nem lehetséges, további térnyerése várható. Német tapasztalatok szerint a nemestölgyekhez képest mérsékelt talajigényű (BAUER 1953, BECK 1933, GÖHRE és WAGENKNECHT 1955), pl. közepes minőségű homoktalajokon is telepíthető. A faj Magyarországon elsősorban savanyú homokon (a Nyírségben és Belső-Somogyban), illetve szórványosan hegyvidéki savanyú talajú termőhelyeken bír létjogosultsággal. Rendszeresen jelentkező makktermése eddig kiaknázatlan lehetőségeket nyújt a természetes felújításra, emiatt egyre több helyen alternatívaként tekintenek a fajra erdőtelepítésekben, illetve honos és nem honos fafajok állománycseréi során. A vörös tölgy erdőterületeink produktivitásának emelésére alkalmas fafaj, amelyet nagy vitalitása, tág ökológiai toleranciája, kár- és kórokozók elleni ellenállóképessége alapoz meg (RÉDEI és mtsai. 2010). Mivel nem őshonos faj, természetvédelmi okból számos területen korlátozott vagy nem megengedett az alkalmazása.

Anyag és módszer

Kutatásainkat a Nyírerdő Zrt. Nyírlugosi Erdészetének területén végeztük, amely a Délkelet-Nyírséghez tartozik. A kistáj Szabolcs-Szatmár-Bereg megyében terül el, területe 553 km², erdőszültsége 36,2% (DÖVÉNYI 2010). A Nyírlugosi Erdészet hét község határában (Ömböly, Bátorliget, Nyírbétek, Encsencs, Nyírlugos, Penészlek és Nyírmihálydi) 5508,95 hektáron működik, a Nyírerdő Zrt. egységei közül a legváltozatosabb termőhelyi sajátságokkal rendelkező gazdálkodási egység. A táj sokszínűségét a buckavonulatok között megbúvó „nyírvízlaposok” szolgáltatják. A térség talajain futóhomok (37%), humuszos homok (16%), kovárványos barna erdőtalaj (26%), réti talaj (6%), öntés réti talaj (11%) és lápos réti talaj (4%) található (Dövényi, 2010). A termőhelyi adottságok változatosságából fakadóan az erdőterületek igen mozaikos képet mutatnak. A jellemző őshonos erdőtársulásokon a homoki tölgyesek, tölgy-kőris-szil ligeterdők; kiterjedt kultúrerdők (akácok, vörös tölgyesek, nemes nyárasok, valamint erdei- és feketefenyvesek) állnak a területen (1. ábra).

A rontott erdők átalakítása során a vörös tölgy jelentősebb szerepet is kaphat (RÉDEI és mtsai. 2007). A természetes felújítás lehetőségeit vizsgálva, a Nyírerdő Zrt. Debreceni és Nyírbátori Erdészetének területén 16 erdőrészletben kezdődtek meg az újulatfelvételi vizsgálatok (RÉDEI és mtsai. 2010). A kijelölésre került részletekben 20×25 méteres mintaterületeken és ezen belül pedig 6×8 méteres precíz parcellákon került sor a vörös tölgy újulat felvételezésére. E kísérletet alapul véve készítettük el a vizsgálati módszerünket.



1. ábra: Faállományok terület alapú százalékos megoszlása a Nyírlugosi Erdészet területén

A természetes felújításhoz kapcsolódó újulatvizsgálatokat a nyírségben, 16 magzó kort elért vörös tölgyes állományban folytattuk (1. táblázat). Az anyaállományra vonatkozó felvételezéseket hektáronként egy 40 méter × 40 méteres mintaterületen hajtottuk végre. Az 5 centiméter mellmagassági átmérőt meghaladó egyedek magasságát 10 centiméteres, a mellmagassági átmérőket centiméteres pontossággal mértük. A lombkorona és a cserjeszint záródását 5 százalékos pontossággal becsültük. Az Erdőrendezési Útmutatóban foglaltak szerint egyetlen erdőben hektáronként 4 felállási ponton (3. táblázat) egyszerű körlapösszeg mérést hajtottunk végre. Ugyanezek a mintapontokon hajtottuk végre az újulatszám meghatározását is, ahol egy 5 méter sugarú körben megszámoltuk a vörös tölgy újulatot (2. ábra), valamint külön rögzítésre került az 50 cm magasságot meghaladó újulat egyedszáma.



2. ábra. Újulatszám meghatározás a Nyírbétek I/J erdőrészletben

Eredmények

Vizsgálatainkat 16 db magzó korukat elért vörös tölgyes erdőrészletben folytattuk. A felvételi eredmények közül ehhez a publikációhoz kapcsolódó legfontosabb adatokat a 1. táblázatban közöljük. Kutatásunk során arra a kérdésre kerestük a választ, hogy létezik-e valamilyen kapcsolat az anyaállomány záródása, valamint a megjelenő újulat között.

1. táblázat. Újulat felvételezési adatok nyírségi vörös tölgyesekben

Erdőrészlet	Lombkorona záródás (%)	Újulat (ezer db/ha)	50 cm-nél magasabb újulat (ezer db/ha)
Bátorliget 7/I	90	66,49	1,45
Encsencs 11/B	65	528,10	122,49
Encsencs 11/J	70	40,65	2,20
Encsencs 8/F	55	528,25	208,33
Encsencs 9/M	65	430,24	324,22
Nyírbéltek 1/J	95	46,55	0,29
Nyírbéltek 1/M	90	64,00	0,97
Nyírbéltek 39/B	95	97,21	1,08
Nyírbéltek 5/B	85	24,93	0,19
Önböly 24/B	95	42,50	1,58
Önböly 27/L	100	7,41	0,04
Önböly 27/M	90	18,14	0,69
Önböly 33/J	95	4,44	0,16
Önböly 50/P	90	68,42	9,99
Önböly 51/H	95	2,80	0,00
Önböly 53/F	75	42,11	1,53

Az Encsencs 11/B, 11/J, 8/F, 9/M erdőrészletek természetes felújításra kijelölt részletek, melyekben az újulat megjelenését és megmaradását biztosítani kívánt fahasználati munkákat hajtottak végre, amiről a 2. táblázat nyújt tájékoztatást. Az újulatszámok között megjelenő nagyságrendbeli különbségekre ez az ismeret választ adhat. A záródás és újulatszám adatokat összevetve már előre sejtethető, hogy a 3 adat között valamilyen kapcsolat áll fent. A mesterséges felújítású részletek között kiemelkedik az Önböly 50/P erdőrészlet mind a hektáronkénti újulatszámot, mind az 50 centiméter magasságot meghaladó újulatot tekintve (3. ábra).

2. táblázat. Természetes felújítású részletekben végrehajtott fahasználatok

Erdőrészlet	Elvégzett fahasználat	Fahasználat ideje
Encsencs 8/F	Bontóvágás	2015
Encsencs 9/M	Bontóvágás	2015
Encsencs 11/B	Bontóvágás	2014
Encsencs 11/J	TKGY	2006



3. ábra. Állománykép az újulati szintben az Ömböly 50/P erdőrészletben

3. táblázat. Faállományszerkezeti adatok nyírségi vörös tölgyesekben

Erdőrészlet	Körlapösszeg (m ² /ha)	Fatömeg (m ³ /ha)	Újulat (ezer db/ha)	50 cm-nél magasabb újulat (ezer db/ha)
Bátorliget 7/I	28,8	2373,4	66,49	1,45
Encsencs 11/B	29,5	383,8	528,10	122,49
Encsencs 11/J	22,0	218,5	40,65	2,20
Encsencs 8/F	23,7	280,4	528,25	208,33
Encsencs 9/M	25,4	308,4	430,24	324,22
Nyírbéltek1/J	23,1	366,6	46,55	0,29
Nyírbéltek1/M	25,0	388,3	64,00	0,97
Nyírbéltek39/B	33,0	467,8	97,21	1,08
Nyírbéltek 5/B	27,3	320,3	24,93	0,19
Ömböly 24/B	28,4	370,0	42,50	1,58
Ömböly 27/L	39,8	483,4	7,41	0,04
Ömböly 27/M	23,8	266,3	18,14	0,69
Ömböly 33/J	30,3	415,6	4,44	0,16
Ömböly 50/P	28,0	358,8	68,42	9,99
Ömböly 51/H	34,0	401,9	2,80	0,00
Ömböly 53/F	20,7	266,7	42,11	1,53

Megvitatás

A 2016-os évben a kutatás egy korai fázisában, az anyaállományok alatt hektáronként 40 centiméter átmérőjű (0,5 m²-es) mintaköröket vettünk fel véletlen eloszlásban, ezeken belül meghatároztuk a csemeték számát. A 0,5 m²-es mintaterületeken az Encsencs 8/F erdőrészletben 35 db csemete, míg az Encsencs 11/B erdőrészletben 26 db csemete volt az átlag. A hektárra átszámítva az Encsencs 8/F erdőrészletben 700.000, az Encsencs 11/B esetén pedig 520.000 egyed/ha értéket mutattunk ki (MARCSISIN és KIRÁLY 2017). A későbbiekben újrafelvételleztük a 2 állományt és további 14 részletet, az adatok kismértékű egyedszám-csökkenést mutatnak a két felmérés között, az Encsencs 8/F esetében 587.000 egyed/ha értékre, Encsencs 11/b esetén pedig 470.000 egyed/ha értékre (MARCSISIN és KIRÁLY 2019).

A 2018-2019 évi mérések alapján korrelációs vizsgálatot végeztünk az adatpárok között, majd regressziószámítást hajtottunk végre. A korrelációértékből a kapcsolatra vonatkozó következtetésekre több megközelítés létezik, itt a GUILFORD (1950) által alkalmazott megközelítést hasz-

náljuk. A lombkoronaszint záródás és az újulatszám adatpár, valamint a lombkoronaszint záródás és az 50 centiméter magasságot meghaladó újulat adatpár vizsgálati eredményeiről a 4. és 5. táblázat nyújt tájékoztatást.

4. táblázat. Korrelációs vizsgálat a teljes vizsgálati állomány lombkoronaszint záródása és a hektáronkénti újulatszám között

	Lombkoronaszint záródás (%)	Újulatszám (ezer db/ha)
Lombkoronaszint záródás (%)		9,2212E-05
Újulatszám (ezer db/ha)	-0,82238	

A vizsgált erdőrészek lombkoronaszint záródás és hektáronként található újulat mennyisége között negatív szignifikáns korreláció mutatkozik.

5. táblázat. Korrelációs vizsgálat a teljes vizsgálati állomány lombkoronaszint záródása és az 50cm magasságot meghaladó újulat között

	Lombkoronaszint záródás (%)	50 cm-nél magasabb újulat (ezer db/ha)
Lombkoronaszint záródás (%)		0,00080914
50cm magasságot meghaladó újulat (ezer db/ha)	-0,75052	

A vizsgált erdőrészek lombkoronaszint záródás és az 50 centiméter magasságot meghaladó újulat között negatív szignifikáns korreláció mutatkozik. Az eredményekből megállapítható, hogy mindkét adatpár között magas korrelációs érték figyelhető meg, közöttük markáns kapcsolat áll fent.

A hektáronkénti fatömeg átlaga 354,4 m³/ha értékkel az alföldi erdőállományok jelentős részét felülmúlja. A vörös tölgy faanyagának felhasználási köre folyamatosan bővül, így fontos alternatíva lehet magánerdők telepítésekor.

A körlepősszeg, a fatömeg, az újulat, valamint az 50 cm magasságot meghaladó újulat között gyenge, majdnem elhanyagolható kapcsolatot mutattunk ki. Feltételezésünk az volt, hogy a körlepősszeg csökkenésével az 50 centimétert meghaladó újulat száma növekedést fog mutatni, azonban a közöttünk fennálló szignifikáns kapcsolat mértéke messze elmarad az vártaktól.

Az erős szignifikáns korrelációt mutató az adatpárokkal regressziós vizsgálatot is végrehajtottunk, mindkét esetben 95%-os értéket választva megbízhatósági értékként. A statisztika eszköztárában a lineáris regresszió egy olyan paraméteres regressziós modell, mely feltételezi a magyarázó (x) és a magyarázott (y) változó közti lineáris kapcsolatot. Ez azt jelenti, hogy lineáris regresszió becslése során a mintavételi adatok pontfelhőjére igyekszünk egyenest illeszteni (REICZIGEL és mtsai 2019).

A lombkoronaszint záródás (x, %) és az egy hektáron található újulatszám (y, db/ha) közötti összefüggést leíró egyenlet:

$$y = -11131,87x + 1065017,03; \quad r^2 = 0,68$$

A fenti egyenletet felhasználva, az x helyére a lombkoronaszint záródást beillesztve meghatározható a hektáronkénti újulatszám.



5. ábra. Allománykép az újulati szintben az Encsencs 11/J erdőrészletben

A lombkoronaszint záródás (x, %) és az egy hektáron található 50cm magasságot meghaladó újulat (y, db/ha) közötti összefüggést leíró egyenlet:

$$y = -5173,8x + 478739; \quad r^2 = 0,5633$$

Összefoglalás

Mind társadalmi, mind szakmai szempontból egyre nagyobb figyelem kíséri a hazánkban nem honos fafajok telepítését, az állományaikban folyó erdőgazdálkodást, a kapcsolódó gazdasági előnyöket és a felmerülő ökológiai, természetvédelmi problémákat. A vörös tölgy országos területaránya nem jelentős, de egyes régiókban fontos tényező az erdőgazdálkodásban. Legjelentősebb állományai azokon a területeken állnak, melyek a klímaváltozás miatt jelentősen szárazodnak, s ahol általában a talajvízszint is jelentősen süllyed. A vörös tölgy e tényezőkkel szemben mutatott nagyobb toleranciája révén egyes területeken átveheti a kocsányos tölgy szerepét. Eredményeink figyelembevételével a vörös tölgyes erdőkkel rendelkező erdőgazdálkodók egyszerűen becsülhetik az állomány alatt található újulatszámot. Tapasztalataink igazolják, hogy a faj hazánkban egyaránt alkalmas lehet fokozatos felújító vágásos és tarvágás jellegű természetes felújításra is.

Köszönetnyilvánítás: A kutatásokat az „EFOP-3.6.1-16-2016-00018 – A felsőoktatási rendszer K+F+I szerepvállalásának növelése intelligens szakosodás által Sopronban és Szombathelyen” című projekt támogatásával valósítottuk meg.

Irodalomjegyzék

- BAUER, F. (1953): Die Roteiche. Sauerländer's Verlag. Frankfurt-am-Main.
 BECK, K. (1933): Anbauversuche mit ausländischen Holzarten in der Staatsoberförsterei Hambach bei Jülich. Mitteilungen der Deutschen Dendrologischen Gesellschaft.
 DÖVÉNYI, Z. (ed.) (2010): Magyarország kistájainak katasztere. MTA Földrajzkutatói Intézet, Budapest.
 GÖHRE, K. – WAGENKNECHT, E. (1955): Die Roteiche und ihr Holz. Deutscher Bauernverlag. Berlin.
 GUILFORD, J.P. (1950): Creativity. American Psychologist 5: 444–454.

- MARCSISIN, T. – KIRÁLY, G. (2017): Újulatvizsgálatok természetes felújítású vörös tölgyesekben a nyírlugosi erdészeti területén. In: Csiha, Imre (szerk.): Alföldi Erdőkért Egyesület Kutatói Nap: Tudományos eredmények a gyakorlatban. Alföldi Erdőkért Egyesület, Kecskemét, pp. 176–183.
- MARCSISIN, T. – KIRÁLY, G. (2019): Examining natural and artificial renewals in red oak stands in relation to their effects on regrowth and natural vegetation. In: 2nd International Conference on Community Ecology, Book of Abstracts. Akadémiai Kiadó, Budapest, pp. 102–103.
- REICZIGEL, J. – HARNOS, A. – SOLYMOSSI, N. (2019): Biostatisztika nem statisztikusoknak. Pars Kft., Nagykovácsi.
- RÉDEI, K. – VEPERDI, I. – CSIHA, I. (2007): Yield of Red Oak Stands in the Nyírség Forest Region (Eastern-Hungary). *Silva Lusitana* 15(1): 79–87.
- RÉDEI K. – CSIHA I. – KESERŰ ZS. – RÁSÓ J. – GYŐRI, J. (2010): Management of red oak (*Quercus rubra* L.) stands in the Nyírség forest region (Eastern Hungary). *Hungarian Agricultural Research* 19(3): 13–17.

FAANYAGOK FT-IR SPEKTRUM ALAPÚ OSZTÁLYOZÁSA KEMOMETRIÁS MÓDSZEREKKEL

NÉMETH ZSOLT ISTVÁN, KISS PÉTER ÁRON, RÁKOSA RITA

Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Kémiai Intézet

nemeth.zsolt@uni-sopron.hu

Bevezetés

A Fourier-transzformációs infravörös spektrometria (FT-IR) az egyik legszélesebb körben alkalmazott analitikai eljárás a molekuláris szerkezet meghatározására. A mérés technika fejlődésével, a diffúz reflexiók, illetve a totálreflexiók (ATR) kiegészítő egységek megjelenésével az anyag felületi rétegéről nyerhető információ vált meghatározóvá. Az ATR reflexiók spektrometria lehetővé teszi a faanyag gyors és mintaelőkészítés nélküli vizsgálatát. A rutinszerű protokollok kidolgozásához szükség van a fafurnér minták spektrális sajátosságát befolyásoló tulajdonságok feltérképezésére és optimalására.

A faanyag egy összetett, makromolekulás rendszer, a felépítő komponensek jellege, aránya határozza meg a tulajdonságokat. A faanyag kémiai összetevőinek az anyagi minőségei és mennyiségei leképeződnek az FT-IR spektrumban. A spektrum mintázatát az IR aktív molekuláris csoportok, funkcionális csoportok (metil-, metilén-, karbonil-, karboxil-, észter-csoportok, aromás gyűrű, kettős kötések stb.) fényelnyelésének eredője határozza meg. A faanyag összetettsége miatt viszont a karakteres elnyelési csúcsok jelentősen átfednek egymással. Kemometriás adatértékelési eljárásokat alkalmazva azonban lehetővé válik az IR spektrumok fajspecifikusságra utaló rejtett információ tartalmának feltárása (CHEN *et al.* 2010; TRAORÉ *et al.* 2016).

A különböző faanyag típusok infravörös spektrumokon alapuló sokváltozós értékelésére főkomponens elemzést alkalmaztunk. A faanyag spektrumok főkomponens analízisének eredményeire csoportelemzési értékelést hajtottunk végre. A domináns főkomponensek terében a fafaj szerinti csoportosulásokat, faanyag-osztályokat a fuzzy elemzés filozófiáján alapuló osztályokba tartozási valószínűségekkel, valamint Wilks-lambda értékekkel jellemeztük.

Vizsgálati anyag és módszer

Fafurnér minták: juhar, kőris, tölgy, erdei fenyő, bükk, cseresznye faanyagból 80x20x3 mm méretű próbatestek (Soproni Egyetem, Faanyagtudományi Intézet)

FT-ATR-IR spektrométer: Shimadzu IRAffinity-1 + HATR 10 (ZnSe). Prímér spektrum: 49 db szkennelt spektrum átlaga (4000-670 cm^{-1}), apodizáció: Happ-Genzel, felbontás: 1 cm^{-1} , szoftver: IRsolution 1.60.

Spektrum-előkészítés: (a) prímér spektrumok atmoszférikus korrekciója (CO_2 , H_2O okozta fényelnyelési csúcsok utólagos eltávolítása), (b) simítás 5 cm^{-1} felbontásra, (c) a sokváltozós értékelésekhez a spektrumok 750 és 1800 cm^{-1} tartományára való szűkítése (d) normalizálási eljárásaként SNV transzformáció.

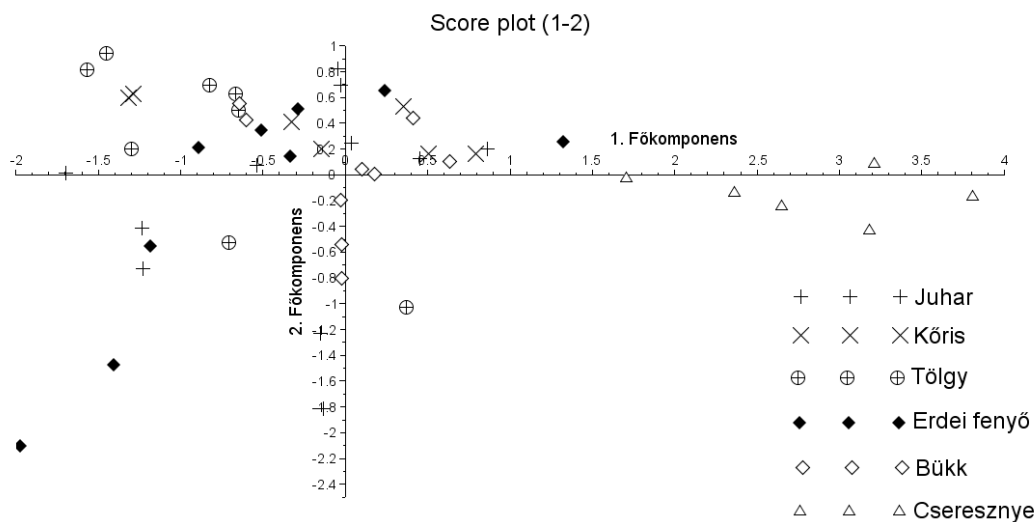
Adatértékelés: a leszűkített tartományú simított és SNV transzformált spektrumokon főkomponens-elemzés (PCA)

Vizsgálati eredmények

Az adatelőkészítési eljárásokat követően a spektrumokon főkomponens-elemzést (PCA) hajtottunk végre. A spektrumok mátrixának PCA felbontásával a minták többdimenziós abszorbanancia térben jelentkező pontjait a PCA főkomponenseiknek többdimenziós terében képezzük le. Az adathalmaz hasznos információ tartalmát meghatározó főkomponens számot az MCD

(mean coefficients of determination) mátrix-skalár függvény indikátorral határoztuk meg (NÉMETH ÉS RÁKOSA 2018). A fafurnér minták besorolását kifejező determinisztikus főkomponensek száma 5-nek adódott, amelyek a teljes variáciának több mint 80 %-át magyarázzák. Ennek köszönhetően kellő mértékűre csökkenthető a dimenziószám, ami az adatkezelést és értékelést jelentősen egyszerűsíti.

A determinisztikus főkomponensek tere felhasználható csoportelemzésre. A kétdimenziós ún. „score plot” ábrák betekintést engednek a minták térbeli csoportosulásába, ahol az egyes mintákat (a spektrumokat) pontok jelképezik. A minták közötti hasonlóságokat, illetve különbségeket az egymáshoz viszonyított távolságok fejezik ki. Már a kétdimenziós, kisebb magyarázott variációjú „score plot” ábrán is megfigyelhető a különböző furnér mintáknak a síkbeli elkülönülése (1. ábra).



1. ábra: Fafurnér spektrumok PCA felbontásának „score-plot” ábrája

A domináns főkomponensek ötdimenziós terében, figyelembe véve az azonos típusú furnér minták térbeli pozíciójában jelentkező korrelációs viszonyokat, a kétdimenziós „score plot” ábrákon jelentkező csoportosulásoknál sokkal jobb csoport elkülönülések kaphatók. A csoporton belüli korrelációkat kovariancia mátrixokkal jellemezve előállíthatóak a furnér objektumok csoport-középpontjaiktól mért Mahalanobis-távolságai, amelynek bázisán az egyes objektumok csoportosulásai a többdimenziós terekben egyértelműbben jellemezhetők, ill. értékelhetők.

A fuzzy (c-közép) csoportosítás funkcióját kölcsönözve, olyan egyedi megoldást alkalmaztunk a furnér csoportjaink elkülönülésének értékelésénél, amelyben a kiindulási csoportok középpontja az értékelés során rögzített pozíciójú marad. Ezzel a megoldással a teljes furnér adathalmazon belül az egyes furnér típusok (osztályok) egymáshoz viszonyított, többdimenziós térbeli elhelyezkedéséről kapunk képet a fuzzy elemzés csoportokba való tartozási valószínűségeinek kiszámítása alapján.

Képeztük az egyes fafajok főkomponensenkénti középértékeit, majd meghatároztuk az összes osztály kovariancia mátrixát. Mahalanobis-távolságok alapján megadtuk a fuzzy súlyértékeket minden egyes objektumra, ami az objektumok egyes csoportokhoz való tartozásának valószínűségét adja. Ha összeadjuk egy objektum osztályonkénti súlyértékeit, akkor szükségesen 1-et kapunk, ami azt fejezi ki, hogy az adott objektum (furnér) biztosan valamelyik csoporthoz tartozó. A súlyértékek ideális esetben a saját osztályukba sorolják be az objektumokat, maximális, tehát 1-es valószínűséggel. Az ismertetett eljárás algoritmizálását és futtatását saját készítésű Scilab algoritmussal valósítottuk meg. Az értékelések eredményeit az I. táblázat tartalmazza. Az eljárás szerint három minta nem megfelelő osztályba lett besorolva, illetve még 8 esetben kaptunk alacsonyabb (40 % és 60 % közötti) osztályhoz tartozási valószínűséget.

1. táblázat: Osztályhoz tartozási valószínűségek

Szálírányú	1. csoport	2. csoport	3. csoport	4. csoport	5. csoport	6. csoport
Juhar 1	0,816	0,021	0,126	0,008	0,018	0,01
Juhar 2	0,97	0,005	0,013	0,006	0,005	0,001
Juhar 3	0,653	0,015	0,036	0,06	0,035	0,2
Juhar 4	0,826	0,038	0,052	0,056	0,023	0,005
Juhar 5	0,901	0,001	0,011	0	0,002	0,084
Juhar 6	0,918	0,001	0,009	0	0,004	0,068
Juhar 7	0,957	0,002	0,023	0,001	0,004	0,013
Juhar 8	0,993	0	0,003	0	0	0,004
Kóris 1	0,011	0,765	0,156	0,059	0,009	0,001
Kóris 3	0,012	0,614	0,336	0,019	0,016	0,003
Kóris 4	0,004	0,92	0,051	0,022	0,003	0
Kóris 6	0,001	0,788	0,029	0,001	0,002	0,179
Kóris 7	0,174	0,479	0,3	0,022	0,015	0,01
Kóris 8	0,012	0,527	0,039	0,081	0,328	0,012
Tölgy 1	0	0	1	0	0	0
Tölgy 2	0	0,002	0,98	0,002	0,003	0,013
Tölgy 3	0	0	1	0	0	0
Tölgy 4	0	0	0,998	0	0	0,002
Tölgy 5	0	0	0,999	0	0	0,001
Tölgy 6	0	0	0,995	0	0,001	0,004
Tölgy 7	0	0	0,994	0,001	0	0,005
Tölgy 8	0,008	0,11	0,189	0,687	0,003	0,003
Erdei fenyő 1	0,013	0,053	0,312	0,612	0,003	0,007
Erdei fenyő 2	0,03	0,125	0,224	0,61	0,004	0,007
Erdei fenyő 3	0,007	0,013	0,01	0,602	0,011	0,359
Erdei fenyő 4	0,006	0,097	0,133	0,56	0,082	0,123
Erdei fenyő 5	0,003	0,004	0,03	0,859	0,002	0,103
Erdei fenyő 6	0,001	0,007	0,308	0,649	0,002	0,033
Erdei fenyő 7	0,003	0,002	0,004	0,074	0,002	0,915
Erdei fenyő 8	0,017	0,043	0,022	0,886	0,014	0,018
Bükk 1	0	0,031	0,369	0,005	0,591	0,004
Bükk 2	0	0,007	0,306	0,001	0,675	0,01
Bükk 3	0,001	0,137	0,361	0,008	0,49	0,003
Bükk 4	0	0,082	0,02	0,002	0,886	0,011
Bükk 5	0	0,013	0,276	0,001	0,707	0,002
Bükk 6	0,002	0,562	0,102	0,005	0,315	0,014
Bükk 7	0,011	0,15	0,078	0,012	0,66	0,09
Bükk 8	0,004	0,199	0,062	0,069	0,517	0,149
Cseresznye 1	0,482	0,002	0,012	0,005	0,008	0,491
Cseresznye 2	0,01	0,001	0,003	0,001	0,007	0,977
Cseresznye 3	0,001	0	0	0,002	0,004	0,993
Cseresznye 4	0,001	0,004	0,007	0	0,002	0,987
Cseresznye 5	0,001	0,003	0,059	0,018	0,002	0,916
Cseresznye 6	0,004	0,031	0,008	0,041	0,122	0,794

A csoportba tartozási valószínűségek mellett a csoport-középpontok egymáshoz való közelségeit a főkomponensek terében a páronkénti osztály specifikus Wilks-lambda értékekkel jellemeztük:

$$\text{osztály specifikus Wilks' } \lambda = \frac{\sum_i \sum_j (x_{i,j} - \bar{x}_i)^2}{\sum_k \sum_j (x_{i,j} - \bar{x}_k)^2}, \text{ ahol}$$

$x_{i,j}$ az i -edik osztály j -edik eleme és \bar{x}_i, \bar{x}_k i -edik, illetve k -edik osztály centruma. Abban az esetben, ha a Wilks-lambda értékek 1-hez közeliek, akkor az osztályok centrumai egymáshoz közel helyezkednek el, ha az értékek zérushoz közeliek, akkor a furnér csoportok középpontjai

egymástól távol esnek. A csoportpáronkénti Wilks-lambda értékeket a 2. táblázat tartalmazza. A táblázatban, oszloponként az adott furnér mintáinak (objektumainak) a saját centrumoknak a különböző centrumokhoz viszonyított Wilks-lambda értékei találhatók.

2. táblázat: Osztály specifikus Wilks-lambda értékek

Szállirányú	Juhar	Kőris	Tölgy	Erdei fenyő	Bükk	Cseresznye
Juhar centrum	1	0,0489	0,1333	0,0299	0,0932	0,1271
Kőris centrum	0,1093	1	0,4129	0,1898	0,3145	0,0717
Tölgy centrum	0,0044	0,0129	1	0,0218	0,0166	0,0766
Erdei fenyő centrum	0,1126	0,1594	0,2526	1	0,0957	0,3165
Bükk centrum	0,0400	0,3674	0,4372	0,1007	1	0,1260
Cseresznye centrum	0,1025	0,0649	0,0953	0,0702	0,1563	1

A táblázat adataiból megállapítható, hogy az összes Wilks-lambda érték 0,5 alatti. A legnagyobb értékűek a tölgy-kőris és a tölgy-bükk összevetéseknél jelentkeznek, ami azt jelenti, hogy ezeknek a csoportoknak a középpontjai vannak a főkomponenstérben a legközelebb egymáshoz. Mindezek ellenére a csoportok objektumainak saját csoportjaikba való tartozási valószínűségei magas értékűek (lásd I. táblázat), ami jelzi, hogy a tölgy-kőris és tölgy-bükk csoportok a tulajdonságtérben viszonylag jól elkülönülnek egymástól. A bükk és kőris osztályok is átfednek egymással. A közel azonos Wilks-lambda értékek (0,3674, illetve 0,3145) alapján feltételezhető, hogy van közös része a két osztálynak. Ezt megerősíti, hogy a súlyértékek alapján egy bükk objektum átsorolódott a kőris osztályba.

Összefoglalás

Az egyes fajok specifikus kémiai összetétele visszatükröződik az FT-IR spektrumokban is. Fafurnér minták spektrumainak kemometriás értékelésével igazoltuk az FT-IR spektrometria alkalmazhatóságát fajok spektrális alapú megkülönböztetésére. A PCA főkomponensek *score plot* ábrái alapján megállapítható az elkülönülés az egyes csoportok között. Hatékonyabb osztályozás a mintaszám növelésével érhető el. A főkomponens elemzés alkalmazása és a totálreflexiós FT-IR spektrometriának optimalizálása fafurnér spektrumokra utat nyit az FT-IR spektrumokat magában foglaló sokváltozós kalibrációk kimunkálására, amelyekkel potenciális lehetőség adódik néhány faanyagtulajdonság becslésére.

Köszönetnyilvánítás: A kutató munka a „Fenntartható Nyersanyag-gazdálkodási Tematikus Hálózat – RING 2017” című, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 jelű projekt részeként a Széchenyi 2020 program keretében az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- CHEN, H., FERRARI, C., ANGIULI, M., YAO, J., RASPI, C., BRAMANTI, E. (2010): Qualitative and quantitative analysis of wood samples by Fourier transform infrared spectroscopy and multivariate analysis. *Carbohydr. Polym.* 82. 772–778.
- NÉMETH Z. I. and RÁKOSA R. (2018): Detectability of concentration-dependent factors by application of PCA. An indicator curve for the determination of important principal components and a post-correction for transformation of principal components to factors. *Journal of Chemometrics* 32 (4), e2998.
- TRAORÉ, M., KAAL, J., MARTÍNEZ CORTIZAS, A. (2016): Application of FTIR spectroscopy to the characterization of archeological wood, *Spectrochim. Acta A-M.* 153. 63–70.

HIDROLÓGIAI ÉS BOTANIKAI FOLYAMATOK ÖSSZEFÜGGÉSEINEK VIZSGÁLATA EGY PATAKMENTI ERDŐÁLLOMÁNY ÉS NEDVES RÉT TERÜLETÉN

NEVEZI CSENGE, BAZSÓ TAMÁS, CSÁKI PÉTER, GRIBOVSZKI ZOLTÁN, KALICZ PÉTER,
ZAGYVAINÉ KISS KATALIN ANITA

Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Geomatikai, Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Intézet
nevezi.csenge.12@gmail.com

A víz és az erdők kapcsolata egyre fontosabb szerepet kap a napjainkban zajló klímaváltozás tükrében. A vizes élőhelyek és élőhelykomplexek igen érzékenyek lehetnek a szélsőséges változásokra, így a dinamikájuk pontosabb megismerése segíthet fenntartásukban és kezelésükben. A kutatás során a Hidegvíz-völgyben található kísérleti területen három vegetációtípusban végeztünk botanikai és hidrológiai méréseket a 2018-2019-es hidrológiai év során. Az adatgyűjtés fókuszában a csapadék- és a hőmérsékletadatok összegyűjtése, a talajvízszint és a talajnedveség mérése, valamint a növényfajok és a vegetációtípusok meghatározása állt. A kiértékelés során a hidrológiai és botanikai tényezők közötti összefüggéseket tártuk fel.

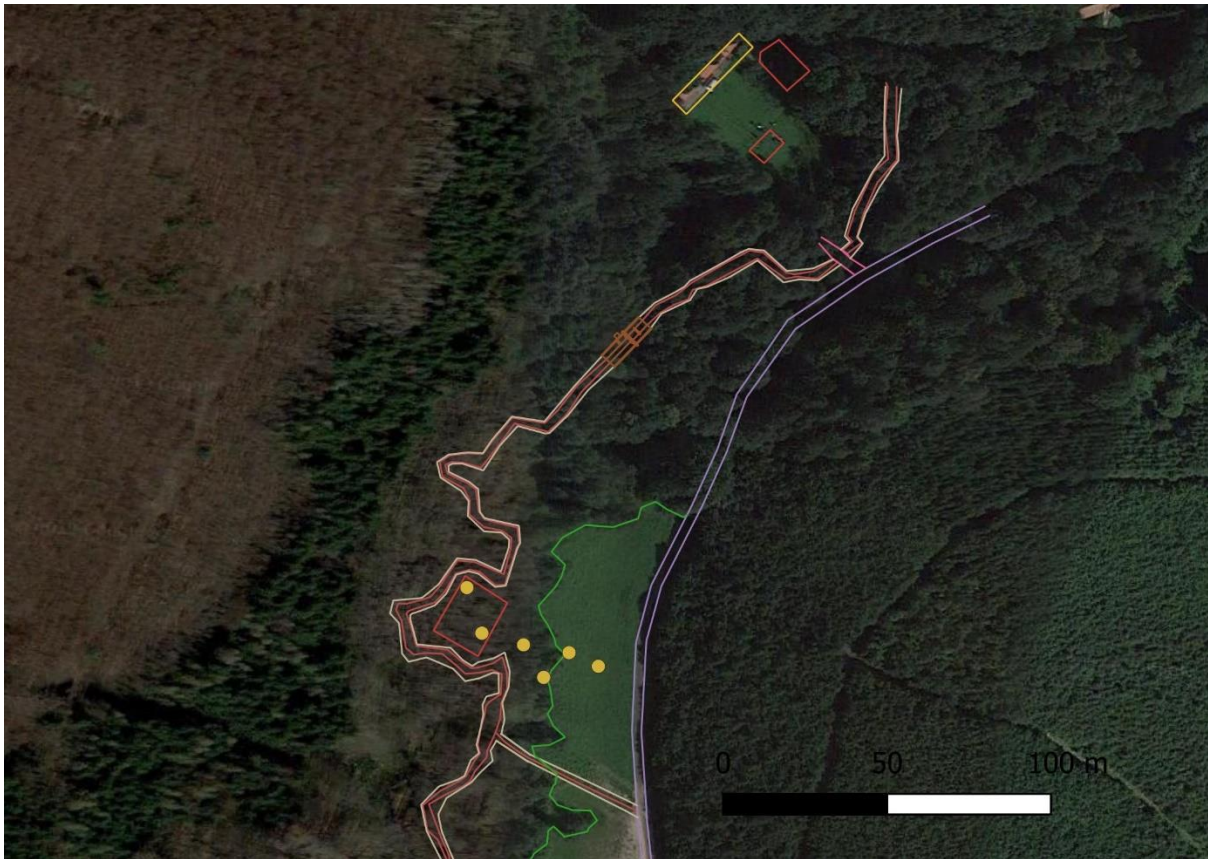
Az erdők, a víz és a vegetációtípusok kapcsolatáról már számos külföldi és hazai kutatás, illetve cikk készült. A legtöbb külföldi kutatás az Egyesült Államokban végezték (CASTELLI 2000; LOHEIDE – GORELICK 2007), közös jellemzőjük, hogy az elsődleges szempont a hidroökológiai viszonyok felmérése volt, valamint a vizsgálatokat sivatagos vegetáció által borított területen végezték. A legfontosabb eredmények közé tartozott az a megállapítás, hogy a területeken bekövetkező kiszáradások egyik legfőbb oka az emberi beavatkozás. A hazai kutatások (SZABÓ 2016; MÓRICZ 2016) leginkább az erdők talajvízviszonyainak feltárására fókuszáltak, melyek során az eredmények abba az irányba mutattak, hogy a fel- és leáramlási zónák vannak jelentős hatással az erdők vízforgalmára.

Vizsgálati anyag és módszer

A kutatás egy teljes hidrológiai éven keresztül zajlott, a Sopron mellett elhelyezkedő Hidegvíz-völgy kísérleti hidrológiai területen. Az adatgyűjtés fő helyszínei a Hidegvíz-völgyi kutatóház mellett található meteorológiai állomás, az égeres intercepciós kert és a mellette fekvő nedves rét voltak. Összesen hat pont lett kijelölve a mérések helyszínéeként, vegetációtípusonként kettő-kettő (1. ábra).

A hőmérséklet- és a csapadéértékek mérése napi szinten történt. Az adatokat mindkét esetben automata eszközök rögzítették. A csapadékmérés esetében manuális korrekciót végeztünk a Hellmann-féle csapadékmérő segítségével, mivel a billenőedényes csapadékmérő esetében nagy intenzitású csapadékeseménynél a mérések a kieső vízmennyiség miatt pontatlanok lehetnek.

A talajvízszint mérése talajvízkutak és speciális mérőszalag segítségével történt. Az égeres intercepciós kertben 5 meglévő kút, az erőszegélyben 1 darab, 2019 nyarán létesített kút található. A nedves réten nem található egyetlen talajvízkút sem, ennek az az oka, hogy a fúrás munkálatok során a 60 cm mélyen fekvő erősen köves talajrétegen nem lehetett kézi kútfúróval áthaladni. A fúrásokhoz kapcsolódóan a mintavételi pontokon szintezést végeztünk. A mérés eredménye azt mutatta, hogy az egyes pontok között csupán 5-10 centiméteres eltérés található, a tengerszint feletti magasságuk megközelítőleg 372,422 méter.



10. ábra: A mintaterület elhelyezkedése a Hidegvíz-völgyben. A barna vonal a Rák-patak medrét, a lila a műutat, a piros az intercepciós kert kerítését, a zöld pedig az erdőszegélyt jelöli. A mérési pontok sárgával lettek feltüntetve (BAZSÓ 2019)

A talajnedvességgel kapcsolatos vizsgálatok két módon történtek. Az első az egyik legegyszerűbb és legpontosabb eljárás, amit napjainkban is alkalmaznak: a szárítószekrényes eljárás (TOPP – FERRÉ 2002). Az eljárás során a mintavételi pontokon egy, az egyik végén lezárt, 100 cm³-es fémhenger segítségével veszünk talajmintát – a hengert egy kalapács segítségével kell a talajba ütni. Az összegyűjtött minták tömegét nedves állapotban kell lemérni, ezután 24 órára 105 °C-os szárítószekrénybe kell helyezni a hengereket. Az idő letelte után meg kell mérni a száraz tömeget is, majd a térfogat ismeretében a százalékos nedvességtartalmat az erre vonatkozó egyenlet segítségével meghatározni (RADCLIFFE 2010). Az eredmények a TDR szonda kalibrálásához szükségesek.

A terepen heti gyakorisággal használt módszer a TDR szondával való mérés volt. Ez az eljárás a talajban található víz elektromos vezetőképességét használja ki (TOPP – FERRÉ 2002; ROBINSON 2003), ami a gyakorlatban azt jelenti, hogy a műszer azt jelzi, hogy a szonda által kibocsájtott elektromos hullám mennyi idő alatt verődik vissza a kibocsájtás helyére. A műszer egyik végén kettő vagy három vékony fémrúd található, ezek az elektromágneses hullámok forrásai. A fémrudak összeköttetésben állnak a kijelzővel, amelyről leolvashatjuk a mért értéket, majd ezt felhasználva egy konverziós egyenlet segítségével kiszámolhatjuk a talaj %-os nedvességtartalmát (RADCLIFFE 2010). A mérés során ügyelni kell arra, hogy a talaj se túl laza, se túl tömörödött ne legyen, illetve elegendő számú (mérési pontonként 5) próbát kell végezni a nagyobb mérési hibák elkerülése érdekében. A TDR módszer nem alkalmazható fagyott talajok esetében.

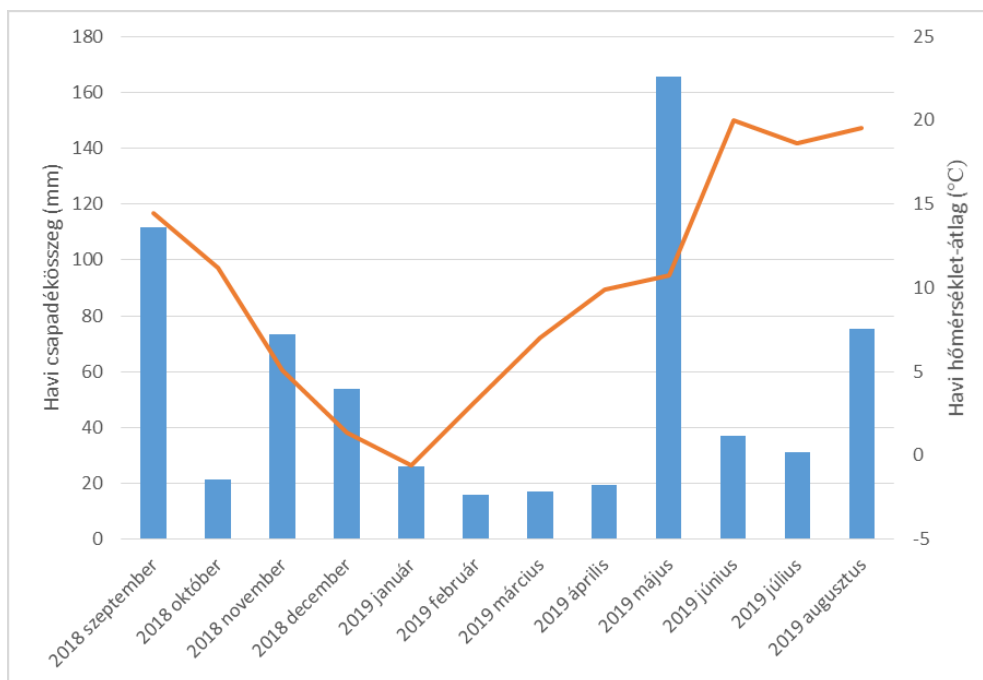
A hidrológiai mérések eredményeiből vízmérleg számítása is történt, hogy a terület vízháztartásában adott idő alatt bekövetkező változások nyomon követhetők legyenek. A számításokor a következő tényezőket kell figyelembe venni: napi csapadék mennyisége, napi hőmérséklet-

átlagok, potenciális evapotranszpiráció (PET), levélfelületi index (LAI), és intercepció (GRIBOVSKY 2011).

A botanikai felvételezés során a terület flóráját mintaterületek segítségével felvételeztem, mivel a kiválasztott mintaterület kisebb volt, mint 100 ha. A területen három, jól elkülöníthető vegetációtípus található: egy patakmenti égerliget, egy erdőszegély, valamint egy nedves rét. A növényfajok felvételezése az ún. dauerkvadrát módszer szerint zajlott, amely azt jelenti, hogy ugyanazon kvadrátokat adott időközönként kell felmérni, tehát dinamikus vizsgálatot alkalmazunk (BARTHA 2011). A kvadrátok mérete a gyepen 2x2, a szegélyben 5x5, az erdőben pedig 20x20 méter volt. A fajösszetétel megállapítása után következett az A-D borítási értékek, valamint az Ellenberg-féle (1950) (SIMON 1992) T-W-R értékek, valamint a vegetációtípusok Á-NÉR rendszeren (BÖLÖNI 2011) alapuló meghatározása.

Vizsgálati eredmények

A hidrológiai mérések közül a csapadék- és hőmérsékletmérések eredményeit érdemes együtt tárgyalni, mivel ez a kettő szorosan összefügg egymással. A napi mérések eredményeiből havi átlagok készültek, amelyek a 2. ábrán láthatóak.



11. ábra: Havi hőmérséklet-átlagok és havi csapadékösszegek 2018 szeptembere és 2019 augusztusa között

A diagram alapján megállapítható, hogy a leghidegebb hónap 2019 januárja, a legmelegebb hónap 2019 júniusa volt; a legszárazabb hónap 2019 márciusa, a legcsapadékosabb hónap pedig 2019 májusa volt. Összességében véve az értékek egyenletes csökkenést, illetve növekedést mutatnak (kivéve a 2019-es májusi csapadékmaximum).

A potenciális evapotranszpiráció (PET) számítása a Hamon módszer segítségével történt (ALLEN 1998). A számoláshoz szükségünk van a vizsgált napok számára (julian day), a terület nagyságára, a napi átlaghőmérséklet-adatokra, a sugárzás mértékére, a naphosszra, és a telítési párányomásra. Az erre vonatkozó egyenlet a következőképpen írható fel:

$$PET = 29,8 \cdot D \cdot \frac{e}{T + 273,2}$$

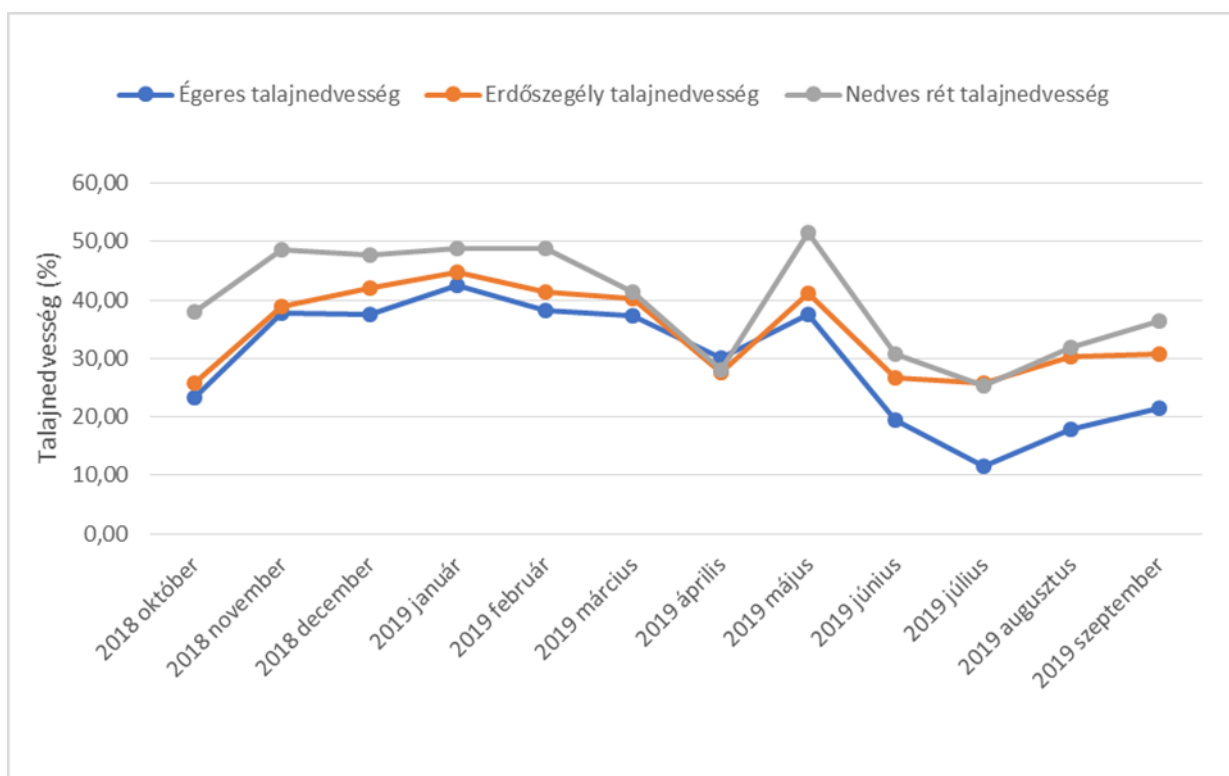
ahol D a naphossz, e a telítési páryomás, T pedig a napi átlaghőmérséklet. A kapott eredmények azt mutatták, hogy a területnek a tenyészidőszakban több a vízigénye, és ez alatt az időszak alatt egyenletes vízpótlást igényel.

A talajvízszint mérése az égeresben található 3. számú talajvízkút, valamint az erdőszegélyben található 3. számú talajvízkút segítségével történt. Mivel a szegélyben található kút létesítésére csak 2019 júniusában került sor, erről a területről nincs egész éves adat. A mért adatokból mindkét esetben le kellett vonni a talajfelszín és a kútperem közötti különbséget. A megfigyelt időszakban mindkét helyszínen egyenletes volt a talajvíz mélységének változása, csak a tavaszi időszakban volt megfigyelhető enyhe talajvízszint-süllyedés, ennek oka a fásszárú növényzet megnövekedett vízigénye. A vízszint kis mértékű növekedése szeptember-októberben látható, ami a lombhullással, illetve az anyagcsere-folyamatok intenzitásának csökkenésével áll összefüggésben.

A talajnedvesség mérése szárítószekrényes eljárással és a TDR módszerrel történt. A terepi mérések során három alkalommal vettünk zavartalan mintákat. Az eredmények kiértékelése során kiderült, hogy az ismétlésszám túl alacsony, így érdemi összehasonlításra a TDR eredményekkel nem került sor. Így a gyári kalibrációs egyenlet elfogadásra került. A TDR szonda nyers adatainak feldolgozása az alábbi konverziós egyenlet segítségével lett megvalósítva:

$$VWC = (0,049 * PERIOD) - 98,23$$

ahol a VWC (volumetric water content) a talaj %-os nedvességtartalma, a PERIOD pedig a műszer által mért érték. Az átszámított adatok a 3. ábrán láthatóak.



12. ábra: A TDR által mért talajnedvesség alakulása 2018 októbere és 2019 szeptembere között

A grafikonon jól látható, hogy az egyes területek elkülönülnek egymástól, ugyanakkor a nedvességtartalom-változások mértéke nagyjából ugyanakkora. Ebből arra lehet következtetni, hogy az átszámításhoz használt kalibrációs egyenlet jól használható a talajnedvesség-értékek meghatározására.

A vízmérleg meghatározása az erdőállományra, és a nedves rétre is megtörtént. A csapadék- és hőmérsékletadatok ismeretében, valamint a levélfelületi index (LAI) és az intercepció meghatározása után felállítható a vízmérlegre vonatkozó egyenlet:

$$P - INT - (PET - INT) = dS - ET_{gw}$$

ahol P a csapadék, INT az intercepció, PET a potenciális evapotranszpiráció, dS a készletváltozás, ET_{gw} pedig a talajvízből származó vízvisszapótlás. A PET-INT tag a transzspirációs vízfelvételt jelenti. A kiszámított adatok az 1. – 2. táblázatban láthatóak.

1. táblázat: A nedves rét egy éves vízkészlet-változása

2018 szeptember- 2019 augusztus	P (mm)	INT (mm)	PET-INT (mm)	dS-ET _{gw}
	634,79	-91,5	-597,7	-54,41

2. táblázat: Az égeres egy éves vízkészlet-változása

2018 szeptember- 2019 augusztus	P (mm)	INT (mm)	PET-INT (mm)	dS-ET _{gw}
	634,79	-153,29	-793,11	-311,6

A táblázatok alapján megállapítható, hogy az égeres talajvíz-felhasználása sokkal nagyobb, mint a nedves rété. Ennek oka a fásszárú növényzet nagymértékű vízigénye.

A botanikai felvételezésre kora tavasszal, késő tavasszal, nyáron és ősszel került sor az égerligetben, az erdőszegélyben, és a nedves réten. A fajlista összeállítása után következett az A-D borításértékek, illetve a nedvességigényre vonatkozó értékek megállapítása, valamint az élőhelytípus meghatározása. Az égerliget esetében az állományalkotó fafaj a mézgás éger (*Alnus glutinosa*), 10-es nedvességigény-értékkel. A társulásban megtalálható cserje- és lágyszárú fajok (pl. fekete bodza (*Sambucus nigra*); podagrafű (*Aegopodium podagraria*)) üde termőhelyet jeleznek átlagosan 6-7 közötti W értékkel. A társulás a J5 (égerligetek) Á-NÉR kategóriába tartozik (BÖLÖNI et al. 2011). Az erdőszegély fajösszetétele jelentősen hasonlít az égerligetéhez, azzal a különbséggel, hogy ritkább a fásszárú növényzet, és gyakoribbak a magaskórósok. Az erdőszegély az égereshez hasonlóan a J5 (égerligetek) kategóriába tartozik (BÖLÖNI et al. 2011). A nedves réten késő tavasztól nyár végéig tömegesek az üde-nedves élőhelyeket kedvelő, kozmopolita fajok (pl. franciaperje (*Arrhenatherum elatius*)). Lényeges különbség azonban az erdő és a szegély fajaihoz képest, hogy fényigényesebbek, és magasabbra nőnek. Megjelennek a területen szárazságtűrő fajok is (pl. közönséges cickafark (*Achillea millefolium*)). Ez az élőhely az OB (Jellegtelen üde gyepek) kategóriába tartozik (BÖLÖNI et al. 2011).

Összefoglalás

A kutatás során mért eredmények egyértelműen azt mutatják, hogy a növényzet kis mértékben is követi a vízháztartásban bekövetkezett különbségeket. A termőhely üde, azonban az erdőben vízigényesebb, a réten pedig szárazságtűrő fajok is megjelennek. A két terület vízmérlege közötti különbséget az intercepció okozza. A terület vízháztartása és növényzete között stabil kapcsolat áll fent, mentes a szélsőségektől. Ennek a természetes dinamikának a megőrzése fontos feladat, hiszen az ökológiai stabilitás mind az erdőgazdálkodás, mind a védelmi intézkedések szempontjából fontos tényező.

Köszönetnyilvánítás: Jelen publikáció az „EFOP-3.6.1-16-2016-00018 – A felsőoktatási rendszer K+F+I szerepvállalásának növelése intelligens szakosodás által Sopronban és Szombathelyen” című projekt támogatásával valósult meg.

- ALLEN, R.G. – PEREIRA, L.S. – RAES, D. – SMITH, M. (1998). Crop Evapotranspiration—Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations. ISBN 92-5-104219-5.
- BARTHA, D. (2011): Vegetációismeret. Nyugat-Magyarországi Egyetem Kiadó, Sopron, pp. 38-39.
- BÖLÖNI, J – MOLNÁR, ZS. – KUN A. (szerk.) (2011): Magyarország élőhelyei. A hazai vegetációtípusok leírása és határozója. ÁNÉR 2011. MTA Ökológiai És Botanikai Kutatóintézete, Vácrátót. 441p.
- CASTELLI, R.M. – CHAMBERS, J.C. – TAUSCH, R.J. (2000): Soil-plant relations along a soil-water gradient in Great Basin riparian meadows. WETLANDS, Vol. 20, No. 2, June 2000, pp. 251–266
- GRIBOVSZKI, Z – KALICZ, P. – KUCSARA, M. (2011): Víztan. http://www.tudasfelho.hu/felho/First/First_files/Vi%CC%81ztan.pdf
- LOHEIDE, S.P. – GORELICK, S.M. (2007): Riparian hydroecology: A coupled model of the observed interactions between groundwater flow and meadow vegetation patterning. Water Resources Research, Vol. 43, pp. 2 – 16
- MÓRICZ, N. (2011): Egy erdő és parlagterület vízforgalmának összehasonlító vizsgálata. Doktori értekezés, Nyugat-Magyarországi Egyetem, Sopron
- RADCLIFFE, D.E. – SIMUNEK, J. (2010): Soil Physics with HYDRUS: Modeling and Applications. CRC Press, Boca Ration, FL. pp. 43 – 45.
- SIMON, T. (1992): Magyarország edényes flóra határozója; Harasztok-virágos növények; Budapest
- SZABÓ, A. – RÁSÓ, J. – BALOG, K. – TÓTH, T. (2016): Talajvízszint változási dinamika a vegetációs időszak elején ültetvényekben és a kapcsolódó kontroll területeken. Újságcikk, NAIK ERTI.

A JÖVŐ FAIMPREGNÁLÓ POLIMERJE. A TEJSAV TÖMÖRFÁBAN TÖRTÉNŐ FELHASZNÁLÁSÁNAK ÁTTEKINTÉSE

NOVÁK DOMINIK, NÉMETH RÓBERT, BÁDER MÁTYÁS

Soproni Egyetem, Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi és Művészeti Kar, Faanyagtudományi Intézet.
bader.matyas@uni-sopron.hu

A faanyagokról általában

A faanyagra ma már egy jól ismert megújuló anyagként és megújuló energiaforrásként tekintünk, amelyre egyre nagyobb igény van. Hiszen a nem megújuló erőforrások már kifogyóban vannak és azok kitermelése, feldolgozása és felhasználása nagy környezetkárosító hatással bír. Azonban a megújuló energiaforrások, mint a fa, nem károsítják a környezetet és belátható időn belül újra termelődnek. Ezért rendkívül fontos a fenntartható erdőgazdálkodás és a már kitermelt faanyag megfelelő hasznosítása. A faanyagokat kiváló tulajdonságaik miatt széles körben használják. Energiaforrásként elsősorban hőerőművek által hasznosítják, míg ma már nem csak a kiváló fizikai tulajdonságai miatt, mint a könnyű megmunkálhatóság, mechanikai szilárdság és a tetszetős küllem, hanem a fenntarthatóságához hozzájáruló egyéb tulajdonságai miatt is, mint például a szén-dioxid semlegesség és újra felhasználhatóság, a fa az egyik legszélesebb körben felhasznált építőanyag. Annak ellenére, hogy a különböző faanyagok környezeti hatásokkal szembeni ellenállóképessége széles skálán mozog és akad köztük kiemelkedő ellenálló képességekkel rendelkező fafaj, összességében azt mondhatjuk, hogy a faanyagok kémiai, rovar, gomba és UV álló képességei korlátozottak. Ezek mellett a faanyag dimenzióstabilitása és fahibái gondot jelentenek a felhasználása során. Ezen problémának minimalizálására próbálunk a mai napig is megoldást találni. A faanyag növekedéséből származó hibáit, mint a ferdeszálúság vagy a külpontosság, az erdőgazdálkodás hivatott megoldani, azonban a többi problémára a faiparnak kell megoldást találnia. Erre vonatkozóan már régóta folynak kutatások. Így kezdődött el a különböző faalapú termékek fejlesztése, annak érdekében, hogy egy kívánatos tulajdonságokkal rendelkező, ám mégis környezetbarát anyagot kapjunk. Azonban vannak olyan esetek, amikor a faanyagot tömör, természetes állapotban kell felhasználni, hiszen csak így őrizhetők meg kedvező fizikai és esztétikai tulajdonságai. Ezekben az esetekben, mint például a kültéri használat, szintén hasznos valamivel megelőzni a faanyag fizikai tulajdonságainak romlását, illetve a felhasználásuk előtt javítani ezeket a tulajdonságokat. Ezen tulajdonságok lehetnek a higroszkóposság, a szilárdság vagy a szín. Már számos módszer létezik ezen tulajdonságok javítására, mint például a különböző védőszeres kezelések. Ezek a kezelések néhány tulajdonságot a felhasználás szempontjából pozitív, míg néhányat negatív irányban befolyásolnak. A fő probléma ezen kezelésekkel pedig az, hogy a környezetre káros anyagok felhasználásával történnek. Így a felhasználás során vagy a felhasználási élettartam után kockázatot jelent a környezetére. Ezért fontos, hogy olyan anyagokkal végezzük a faanyag modifikációját, amely élettartama alatt és annak végén sem jelent veszélyt a környezetére. Mivel a környezetre káros anyagok felhasználására egyre szigorúbb előírások vannak, ezért olyan anyagokat és módszereket kell találni, amelyek környezetbarátok és mégis javíthatók velük a kívánt tulajdonságok. Ezen törekvés más területeken is fontos, hiszen a műanyagiparban is fejlesztenek olyan anyagokat, amelyek gyorsan lebomlanak és nem károsítják a környezetet. Ezért kézenfekvő egy olyan telítőszer alkalmazása a faanyag modifikációja során, amely már más iparágakban pozitív eredménnyel szolgált. A politejsav ezen elvárásoknak megfelel és már folynak a kutatások mind az önálló, mind más anyagokkal történő együttes felhasználását illetően. A faanyag modifikálása politejsavval megoldást jelenthet a fa kedvezőtlen tulajdonságainak javítására a környezetvédelmi szempontok figyelembe vétele mellett.

Tejsav

A tejsav kémiai neve: 2-hidroxi-propionsav, 2-hidroxi-propánsav, α -oxi-propionsav. Összegképlete $C_3H_6O_3$. Molekulatömege: 90,08 g/mol. A tejsav királis vegyület, vagyis egy aszimmetrikus szénatomot tartalmaz. Két eltérő sztereoizomer módosulatban létezik, melyek az erjesztéstől függően képződnek. A jobbra forgató tejsav (L-tejsav) és a balra forgató tejsav (D-tejsav) tulajdonságai azonosak, csak az optikai forgatás iránya különböző. Az L-(+)-tejsav fiziológiai alkotórésze a szervezetnek, a glikolízis melléktermékeként főleg az izomban van jelen, ezért nevezik hústejsavnak. A tiszta tejsav színtelen, azonban egy általában színtelen vagy gyengén sárgás színű, csaknem szagtalan, szirupsűrűségű folyadékként forgalmazzák. Sóit laktátoknak nevezzük, amelyek fontosak az ipar számára.

A tejsav szénhidrátokból (cukrokból) keletkezik a tejsavbaktériumok okozta erjedés következtében. A tejsavas erjedésnek fontos szerepe van az élelmiszerek tartósításában. Az egészségre ártalmatlan tejsavbaktériumok erjedés közben elszaporodnak, elnyomják a kórokozó baktériumokat, amelyekre a savanyúvá váló közeg amúgy is hátrányos. A szájjban, belekben képződő tejsav enyhe fertőtlenítő hatása, ezért távol tartja a baktériumokat. Az izmokban a glikogén lebontásának termékeként jön létre. Izommunka során az izmok tejsavtartalma megnő, fáradtság érzését kelti és csökkenti az izmok munkaképességét.

Szintetikus és biológiai előállítására is több évtizedes múltra tekint vissza, és egyre szélesebb körű felhasználása révén az utóbbi pár évtizedben egy alacsony árú, nagy mennyiségben előállított terméké vált (HETÉNYI 2010). Elsősorban élelmiszeripari alkalmazása fontos, de 2002 óta nagy ugrás tapasztalható a műanyag iparban történő felhasználásában is, és az elkövetkezendő 20 évben akár egy millió tonnás mennyiségben előállított biotermékké léphet elő (CHAHAL ÉS STARR 2006). Az 50 %-os vizes oldatát a kelmefestő iparban pácok készítésére, a cserzőiparban a mésznek a bőrtől való eltávolítására, továbbá fa pácolására használják. Az erjedési iparban az élesztőgyártásban a vajsavbaktérium kiküszöbölésére, az üdítőitalok készítésében eszenciák, kivonatok, szirupok előállítására használják. Nagy szerepe van a sajtgyártásban is. A kozmetikában vizes oldatban hajvizet, lemosószereket készítenek belőle, főleg a fejbőr kiütései és viszketegség ellen. A D,L-tejsav és főleg D-(–)tejsav a gyógyszerészetben a legáltalánosabban savanyító ágens. Szalicilsavval keverve alkalmas szemölcsök és tyúkszemek kezelésére. Fontos nőgyógyászati betegségekkel szembeni felhasználása, 5%-os oldatát alkalmazzák hüvelyöblítésre. Széles körben alkalmazzák különböző kozmetikumokban, mivel nem irritálja a bőrt, arra lágyító és kondicionáló hatást fejt ki (BODNÁR 2002).

Politejsav és alkalmazása

A politejsav napjainkban az egyik legelterjedtebb biopolimer. Más biopolimerekkel együtt évről évre növekszik az előállított mennyisége és alkalmazási területei is egyre bővülnek. A tejsav kukoricából és egyéb takarmánynövényekből való előállítása és a technológia költségének csökkenése lehetővé teszi, hogy nagy mennyiségben állítsák elő és így a politejsav alapú csomagolóanyagok és egyéb egyszerűhasználatos műanyagok fel tudják venni a versenyt a többi nem lebomló műanyaggal és várhatóan a biokompatibilitása miatt idővel háttérbe is szorítják őket. A politejsav gyártását két módszerre oszthatjuk (LUNT 1998; BOGAERT ÉS COSZACH 2000). Az egyik a Cargill cég által kifejlesztett technológia. Itt egy oldószermentes folyamat során új desztillációs technikával állítanak elő politejsavat. Az eljárás a tejsavból alacsony molekulatömegű oligomereket állít elő kondenzációs úton, melyből aztán depolimerizációval laktidot. A laktid gyűrűfelnýtásos polimerizációjával pedig nagy molekulatömegű politejsavat állít elő. A köztes termék laktidot nem kell külön kinyerni, így a technológia folyamatos. A másik eljárást a Mitsui Toatsu vállalat fejlesztette ki, amely segítségével nagy molekulatömegű politejsavat

állítottak elő, oldószeres közegben, azeotrop desztillációt alkalmazva a polikondenzáció során. A reakcióban keletkező vizet folyamatosan eltávolították.

Fizikai tulajdonságait tekintve számos befolyásoló tényező játszik szerepet, mint a szerkezet, molekuláris jellemzők, kristályosság, morfológia, lánccorientáció mértéke, stb. A különböző tulajdonságok pedig különböző felhasználást tesznek lehetővé. A politejsav 2 különböző formáját különböztetjük meg. A poli-L-tejsavat (PLLA), amelyik kristályos és a poli-D,L-tejsavat (PDLLA), amelyik amorf. Mindkettő termoplasztikus, de egyéb fizikai és mechanikai tulajdonságaik különböznek. A forma mellett az előállítás módszere is jelentősen befolyásolja a tulajdonságaikat.

A politejsav alkalmazása a már az előbbieken említett tulajdonságai miatt széleskörűen használható. A lebonthatósága miatt az orvostudomány és a gyógyszerészet kezdte el használni. A gyógyászatban a többi biodegradális polimerrel együtt felszívódó anyagoknak nevezik.

A biopolimereknek számos fontos követelménynek meg kell feleljenek, hogy biztonságosan tudják őket alkalmazni (Pl: ne legyenek mérgezőek, fontos a hatékonyság és a tartósság, a sterilizálhatóság és az, hogy ne legyenek testidegenek). A gyógyászatban számos területen nyernek alkalmazást: megelőző kezelések, sebészeti eljárások, klinikai vizsgálatok, gyógyszerészeti kutatások. Sokféle eszközt készítenek a politejsavból: fecskendőt, vér tárolására alkalmas zsákokat, katétereket, sebészeti varrocéernát, implantátumokat, műszerveket, égési sérüléseket szenvedett betegeknél bőrpótló szövetet, valamint előnyösen használhatók a gyógyszerészetben, pl. gyógyszerhatóanyag kioldódásának szabályozására (BODNÁR 2002). Emellett fontos az ökológiai alkalmazása is. Számos iparág használja, mint a mezőgazdaság, erdészet, halászat, műanyagipar (csésze, palack), csomagolóipar (táskák, csomagolóanyagok, fóliák, stb.), higiéniai cikkek, sportszerek. A tejsav további műszaki felhasználására még számos mód mutatkozik. Kompozit formájában a merevséget, míg lágyítással illetve elasztomerekkel társítva a törési ellenállást növelhetjük. Ezen lehetőségek számos területen előnyösek, ám a fejlesztéshez mélyreható ismeretek szükségesek mind a politejsavat, mind a vele kapcsolatba lépő anyagokat illetően (IMRE 2013).

A faanyag tejsavval való telítésével kapcsolatos kutatások

A faanyag tejsavval való telítésével eddig nem sok kutatás irányult. Azonban a politejsavat már használták hosszú természetes szállakkal kombinálva, mint a len és a kender, extrudált és tömörített kompozitok készítéséhez, ahol az egymás közti kötés erősebb volt a hagyományos hidrofób polimereknél, mint a polietilén, poliptopilén vagy a polivinilklorid (ASHORI, 2008; FINK ÉS GANSTER 2006; MOHANTY 2000; PLACKETT 2003; VAN DE VELDE ÉS KIEKENS 2002; WOLLERDORFER ÉS BADER 1998; WONG 2004). Marion Noël többedmagával 2009-ben publikálta első tanulmányát a faanyag politejsavval való imprágnálásáról, amelyben két impregnálási ciklussal telíti a fát. Ez a két ciklus a kezelt fa két különböző fizikai állapothoz vezetett. A rövid hevítési ciklus lágyult anyagot eredményezett, míg a hosszú hevítési ciklus sűrített anyagot. A kémiai jellemzés szempontjából úgy tűnt, hogy a tejsav oligomerek a fasejtek falába polimerizálódnak, de úgy tűnik, hogy nem oltják be őket a fa hidroxilcsoportjaiba (NOEL 2009). Ez a munka megmutatta a két környezetbarát erőforrás ígéretes társulását. A tejsav-oligomer kezelés a fa esetében érdekes kémiai kölcsönhatásokkal és fizikai hatásokkal jár a lignocellulóz szerkezetére. Noël 2015-ben kiadott publikációjában, ahol a tejsav mellett már több biopolimerrel is kísérletezett, mint az oligo galakturonsav (OGA), oligo butilén szukcinát (OBS) és oligo butilén adipát (OBA). A kezelések nagyon magas dimenzióstabilitást adnak a kezelt mintáknak (kb. 95% dagadásgátló hatékonyság (ASE) magas relatív páratartalom mellett, vagy vízben), azonban ezt a hosszabb vízkioldódást követően nem sikerült megtartani (25% ASE). A politejsav sejtfalba való behatolása, valamint a csökkent polimerizációs állapot nagy rugalmas-

sági modulus (*MoE*) csökkenést idéz elő az ömlesztési kezelés során (NOEL 2015). Az alacsonyabb oligomer-felvétel és a magasabb kezelési hőmérséklet kombinációja csökkentheti az tejsavval kezelt faanyag nedvességfelvevő képességét. A kutatás arra is rámutatott, hogy magas kezelési hőmérsékletre van szükség a további faanyagon belüli polimerizáció indukálásához (NOEL 2015). Ugyanebben az évben Noel kiadott egy újabb tanulmányt, amelyben vizsgálta a fa és az előző részben említett biopolimerek polimerizációjának mértékét. TGA készülék segítségével meghatározta az oligoészterekkel kezelt fa relatív hőstabilitását és a hőkezelés során elért anyagon belüli polimerizáció mértékét. A minták mérsékelt hőmérsékleten történő impregnálása csökkentette az oligomer viszkozitását, lehetővé téve a mobilitást és a faszövetbe való behatolást. Ezt magyarázat az impregnált minták duzzadására, amelyek csak a hevítési lépések során duzzadtak. A folyamatos hevítés indukálja az oligomerek polimerizációját a fa belsejében az oligomer tömegfelvételének megtartásával (NOEL 2015). Ez a tanulmány feltárta, hogy a polimer termogravimetrius analízise könnyen alkalmazható a kezelt fán belüli polimerizált poliészterek relatív polimerizációs fokának és hőstabilitásának meghatározására (NOEL 2015). Marion Noël-en kívül Charlotte Grosse is foglalkozott a biopolimerek és a tömörfa kapcsolatával. Ő részletesen vizsgálta a tejsav oligomerizációjának mértékét a kezelési hőmérséklet és a kezelési időtartam függvényében. Az ő vizsgálatai is megerősítették, hogy a hevítési lépés hőmérséklete és időtartama meghatározzák az oligomerizált tejsav (OLA) polimerizációjának mértékét a fa belsejében. OLA polimerizáció mértéke nagyobb lesz magasabb hőmérsékleten, hiszen a kezelési hőmérséklet 160 °C-ra történő emelése hosszabb tejsav-oligomereket eredményez, de befolyásolja a fa polimerek lebomlását is. Ez a hőmérséklet jelentősen befolyásolja a módosított fa higroszkópos viselkedését, amelyet az anyagon belüli polimerizáció és a fa polimerek részleges lebomlása idéz elő. A kezelés ideje pedig kevésbé van hatással a polimerizáció mértékére, mint a kezelés hőmérséklete (GROSSE 2019). Kezelés közbeni tömegveszteségek is felléptek, amelyek nőttek a hőmérséklet emelkedésével a kezelés felfűtési szakaszában. A tömegveszteséget valószínűleg három jelenség okozhatta: polikondenzáció során a víz elpárolgása, néhány kisebb tejsav-oligomer elpárolgása és a fa degradációja. Ezen 3 jelenség kombinációja együttesen járult hozzá a tömegveszteséghez. Ezenkívül az OLA kezeléseket jelentős biológiai ellenálló képességet biztosítanak a fával szemben, amelyet az OLA impregnálás és a hőkezelés együttes hatása okozott (GROSSE 2019).

Következtetések

A politejsav az egyik legígéretesebb anyag arra, hogy a faanyaggal szemben támasztott követelményeket kielégítsük. Más iparágakban való növekvő alkalmazása az előállítási költségét csökkentheti. Az előállított összmenységének növekedése megfelelővé teszi arra, hogy nagy mennyiségben felhasználjuk. A faanyag tejsavval való modifikációja eddig pozitív eredményekkel szolgált. A kutatások jelenleg is zajlanak és ha ebben a felgyorsult ütemben haladnak, akkor éveken belül az iparban is megjelenhet a tejsavval modifikált faanyag.

Köszönetnyilvánítás

A publikáció elkészítését az EFOP-3.6.2-16-2017-00018 („Termeljünk együtt a természettel - az agrárerdészet mint új kitörési lehetőség”) projekt támogatta a Széchenyi2020 program keretében. A projekt megvalósítását az Európai Unió támogatja, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával.

- ASHORI A. (2008): Wood–plastic composites as promising green-composites for automotive industries. *Bioresource Technology* 99: 4661-4667
- BODNÁR I. (2002): PLA szintézis. Debreceni Egyetem. Alkalmazott Kémiai Tanszék. Doktori disszertáció.
- BOGAERT C. – COSZACH P. (2000): Polylactic acids: New polymers for novel applications. *Nonwovens World* 9(1):83-91
- CHAHAL S. – STARR J. (2007): Lactic acid. *Ullmann's Encyclopaedia of Industrial Chemistry*. 7th edition, online version, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 1-8.
- ENOMOTO K. – AJIOKA M. – YAMAGUCHI A. (1994): US Patent. 5, 310, 865 (Mitsui Toatsu).
- FINK H.P. – GANSTER J. (2006): Novel thermoplastic composites from commodity polymers and man-made cellulose fibers. *Macromolecular Symposia* 244: 107–118
- GROSSE C. – GRIGSBY W. – NOËL M. – TREU A. – THÉVENON M. – GÉRARDIN P. (2019): Optimizing wood modification with OLA. *Journal of Wood Chemistry and Technology* 39(6): 385-398
- GROSSE C. – SPEAR M. – CURLING S. – NOËL M. – RAUTKARI L. – UIMONEN T. – GÉRARDIN P. (2018): Dynamic mechanical thermal analysis of wood modified with bio-polyesters. In: Creemers J (ed.) *Proceedings of 9th European Conference on Wood Modification* 17-18.09.2018 Arnhem, Netherlands
- GRUBER R. – HALL S. – KOLSTAD J. – IWEN M. – BENSON R. – BORCHARDT R. (1992): US Patent 5,142,023 (Cargill)
- HETÉNYI K. – NÉMETH Á. – SEVELLA B. (2011): Investigation and modeling of lactic acid fermentation on wheat starch via SSF, CHF and SHF technology. *Periodica Polytechnica* 55(1): 11-16
- IKADA Y. – TSUJI H. (2000): Biodegradable polyesters for medical and ecological applications. *Macromol. Rapid Comm.* 21(3): 117-132
- IMRE B. – RENNERT K. – PAKÁNSZKY B. (2013): A politejsav módosítása - PLA alapú társított rendszerek. *Műanyag és Gumi* 50(3): 108
- LUNT J. (1998): Large-scale production, properties and commercial applications of polylactic acid polymers. *Polymer Degradation and Stability* 59(1-3):145-152
- MOHANTY A.K. – MISRA M. – HINRICHSSEN G. (2000): Biofibres: Biodegradable polymers and biocomposites: an overview. *Macromolecular Materials and Engineering* 276: 1–24
- MOLNÁR S. (1999): Faanyagismerettan. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó. Budapest.
- NOËL M. – FREDON E. – MOUGEL E. – MASSON D. – MASSON E. – DELMOTTE L. (2009): Lactic acid/wood-based composite material. Part 1: synthesis and characterization. *Bioresource Technol.* 100: 4711–4716
- NOËL M. – GRIGSBY W. – VITKEVICIUTE I. – VOLKMER T. (2015): Modifying wood with bio-polyesters: Analysis and performance. *Int. Wood Prod. J.* 6(1): 14–20
- NOËL M. – GRIGSBY W. – VOLKMER T. (2015): Evaluating the extent of bio-polyester polymerization in solid wood by thermogravimetric analysis. *Journal of Wood Chemistry and Technology* 35(5): 325-336
- VAN DE VELDE K. – KIEKENS P. (2002): Biopolymers: Overview of several properties and consequences on their applications. *Polymer Testing* 21: 433–442
- WOLLERDORFER M. – BADER H. (1998): Influence of natural fibres on the mechanical properties of biodegradable polymers. *Industrial Crops and Products* 8(2): 105–112
- WONG S. – SHANKS A. – HODZIC A. (2004): Mechanical behavior and fracture toughness of poly(L-lactic acid)-natural fiber composites modified with hyperbranched polymers. *Macromolecular Materials and Engineering* 289: 447–456

PIROLÍZIS KOROM ÉS FAANYAG KEVERÉK PELLETEK ENERGETIKAI ÉS MECHANIKAI VIZSGÁLATAI

PAPP VIKTÓRIA, SZALAY DÓRA

Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Erdészeti-műszaki és Környezettechnikai Intézet
papp.viktoria@uni-sopron.hu

Bevezetés

Napjaink egyik legnagyobb kihívása a klímaváltozás hatásainak mérséklése, a légköri CO₂ szint csökkentése. Ezért a megújuló energiák arányának növelése során egyre nagyobb figyelmet kapnak a különböző melléktermékek és hulladékok az energetikai hasznosítások folyamán. A fapellet előállítás szignifikánsan emelkedett az utóbbi tíz évben az Európai Unióban és hazánkban is. A lakossági és ipari szektorban is jelentős a növekedés, mely azt eredményezte, hogy a faiparból származó melléktermékek már nem fedezik a szükségletet. Tüzelési célra pellet nem csak faanyagból, vagy lágyszárú növények melléktermékeiből készülhet. Különböző hulladék anyagok felhasználásával, illetve ezek keverékeiből is előállítható energetikai célra hasznosítható tömörítvény. Ezen anyagok, a hasznosítást tekintve nem a hagyományos pellet-tüzelőkben, vagy lakossági szektorban jelennek meg. A hulladékból készült pelletek a nagyobb ipari létesítményekben, illetve a megfelelő füstgáz-tisztító és szűrő berendezésekkel ellátott tüzelőberendezésekben hasznosíthatók. A kutatások során a gumi pirolízises bontása során melléktermékként létrejövő korom felhasználásával hoztunk létre különböző arányú keverék-pelleteket. Ezen anyagok tisztán nehezen, vagy egyáltalán nem pelletálhatók, ezért a vizsgálatok során fenyő alapú faanyaghoz adagolva állítottuk elő a tömörítvényeket, melyeknek vizsgáltuk az energetikai és mechanikai jellemzőit. A faiparban nagy mennyiségű szennyezett melléktermék is megjelenik, felület kezelt anyagok, ragasztó, festékmaradványok melyek EN-14961-1 szabvány alapján nem lehetnek a lakossági használatban fapellet alapanyagai, viszont ipari pellet alapanyagként részben hasznosíthatók. A pirolízis korom (maximum 20%-os bekeverésig), a szennyezett faanyaggal együtt lehetne felhasználható. A bekeverés során a pelletek hosszúsága jelentősen csökkent a korom arány növelésével.

A pirolízis korom általános jellemzése

Gumiabroncsok pirolízissel történő bontása során melléktermékként keletkező pirolízis korom energetikai jellemzőit vizsgáltuk, és különböző arányú korom-fa keverék pelleteket készítettünk. A gumiabroncsok hasznosításának, környezetvédelmi szempontból kiemelten fontos szerepe van. Évi 700 millió kerékköpenyt gyártanak a világon, és (a felhasználás csekély növekedésétől eltekintve) lényegében ugyanennyit használtak el is dobnak. „Ezek a világ egyik legsúlyosabb hulladék elhelyezési problémáját okozzák, hiszen az újrahasznosítás aránya nagyon csekély, a gumi pedig a természetben nem bomlik le. Egy részét elégetik, például cementgyárakban, de még mindig rengeteg marad, amit csak valahogy eltemetnek, vagy valahol felhalmoznak” [Nagy 2011]. Az EU hulladékok lerakásáról szóló rendelete [Council Directive 1999] megtiltja az abroncsok hulladéklerakóba helyezését, ezért ma már 100%-ban újra kellene azokat hasznosítani. Az anyagában történő hasznosítás leggyakoribb módja az, amikor a gumit őrlik, szétválogatják az egyéb komponensektől, és ezt az őrleményt adalékokkal felhasználva, különféle gumi elemeket gyártanak belőle [Farkas 2015]. A hulladék olyan sok, hogy jelenleg csak a töredékét képes hasznosítani az ipar. Olajos Péter, a Körforgásos Gazdaságért Alapítvány elnökségi tagja szerint: „az anyagában hasznosítás, még a fejlett nyugat-európai technológiák mellett is maximum 20%-ban érhető el, a további 80% hulladékáramát másképpen kell felhasználni, mert nincs piaca az újra feldolgozott termékeknek.” Tehát kiemelt fontosságú az évente hazánkban keletkező kb. 50 ezer tonna gumihulladék energetikai hasznosítása is [Papp

2018]. A hőbontásos, pirolízises eljárás, a cementgyári és hulladékégetőkben történő hasznosítás mellett, egyre nagyobb szerephez jut. Dunaharaszttiban működik a legnagyobb gumiabroncsot pirolizáló üzem, 10 ezer t/év kapacitással rendelkezik. A Pannon Tyre Recycling Zrt. balatonfüzfői üzemében évi 5 ezer t gumi hulladékot dolgoznak fel. A kapacitást mintegy háromszorosára kívánják bővíteni a jövőben. Százhalombattán is épült volna gumihulladék-feldolgozó, ám a helyiek tiltakozása miatt erre nem került sor.

A pirolízis egy termikus eljárás, ami során oxigéntől elzárt környezetben, három termék illetve melléktermék keletkezik: a pirolízis gáz, amelyet általában a berendezés fűtésére használnak, valamint a pirolízis olaj és a korom [Martínez et al. 2013]. Az olajat is legtöbbször elégetik és villamos áram előállítására használják, vagy új eljárásokkal feldolgozzák és diesel üzemű motorok üzemanyagként hasznosítják. A korom az eljárás után fűtőanyagként (kokszt) használható magas fűtőértéke miatt, vagy további kezeléssel, -az aktív felület növelésével- gumigyártásban is használható, kiváltva teljes mértékben vagy részben az erre a célra gyártott magasabb áron beszerezhető ipari kormokat. A legtöbb elemzés szerint a pirolízis energiamérlege a melléktermékként megjelenő kokszt/korom hasznosítása nélkül veszteséges, a hatásfok 62-65% [Nagy 2013]. A keletkező gáz nagy részét a reaktor fűtésére használják. A korom eredeti formájában nehezen szállítható, ezért lenne fontos a szállítás gazdaságosabbá tétele, az energetikai hasznosítás előtt. Az egyik lehetőség a fabriketthez adagolás, erre nézve vizsgálatok folynak 2013 óta [Kovács 2013]. A pirolízis eljárástól függően eltérő mennyiségű kokszt, olaj és gáz keletkezik, melyet a következő táblázat szemléltet.

1. táblázat: Szilárd és gáztisztítási maradékanyag technológiáinként(tonna/100ezer tonna) [MTA 2016, Nagy 2013]

	Lurgi	Compact Power (előkezelés nélkül)	Compact Power (előkezeléssel)	Brightstar	Waste Gen	Foster Wheeler	Thermoselect	Energos
Technológia	égetés	pirolízis	pirolízis	pirolízis	pirolízis	gázosítás	pirolízis-elgázosítás	gázosítás
Salak/kocszt	21353	19598	13065	23400	27090	30351	23390	34526
Gáztisztítási maradékanyag	2265	945	630	500	2257	-	3583	3823
Összesen	23618	20543	13695	23900	29347	30351	26973	38349

Látható tehát, hogy a képződő kocszt/korom mennyisége jelentős, általában 20-30%, de gumbontáznál még ennél is magasabb értékek jelenhetnek meg, sőt akár mennyiségét tekintve a korom (35-40%) több lehet, mint a pirolízis olaj (30-35 %) [MTA 2016]. A korom hasznosítása tehát kiemelten fontos kérdés, meghatározhatja egy technológia nyereségességét, illetve jelentősen befolyásolja az energia-mérleget. Az újabb technológiák nanotechnológiai folyamatokkal alakítják át a kormot. A jövőben várhatóan egyre nagyobb szerephez jut majd a korom újrahasznosítása. Azonban napjainkban az energetikai hasznosítás kiemelten fontos kérdés.

Az MTA környezeti hatástanulmányában vizsgálta a Homatech W. Magyarországra tervezett, évi 30 ezer tonna gumiabroncsot hasznosító technológiáját. Az üzem termékei a pirolízis gáz (4-6,5 m/m%), a gáz kénmentesítésekor kapott elemi kén (~0,2 m/m%), a pirolízis olaj (20-30 m/m%), a pirolíziskocszt, lényegében korom (35-45 m/m%), valamint acéldrót (10-12 m/m%). A koromban estelegesen jelen levő mutagén, karcinogén komponensei kis gőznyomásuk miatt nem jelennek meg a levegőben mérhető mennyiségben, a szennyvízbe kerülő szerves anyagok sem jelentenek közvetlen kockázatot. Az egészségre potenciálisan veszélyt a káros anyagokat hordozó nano- és mikroméretű koromszemcsék belégzése jelentheti.

A kokszt égetésére sikeres erőművi kísérletek történtek. Kéntartalma az ásványi szén kéntartal-mához hasonló. A széntüzelésű égetőmű füstgázkezelése számára nem jelent többletterhelést a gumieredetű pirolíziskokszt égetése. A PAH vegyületek a szénnel együtt elégethetők. [MTA 2016].

Vizsgálati anyag és módszer

Az alapanyagul szolgáló fenyő forgács nedvesség tartalma 12-13%-os volt. Kalapácsos darálóval állítottuk elő a pelletáláshoz szükséges frakcióméretet. Ezután különböző arányban kever-tük a fenyő alapú faanyaghoz a pirolízis kormot. A korom frakcióját tekintve mikro és nano részecskékből áll. A keverék pelleteket Kahl típusú síkmatricás présrel (max. teljesítmény 22 kW, matrica vastagság 28 mm, matrica furat átmérő 6 mm, kapacitás 200-250 kg/h) állítottuk elő. Vizsgáltuk a különböző arányú keverékek hamutartalom, hosszúság és fűtőérték változá-sait.



1. ábra: Pelletáló rendszer és beadagoló

A keverési arány növelésével a pelletek hosszúsága csökkent, viszont a korom magas fűtőértéke miatt a keverék pelletek fűtőértéke is emelkedett [Papp 2018]. Kaloriméteres, nedvességtarta-lom és hamutartalom méréseket végeztünk a különböző keverékeken. A hamutartalom és ned-vességtartalom méréseket korábbi cikkünkben ismertettük most a kaloriméteres és pellet hosz-szúság vizsgálatokat mutatjuk be.

Kaloriméteres vizsgálatok

Egy kaloriméter működésének lényege, hogy égés következik be meghatározott körülmények mellett. Ehhez a feltárodénybe egy megmért tüzelőanyag mintát kell elhelyezni, majd meg kell gyújtani és közben a gép méri a kaloriméter hőmérsékletének növekedését.

A minta fajlagos égéstermék mennyisége a következő paraméterekből számolható:

- a tüzelőanyag minta súlya;
- a kaloriméter rendszer hőkapacitása (C-érték);
- a víz hőmérséklet növekedése a mérőcella belső tartályában.

Az alsó fűtőértéket úgy kapjuk, hogy az égéstermékot csökkentjük a tüzelőanyagban lévő és az égés által képződő víz kondenzációs energiájával. Ez a szám, a fűtőérték, ami műszakilag fontosabb mérőszám, hiszen ezt lehet energetikailag kiértékelni.

Pelletek hosszúságmérése

A pelletek esetén fontos követelmény – az EN 14961-2 felhasználásával készült ENplus ajánlás alapján –, hogy 3,15 és 40 mm között legyen azok közepes hosszúsága. A pelletek hosszúságát számos tényező befolyásolhatja. A szemcseméret, a nedvesség, és legfőképp az anyagi összetétel. Fapelletek előállításánál gyakran alkalmaznak kukoricakeményítőt is, ezzel csökkentve a finomhányad részt, valamint segítségével beállítható a megfelelő hosszúság. A vizsgálatokat 80-100 gramm mintában található összes pelleten el kell végezni, egyszerű digitális tolmérő segítségével.

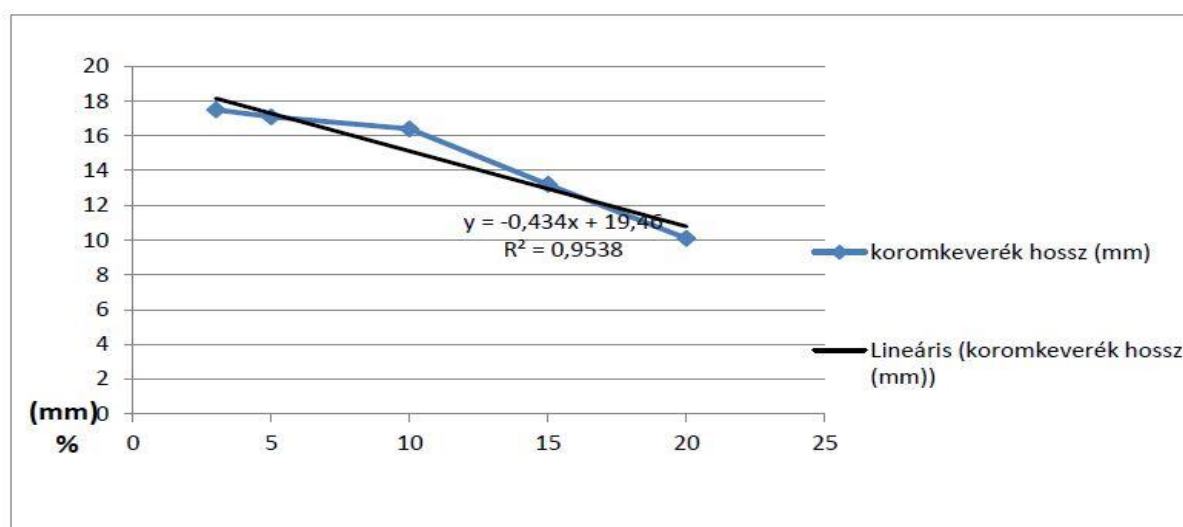
Vizsgálati eredmények értékelése, megvitatása, következtetések

A pirolízis korom bekeverése során, a keverési arány növelésével a pelletek átlagos közepes hosszúsága a tolmérős mérések alapján jelentősen csökkent. A fűtőértéke viszont sokkal magasabb, mint a vizsgált faanyagé.

2. táblázat: Korom-fapor keverék pellet fűtőérték változása

Korom bekeverési arány %	Fűtőérték MJ/kg
3	19,2
5	19,4
10	19,9
15	20,7
20	21,4

Bár a korom a pelletek hosszúságára negatív hatással van, a magas 27-28 MJ/kg-os fűtőérték miatt, a bekeverési arány növelésével, a keverék pelletek fűtőértéke is növekedett. A bekeverési arány növelésével, ahogy várható volt, lineárisan csökken a pelletek átlagos közepes hosszúsága, a regressziós egyenes meredeksége -0,43.



2. ábra: Pirolízis korom és fenyő forgács keverék pelletek hosszúság változása

A pelletálás során nem csak a hosszúság csökkent. Problémák léptek fel 20%-os korom bekeverésnél: az anyag már beleégett a présfuratba. Ezért további kutatások indokoltak az optimális keverési arány meghatározására.

Az eredmények alapján elmondható, hogy a korom tisztán a megszokott módszerekkel, nem pelletálható. Faporhoz keverve, a vizsgálatok alapján maximum 20%-os bekeverési arányt javasolunk, 6 mm-es átmérőnél. További vizsgálatokat lehetne folytatni az átmérő növelésére, mellyel talán nagyobb arányban is keverhető lenne a korom a faporhoz.

A hasznosítás során, a koromban lévő viszonylag magas kéntartalom és esetleges mutagén vegyületek (PAHs, klórszulfonált polietilének, esetleg ppb koncentrációban dioxinok és furánok) lehetnek jelen. Ezért kiemelten fontos, hogy a hasznosítás csak a megfelelő tisztító és szűrő berendezéssel ellátott tüzelőberendezésekben valósuljon meg.

A korom-fa keverék pelletek hosszúság csökkenése is nagyban befolyásolja a pellet tüzelőkben történő égetést, hiszen ha kisebb méretű pelletek kerülnek a tüztérbe – és a finomhányad is megnövekszik – módosíthatják a füstgázösszetételt, és a távozó szilárd anyagok mennyiségét is.

Környezetegészségügyi szempontból a PM₁₀ szálló por frakciók lehetnek különösen veszélyesek. Mivel a pirolízis koromban mutagén vegyületek is jelen lehetnek, illetve a bekeverés során jelentősen csökkent a pelletek hosszúsága is, a hasznosítás során, megfelelő szűrő berendezések nélkül ezen anyagok kikerülhetnek a környezetbe. Ezen okok miatt a jövőbeni energetikai hasznosítás ipari létesítményekben lenne csak megvalósítható.

Köszönetnyilvánítás: A tanulmány/kutatómunka a „Fenntartható Nyersanyag-gazdálkodási Tematikus Hálózat – RING 2017” című, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 jelű projekt részeként a Szechenyi2020 program keretében az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- COUNCIL DIRECTIVE (1999): 99/31/EC- European Union directive - Waste management, 15.p.
- FARKAS H. (2015): Gumiabroncs hulladék újrahasznosítása, Waste tire utilization,- Évente ötvenezer tonna gumiabroncs hulladék keletkezik, Hulladékgyazdálkodás, 23 p.
- KOVÁCS O. (2013): Pirolízis korom brikettálása, Carbon black briquette <https://www.slideshare.net/ecogumm/pirolzis-12652833>
- MARTÍNEZ, J. D. - PUY, N. - MURILLOA, P. - GARCÍA, T. - NAVARRO, A. - MASTRALA, M. (2013): Waste tyre pyrolysis– A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 23, 179-213.
- MTA ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT (2016) - Scientific Opinion of the Institute of Materials and Environmental Chemistry of the Hungarian Academy of Sciences, Institute of Natural Sciences on the environmental adequacy of HOMATECH-W (TM) technology
- NAGY B. (2013): Újrahasznosítási ismeretek, Gumiabroncs. Digitális tankönyvtár Elérhető:https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-0019_Ujrahasznositasi_ismerek/ch08s03.html
- PAPP V. (2018): Energetikai pelletek előállításának és hasznosításának ökoenergetikai vonatkozásai - Doktori értekezés, Soproni Egyetem, 2018.

TALAJSTABILIZÁCIÓK SZEREPE AZ ERDÉSZETI ÚTÉPÍTÉSBEN

PÉTERFALVI JÓZSEF, PRIMUSZ PÉTER

Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Geomatikai, Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Intézet
peterfalvi.jozsef@uni-sopron.hu

Bevezetés

Különböző talajstabilizációkat már régóta alkalmaznak erdészeti útépítésben. Felhasználásuk a forgalmi igénybevétel nagyságától függően kettős. Egyrészt a feltáróutak pályaszerkezetének alaprétegében, másrészt a kis forgalmú általában pályaszerkezet nélküli kiszállítóutak javítására alkalmazhatjuk. Mechanikai stabilizáció készíthető a kedvező szemeloszlású, kötött frakciót viszonylag magas arányban tartalmazó helyi kavicsos talajokból, amelyre alkalmas talaj előfordulása csak szűk területre koncentrálódik (pl.: cseri talajok az ország nyugati részén). Jóval nagyobb jelentőséggel bírnak a kötőanyag bekeverésével készülő talajstabilizációk, amelyek előnye, hogy a helyi talajt használjuk fel, ezért a helyszínre szállítandó anyagok mennyisége jelentősen lecsökken. Ezzel együtt a hagyományos építési módokkal szemben az építési költségek is lényegesen kisebbek lehetnek (Péterfalvi et al. 2015, Szendefy 2009).

A talajok stabilizálása során a kötőanyaggal összekevert és tömörített réteg vízfelvétele csökken, aminek hatására a stabilizált talajréteg teherbírása vízre kevésbé lesz érzékeny. Ennek köszönhetően a nagyobb teherbírású stabilizált réteg időjárási viszonyoktól függetlenül, tartós alátámasztást tud biztosítani a burkolati rétegeknek. Különböző talajtípusokhoz eltérő kötőanyagfajtát szükséges alkalmazni a műszakilag megfelelő és optimálisan előállítható talajstabilizációkhoz. Kötött talajok, mint az agyagok és az iszapok esetében az égetett mészkötőanyag alkalmazásával érhetjük el a legkedvezőbb változásokat, míg homok talajok esetében a cement bizonyul optimálisnak. A szemcsés és a kötött talajok között elhelyezkedő, úgynevezett átmeneti talajok esetében a cement és az égetett mészkötőanyag keverékéből készített hidraulikus útépítési kötőanyagok (Hydraulic Road Binders) alkalmazása javasolt a szakirodalom (Szendefy 2009) szerint.

Korábban 1960-1970 között, mintegy 53 km erdészeti út épült meszes talajstabilizáció alkalmazásával Somogy, Zala és Vas megyékben. Az ezt követő időszak közgazdasági és műszaki viszonyai nem kedveztek a talajstabilizációk további elterjedésének. Ennek eredménye lett a talajstabilizációkkal folytatott kutatások visszaszorulása is. Napjainkban azonban a szigorodó közgazdasági helyzet, a környezetvédelmi igények, a korszerű talajmarók és kötőanyag adagolók együttesen ismét ráirányították a figyelmet a talajstabilizációk korábbinál szélesebb körű felhasználására. A nagy teljesítményű talajmarók agyag talajok esetén is tudják biztosítani a 40 cm-es stabilizációs rétegvastagság előállítását.

Az erdő egyes részeinek megközelítését lehetővé tevő feltáróhálózat legkisebb forgalmat lebonyolító épített közlekedési pályái a kiszállítóutak, amelyek zömében pályaszerkezet nélküli földutak, vagy kis teherbírású szakaszain javító réteggel ellátott javított földutak. Az erdőgazdálkodás szállítási feladatai, igazodva a fakitermelési lehetőségekhez, zömében csapadékban gazdagabb időszakokra esnek, amikor a földutak teherbírása, így járhatósága is a legkisebb. Az ütemezett anyagmozgatási feladatok azonban ma már megkívánják, hogy ezek a földutak gazdaságos javítási technológiákkal ebben az időszakban is forgalmazhatók legyenek. A jelenleg alkalmazott javítási eljárások zömében nagy mennyiségű kőanyag beépítését kívánják meg, amelyek a beépítés helyszínéhez közel eső kőbányák esetén is jelentős költséget jelentenek.

Fentiek ismeretében fogalmazódott meg az EGERERDŐ Erdészeti Zrt. vezetésében az a gondolat, hogy megbízza a Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kara, Geomatikai, Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Intézetének Erdőfeltárási Tanszékét a kezelésében lévő erdőterület kis teherbírású földútjai gazdaságos javítási technológiájának kidolgozásával. Az Erdőgazdasággal közösen megfogalmazott „Útépítési technológiák alkalmazhatósági és hatékonysági összehasonlító

vizsgálata” című FSA alprojekt célja olyan földút javítási és karbantartási technológiák vizsgálata, amelyek költséghatékonyak, ugyanakkor részben vagy teljes mértékben időjárástól függetlenül biztosítják a forgalmazhatóságot. A nagy mennyiségű zúzottkő kiváltására talajstabilizációs alapréteg javasolható, amelynek alkalmazása melletti döntést a földművek felső rétegének kötőanyaggal történő stabilizálása területén végzett kutatások és megépített erdészeti utak pozitív tapasztalatai segítették.

A kötőanyaggal készülő talajstabilizációs kutatásaink célja kettős. Egyrészt a talajtól, a kötőanyagtól, a rétegvastagságtól, a beépítési körülményektől, a beépítéstől eltelt időtől, az időjárási körülményektől és a lebonyolódott forgalom nagyságától függő teherbírás-változás vizsgálata, másrészt a stabilizált réteg rugalmassági modulusának meghatározása, amelyre a mechanikai alapú pályaszerkezet-méretezéshez van szükség.

A vizsgálatra kijelölt javított földút talajával elvégzett vizsgálatok alapján a meszes, illetve mész-cement kötőanyagú stabilizációs alapok megépítése esetén kapjuk a legkedvezőbb ár-érték arányt. Mivel ezt a megállapítást laboratóriumi stabilizációs vizsgálatok, egységárelemzések és az eddig szerzett építési tapasztalatok támasztják csak alá, a stabilizációs alappal készülő pályaszerkezetek forgalomállóságának vizsgálatára kísérleti útszakasz épült. Korábbi hasonló kísérleti útszakaszoktól eltérően ebben az esetben a már többször elvégzett javításoknak köszönhetően nagyobb mennyiségű zúzottkő nyomódott a földút talajába, amely egyes szakaszokon jelentősen megnehezítette a talajmaró munkáját. Ugyanakkor lehetőséget kínált arra, hogy a zúzottköves talaj és a különböző kötőanyag keverékkel megépített talajstabilizáció viselkedését, főleg teherbírás változását mérések segítségével nyomon kísérjük.

A földmű teherbírásának mérése a kísérleti pályaszerkezetek építése előtt

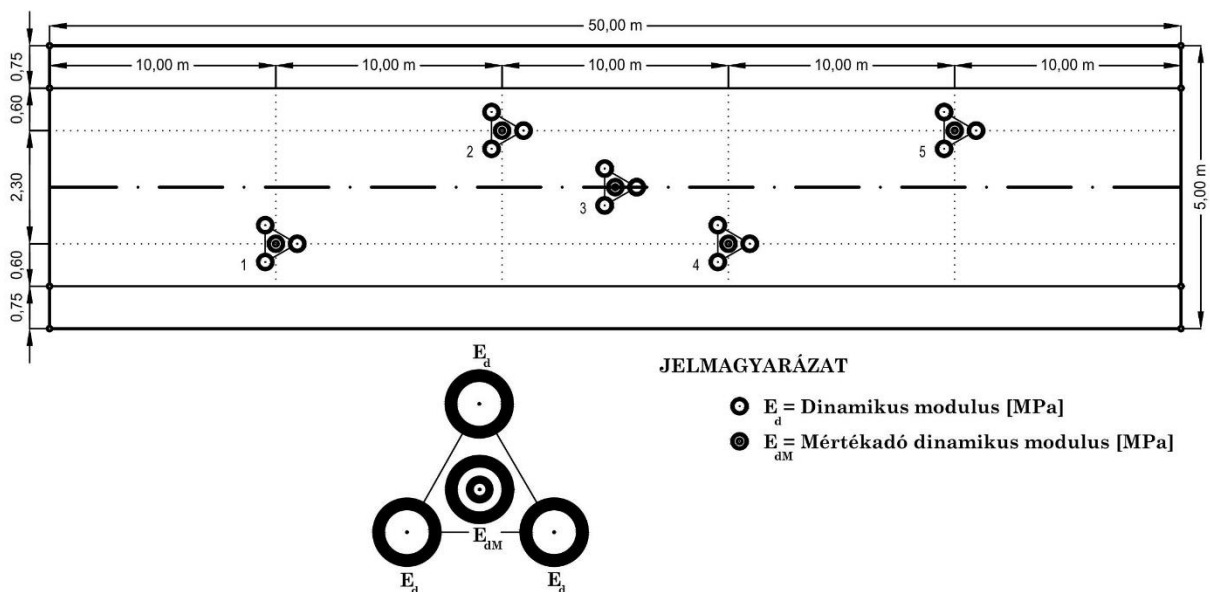
A stabilizációs kísérleti pályaszerkezetek esetében cél volt a földmű teherbírás-változásának meghatározása is, a stabilizálás hatására. Ezért még a földmű stabilizálása előtt meg kellett mérni a földmű teherbírását. A földmű teherbírásának mérését BC-1 (Bearing Capacity & Compaction-rate Tester) típusú könnyűejtősúlyos berendezéssel (1. ábra) végeztük. A dinamikus teherbírás (E_d) vizsgálati eljárás legfeljebb 63 mm legnagyobb szemnagyságú, legfeljebb a tárcsaátmérő mintegy kétszeresének megfelelő vastagságú (30 cm) friss anyagréteg, vagy földműréteg vizsgálatára alkalmas. Ezzel a mérési eljárással meghatározott (E_d) érték nem hozható közvetlen összefüggésbe a tárcsás teherbíróképesség mérés (E_2) értékével. Ennek magyarázata az, hogy míg a statikus (E_2) értékek meghatározásakor a tárcsával terhelt talaj konszolidációs ideje legalább 10^2 szekundum, addig a dinamikus teherbírás vizsgálat (E_d) értékének meghatározásakor ez az érték közelítően 10^{-2} szekundum, amely megfelel egy körülbelül 40-50 km/h sebességgel közlekedő tehergépkocsi terhelési időtartamának. Ebből következően elsősorban az azonos mérési helyen egymást követően végzett mérések hasonlíthatók össze. A földmű teherbírásának mérésére a stabilizációs alappal tervezett szakaszokon volt fontos annak érdekében, hogy a különböző kötőanyaggal és különböző vastagsággal készített talajstabilizációk teherbírást növelő hatását összehasonlítsuk. Az előzetes egyeztetéseknek megfelelően erre az első 4 szakasz lett előirányozva, ezért ezeken a szakaszokon mértünk teherbírást a BC-1 eszközünkkel az előzetesen kijelölt mérési helyeken.

A mérési helyek elhelyezkedése mind a 8 szakaszon azonos. Az egyes szakaszokon 5 db mérési helyet tűztünk ki olyan geometriával, hogy egy vontatott nehézejtősúlyos mérőberendezéssel is a kitűzött pontok sorrendjében lehessen mérni. A BME Út vasút Tanszékével való jó kapcsolatnak köszönhetően ugyanis lehetőség adódott arra, hogy a teherbírás méréseket a Tanszék KUAB típusú nehézejtősúlyos FWD berendezésével is elvégezzük a stabilizált földművön, illetve a kész zúzottkő burkolaton. A mérési pontokat jelölő karókat jobb oldalon a padkán, bal

oldalán a bevágási rézsűbe ütöttük le. A karókra ráírtuk a mérési helyek sorszámát szakaszszám/mérésszám formában (pl. 1. szakaszon: 1/1, 1/2, 1/3, 1/4, 1/5). A mérési helyek és mérési pontok elhelyezkedését a 2. ábra sematikus rajza mutatja be.



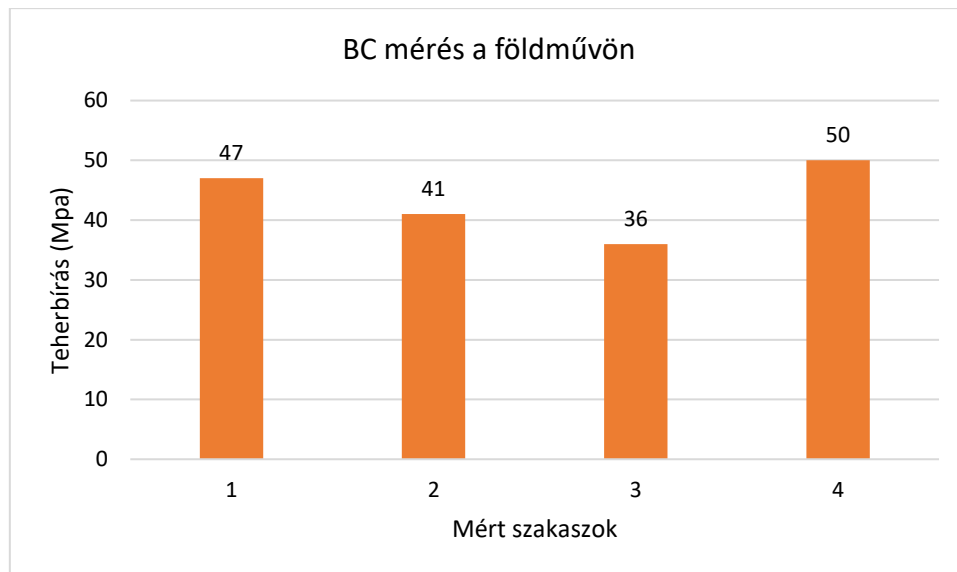
1. ábra. BC-1 típusú könnyűejtősúlyos berendezés



2. ábra. A teherbírás vizsgálatok mérési helyeinek és pontjainak sematikus ábrája

Minden mérési helyen három ejtéssel előterhelést végeztünk, majd három mérőejtést hajtottunk végre. Az egyes mérési pontok mértékadó értékét (E_{dM}) a három mérési sorozat segítségével (háromszög kötésben) átlagolással határoztuk meg. Ez kísérleti szakaszonként $5 \times 3 = 15$ db mérést jelentett.

Az első 4 szakaszon végzett mérések alapján megállapítható volt, hogy a mért (E_{dM}) értékek éppen megfelelnek a pályaszerkezet ráépítéséhez szükséges teherbírásnak. Az egyes szakaszok 5 db mérésének átlagait a 3. ábra szemlélteti.



3. ábra. A földművön végzett dinamikus teherbírásmérések szakaszonkénti átlagai

A megépített pályaszerkezet-variációk

A Megbízó képviselőjével egyeztetve a nyolc 50 m hosszú kísérleti útszakaszra 5 stabilizációs és három tisztán zúzottkő pályaszerkezet lett előirányozva.

A Kivitelezővel történt helyszíni egyeztetés során, a kísérleti szakasz első ötven méterén, az előzetes tervtől eltérően, a 40 cm vastagságú 3%-os mészsadalós stabilizációs rétegre, 13 cm tömör vastagságú, folyamatos szemeloszlású zúzottkő burkolati réteg épült. A többi négy stabilizációs típus az előzetes terveknek megfelelően épült annyi eltéréssel, hogy a folyamatos szemeloszlású zúzottkő burkolati réteg, az előzetesen tervezett 10 illetve 15 cm helyett, egységesen 13 cm tömör vastagságban épült meg. A kivitelezés során a földmű felső 30-40 cm vastag rétegének nagy teljesítményű önjáró talajmaróval történő fellazításával egyidőben, az előzetesen a földműre terített kötőanyag bekeverése is megtörtént. Az előtömörítés, profilba hozás és simító hengerlést követően kialakult stabilizált földműre, egységesen 13 cm tömör vastagságú folyamatos szemeloszlású zúzottkő burkolati réteg került. A megépített stabilizációs pályaszerkezetek rétegrendje az alábbi lett (1. táblázat).

A három tisztán zúzottkő pályaszerkezet-típus a Kivitelező javaslatára az előzetes tervtől eltérő rétegrenddel épült meg. A 6., 7. és 8. szakaszokon megépített pályaszerkezetek rétegrendje az alábbi (2. táblázat).

A 8. szakaszon a Kivitelező elképzelése szerint egy keréknyomban erősített különleges pályaszerkezet épült. Ennek a variációnak kellett volna a legnagyobb teherbírást mutatnia a keréknyomban, de ez nem teljesülhetett mivel a két 0,80 m széles és 40 cm vastag erősített sáv túl közel került egymáshoz.

Teherbírásmérések a stabilizált földmű és a zúzottkő burkolat felületén

A kísérleti útszakasz utolsó három szakaszára tervezett zúzottkő pályaszerkezetek megépítését követően, a stabilizációs pályaszerkezetű szakaszok talajstabilizációs készültek el. A stabilizált földműből fúrással vett talajminták konzisztenciájából és színéből következtetni lehetett a stabilizáció vastagságára. A 10-15 cm, illetve 30-40 cm mélységből vett minták víztartalmai a stabilizáció előtti 28%-ról, a felszínhez közelebb 15-17%-ra, mélyebben 18-22%-ra csökkent. A víztartalom csökkenését az örölt égetett mésztöltés, illetve a kötőanyag bekeverésekor a talaj átszellőztetése okozta.

1. táblázat. A megépített stabilizációs pályaszerkezetek rétegrendje az 1-5 szakaszon

1. szakasz			
Réteg neve	Vastagság [cm]	Egyenérték tényező (e_i)	Egyenérték-vastagság (ecm) (H_e)
Folyamatos szemeloszlású zúzottkő burkolat (Z 0/32)	13	1,0	13,0
Mészstabilizáció (3%-os mészadagolással)	40	0,5	20,0
Összesen:	53		33,0
2. szakasz			
Réteg neve	Vastagság [cm]	Egyenérték tényező (e_i)	Egyenérték-vastagság (ecm) (H_e)
Folyamatos szemeloszlású zúzottkő burkolat (Z 0/32)	13	1,0	13,0
Stabilizáció mész-cement keverékkel (6%-os mész-cement adagolással)	40	0,5	20,0
Összesen:	53		33,0
3. szakasz			
Réteg neve	Vastagság [cm]	Egyenérték tényező (e_i)	Egyenérték-vastagság (ecm) (H_e)
Folyamatos szemeloszlású zúzottkő burkolat (Z 0/32)	13	1,0	13,0
Stabilizáció mész-cement keverékkel (6%-os mész-cement adagolással)	30	0,5	15,0
Összesen:	43		28,0
4. szakasz			
Réteg neve	Vastagság [cm]	Egyenérték tényező (e_i)	Egyenérték-vastagság (ecm) (H_e)
Folyamatos szemeloszlású zúzottkő burkolat (Z 0/32)	13	1,0	13,0
Mészstabilizáció (6%-os mészadagolással)	40	0,5	20,0
Összesen:	53		33,0
5. szakasz			
Réteg neve	Vastagság [cm]	Egyenérték tényező (e_i)	Egyenérték-vastagság (ecm) (H_e)
Folyamatos szemeloszlású zúzottkő burkolat (Z 0/32)	13	1,0	13,0
Mészstabilizáció (6%-os mészadagolással)	30	0,5	20,0
Összesen:	43		28,0

2. táblázat. A megépített tisztán zúzottkő pályaszerkezetek rétegrendje az 6-8 szakaszon

6. szakasz			
Réteg neve	Vastagság [cm]	Egyenérték tényező (e_i)	Egyenérték-vastagság (ecm) (H_e)
Folyamatos szemeloszlású zúzottkő burkolat (Z 0/32)	13	1,0	13,0
Zúzottkő alap (Z 70/110) geotextília+georács	40	0,7	28,0
Összesen:	53		41,0
7. szakasz			
Réteg neve	Vastagság [cm]	Egyenérték tényező (e_i)	Egyenérték-vastagság (ecm) (H_e)
Folyamatos szemeloszlású zúzottkő burkolat (Z 0/32)	13	1,0	13,0
Zúzottkő alap (Z 70/110)	40	0,7	28,0
Homokos kavics javító és elválasztó réteg	10	-	-
Összesen:	63		41,0
8. szakasz			
Réteg neve	Vastagság [cm]	Egyenérték tényező (e_i)	Egyenérték-vastagság (ecm) (H_e)
Folyamatos szemeloszlású zúzottkő burkolat (Z 0/32)	13	1,0	13,0
Zúzottkő alap (Z 70/110) geotextília	25	0,7	17,5
Keréknyomok alatti sávokon a tengelytől 0,45-0,45 m távolságban 0,80-0,80 m szélességben:	-	-	-
georács, 40 cm zúzottkő (Z 70/110)	-	-	-
Összesen:	38		30,5

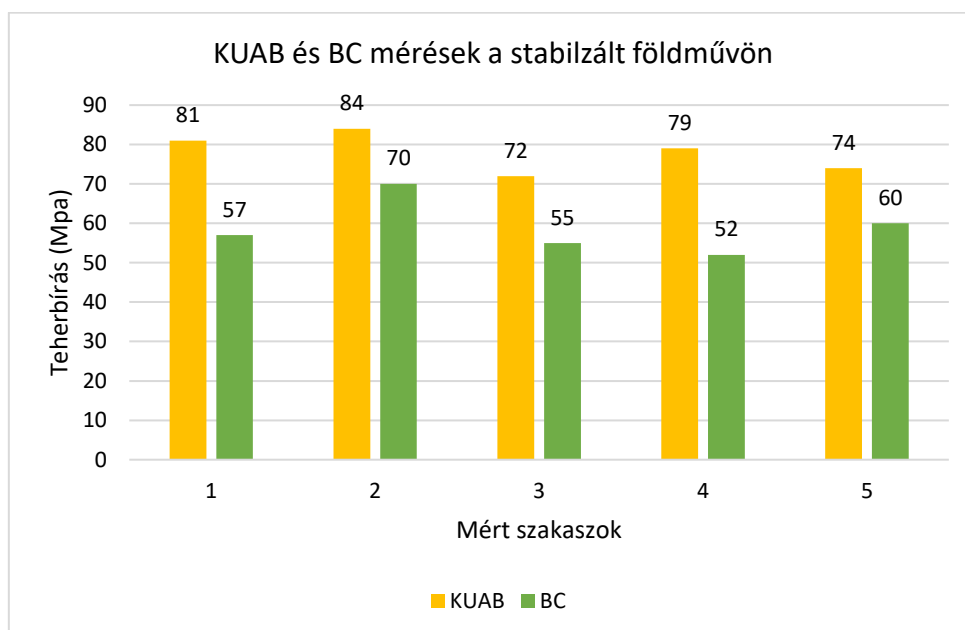
A stabilizált földmű teherbírását az építést követő három nap elteltével mértük. A stabilizált földművön a méréseket BC-1 típusú könnyűejtősúlyos és KUAB típusú nehézejtősúlyos berendezéssel végeztük ugyan azon a napon közvetlenül egymást követően. Az elkészült zúzottkő pályaszerkezetek teherbírását csak a KUAB típusú FWD (Falling Weight Deflectometer) berendezéssel mértük, mivel ezzel a berendezéssel a nagyobb a hatásmélység miatt megbízhatóbb mérés végezhető.

A KUAB típusú FWD berendezésnél az adott súlyú teher, megfelelően beállított magasságból való ejtésével létrehozott terhelés, $r=15$ cm sugarú körtárcsán kerül átadásra a mérendő felületre. A tárcsa szegmentált, négy egyenlő részre osztva biztosítja a burkolat aktuális deformációi melletti lehető legjobb felfekvést. A terhelés közben a behajlást mikrométer pontosságú geofonok mérik, a terhelő tárcsa alatt, illetve attól 200, 300, 450, 600, 900, 1200 mm-re, a jármű tengelye mentén, ezzel előállítva az ún. behajlási teknőt. A mérés során mérési helyenként 2 ejtés szokásos, amelyek közül az első ejtés egy kondicionáló ejtés. A számításokhoz a második ejtés során nyert adatok kerülnek felhasználásra. A berendezés mindkét ejtést rögzíti. A berendezést mérés közben a 4. ábra mutatja be.

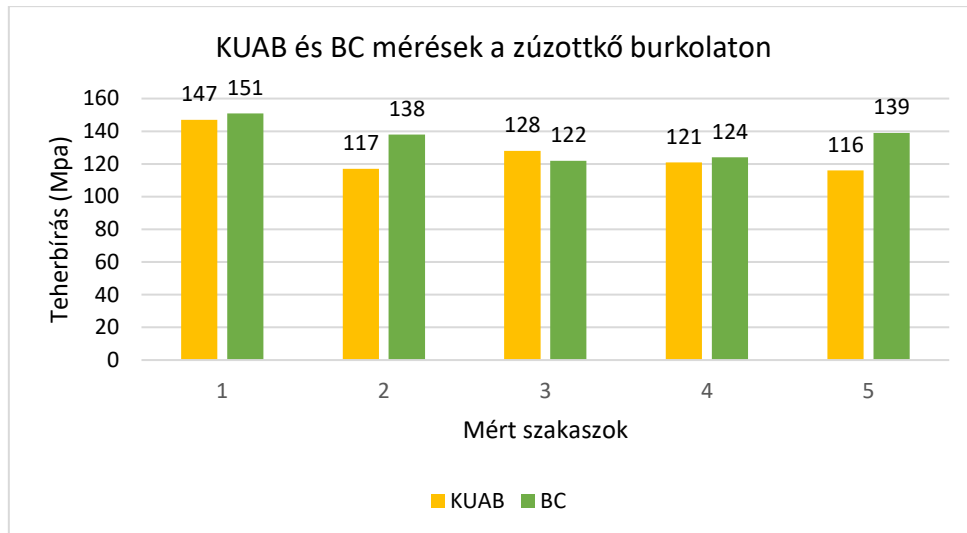


4. ábra. KUAB típusú FWD berendezés a stabilizált földművön történő mérés közben

A stabilizációs pályaszerkezeteken szakaszonként elvégzett 5-5 mérés átlagait az 5. és 6. ábra diagrammjai mutatják be.



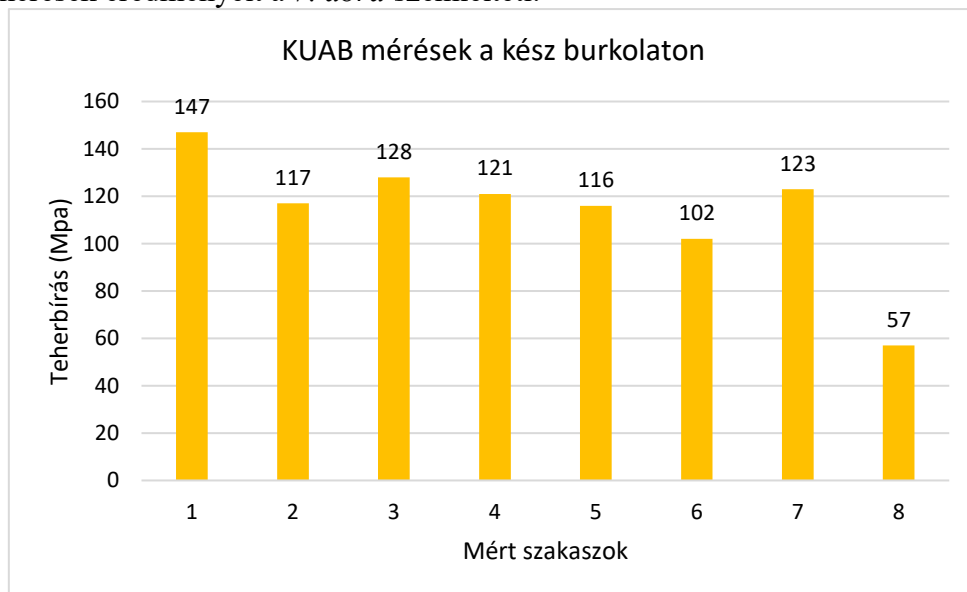
5. ábra. KUAB és BC-1 berendezéssel mért értékek a stabilizált földművön



6. ábra. KUAB és BC-1 mérések eredményei a stabilizált földműre épített zúzottkő burkolaton

A két berendezés mérési eredményeinek összehasonlításából jól látszik, hogy a stabilizált földművön a KUAB típusú FWD berendezés kiegyenlítettebb eredményeket szolgáltatott, mint a BC-1 eszköz.

A kísérleti útszakasz mindegyik pályaszerkezet-típusán, a KUAB típusú FWD berendezéssel végzett mérések eredményeit a 7. ábra szemlélteti.



7. ábra. A megépített kísérleti pályaszerkezetek teherbírása a KUAB berendezéssel mérve

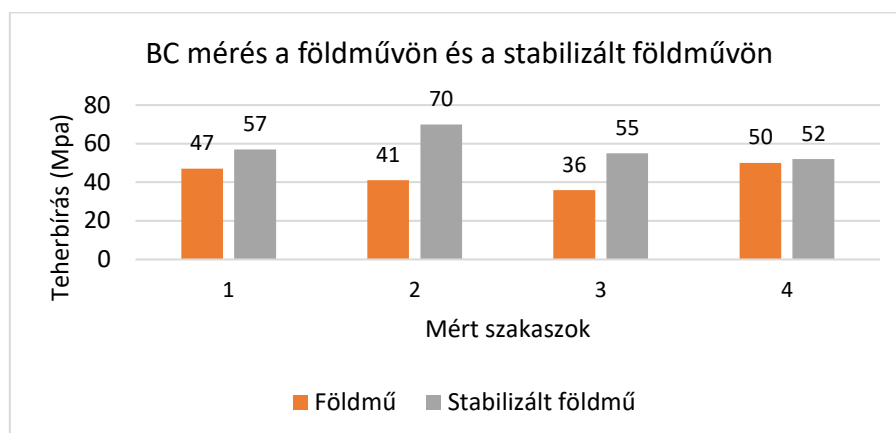
A tapasztalatok és a mérési eredmények értékelése

A kísérleti útszakasz építésével és az elvégzett mérésekkel kapcsolatos megállapításaink az alábbiakban foglaljuk össze.

Az építés során alkalmazott gépekkel és technológiákkal jó minőségben elkészültek a kísérleti pályaszerkezetek.

A zúzottkővel javított földutak esetén, a stabilizációs útalap építésénél, a földmű stabilizálandó rétegvastagságban történő felmarásához és a kötőanyag bekeveréséhez a nagy teljesítményű önjáró talajmaró javasolható.

A földmű felső 30-40 cm vastag rétegének kötőanyaggal történő stabilizálása, a kötőanyag és annak bekeverése hatására, a csökkenő víztartalom következtében, kedvezőbb tömöríthetőségi viszoyokat teremt. A nagyobb tömörség pedig nagyobb teherbírást eredményez (8. ábra).



8. ábra. BC-1 eszközzel mért teherbírás értékek a földművön és a stabilizált földművön

A 8. ábrán a stabilizált földművön mért magasabb teherbírás értékek a nagyobb tömörségen kívül a kötőanyagnak is köszönhetők. A legnagyobb teherbírás növekedés a 6%-os mész-cement kötőanyaggal készült 2. szakasz 40 cm vastag stabilizált földművén volt tapasztalható.

A kötőanyag mennyiségének és a stabilizált réteg vastagságának az építés után három nappal kisebb a hatása a teherbírás növelésére, mint a tömörségnek.

A stabilizáció építése után 10 nappal a stabilizált földműre épített 13 cm vastag 0/32 folyamatos szemeloszlású zúzottkő réteg felszínén mért teherbírás értékek szintén az előbbi megállapítást támasztják alá.

A kísérleti útszakasz mindegyik pályaszerkezet-variációján, a KUAB típusú FWD berendezéssel végzett teherbírás mérések alapján megállapítható, hogy az 53-63 cm vastag geotextília+georács és zúzottkő, illetve homokos kavics és zúzottkő felhasználásával készült pályaszerkezetek (6., 7. szakasz) teherbírása nem nagyobb, mint a stabilizációs alappal rendelkező pályaszerkezeteké (1-5. szakaszok).

A 8. szakasz lényegesen kisebb teherbírása, részben a két erősített sáv egymástól mért nem megfelelő távolságának, részben a nagyobb mélységben lévő talajréteg nagyobb víztartalma miatti kisebb teherbírásának köszönhető.

A megépített kísérleti útszakaszon végzett teherbírás mérések, a korábbi tapasztalatoknak megfelelően, egyértelműen bizonyították, hogy a kötött és átmeneti talajú földutak időjárástól független forgalmazhatósága, különböző kötőanyagok felhasználásával készülő talajstabilizációs alapra kerülő vékony folyamatos szemeloszlású zúzottkő burkolati réteggel biztosítható.

A stabilizált földműre épített 13 cm vastag zúzottkő burkolati rétegen, a BC-1 eszközzel mért mértékadó dinamikus modulus (E_{dM}) értékek, jó egyezést mutatnak a KUAB FWD berendezéssel mért felületi modulus értékekkel, ezért a BC-1 eszköz jól alkalmazható a 30 cm-nél nem vastagabb zúzottkő rétegek teherbírásának meghatározására.

Köszönetnyilvánítás: A kutató munka a "Soproni Egyetem Struktúraváltási Terve" - 32388-2/2017 INT-FIN sz. projekt keretében az Emberi Erőforrások Minisztériuma és az EFOP-3.6.2-16-2017-00018 („Termeljünk együtt a természettel - az agrárerdészet mint új kitorési lehetőség”) pályázat támogatásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- PÉTERFALVI, J., PRIMUSZ, P., MARKÓ G., KISFALUDI B., KOSZTKA M. (2015): Evaluation of the Effect of Lime-Stabilized Subgrade on the Performance of an Experimental Road Pavement. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 36:(2) pp. 269-282.
- SZENDEFY J. (2009): A hazai talajok szerkezetének és teherbírásának változása meszes talajstabilizáció hatására, PhD dolgozat Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőmérnöki Kar.

SZÁNTÓFÖLDI NÖVÉNYTERMESZTÉS KÖRNYEZETI HATÁSAI

POLGÁR ANDRÁS, JAGODICS NÓRA, HORVÁTH ADRIENN, ELEKNÉ FODOR VERONIKA
Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Környezet- és Földtudományi Intézet
polgar.andras@uni-sopron.hu

Bevezetés

A mezőgazdasági tevékenység az egyik legfontosabb és legősibb folyamat az emberiség történelme során, mivel nélkülözhetetlen a fennmaradásunkhoz (DOMOKOS et al. 2012). Az egyre növekvő társadalomban azonban komoly kihívást jelent a népesség ellátása olyan módon, hogy ne zsigereljük ki a rendelkezésre álló természeti adottságokat. A jelent és a jövőt tekintve az egyik legnagyobb feladat, hogy a mezőgazdasági műveletek fenntartható körülmények között menjenek végbe, hogy a jövő nemzedékei is ki tudják elégíteni ezen igényeiket (MATTSON et al. 2000).

Magyarország területének mintegy felén, kb. 4,5 millió hektáron folyik szántóföldi növénytermesztés. A tartós versenyképesség egyik alappillére a mezőgazdaságban a környezeti egyensúly fenntartása, a klímaváltozásból adódó anomáliák okozta károk csökkentése (NAGY 2019). A szántóföldi növénytermesztés hozamaira – részben időjárás, részben talajminőség, részben technológiai okok, valamint az alacsony öntözési kapacitás miatt – hazánkban jellemző az indokoltnál nagyobb ingadozás. A főbb növények hozamai a két-három évtizeddel ezelőtti szint közelében állnak (OTP 2017).

NAGY (2018) szerint a jövő mezőgazdaságát a klímaválság, az élelmiszerek iránti egyre növekvő kereslet, a digitalizáció, a precíziós gazdálkodás, a robotok elterjedése jellemzi majd. 2050-re hetven százalékkal több élelmiszerre lesz szükség a világon, miközben a klímaválság miatt harminc százalékkal kevesebb termőföld és negyven százalékkal kevesebb ivóvíz áll majd rendelkezésre (NAGY 2018). Ezeknek a kihívásoknak csak a tudomány segítségével leszünk képesek megfelelni.

Több szerző felhívja azonban arra a figyelmet, hogy a biomassza szántóföldi előállításának csak akkor lehet létjogosultsága, ha olyan technológiákat alkalmazunk, amelyek környezeti és fenntarthatósági szempontból egyaránt megfelelnek az elvárásoknak. DINYA (2018) a szakmai szempontokat előtérbe helyező, tágabb rendszerbe illeszkedő, hosszú távú és termékpályákban gondolkodó döntéshozatal fontosságát hangsúlyozza a helyi és országos szintű döntések során egyaránt.

A fentiekből következik, hogy a mezőgazdaság területén is rendkívül fontos a fenntartható fejlődés jegyében történő gondolkodás és cselekvés. A mezőgazdasági növénytermesztés során tehát lényeges megvizsgálni, hogy az milyen hatással van a környezeti elemekre, valamint a tájképre (MATTSON et al. 2000). Kutatásunkban a célul tűztük ki a jelentős környezeti tényezők és környezeti hatások átfogó bemutatását.

Anyag és módszer

Tanulmányunkban hazai és nemzetközi tanulmányok és dokumentumok elemzésével mutatjuk be a szántóföldi növénytermesztés során jelentkező potenciális környezeti tényezőket és hatásokat. A környezeti hatások komplex és átfogó értékelésére szolgáló módszerként bemutatjuk a környezeti életciklus-elemzés alkalmazását a témakörben.

Eredmények

A növénytermesztés környezeti hatásainak vizsgálatához először ismernünk kell, hogy a termeléshez milyen erőforrásokra van szükség. Ezek a felhasznált források a termőtalaj (talaj), a nedvesség (víz), a hő, fény, CO₂ (levegő), valamint az élővilág (SZABÓ 1996). Ezeken túl figyelembe kell venni a tájat, amely a mezőgazdasági tevékenység hatására jelentősen megváltozhat. A növények szükségletein kívül a technológiai folyamatokat, a munkagépeket is figyelembe kell vennünk, mint jelentős hatótényezőket.

A környezeti elemek állapotában bekövetkező negatív változások különösen a helytelen művelés és erőforrás-felhasználás következtében lehetnek nagymértékűek, ezért a helyes technológiák és anyaghasználat megválasztása kulcsfontosságú (SZABÓ 1996). Az alábbiakban a mezőgazdasági növénytermesztés fontosabb környezeti hatásait mutatjuk be JAGODICS (2019) nyomán az egyes környezeti elemekre lebontva.

Levegőminőségre gyakorolt hatás

A mezőgazdasági növénytermesztés során a levegőkörnyezet minőségét főként a különböző üvegházhatású gázok, a többlet nitrogén, valamint a porszennyezés befolyásolhatja. A kibocsátott szén-dioxid mennyiség leginkább a mezőgazdasági gépekkel történő munkavégzés eredménye, melyek a CO₂-n kívül a különböző NO_x vegyületek emissziójáért is felelősek.

A levegőbe többlet nitrogén a műtrágyagyártás, illetve felhasználás során juthat. A gyártás tekintetében jelentős a N₂O, valamint a NO_x kibocsátás, a felhasználás során pedig az ammónia és a N₂O-t termelés. Ezen vegyületek közül a dinitrogén-oxid üvegházhatású (ÜHG) gáz, az ammónia és a különböző nitrogén-oxidok pedig savas esőt, savas ülepedést idézhetnek elő. Fontos megemlíteni azonban, hogy a nitrogén vegyületek nem csak a műtrágya használatkor, hanem az állati eredetű trágya és a zöldtrágya alkalmazása során is kerülnek a légkörbe (SZABÓ 2010). Emiatt lényeges, hogy bármiféle trágyázás a növénytermesztés során ésszerű keretek között történjen.

A porszennyezés különösen akkor lehet jelentős, amikor száraz időszakban történik a gépi munkavégzés, illetve amikor a talajok növényvel nem fedettek. Az erős szél fokozhatja a defláció mértékét. A levegőbe kerülő por, valamint a műtrágya és növényvédőszer maradványok jelentős mértékben ronthatják a levegő minőségét (SZABÓ 1996).

Vízminőségre gyakorolt hatás

A felszíni és felszín alatti vizeinket tekintve egyaránt a műtrágya és a növényvédő szerek használata jelenti a legnagyobb problémát a vízminőség romlását illetően. Főként a nitrogén- és foszforműtrágyák alkalmazása okoz gondot a vizek szempontjából. Ezek az anyagok kimosódnak a talajból, átalakulva a felszíni vagy felszín alatti vizekbe jutva azok elszennyeződését okozhatják. A nitrogén alapú műtrágyák a vizeink nitrátosodásáért felelősek. Az ivóvízben a határérték feletti koncentrációban jelenlévő nitrát pedig nitritionná alakulva súlyos egészségügyi problémákat okozhat, főként a csecsemők esetében. Magyarországon a talajvizekben kimutatható nitrát legnagyobb mennyiségben a műtrágyahasználat következtében kerül oda, ezt követi a szerves trágya felhasználásból, a nitrogénülepedésből, majd lakossági tevékenység következtében kibocsátott nitrát. Azonban a műtrágyából a vizekbe kerülő mennyiség meghaladja a többi forrás által összesen kibocsátott nitrát mennyiséget (SZABÓ 1996).

A foszfor alapú műtrágyák elsősorban nem humán-egészségügyi szempontból okoznak problémát, hanem az állóvizekbe kerülve azok eutrofizációját idézi elő, illetve gyorsítja fel (KRISTÓ 2014). Ez a tavak és környezetük élővilága szempontjából igen negatív következményekkel jár.

A tóban lévő oldott oxigén koncentráció folyamatosan csökken a növényzet túlszaporodása miatt, a vízi állatok így nem tudnak tovább életben maradni a kevés oxigén miatt. Végül a tó teljes megszűnése következik be, ami a tóhoz kapcsolódó szárazföldi fajokra is negatív hatással lesz. Ezen szennyezések megelőzhetők a megfelelő körültekintéssel és szakértelemmel alkalmazott műtrágyázással, ahol figyelembe veszik a műtrágyázás irányelveit (DOMOKOS et al. 2012).

A növénytermesztés és a talaj állapota

A növénytermesztés talajra gyakorolt hatásai több szempont alapján is jellemezhetők, ezek a következők: a talaj szerves anyag tartalmának alakulása, a talajerózió, a talaj szerkezete, a tápanyagok egyensúlya, a talaj kémhatása, és a nehézfém szennyezés (MATTSON et al. 2000).

Az intenzív növénytermesztés egyik negatív hatása lehet, hogy a talaj szerves anyag tartalma jelentősen csökken, így a terméshozam előbb-utóbb elmaradna a várt mennyiségtől. Emiatt kezdték alkalmazni a különféle műtrágyákat. Ezek az anyagok azonban nem csak a talajba bevinni kívánt tápanyagot tartalmazzák, hanem különféle adalékanyagokat is, többek között nehézfémeket, például a foszfor műtrágyák esetében kadmiumot, ami egy toxikus jól akkumulálódó anyag (SZABÓ 1996). A kadmiumot a növények savas közegben, savanyú talajon könnyebben képesek felvenni, emiatt Magyarországon körültekintően kell alkalmazni a kadmiumot tartalmazó műtrágyákat, mivel az ország művelés alatt álló talajainak körülbelül fele savanyú kémhatású (URL 1).

A talajok kémhatására is negatív hatással lehetnek a különböző trágyák, ahogy fentebb említettük, a savas esők, és a savas ülepedés kialakulása miatt egyaránt. Ez azt eredményezheti, hogy a különféle növények nem tudják felvenni a nekik szükséges tápanyagokat, míg más káros anyagokat könnyebben felvesznek, amik végül bekerülnek az emberi szervezetbe.

A mezőgazdasági gépek alkalmazása a talajszerkezet romlását okozhatja, a tömörödés pedig fokozza a talajerózió veszélyét. A termőréteg lemosásán túl a különféle növényvédőszer-maradékok is lemosódhatnak, vagy a szél által bekerülhetnek ily módon a vizekbe (SZABÓ 1996).

Tájképre gyakorolt hatás

A növénytermesztés és a tájkép szoros kapcsolatot alkot. A tájban bekövetkező változás nagy hatással van a növénytermesztésre, ahogy a növénytermesztés módjának, méretének és egyéb tényezőinek változása is jelentősen átalakíthatja a tájat. Amennyiben olyan helyen kezdenek bele szántóföldi növénytermesztésbe, ahol az tájidegen, ott jelentősen átalakíthatja a tájat a tevékenység, feltehetően negatív irányba. Fordított esetben viszont, ha egy mezőgazdasági területen felhagynak a növénytermesztéssel és nincs megfelelő rekultiváció, az szintén tájképi romlást idézhet elő, tehát ebben az esetben a felhagyás előtti állapotot tekintve a szántóföldi növények pozitívan hatottak a tájképre (BIRKÁS 2006).

Az adott termőföld használatát mindig annak természeti adottságai határozzák meg. Néhány helyen a mezőgazdasági termelés megszűnik, például tájvédelmi szempontok miatt, máshol azonban épp az adott terület termelési tájjellegét erősíti meg a szántóföldi tevékenység (NYIRI 1993).

Az élővilágra gyakorolt hatás

A mezőgazdaság és a környezet szoros kapcsolatának hatásai a biodiverzitást vizsgálva is megmutatkoznak. A növénytermesztésnek lehetnek pozitív és negatív hatásai is az élővilág szempontjából. Az ökológiai adottságokhoz alkalmazkodó gazdálkodás elősegítheti a biodiverzitás növekedését, a környezet egyensúlyának fenntartását, ám az iparszerű, kizsigerelő gazdálkodás egyértelműen a fajok sokszínűségét csökkenti (ÁNGYÁN - MENYHÉRT 2004).

Az állat- és növényvilágra jelentős hatást gyakorolnak a munkagépekkel végzett folyamatok, valamint a túlzott növényvédőszer- és műtrágyahasználat. A különböző fajok alkalmazkodóké-

pességét a növénytermesztés hatásai közvetlenül vagy közvetve is befolyásolhatják. A közvetlen befolyásolás alatt a különböző – a fajok számára zavaró hatású – technológiai folyamatokat értjük, míg a közvetett hatás a fajok számára elérhető táplálék mennyisége miatt következik be (MCLAUGHLIN - MINEAU 1995).

További jelentős hatás a biodiverzitásra nézve, hogy a növekvő népesség ellátásához egyre több területet kell bevonni mezőgazdasági művelés alá, ami jelentősen csökkenti az állat- és növényfajok életterét. Ez a kedvezőtlen hatás elsőként a nagytestű állatokat érinti. A művelés alá vont területeken a monokultúrák elterjedése a leginkább jellemző, ami a biológia sokféleségre egyértelműen negatív hatással van. A fentiekén túl a túlzott peszticid használat főként a rovarokat érinti negatívan. A növényt károsító rovarokkal együtt a hasznos rovarok pusztulása is jelentős mértékű. Egyes fajok esetleges eltűnése pedig hatással van az adott fajhoz a táplálékláncon keresztül kapcsolódó összes többi fajra is. A talajművelés folyamatát tekintve elmondható, hogy az célzottan a növények fajszerkezetének csökkentésére irányul, nyilvánvalóan egy adott táblában egyféle növény termesztése a cél. A növények változatosságának csökkenésével a növényevők diverzitása is csökkenni fog. A talajművelési munkálatok továbbá a földön fészkelő madarakra nézve is veszélyt jelentenek, mivel megzavarhatják a költési időszakot (ÁNGYÁN - MENYHÉRT 2004).

Végül megemlítendő még az invazív fajok elszaporodásának veszélye, amelyek a vetőmaggal kerülhetnek a talajba és egyre nagyobb területet szennyezhetnek be a talajművelési munkálatok során.

Következtetések

Az életciklus-elemzés (LCA) módszere alkalmazható a mezőgazdasági növénytermesztés környezeti hatásainak becslésére is. Az elemzés során az adott növény termesztésének technológiai lépéseinél az input és output oldali anyagokat és energiákat vizsgálva lehetőség van meghatározni a teljes növénytermesztési folyamat környezeti hatásait. A témában számos külföldi és magyar kutatás készült, ezek közül ismertetünk néhányat az alábbiakban.

SCHMIDT (2008) tanulmányában az életciklus-elemzés rendszerhatárait vizsgálja. A mezőgazdasági témában készült LCA kutatások általában mind helyi jellegűek, csak az adott vizsgálati területen elemzik a környezeti hatásokat, a vizsgált folyamat távolabbra kiterjedő hatásait már nem vizsgálják. Az ő kutatása Dániában adott területen lévő búzatermesztési folyamatra terjed ki, amely hatásait következményes életciklus-elemzéssel vizsgálja, tehát nemcsak a növénytermesztés folyamatait, hanem az általa okozott egyéb folyamatokat is elemzi. A cikkben arra is rávilágít, hogy az egyes műveleteknél mennyire fontos a rendelkezésre álló mezőgazdasági módszerek közül a legideálisabbat választani, mivel a különböző technológiák között igen nagy lehet az eltérés a környezetre gyakorolt hatások szempontjából.

BRENTROP et al. (2000), valamint PETERS et al. (2003) olyan módszereket kutattak, amelyekkel a mezőgazdasági életciklus-elemzés módszere specifikusabbá válhat. Az előbbi tanulmányban a növénytermesztés során a környezetbe kerülő nitrogén mennyiségének pontosabb meghatározására dolgoztak ki vizsgálati módszert, mivel úgy vélik, hogy a hagyományos szántóföldi életciklus-elemzés használata során a nitrogén emisszióra kevésbé térnek ki a tanulmányok. A második említett kutatásban pedig olyan eljárást igyekeztek kialakítani, amivel a vizsgálatok univerzálisabbá válhatnak. Úgy vélik, hogy az LCA módszer alkalmazásának a földhasználat során egyik nagy gyengesége, hogy a tanulmányt készítőket tetszőleges hatás indikátorokra vizsgálva adják meg az eredményeket. Ezért meghatároztak 17 univerzális indikátort, majd indikátor pontszámokat, amelyek alapján a vizsgálatok eredménye valóságosan tükrözi a környezeti hatásokat. Ez a módszer valamennyi éghajlati övben alkalmazhatónak bizonyult.

MATTSSON et al. (2000) tanulmányukban három növény környezeti hatásait vizsgálták, a világ különböző pontjain. Brazíliában a szójabab, Svédországban a repce, Malajziában pedig az olajpálma termesztés életciklus-elemzését készítették el. 7 indikátorra gyakorolt hatás alapján mutatták be eredményeiket, melyek alapján kiderül, hogy a növényi olajokat tekintve a szójaolajnak sokkal nagyobbak a negatív környezeti hatásai, mint a repceolajnak. Az olajpálma esetében a tanulmány kevésbé részletezi a kapott eredményeket, de azt egyértelműsíti, hogy az ültetvények egyre több területet foglalnak el, ami sokszor az esőerdők pusztításával jár.

A hazai kutatások közül megemlítendő POLGÁR et al. (2014) és POLGÁR et al. (2019) tanulmánya, melyben különböző szántóföldi növénytermesztési technológiák életciklus-elemzését készítették el. Az általuk vizsgált növénytermesztési technológiák: kukorica (elővetemény: őszi búza), őszi búza 1. (elővetemény: káposztarepce) és az őszi búza 2. (elővetemény: kukorica). A karbonlábnyom alapján történő elemzésükkel a következő eredményeket kapták, növekvő sorrendben: őszi búza 2. (elővetemény: kukorica) – őszi búza 1. (elővetemény: káposztarepce) – kukorica (elővetemény: őszi búza). Ezen kívül a növénytermesztési technológiákat besorolták környezeti kockázatuk szerinti osztályokba.

A fenti kutatások alapján is látható, hogy a szántóföldi növénytermesztés technológiáinak életciklus-szemléletű vizsgálata igen hasznos eredményeket szolgáltat a környezet és a gazdaság szempontjából is.

Összefoglalás, kitekintés

A környezeti hatások elemzésére az életciklus-elemzés (LCA) lehet alkalmas, amely valamennyi biomassza-előállítás és -felhasználás módszerre vonatkozóan pontos becslést ad a károsanyag-kibocsátásra, valamint az energiamérlegre vonatkozóan (HELLER et al. 2003). HAYASHI et al. (2007) a mezőgazdasági termelési rendszer sematikus folyamatait vizsgálták életciklus szemléletben, amely során kiemelték, hogy az elsődleges folyamatok mellett a háttér-folyamatok környezeti hatásai is számba veendőek.

Mivel az egyik legnagyobb üzemanyag felhasználással járó művelet a vizsgált technológiák esetében a talaj mélyszántása, ezért az említett műveleti lépés alternatív megoldásokkal való helyettesítése kulcsfontosságú. A 'no-till' technológiát az USA-ban már több évtizede alkalmazzák országszerte. Lényege, hogy a növénytermesztés folyamata a talaj szántása nélkül zajlik, így a felső talajrétegben felhalmozódó humuszréteg jobb terméshozamot eredményez, és jelentősen csökkenti a talajművelésből származó környezeti hatásokat. A talaj fizikai bolygatását igyekeznek elkerülni a módszer alkalmazása során, így a területen a gyomok eltüntetésére leginkább takarónövények telepítésével történik, illetve néhány szélsőséges esetben gyomirtószereket alkalmaznak. A technológia során azonban igyekeznek minimalizálni a vegyszerek használatát is. A takarónövényeket a vetés előtt ledarálják és közvetlenül a mulcsba vetik el a haszonnövényeket. Általában 10-15 év elteltével a talajok így módon biztosítani tudják a növények számára a megfelelő tápanyagmennyiséget, de amíg ez ki nem alakul szükséges trágyázni a területet. Ez a technológia sajnos hazánkban még nem elterjedt, pedig az intenzív fizikai beavatkozások miatt egyre rosszabb minőségű talajoknál több szempontból is kifizetődő lenne a külföldön már jól működő technológia alkalmazása (PAULIK 2019).

Köszönetnyilvánítás: Jelen publikáció az „EFOP-3.6.1-16-2016-00018 – A felsőoktatási rendszer K+F+I szerepvállalásának növelése intelligens szakosodás által Sopronban és Szombathelyen” című projekt támogatásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

ÁNGYÁN J. - MENYHÉRT Z. (2004): Alkalmazkodó növénytermesztés, környezet- és tájgazdálkodás. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest

- BIRKÁS M. (2006): Földművelés és földhasználat. Mezőgazda Kiadó, Budapest
- BRENTROP F. - KÜSTERS J. - LAMMEL J. - KUHLMANN H. (2000): Methods to estimate on-field nitrogen emissions from crop production as an input to LCA studies in the agricultural sector. In: The Int. J. LCA, 5:349, <https://doi.org/10.1007/BF02978670>
- DINYA L. (2018): Biomassza-alapú energiahasznosítás: a múlt és a jövő. Magyar Tudomány 179(2018)8, 1184–1196. DOI: <https://doi.org/10.1556/2065.179.2018.8.8>
- DOMOKOS E. - NÉMETHY S. - KÁRPÁTI Á. (2012): Mezőgazdaság környezeti hatásai, Pannon Egyetem, Digitális Tankönyvtár
- HAYASHI ET AL. (2007): Life Cycle Assessment of Agricultural Production Systems: Current Issues and Future Perspectives. National Agricultural Research Center 3-1-1 Kannondai, Tsukuba, Ibaraki 305-8666, Japan Agroscope FAL Reckenholz Swiss Research Station for Agroecology and Agriculture Reckenholzstr. 191 CH-8046 Zurich, Switzerland, 2007-05-16., URL: <http://www.ag-net.org/library/bc/>
- HELLER ET AL. (2003): Life cycle assessment of a willow bioenergy cropping system. Biomass and Bioenergy 25(2): 147-165. [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(02\)00190-3](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(02)00190-3)
- JAGODICS N. (2019): Szántóföldi növénytermesztés vizsgálata környezeti életciklus-elemzéssel. Diplomamunka. Soproni Egyetem Erdőmérnöki Kar Környezet és Földtudományi Intézet, Sopron, 92 p.
- KRISTÓ I. (2013): A növénytermesztés és növényvédelem. In: TÁMOP-4.1.1.C- 12/1/KONV-2012-0014: Élelmiszerbiztonság és gasztronómia vonatkozású egyetemi együttműködés, DE-SZTE-EKF-NYME azonosító számú projekt, Szegedi Tudományegyetem, Mezőgazdasági Kar, Hódmezővásárhely, 58-72.
- MATTSON B. - CEDERBERG C. - BLIX L. (2000): Agricultural land use in life cycle assessment (LCA): case studies of three vegetable oil crops. In: Journal of Cleaner Production, 8, 283-292.
- MCLAUGHLIN A. - MINEAU P. (1995): The impact of agricultural practices on biodiversity. In: Agriculture, Ecosystem & Environment, 55:3, 201-212.
- NAGY I. (2018): Korszakváltás előtt áll a magyar mezőgazdaság. 2018. szeptember 5., URL: <http://drnagyistvan.hu/2018/09/05/nagy-istvan-korszakvaltas-elott-all-a-magyar-mezogazdasag/>
- NAGY I. (2019): Nagy István agrárminiszter: ki kell törni az alapanyag-termelő szerepből! Magyar Mezőgazdaság 2019/1. 2019. január 2., URL: <https://magyarmezogazdasag.hu/2019/01/02/nagy-istvan-agrarminiszter-ki-kell-torni-az-alapanyag-termelo-szerepbol>
- NYIRI L. (szerk.) (1993): Földműveléstan. Mezőgazda Kiadó, Budapest
- OTP (2017): OTP Agrár. Javaslat a magyar agrárgazdaság középtávú stratégiájára. OTP Nyrt. Agrárágazati Igazgatósága, Budapest, 60 p.
- PAULIK K. (2019): A talajmegújító mezőgazdaság gondolkodó embert kíván. In: Innotéka – Tudomány, Innováció, Zöldkörnyezet, 2019. január 7., https://www.innoteka.hu/cikk/a_talajmegujito_mezogazdasag_gondolkodo_embert_kivan.1851.html
- PETERS J. - GARCÍA QUIJANO J. - CONTENT T. - VAN WYK G. - HOLDEN N. M. - WARD S. M. - MUYS B. (2003): A new land use impact assessment method for LCA: theoretical fundamentals and field validation. In: DIAS report: Life Cycle Assessment in the Agri-food sector, Danish Institute of Agricultural Sciences, Bygholm, Denmark, 143-156.
- POLGÁR A. - PÉCSINGER J. - ELEKNÉ FODOR V. - PINTÉRNÉ NAGY E. (2014): Szántóföldi növénytermesztési technológiák vizsgálata életciklus szemléletben. In: A klímaváltozás helyi és regionális kihívásai, zöld technológiák, Konferencia-kiadvány, Nyugat-Magyarországi Egyetem Erdőmérnöki Kar, Sopron: 89-99.
- POLGÁR, A. - KOVÁCS, Z. - ELEKNÉ FODOR, V. - BIDLÓ, A. (2019): Environmental Life-Cycle Assessment of Arable Crop Production Technologies Compared to Different Harvesting Work Systems in Short Rotation Energy Plantations. Acta Silvatica et Lignaria Hungarica (an International Journal in Forest, Wood and Environmental Sciences issued by the Forestry Commission of the Hungarian Academy of Sciences). HU ISSN 1786-691X (Print), HU ISSN 1787-064X (Online), DOI: <https://doi.org/10.2478/aslh-2019-0005> Open access. Acta Silv. Lign. Hung., Vol. 15, Nr. 2 (2019) 55-68.
- SCHMIDT J. H. (2008): System delimitation in agricultural consequential LCA. Outline of methodology and illustrative case study of wheat in Denmark. In: The International Journal of Life Cycle Assessment, 13:350, <https://doi.org/10.1007/s11367-008-0016-x>

- SZABÓ L. (1996): A növénytermesztés környezeti vonatkozásai In: Thyll Sz. (szerk.) Környezetgazdálkodás a mezőgazdaságban. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 225-255.
- SZABÓ Z. (2010): A növénytermesztés környezeti hatásainak értékelése, különös tekintettel a biodiverzitásra. Egy intenzív- és egy ökogazdaság externális hatásai. Ph.D. értekezés, Budapesti Corvinus Egyetem, Gazdálkodástani Doktori Iskola, Budapest
- URL 1.: <https://vegyszeranyag.kormany.hu/kadmium-strategia>, Letöltés dátuma: 2019.09.10.

FAIPARI ÉLZÁRÁSI TÍPUSOK KÖRNYEZETI HATÁSAINAK VIZSGÁLATA

POLGÁR ANDRÁS¹, ANTAL MÁRIA RÉKA²

¹Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Környezet- és Földtudományi Intézet

²Soproni Egyetem, Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi és Művészeti Kar, Faalapú Termékek és Technológiák Intézet
polgar.andras@uni-sopron.hu

Bevezetés

Az élzárás a lapalkatrészek gyártási folyamatának részét képezi a faiparban. Feladata az élek megfelelő minőségű és méretű anyaggal való borítása, valamint az élek védelme a környezet hatásaival szemben, mint például az ütések vagy a nedvesség (LUGOSI 1976). Ezen kívül esztétikus megjelenést ad a bútoroknak. Az élek lezárása történhet élleccel, élfurnérral, élfóliával vagy műanyag élzáróval az erre alkalmas gépek segítségével (MOLNÁRNÉ 2002). Ma már korszerű élzárógépeken történik a lapalkatrészek élzárása, legyen szó kisüzemi gyártásról vagy akár ipari sorozatgyártásról. A késztermék mind a hagyományos PUR (poliuretán)/EVA (etilén-vinil-acetát) ragasztós élzárás, mind pedig a korszerű, új élzárási technológiák felhasználása esetén megfelelő minőségű (szabványminősítésnek megfelel).



1-2. ábra. Hagyományos és nullfugás ABS élzárás. (Fotó: VAS ZSIGMOND)

Megkülönböztetünk hagyományos élzárási technológiát és az elmúlt pár év új bútorigipari vívmányaként megjelenő nullfugás élzárást. A „valódi nullfugás” (továbbiakban: nullfugás) élzárás egyre nagyobb jelentőséggel bír a nyugat-európai minőségi elvárásokban (URL1). Mindkét eljárás, akár hagyományos, akár nullfugás, jelentős technológiai művelet a faiparban, ezért a környezeti jelentőségük sem elhanyagolható.

Az ágazatra jellemző környezeti hatások vizsgálatában fontos szerepet kap a környezeti életciklus-elemzés (LCA) technikája. Az életciklus elemzés lehetővé teszi a faipari termékek és a hozzájuk kapcsolódó gyártástechnológiák fenntarthatóságának és környezeti minőségének megállapítását.

Tanulmányunkban célul tűztük ki a hagyományos és nullfugás faipari élzárás környezeti hatásainak megállapítását és összehasonlítását az LCA módszerével.

Anyag és módszer

Az LCA futtatásához vizsgáltuk a hagyományos és nullfugás faipari élzárás műveletei során a bemeneti és kimeneti oldalon jelentkező anyag- és energiaáramokat.

GaBi 6.0 Professional LCA szoftverrel felépítettük a gyártástechnológia környezeti leltáradatbázisát és életciklus modelljét. A hatásértékelés során a gyártástechnológia műveleti sorrendje

alapján technológiánként elemeztük az egyes gyártási folyamatok jellemző környezeti hatáskategóriáit. Az elemzés megbízhatósága érdekében többféle hatásértékelési módszer és modell alkalmazásával (CML2001, EI99, ReCiPe 1.08, Water footprint, Primary energy) számítottuk ki a hatáskategória indikátor eredményeket. Végül kimutattuk, hogy milyen környezeti összhatás jellemzi a két élzárasi alternatívát.

Funkcióegység: adott bútorcsalád forgácslap elemeinek élzárása ABS élzáróanyaggal:

referenciaáram (hagyományos): 1006,98 m ABS anyagú, 2,00 mm vastag, 22,65 mm széles élzáró

referenciaáram (nullfugás): 1006,98 m ABS anyagú, 2,35 mm vastag, 23,15 mm széles élzáró

Az alapanyagok szállításánál 100 tkm-t és EURO 4 besorolású tehergépkocsit vettünk figyelembe.

Elektromos energia esetén a magyar energiamixet használtuk fel. Az adatok forrásai: hazai, saját adatok, szakértői becslés, publikált adatok. Vonatkoztatási időszak: 2016.



3. ábra. A Roxyl 6.0 élzáró gép (URL2)

A Roxyl 6.0 élzáró gép hagyományos és nullfugás élzárásra is alkalmas (KOZÁK 2006). A gép élzárási folyamatának lépései, melyek egyben az LCA rendszerhatárok is, ezek a következők: alapanyagok szállítása - élananyag adagolása - forgácslap élének kezelése - forgácslap élmarása - ragasztó felhordása (nullfugás élzárásnál ez a lépés kimarad) - élzáró anyag élhez rögzítése - élzáró anyag végvágása - nagyoló és finomító szintbemarás - élek lekerekítése - műanyag élek finommegmunkálása - ragasztómaradványok eltávolítása (nullfugás élzárásnál ez a lépés kimarad) - élmarás (szükség esetén árok és aljazás kialakítása) - élek polírozása - színjavító élmelegítés - lapok szállítása.

Eredmények

Az alkalmazott környezeti *életciklus-elemzési (LCA)* módszer megfelel az ISO 14040:2006 és ISO 14044:2006 szabvány követelményeinek.

Az eredményeket az 1-2. táblázatok, illetve a 4-9. ábrák segítségével mutatjuk be.

Alábbiakban összefoglaljuk a legfontosabb környezeti leltáradatokat, mint a folyamatra jellemző bemeneteket és kimeneteket.

1. táblázat. Az élzárési technológiák összesített környezeti leltáradatai (Magyarország, vonatkoztatási időszak: 2016)

Élzárás		Hagyományos	Nullfugás
Környezeti leltár	M.e.	Mennyiség	Mennyiség
Input			
Akrilnitril-butadién-sztirol (ABS) élzáró anyag	kg	48,50	53,69
Elektromos energia	kWh	171,68	246,59
Kezelőfolyadék (etanol)	ml	458,10	458,10
Forgácslap 18 mm	kg (m ³)	2277,99 (3,50)	2277,99 (3,50)
Etilén-vinilacetát kopolimer, ragasztó granulátum (E/VA)	kg	0,10	-
Kenőolaj	kg	0,0016	0,0016
Ragasztó csomagolása (műanyag)	kg	0,002	0,002
Élanyag csomagolása (karton)	kg	3,65	3,65
Output			
Akrilnitril-butadién-sztirol (ABS) élzáró anyag	kg	35,42	39,84
Kezelőfolyadék (etanol)	ml	343,56	343,56
Forgácslap 18 mm	kg (m ³)	2257,44 (3,47)	2257,44 (3,47)
Etilén-vinilacetát kopolimer, ragasztó granulátum (E/VA)	kg	0,09	-
Ragasztó hulladéka	kg	0,011	-
Élzáró anyag hulladéka	kg	13,08	13,85
Forgácslap hulladéka	kg (m ³)	20,55 (0,032)	20,55 (0,032)
Kezelőfolyadék hulladéka	ml	114,54	114,54
Ragasztó csomagolása (műanyag)	kg	0,002	0,002
Élanyag csomagolása (karton)	kg	3,65	3,65
Fáradt olaj (reciklált)	kg	0,0016	0,0016

A többszemponú hatásértékelés (probléma-orientált, károrientált és kombinált) eredményeit a következőkben mutatjuk be.

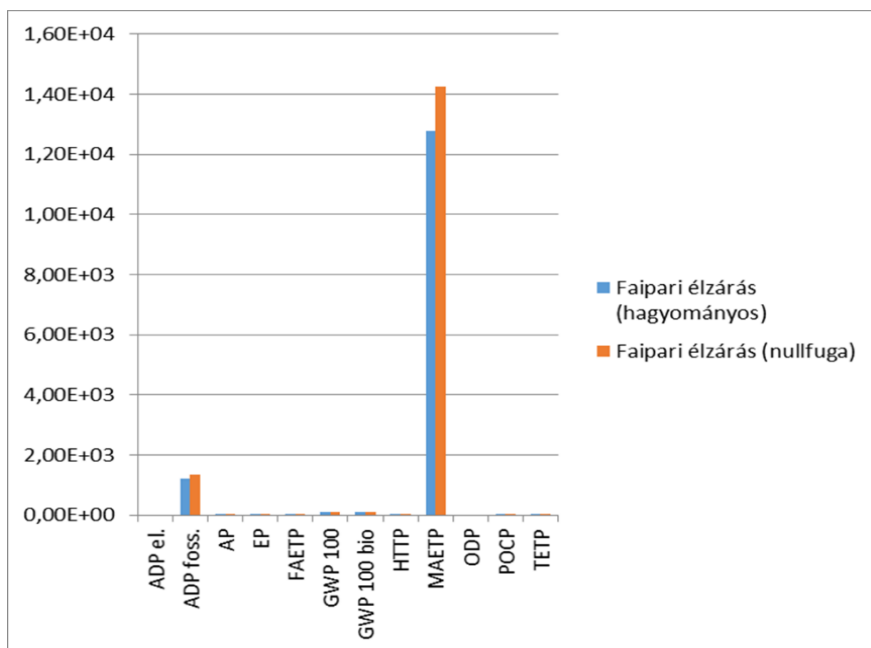
A hatásértékelés során a gyártástechnológia műveleti sorrendje alapján technológiánként kerültek elemzésre az egyes gyártási folyamatok jellemző környezeti hatáskategóriái.

A CML 2001 (2015. áprilisi) problémaorientált értékelési módszer alapján kapott eredményeket a 4. ábra tartalmazza.

A CML 2001 (2015. áprilisi) problémaorientált (köztipontokra koncentráció) értékelési módszer alapján a technológiák teljes életciklusuk során a legnagyobb hatással a „Tengervízi ökotoxicitásra” (MAETP) voltak. Ez a technológiák élanyag felhasználásával és a szállítással magyarázható. Jelentős hatáskategóriaként merült fel az „Abiotikus erőforrások (fosszilis) kimerülése” (ADP foss.).

A „Globális felmelegedési potenciál” (GWP) értékek elhanyagolhatóak voltak. Az életciklus hozzájárulás hatáskategóriánként 47% hagyományos - 53% nullfugás arányban alakult.

Az 5. ábra mutatja be a hagyományos és nullfugás élzárési technológiák egyes műveleti lépéseinek fenti környezeti hatáskategóriákhoz való hozzájárulását.



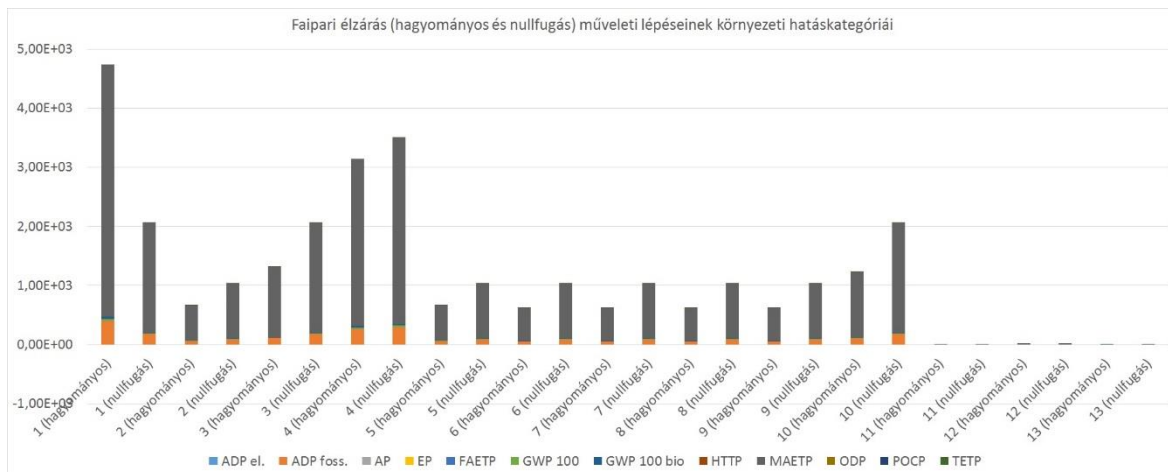
4. ábra. Az élzárási technológiák környezeti hatásai a CML 2001 (2015. áprilisi) hatáskategóriákban
 Rövidítések: ADP el.-Abiotic Depletion (ADP elements) [kg Sb-Equiv.]; ADP foss.-Abiotic Depletion (ADP fossil) [MJ]; AP-Acidification Potential (AP) [kg SO₂-Equiv.]; EP-Eutrophication Potential (EP) [kg Phosphate-Equiv.]; FAETP-Freshwater Aquatic Ecotoxicity Pot. (FAETP inf.) [kg DCB-Equiv.]; GWP 100-Global Warming Potential (GWP 100 years) [kg CO₂-Equiv.]; GWP 100 bio-Global Warming Potential (GWP 100 years), excl biogenic carbon [kg CO₂-Equiv.]; HTTP-Human Toxicity Potential (HTP inf.) [kg DCB-Equiv.]; MAETP-Marine Aquatic Ecotoxicity Pot. (MAETP inf.) [kg DCB-Equiv.]; ODP-Ozone Layer Depletion Potential (ODP, steady state) [kg R11-Equiv.]; POCP-Photochem. Ozone Creation Potential (POCP) [kg Ethene-Equiv.]; TETP-Terrestrial Ecotoxicity Potential (TETP inf.) [kg DCB-Equiv.]

Műveleti lépések (hagyományos): 1 Élyanyag tekercs felhelyezése és bevezetése a gépbe + Forgácslap élének kezelése; 2 Forgácslap élének 1 mm-es visszamarása; 3 Ragasztó granulátum olvasztása, adagolása + felhordása és felületre préselése; 4 Élzáró anyag végvágása; 5 Az alsó és felső éleken található élyanyag felesleg eltávolítása; 6 Az alsó és felső éleken található élyanyag felesleg precízebb eltávolítása; 7 Élkerekítés; 8 Ragasztó és élyanyag maradványok eltávolítása; 9 Munkadarab marása az éleken; 10 Élfelület simává és fényessé tétele + hőközlés (színjavítás); 11 Kenőolaj; 12 Alapanyagok szállítása 1.; 13 Alapanyagok szállítása 2.

Műveleti lépések (nullfugas): 1 Élyanyag adagolása + Kezelés tapadásgátló folyadékkal; 2 Forgácslap élének 1 mm-es visszamarása; 3 Élyanyag préselése a forgácslap élére; 4 Élzáró anyag végvágása; 5 Az alsó és felső éleken található élyanyag felesleg eltávolítása; 6 Az alsó és felső éleken található élyanyag felesleg precízebb eltávolítása; 7 Élkerekítés; 8 Élyanyag maradványok eltávolítása; 9 Munkadarab marása az éleken; 10 Élfelület simává és fényessé tétele + Élek színének javítása hő felhasználásával; 11 Kenőolaj; 12 Alapanyagok szállítása 1.; 13 Alapanyagok szállítása 2.

A műveleti lépések vizsgálata esetén (lásd 5. ábra), kiugró környezeti hatással bírtak az élzárási technológiákban:

az 1-es lépéseket adó „Élyanyag adagolási” műveletek. E tény annak tudható be, hogy e lépésben mindkét alternatíva esetén az elektromos energia felvétele jelentett többlet energiaigényt a többi lépéshez képest, ami a hatáskategóriáknál tapasztaltakban jelzés értékűen tükröződött.



5. ábra. A hagyományos és nullfugás élzárás műveleti lépéseinek környezeti hatáskategóriákhoz való hozzájárulása a CML 2001 (2015. áprilisi) hatáskategóriák szerint

Rövidítések: ADP el.-Abiotic Depletion (ADP elements) [kg Sb-Equiv.]; ADP foss.-Abiotic Depletion (ADP fossil) [MJ]; AP-Acidification Potential (AP) [kg SO₂-Equiv.]; EP-Eutrophication Potential (EP) [kg Phosphate-Equiv.]; FAETP-Freshwater Aquatic Ecotoxicity Pot. (FAETP inf.) [kg DCB-Equiv.]; GWP 100-Global Warming Potential (GWP 100 years) [kg CO₂-Equiv.]; GWP 100 bio-Global Warming Potential (GWP 100 years), excl biogenic carbon [kg CO₂-Equiv.]; HTP-Human Toxicity Potential (HTP inf.) [kg DCB-Equiv.]; MAETP-Marine Aquatic Ecotoxicity Pot. (MAETP inf.) [kg DCB-Equiv.]; ODP-Ozone Layer Depletion Potential (ODP, steady state) [kg R11-Equiv.]; POCP-Photochem. Ozone Creation Potential (POCP) [kg Ethene-Equiv.]; TETP-Terrestrial Ecotoxicity Potential (TETP inf.) [kg DCB-Equiv.]

A 3-as számmal jelölt műveleti lépések. Esetükben a hagyományos technológiánál a „Ragasztó granulátum olvasztása, adagolása + felhordása és felületre préselése” lépés, míg a nullfugás esetben „Élanyag préselése a forgácslap élére” lépés energiaigénye volt nagyobb, mint a többiben.

A 4-es műveleti lépések. Itt szintén nagyobb az energiaigény a modellünkben, mivel az „Élzáró anyag végvágásának” energiaigénye mellett a kompresszor energiaigénye is megjelenik a hagyományos és nullfugás esetben is.

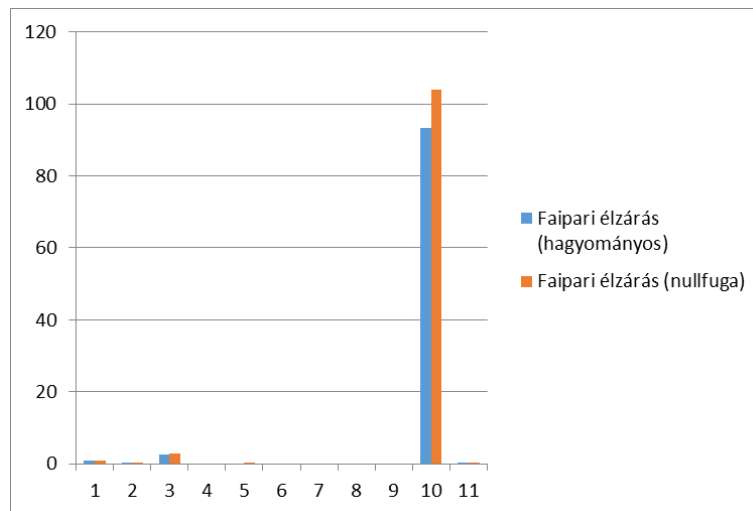
A 10. technológiai lépések. Itt a színjavítás miatti hőközlés többlet energiaigényével kellett számolni mindkét alternatívában.

Az Eco-indicator 99 károrientált (környezeti végpontokra, hatásviselőkre koncentrált) értékelési módszer alapján a technológiák teljes életciklusuk során a legnagyobb hatást a „Erőforrások - fosszilis energiahordozók” (10) tekintetében fejtették ki. Ez szintén a technológiák élanyag felhasználásával és a szállítással magyarázható. Említhető hatáskategóriaként merült fel az „Ökoszisztéma minősége - földhasználat” (3).

Az „Emberi egészség - klímaváltozás” kategóriában tapasztalt értékek e módszernél sem ugrottak ki.

Az életciklus hozzájárulás hatáskategóriáinként 47% hagyományos - 53% nullfugás arányban alakult.

Az Eco-indicator 99 károrientált értékelési módszer segítségével kapott eredmények a 6. ábrán láthatók.



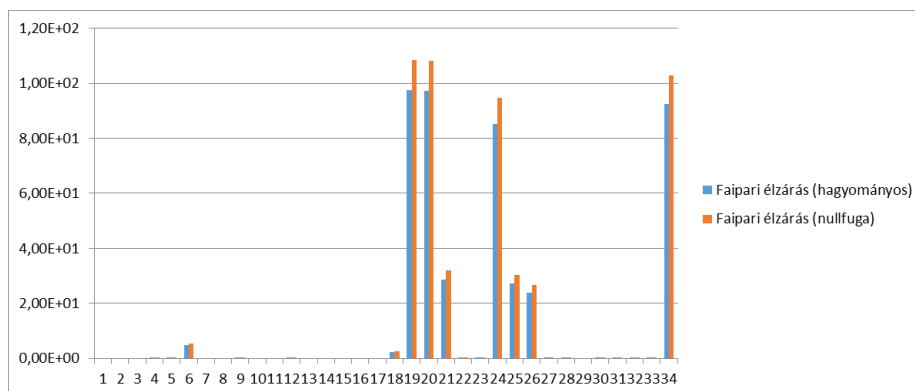
6. ábra. Az élzárási technológiák környezeti hatásai az EI 99 - EA hatáskategóriákban

Rövidítések: 1-Ecosystem quality, Acidification/nutrication [PDF*m2*a]; 2-Ecosystem quality, Ecotoxicity [PDF*m2*a]; 3-Ecosystem quality, Land-use [PDF*m2*a]; 4-Human health, Carcinogenic effects [DALY]; 5-Human health, Climate Change [DALY]; 6-Human health, Ozone layer depletion [DALY]; 7-Human health, Radiation [DALY]; 8-Human health, Respiratory (inorganic) [DALY]; 9-Human health, Respiratory (organic) [DALY]; 10-Resources, Fossil fuels [MJ surplus energy]; 11-Resources, Minerals [MJ surplus energy]

Az élzárási technológiák környezeti hatásait a ReCiPe 1.08 módszer (URL3) segítségével a 7. ábra tartalmazza.

A ReCiPe 1.08 kombinált értékelési módszer már változatosabb eredményeket adott, további globális környezeti problémakörökhöz való hozzájárulást tudtunk kimutatni. A technológiák teljes életciklusuk során a legnagyobb hatással a „Klímaváltozásra” (19-20), „Humántoxicitásra” (24) és a „Vízkezelés kimerülésére” (34) voltak. Jelentős hatáskategóriaként merült fel a „Fosszilis erőforrások kimerülése” (21), az „Ionizáló sugárzás” (25), valamint a „Tengervízi ökototoxicitás” (26).

Az életciklus hozzájárulás hatáskategóriáinként 47% hagyományos - 53% nullfugás arányban alakult.

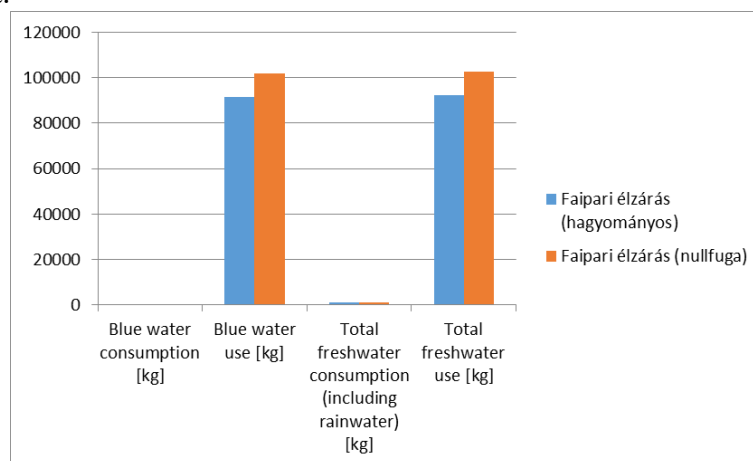


7. ábra. Az élzárási technológiák környezeti hatásai a ReCiPe 1.08 - EA hatáskategóriákban

Rövidítések: 1-ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Agricultural land occupation [species.yr]; 2-ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Climate change Ecosystems, default, excl biogenic carbon [species.yr]; 3-ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Climate

change Ecosystems, incl biogenic carbon [species.yr]; 4-ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Climate change Human Health, default, excl biogenic carbon [DALY]; 5-ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Climate change Human Health, incl biogenic carbon [DALY]; 6-ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Fossil depletion [\$]; 7-ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Freshwater ecotoxicity [species.yr]; 8-ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Freshwater eutrophication [species.yr]; 9-ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Human toxicity [DALY]; 10-ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Ionising radiation [DALY]; 11-ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Marine ecotoxicity [species.yr]; 12-ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Metal depletion [\$]; 13-ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Ozone depletion [DALY]; 14-ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Particulate matter formation [DALY]; 15-ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Photochemical oxidant formation [DALY]; 16-ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Terrestrial acidification [species.yr]; 17-ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Terrestrial ecotoxicity [species.yr]; 18-ReCiPe 1.08 Midpoint (E) - Agricultural land occupation [m2a]; 19-ReCiPe 1.08 Midpoint (E) - Climate change, default, excl biogenic carbon [kg CO2-Equiv.]; 20-ReCiPe 1.08 Midpoint (E) - Climate change, incl biogenic carbon [kg CO2-Equiv.]; 21-ReCiPe 1.08 Midpoint (E) - Fossil depletion [kg oil eq]; 22-ReCiPe 1.08 Midpoint (E) - Freshwater ecotoxicity [kg 1,4-DB eq]; 23-ReCiPe 1.08 Midpoint (E) - Freshwater eutrophication [kg P eq]; 24-ReCiPe 1.08 Midpoint (E) - Human toxicity [kg 1,4-DB eq]; 25-ReCiPe 1.08 Midpoint (E) - Ionising radiation [kg U235 eq]; 26-ReCiPe 1.08 Midpoint (E) - Marine ecotoxicity [kg 1,4-DB eq]; 27-ReCiPe 1.08 Midpoint (E) - Marine eutrophication [kg N-Equiv.]; 28-ReCiPe 1.08 Midpoint (E) - Metal depletion [kg Fe eq]; 29-ReCiPe 1.08 Midpoint (E) - Ozone depletion [kg CFC-11 eq]; 30-ReCiPe 1.08 Midpoint (E) - Particulate matter formation [kg PM10 eq]; 31-ReCiPe 1.08 Midpoint (E) - Photochemical oxidant formation [kg NMVOC]; 32-ReCiPe 1.08 Midpoint (E) - Terrestrial acidification [kg SO2 eq]; 33-ReCiPe 1.08 Midpoint (E) - Terrestrial ecotoxicity [kg 1,4-DB eq]; 34-ReCiPe 1.08 Midpoint (E) - Water depletion [m3]

A 8. ábra jól szemlélteti a vizsgált élzárasi technológiák vízlábnyomát, a 9. ábra pedig a primer energiaigényeket.



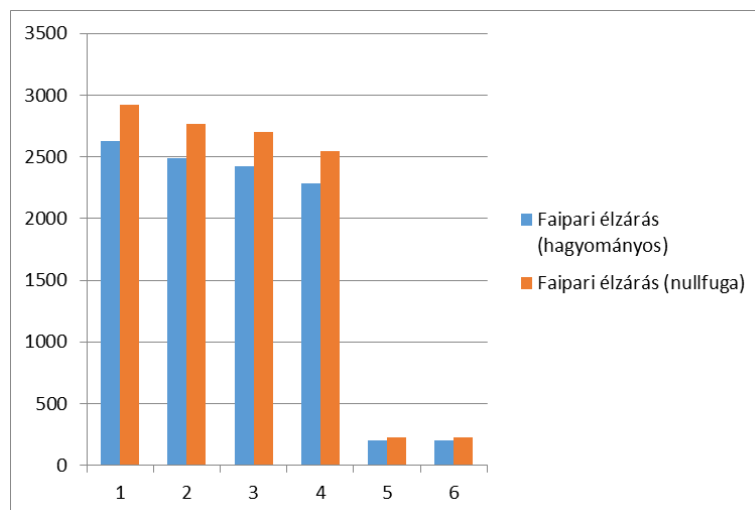
8. ábra. Az élzárasi technológiák vízlábnyoma [kg]

A GaBi LCA szoftver beépített modulként a technológiák vízlábnyomának kalkulálására is alkalmas. A modell szerint a technológiák anyag- és energiaáramaik alapján *jelentős tengervíz és édesvíz használat*tal járnak, ám vízfogyasztásuk nem jelentős.

Az életciklus hozzájárulás a vízfelhasználások esetén is 47% hagyományos - 53% nullfugás arányban alakult.

Szintén beépített modul a technológiák primer energiaigényének számítása is. Az energiafelhasználás modellje szerint az *életciklus hozzájárulás 47% hagyományos - 53% nullfugás arányban alakult.*

A felépített életciklus modellekre jellemző, hogy *a gyártástechnológiákban a megújuló energiaforrások használata (8,41%) csupán töredéke a felhasznált nem megújuló energiaforrásoknak*, mely mutatja az ebben rejlő magas környezeti szempontú fejlesztési potenciált.



9. ábra. Az élzárási technológiák primer energiaigénye [MJ]

Rövidítések: 1-Primary energy demand from ren. and non ren. resources (gross cal. value) [MJ]; 2-Primary energy demand from ren. and non ren. resources (net cal. value) [MJ]; 3-Primary energy from non renewable resources (gross cal. value) [MJ]; 4-Primary energy from non renewable resources (net cal. value) [MJ]; 5-Primary energy from renewable resources (gross cal. value) [MJ]; 6-Primary energy from renewable resources (net cal. value) [MJ]

Következtetések

A hagyományos és nullfugas élzárási technológiát illetően hatásértékelési módszerként egységesen 47% *hagyományos* - 53% *nullfugas* arány volt tapasztalható az életciklus hozzájárulásban hatáskategóriánként.

A *nullfugas eljárás magasabb értékei a nagyobb mennyiségű felhasznált élanagnak és a nagyobb energiaigénynek* tudhatók be. Láthatóan a nullfugas technológia a hagyományos ragasztóanyag alkalmazását mellőzi, ám ennek kiváltása nem feltétlenül eredményez kedvezőbb környezeti mutatókat.

A *környezeti összhatás* összehasonlító táblázatában (2. táblázat) is hasonló eredményekre jutottunk (többféle módszerrel futtatva is) a technológiák minősítésére vonatkozóan, *megerősítve* az egyes hatásértékelési módszertanok alapján tapasztaltakat.

2. táblázat. A technológiák hozzájárulása [%] környezeti összhatáshoz

Élzárás	Hagyományos	Nullfugas
Környezeti összhatás futtatási módszere	%	%
CML2001, Experts IKP (Central Europe)	47	53
EI99, EA-HA-IA	47	53
ReCiPe 1.07+1.08 (Average)	47	53

Összefoglalás

Tanulmányunkban megvizsgáltuk a faipari élzárás környezeti hatását egy korszerű élzárógép (Roxyl 6.0) technológiai műveletét követve. A hagyományos és nullfugas élzárási technológiát illetően hatásértékelési módszerként egységesen 47% *hagyományos* - 53% *nullfugas* arány volt tapasztalható az életciklus hozzájárulásban hatáskategóriánként. A *nullfugas eljárás magasabb értékei a nagyobb mennyiségű felhasznált élanagnak és a nagyobb energiaigénynek* tudhatók be. A felépített életciklus modellekre jellemző, hogy a *gyártástechnológiákban a meg-*

újuló energiaforrások használata (8,41%) csupán töredéke a felhasznált nem megújuló energiaforrásoknak, mely mutatja az ebben rejlő kiaknázatlan környezeti szempontú fejlesztési potenciált.

Láthatóan a nullfugas technológia a hagyományos ragasztóanyag alkalmazását mellőzi, ám ennek kiváltása nem feltétlenül eredményez kedvezőbb környezeti mutatókat. Ám a nullfugas élzárás nemcsak esztétikai szempontból javítja a látványt (ragasztási fugavonal nem látszik a lapalkatrészeken), hanem tartóssági szempontból is túlszárnyalja a hagyományos élzárási technológiát. Annak ellenére, hogy mindkét esetben az élzárás minősége elfogadott (szabványnak megfelel), a kutatás folytatásaként, az élettartam figyelembevételével, az egyes technológiák élzárása között újabb környezeti hatásvizsgálatok végezhetőek el, várhatóan a nullfugas alternatíva kedvezőbb eredményeivel.

További elemzési és összehasonlítási lehetőségeket jelentene a „SlimLine” technológia vagy a forrólevegős (hot air) technológia modellezése is. Az utóbbi például kevesebb energiát és erőforrást igényel a lézeres technológiával szemben, viszont az eredmény hasonló a lézerrel élzárt megoldáséhoz.

Az LCA vizsgálatokban kapott eredmények természetesen az elemző programban felépített modell jellegétől is függenek, valamint attól, hogy az elektromos energia igény hogyan oszlik meg az egyes műveleti lépések között.

Köszönetnyilvánítás: Jelen publikáció az „EFOP-3.6.1-16-2016-00018 – A felsőoktatási rendszer K+F+I szerepvállalásának növelése intelligens szakosodás által Sopronban és Szombathelyen” című projekt támogatásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

ECO-INDICATOR 99 MANUAL FOR DESIGNERS (2000): A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment. Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment Communications Directorate, The Netherlands, The Hague

GUINÉE, J.B. - GORRÉE, M. - HEIJUNGS, R. - HUPPES, G. - KLEIJN, R. - KONING, A. DE - OERS, L. VAN - WEGENER SLEESWIJK, A. - SUH, S. - UDO DE HAES, H.A. - BRUIJN, H. DE - DUIN, R. VAN - HUIJBREGTS, M.A.J.: Handbook on life cycle assessment. Operational guide to the ISO standards. I: LCA in perspective. IIa: Guide. IIb: Operational annex. III: Scientific background. Kluwer Academic Publishers, ISBN 1-4020-0228-9, Dordrecht, 2002, 692 pp. on-line: <http://cml.leiden.edu/research/industrialecology/researchprojects/finished/new-dutch-lca-guide.html>

HAGYOMÁNYOS ÉS NULLFUGÁS ABS ÉLZÁRÁS. (Fotó: Vas Zsigmond, 2017.05.16)

KOZÁK J. (2016): Életciklus elemzés alkalmazása faipari élzáró gépen. Szakdolgozat. Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron

LUGOSI A. (1976): Faipari kézikönyv. Műszaki Könyvkiadó, Budapest.

MOLNÁRNÉ POSCH P. (2002): Faipari kézikönyv II. Faipari Tudományos Alapítvány, Sopron

MSZ EN ISO 14040:2006 - Környezetközpontú irányítás. Életciklus-értékelés. Alapelvek és keretek (ISO 14040:2006)

MSZ EN ISO 14044:2006 - Környezetközpontú irányítás. Életciklus-értékelés. Követelmények és útmutatók (ISO 14044:2006)

URL1: <http://lignomat.hu>

URL2: <http://www.hanna-styl.hu/oldal/elzarok> (2017.05.15.)

URL3: <http://www.lcia-recipe.net/project-definition> (2014.06.15)

IR SPEKTROMETRIA A FAANYAG HŐKEZELÉSÉNEK MONITOROZÁSÁRA

RÁKOSA RITA¹, PÁSZTORY ZOLTÁN², BÖRCsök ZOLTÁN², NÉMETH ZSOLT ISTVÁN¹

¹Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Kémiai Intézet

²Soproni Egyetem, Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi és Művészeti Kar,
Természeti Erőforrások Kutató Központ
rakosa.rita@uni-sopron.hu

Bevezetés

A faanyag kivételes helyet foglal el az ipari nyersanyagok között. Tervszerű és irányított természetessé megújítható nyersanyagot képez. Vannak azonban olyan felhasználási területek, melyek különleges faanyagjellemzőket igényelnek, valamint olyan fafajok, melyek valamely fizikai vagy mechanikai tulajdonsága az adott alkalmazási célnak nem, vagy csak bizonyos változtatások után felel meg. A felhasználás szempontjából előnyös tulajdonságok kialakítására különböző modifikációs eljárásokat alkalmaznak, melyek közül az iparban leggyakrabban alkalmazott eljárás a faanyagok hőkezelése.

A faanyag, mint komplex, makromolekulás rendszer hőkezelés hatására összetett kémiai változásokon megy keresztül. A lejátszódó folyamatokat az alkalmazott hőmérséklet, a hőhatás ideje, a faanyagot körülvevő atmoszféra és a nedvességtartalom is befolyásolja (FENGEL AND WEGENER 1989, GERARDIN 2016). A termikus degradációs folyamatokat csak az egyes komponensekre jellemző, és a komplex rendszerrel lejátszódó átalakulások együttes ismeretében lehet helyesen értelmezni.

A Fourier-transzformációs infravörös (FT-IR) spektrometriát széles körben alkalmazzák faanyagok vizsgálatára is (FENGEL AND WEGENER 1989, FAIX 1992, CHEN ET AL. 2010, ESTEVES ET AL. 2013, ÖZGENC ET AL. 2017, GONULTAS AND CANDAN 2018). A faanyag kémiai összetevőinek az anyagi minőségei és mennyiségei leképződnek az FT-IR spektrumban. A fényelnyelési csúcsokat a jellegzetes funkciós csoportok, az aromás és telítetlen molekularészek vegyérték- és deformációs rezgési átmenetei szolgáltatják. A faanyag összetettsége miatt azonban a karakteres elnyelési csúcsok jelentősen átfednek egymással.

A faanyag termikus kezelésének monitorozására FT-ATR-IR spektrometriás módszert dolgoztunk ki. Az FT-IR spektrometria bázisú kemometriai értékelési stratégiánk a faanyagok különböző ideig tartó hőkezelése során bekövetkező kémiai változások finomszerkezetének detektálására irányult.

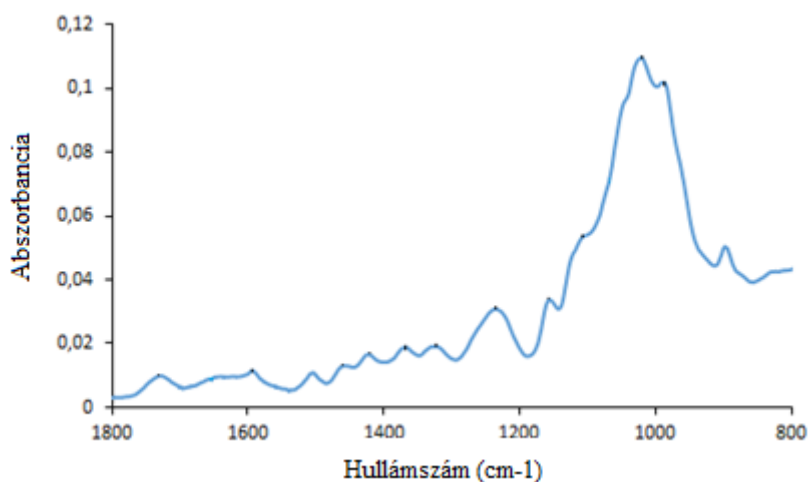
Vizsgálati anyag és módszer

Vizsgálatainkhoz $100 \times 17 \times 3 \text{ mm}^3$ méretű fafurnér (*Hevea brasiliensis*) próbatesteket használtunk. A felület minőségét csiszolással és portalanítással javítottuk. A hőkezelést 180°C -on, különböző kezelési idők mellett (15, 25 és 35 óra) végeztük. A faanyag mintákról a hőkezelés előtt és a kezelést követően készítettünk spektrumokat.

A spektrometriás vizsgálatokhoz Shimadzu gyártmányú, IRAffinity-1 típusú, HATR-10 totál-reflexiós kiegészítőegységgel felszerelt FT-IR spektrométert alkalmaztunk. A spektrumokat $4000\text{-}670 \text{ cm}^{-1}$ hullámszám tartományban, 1 cm^{-1} felbontással vettünk fel. A jel/zaj viszony növeléséhez az időbeli átlagolás módszerével 49 egymást követően felvett spektrumnak az átlagát képeztük. A spektrumokon atmoszféra korrekciót, átlagképzésen alapuló simítást, és normalizálási eljárásként SNV transzformációt hajtottunk végre. Az adatkiértékelést az ujjlenyomat tartományra szűkítettük, mivel ez a tartomány gazdag az anyagminőséget visszatükröző abszorpciós csúcsokban.

Vizsgálati eredmények

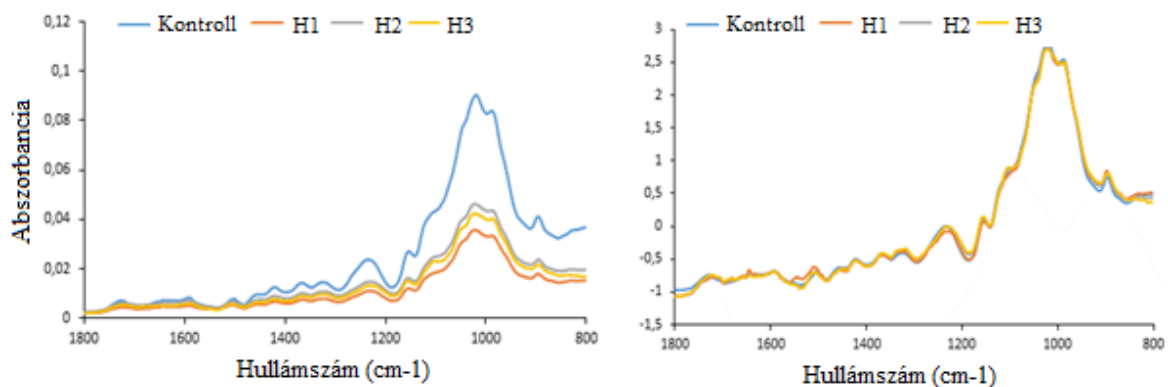
A faanyag eredő spektruma az infravörös aktív molekularészek fényelnyeléseinek a mennyiségi részarányok által súlyozott és összegzett kombinációja. A kezeletlen gumifa FT-IR spektruma látható az 1. ábrán. A karakterisztikus, adott hullámszámú fényelnyelési csúcsok a faanyag kémiai összetevőitől: cellulóztól, lignintől, hemicellulóztól és a járulékos anyagoktól erednek. A spektrumon 1730 cm^{-1} -nél megjelenő csúcs a hemicellulózból levő C=O kötés vegyértékrezgéséhez rendelhető. A lignin aromás vázrezgésének jellegzetes abszorpciós sávjai 1592 és 1503 cm^{-1} -nél láthatók. Az 1368 , 1422 és 1458 cm^{-1} -nél a csúcsok a cellulózban, a ligninben és poliózokban levő C-H deformációs rezgéseknek köszönhető. A 900 - 1200 cm^{-1} hullámszám tartományban megfigyelhető csúcsok a szénhidrátok C-O-C vegyértékrezgési és C-H, C-O deformációs rezgési átmeneteinek az eredménye (PANDAY AND PITMAN 2003, NAZARPOUR ET AL. 2013, ÖZGENC ET AL. 2017).



1. ábra: Kontroll gumifa FT-IR spektruma

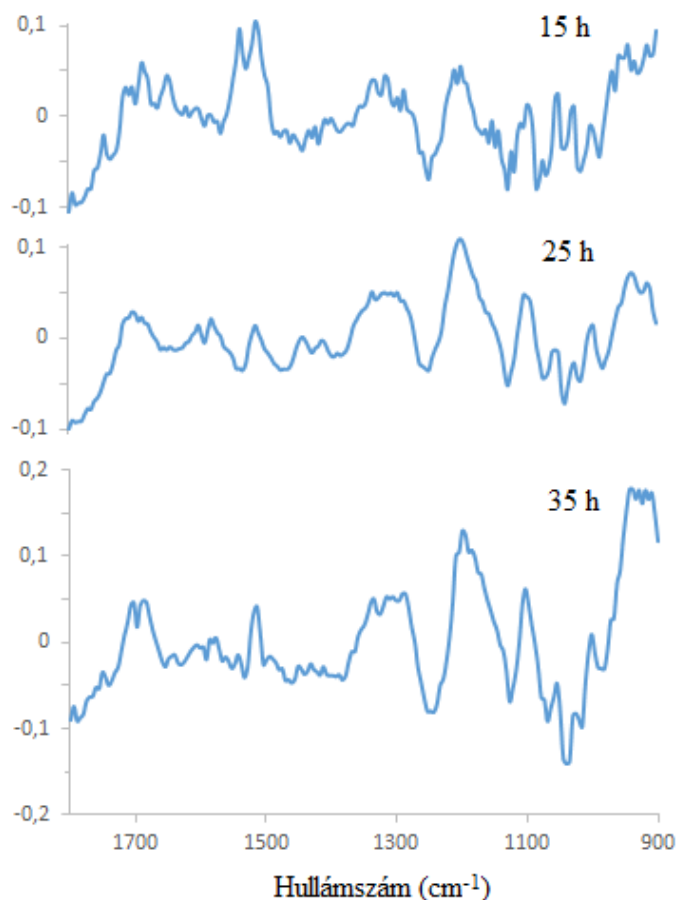
Az ATR reflexiós spektrometria lehetővé teszi a faanyag gyors és roncsolásmentes vizsgálatát. A fényelnyelési információ a minta felszínéről ered, így a felületi inhomogenitás, nedvesség, a próbatest felszínének egyenetlensége befolyásolja a spektrális csúcsintenzitásokat. A referencia és a különböző ideig hőkezelt minták primér spektrumai közötti csúcsintenzitás eltéréseket, amelyeket a famintáknak az ATR egykristályra való eltérő illeszkedése idéz elő, szóródás korrekciós eljárással (SNV transzformáció) küszöböltük ki. Az SNV transzformáció kiiktatja a spektrumból a mérés során az abszorbancia skála mentén jelentkező sztochasztikus eltolódásokat is (2. ábra). Az SNV transzformáció eredményeként a transzformált spektrumok megközeleltőleg átfedésbe kerülnek egymással. Azonos anyagminőség esetén elméletileg az SNV spektrumok egymással tökéletesen átfednek. A kezeletlen és hőkezelt faminták SNV spektrumai közötti kismértékű eltérések információt szolgáltatnak a lignocellulóz rendszerben hőhatására bekövetkező kémiai változásokról.

Az abszorbancia változás szemléltetéséhez az SNV transzformált spektrumok különbségét alkalmaztuk, amely feltárja a hőkezelt faanyag fényelnyelő képességének kontrollhoz viszonyított megváltozását a hullámhossz függvényében. A különbség SNV spektrumok képzéséhez a kezeletlen faminták SNV spektrumából vontuk ki a különböző ideig hőkezelt minták SNV spektrumait (3. ábra).



2. ábra: Hőkezelt és kontroll gumifa minták átlag primer spektrumai (a) és SNV-transzformált spektrumai (b)

A hőhatásra a polióz frakció a legérzékenyebb, a degradáció első lépéseként az észterkötésben levő acetil-csoportok lehasadása és az O-metil kötés hasadása következik be (TJEERDSMA AND MILITZ 2005, ESTEVES ET AL. 2013, GERARDIN 2016, ALTGEN ET AL. 2018). Ezt igazolja az 1730 cm⁻¹-nél megjelenő csúcs intenzitásának csökkenése. Ezzel párhuzamosan lejátszódó dehidratációs reakciók furfurool ill. további furán származékok képződéséhez vezetnek, ami az 1698 cm⁻¹-nél (aldehidek C=O csoportja) megjelenő fényelnyelési csúcs növekedését idézi elő (FENDEL AND WEGENER 1989, TJEERDSMA AND MILITZ 2005, BROSE ET AL. 2010, GERARDIN 2016). A 15 órás kezelésnél még nem, de a 25 és 35 óráig tartó hőhatásnál már jelentős az eltérés a kezeletlen mintához képest.



3. ábra: Különböző ideig hőkezelt fahinták kontrollhoz viszonyított különbség SNV spektrumai

A ligninnek viszonylag nagyobb a termikus stabilitása, azonban a lignin szerkezetében is megfigyelhető változás a hőkezelés hatására. Az aromás vázrezgés intenzitása növekszik 1503 cm^{-1} -nél a 15 órás kezelés során. A hosszabb ideig tartó hőkezelés viszont intenzitáscsökkenést eredményezett, mivel a depolimerizációs folyamatokat kondenzációs reakciók kísérik. A kondenzált szerkezet kialakulását igazolja az 1330 cm^{-1} -nél megjelenő csúcs (C-O rezgés a ligninben) intenzitásának növekedése és az 1234 cm^{-1} -nél található csúcs (C=O rezgés a ligninben és xilánban, fenolos O-H rezgés a ligninben) intenzitásának csökkenése és eltolódása az alacsonyabb hullámszámok felé (FAIX 1992, ESTEVES ET AL. 2013, GERARDIN 2016, GONULTAS AND CANDAN 2018). A cellulóz szerkezetében is érzékelhetők változások a hosszabb ideig tartó hőkezelésnek köszönhetően. Az $1104\text{-}1110\text{ cm}^{-1}$, $1155\text{-}1160\text{ cm}^{-1}$, és az $1200\text{-}1210\text{ cm}^{-1}$ hullámszám tartományban fényintenzitás növekedést, az $1020\text{-}1060\text{ cm}^{-1}$ tartományban pedig csökkenést tapasztaltunk. A hőhatás először az amorf cellulóz szerkezetében okoz változást, a kristályos cellulóz aránya nő. (ÖZGENC ET AL. 2017, CHIEN ET AL. 2018, GONULTAS AND CANDAN 2018).

Összefoglalás

Faanyag termikus kezelésének monitorozására – a faanyag erezetének változékonysága ellenére – sikerült egy olyan értékelési eljárást kimunkálni, amellyel a mérsékelt magas hőmérsékletű hőkezelés lignocellulóz rendszert módosító hatása érzékelhetővé tehető. A referencia és a különböző ideig hőkezelt minták primér spektrumai közötti csúcsintenzitás eltéréseket, amelyeket a famintáknak az ATR egykristályra való eltérő illeszkedése idéz elő, szóródás korrekciós eljárással (SNV transzformáció) küszöböltük ki. A spektrumok SNV-transzformáltjainak előállításával és különbségeik képzésével közvetlenül képet kaptunk a hőkezelés hatására bekövetkező spektrális változásokról.

Köszönetnyilvánítás: A kutatómunka a „Fenntartható Nyersanyag-gazdálkodási Tematikus Hálózat – RING 2017” című, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 jelű projekt részeként a Széchenyi 2020 program keretében az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- ALTGEN M., UIMONEN T., RAUTKARI L. (2018): The effect of de- and re-polymerization during heat-treatment on the mechanical behavior of Scots pine sapwood under quasi-static load. *Polymer Degradation and Stability* 147. 197-205
- BROSSE N., HAGE R.E., CHAOUCH M., PÉTRISSANS M., DUMARÇAY S., GERARDIN P. (2010): Investigation of the chemical modifications of beech wood lignin during heat treatment. *Polym. Degrad. Stabil.* 95. 1721-1726.
- CHEN H., FERRAI C., ANGIULI M., YAO J., RASPI C., BRAMANTI E. (2010): Qualitative and quantitative analysis of wood samples by Fourier transform infrared spectroscopy and multivariate analysis. *Carbohydr. Polym.* 82. 772-778.
- CHIEN Y.C., YANG T.C., HUNG K.C., LI C.C., XU J.W., WU J.H. (2018): Effects of heat treatment on the chemical compositions and thermal decomposition kinetics of Japanese cedar and beech wood. *Polymer Degradation and Stability* 158. 220-227.
- ESTEVES B., MARQUES A.V., DOMINGOS I., PEREIRA H. (2013): Chemical changes of heat-treated pine and eucalypt wood monitored by FTIR. *Maderas-Cienc. Tecnol.* 15(2). 245-258.
- FAIX O. (1992): Fourier transform infrared spectroscopy. In: Lin S.Y., Dence C.W. (eds.): *Methods in Lignin Chemistry*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 83-109.
- FENGEL D., WEGENER G. (1989): Influence of temperature. In: *Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions*. Walter de Gruyter: Berlin, 319-344.
- GÉRARDIN P. (2016): New alternatives for wood preservation based on thermal and chemical modification of wood. *Annals of Forest Science* 73. 559-570.

- GONULTAS O., CANDAN Z. (2018): Chemical characterization and FTIR spectroscopy of thermally compressed eucalyptus wood panels. *Maderas-Cienc. Tecnol.* 20 (3). 431-442.
- NAZARPOUR F., ABDULLAH D.K., ABDULLAH N., ZAMIRI R. (2013): Evaluation of Biological Pretreatment of Rubberwood with White Rot Fungi for Enzymatic Hydrolysis. *Materials* 6. 2059-2073.
- ÖZGENÇ Ö., DURMAZ S., BOYACI I.H., EKSI-KOCAK H. (2017): Determination of chemical changes in heat-treated wood using ATR-FTIR and FT Raman spectrometry. *Spectrochim Acta A Mol. Biomol. Spectrosc.* 171. 395-400.
- PANDEY K., PITMAN A. (2003): FTIR studies of the changes in wood chemistry following decay by brown-rot and white-rot fungi. *Int. Biodeterior. Biodegrad.* 52. 151-160.
- TJEERDSMA B., MILITZ H. (2005): Chemical changes in hydrothermal treated wood: FTIR analysis of combined hydrothermal and dry heat-treated wood. *Holz als Roh- und Werkst.* 63(2). 102-111.

MŰANYAG HULLADÉKOK OSZTÁLYOZÁSA FT-IR SPEKTRUMOK ALAPJÁN

RÁKOSA RITA, SZEGLETI CSONGOR, NÉMETH ZSOLT ISTVÁN

Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Kémiai Intézet

rakosa.rita@uni-sopron.hu

Bevezetés

A fogyasztói társadalmak általánossá válása visszatükröződik a műanyagtermelés volumenében. A műanyag hulladék hasonló ütemű növekedése a fejlődés vadhajtásává vált. A leggyorsabban a csomagolási célú anyagok kerülnek be a hulladékáramba, így rövid élettartamuk végén nagy kihívást jelent gazdaságos újrahasznosításuk. (BARNES *et al.* 2009). Az elsődleges újrahasznosítási eljárások alapja, hogy a polimer molekulaszervezetének megváltoztatása nélkül dolgozza fel a hulladékot. Az újrahasznosítás azonban csak hatékonyan szétválasztott, teljesen szennyeződésmentes, hőre lágyuló polimerek esetében lehetséges (HAMAD *et al.* 2013).

A különböző típusú műanyagok szétválasztására számos módszer ismert, s az iparban a megfelelő tisztaság elérése érdekében többnyire ezek kombinációját alkalmazzák. A csomagolási hulladékok osztályozását néhány helyen még mindig kézi válogatással oldják meg, de automatizált módszerekkel gazdaságosabb, gyorsabb és jobb hatékonyságú válogatás valósítható meg. Ezek, a hulladékok beazonosítása nélkül, eltérő tulajdonságaikat kihasználva (pl. sűrűség, áramlástani- és felületi tulajdonságok) különítik el az anyag típusokat (SCHEIRS 1998). A hulladékok anyagminőségi kategorizálásával történő elválasztást megvalósító módszerek többnyire valamilyen spektrometriai analízist és egy elkülönítő módszert (pl. pneumatikus fűvókákat) alkalmaznak. A műanyagok válogatására egyre több helyen alkalmaznak Fourier-transzformációs infravörös spektroszkópiát közeli infravörös tartományban (FT-NIR spektroszkópia; KAIHARA *et al.* 2010, ZHU *et al.* 2019). Azonban a nagyszámú lehetséges rezgéskombinációk (felhangok) miatt, az IR-fényelnyelési csúcsok átlapolása és egymásra szuperponálódása megnehezíti az azonosítást.

Műanyag hulladék minták spektrális megkülönböztetésére reflexiós (ATR) technikára alapozott vizsgálati eljárást dolgoztunk ki a közepes infravörös tartományban. Az FT-ATR-IR spektrum rejtett információ tartalmának feltárásához sokváltozós adatértékelési módszereket (PCA, LDA) alkalmaztunk.

Vizsgálati anyag és módszer

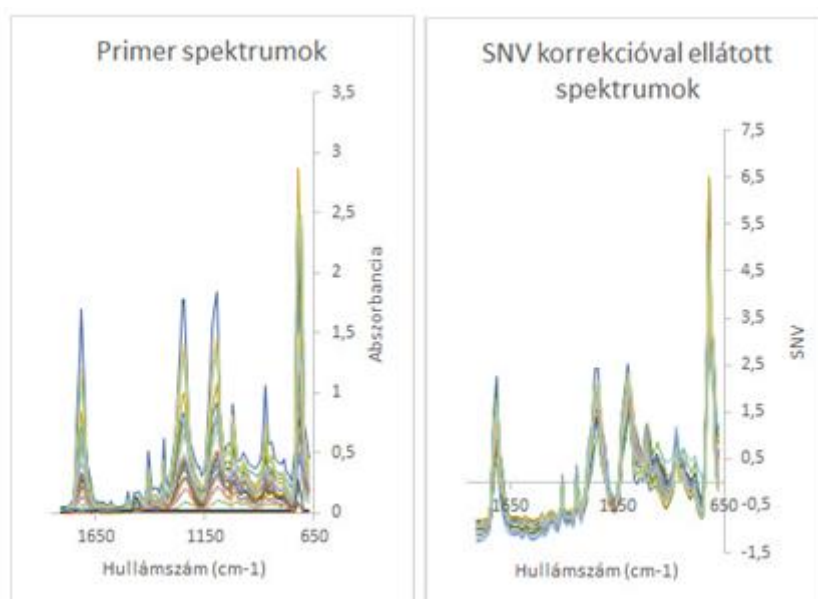
A vizsgálatokhoz a kereskedelmi forgalomban előforduló öt leggyakoribb műanyag hulladék típusát választottuk (HDPE: nagysűrűségű polietilén; LDPE: alacsony sűrűségű polietilén; PET: polietilén-tereftalát; PP: polipropilén; PS: polosztiro). A kommunális hulladékból heti gyakorisággal végeztünk gyűjtést a felsorolt öt műanyag típusra vonatkozóan. A minták válogatása és tisztítása után került sor az FT-IR spektrometriás vizsgálatra.

A spektrumokat Shimadzu gyártmányú, IRAffinity-1 típusú, HATR-10 totálreflexiós kiegészítőegységgel felszerelt FT-IR spektrométerrel vettük fel 4000-670 cm^{-1} hullámszám tartományban, 1 cm^{-1} felbontással. A jel/zaj viszony növeléséhez az időbeli átlagolás módszerével 49 egymást követően felvett spektrumnak az átlagát képeztük. A spektrumokon atmoszféra korrekciót, átlagképzésen alapuló simítást, és normalizálási eljárás-ként SNV transzformációt hajtottunk végre. A spektrumok értékeléséhez főkomponens-elemzést (PCA) és lineáris diszkriminancia analízist (LDA) alkalmaztunk.

Vizsgálati eredmények

A műanyag hulladékok kémiai összetevőinek az anyagi minőségei és mennyiségei leképződnek az FT-IR spektrumban. A spektrum mintázatát az IR aktív molekulareszkek, funkciós csoportok (metil-, metilén-, karbonil-, karboxil-, észter-csoportok, aromás gyűrű, kettős kötések stb.) fényelnyeléseinek eredője határozza meg.

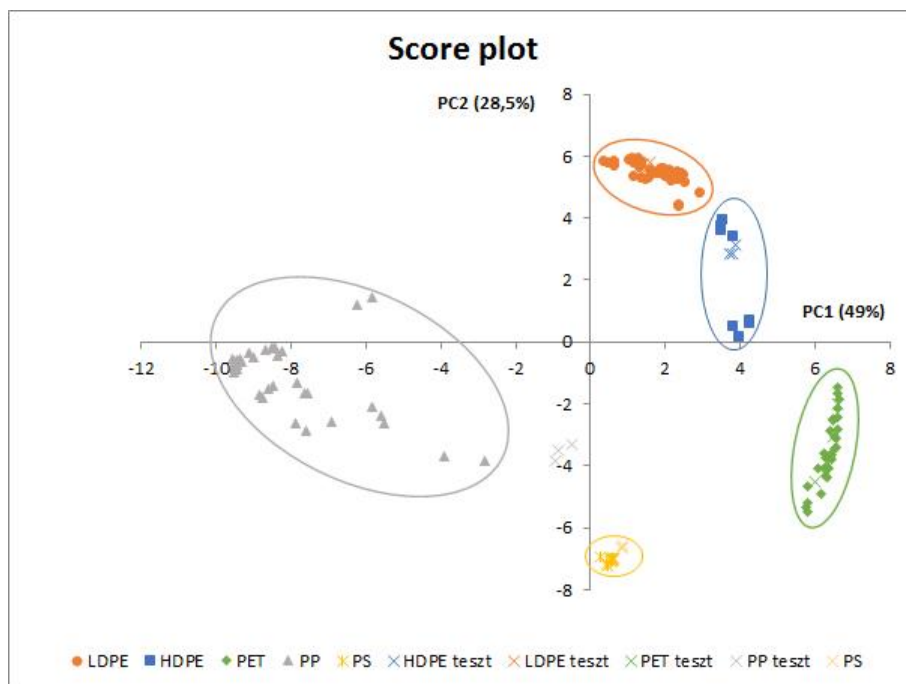
Az ATR reflexiós spektrometria lehetővé teszi a műanyagok gyors és mintaelőkészítés nélküli vizsgálatát. A fényelnyelési információ a minta felszínéről ered, így a felületi inhomogenitás, nedvesség, a próbatest felszínének egyenetlensége befolyásolja a spektrális csúcsintenzitásokat. A primer spektrumok közötti abszolút csúcsintenzitás eltéréseket spektrum előkészítési eljárásokkal küszöböltük ki. A PET minták primer és transzformált spektrumait az 1. ábra szemlélteti. A spektrumelőkészítési eljárások részlegesen kompenzálják a sztochasztikus jelenségeknek a sokváltozós adatértékelésekre gyakorolt hatásait.



1. ábra: PET minták primer és normált spektrumai

Az FT-IR spektrumok sokváltozós értékelésével a különböző műanyag hulladékok anyagtípusok szerint osztályokba sorolhatók. Az adatelőkészítési eljárásokat követően a spektrumokon főkomponens-elemzést (PCA) hajtottunk végre. A főkomponens-elemzés során a minták spektrális adatait tartalmazó mátrixon végrehajtott transzformációval új, lineárisan korrelálatlan változókat (főkomponenseket) állítunk elő. A determinisztikus főkomponensek tere felhasználható csoportelemzésre. Az egyes főkomponens vektorok egymással való korreláltatásával előállított „score plot” ábrákon megjelennek a műanyag minták spektrális, többdimenziós főkomponens-térbeli csoportosulásainak síkbeli vetületei, ahol az egyes mintákat (a spektrumokat) pontok jelképezik. A minták közötti hasonlóságokat, illetve különbözőségeket az egymáshoz viszonyított távolságok fejezik ki.

A score plot-ok információ-feltáró képessége a főkomponensek összegzett részvarianciájának függvénye. Az első két főkomponens magyarázott varianciája 78%, így már a kétdimenziós score plot ábrán is egyértelműen felismerhetők a hulladék minták anyagtípusok szerinti csoportosulásai (2. ábra).



2. ábra: Műanyag spektrumok PCA felbontásának „score-plot” ábrája

A minták elkülönítése a *score plot*-ok alapján szubjektív, vizuális megítélésen alapul, a kapott eredmény nem számszerűsített. Ezért a PCA felbontásból származó, az első két főkomponens koordinátarendszerére redukálódó lineáris diszkriminancia analízist (PCA-LDA) hajtottunk végre, mely a Mahalanobis-féle távolságok alapján sorolja csoportokba az egyes mintákat. Az egymáshoz – súlyozott távolság alapján – legközelebb lévő csoportokat vetettük össze, így módon képet kaptunk a diszkriminancia-analízis osztályobjektumokat megkülönböztető erejéről. Ha az egymáshoz legközelebb eső osztályok elkülöníthetők egymástól, akkor a *score plot*-on távolabb lévő objektumok (pontok) még nagyobb valószínűséggel tartoznak a saját csoportjukhoz. A kiválasztott osztálypárok: PP-PS, PET-PS és HDPE-LDPE referencia párok voltak. HDPE és LDPE közötti diszkriminancia-analízis eredményét az 1. táblázat tartalmazza. A táblázat első oszlopa az osztályazonosító jelet, a második a hulladék minta mérési időpontját tartalmazza, a harmadik és a negyedik oszlop a PCA elemzés objektumainak főkomponens értékeit (új koordináták) foglalja magában. Az LDA elemzés Mahalanobis távolság négyzetei az ötödik és a hatodik oszlopokban találhatóak. A hetedik, a két Mahalanobis távolság összehasonlításnak osztályozási eredményét jeleníti meg. A helyes osztályzásokot zöld, a helyteleneket piros háttérszín emeli ki.

A HDPE minták közül kettőt az LDA osztályzás LDPE-nek jelölt meg. Emellett az LDPE minták egészét jól el tudta különíteni. A PP mintákból csak egyet sorolt rossz helyre, a PS minták teljes egészében jól lettek kategorizálva. A PET és a PS objektumok egyaránt csak a saját csoportjukba lettek beosztva, így diszkriminancia-analízissel teljes mértékben elkülöníthető a kettő egymástól.

Összefoglalás

A hulladék minták spektrumainak kemometriás értékelésével igazoltuk az FT-IR spektroszkópia alkalmazhatóságát műanyagok válogatására közepes infravörös tartományban is. A PCA főkomponensek *score plot* ábrái alapján megállapítható az elkülönülés az egyes csoportok között és ez a diszkriminancia-analízissel számszerűsíthető. A diszkriminancia-analízis az összes tesztre 98%-os pontossággal visszaigazolta a műanyagok típusát.

1. táblázat: HDPE és LDPE osztályok összehasonlítása LDA módszerrel az egyesített adathalmaz főkomponens koordinátarendszerben

Osztály	Időpont	PC1	PC2	D _{HDPE} ²	D _{LDPE} ²	Discr
HDPE	04-10 1	0,497814	0,549288	8,07	2,73	LDPE
HDPE	04-10 1	0,515445	0,560676	8,40	2,52	LDPE
HDPE	04-10 2	2,66314	2,525042	3,58	28,96	HDPE
HDPE	04-10 2	2,621018	2,503552	2,85	30,49	HDPE
HDPE	07-27 2	3,125711	2,972188	6,34	42,51	HDPE
HDPE	07-27 2	3,239414	3,070144	7,36	44,16	HDPE
HDPE	07-27 3	0,247673	0,467172	8,67	24,43	HDPE
HDPE	07-27 3	0,44245	0,714956	16,97	47,32	HDPE
LDPE	03-26 1	-0,11489	-0,06953	24,46	0,34	LDPE
LDPE	03-26 1	-0,18617	-0,11266	21,45	0,03	LDPE
LDPE	04-10 2	-0,1206	-0,05005	20,03	0,00	LDPE
LDPE	04-10 2	-0,05561	-0,00192	21,04	0,05	LDPE
LDPE	04-10 3	0,423719	0,410884	19,48	1,14	LDPE
LDPE	04-10 3	0,400799	0,398647	18,08	0,88	LDPE
LDPE	04-10 4	-0,07231	-0,00099	18,54	0,04	LDPE
LDPE	04-10 4	-0,22251	-0,13829	20,73	0,06	LDPE
LDPE	04-24 1	-0,32486	-0,2585	27,20	0,55	LDPE
LDPE	04-24 1	-0,29133	-0,23502	28,12	0,75	LDPE
LDPE	06-10 1	-0,20513	-0,11122	18,74	0,20	LDPE
LDPE	06-10 1	-0,23783	-0,1445	19,73	0,15	LDPE
LDPE	06-10 2	-0,19578	-0,15325	27,74	0,81	LDPE
LDPE	06-10 2	-0,14621	-0,12049	29,73	1,39	LDPE
LDPE	06-10 3	-0,24133	-0,20192	30,03	1,25	LDPE
LDPE	06-10 3	-0,19213	-0,15565	28,94	1,09	LDPE
LDPE	06-10 5	-0,24017	-0,17497	24,64	0,24	LDPE
LDPE	06-10 5	-0,2902	-0,2101	23,47	0,14	LDPE
LDPE	06-10 6	0,418812	0,458095	11,06	1,37	LDPE
LDPE	06-10 6	0,504914	0,549489	8,67	2,37	LDPE
LDPE	06-10 7	-0,27689	-0,21369	26,22	0,43	LDPE
LDPE	06-10 7	-0,30293	-0,24532	28,25	0,76	LDPE
LDPE	07-22 2	-0,21434	-0,15001	23,97	0,18	LDPE
LDPE	07-22 2	-0,19102	-0,12321	22,60	0,07	LDPE
LDPE	07-22 3	0,052658	0,161763	10,89	2,39	LDPE
LDPE	07-22 3	0,109243	0,197416	11,84	1,44	LDPE
LDPE	07-22 4	-0,1632	-0,05098	15,24	1,01	LDPE
LDPE	07-22 4	-0,34585	-0,20795	16,68	1,49	LDPE
LDPE	07-23- 1	0,200728	0,272563	11,74	1,23	LDPE
LDPE	07-23- 1	0,166957	0,244941	11,75	1,30	LDPE
LDPE	07-23- 2	-0,03303	0,04596	16,34	0,27	LDPE
LDPE	07-23- 2	0,168043	0,243165	12,06	1,16	LDPE
LDPE	07-24- 1	-0,26585	-0,19553	24,49	0,22	LDPE
LDPE	07-24- 1	-0,2677	-0,2036	25,74	0,37	LDPE
LDPE	07-27 1	-0,18574	-0,09963	19,38	0,09	LDPE
LDPE	07-27 1	-0,35239	-0,2686	24,77	0,26	LDPE
LDPE	07-27 2	-0,27026	-0,196	23,90	0,16	LDPE
LDPE	07-27 2	-0,22082	-0,14496	22,09	0,05	LDPE

Köszönetnyilvánítás: A kutatómunka a „Fenntartható Nyersanyag-gazdálkodási Tematikus Hálózat – RING 2017” című, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 jelű projekt részeként a Széchenyi 2020 program keretében az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- BARNES, D. K., GALGANI, F., THOMPSON, R. C., BARLAZ, M. (2009): Accumulation and Fragmentation of Plastic Debris in Global Environments. *Philosophical Transactions: Biological Sciences*, 1985-1998.
- HAMAD, K., KASEEM, M., DERI, F. (2013). Recycling of waste from polymer materials: An overview of the recent works. *Polymer Degradation and Stability*, 2801-2812.
- KAIHARA, M., SATOH, M., SATOH, M. (2007): Systematization Method for Distinguishing Plastic Groups by Using NIR Spectroscopy. *Anal. Sci.* 23 (7) 921-924.
- SCHEIRS, J. (1998): *Polymer Recycling: Science, Technology and Applications*, Chichester, UK: John Wiley & Sons, ISBN-10: 0471970549, Sorting and Separation Techniques 1-62.
- ZHU, S., CHEN, H., WANG, M., GUO, X., LEI, Y., JIN, G. (2019): Plastic solid waste identification system based on near infrared spectroscopy in combination with support vector machine. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research* 2. 77-81.

LOVAK ALKALMAZÁSA ÉS JÖVŐJE A HAZAI FAHASZNÁLATOKBAN

SZAKÁLOSNÉ MÁTYÁS KATALIN, FEKETE GYÖRGY, HORVÁTH ATTILA LÁSZLÓ
Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Erdészeti-műszaki Környezettechnikai Intézet
szakalosne.matyas.katalin@uni-sopron.hu

Bevezetés

Az elmúlt évek, évtizedek alatt hatalmas, robbanásszerű fejlődés, változás volt megfigyelhető a hazai fakitermelések gépesítésében. Amíg ezelőtt 50-60 évvel a faanyagmozgatási munkák nagy részét fogatos közelítéssel oldották meg, napjainkra az erdőben dolgozó gépek szinte teljesen kiszorították a lovakat az erdészeti munkákból. A kutatás azt hivatott felmérni, hogy bizonyos területeken, fakitermelési módokban, munkarendszerekben lehet-e létjogosultsága még napjainkban és a jövőben is a lovak alkalmazásának.

Vizsgálati anyag és módszer

Hazánkban 1955-ben az erdei munkára használt lovak száma 5918 darab volt, ez a szám 1981-ben már csak 1747, és 1991-ben az ERTI felmérése szerint már csak 950 (GÓLYA, 2003). Napjainkban nagyon kevés lovat használnak erdei munkákra. A vadászatok, az erdei turizmus során kapnak, nagyobb szerepet, faanyag közelítésére egyre ritkábban alkalmaznak lovakat.

Az erdőgazdálkodásban alkalmazott lovak számának meghatározására nagyon kevés forrás áll rendelkezésünkre. Ficsor Csilla és Malatinszky Ákos 2013-as felmérése alapján, amelyet 11 erdőszelvény 14 vállalkozójánál, és további 2 magánerdőben, összesen 17 különböző területen végeztek el, a lovas közelítéssel foglalkozó vállalkozók aránya az állami területeken 25,86% volt. A lovak használata a területi megoszlás szerint főként a hegyvidékeken jellemző, leginkább a nehezen feltárható területeken. A felmért helyszínek döntő többsége védett természeti terület volt, sőt fokozottan védett terület is akadt köztük, ebből is látszik, hogy a fogatos közelítést ott alkalmazzák elsősorban, ahol az újulat védelme, az erdő értékes faállománya valamint a területen fellelhető természeti értékek élvezetét elsősorban a teljesítmény orientált gépi közelítéssel szemben. Továbbá elmondható még, hogy azoknál az erdőszelvényeknél, ahol a vadgazdálkodásban, azaz a vad etetéséhez, illetve vadászatához alkalmaznak lovas fogatokat, elvélve előfordul faanyagmozgatás a lovas fogatok segítségével.

Több erdőszelvényen is elhangzott, hogy lenne igény a lovak munkájára, de nagyon sok akadályba ütközik a megvalósítás. A két legfontosabb akadályozó tényező az, hogy kevés a lovakhoz szakmailag értő ember, illetve a kifejezetten ilyen célokra tenyésztett ló. Másik nagy probléma, hogy sokszor nincs annyi munkája az erdőszelvényeknek, ami egy lovas vállalkozót fenn tudna tartani, hiába is lenne igény egy-egy területen rájuk. További gond, hogy sokan szeretnék lóval dolgozni, azonban azok mindennapi ellátásáról kevesen képesek gondoskodni (FICSOR-MALATINSZKY, 2014).

A terepi munkák a Dél-Bakonyban, a Szentgáli Erdőbirtokosság erdőterületén zajlottak, 450-550 méteres tengerszint feletti magasságon, keleti kitérű oldalon, amelynek lejtése 5-10° közötti volt. A termőhely többletvízhatástól független, közép mély termőréteggel rendelkező rendzina talaj volt, vályog fizikai talajféleséggel. Az ott dolgozó lovas vállalkozó egyedül, egy lóval végezte az előközelítést, majd a közelítést forvarderrel hajtották végre. Az erdőszelvényt örökzöld (szálató erdő) szeretnék átalakítani, hogy a most egykorú állományból egy vegyeskorú, diverzebb, fajgazdagabb természetű és kutatások szerint a betegségekkel szemben ellenállóbb erdőállomány legyen. A területen már voltak olyan részek, ahol megjelent az újulat, amely védelmének elsődleges szempontja miatt jött szóba a lovas közelítés.

A ló vezetése mind az üres, mind a teherjáratok során földről történt. A vezetőnek nagyon fontos feladata volt továbbá, hogy figyelje a ló fizikai állapotát, ha szükséges szünetet tartson vele,

vagy kisebb rakományt közelítsen kisebb távolságról. A láncos közelítést (1. ábra) a faanyag méretétől függően vagy egyesével, vagy több hengeresfa összeláncolásával oldották meg, oly módon, hogy a hámfához kapcsoló láncot ráhurkolták a fára, vagy rakományra, amely mozgítás közben egyre erősebben rászorult.



1. ábra: Láncos vonszolásos közelítés (FEKETE, 2019)

A lovas közelítés értékelésének érdekében idő-, teljesítmény-, és költségelemzés történt. A közelítés során rögzítésre került a közelítés távolsága, a hozzá tartozó közelítési idő és a közelített faanyag térfogata. A közelítés idejét négy különböző szakaszra bontva, a műveletelemek időszükségletének mérésére is volt lehetőség, amelyek az alábbiak voltak:

Üresjárat: a ló a közelítőnyomtól teher nélkül a közelítendő faanyaghoz megy, miközben vezetője igyekszik a legkönnyebb úton odavezetni őt a földről irányítva. Itt nagy eltérések figyelhetőek meg, amelyet nem csak a faanyag közelítőnyomtól való távolsága befolyásolt, hanem a domborzatnak is nagy szerepe volt abban, hogy a ló mennyi idő alatt tudott eljutni céljához.

Felterhelés: a ló megáll a közelítendő faanyag előtt, vezetője felcsatolja a láncot a bütükre. Ezekben az eredményekben nagy eltérés nem volt megfigyelhető.

Teherjárat: a ló indulásától a teherrel a közelítőnyomhoz érkezésig eltelt idő. Itt is elég nagy eltérések figyelhetőek meg a mérések között, amit szintén nem csak a közelítés távolsága, hanem legnagyobb mértékben a lejtviszony, és az akadályozó tereptárgyak befolyásoltak. Többször előfordult, hogy egy nagyobb teher közelítése lejtőn, nagyobb távolságról kevesebb ideig tartott egy kisebb teher, rövidebb távolságról való közelítésénél emelkedően. Volt jónéhány elakadás is, ami szintén befolyásolta a munkafolyamat hosszát.

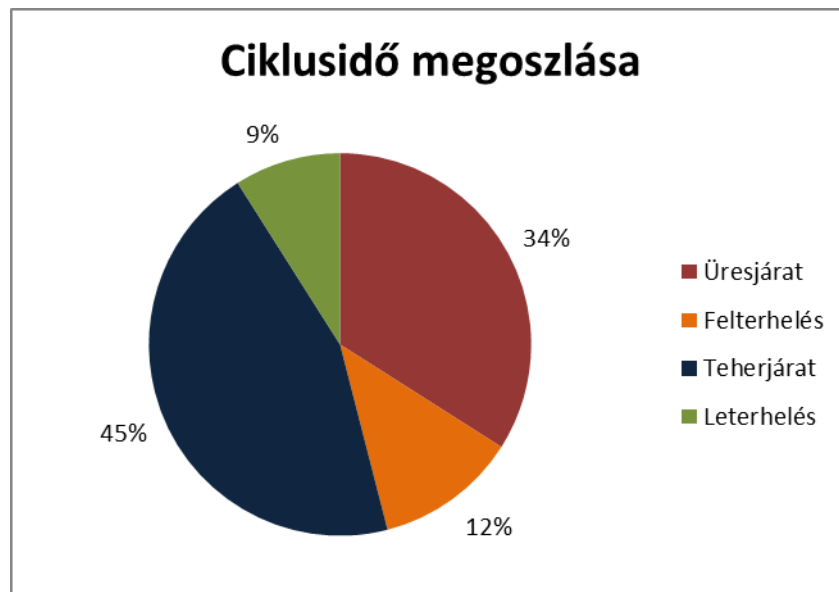
Leterhelés: a ló megáll a közelítőnyomon, vezetője lecsatolja a terhet, majd irányba fordulnak a következő fordulóért. A legkevesebb eltérés itt volt tapasztalható.

A közelítési távolságok méréséhez a díjugrató versenyeken használatos mérőkerék szolgált, amivel pontosan követhető volt a ló útvonala, továbbá figyelembe lehetett venni a különböző terepviszonyokat is. Az idő stopperórával, a faanyag középátmérője átlalóval, hossza mérőszalaggal került mérésre.

Vizsgálati eredmények

Munkaidőszervezet

A különböző műveletek időtartamát összeadva állapítható meg a ciklusidő, amely a közelítés teljes folyamatának időszükségletét jelenti, tehát nem csak a felterhelés, teherjártat és leterhelés, hanem az üresjártat ideje is hozzátartozik. A terepi felvételezés során a műveletelemek időszükségeinek rögzítésével meghatározható az egyes közelítési ciklusok időszervezete (2. ábra).



2. ábra: Lovas közelítés munkaidőszervezete (FEKETE, 2019)

A mérések alapján megállapítható, hogy az egyszerre közelített faanyag átlagos térfogata 0,416 m³ volt, a közelítés átlagos távolsága pedig 61 m. Az üresjártatok és teherjártatok idejét a közelítési távolság függvényében összehasonlítva nem mondhatjuk azt el, hogy a teherjártatok minden esetben több időt igényelnének az üresjártatoknál, ezt a megállapítást a változó, olykor nehéz terepviszonyal indokolhatjuk. A közelítés során nagymértékben befolyásolja a ló sebességét, hogy lejtőn vagy emelkedőn kell mennie. Több mérésnél is előfordult, hogy amikor a közelítőnyomtól üresjártatban emelkedőn ment és teherjártatban lejtőn, az üresjártat több időt vett igénybe a teherjártatnál, hiszen egy meredekebb emelkedőn akár több alkalommal is meg kellett állniuk pihenni.

Teljesítmény

Az óránkénti közelített fatérfogat a ciklusidő és az átlagos rakatnagyság alapján határozható meg. Nyolcórás műszakra vetítve kapjuk meg a produktív idő teljesítményét, ami azt a teljesítményt jelenti, amelyet akkor lehetne elérni, ha a ló egész nap (8 órában) folyamatosan dolgozna. Ez persze a mindennapokban elképzelhetetlen, hiszen lónak és vezetőjének is szüksége van pihenésre, amely idő a tapasztalatok alapján naponta körülbelül 1,5 óra volt, így ezt levonva a 8 órás munkaidőből, az ezen idő alatt közelített faanyag mennyisége adta a maximális teljesítményt.

A valóságban azonban ez még mindig irreális adat, hiszen nem számolunk a rövid pihenőkkel, elakadásokkal, ezért használatos az átlagos kihasználtsági tényező (60%), amellyel redukálva az eredményt megkapjuk a várható teljesítményt (1. táblázat).

1. táblázat. A lovas közelítés teljesítménye (FEKETE, 2019)

Közelítés teljesítménye	
Ciklusidő	0,169 h
Átlagos rakatnagyság	0,416 m ³
Átlagos közelítési távolság	61 m
Óráként közelített fatérfogat	2,47 m ³ /h
Produktív idő teljesítménye	19,76 m ³ /nap
Pihenőidő egy napon	1,5 h
Maximális teljesítmény	16,055 m ³ /nap
Várható teljesítmény	9,633 m ³ /nap

Költségek

A lovas közelítés fajlagos költségének megállapítására jó közelítéssel alkalmazható a gépek eszközök üzemórák költségének kalkulálásához használt séma (természetesen az állattartás fel-tételeire adaptálva), amelyben az alábbi tényezők szerepelnek (RUMPF, 2016):

állandó költségek;

feltételesen változó költségek;

változó költségek, üzemköltségek;

járulékokkal növelt bérköltségek.

Képlet segítségével kalkulálva:

$$k_{oi} = \frac{A \times a}{J \times 100} \times (1 + r) + \frac{A \times p}{J * 200} + 1,27 \times B + \frac{E}{J} + \frac{T}{J} + \frac{P \times F}{100}$$

ahol: A= ló beszerzési ára (Ft);

a= amortizációs kulcs (%);

J=évi üzemórák száma (óra);

r=orvosi ellátás (-);

p=banki kamat (%);

1,27=bérjárulék-szorzó (-);

B=kezelők alapórabére (Ft/óra);

E=egyéb költségek: felszerelés, eszközök, adó, biztosítás, ló tartás (Ft/év);

T=áttelepülésekkel (szállítással) kapcsolatos költségek (Ft/év);

P=kihasználás foka (%);

F=üzemköltség (Ft/pr.óra).

Mivel a lovak beszerzési ára, valamint a ló tartással kapcsolatos költségek tág határok között mozoghatnak, illetve az állatot akkor is gondozni, etetni kell, amikor munkavégzés nem folyik vele, valamint a szükséges eszközök árai is mértékadóan eltérhetnek, ezért átlagadatokkal számolva a fajlagos költség napjainkban 2000-3000 Ft/üző -ban állapítható meg.

Vizsgálati eredmények értékelése, megvitatása, következtetések

A kutatás során alátámasztást nyert az a feltevés, miszerint a lovas közelítés csak rövid közelítési távolság esetén lehet gazdaságosan alkalmazható módszer, akkor is leginkább gyéritek során, ahol az egyszerre közelítendő fatérfogat nem haladja meg az 1,5 m³-t, és ahol fontos az erdőben visszamaradó állomány védelme. 200 m-es közelítési távolságok felett, ha gépi közelítés is alkalmazható, akkor a lovas közelítési módszerek az egyszerre vonszolható kis mennyiségű faanyag miatt már nem gazdaságosak.

Az erdészeti üzem gépesítése előtt, általános volt a lovak használata az erdőgazdálkodásban, a közelítési munkák jellemzően lovak segítségével történtek, de mára már a gépesítés fejlődésével arányosan szorult vissza az állati erő. A mértékadó tényezők és jellemzők – a fakitermelési költségek mérséklésére történő törekvések miatt – a költséghatékonyság, gyorsaság és teljesítmény lettek, aminek már csak a gépesített üzemek tudtak eleget tenni.

Manapság azonban az egyre növekvő elvárás (a társadalom oldaláról is) a természetközeli és környezetkímélő technológiákkal szemben talán mégis létjogosultságot adhat a lovak használatának az erdőkben. Másrészt az erdész szakma mindig is a hagyományok, és elődeink tiszteletén alapult, ezért sem szabad hagynunk, hogy a mai gépesített, rohamos ütemben fejlődő világunkban egy ilyen hosszú múltra visszanyúló technológia a feledés homályába merüljön.

Azt azonban tudomásul kell vennünk, hogy profitorientált gazdaságunkban ez a hagyományos, környezetkímélő módszer nem veheti fel a versenyt a gépesített technológiákkal, de ott, ahol a természetvédelem korlátozza a gépek munkáját egy jó megoldás lehet az erdőgazdálkodási munkák elvégzésére. További nehézsége még a lovas munkáknak a megfelelő szakképzett munkaerő hiányán kívül, hogy a gépekkel ellentétben a ló folyamatos törődést igényel azokon a napokon is, amikor nem dolgozik, ez pedig azt jelenti, hogy folyamatos költséget jelent tartója számára. Az elmúlt 40-50 évben azon lovak száma drasztikusan lecsökkent, amelyeket valóban munkára használtak, akár fuvarozásban, mezőgazdaságban vagy éppen az erdőgazdálkodás területén. Manapság a lovak sport, valamint hobbi célú tartása és használata került előtérbe.

Köszönetnyilvánítás: A tanulmány/kutatómunka a „Fenntartható Nyersanyag-gazdálkodási Tematikus Hálózat – RING 2017” című, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 jelű projekt részeként a Szechenyi2020 program keretében az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

Irodalomjegyzék

- FEKETE GY. (2019): Lovas közelítés napjaink fahasználataiban. Diplomamunka. Sopron.
- FICSOR CS. – MALATINSZKY Á. (2014): A lovas közelítés, mint természetkímélő anyagmozgatási módszer helyzete a haza erdőterületeken. Tájökológiai Lapok, 12. évfolyam, 1. szám, 127-135.
- GÓLYA J. (2003): Fakitermelési rendszerek gyérítésekben. Doktori értekezés. Sopron.
- RUMPF J. (szerk.) (2016): Erdőhasználat. Mezőgazda Kiadó. Budapest.

KÖTÉLPÁLYÁS KÖZELÍTÉS VIZSGÁLATA A SOPRONI HEGYVIDÉKEN

SZAKÁLOSNÉ MÁTYÁS KATALIN, GIMESI KRISTÓF SZILÁRD, MAJOR TAMÁS, HORVÁTH ATTILA
LÁSZLÓ

Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Erdészeti-műszaki Környezettechnikai Intézet
szakalosne.matyas.katalin@uni-sopron.hu

Bevezetés

A sík és enyhe lejtésű területeken, valamint hegyvidéken 45%-os lejtésig az anyagmozgatás könnyen megoldható jó terepjárású törzskormányzású közelítőgépek alkalmazásával. A meredekebb, mély árkokkal szabdaltnak, vagy nehezen járható (pl. vizes, mocsaras, vagy éppen sziklás) területeken erre alkalmasabb közelítési eszközöket és módszereket kell használnunk. Az acélköteles közelítőberendezések közül a kötélpályák kiváló alternatív megoldást jelentenek, viszont alkalmazásuk a kiugróan magas üzemóra költségeik miatt nem elterjedt, az ilyen berendezésekkel végrehajtandó fakitermelések alapos tervezést, előkészítést igényelnek és végrehajtás során tapasztalatot igényelnek amelyeket e kutatás is hivatott feltárni.

Vizsgálati anyag és módszer

A közelítő kötélpályák, a kötélpályák speciális erdészeti változatai. Kötélpályát több más termelő ágazat is használ (bányászat, építőanyagipar stb.). Ezekre a kötélpályákra az a jellemző, hogy a nyersanyagforrást és a felhasználóhelyet (pl. agyagbánya és téglagyár) kapcsolják össze, ezért helyük állandó. Ezzel szemben az erdészeti közelítő kötélpályák a kíméletes közelítés korszerű eszközei, és munkahelyük a mindenkori fakitermelés helyéhez kötődik (HORVÁTH, 2016).

A kötélpályák alkalmazása a háború után az 50-es években kezdett elterjedni, szinte az egész Északi-középhegységben és a Pilisben a nehéz terepeken, az igen meredek hegyoldalokon csak ezt a megoldást alkalmazták. A nagyarányú alkalmazáshoz az is hozzájárult, hogy akkoriban még nagyon kevés feltáró út volt, hiszen az intenzív erdőfeltárás csak 1957-től indul meg. Ebből az időszakból származó leírások a kötélpályát már úgy emlegetik, mint a meredek terek legcélszerűbb közelítő eszközét, amely megkíméli az újulatot és a talajt. A magyarországi kötélpályás közelítések történetében új mérföldkövet jelentettek a 80-as években vásárolt 10 db gép. Az ezt követő időszakban a korábbi, többnyire gravitációs rendszerű pályákat korszerűbb, ár-bócós kialakításúak váltják fel, ami gyorsabb, többnyire járműre (traktorra, tehergépkocsira) történő szerelést eredményezett, ami lehetővé tette a gyorsabb áttelepítést. Korszerű vezérlő berendezések is megjelentek, esetenként már távirányítóval dolgoztak. Néhány negatív tapasztalat is született azonban a szerkezetekkel kapcsolatban. Egyes kötélpályák túlméretezettnek bizonyultak, csak nagy faanyag-koncentráció esetén volt gazdaságos alkalmazásuk, vagy nem rendelkeztek hirtelen szakítóerővel szembeni biztosítással, egyes típusoknál a két dob (tartókötél, vonókötél) korlátozott „gravitációs rendszerű” működést tett lehetővé. Zsilvölgyi László erdőmérnök, aki 1962-ben kezdett el foglalkozni a kötélpályákkal, szinte egész életére „elkötelezte” magát emellett. Nagy szakértelemmel, kiváló technikai megoldásokkal, saját tervezéssel hozta létre a többnyire még ma is működő kötélpályáit.

Az első soproni kötélpálya egy KÜPFER MF-10-es volt, ami 1960-tól 10 éven át működött. Egy volt brennbergi bányászokból álló, kiválóan képzett 3-4 fős csapat végezte vele a munkát. Külön érdekessége a dolognak, hogy a Sopron környéki fenyvesekből főleg kérgezett vezetőkoszlopot közelítettek vele, ahol nagyon fontos volt, hogy a fa tisztán, sármentesen érkezzon a vevőkhöz. Erre pedig a levegőben való továbbítás volt a legalkalmasabb.

A teljes szívvel és erőbedobással dolgozó csapat a leghetlenebb helyekről is képes volt kihozni a faanyagot. Az alsó állomásra érkező fát sínen mozgó pályakocsival rendezték.

A 80-as évek elején került a TAEG Zrt.-hez a jelen munkában is vizsgált Koller 300-as közelítőgép, amelyet olyan hegyvidéki területeken alkalmaznak, ahol más közelítő eszközzel nem, vagy csak nagy károkozás árán lehetne dolgozni. Kiemelendő, hogy számos fakitermelési feladatuk során előtérbe kell helyezni a kíméletes megoldásokat, mivel az Erdőgazdaság erdőállományai nagyarányban állnak valamilyen természetvédelmi oltalom alatt, esetleg talajvédelmi rendeltetésűek. Napjainkban a „köteles közelítéssel” járó feladataik nagy részét a Roth Gyula Erdészeti, Faipari, Kertészeti, Környezetvédelmi Szakgimnázium, Szakközépiskola és Kollégium tulajdonában lévő KOLLER 300-as géppel (1. ábra) végzik el, amelyet vállalkozó üzemeltet. Elsősorban különböző előhasznalatok elvégzésére használják, mivel kisebb felépítésével nehezen megközelíthető területeken is tud dolgozni, valamint a visszamaradó állományban a lehető legkisebb kárt okozza (GIMESI, 2019).



1. ábra: K300-as munka közben (GIMESI, 2019)

A gép kizárólag hegyirányú közelítésre alkalmazható, tehát az alacsonyabb térszínről magasabbra „húzza fel” a faanyagot. A pálya maga gyakorlatilag 2 kötélből áll. A tartókötélen, amelyet főkötélnak is hívnak, mozog a kocsi, míg a húzókötelet csörlőzve végzik a kocsi mozgatása. A teherfelvétel során a kocsit a felvevő helyre kell mozgatni, az állítószervezetből kioldódik a vonóhorog, így a kötélt kihúzható és az előzőleg chokerrel átkötött rakomány a vonóhorogra akasztható. Ezután megindulhat a csörlőzés. A vonóhorognak a kocsihoz való bekapcsolódása után indulhat a kocsi a teherrel, a tartókötélen a hegy felé a fogadóállomásig, ahol az előzőekhez hasonlóan történik a vonóhorog oldása, majd a tehernek a földre helyezése, kikötése, és a vonóhorognak a visszahúzása. Ezt követően völgymentbe a kocsi visszatér további faanyagért (KÁLDY, 1986).

Ennek megfelelően szakszerű használatához elegendő 4 fő, egy kezelő, egy ember köti le a beérkező faanyagot, kettő ember pedig az állományban darabolja, valamint köti fel a rakományt. Esetenként előfordulhat, hogy három ember dolgozik az állományban, és a gépkezelő maga végzi a lekötést. Az egyik állományban dolgozó ember gyakorlatilag az alsó kezelő, mivel ő tartja a kapcsolatot rádiókészüléken keresztül a gépkezelővel, így módon állítva be a kocsi helyzetét, valamint engedtetni a húzókötelet, a könnyebb kötözés és behúzás érdekében.

A kutatás során két erdőrészlet (1. táblázat) fakitermeléséből származó faanyag közelítésének vizsgálata zajlott.

1. táblázat: A vizsgált erdőrészek (GIMESI, 2019)

	Sopron 112A	Sopron 97B
Terület (ha)	8,44	19,97
Fakitermeléssel érintett terület (ha)	8	8
Faállomány jellemző	Főként lomb	Főként fenyő
Maximális pásztahossz (m)	225	300
Kitermelt faanyag mennyisége (m³)	280	220
Vállalkozói díj (Ft/m³)	8500	9000

A terepi adatgyűjtés során az időmérések stopperórával, haladó (folyamatos) időméréses módszerrel alkalmazva zajlottak. A gép működési elve és a terep által adott tulajdonságok alapján a következő műveletelemek kerültek elkülönítésre az adatgyűjtés során:

Üresjárat: /s₁ távolságon/: A művelet elem kezdete a futókocsi megindulásától indul és mindaddig tart, amíg a kötözők az alsó rádióval be nem állítják maguknak a megfelelő helyzetre és lefékeznek azt.

Felterhelés: A húzókötel leengedésével kezdődik, amelyet a közelítendő fához visznek és folyamatosan felkapcsolnak. A felkapcsolt faanyag behúzásával végződik ez a művelet elem. Amennyiben szükség volt rá a döntés folyamán fennakadt faanyag lehúzásának időszükségletét is ebbe a művelet elembe rögzítettük.

Teherjárat: /s₁ távolságon/: Addig tart ez a művelet elem, amíg a felkapcsolt faanyag a géphez nem ér a lekapcsolás helyére, ahol a felső kezelő behúzza a futókocsi fékjét.

Lekapcsolás: Kezdete a faanyag leeresztése, amelyet a kötöző lekapcsol. A húzókötel visszacsörlőzéséig tartott.

Várakozás: A művelet elemek közötti várakozáson kívül a szerelési idők, valamint a pihenőidők, illetve az étkezési idők (reggeli 30 perc, ebéd 30 perc) is terhelték az általában 8,5 órás munkanapot.



2. ábra: Faanyagleterhelés Sopron 97B (GIMESI, 2019)

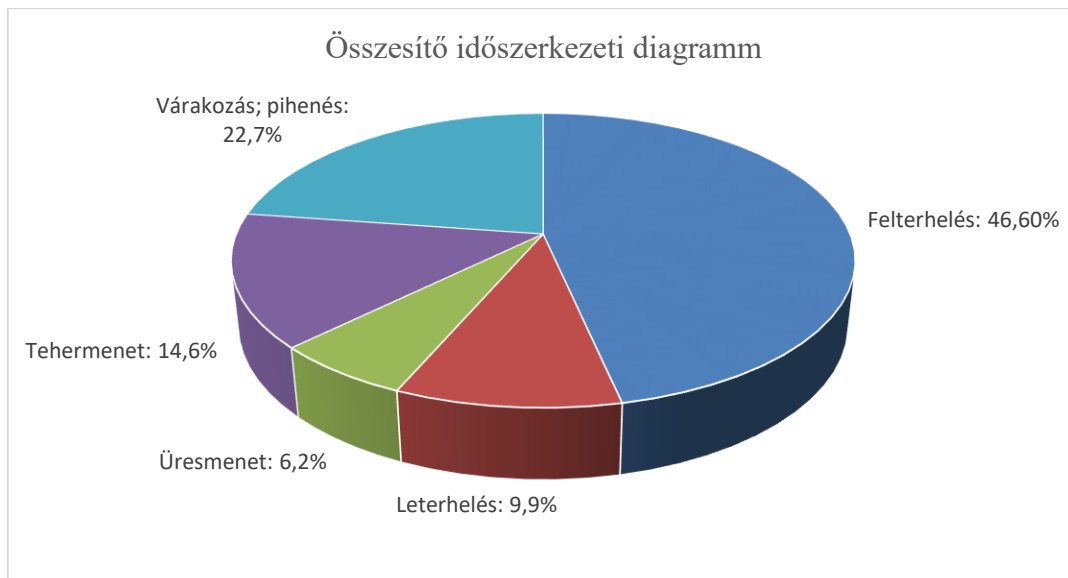
A köteles közelítés, mint művelet sok tevékenységet foglal magába a konkrét közelítési folyamaton kívül, ennek oka az összetett szerkezeti felépítésben keresendő. Esetünkben az alapgép, vagyis a Zetor 12045 traktor, a vágásterületen kívül állt fel, a közelítés gyakorlatilag a legkíméletesebben, vonszolva, rövidebb faanyag esetén lebegve ment végbe. A mérések során területenként megfigyelhető kiugró közelítési időeltérések a pásztákban kitermelt faanyag szétszórt (nem végeztek előzetes összegyűjtést, előközelítést) elhelyezkedésére volt visszavezethető. Az

étkezések időtartama a várakozás műveletelemhez került, a kisebb szünetek is. A telefonálást legtöbbször igyekeztek a munkavégzők a maguk „holtidejében” elintézni. Ilyen időszak pl. amikor az alsó kötözők a felkapcsolást és az előközelítést végzik, majd a közelítés időtartama alatt zajlik a rakodón a lekötöző várakozik a faanyagra.

Az időméréssel párhuzamosan megállapításra és rögzítésre került az előközelítés és közelítés távolsága, a közelített faanyagok darabszáma, sorszám. Az egyes közelített fák köbözéshez szükséges adatainak (fafaj, csúcsátmérő és hossz) megmérése a rakodókon zajlott biztonsági okokból, de ügyelve a beazonosításra.

Vizsgálati eredmények

A terepi mérések segítségével készült munkaidő-tanulmány (3. ábra) jól mutatja, hogy a kötélpályás közelítés során a felterhelés bír a legnagyobb időszükséglettel. A vizsgált területeken ez még dominánsabb, mivel gyérítésekről lévén szó, sok fennakadt fa lehúzását is el kellett elvégezni. Számottevő továbbá a pihenésre, várakozásra fordított idő is.



3. ábra: Munkaidő-szerkezet (GIMESI, 2019)

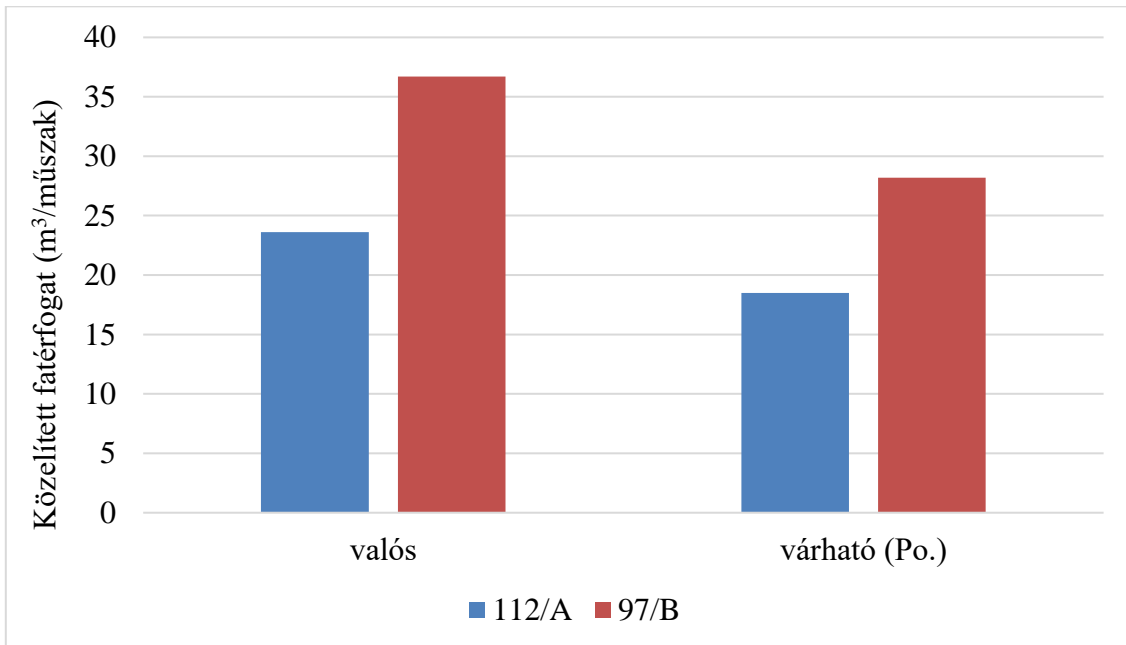
Az adatgyűjtés alatt meghibásodás nem történt, a K300-as esetében napi, heti, illetve havi rendszerességű karbantartásokról nem beszélhetünk, amelynek oka a viszonylag egyszerű szerkezeti felépítésben keresendő. Szezonális karbantartási munkák az olajcserék (alapgép + kötél-daru), valamint zsírozási feladatok (kocsi + kötél-daru).

A fakitermelés télen zajlott, sokszor meglehetősen zord körülmények között (hóesés, szél), így természetes, hogy ezeken a napokon a brigád jóval több időt töltött pihenéssel, a reggel megrakott tűz mellett (4. ábra). A várakozás időtartamába kalkuláltuk azokat az eseteket is, amikor a felhúzás során a faanyag elakadt, pl. tuskóba, földön fekvő, döntött faanyagban, vagy a már túl magasra felrakodott, a berendezés előtt található máglyában. Látható, hogy a tehermenet több mint duplája az üresmenetnek, amely a nagy lejtéssel, és nehéz tereppel magyarázható (4. ábra).



4. ábra: Meredek terület és kedvezően időjárási körülmények (Fotó: HORVÁTH, 2019)

A mért idő és fatérfogat adatokból számolható a gép aktuálisan tapasztalt teljesítménye (m^3/h), illetve kalkulálható az átlagos gépkihasznátsági tényezővel (hazánkban $p=60\%$) számított várható teljesítmény (5. ábra), persze hasonló befolyásoló tényezőket feltételezve. Látható, hogy a mérések alkalmával jelentősen jobb gépkihasznátsági tényezőket tapasztaltunk az országos átlagnál. A két erdőrészlet teljesítmény adatainak eltérését magyarázza, hogy a Sopron 112/A-t termelték előbb, itt szembesült a brigád a nehezebb körülményekkel, több napon keresztül kellett rossz időjárási körülmények közt dolgozniuk, valamint itt adódott több technikai nehézség is. A 97/B erdőrészletben jelentősen jobb körülmények közt végezték a közelítést, és valószínűleg a határidő közeledtének is teljesítményfokozó szerepe volt. Ezekkel együttesen magyarázható, hogy a rövidebb pásztahossz ellenére is az első részletben jóval több időt töltöttek el.



5. ábra: Teljesítmények az egyes erdőrészletekben (GIMESI, 2019).

Vizsgálati eredmények értékelése, megvitatása, következtetések

Megállapítható, hogy a Koller 300-as olyan erőrészletekben alkalmazható gazdaságosan anyagmozgatásra, amelyekben a rendelkezésre álló faanyag koncentrációja megfelelő. Magas üzemóraköltséggel üzemeltethető, bérrel együtt egy 4 fős brigáddal számolva 11.000 Ft/üzemóra, bér nélkül 6.000 Ft/üzemórával lehet tervezni (2020-as adatokkal kalkulálva). Ebből következik, hogy a gép gazdaságos használatához magas szintű munkaszervezésre, és a kezelő személyzet tekintetében kellő szakmai tudásra van szükség. Amennyiben ezek a feltételek teljesülnek, márpedig a vállalkozó és csapata rendelkezik vele, akkor a gép akár napi 20-30 m³ faanyag közelítésére is alkalmas lehet.

A megvizsgált „inkább lombos” (Sopron 112/A), illetve „inkább fenyő” (Sopron 97/B) állományok termelése nagyon sok hasonlóságot mutatott, mind volumenben, mind teljesítményben, ezért a következtetés levonható, hogy a kötélpálya használatának teljesítményére nincs mértékadó befolyással az, hogy fenyőről, vagy lombos állományról van szó. Nehéz terepeken fontos szempont, hogy a kötélpályás közelítés kíméletes a talajra, mivel az eróziót minimalizálja, illetve a közelített faanyag sem sérül egy esetlegesen sziklás területen. Célszerű úgy ütemezni a gép használatát, a fahasználati szezonban, hogy annak hatékony működtetéséhez szükséges feltételek biztosítva legyenek. Az egyik legdrágább módszer, így igen fontos minden lépését összehangolni, és a megfelelő munkarendszert megtalálni. Mivel a kötélpályás közelítéssel adott idő alatt kevesebb anyagmozgatás történik, mint más módszerekkel, így használata általában leszűkül azokra a területekre, ahol egyéb eszköz, gép ténylegesen nem alkalmazható, de hasznosan egészítheti ki a hagyományos közelítőeszközöket, mivel környezetkímélő módszer.

Köszönetnyilvánítás: A tanulmány/kutatómunka a „Fenntartható Nyersanyag-gazdálkodási Tematikus Hálózat – RING 2017” című, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 jelű projekt részeként a Szechenyi2020 program keretében az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

Irodalomjegyzék

- GIMESI K. SZ. (2019): Kötélpályás közelítés vizsgálata. Diplomamunka. Sopron.
HORVÁTH B. (szerk.) (2016): Erdészeti gépek. Szaktudása Kiadó Ház. Budapest.
KÁLDY J. (szerk.) (1986): A fahasználat gépei. Akadémia Kiadó. Budapest.

A TÖBBMŰVELETES FAKITERMELŐ GÉPEK KÍMÉLETESÉGÉNEK FOKOZÁSA HARVESZTER SZIMULÁTOR SEGÍTSÉGÉVEL

SZAKÁLOSNE MÁTYÁS KATALIN, SUDÁR FERENC JÁNOS, HORVÁTH ATTILA LÁSZLÓ
Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Erdészeti-műszaki Környezettechnikai Intézet
szakalosne.matyas.katalin@uni-sopron.hu

Bevezetés

A többműveletes fakitermelő gépek (harveszterek) a mai modern erdőgazdálkodás nélkülözhetetlen elemévé váltak napjainkra hazánkban is. A nyugat-európai országokban a fakitermeléseket többségében harveszterekkel végzik. Egyre kevesebb a „kétkezi” munkaerő és a sokszor nem kellő minőségű felszereléssel és munkaeszközökkel rendelkező fakitermelő brigádok is mindinkább eltűnnek a fahasználati munkákból. Hazánkban a többműveletes fakitermelő gépek elterjedését kezdetben korlátozták alkalmazhatóságuk körülményei (terepviszonyok, állomány, használati mód) és az átlagnál magasabb vállalkozói díjak. Sok esetben szakmai bizonytalanság és az alkalmazhatóságukkal kapcsolatos előítéletek is „mehúzódttak a háttérben”. Napjainkra viszont a fakitermelések megvalósítása, kivitelezése tekintetében a szakma kényszerpályára került, és a munkák egyre inkább csak a minél magasabb szintű gépesítettség segítségével végezhetőek el.

A harveszterek szakszerű alkalmazhatósága sok kérdést vet fel és a szakma képviselői közt is számos véleménykülönbséggel találkozhatunk, ezért lényeges megvizsgálni ezen gépek munkájának környezetre gyakorolt hatásait. Fontos ismerni, hogy a gépkezelői attitűdök milyen befolyással lehetnek a kíméletességre és milyen módon lehet változtatni, javítani pl. szimulátoros képzés segítségével a munka minőségén.

Vizsgálati anyag és módszer

A 2000-es évektől kezdődően megjelent egy olyan vállalkozói réteg, akik korszerű technológiát akartak alkalmazni, így nekik köszönhetően a magyar erdőgazdálkodásban a forvarderek mellett újra megjelentek a többműveletes fakitermelő gépek. A fakitermelésben is egyre jelentkező és fokozódó munkaerőhiány miatt szükség volt a munkafolyamatok gépesítettségének növelésére, ezáltal a termelékenység javítására amely szükségszerű gépesítettségi kényszer nagyban hozzájárult a harveszterek elterjedéséhez és számuk ugrásszerű növekedéséhez. Mára a többműveletes fakitermelő gépek széles skálája jött létre a folyamatos fejlesztéseknek köszönhetően, számos gyár foglalkozik harveszterek fejlesztésével, gyártásával.

A hazai erdőkben leginkább a Ponsse, a Komatsu (Valmet), a John Deere (Timberjack) és a Sampo Rosenlew vállalatok által gyártott harveszterekkel végeznek fakitermeléseket. Napjainkra már a 90-et is elérte azon harveszterek száma, amelyek folyamatosan munkát végeznek Magyarország területén, de darabszámuk napról-napra ugrásszerűen növekszik és elég nagy szórás tapasztalható mind típus, kor, műszaki állapot és fejlettség tekintetében. A gépek döntő többsége használaton került megvásárlásra, de szép számmal találkozhatunk új gépekkel is. Ma még inkább a közepes méretű gépek a jellemzők (1. ábra), amelyek előnye egyben a hátránya is. Elő- és véghasználatokba is „bevetethetőek”, de gyakran gyérítésekhez túl nagy a géptest (nehezen tudnak mozogni, károsítják az állományt, lékeket nyitnak), véghasználatokban pedig túl kicsi a harveszterfej (nem tud egy ráfogással átvágni 30-35 cm feletti átmérőjű törzset, instabil lesz a gép egy méreteesebb fa döntése, gallyazása során).



1. ábra: Ponsse Ergo 8WD harvester (FOTÓ: HORVÁTH A., 2013)

Az elmúlt években számos állomány-típusban (égeres, akácos, nemesnyáras, cseres, gyertyános-tölgyes, vöröstölgyes, bükkös, gyertyános-erdeifenyves, lucfenyves, erdei és fekete-fenyves), és szinte minden használati módban vizsgáltunk harvesteres fakitermeléseket.

Napjainkban már nem is az állománytípusokat kell a legmeghatározóbban figyelembe venni pl. a gépbeszerzések alkalmával, hanem a használati módokhoz, állománysűrűséghez, várható választékszerkezethez, természetvédelmi korlátozásokhoz kell igazodni. Amennyiben a megfelelő paraméterekkel rendelkező gépet használják a fakitermelés során, elsősorban nem a gép méretei befolyásolják a kíméletes, szakszerű alkalmazhatóságot, hanem a gépkezelő szaktudása, gyakorlottsága, odafigyelése.

A fakitermelések során történő kíméletességi vizsgálatok alapját a munkát befolyásoló tényezők minél szélesebb körű feltárása adja, így ehhez – első lépésként – egy felmérés zajlott, amelynek segítségével kérdőív segítségével a gyakorlati szakemberek véleményének megismerésére, valamint a munkájukra ható tényezők összegyűjtésére volt lehetőségünk.

Az első egységbe rendezett kérdéssor a válaszoló adatait tárta fel és önálló választ igényelt (munkakör, életkor, munkavégzés helye), amelyek segítségével a későbbiekben több szempont szerint tudtunk értékelni, illetve a komolytalan válaszokat kiszűrni. A kérdőív további részében hat fő egységben jelent meg az összesen 35 „feleletválasztós” kérdés:

Környezeti paraméterek: eső, hó, szél, hőség, köd, jég, talajállapot, évszak, domborzat, lejtés, közelítő hálózat, élővilág, erdészeti/vadászati berendezés

Állományadatok: fafaj, faegyedek formája, választék eloszlás, kor magasság, átmérő, lombkorona sűrűség, törzsszám

Elvégzendő feladat (fakitermelési mód)

Egyénre (gépkezelőre) jellemző tényezők: lelkiállapot, személyiség, tapasztalat, motiváltság, felkészültség a munkára

Technikai háttér: munkakörülmény, géptípus, gépállapot, gépbeállítások

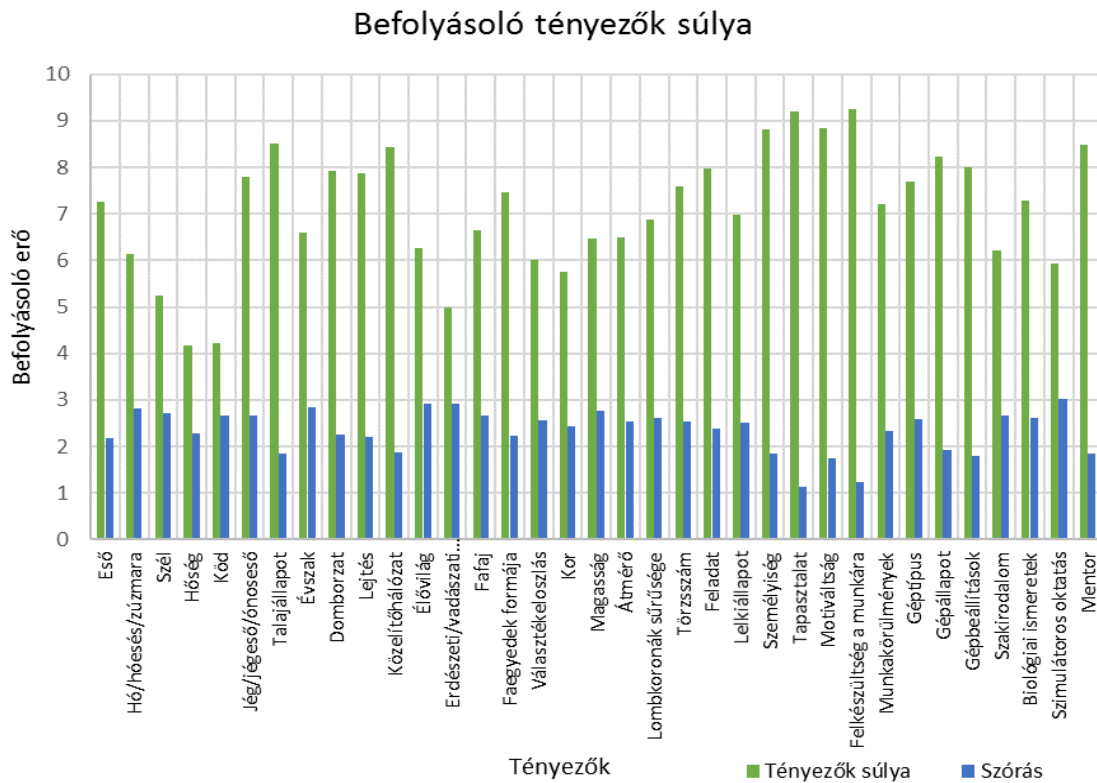
Oktatás: szakirodalom, biológiai ismeretek, szimulátoros oktatás, mentor szükségessége

A befolyásoló tényezőket a válaszadó osztályozta a kérdőívben 1-10 -ig terjedő skálán (1: egyáltalán nem, 10: erősen befolyásol), illetve az utolsó kérdésben személyes véleményt lehetett megfogalmazni.

A vizsgálat célul tűztük ki, hogy felmérjük a gépkezelőnek a harvesteres munkavégzés minőségére gyakorolt hatásának mértékét.

Vizsgálati eredmények

A kérdőívre összesen 62 értékelhető válasz érkezett. A kiértékelés során jól kirajzolódott, hogy a két legmeghatározóbbnak tartott körülmény-csoport, a környezeti paraméterek, valamint az egyénre (gépkezelőre) jellemző tulajdonságok (2. ábra).



2. ábra: A befolyásoló tényezők súlya (SUDÁR, 2018)

A 2. ábra egyértelműen mutatja, hogy a válaszok alapján a legfontosabb befolyásoló tényezők: a gépkezelő felkészültsége: 9,3; a gépkezelő tapasztalata 9,2; a gépkezelő motiváltsága 8,9; a gépkezelő személyiségi jegyei: 8,8; mentor szükségessége: 8,5; szimulátoros oktatás fontossága: 5,9.

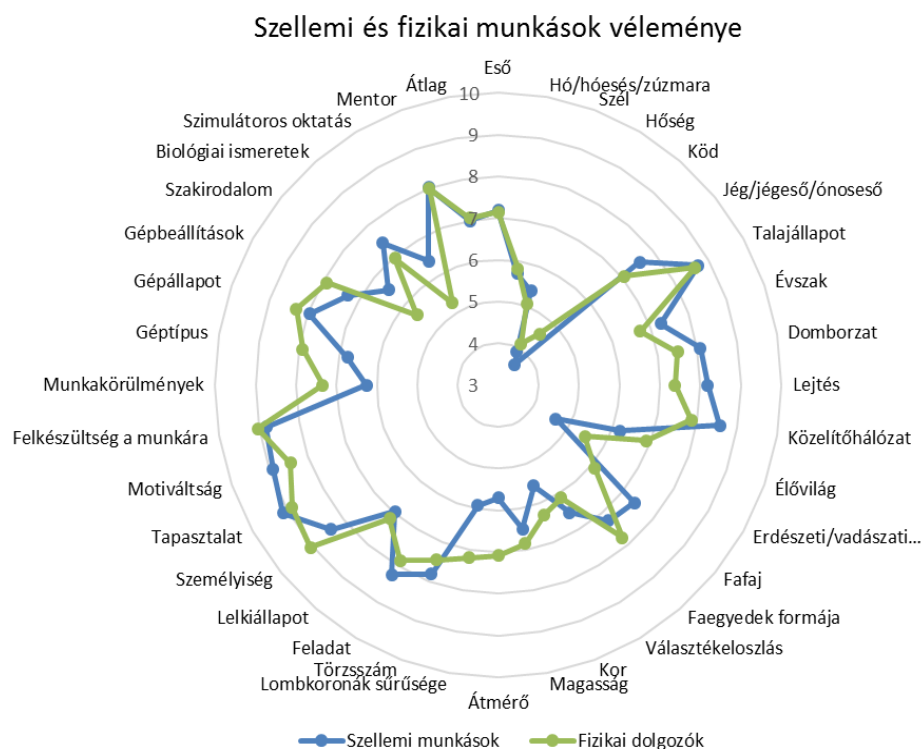
A gépkezelőre jellemző tulajdonságok jelentőségére adott válaszokban a pontszámok szórása is kicsi 10-20%. A válaszadók a személyiséget, a tapasztalatot, a motiváltságot, felkészültséget és a mentor szerepét illetve a képzés fontosságát egybehangzóan mértékadónak ítélik.

A kifejtős jellegű szöveges válaszok nagy része a munkaerőhiányt és az alacsony vállalkozói díjakat részletezi, amelyek miatt a géppark nem vagy nehezen fejleszhető, a hatékonyságot viszont ennek ellenére igyekeznek fokozni, így jelentős a károkozás. Az egyéni vélemények sorában is elég egybehangzó véleményeket olvashattunk, amelyeket leginkább reprezentáló egy tapasztalt kerületvezető erdész megállapítása:

„Fakitermelés során főleg a nevelővágásokban a károk 90%-a a nem megfelelő technológia és technológiai eszközök használata miatt következik be. Értem ez alatt: a vállalkozók nagy többsége nem rendelkezik avval a szakmai tudással és gépparkkal ami a munkák elvégzéséhez szükséges lenne. A fakitermelő brigádok emberanyaga enyhén szólva hagy maga után kívánnivalót.

Ez részben köszönhető az alacsony bérezésnek és a szakma megbecsültségének, továbbá a szakmunkát végzők szaktudása erős kérdőjeleket hagy maga után.”

A válaszadóknak közel fele-fele volt fizikai (34 fő) valamint szellemi (28 fő) dolgozó. Összehasonlítva válaszaikat (3. ábra), meglepő módon csak 3 tényező esetében kaptunk látványosabban különbséget. Az átmérőt (14%-os eltérés) és lombkoronák sűrűségét (13%-os eltérés) a fizikai dolgozók tartották meghatározóbbnak, míg a szimulátoros oktatás hangsúlya a szellemi dolgozók esetében erősebb, 12%-os eltéréssel.



3. ábra: Szellemi és fizikai dolgozók véleménykülönbsége (SUDÁR, 2018)

A kíméletességi vizsgálat egyik legfontosabb kérdése, hogy az adott munkarendszer milyen hatással van a munkavégzőre. A fakitermelés a rendkívül nehéz és veszélyes fizikai munkákhoz tartozik, a balesetek száma magas, ezek között gyakori a csonkolásos baleset. A munkavégzés extrém körülmények között történik. Baleset esetén a segítség távol van, és nehezen jut el az erdőbe. Az erdészeti munkabalesetek éves szinten akár 1500 millió forintos terhet jelenthetnek a társadalom számára.

Az előzőekben bemutatott kutatási eredmények igazolják tehát, hogy a harveszteres fakitermelések kíméletességének fokozása érdekében a gépkezelők munkavégzésének javítására kell törekedni, fejleszteni a jártasságukat és gyakorlottságukat. Ehhez rendkívül jó segítséget jelent, ha nem „élesben”, hanem valódi károkozás nélkül tudnak gyakorolni, fejleszteni magukat és a gyakorlottabb szakemberek javaslatait kipróbálhatják egy virtuális térben pl. harveszter szimulátor segítségével

Vizsgálati eredmények értékelése, megvitatása, következtetések

Intézetünkhöz az év elején került a Ponsse harveszter-forwarder szimulátor (4. ábra), így a vizsgálatainknak, miszerint elemezzük a különbséget kíméletesség tekintetében a különböző gyakorlottsággal és személyiségi jegyekkel rendelkező gépkezelők tekintetében, tehát feltárjuk a szimulátoros képzés munkaminőségre gyakorolt hatását még nincs publikálható szignifikáns eredménye.



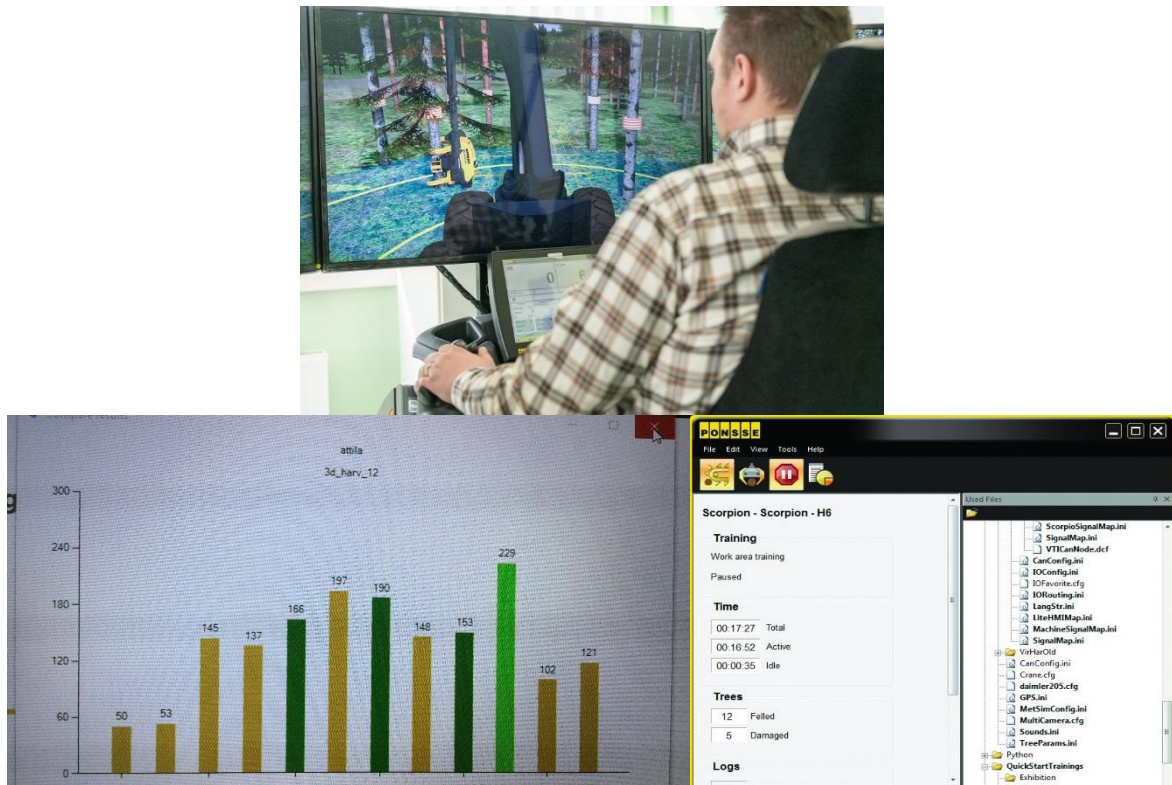
4. ábra: Ponsse szimulátor (FOTÓ: HORVÁTH A., 2020)

Jelenleg a kutatás első fázisában, a befolyásoló tényezők feltárása és hatásuk mértékének vizsgálata történt meg, amely alapján megállapítható, hogy a gépkezelők munkavégzésének kíméletességére a szaktudás, a gyakorlati tapasztalat, a mentalitás és a motiváltság van a legnagyobb hatással. Ezen befolyásoló tényezők ismeretében tudunk a további vizsgálatok érdekében célcsoportokat kialakítani és mérni a teljesítményük illetve munkaminőségük változását eltérő időtartamú szimulátoros képzés(ek) után.

A munka kíméletességére harveszteres fakitermelések alkalmával, az alábbiak vizsgálatából következtethetjük leginkább:

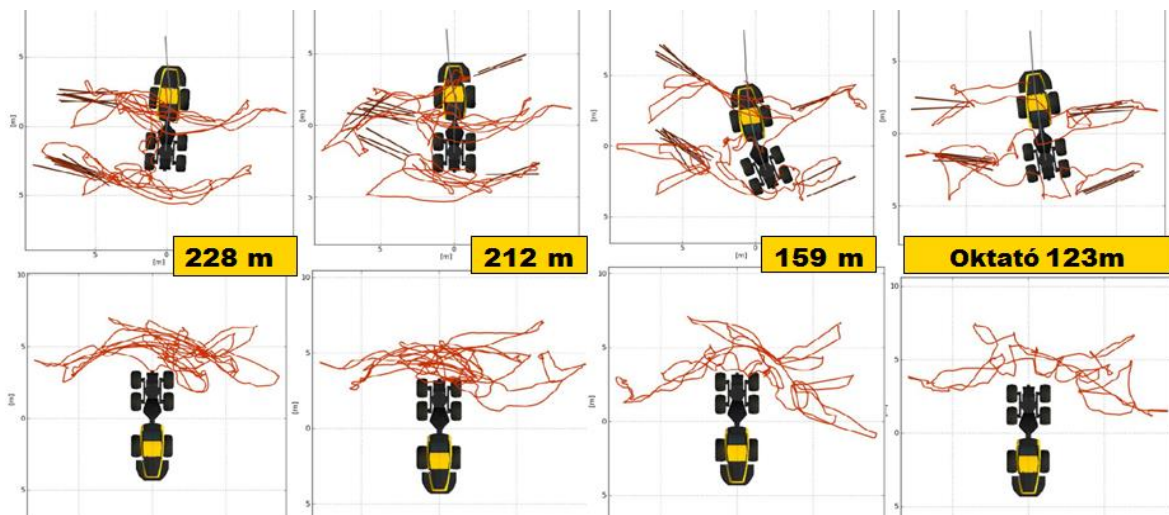
- visszamaradó állományban gyökér, tő- és törzssérülések száma, aránya;
- újulat (védendő lág- és fásszárúak) sérülése;
- talajkárosítások (erózió, tömörödés, mély csapák, vízvezető nyomok) mértéke;
- minőségi, mennyiségi kár a kitermelt faanyagban;
- károsanyag kibocsátás;
- gépet ért károkozás.

Mindezek feltételezett bekövetkezésére a szimulátorral végzett gyakorlatok során kérhető ki-mutatások, riportok (5. ábra) következtetni engednek, amelyek segítségével minősíthető és mérhető a gépkezelő károkozása fakitermelés során.



5. ábra: Ponsse szimulátoros oktatás (FOTÓ: SOE, 2020; HORVÁTH A., 2020; PONSSE, 2020)

Harveszteres gyérítési gyakorló feladat eredményének kiértékelését szemlélteti a 6. ábra, három gépkezelő és egy oktató esetében. Az ábra piros vonalai a harveszterfej által megtett utak nyomvonalát szemléltetik és a sárga négyzetben feltüntetett adatok pedig a fej által megtett út kumulált hosszát mutatják. Látható, hogy a gépkezelők esetében az indokoltnál több a megtett út, vagyis ebből következően nagyobb távolságokon mozgatták a kivágott fákat.



6. ábra: Gyérítési feladat kiértékelése (PONSSE, 2020)

A többlet-mozgások óhatatlanul is több törzssérülést eredményeznek. A szimuláció során hanghatással is jelzi a program a harveszterfejjel, ill. a daruval okozott törzssérüléseket, továbbá ha a fejet a géptörzsnek üti a kezelő. A törzssérülések vizuálisan is megjelennek a szimuláció során, ill. a feladat kiértékelésében is feltüntetésre kerül (5. ábra, jobb alsó kép).

Az előzőekben példaként bemutatott kíméletességre, sérülésokozásra ható gépkezelői viselkedések kimutatásának módszere valamennyi kártétel esetében megtehető. Első lépésként a károkozások visszavezethetőek a gép kezeléséből fakadó hibákra, ennek köszönhetően feltárhatóak azok a mozdulatok, mozdulatelemek, rosszul berögzött munkavégzési módusok, amelyeken a gépkezelőnek javítania kell, majd a szimulátornak köszönhetően ezek begyakorlására is van lehetőség.

A vizsgálatok tanulságaként levonható, hogy valamennyi fakitermelés esetén vizsgálni lehetne és kellene a munka minőségét, szakszerűségét és kíméletességét, amelynek pozitív eredményét ösztönző hatással akár a vállalkozói díjban is meg lehetne jeleníteni. A vizsgálatunk is alátámasztotta, hogy a gépkezelői tulajdonságok rendkívül meghatározóak lehetnek a fakitermelések során. A vállalkozóink alulfizetettek és nem érzik, hogy nehéz, veszélyes munkájuk megbecsült lenne, hiányzik a szakképzett, felkészült munkaerő. Minőségi javulást pedig csak akkor várhatunk, ha ezek terén változás következik be, amelynek hatékony eszközei lehet a képzések, pl. harvester szimulátor segítségével.

Köszönetnyilvánítás: Jelen publikáció a „GINOP-2.3.3-15-2016-00039 – Fás biomassza termesztési feltételeinek vizsgálata” című projekt támogatásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- BINDER B. (2019): A harvesztetek alkalmazásának vizsgálata a Szombathelyi Erdészeti Zrt. területén. Diplomamunka. Sopron
- RUMPF J. (szerk.) (2016): Erdőhasználat. Mezőgazda Kiadó. Budapest
- PONSSE (2020): Ponsse training - Effective Harvester working. Anne Härkönen előadása. Ponsse Plc, Vieremä, Finland.
- SUDÁR F. J. (2018): Kíméletességi vizsgálatok magasan gépesített fakitermelési munkarendszerekkel kezelt erdőkben. Diplomamunka. Sopron

HIDROLÓGIAI VIZSGÁLATOK EGY FÁS LEGELŐN

SZÓKE ELŐD, CSÁKI PÉTER, KALICZ PÉTER,
ZAGYVAINÉ KISS KATALIN ANITA, GRIBOVSZKI ZOLTÁN
Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Geomatikai, Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Intézet
elod0324@gmail.com

Bevezetés

Globálisan egyre jelentősebb szerep jut a fenntartható és a természettel harmóniában történő gazdálkodási módszereknek. Ennek köszönhetően a különféle agrárerdészeti rendszerekre is egyre nagyobb hangsúlyt fektetnek. Európán belül négy fő fás-erdős legeltetési rendszer létezik (HARTEL – PLIENINGER 2014), ezek közül mi csak a fás legelőkkel foglalkoztunk behatóbban. Erre hazánkban egy nagyon jó példa az Őrségi Nemzeti Park Igazgatóság (ÖNPI) Kőszeg melletti projektje („Doroszlói-rétek helyreállítása Kőszeg-hegyalján” – KEHOP-4.1.0-15-2015-00002), aminek a keretén belül jelenleg megvalósítás alatt áll egy élőhely-rekonstrukció és legelőerdő kialakítása. A legelőerdők kialakítása során a fásszárú növényzet és az állattartás kapcsolódik össze egy komplex rendszerré (BURGERS *et al.* 2013. Jelen esetben egy korábbi leromlott állapotot próbálnak helyreállítani a terület rendezése, az invazív fajok visszaszorítása, egy vízpótlási rendszer megépítése és a legeltetés által (HARSÁNYI – KUTSCHI 2016). Ezek közül kutatásunk elsősorban a vízpótlási rendszer hatásainak előzetes vizsgálatával foglalkozik. Célunk volt a konkrét vízpótlási beavatkozások megkezdése előtt megvizsgálni a területen belül a talajvíz viszonyokat, telepített kutakkal folyamatos monitorozást elkezdeni, mely által a beavatkozások várható pozitív hatásai egy korábbi adatsorral összevetve egyértelműen kimutathatóak lesznek. Fontos megjegyezni, hogy a jelen vizsgálatban szereplő adatok az alapállapot felvétel során történtek. A vízpótlási rendszereket 2020 tavaszán fogják üzembe helyezni, ezáltal hatásukat csak az utána következő időszakra fejtik ki.

Anyag és módszer

A helyszíni bejárások során szemrevételeztük a területet, hogy a kutak számára a legreprezentatívabb pontokat tudjuk megtalálni, továbbá, értekeztünk az ÖNPI munkatársaival is, akik beavattak minket a terveikbe a területről. Majd a bejárás kori szemrevételezés és a hosszútávú tervek alapján kitzúztuk a kutak helyeit. 4 pontot jelöltünk ki, melyekben a kútúrás 2019.04.18.-án megtörtént. A kutak úrását kézi talajúróval végeztük. A telepített PVC csövek alsó vége zárt, viszont alsó része perforált és geotextil szűrőréteggel ellátott, így biztosítva a víz bejutását a csövekbe. A kutak koordinátái és alapadatai az 1. táblázatban találhatóak. A rendszeres időközönkénti kaszálások miatt a kutakhoz jelölőkarókat vertünk le, melyeket a könnyebb észlelhetőség érdekében erdészeti jelölőfestéssel fújunk be.

A terület lejtése nagyjából É-D-i irányú. Az 1. számú kút a déli részen található, mely korábban láprét volt (ez a terület jelenleg is nedvesebb a többinél), ennek fog száraz időszakokban történni a vízutánpótlása a Tamás-árokából, csövezetéken keresztül. A 2. számú kút a tervezett csövezetéken való vízutánpótlás feletti részen helyezkedik el. A 3. számú kúttól ÉNy-ra lesz a mütárgy, ami a Ny-i irányból érkező időszakos vízfolyás vizét fordítja majd ki a területre (2. ábra). A 4. számú kút környezete nem kap majd a jövőben beavatkozás általi többletvizet, így ezt tekinthetjük kontrollkútnak.

1. táblázat: A talajvíz kutak alapadatai.

	1. kút	2. kút	3. kút	4. kút
EOV Y	461776.996	461760.277	461484.549	461318.371
EOV X	227142.530	227438.573	227797.093	228071.588
Tszf.mag. (perem) (mBf)	257.561	259.476	261.543	263.508
Perem-terep (cm)	58.0	16.0	44.0	15.0
Fúrás mélysége (m)	2.5	2.8	3.9	4.0

A kutak létesítésekor a fúrasi rétegsorból talajmintákat gyűjtöttünk, valamint felszíni talajnedvesség és talajvíz vezetőképesség méréseket végeztünk minden vizsgálati helyen. Továbbá, szivárgási tényező méréseket is végeztünk az 1-3. kutak, és zavartalan talajmintákat gyűjtöttünk az 1. kút esetében, melyeket a kalibrációs számításokhoz használtunk fel. A talajvízszint és a felszíni talajnedvesség mérések a kutak telepítése óta heti rendszerességgel zajlanak a helyszínen. A talajvízszint észleléséhez Dataqua led-es vízszintmérő-szalagot, míg a felszíni talajnedvesség méréséhez Delta-T HH2 műszert használunk (1. ábra). Ez utóbbinál 5-5 mérést végzünk a kutak környezetében.



1. ábra: Delta-T HH2 műszer

Felvettünk egy alappontot Leica Viva NetRover GNSS műszerrel, majd annak meghatároztuk a magasságát, és azt felhasználva kiinduló pontként színteztük össze a kutak peremszintjét. A színtezéshez SOKKIA SDL2 digitális színtezőműszert használtunk. 2,7 km-es vonalon 0,9 mm-es záró hibával határoztuk meg a kutak magasságait.

A manuális méréssel kapott talajvízszint és felszíni talajnedvesség adatokat összevetettük a Kőszegen mért csapadék adatokkal. Vizsgáltuk a csapadék hatását a talajvízszintre, illetve az egyes kutak vízállásának a csapadékhoz, és egymáshoz viszonyított függetlenségét.

A kutak adatainak a kiértékelésénél – az átlagos adatfeldolgozáson túl – elvégeztünk egy különbségképzésen alapuló elemzést is. Ezen vizsgálat során, az adott pontban, az adott méréshez tartozó értéket kivontuk az azt megelőző alkalommal mért értékből. A feldolgozás következő lépése az adatok kumulálása volt, mely során az aktuális értéket hozzáadtuk a megelőző mérés adatahoz. Így kivittük a felszíntől vett mélységek hatását a kutak idősorából, ezáltal azok jobban összehasonlíthatóvá váltak.

Végül, az egyes kutak, illetve az egyes felszíni talajnedvesség értékeknek a kontroll ponthoz (4. számú kút) viszonyított regressziós kapcsolatát kívántuk feltárni. Ennek a kapcsolatnak a vízpótlások hatására történő megváltozását várjuk majd a jövőben.



2. ábra: A talajvíz kutak elhelyezkedése az élőhelyrekonstrukciós projekt által érintett területen a Kőszeg melletti Doroszlói-réteken

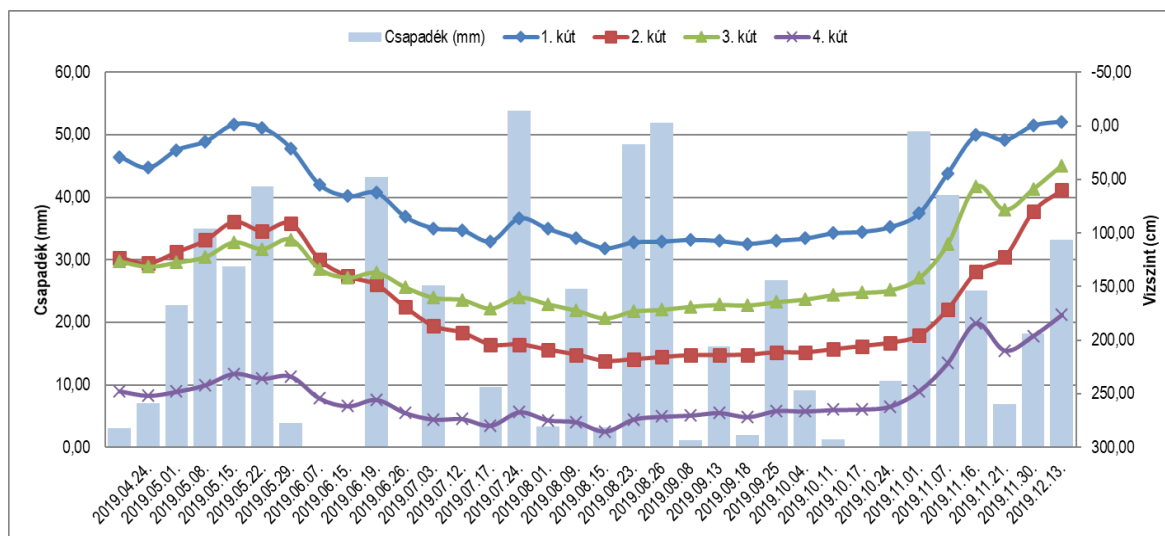
Vizsgálati eredmények

Idősoros elemzés

A talajvízszint adatokat a csapadékkal összevetve jól látható a nyár eleji, csapadékosabb időszaknak köszönhető magasabb vízállás (3. ábra). A legnagyobb vízszintingadozás a 2. sz. kút esetében figyelhető meg, ahol a vizsgált időszakban 160 cm volt a két szélsőérték közötti különbség (2. táblázat). Ugyanebben az időszakban a 4. sz. kút esetében, már csak 109 cm volt az eltérés. A talajfelszínhez legközelebb az 1. sz. kút vízállása volt, itt átlagosan a felszíntől alig több mint 67 cm-re volt található a víztükör. A május végi csapadékosabb időszak következtében pedig az is előfordult egy mérési alkalommal, hogy a kutat vízben állva lehetett csak megközelíteni. A legmélyebb vízállással a 4. sz. kút rendelkezett, ahol az átlagos vízszint 252 cm körül alakult. Érdeemes megjegyezni, hogy a vizsgált időszakban mind a négy kút esetében ugyanaz az augusztus végi mérési alkalom hozta a legalacsonyabb vízállási értékeket, sőt, a maximumok is egyszerre (december végén) jelentkeztek.

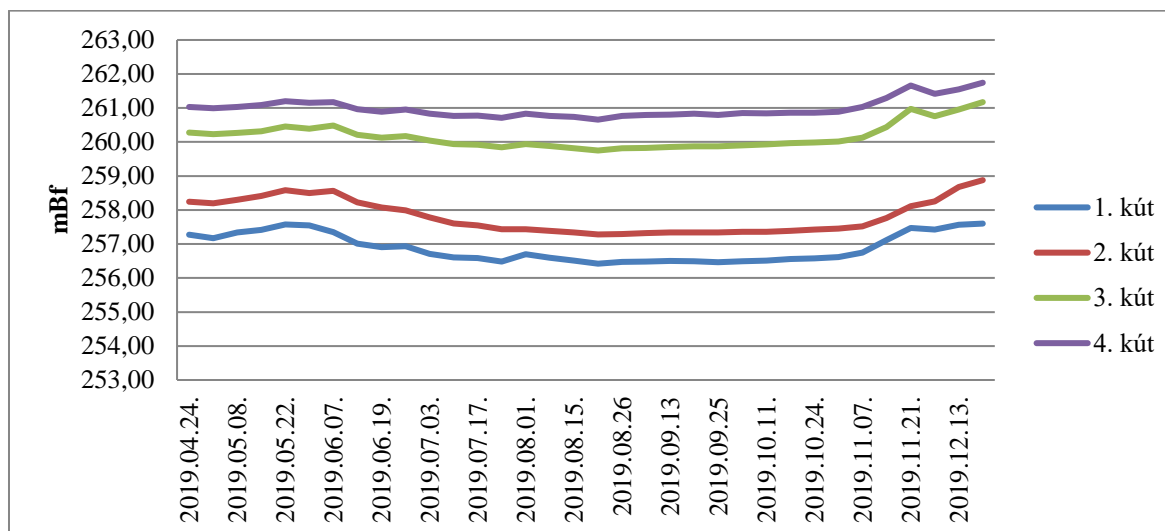
4. táblázat A kutak számított adatai a vizsgált időszakban.

Kutak sorszáma	Átlagos talajvízszint (cm)	A kutak medián értéke (cm)	Minimum érték (cm)	Maximum érték (cm)	A szélsőértékek különbségei (cm)
1	67	86	114	-4	118
2	166	190	220	60	160
3	138	152	179	37	142
4	252	263	285	177	109



3. ábra: A kutak talajvízszint adatai a csapadékatokkal összevetve

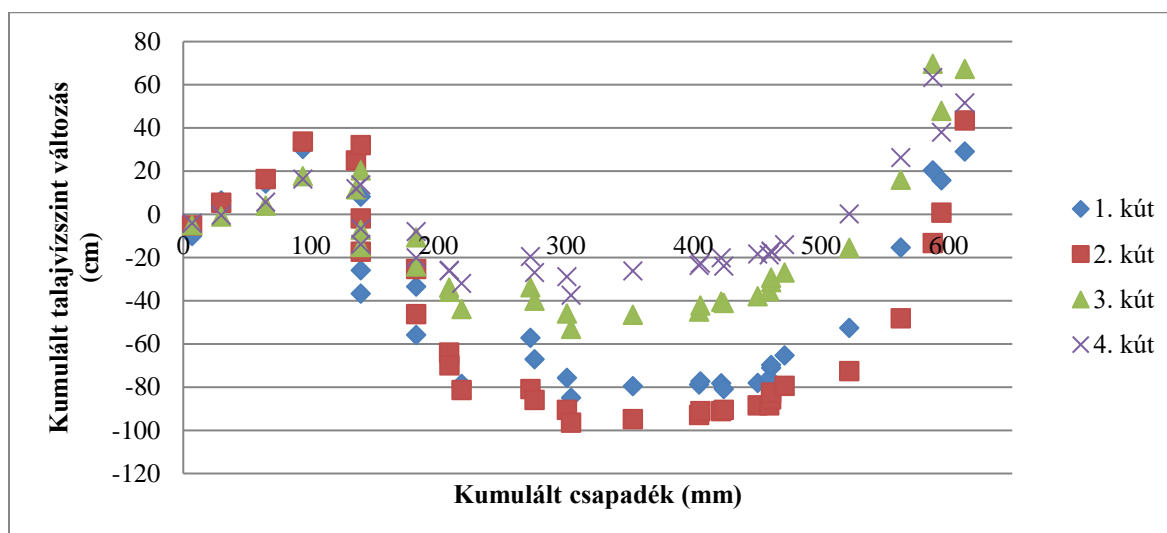
A talajvízszintek tengerszint feletti magasságát mutatja a 4. ábra. Látható, hogy a magasabb terepszinteken fekvő kutakban (3. és 4. sz. kút), bár a felszíntől mélyebben helyezkedik el a talajvíz, abszolút értékben mégis magasabb talajvízszintek jellemzőek.



4. ábra: Talajvízszint tengerszint feletti magasság

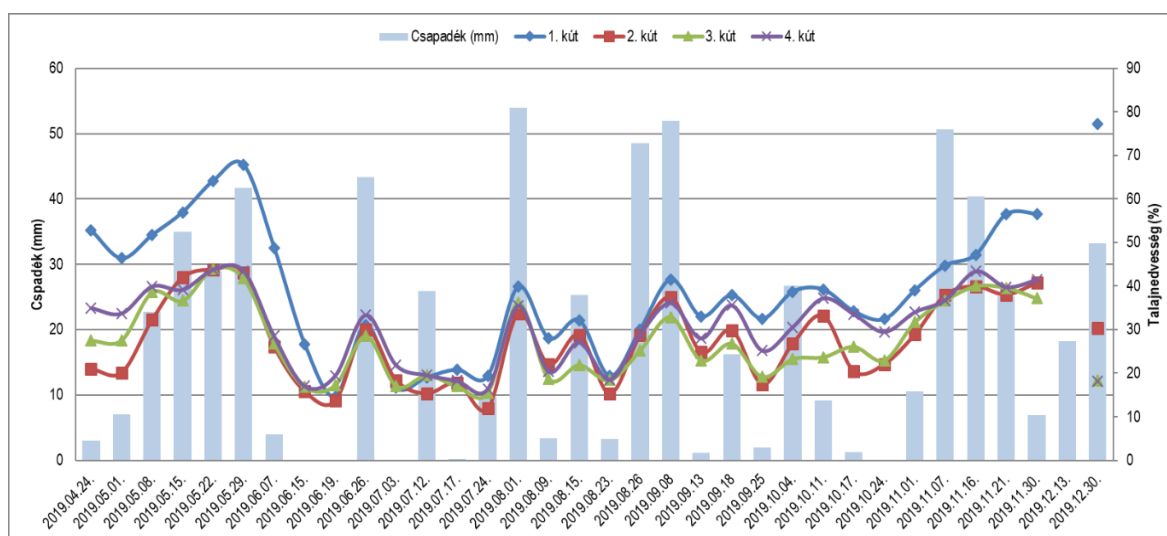
A különbségképzéssel előállított talajvízszint adatokat a kumulált csapadékatokkal összevetve látható (5. ábra), hogy a vizsgált időszak elején kisebb volt a párolgás, amely mellé sok csapadék is társult. Ennek hatása az 1. sz. és a 2. sz. kutaknál látszódik a legjobban. A későbbi

időszakban a kevesebb csapadék mellé nagyobb párolgás társult, melynek hatására minden kút esetében csökkent a talajvízszint. A legjelentősebb csökkenés szintén az 1. sz. és a 2. sz. kútnál volt megfigyelhető. Itt is érdemes kiemelni, hogy a felszíntől mélyebb talajvízszinttel jellemezhető 2. sz. kútnál jelentősebb csökkenés volt tapasztalható, mint a felszínhez közeli talajvízszintű 1. sz. kút esetében. Azért is érdekes ez a különbség, mert az 1. sz. kút közelében található fás szárú vegetáció nagyobb talajvíz fogyasztást, így elvileg nagyobb talajvízszint süllyedést kellene, hogy indukáljon. A vizsgált időszak utolsó stádiumában jól látható, hogy a kisebb párolgás és magasabb csapadékmennyiség következtében az egyes kutak adatai alapján a viselkedésük hasonló, talajvízszint emelkedés tapasztalható.



5. ábra: Talajvízszint különbségek a kumulált csapadékösszeg függvényében

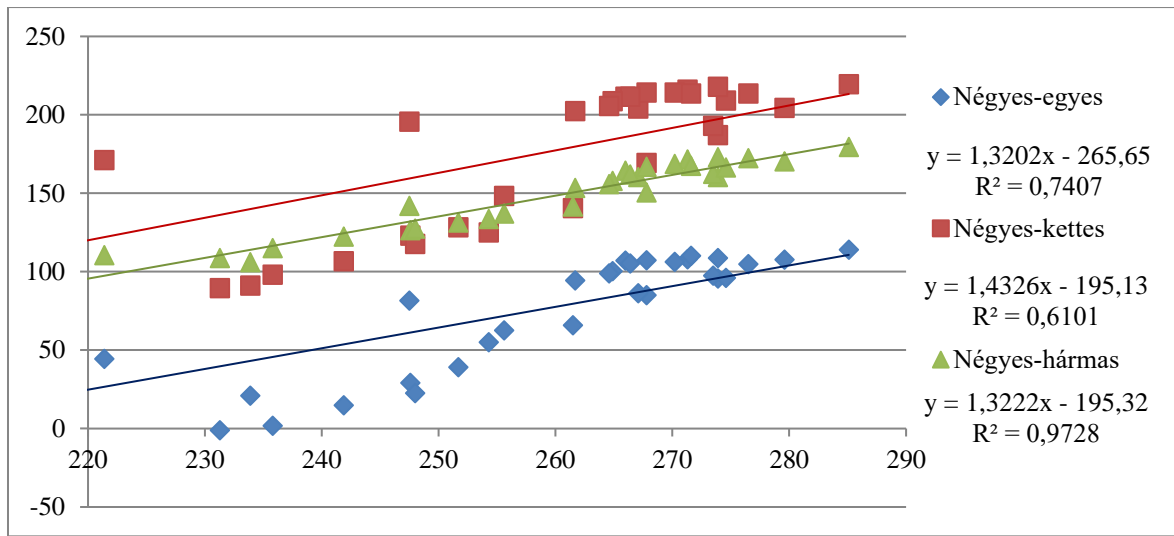
A kutak környezetében mért átlagos felszíni talajnedvesség értékek a csapadék függvényében a 6. ábrán láthatók. Az 1. sz. kút esetén különösen magas értékek is jelentkeztek, így felmerült a mérőműszer hibás működésének (kalibrálásának) lehetősége. Ennek ellenőrzésére a zavartalan mintavétel során vett mintákból számoltuk vissza a talaj porozitását az adott helyszínre. Az 1. sz. kútnál nagy porozitású talaj található, amihez jelentős csapadékmennyiség és magas talajvízállás járult az adott időszakban, ennek volt köszönhető a kiemelkedően magas talajnedvesség érték. A többi kút esetében az értékek egymáshoz hasonlóan alakultak, követve a csapadék változását.



6. ábra: A felszíni talajnedvesség %-os értéke a csapadék függvényében

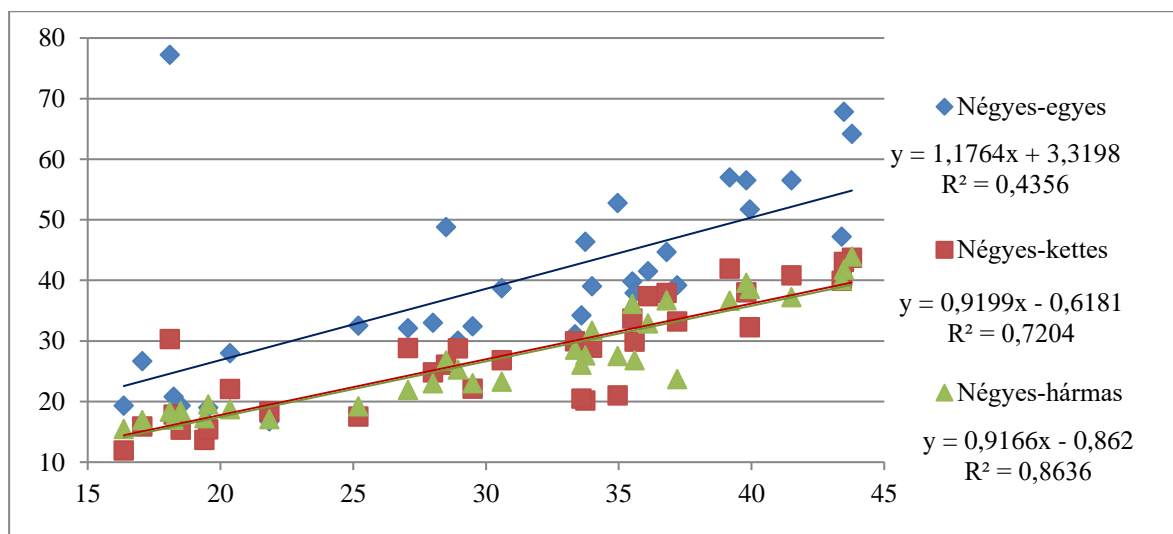
Kapcsolati vonalak

A 7. ábrán látható az egyes kutak talajvízszint adatainak a kontrollkút (4. sz. kút) talajvízszint adataival való kapcsolatának az összevetése. Az X tengelyre a kontroll kút, míg az Y tengelyre a vizsgált kút adatait vettük fel. Itt fontos az iránytangensek eltérése egymáshoz viszonyítva, ugyanis ez adja meg a különböző kutak adatainak a hasonlóságát. Az 1. sz. kút iránytangense hasonlít a 2. sz. kút iránytangensére, míg a 3. sz. kút a 4. sz. kúttal mutat szorosabb kapcsolatot. A kutak értékeit vizsgálva kijelenthetjük, hogy szignifikáns kapcsolat van a kutak vízállásai között. A kapcsolati görbéket a 4. sz. kontroll kúthoz állítottuk fel, amelyet nem fognak érinteni a jövőben tervezett hidrológiai beavatkozások, így lehetőség nyílik majd a többi helyszínen történő változás vizsgálatára.



7. ábra: Kapcsolati vonalak a kutak talajvízszint (cm) adataival

A 8. ábrán az egyes kutak és a kontrollkút környezetében mért talajnedvesség adatok összevetése látható. Az X tengelyre lettek a kontroll, míg az Y tengelyre lettek a vizsgált kút adatai felvéve. Ebben az esetben is az iránytangensek értéke adja meg az adatok és így a kutak hasonlóságát. A 2. sz. és a 3. sz. kút környezetének iránytangense nagyon hasonlóak (ezen pontok talajnedvesség értékei nagyon közeliek a kontroll kút értékeihez is). Az 1. sz. kút környezetének egyenese ezektől jelentősebben eltér. Ennek az oka lehet a korábban említett felszínhez közeli talajvízszint az 1. sz. kútnál, ami hatással lehet a talajnedvességre.



8. ábra: Kapcsolati vonalak a kutak talajnedvesség (%) adataival

Vizsgálati eredmények értékelése, következtetések

Kutatásunk célja volt a Doroszlói-rétek élőhelyrekonstrukciós területen hidrológiai adatok feldolgozása és kiértékelése a tervezett vízpótlási beavatkozások (végleges megépítése és üzembe helyezése) előtt, vagyis az alapállapot felvétel. A területen négy reprezentatív talajvíz kút telepítése történt meg, melyekben a talajvízszint változást, a kutak környezetében pedig a felszíni talajnedvesség változását monitorozzuk heti rendszerességgel. Megtörtént a kutak pontos koordinátáinak bemérése és színtezése, valamint a beavatkozások során eddig megépített földmunkák koordinátáit is felvettük.

Az április végétől szeptember végéig tartó időszak adatait feldolgoztuk, több módszer segítségével. Megvizsgáltuk a talajvízszintek időbeni változását, és az egyes kutakhoz tartozó szélsőértékeket. Elkészítettük a különbségképzéssel a kumulált talajvízszint adatokat, melyen jól nyomon követhető a változás a vizsgált időszakban. A kutak kontrollkúttal való kapcsolatának elemzése során kimutattuk, hogy a talajvízszint adatok alapján az 1. sz. és a 2. sz. kút hasonlóan viselkedik, a felszíni talajnedvességi adatok alapján pedig az 1. sz. kút jelentősen eltér a többi-től. Az alapállapot felvétel során kapott adatok jó viszonyítási alapot szolgáltatnak a beavatkozások várt hatásainak vizsgálatához.

Köszönetnyilvánítás: A kutatást az EFOP-3.6.2-16-2017-00018 („Termeljünk együtt a természettel - az agrárerdészet mint új kitörési lehetőség”) projekt támogatta.

Irodalomjegyzék

- BURGESS, P. J. – CROUS-DURAN, J. – DEN HERDER, M. – DUPRAZ, C. – FAGERHOLM, N. – FREESE, D. – GARNETT, K. – GRAVES, A. R. – HERMANSEN, J. E. – LIAGRE, F. – MIRCK, J., MORENO, G. – MOSQUERA-LOSADA, M. R. – PALMA, J. H. N. – PANTERA, A. – PLIENINGER, T. – UPSON, M. (2015): AGFORWARD Project Periodic Report: January to December 2014. Cranfield University: AGFORWARD. 95 pp.
- HARSÁNYI K. – KUTSCHI P. (2016): A Doroszlói-rétek helyreállítása Kőszeg-hegylján- Gyeprekonstrukciós terv. ÖNPI.
- HARTEL, T. – PLIENINGER, T. (ed., 2014): European wood-pastures in transition. A social-ecological approach. Earthscan, Routledge, pp. 303.

A VADDISZNÓ LAKOTT-TERÜLETI MEGJELÉNÉSÉNEK JELLEMZŐI KÉRDŐ- ÍVES FELMÉRÉS EREDMÉNYEINEK TÜKRÉBEN

TARI TAMÁS, SÁNDOR GYULA, NÁHLIK ANDRÁS
Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Vadgazdálkodási és Gerinces Állattani Intézet
tari.tamas@uni-sopron.hu

Bevezetés

A vaddisznó állományai folyamatos növekedést mutatnak az elmúlt évtizedekben egész Európában (MASSEI et al., 2014). Természetes előfordulási területén kívül a faj megtelepedett a tengerentúlon is, ahol elsősorban elvadult házisertések ill. egyre gyakrabban ezek a vaddisznóval létrehozott hibridei vannak jelen (feral pig, wild hog), többek között Észak- és Dél-Amerikában, Ausztráliában és Óceániában, valamint helyenként Afrikában (BARIOS-GARCIA, 2012). Az állománynövekedés szerepet játszik a vaddisznó okozta erdei- és mezőgazdasági károk növekedésében, a vad gépjármű okozta konfliktusokban, továbbá humán- és állategészségügyi vonzatai is jelentősek lehetnek (NÁHLIK ET AL., 2017), de egyre gyakrabban jelentenek problémát lakott területeken is (GEISSER & REYER 2004). A lakott-területi megjelenések elterjedésének pontos meghatározása ugyanakkor nehéz feladat, mivel ezek az esetek általában helyi szinten jelentenek igazi problémát. LICOPPE et al. (2013) végeztek egy nemzetközi kérdőíves felmérést, amelyben 25 ország esetében számoltak be arról, hogy a problémával érintettek egyes települések. Észak-Amerikában 13 település került megemlítésre, első sorban az Egyesült Államok déli részéről, de Kanadából is számoltak be a problémáról. Dél Amerikát tekintve Braziliában egy várost említenek, míg Argentínában hármat. Ausztráliában szintén 3 település nevét említik meg a válaszadók. A probléma Ázsiában is jelen van, többek között Hong-Kong utcáin megjelent vaddisznókról is találni híradásokat, illetve Japánban Kobe városában okoz gondot a faj. Indiában az embereket ért vaddisznótámadások 4,5%-a településeken következik be (CHAUHAN ET AL, 2009). Európában a probléma az előzőekben ismertetett országokhoz képest nagyobb intenzitással van jelen, ha a már említett felmérés eredményeit vesszük alapul, amelyben mindösszesen 14 ország több mint 60 városa kerül megemlítésre. A két leginkább kutatott, és a problémával talán elsőként érintett település Barcelona és Berlin. Előbbi esetében a várossal közvetlenül határos 8000 ha-os Collserola Park területén és annak szomszédságában okoz gondot a vaddisznó napi szinten (CAHILL et al., 2003). Berlinben egyrészt a várost több irányból is határoló erdők csatlakozásánál megjelenő, másrészt már a városi parkokba is beköltöző vaddisznók jelentenek gondot (KOTULSKI & KÖNIG, 2008). A probléma mértékét jól mutatja, hogy „Stadt-Jäger”-ket városi vadőröknek alkalmaznak (HESPELER, 2007), és éves szinten több száz vaddisznót ejtenek el lakott-területen belül. Ez lehetőséget ad genetikai (STILLFRIED et al., 2017), vadegészségügyi (JANSEN et al., 2007) és táplálkozásbiológiai (STILLFRIED, 2017) vizsgálatok elvégzésére. Folytak kutatások Európa más városaiban is, mint például Rostokban (DRYGALA et al., 2016), Rómában (AMENDOLIA, 2016), Krakkóban (PODGORSKI, 2013) és Vistula Spitben (BOBEK, et al, 2011). Magyarországon GPS-telemetriai vizsgálatokat végeztek lakott-területi vaddisznók esetében a Balaton lakó- és üdülő övezeteiben (TARI et al., 2017) és Budapest hegyvidéki kerületeiben kiegészítve táplálkozásvizsgálatokkal (HELTAY et al., 2016), valamint folytak internetes híradásokra alapozott felmérések (TARI et al., 2016).

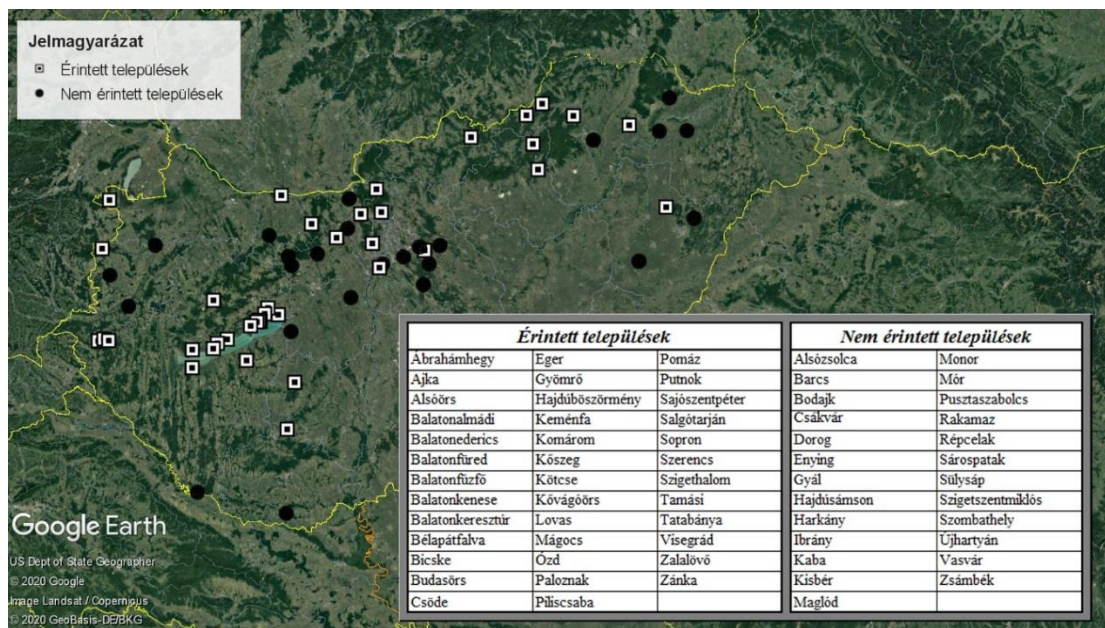
Anyag és módszer

Vizsgálatunk során kérdőíves felmérés formájában 15 megye 262 városa és további 17 Balatonparti település került megkeresésre (ez utóbbit indokolta, hogy egyike azon országrészeknek, amelyek magas érintettsége ismert) a vaddisznó lakott-területi megjelenésével kapcsolat-

ban. A kérdőív GoogleForms alkalmazásban készült, elektronikus úton került eljuttatásra a település jegyzőének, polgármesterének címezve, felkérőlevél kíséretében. A 25 kérdés közül 6 a károkozás idő- és térbeli alakulására vonatkozott, 2 kérdés a kárformákra és azok nyilvántartására, a kiváltó okokkal 6 kérdés volt kapcsolatban, míg a fennmaradó 11 kérdés a megoldási javaslatokkal, alkalmazott eljárásokkal foglalkozott. A kérdőív 63 településről érkezett vissza, ami 20%-ot meghaladó válaszadást jelent. A válaszadók számának és a válaszok eloszlásának függvényében gyakoriságot számoltunk a kiértékelés során.

Eredmények

A felmérésben résztvevő települések 60,3%-ban - 38 esetben – volt igazolható a vaddisznó jelenléte, a fennmaradó 25 válaszadó település nem volt érintett a lakott-területi vaddisznó megjelenésekkel (1. ábra).

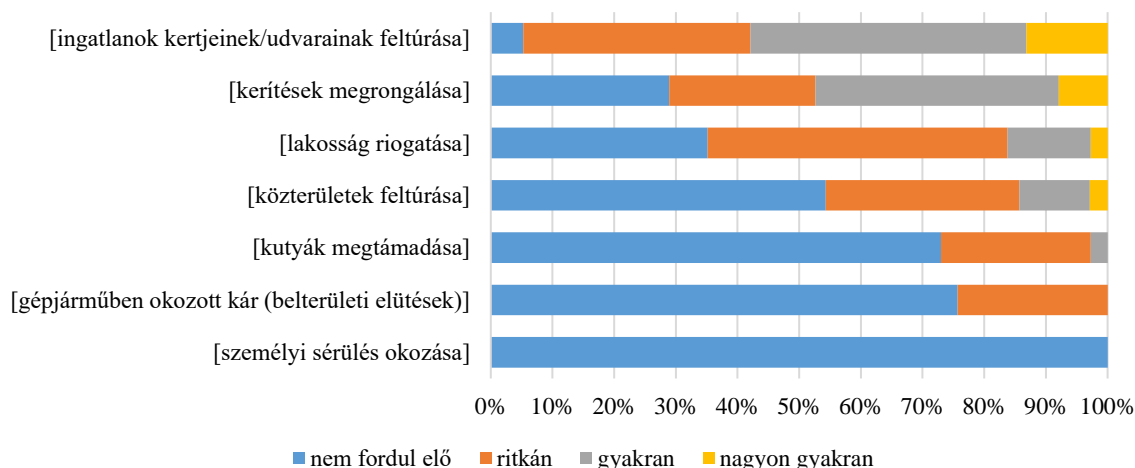


1. ábra. A felmérésben résztvevő települések

Az érintett települések 47%-ban (16) 2012-2017 között jelentkezett a probléma, közel 30%-ban 2007-2012 között, míg 2007 előtti megjelenések a települések 20%-át érintette, mindössze 1 település jelezte, hogy 2017 után jelentkezett a probléma. Gyakoriságot tekintve, 30%-ban évente egy két eset fordul elő, míg a települések 24%-ban havi egy-két esettel lehet számolni. Heti ill. napi rendszerességű problémáról 13-településről számoltak be, az egyéb kategóriába eső települések (4db), egyedi választ fogalmaztak meg (téli időszakban rendszeres, ősztől-tavaszig folyamatos, időszakosan, egyszeri eset). A térbeli alakulások tekintetében a természetes élőhelyhez közvetlen kapcsolódó, a település peremén található ingatlanokban károkozás az érintett települések 97,3%-ban következik be, ezt követi sorrendben települést átszelő vonalas tájalemekkel (folyó v. patak meder, fasor, út- vasút) szomszédos ingatlanok károsítása a települések 36,8 %-ban. Végül a legkevesebb települést érinti (26,3%) a természetes élőhelyekhez közvetlenül nem kapcsolódó, a település belső részein található ingatlanok károsítása. Az ingatlanok típusait figyelembe véve, a problémával érintett települések 79%-ban a belterülettel közvetlenül határos külterületen található zártkertekben okozott gondot a vaddisznó. A települések 34-34%-ban belterületen található lakóingatlanokban és közterületeken is számolni kellett a károkozással, míg a belterületen álló gyümölcsösök, kertek a települések 28%-ban vannak a károkozásnak kitéve. A károkozások évszakonkénti eloszlására vonatkozóan a leggyakoribban

megemlítésre került évszak az ősz volt, ezt követte – egyenletes eloszlás mellett – a tavasz, majd sorrendben a tél és a nyár. A károkozás jellemzőinek pontos megismerését nehezíti, az a tény, hogy a válaszadó települések mindösszesen 10%-a vezetett nyilvántartást a vaddisznó okozta problémákról.

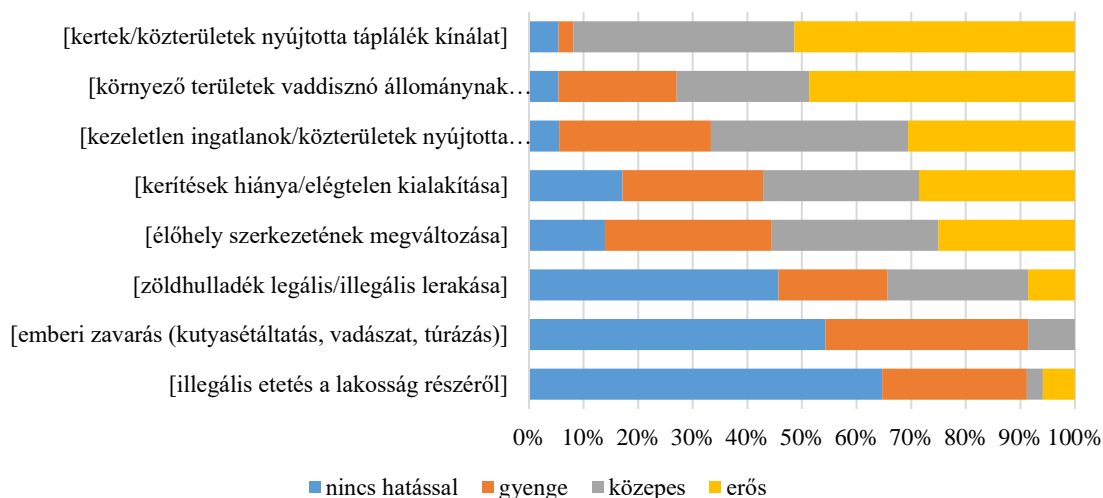
A vaddisznó által okozott károk megjelenési formáira és azok előfordulási gyakoriságára irányuló kérdés – *Az alább felsorolt kárképek közül melyik és milyen gyakorisággal fordul elő az Önök településén?* – válaszainak összesítését a 2. ábra szemlélteti.



2. ábra. A kárképek előfordulása és gyakorisága

A leggyakrabban előforduló kárkép az ingatlanok kertjeinek ill. udvarainak feltúrása volt. A megkérdezett települések 95%-a nyilatkozott úgy, hogy ez a kárkép jellemzően gyakran vagy igen gyakran fordul elő. A sorban a következő a kerítések megrongálása volt, ami a települések 71%-ban fordult elő. A harmadik leggyakrabban említett probléma (települések 65%-a) a lakosság körében keltett riadalom volt, de ez jellemzően ritkán fordult elő. A közterületek feltúrását mindössze a települések 46%-ból jelentették, általában ritka problémaként. A kutyák megtámadását és a gépjárműben okozott kárt a települések kevesebb, mint 30%-ban jelentették ritkán előforduló kárképként. A személyi sérülésről egyik település sem számolt be.

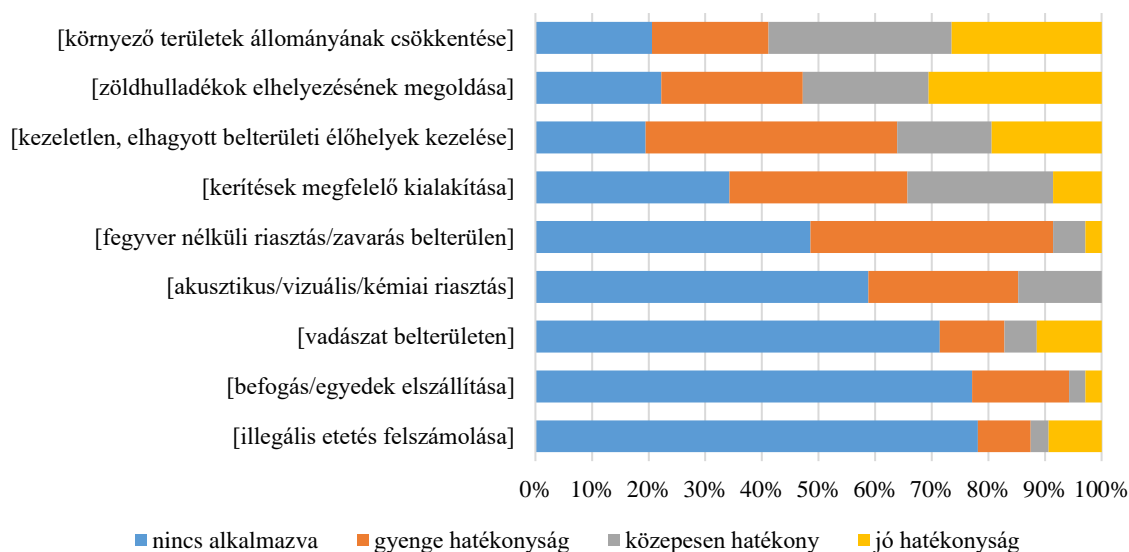
A vaddisznó megjelenésében szerepet játszó okok feltárásának érdekében feltett kérdés – *Véleménye szerint az alább felsorolt kiváltó okok közül melyik és milyen mértékben van hatással a vaddisznó megjelenésére az Önök településén?* – válaszainak összesítését a 3. ábra szemlélteti.



3. ábra. A kiváltó okok előfordulása és hatásuk a problémára

A probléma kialakulásában a kertek/közterületek nyújtotta táplálék kínálatnak az érintett települések 91%-ban közepes ill. erős hatást tulajdonítottak. A környező területek vaddisznó állományának növekedését és a közterületek nyújtotta búvóhelyeket a táplálék kínálatához hasonló tényezőként ítélték meg, de utóbbit kevésbé tartották jelentős tényezőnek. A sorban a következők a kerítések hiánya vagy elégtelen kialakítása ill. az élőhely szerkezetének megváltozása, mindkettő szerepe jelentősnek mondható, mindösszesen a települések 13-17%-nyilatkozott úgy, hogy nincs szerepük a vaddisznó megjelenésében. A további tényezőknek közel a települések felében vagy azt meghaladó arányban 5 nem tulajdonítottak jelentőséget. Ezek a zöldhulladék illegális lerakása, az emberi zavaró tényezők és a illegális etetés volt.

A vaddisznó lakott-területen okozta problémák megoldására alkalmazott módszerekre és azok hatékonyságára vonatkozó kérdés – *A következőkben felsorolt megoldási lehetőségek közül melyeket alkalmazzák Önök településén, és azokat milyen hatékonyságúnak találja?* – válaszainak összesítését a 4. ábra szemlélteti.



4. ábra. Alkalmazott megoldási lehetőségek és hatékonyságuk értékelése

A három leggyakrabban alkalmazott megoldási javaslat a környező területek állományának csökkentése, a zöldhulladékok elhelyezésének megoldása és a kezeletlen, elhagyott belterületi élőhelyek kezelése volt. Az első kettő megoldás esetében a módszert alkalmazó települések közepes ill. jó hatékonyságúnak tekintették azokat, ettől valamelyest maradt csak el az élőhelyek kezelésének hatékonysága. A kerítések megfelelő kialakítását, mint lehetséges megoldási lehetőséget a települések 66%-ban alkalmazták. A többi megoldási lehetőség alkalmazásának mértéke és a hatékonyságuk megítélése is elmaradt az előzőktől. A fegyvernélküli zavarást és a különböző riasztószereket a települések 52% ill. 42% alkalmazta. A különböző vadászati megoldások alkalmazása még ezektől is kisebb arányban került sor. A belterületi vadászatot 29%-ban, befogást 23%-ban említették meg, utóbbi hatékonyságát gyengének minősítették. A hasonló alkalmazási értékkel megjelenő illegális etetések felszámolását hatékonyabbnak minősítették, mint a befogást.

Az alkalmazott megoldási lehetőségekre vonatkozóan további kérdéseket fogalmaztunk meg, a probléma mélyebb megismerése céljából. Az elhagyott, kezeletlen telkek, területek kezelésére vonatkozóan, a válaszadó települések 79%-a nyilatkozott úgy, hogy van lehetősége fellépni a tulajdonosokkal szemben, elsősorban szemlék, kötelezés, kényszerkaszálas és bírság alkalmazásával. Ugyanakkor mindössze 32%-uk tartotta megoldhatónak, hogy a bírságokból befolyt összegek visszaforgathatók legyenek a probléma megoldására. A zöldhulladék kezelése a válaszadó települések 18%-ban (7 db) nem volt szabályozva, a többi esetében legalább egy, de

előfordult, hogy 2-3 módszer is alkalmazásra került, Ezek közül a leggyakrabban előforduló megoldás a zsákos zöldhulladék gyűjtés (71%) volt, ezt követte a komposztáló edények lakossági rendelkezésre bocsátása (42%). Központi komposztáló telepet az esetek 23%-ban üzemeltettek.

Az érintett településeken több olyan hatóság, ill. szervezet működését jelezték (mezőőr, hegyőr, gyepmesteri szolgálat, közterület felügyelet), amelyek szerepet vállalhatnak a lakott-területi károkozás megelőzésében, problémák elhárításában. Ehhez azonban a települések 92%-a szerint, megfelelő törvényi felhatalmazást és a szükséges jogköröket kellene kialakítani. Pénzügyi forrás biztosítására (pl. szakember alkalmazására, eszközpark kialakítására és fenntartására) az érintett települések 30%-a látott volna lehetőséget. A lakossággal történő együttműködés elősegítését célzó tájékoztatás a válaszadó települések 33%-ban nem történt meg, mindazonáltal a fennmaradó települések több módszert is használtak, ezek közül a leggyakoribb az internetes és szórólapos tájékoztatás volt (42%), ezt követték a lakossági fórumok (28%) és a telefonos információs vonal üzemeltetése (13%).

Azokon a településeken, ahol belterületi elejtést alkalmaztak, az éves szinten terítékre hozott vaddisznók száma (8 válaszadó település esetében) alacsony 1-10 között mozgott. Öt település esetén az elejtések száma 5 vagy az alatti volt (1; 1; 1-2; 2-3; 3-5) míg három esetben 5 és 10 között alakult (5-10; 5-10; 8-10). Az elejtések engedélyezéséhez kapcsolódóan a 19. kérdés – *Az elejtések rendőrségi engedélyezése* kapcsán a válaszadók 70%-a nyilatkozott úgy, hogy minden esetben zökkenőmentes az ügyintézés, 15-15%-uk említi meg, hogy esetenként nehézkes az ügyintézés ill. rendszeresen problémák fordulnak elő. A belterületen folytatott befogások során, valamennyi településen a vadászatra jogosult üzemeltette a befogókat és állta az elszállítás költségeit. Mind a belterületi elejtések, befogások ill. a környező területek állománycsökkentésének esetén, lényeges a vadászatra jogosult és az önkormányzat közötti kapcsolat. 37 település válasza alapján elmondható, hogy 22%-ban nem volt kapcsolat a vadászatra jogosulttal, 68%-ban jó a kapcsolatot ápolta és szoros volt az együttműködés, míg 11%-ban rossz volt a kapcsolat (4 település). A válaszadó települések 55%-a úgy nyilatkozott, hogy csak vadászati módszerekkel kezelhető a probléma, 45%-uk gondolta ugyanakkor úgy, hogy önkormányzati segítség és a lakosság hozzáállásának megváltoztatása nélkül, csak vadászati megoldásokkal nem kezelhető a probléma.

Következtetések

Vizsgálati eredmények jól mutatják, hogy a vaddisznó lakott-területi megjelenése és az abból fakadó konfliktushelyzetek aktuális problémát okoznak a vadászatra jogosultaknak, önkormányzatoknak, lakosságnak. Megállapítható, hogy nem csak egy-egy település helyi problémájáról van szó, hanem országos konfliktushelyzetről. A károkozás megjelenése településenként változik, legtöbb esetben a lakott területtel közvetlen határos külterületeken található zártkertet jelölik meg, mint károsítás fő célpontjait, ezt követik a belterületi kertek és lakó ingatlanok. Ezekre a területekre úgy kell tekinteni, mint az utolsó lépés a lakott-területen történő állandó jelenlét előtt, mivel innen már a lakott területek szélén található, valamint a vonalas létesítmények (folyók, utak) mellett fekvő ingatlanok közvetlenül elérhetőek. Ezeket meg is jelölik a felmérésben, mint károkozással potenciálisan érintett helyeket. Az érintett települések között jelentős különbségeket lehet találni, mind lakosságszámban, mind településszerkezetileg, mind pedig a táj karakterisztikáját tekintve. Ezekhez az eltérő adottságokhoz, jól alkalmazkodnak a vaddisznók. A felmérések eredményeiből jól látható, hogy a vadászokra, vadgazdálkodókra, a problémával kapcsolatban jelentős szerep hárul, annak ellenére, hogy a jogszabályi környezet korántsem könnyíti meg a helyzetüket. A belterület nem része a vadászterületnek, így vadgazdálkodási tevékenység nem végezhető, a vadfajok elejtése és befogása egyaránt tilos. További nehezítése a probléma belterületi kezelésének a fegyverhasználat lakott területi szabályozása, a

hatályos rendelet ugyanis csak károkozás esetén, engedélyhez kötötten teszi lehetővé azt. Ezzel együtt a belterületen engedéllyel végzett elejtés számos veszélyt rejt, a személyi sérülés bekövetkeztének lehetősége többszöröse a vadászterületihez képest. A kérdőíves felmérés, ugyanakkor rávilágít arra, hogy kevés területen végzik, esetenként nehézkes ügyintézés mellett, valamint az évente elejtett 1-2 vagy max. 10 egyed, nem feltétlenül jelenti a probléma megoldását. A befogások és áttelepítések kivitelezése kevésbé veszélyes feladat, ezért több területen is alkalmazják. A lakott területi megjelenés gyakran intenzív vadászati hasznosítás mellett is előfordul, ezért, ha a létszámcsökkentési törekvések mellé nem társul az élőhely kezelése és az egyéb kiváltó okok mérséklése, a vadászat önmagában nem vezet eredményre. A felmérésben a módszerek hatékonyságát érintő kérdés esetében a környező erőterületek állományának csökkentése és a belterületi élőhelyek kezelése szerepelt az első két helyen. Ugyanakkor a megkérdezettek egyik fel úgy vélte, hogy kizárólag vadászati módszerekkel megoldható a probléma, másik fele pedig úgy nyilatkozott, hogy a megoldás nem nélkülözheti a lakosság és az önkormányzat részvételét, vagyis az együttműködést. Azonban koránt sincs arányosság a szerepvállalást tekintve, pedig a probléma kialakulásában a lakosság felelőssége nem vitatható el. Ennek ellenére, a megoldási javaslatok esetében az önkormányzatok szabályozása, a megfelelő jogszabályi környezet kialakítása és a vadgazdálkodás dominál. Ahhoz, hogy a vaddisznó lakott területi megjelenéséből adódó problémák eredményesen kezelhetők legyenek, az együttműködés elengedhetetlen, mivel a kiváltó okok együttes kezelése nélkül, a vadászati hasznosítás önmagában nem elegendő a megoldásra. Legfontosabb a megfelelő jogszabályi háttér kialakítása, mivel jelenleg számos olyan szegmense van a problémának, amely ellehetetleníti a hatékony kezelést. A probléma mérsékléséhez, azt a két tényezőt is kezelni kell, amelyek láthatóan a leginkább hozzájárulnak és befolyásolják a vaddisznó megjelenését, ezek a táplálék kínálat és a búvóhely.

Köszönetnyilvánítás: Jelen publikáció az „EFOP-3.6.1-16-2016-00018 – A felsőoktatási rendszer K+F+I szerepvállalásának növelése intelligens szakosodás által Sopronban és Szombathelyen” című projekt támogatásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- AMENDOLIA, S., LOMBARDINI, M. PIERUCCI, P., MERIGGI, A. (2016): Human–wild boar conflicts in the metropolitan area of Rome (Italy), Poster in Conference: III Congresso Nazionale Fauna Problematologica
- BARIOS-GARCIA, M. N., BALLARI, S. A. (2012): Impact of wild boar (*Sus scrofa*) in its introduced and native range: a review, *Biol Invasions* 14:2283-2300
- BOBEK, B., FRĄCKOWIAK, W., FURTEK, J., MERTA, D., ORŁOWSKA, L (2011): Wild boar population at the Vistula Spit – management of the species in forested and urban areas, 8th European Vertebrate Pest Management Conference, p.226-227
- CAHILL, S., F. LLIMONA, F., L. CABAÑEROS, L., COLOMARDO F. (2012). Characteristics of wild boar (*Sus scrofa*) habituation to urban areas in the Collserola Natural Park (Barcelona) and comparison with other locations, *Animal Biodiversity and Conservation* 35(2): 221-233
- CHAUHAN, N.P.S., BARWAL, K.S., KUMARD, D. (2009): Human–Wild Pig Conflict in Selected States in India and Mitigation Strategies, *Acta Silv. Lign. Hung.*, Vol. 5 189-197
- DRYGALA, F., ZOLLER, H., FRANTZ, A.(2016): Connectivity of urban and rural wild boar (*Sus scrofa*) populations: does the city of Rostock generate isolated populations or act functionally as an attractive sink for rural dispersers? *Wild Boar Symposium – Abstract booklet*, p.30
- GEISSER, H., REYER, H.-U. (2004) Efficacy of hunting, feeding, and fencing to reduce crop damage by wild boars. *Journal of Wildlife Management*, 68, 939–946.
- HELTAI, M., ANTAL, Cs., KOVÁCS, F., RÁCZ, K., CSÉPÁNYI, P., NAGY, A., CSÓKÁS, A., SCHALLY, G., CSÁNYI, S. (2016). A vaddisznó budapesti előfordulásának jogi és biológiai háttere II., *Erdészeti Lapok*, CLI.évf. 6. szám. pp. 191-194
- HESPELER, B. (2007): Jagd im Urbanen Raum von Berlin, *Berliner Forsten*

- JANSEN, A., LUGE, E., GUERRA, B., WITTSCHEN, P., ACHIM D. GRUBER, A.D., LODDENKEMPER, C., SCHNEIDER, T., LIERZ, M., EHLERT, D., APPEL, B., STARK, K., NÖCKLER, K. (2007): Leptospirosis in Urban Wild Boars, Berlin, *Emerging infectious diseases* 13(5):739-42
- KOTULSKI, Y., KÖNIG, A. (2008): Conflicts, crise and challenges: wild boar in the Berlin City, a social empirical and stational survey, *Nat. Croat.* Vol. 17. No. 4. 233-246
- LICOPPE, A., PRÉVOT, C., HEYMANS, M., ECOLE, H., DE BROUCKÈRE L., BOVY, C., CASAER, J., CAHILL, S. (2013). Managing wild boar in human-dominated landscapes, Workshop paper, International Union of Game Biologists - Congress IUGB 2013 - Brussels - Belgium
- MASSEI G, KINDBERG J, LICOPPE A, GAČIĆ D, ŠPREM N, KAMLER J, BAUBET E, HOHMANN U, MONACO A, OZOLIŅŠ J, CELLINA S, PODGÓRSKI T, FONSECA C, MARKOV N, POKORNY B, ROSELL C., NÁHLIK A. (2014): Wild boar populations up, numbers of hunters down? A review of trends and implications for Europe. *Pest Manag Sci.* (4):492-500.
- NÁHLIK, A., CAHILL, S., CELLINA, S., GÁL, J., JÁNOSKA, F., ROSELL, C., ROSSI, S., MASSEI, G. (2017): Wild boar management in Europe: knowledge and practice. p. 339-353. In: Melletti, M. & Meijaard, E. (eds.): *Ecology, Conservation And Management Of Wild Pigs and Peccaries*. Cambridge University Press.
- PODGÓRSKI, T., BAŚ, G., JĘDRZEJEWSKA, B., SÖNNICHSEN, L., ŚNIEŻKO, S., JĘDRZEJEWSKI, W. AND OKARMA, H. (2013). Spatiotemporal behavioral plasticity of wild boar (*Sus scrofa*) under contrasting conditions of human pressure: primeval forest and metropolitan area. *Journal of Mammalogy*, 94(1):109-119.
- STILLFRIED, M., FICKEL, J., BORNER, K., WITTSTATT, U., HEDDERGOTT, M., ORTMANN, S., KRAMER-SCHADT S., FRANTZ, A.C. (2017): Do cities represent sources, sinks or isolated islands for urban wild boar population structure?, *Journal of Applied Ecology*, 54: 272–281
- STILLFRIED, M., GRAS, P., BUSCH, M., BORNER, K., KRAMER-SCHADT, S., ORTMANN, S. (2017): Wild inside: Urban wild boar select natural, not anthropogenic food resources, *PLOS ONE* | <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0175127>
- TARI, T., SÁNDOR, GY., HEFFENTRÄGER, G., NÁHLIK, A. (2017): A vaddisznó lakott-területi előfordulása és viselkedésének jellemzői Balaton-parti településeken, VII. Magyar Tájökológiai Konferencia Tanulmányai, p. 597-604
- TARI, T., SÁNDOR, GY., HEFFENTRÄGER, G., NÁHLIK, A. (2016): Wild boar habituation to urban areas in Hungary, in the light of web presence, The 5nd International Hunting and Game Management Symposium, Book of Abstract, p. 26.

FAHEGESZTÉS VÍZGŐZ ÉS NYOMÁS SEGÍTSÉGÉVEL

TÓTH MIHÁLY ZOLTÁN, NÉMETH RÓBERT, BÁDER MÁTYÁS

Soproni Egyetem, Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi és Művészeti Kar, Faanyagtudományi Intézet
bader.matyas@uni-sopron.hu

Bevezetés

A faanyag nem homogén, a fára jellemző tulajdonságok zöme az ortogonálisan anizotrop szerkezeti felépítéséből származik. A felépítő anyagok (cellulóz, lignin, hemicellulózok) is eltérő kémiai és fizikai tulajdonságokkal rendelkeznek. Ezekből a különbségekből adódik a fának számos kedvező és kedvezőtlen tulajdonsága. Ezeket felhasználási területtől függően megpróbáljuk a számunkra legkedvezőbbben alakítani. Ezzel a területtel a faanyagmodifikáció foglalkozik, aminek a peremterületére esik a fahegesztés, mivel a faanyag összetételét és szerkezetét egyszerűen szeretnénk úgy változtatni, hogy azok egymással kötőszilárdságú kapcsolatot hozzanak létre. A kutatásoknak a célja, hogy jobban megismerjük a fát felépítő anyagok viselkedését és a bennük rejlő lehetőségeket.

Anyagok és módszerek

A fahegesztéshez felhasznált fafajokat, faanyagokat az alapján választották ki, hogy az egyes komponensek milyen mértékben vannak jelen. Jelen esetben a lignin és hemicellulózok mennyisége a fontos. A lignin, amennyiben jelen van kellő hőmérséklet és víz, plasztifikálódik, míg a hemicellulózok kötése is lazulnak (BOONSTRA et al. 2006). Ez azért érdekes, mert a fát tekinthetjük egy cellulóz szálereősítésű lignin mátrixnak, amiben a két komponens közti kapcsolatot a hemicellulóz biztosítja. Ezért, ha ez a két komponens kilágyul az eddig bekötött cellulózrostok képesek egymástól elmozdulni. Ennek a folyamatnak a mértékét a hőmérséklet és a jelenlévő víz mennyisége befolyásolja. Egy határon túl a fában elindulnak degradációs folyamatok is, amik ronthatják a végeredményt. A cél az, hogy mindkét felület plasztifikálódjon és a két felületen lévő szabad cellulózsálak egymással összekuszálódjanak anélkül, hogy degradálódnának. Majd ezután a lágy lignin mátrix visszahül és rögzül ebben a pozícióban.

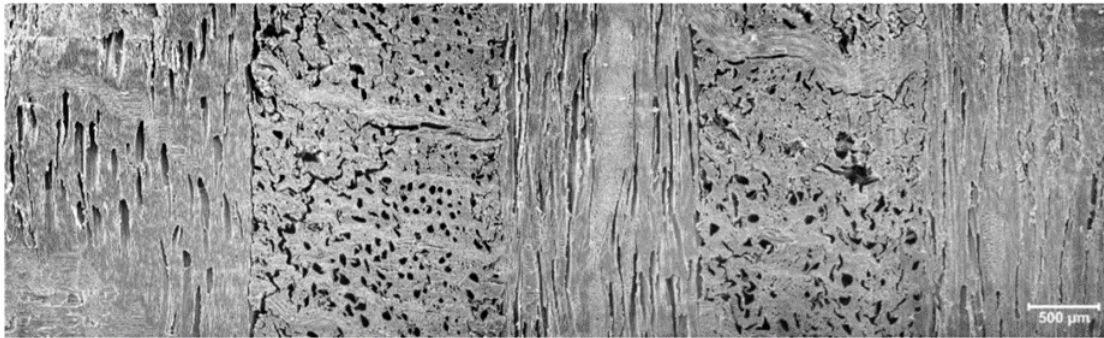
Az eddigi módszerek a fém- és műanyagiparban használt dörzshegesztésen alapszanak, miszerint a súrlódásból származó hőt használják. A Biel-i egyetemen Svájcban kísérletezték ki a mind a lineáris, mind a forgó mozgással létrehozható dörzshegesztést. A lineáris rendszerben két befogott felületet egymáshoz nyomnak, majd lineárisan rezgetni kezdik. Az egymáson elcsúszó felületek hőt termelnek, ami a lignint kilágyítja és kissé meg is égeti a felületet, ezzel degradálva az alap alkotókat, de ennek ellenére is az összenyomott felületek egymással kötést hoznak létre. A két próbatestet 1.3 MPa nyomással nyomják egymáshoz, majd 100 Hz frekvencián és 3 mm amplitúdóval kezdik rezgetni egymáson. Az érintkező felületek 250 °C -ig melegednek (GANNE-CHÉDEVILLE et al. 2008).

A másik eljárás során forgatással hoznak létre dörzshegesztést. Eben az esetben készíteni kell egy, a belehegesztendő facsapnál (tiplinél) kisebb átmérőjű, enyhén kúpos furatot. Ha a tiplit fűrőgépbe fogva elkezdjük forgatni és nyomást fejtünk ki rá a furatba irányítva azt a paláston történő súrlódás hatására ugyanaz a plasztifikációs folyamat megy végbe, mint a lineárisnál. A különbségek a kettő között, hogy itt a két próbatest száliránya egymásra merőleges. A kísérleteknél egy 10 mm átmérőjű, 8 cm hosszúságú pálcát használtak, amit 1165 1/min, vagy 1515 1/min fordulatszámon forgattak és egy 8 mm átmérőjű és 15 mm mély furatba kényszerítettek bele. Az elkenődött, megégett felületek között kialakult a kötés (GANNE-CHÉDEVILLE et al.. 2005).

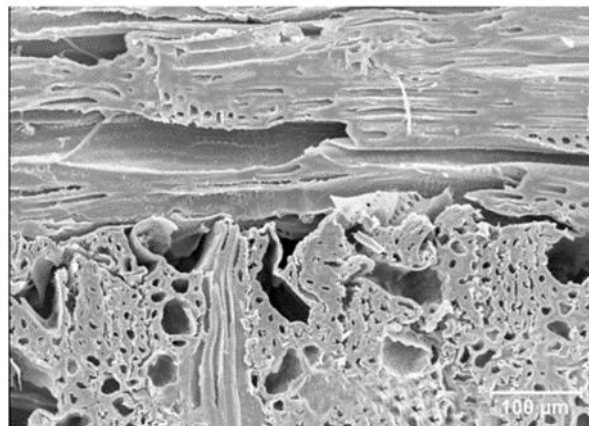
A harmadik eljárás, amikor magas hőmérsékletre melegített furnérokat sajtolnak össze és a felületek között így is kialakul a kötés mind kereszt irányú elhelyezés mellett, mind párhuzamos szálirányú furnérok esetén (CRISTESCU 2006).

Eredmények és értékelés

Az elektromikroszkópos (SEM) képeken szemléletesen látszanak a sejtfalakban és az anyag-szerkezetekben történt változások (1. és 2. ábra).



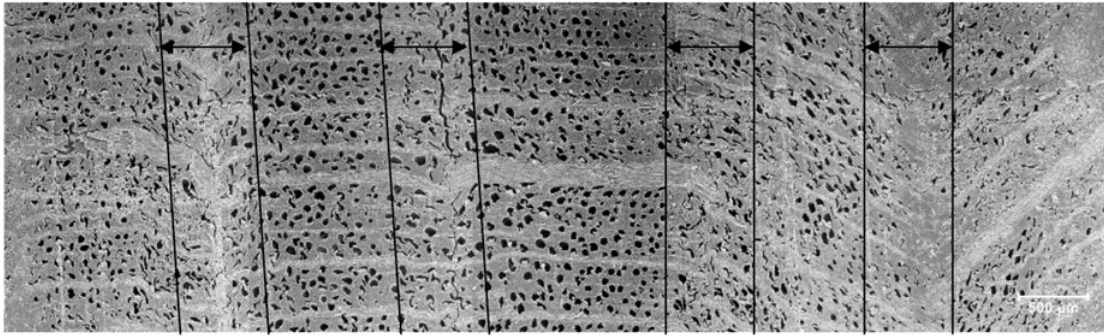
1. ábra: Pásztázó elektronmikroszkópos kép lineáris fahegesztési technológiával ragasztott merőleges rostirányú furnérok keresztmetszetéről, 35x nagyítás (CRISTESCU 2006)



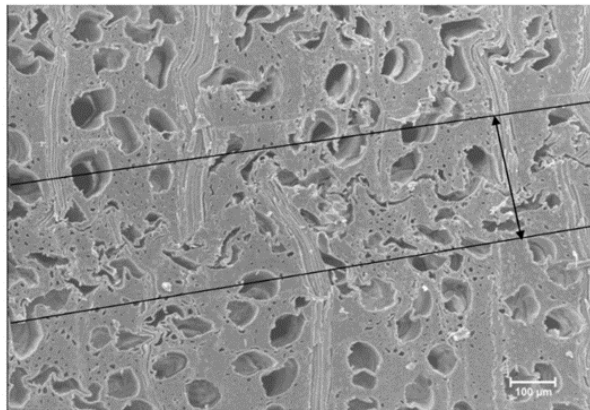
2. ábra: Laminált furnérok merőleges rostiránnyal ragasztva – a keresztmetszet pásztázó elektronmikroszkópos képe, 200x nagyítás (CRISTESCU 2006).

A rétegelt lemezek készítése magas hőmérsékleten, sajtolással történt. A képeken jól látszik, miként deformálódott a fa sejtfal- és sejszerkezete. Az érintkező két anyag csak felületén tud kötet kialakítani, mert az egymásra merőlegesen fekvő rostok elvezették a préseléskor kapott terhet. A két felület alig kapcsolódott össze, így a felületen csak a lignin tudott hozzáragadni a másik oldal ligninjeihez.

Abban az esetben, amikor a rétegek rostjai egymással párhuzamosan helyezkednek el, más eredményt ad a kezelés (3. és 4. ábra).



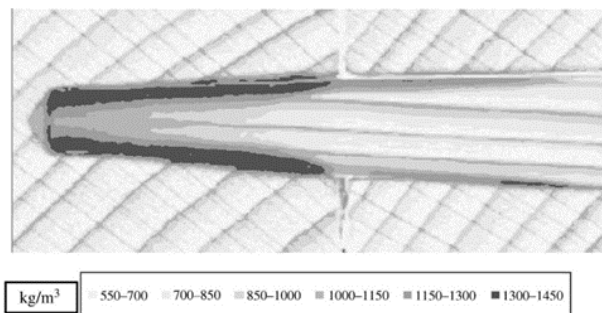
3. ábra: Keresztmetszet pásztázó elektronmikroszkópos képe, rétegelt furnérok párhuzamos rostiránnyal ragasztva. Az egyenes vonalak közötti kötési zónákat nyilak jelzik, 35x nagyítás (CRISTESCU 2006).



4. ábra: Keresztmetszet pásztázó elektronmikroszkópos képe, rétegelt furnérok párhuzamos rostiránnyal ragasztva. Az egyenes vonalak közötti kötési zónákat nyilak jelzik, 200x nagyítás (CRISTESCU 2006).

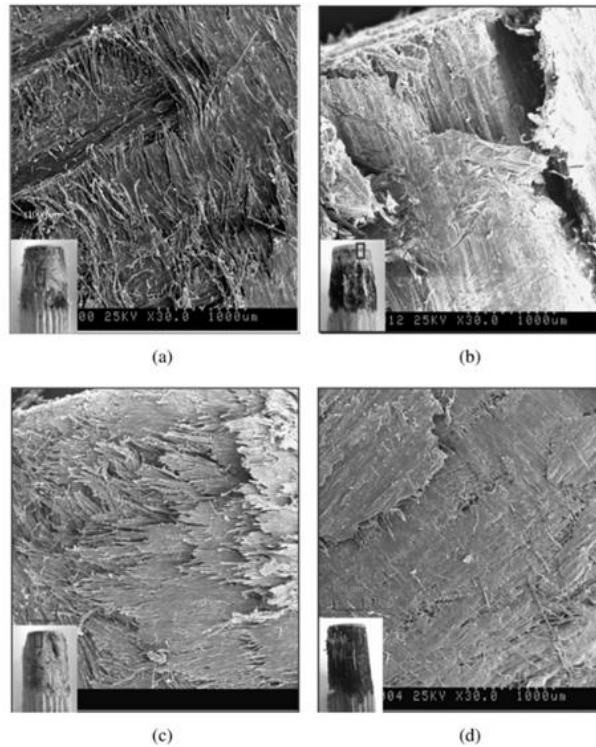
A keresztirányú furnérelrendezéshez képest látszik, hogy a két felület párhuzamos rostjai egy viszonylag vastag sávban összekuszálódtak, ezzel lehetővé téve a két furnér közti erősebb kötés létrejöttét. Amit viszont elvesztett, hogy nincs, ami merevítse keresztirányban a komplett rendszert, ezért a létrehozott lap egy heterogénebb tulajdonságokkal rendelkező, egyik irányban törekenyebb termék lesz.

A forgatással előállított fahegesztés röntgensugaras mikrosűrűség vizsgálati képein megfigyelhető, hogy sokkal nagyobb sűrűségű anyag lesz a palást mentén, ahol a két anyag ugyan degradálódott, de egy jó kötésszilárdságú kapcsolat jött létre, ami egy roncsolásmentesen nem oldható kötést biztosít (5. ábra).



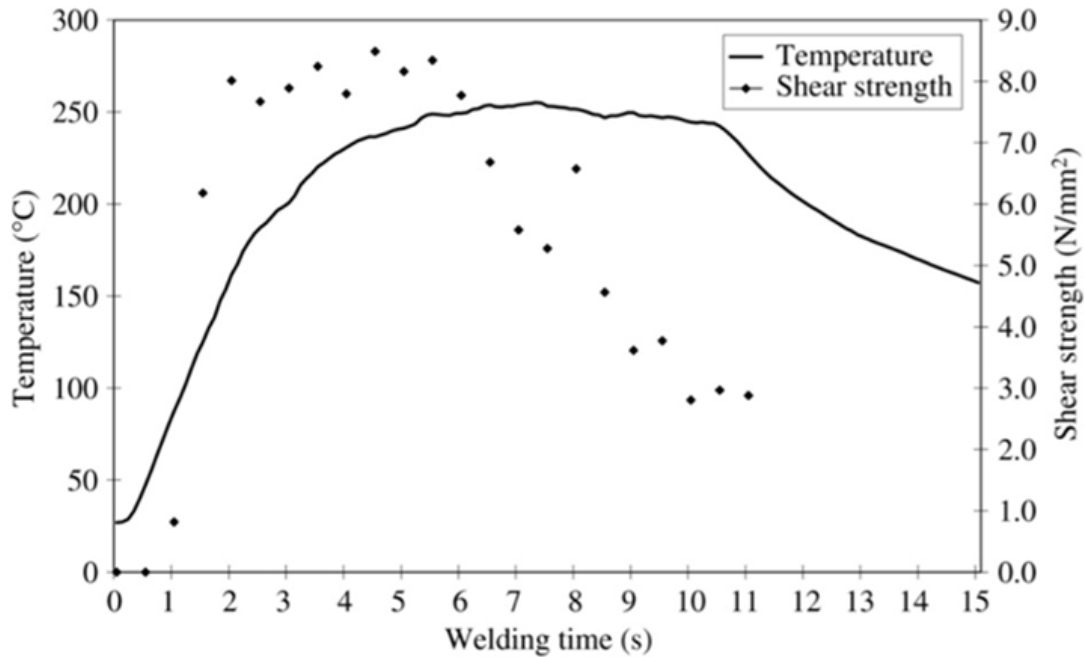
5. ábra: Röntgen mikrosűrűség felvétel bükkfa alapanyagba helyezett azonos sűrűségű (kg/m^3 -ben), bordázott tiplivel hegesztett fakötésről (GANNE-CHEDEVILLE et al. 2005).

Ezt az eljárást lehet eddig a legjobban alkalmazni az iparban, mivel a forgatást akár egy CNC gép is el tudja végezni amellet, hogy nem látszó kötések kialakítására van lehetőség. Ami az eljárás hátránya, hogy ha vizet kap, a kötés szilárdsága gyengül. Ez esetben a vizesedés ki van küszöbölve, mivel egy zárt szerkezetben helyezkedik el a hegesztett rész, ami védi a nedvesedéstől. A másik előnye, hogy a hegesztett tiplit inkább nyíró igénybevétel terhelheti, mint a tiplivel párhuzamos húzóerő, így a kötés feladata csak a tipli kicsúszásának megakadályozása (6. ábra).



6. ábra: Pásztázó elektronmikroszkópos képek a vizsgálatokhoz használt különböző tiplik felületeiről a faanyagból történő eltávolítás után. (a) Fenyő alapanyag, a farostra merőlegesen behelyezett tipli, etilénlikollal előkezelve. (b) Fenyő alapanyag, bütübe behelyezett tipli, etilénlikollal előkezelve. (c) Bükk alapanyag, bütübe behelyezett tipli, etilénlikollal előkezelve. (d) Bükk alapanyag, bütübe behelyezett tipli, etilénlikollal előkezelve. 30x nagyítás (GANNE-CHÉDEVILLE et al. 2005).

A 7. ábrán a lineáris vibrációval elkészített hegesztés hőmérséklete és nyírószilárdsága látható a hegesztési idő függvényében. A hegesztéshez használt frekvencia 100 Hz, az amplitúdó 3mm. Leolvasható, hogy már a 3. másodpercben 220 °C-nál eléri a maximum értékét a nyírófeszültség. Ez azzal magyarázható, hogy 220 °C felett intenzívebben megkezdődik a hemicellulózok bomlása és később nem tud olyan kötéseket kialakítani a lignin és a cellulóz szálak között.



7. ábra: A minták hőmérséklete és nyírószilárdsága a hegesztési idő függvényében (GANNE-CHÉDEVILLE et al. 2008).

A bemutatott eljárásoknak nagy hátránya, hogy az érintkező felületek megégnek a magas sűrűlési hő hatására, és ha ezek a részek vizet kapnak, hirtelen és jelentősen lecsökken a kötőszilárdságuk. Ez azért lehet, mert mikor létrejön a kötés akkor a jelenlévő anyagok degradálódnak és a maradék anyag alkotja a kötőfelületet, de ez töredéke a fa kohéziós erejének. Tehát a probléma ott van, hogy a fa megég és azért ég, mert semmi nem gátolja meg a fában lévő vizet abban, hogy 220 °C hőmérsékleten gőzként eltávozzon. A Thonet-technológia megjelenése óta ismert tény, hogy a fában lévő lignin és hemicellulóz plasztifikálható és ehhez 2 dologra van szükség: kellő hőmérsékletre és víz jelenlétére a faanyagban. A Thonet bútorok alkatrészei csak gőzölve lettek és így is bámulatosan hajlékonyá tette a fát míg ki nem hűlt és utána úgy is maradt. A fában 220 °C hőmérsékletig viszonylag kis mértékben indulnak meg degradációs folyamatok nedves környezetben. Így ha a fával úgy közölnénk hőt, hogy közben nedvesen tartjuk, abban az esetben nem fog megégni viszont a lignin és a hemicellulóz kellően meg tud lágyulni. Ilyen hőmérsékleten a fában tartani a vizet elég nehéz, de ha a vizet kívülről telített- vagy száraz gőz formulában közöljük vele, akkor be tudjuk állítani mind a hőmérsékletet, mind a fa víztartalmát. Ezzel a két paraméterrel be lehet úgy állítani a fa plasztifikációját, hogy a lehető legnagyobb mértékben végbe menjen anélkül, hogy a jelentős degradációs folyamatok megkezdődnének. Az így meglágyított felületeket fel kell érdesíteni, hogy a cellulózrostok egymásba akadását megkönnyítsük. Ha a két anyagot egymáson kis nyomással körkörösén mozgatjuk, a felületből kiálló cellulózrostok összekuszálódnak, majd a mintákat pontosan illesztve a kihülésükig nyomva tartjuk. Ezt követően mivel a kötés létrejötté közben a fa nem ég meg, ezért vélhetően a kialakult kötés jobban ellenáll a víz hatásának.

A fentiek alapján a faanyag, mint egy cellulózszál erősítésű lignin mátrix, amiben a két komponens közti kapcsolatot a hemicellulóz biztosítja, képes lehet ilyen kompozitokra jellemző viselkedésre és a fahegesztési eljárás megvalósíthatónak tűnik. A kutatások eredményei rámutattak, hogy az ilyen jellegű kísérleteknek van értelme, hisz az így kialakult kötések az ipar számára is megfelelő szilárdságot tudnak biztosítani.

Következtetések

A fahegesztés témakörében folyt kutatások ismerete és elemzésük elhagyhatatlan, ha egy technológiát akarunk fejleszteni ezen a területen. Ezeknek a kutatásoknak és eljárásoknak az eredményeit és részeredményeit iránymutatásként lehet kezelni az újabb technológiák tervezésekor. A fahegesztési technológia egy környezetbarát irányt mutat, ami a mai világban rendkívül fontos szempont, ezért érdemes továbbvinni a kutatásokat ezen a területen. A felhasznált releváns források tudományos publikációk és a kutatók szakmai tapasztalatai. Talán a legfontosabb következtetés amit levonhattunk, hogy a hegesztési eljárások kivitelezéséhez nem elég csak a nyomás és a hő megléte, hanem a víz jelenlétének és mennyiségének is fontos szerepe van. Ez az a kutatási irány, amit a jövőben vizsgálni kéne egy jobb fakötés elérésének érdekében.

Köszönetnyilvánítás: A publikáció elkészítését az EFOP-3.6.2-16-2017-00018 („Termeljünk együtt a természettel - az agrárerdészet mint új kitörési lehetőség”) projekt támogatta a Széchenyi2020 program keretében. A projekt megvalósítását az Európai Unió támogatja, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával.

Irodalomjegyzék

- CRISTESCU C. (2006): Bonding of laminated veneers with heat and pressure only. In: Caldeira F.J. (ed.): Proceedings of 2nd International Conference on Environmentally-Compatible Forest Products “EcoWood”, Edições Universidade Fernando Pessoa, Porto, Portugal, pp. 339-348.
- CRISTESCU C. (2015): Self-bonding of beech veneers. Doctoral dissertation. Luleå University of Technology, Luleå, 218 p.
- GANNE-CHÉDEVILLE C., PIZZI A., THOMAS A., LEBAN J-M., BOCQUET J-F., DESPRES A., MANSOURI H. (2005): Parameter interactions in two-block welding and the wood nail concept in wood dowel welding. *Journal of Adhesion Science and Technology*. 19(13-14): 1157-1174. DOI: 10.1163/156856105774429037
- GANNE-CHÉDEVILLE C., PROPERZI M., LEBAN J-M., PIZZI A., PICHELIN F. (2008): Wood welding: chemical and physical changes according to the welding time. *Journal of Adhesion Science and Technology* 22: 761-773. DOI: 10.1163/156856108X295392
- BOONSTRA M., PIZZI A., GANNE-CHÉDEVILLE C., PROPERZI M., LEBAN J. M., PICHELIN F. (2006): Vibration welding of heat-treated wood. *J. Adhesion Sci. Technol.* 20(4): 359-369. DOI: 10.1163/156856106776381758

FAHAJLÍTÁS ANATÓMIÁJA – ÁTTEKINTÉS

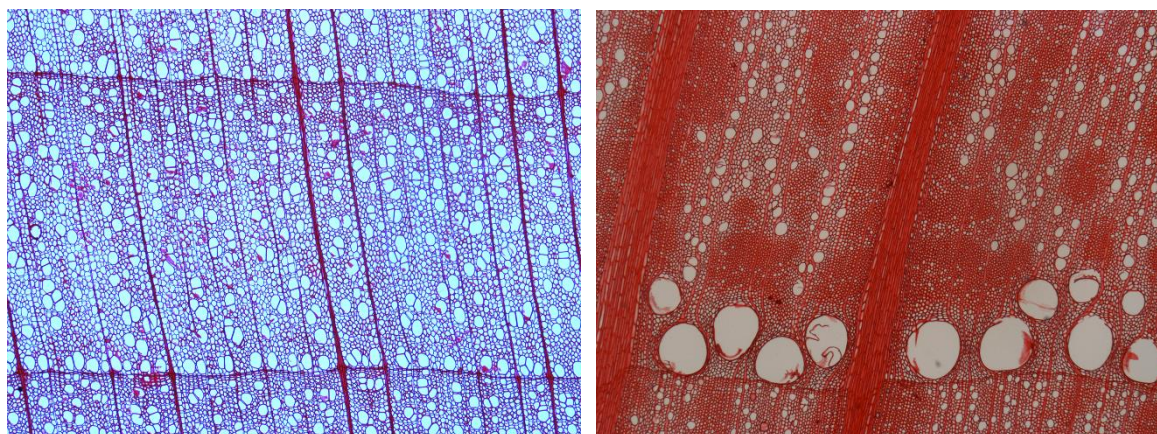
VADKERTI TÓTH BALÁZS, NÉMETH RÓBERT, BÁDER MÁTYÁS

Soproni Egyetem, Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi és Művészeti Kar, Faanyagtudományi Intézet
bader.matyas@uni-sopron.hu

A faanyag anatómiája

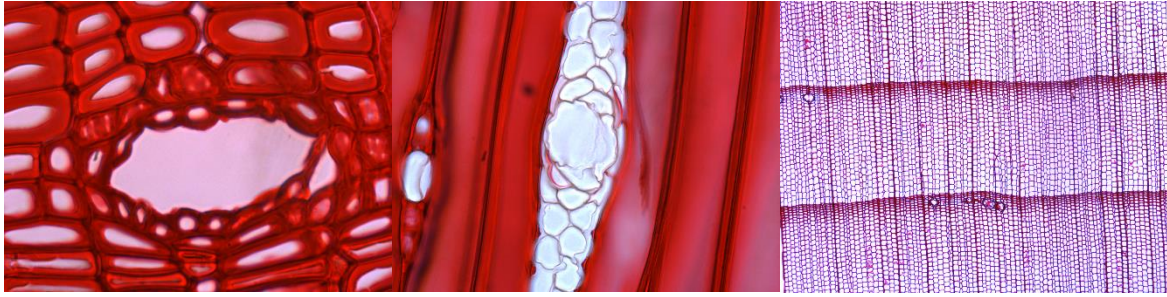
A faanyag mikroszkópos jellemzőinek ismerete a faipar szerves részét képezi, mivel a különböző fafaji sajátosságok és a fahibák egyaránt mikroszkopikus szintig levezethetők, a sejtszerkezettel és az egyes sejtek szerkezetével magyarázhatók, megérthetők. A fajok sajátosságai nagyban befolyásolják az adott faanyag felhasználhatósági körét.

A fafajok alapvetően két nagy csoportba sorolhatók: tűlevelű- és lombos fajok. A fenyők további részekre oszthatók, gyantát tartalmazó és gyanta nélküli fenyők. A lombos fajok már érdekesebbek, mert sorolhatnánk akár kemény és puhafára is, de esetünkben érdekesebb a gyűrűs és szórt edényelrendezés alapján besorolni őket. Ezt úgy kell érteni, hogy a későbbiekben bemutatásra kerülő edények mérete – melyek a nedvesség- és tápanyagszállításért felelősek – az egyes évgyűrűkön belül, a korai pászta felől a kései pászta felé haladva fokozatosan csökken a méretük (szórt likacsú fajok), vagy éles vonallal elválaszthatók a nagy átmérőjű és a kis átmérőjű edények (gyűrűs likacsú fajok) (1. ábra). Vannak faipari szempontból kisebb jelentőségű, köztes átmenetek is, pl. különböző gyümölcsfák, de ezek ismertetése a cikk fő témáján kívül esik.



1. ábra: Szórtlikacsú hárs (*Tilia*) (bal) és gyűrűslikacsú tölgy (*Quercus*) (jobb) keresztmetszeti képei

A fenyők fájának egyszerűbb a felépítése: csak tracheidák, parenchimák és esetleg gyantajáratok alkotják. A fatest döntő részét tracheidák teszik ki, melyek végzik a víz szállítását, raktározást és a fatest mechanikai szilárdítását is. Ezek hosszúkas, kihegyezett végű sejtek, melyek közt az anyagáramlást úgynevezett gödörkék biztosítják. Parenchima sejtek első sorban a bélsugarakban vannak jelen, a hosszparenchimák (faparenchimák) minimális mennyiségben fordulnak elő, gyantajáratok körül, esetenként elszórva, de egyes fajokból teljesen hiányoznak is. A parenchimasejtek rövidebbek, gyakran hosszuk és szélességük közel megegyezik, de ha megnyúltak, akkor is lekerekített véggel rendelkeznek. Arányuk 1-2%, így mechanikai szerepük elhanyagolható. A csoportosan elhelyezkedő parenchimasejtek szétválásával üregek jönnek létre, melyekben gyanta keletkezik, ezeket az üregeket nevezzük gyantajáratoknak. Az őket körülvevő parenchimatikus sejtek gyantakiválasztó parenchimák, ezeket epitelsejteknek nevezzük (2. ábra). Gyantajáratok nem csak hosszirányban jöhetnek létre, hanem bélsugarak mentén is (Butterfield és tsai. 1997).

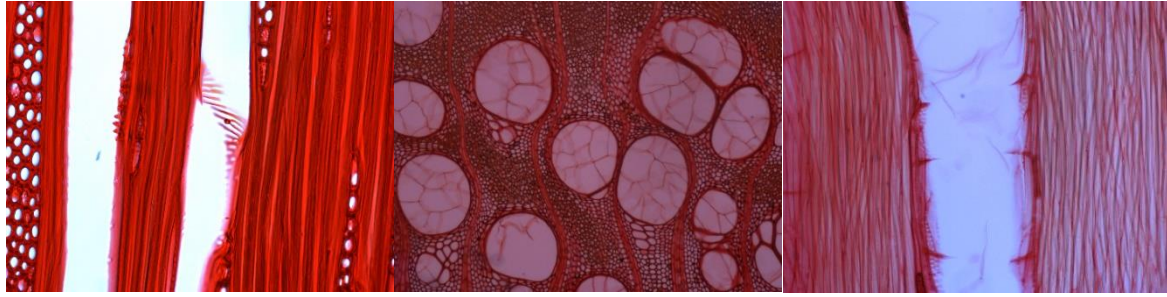


2. ábra: Gyantajáratok különböző fajokban: Duglászfenyő (*Pseudotsuga menziesii*), nagyítás x60 (bal) Erdeifenyő (*Pinus sylvestris*), nagyítás x40 (közép) lucfenyő (*Picea abies*), nagyítás x4 (jobb)

A fenyőtracheidák adják a fatest 90-95%-át, átlagos hosszuk 3-5 mm, vastagságuk 10-30 μm . Funkcionálisan három részre oszthatók: korai és kései hosszirányú tracheidák, valamint egyes fajoknál keresztirányú tracheidák. A korai tracheidák az évgűrű korai pászttáját alkotják, nagyobb üregűek, lekerekített végűek, vékony falúak, rövidebbek. Jellemzően szabályos kerek udvaros gödörkéek biztosítják közöttük az anyagáramlást. A nedvességszállítás jelentős részét végzik, ezért áledényeknek is nevezik őket. A késői pászttát alkotó kései tracheidák kisebb keresztmetszetűek, vastagabb falúak, hosszabbak, hegyesedő végűek. Gödörkéik kisebbek, többnyire inkább hasítékra, mint körre emlékeztető formával. Szerepük a fatest szilárdítása. Keresztirányú tracheidák előfordulhatnak bizonyos fenyőknel, ezeknél a fajoknál bélsugarparenchimákkal együtt alkotják a bélsugarakat. Feladatuk a fatesten belüli keresztirányú anyagáramlás biztosítása, míg szerkezeti jelentőségük elhanyagolható. Egyes fajoknál a bélsugar közepén, más fajoknál pedig a szélein helyezkedhetnek el, de teljesen hiányozhat is.

A lombos fajok szerkezete összetettebb, tartalmaz edényeket (tracheákat), melyek a vízszállításért felelősek első sorban. Rendelkeznak tracheidákkal, parenchimákkal, valamint nagy arányban farostokkal, melyek első sorban a szilárdításért felelősek. Bélsugaraik lehetnek egyesével, vagy kisebb csoportokban, de lehetnek úgynevezett halmozott bélsugarak is, melyek bélsugártükrei szabad szemmel is jól láthatók. Az edények nagy, akár 400 μm -es átmérőjükkel erősen elkülönülnek a fatest többi részétől. Vízszállító szervként működnek, számos edénytagból (sejtből) állnak, melyek közt a sejtfa részlegesen, vagy teljesen eltűnhet. A korai pászta öblösebb edénytagjai rövidebbek, a kései pászta vékonyabb edénytagjai hosszabbak (Butterfield és tsai. 1997). Gyűrűs likacsú fák esetében a vastagabb korai tracheák körökbe rendeződnek, korai és kései pászttájuk jól elkülöníthető. Szórt likacsú fákról ez nem mondható el, ott egyesével, kisebb csoportokban, vagy úgynevezett likacsugarakba rendeződve helyezkednek el. Egyes fajoknál, pl.: dió, cseresznye, szilva, stb. a két típus közti átmenet figyelhető meg, félig szórt likacsú, ha az edények mérete fokozatosan csökken, félig gyűrűslikacsú, ha az edények bár azonos méretűek, de a korai pászttában gyűrűkbe rendeződnek (Molnár és tsai. 2025). A különböző edényattörések megkülönböztető jegyek is lehetnek mikroszkópos fajfelismerésnél.

Ismertető jegy lehet még a sejtfa spirális megvastagodása. A gesztesedési folyamat beindulásával tömítő sejtek jöhetnek létre az edényeken belül, úgynevezett tiliszek (3. ábra), valamint alakulhatnak ki bennük tömítőanyagok pl.: gumik, olajok, gyanták. Az edények eltömődése gátolja az anyagáramlást (víz, levegő) ezért bizonyos fokú védelmet biztosít a fának. Ezen felül lehet vastag, kemény fala a tiliszeknek, ami a gombák elleni védelmet is elősegíti, bizonyos faipari technológiákat viszont megnehezít pl.: szárítás, ragasztás, telítés és szerszáméllkoptató hatása is lehet.



3. ábra: Létrás edényáttörés (*Fagus sylvatica*), nagyítás 40× (bal) Tiliszek (*Robinia pseudoacacia*), nagyítás x40 (közép) Teljes edényáttörés (*Ulmus*), nagyítás 40× (jobb)

A lombos fajok tracheidái némiképp eltérnek a fenyőkétől. Ezek is végeznek vízszállítást és szilárdítást egyaránt, de a gödörkék hártája egyenletes vastagságú marad, nem alakul ki a fenyőkre jellemző tórusz-membrán szerkezet. Ennek okán csak lassabb vízszállításra képesek és nincs edényáttörés sem.

A lombos fajok fatestének nagy részét a farostok adják, melyek vastag falú, kis üregű hegyesedő sejtek. Vastag sejtfalukon kicsi egyszerű gödörkék találhatók. Elsődleges szerepük a fatest szilárdítása, szállítóképességük elhanyagolható. Hamar elfásodó sejtek. Átlagos hosszuk rövidebb a fenyő tracheidáinál, 1-2 mm. Az adott faanyag szilárdságát adják, mégsem mindig a nagyobb részarányban farostokat tartalmazó fajok keményebbek, inkább a sejtek falának vastagságától függenek a fa mechanikai jellemzői.

A faparenchima sejtek aránya a lombosokban fajtól függően 1-10% között mozoghat. A fatestben legtovább élő sejtek, ezért fontos szerepük van a gesztesedésben. Az élő fában pedig a sebzésreakciókért felelősek. Elrendezésük ismertető jegy lehet: edények körül, edények körül foltokban, sávokban, évgűrűk mentén, vagy lehet szórt elrendezésben. Sejtfaluk jellemzően vékony, ezért könnyen összenyomható sejtek. A bélsugár a fatest hosszirányára merőleges szövet, egy vagy több sejtsorba rendeződhet. A lombos fák bélsugara kizárólag parenchima sejtekből épül fel, melyeknek fafajon belül többnyire azonos méreteik vannak. Homogén bélsugár esetén minden sejt fekvő állapotban helyezkedik el, egyöntetű megjelenést ad. Heterogén elrendezés esetén a sejtek egy része fekvő, másik része álló helyzetben van. Szerepe a fatesten belüli keresztirányú anyagszállítás, valamint a tápanyag raktározása. Vastagabb bélsugarak száradás során repedések kiinduló pontjai lehetnek. Sok vastag bélsugárral rendelkező fának nehezebb a megmunkálása.

A fasejtek szerkezete és alkotóelemei

A fatestben három fő alkotóelemről lehet beszélni: cellulóz, lignin és hemicellulózok. A faanyag tömörítése, hajlítása szempontjából a cellulóz, a hemicellulóz és a lignin a három fontosabb alkotó, ezért csak ezekről lesz bővebb ismertető. Ez a három alkotó úgy működik, mint a vasbetonban a vas és a beton, a cellulóz szimbolizálja az acél huzalokat, mivel egy kristályos hosszú láncmolekula lévén nagy húzószilárdsággal rendelkezik és a lignin, mint a cement fogja össze a cellulóz rostokat. A hemicellulóz e két főbb elem közt biztosítja a megfelelő kapcsolatot.

A cellulóz teszi ki a fatest 40-55%-át. Egy β -D-glükóz-molekula lánc $(C_6H_{10}O_5)_n$ ahol n a polimerizációs fok, legalább 1000-1200, de elérheti a 8000-t is. A cellulóz a víznek és a legtöbb oldószernek jól ellenáll (Molnár 2004). A lignin egy bonyolult aromás vegyület, melynek szerkezete fafajonként némileg eltérhet. Nem kristályosodik ki, és nem is térhálósodik, amorf szerkezetű anyag. A fatesten belül a cellulózokat köti egymáshoz, ezzel jelentősen megnövelve a nyomószilárdságot. Hő és nedvesség együttes hatására azonban valamilyen mértékig fellágyul, ezért lesz jobban alakítható a faanyag gőzölés hatására.

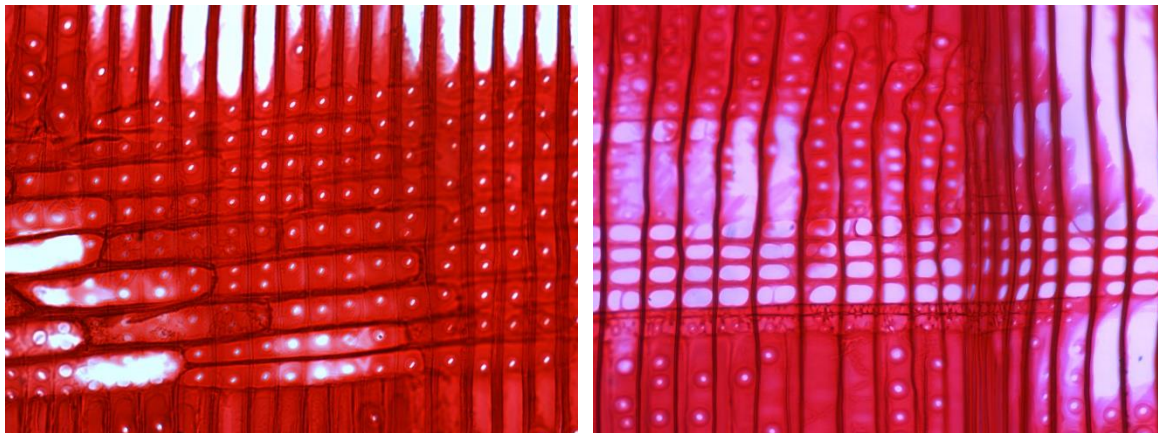
A fa sejtszelei középlemezre, sejtfalra és sejtüregre bonthatók. A sejtüreg értelemszerűen üres, a vízszállítás az elsődleges célja. A középlemez egy ragasztószerű réteg az egyes sejtek között, pektinből és ligninből áll. A sejtfal további részekre osztható, elsődleges primer sejtfalra, másodlagos sekunder sejtfalra és harmadlagos terciér sejtfalra. A legvastagabb a sekunder sejtfal, annak is 3 rétege közül az S2 réteg, ezért is annak a tulajdonságai a legmértvadóbbak, ha a fa-víz kapcsolatot, vagy a faanyag mechanikai tulajdonságait nézzük. Az S2-es sejtfalrétegben a cellulóz rostok alkotta úgynevezett mikrofibrillák egymással párhuzamos elrendeződésűek, de a sejt hossz tengelyével 10° körüli szöget zárnak be. Ez adja a faanyag anizotrópiáját, mind mechanikai, mind zsugorodás-dagadás tekintetében. A mikrofibrillák közt ugyanis 1 nm-es hézagok találhatók, ahova be tudnak ékelődni a vízmolekulák, szétfeszítve azokat. Tehát értelemszerűen a mikrofibrillákra merőlegesen, keresztirányban dagad a faanyag jobban, rostirányban kevésbé. Ez a beékelődött víz az úgynevezett kötött víz, ami pl. a levegő nedvességtartalmának hatására a beépített faanyag méretváltozásait is okozza. A beékelődött víz több rétegben kémiailag kapcsolódik a faanyaghoz, de a közelebbi rétegeknek nagyobb a kötési energiájuk, így az anyag igyekszik minden esetben az egyenletes nedvességeloszlást elérni. A rosttelítettségi nedvességtartalom elérésével (kb. 30%) a sejtfal nem képes több víz felvételére, innentől a sejtüregben tud még víz felhalmozódni, de itt kémiai kötések nem alakulnak ki, tehát a faanyag méretei nem változnak tovább. A nedvességtartalom (MC) meghatározását több módszerrel lehet megoldani, például helyszínen beüthető elektródás nedvességmérő műszerrel, mely a faanyag elektromos ellenállásából számol nedvességtartalmat. Laboratóriumi körülmények közt a mintáknak lemérik a nedves tömegét, majd 103 °C hőmérsékleten kiszárítják azt, és a két tömegből $MC = (w_m - w_0) / w_0 * 100$ képlettel határozzák meg a nettó nedvességtartalmat, ahol w_m a nedves tömeg és w_0 a száraz tömeg.

A fajok meghatározása mikroszkóppal

A fent tárgyalt mikroszkopikus tulajdonságokat egy egyszerű fénymikroszkóppal lehet vizsgálni. Az általunk használt mikroszkóphoz szükséges egy olyan vékony minta, amely egyszerűen átvilágítható, ugyanis fénymikroszkóppal csak áttetsző anyagokat lehet vizsgálni. A mikroszkóp ugyanis alulról egy izzóval egy lencsén keresztül világítja meg a mintát, majd a felette lévő nagyító lencsesoron keresztül egy sokszorosára nagyított képet láthatunk. A lencsék rögzítetten állnak, magát a mintát kell bemozgatni a fókuszpontba. A vizsgálat nehézségei a minta elkészítésével kezdődnek. A vizsgálni kívánt faanyagból 1-2 centiméteres oldalú kockákat kell készíteni, majd ezeket vízbe áztatni, esetleg főzni, hogy puhább legyen az anyag, valamint felhúzódnak a szálai. Ezt követően mikrotóm segítségével hasítanak mintát mind a 3 anatómiai irányban.

A mikrotóm egy vastag, merev, borotvaélesre élezett pengéből és egy a fakocka rögzítésére szolgáló satuval felszerelt kocsi áll. A kocsi magassága mikrométer pontossággal állítható, így igen vékony szeleteket lehet vágni a fakockából. A pengéről csipesszel távolítják el a mintát. A hasított mintákat megszínezik. A tárgylemezre (amely egy vékony üveglap, amin a minta lesz) desztillált vizet csepegtetnek, abba rakják bele a metszeteket, majd egy másik, még vékonyabb üveget nyomnak rá, ami ott tartja a mintát. A metszet elkészítése után kezdődhet a mikroszkópos vizsgálat. A különböző faanyagoknak különböző ismertető jegyeik vannak. A vizsgálatot érdemes a bütümentszeten kezdeni, onnan meg lehet állapítani, hogy fenyő, vagy lombos a vizsgált faminta és például fenyőknél, hogy gyantát tartalmaz, vagy sem. Lombos fajoknál meg lehet állapítani, hogy gyűrűs, vagy szórt likacsú, milyen vastagok az évgyűrűk, bélsugarak, hogyan állnak a parenchima sejtek, tüliszesezés stb. Ezek alapján már lényegesen szűkíthető a lehetséges fajok listája. Ez után érdemes áttérni a húrmetszetre, melyen az edényáttörése,

sejtfalvastagodások, bélsugarak, illetve fenyők esetén a keresztződési mezők lehetnek árulkodók. A keresztződési mező a bélsugarak és a hosszirányú sejtek találkozási pontja, melyen különböző gödörkézettségek figyelhetők meg. Ablakos, piceoid, cupressoid, taxodoid (5. ábra).



5. ábra: Keresztződési mezők: Boróka cupressoid gödörkéi (bal), erdei fenyő ablakos gödörkéi (jobb)

Fahajlítás

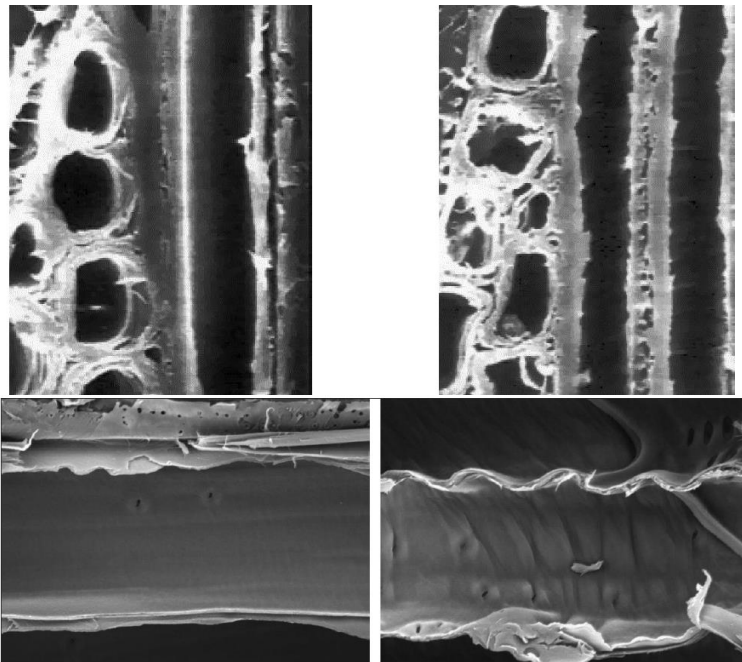
Hajlított faanyagot több módszerrel készítenek. Elterjedt megoldás a rétegelt-ragasztott elemekből felépülő szerkezet, ahol lényegében sok vékony réteget együtt hajlítanak, majd ragasztanak össze. Itt azonban a faanyag nem magától marad a kívánt formában, hanem a rétegeket összekötő ragasztó által létrehozott nyírófeszültség tartja az adott formában a rétegeket, melyek húzó és nyomó igénybevételeknek vannak kitéve. Ahol viszont valóban a faanyag tartja meg az alakját, az a gőzölt-hajlított, illetve a rostirányban tömörített tömör faanyag.

Gőzöléskor a faanyagot zárt térben legalább 80 °C hőmérsékletű gőzbe kell helyezni. Ennek legegyszerűbb módja, ha a faanyag alatt vizet forralnak, arra figyelve, hogy a faanyag ne érjen bele a vízbe, mert az kioldhatná az extrakt anyagokat a fából és telíthetné a sejtüregeit. A fent ismertetett faszervezetben a lignin és a hemicellulózok fellágyulnak és míg ebben a melegnedves állapotban vannak, jól alakíthatók, hajlíthatók. Hajlítás közben a középlemezben fellágyult lignin engedi elmozdulni egymáshoz képest a magas cellulóztartalmú szöveteket. A rétegek elmozdulása után ha az anyag kihűl, megtartja az alakját. Ugyanakkor az anyagon belül a hajlítás belső oldalán nyomó-, míg a külső íven húzófeszültségek alakulnak ki, utóbbit a faanyag nem viseli jól. További hátránya a gőzöléssel hajlított faanyagnak, hogy kihűlés után nem alakítható tovább.

Egy lényegesen kiforrottabb technológia a hosszirányú tömörítés, amelyhez először szintén gőzöléssel plasztifikálni kell a faanyagot. A fellágyult anyagot hosszirányban jellemzően 20%-kal préselik össze, majd egy ideig célszerű összenyomott állapotában tartani (Báder and Németh 2018). Technológiai szempontból sajnos ez nem ennyire egyszerű. Nem tömöríthető jól minden fafaj, valamint csak a hibátlan, egyenes rostlefutású anyagok használhatók. Tömörítés során a ferdeszálú anyag könnyen elhasadhat, amivel az anyag is használhatatlanná válik és a gépet is ronszolhatja (6.jobb ábra). Göcsök körül pedig a megváltozott rostirányok miatt esztétikai és mechanikai hibák keletkezhetnek (6.bal ábra). Tömörítés során oldalról meg kell támasztani a faanyagot kihajlás ellen. Egy hüvely szükséges a tömörítéshez, mely nem lehet túl szoros, mert a fellépő súrlódási erő befolyásolná a tömörítés mértékét rostirányban, és az egyenetlenül tömörödött faanyag hajlításakor sem viselkedne homogén módon. Ha a szobahőmérsékletű fémtámasszal érintkezve hőt adna le az anyag külső fele, akkor visszakeményedne a faanyagban a középlemez, így nem lehetne tömöríteni. Emiatt a laboratóriumban fűtött falú, állítható méretű hüvelyt alkalmazunk. Fontos továbbá a pontos kiinduló méret, mert ha lelóg az anyag a feltámasztásról, könnyen elhasadhat.



6. ábra: Tűgöcs a tömörített faanyagban (bal) ferdeszálúság miatti hasadás (jobb)



7. ábra: Tömörítés előtt (bal alsó és felső) Tömörítés után (jobb alsó és felső) (Báder 2015)

A fellágyult középlemez nem csak hajlításkor, hanem tömörítéskor is hagyja mozogni a sejteket. A sejtfal egyúttal meggyűrődik (7. ábra), ezzel némiképp új tulajdonságokat adva a fának. A rugalmassági modulusz drasztikusan csökken, a statikus terhelhetőség (pl.: hajlítás) gyengül, ugyanakkor hajlékonyabbá válik. A dinamikus terhelés során elviselt törésig elnyelt energia lényegesen megnő. Az így kapott anyag könnyen hajlíthatóvá válik, mert hajlításkor nem húzódnak és nyomódnak a szálak, hanem a gyűrődött sejtfal egyenesedik, vagy gyűrődik be mégjobban. Ezt a fajta terhelést pedig a faanyag sokkal jobban viseli (Báder 2015). Az anyagnak nem csak a mechanikai tulajdonságai, de a higroszkópos jellemzői is megváltoznak a kezelés hatására. Nedvesség hatására ugyanaz a folyamat játszódik le benne, mint a kezeletlen fában, de a gyűrődött rostszerkezet miatt lényegesen nagyobb lesz a rostirányú növekedése. Ebből adódik, hogy nedvesség hatására a rostirányban tömörített faanyag igyekszik visszaállni eredeti alakjába, a hajlított anyagokat elsősorban bútorokban, valamint belsőépítészeti design elemekben használják. Tartószerkezeti alkalmazásra a megváltozott mechanikai tulajdonságok következtében nem igazán alkalmas.

Következtetések

A sejttípusok alapján elkülöníthetők a fenyőfélék és a lombos fák. Utóbbiakból az edények elrendeződése alapján két csoport alakítható ki, a gyűrűs és a szórt likacsúak. Ezt követően szó esik a fénymikroszkópos minták készítési módjáról, valamint az ezeken a mintákon megfigyelhető ismertető jegyekről. A sejtek és azok vizsgálatának ismertetése után részletesebb bemutatásra kerül a sejtfal, valamint az azt alkotó három legfőbb elem, a lignin, a cellulóz és a hemicellulóz. Ezek alapján könnyebben megérthetővé válik a faanyagok hajlítása. A fahajlításnak két alapvető típusát különböztetjük meg, a rétegelt és a modifikált hajlítást. A cikk a modifikált faanyagok hajlítását taglalja, a gőzölés és a rostirányú tömörítés hatásait a faanyag anatómiájára. A gőzölés során fellágyul a lignin, mely engedi elcsúszni a sejteket, így alakíthatóvá, hajlíthatóvá válik a faanyag. A tömörítési technológia erre alapoz, csak ott a gőzölt faanyagot nem azonnal gőzölés után hajlítják, hanem először rostirányban tömörítik, melynek hatására a sejszerkezet meggyűrődik. Az így kapott szerkezet pedig még könnyebben és nagyobb mértékben hajlíthatóvá válik, akár szobahőmérsékletű állapotában is. A hajlított anyagnak azonban megváltoznak a mechanikai tulajdonságai, valamint a víz hatására adott reakciói is. Ilyen módon érdemes beltéri klímában, közel állandó nedvességtartalmi körülmények között tartani.

Köszönetnyilvánítás: A publikáció elkészítését az EFOP-3.6.2-16-2017-00018 („Termeljünk együtt a természettel - az agrárerdészeti mint új kitörési lehetőség”) projekt támogatta a Széchenyi2020 program keretében. A projekt megvalósítását az Európai Unió támogatja, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával.

Irodalomjegyzék

- BÁDER M. (2015): Faanyag rostirányú tömörítésével kapcsolatos elméleti és gyakorlati kérdések áttekintése 1. rész: Az alapanyagok és előkészítésük, a tömörítés elmélete. *Faipar*. 63(1): 1-9. DOI: 10.14602/ WOODSCI.2015.1.8
- BÁDER M. – NÉMETH R. (2018): The effect of the relaxation time on the mechanical properties of longitudinally compressed wood. *Wood Research*. 63(3): 383-398
- BUTTERFIELD G.B. – MEYLAN B.A. – PESZLEN I.M. (1997): Three dimensional structure of wood. *Hil-lebrand Nyomda Kft*, 147 p
- MOLNÁR S. (1999): Faanyagismeret. *Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest*, 467 p
- MOLNÁR S. – PESZLEN I.M. – PAUKÓ A. (2007): Faanatómia. *Szaktudás Kiadó Ház*, 230 p

STRATÉGIAI ELEMZŐMÓDSZER ALKALMAZÁSA AZ ENERGETIKAI CÉLÚ FÁS SZÁRÚ ÜLTETVÉNYEK VIZSGÁLATÁRA

VÁGVÖLGYI ANDREA, SZALAY DÓRA

Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Erdészeti-műszaki és Környezettechnikai Intézet
vagvolgyi.andrea@uni-sopron.hu

Bevezetés

Az ültetvényes fatermesztésnek több típusa van (vágásforduló hossza, fafaj, gépesítettség stb. alapján), alkalmazásuk során minden esetben cél a viszonylag rövid idő alatt történő nagy mennyiségű dendromassza előállítás, energetikai vagy ipari célra. Ehhez megfelelő termesztés-technológiára, gépesítettségre, szabályozásra, támogatási háttérre stb. van szükség.

Vizsgálatuk indokolt, hiszen szerepük a jövőben a növekvő energiaigény kielégítésében és a fosszilis energiaforrásoktól való kisebb függőség elérésében egyre fokozódik, szemben a hagyományos biomassza energetikai hasznosításával. Az elmúlt években a korábbi előrejelzésekkel ellentétben sajnálatos módon nem nőtt szignifikánsan (1. táblázat) az energetikai célú fás szárú ültetvények területfoglalása hazánkban.

Kutatásunkban ennek okát kívántuk feltárni SWOT analízis segítségével. Vizsgálatainkban összegyűjtöttük azon erősségeket, gyengeségeket, lehetőségeket és veszélyeket, melyek elősegítik vagy hátráltatják Magyarországon az energetikai célú fás szárú ültetvények elterjedését.

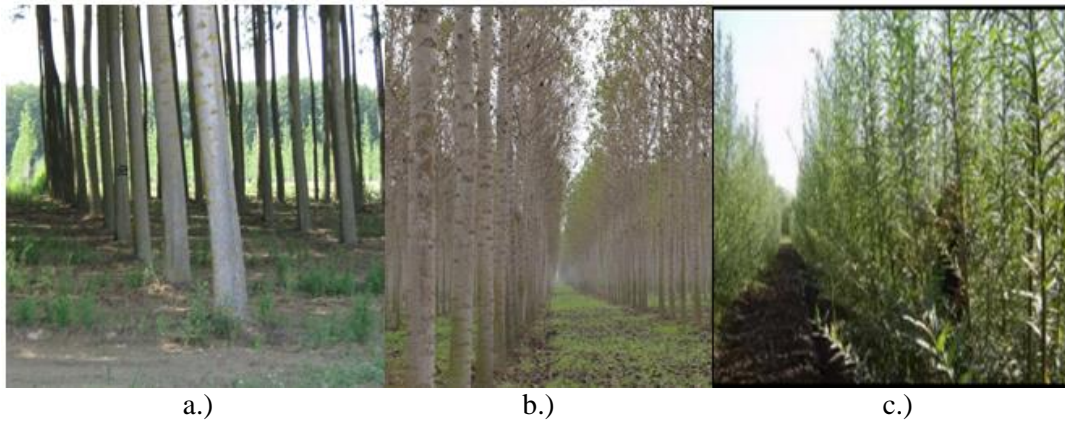
Napjainkban a biomassza energetikai hasznosítása egyre szélesebb körben jelenik meg, mivel fontos eszköze az üvegházhatás csökkentésének. A Nemzeti Energiastratégia 2030 dokumentum kétpólusú mezőgazdaság létrehozását sürgeti Magyarországon, olyan gazdasági ösztönző- és támogatási rendszer kialakításával, amely lehetővé teszi a biomassza energetikai célú termesztését. Kivitelezése kizárólag a piaci igényeknek és a fenntarthatósági kritériumoknak megfelelően történhet, kerülve az interferenciát az élelmiszer és takarmányozási célú növénytermesztéssel. A cél a lokális adottságokat kihasználó decentralizált biomassza erőművek létrehozása és alapanyag ellátása (NFM, 2014). Megvalósítására egyik lehetőségként az ültetvényes dendromassza termesztés mutatkozik.

A 135/2017 (VI.9.) Kormányrendelet szerint faültetvénynek a legalább 5000 négyzetméter összefüggő területi kiterjedésű ültetvényeket tekintjük. Fás szárú ültetvény a magyar jogszabály szerint az abban meghatározott alapfafajok és azok erdészeti és energetikai célra engedélyezett fajtáikból álló (1. ábra):

legfeljebb 20 évig fenntartott, energetikai hasznosításra szánt hengeres energetikai célú fás szárú ültetvény,

energetikai hasznosításra szánt legfeljebb 5 éves vágásfordulóval kezelt sarjzattalásos energetikai célú fás szárú ültetvény és

a faipari alapanyag termelését szolgáló ipari célú fás szárú ültetvény (135/2017. (VI.9.) Kormányrendelet a fás szárú ültetvényekről).



1. ábra: a.) Iparifa ültetvény (Nagy, 2016); b.) Hengeres nyárfa ültetvény (Heil et al., 2017)
c.) Sarjzattatásos fűz ültetvény (Póliska, 2012)

Továbbiakban az energetikai hasznosításra szánt fás szárú ültetvényekkel foglalkozunk. Az 1. táblázat az energetikai célú fás szárú ültetvények területnövekedését mutatja az elmúlt években.

1 táblázat: Energetikai célú fás szárú ültetvények területnövekedése hazánkban 2009-2018 (Szalay et al., 2019)

Év	Területnagyság (ha)
2009	1505
2012	2080
2015	3268
2018	4350

Sajnos a múltban tervezett intenzív ültetvénytelepítés a várttól elmaradt. Pedig már 2005 előtt 50-60 ha-on folytak fás szárú energetikai ültetvény kísérletek és ha az akkori tervek szerint 2005-2006-ban elkezdik 5-10 ezer ha-on a sarjzattatásos ültetvénytelepítést 2010-re kb. 60 ezer hektár fás-energiaültetvény jött volna létre (Giber et al., 2005). Az Új Magyar Energiapolitika Tézisei szerint 2012-2030 közötti időszakban az erdőterületet energetikai ültetvényekkel célszerű bővíteni, ez 210-230 ezer ha energiaültetvény telepítésének szükségességét vonja maga után (Giber et al., 2005). Marosvölgyi (2005) szerint 150 ezer ha faültetvény telepíthető. Gockler (2010) megállapításai alapján 2020-ra 100-250 ezer, de akár 1 millió ha fás szárú energiaültetvény telepítésével is számolhatunk. Garay et al. (2012) tanulmányában 200 ezer ha ültetvénytelepítés lehetőségét írja, míg Scultety és Seiffert (2009) szerint 300-400 ezer ha lehet hosszú távon a fás szárú energetikai ültetvények területfoglalása hazánkban.

Vizsgálati anyag és módszer

Ahhoz, hogy egy adott technológia jól működjön, hosszútávon fenntartható és jövedelmező legyen, fontos a rendelkezésre álló információk megfelelő rendszerezése. Ennek egyik lehetséges módszere a SWOT analízis, amely egy jól strukturált összefoglaló eszköz.

A SWOT analízis készítése során figyelembe vesszük a vizsgált „elem” „Gyengeségeit” (Weaknesses), „Erősségeit” (Strengths), „Lehetőségeit” (Opportunities) és „Veszélyeit” (Threads) (2. táblázat).

2. táblázat: A SWOT analízis felépítése (Rabi, 2012; url. 1.)

Erősségek	Gyengeségek
Azon tényezők, melyekre a fejlesztés alapozható. Pozitív dolgok, amik jól működnek és lehet befolyásolni, hogy még jobban működjenek; olyan belső erőforrások, melyben versenyelőny rejlik.	Azon tényezők, melyekre fejlesztést nem lehet alapozni, sőt gátolják azt. Olyan dolgok, amik nem jól működnek, de lehet befolyásolni, hogy jobb legyen; olyan belső erőforrások, melyben versenyhátrány van.
Lehetőségek	Veszélyek
Azon tényezők, melyek kívülről segíthetik, ösztönözhetik a fejlesztést. Olyan adottságok, amelyeket nem tudunk befolyásolni, de kedvezőek, és rájuk építve kihasználhatjuk az erősségeinket; olyan külső tendencia, mely kedvező a szervezet jövője számára.	Azon tényezők, melyek kívülről akadályozhatják a fejlesztés sikerességét. Olyan korlátok, negatív tényezők, amelyeket nem tudunk befolyásolni, és csökkentik a siker esélyeit, kockázatot is jelenthetnek; olyan külső tendencia, mely kedvezőtlen a szervezet jövője számára.

SWOT elemzést alkalmazva feltérképezhetjük a fás szárú energetikai ültetvények piaci életképességét, gazdaságosságát, természetük ökológiai szempontú következményeit, társadalmi hatásait, illetve megismerhetjük, hogy mely feladatok elvégzése a legfontosabb stratégiai szempontból. Összeállíthatjuk, hogy milyen erősségek, gyengeségek jellemzik az ültetvényeket és telepítésük milyen lehetőségeket és veszélyeket tartogat a jövőben.

A kutatás során szakirodalmi adatok és gyakorlati tapasztalatok alapján megvizsgáltuk, összegeztük a hazai fás szárú energetikai ültetvények belső tényezőkből adódó erősségeit és gyengeségeit, valamint felhívtuk a figyelmet a külső tényezők által generált lehetőségekre és veszélyekre.

Vizsgálati eredmények

Az elvégzett vizsgálatok a megalapozott döntéshozás egyik szükséges alappilléret képezik. Eredményeinket a SWOT analízis esetében szokásos táblázatban foglaltuk össze. (3. táblázat) *Vizsgálati eredmények értékelése, megvitatása, következtetések*

A táblázatot áttekintve láthatjuk, hogy az ültetvényeknek sok erőssége és lehetősége került felsorolásra, míg gyengeség és veszély jóval kevesebb van. Ugyanakkor az utóbbi tényezők manapság meghatározói az energetikai célú fás szárú ültetvény telepítés csökkenésének. Mivel az erősségek és lehetőségek egyértelműek, nézzük kicsit részletesebben a gyengeségeket és veszélyeket, azok közül is a fontosabbakat.

Gyengeségként említhetők az alábbi pontok. Jelenleg csak ipari célú fás szárú ültetvénytelepítésre vehető igénybe egyéb támogatások, energetikai célú ültetvények esetén csak a területalapú támogatás (SAPS) maradt, valamint a „zöldítés” (Célja a meglévő környezeti/természeti értékek és az éghajlati adottságok megőrzése) jelenik meg igényelhető támogatásként. Elsősorban a támogatási háttér kellene megszilárdítani, folyamatossá tenni.

Az ültetvények befektetési költségei jelentősek (főleg „extra” támogatási háttér nélkül) a gazdálkodók számára: a telepítés előtti területrendezések, talajelőkészítés, ültetés speciális géppel, a dugvány, csemete ára, sor és sorközápolás az ültetvény legalább első két évében szükséges, amíg az állomány záródik. Több év után keletkezik bevétel először, amikor a fakitermelés elkezdődik. Itt fontos megjegyezni, hogy a faanyag szállítása is fontos ökonómiai szegmens, a 100 km-re történő szállítás már gazdaságtalan lehet, nem véletlenül érdemes az ültetvényeket a felvevőpiac közelébe telepíteni. Napjainkban mégis sokszor határon túl hasznosul a dendromassa, a gazdaságos szállítási távolságok figyelembevétele nélkül.

3. táblázat: A fás szárú energetikai ültetvények SWOT analizisének összefoglaló táblázata (Sculctety és Seiffert, 2009; Köhn, 2011; Borovics, 2013, Vágvölgyi, 2013; Szalay et al., 2019)

Belső tényező, erőforrás	
Erősségek	Gyengeségek
<p>Magas fahozam; Kedvező energiamérleg; Szénfelhalmozódás/humusz újraképződés a talajban vagy a talajélet számára; Talaj N- készletének növelése (pl. akácfa telepítése esetében); Kemikáliák bevitelének csökkenthető a hagyományos mezőgazdasági kultúrákhoz képest; A talaj méregtelenítésének elősegítése; Pótló jövedelem bevétel a gazdálkodók számára; Munkahelyteremtés, a munkaszemélyzet meghosszabbítása a mezőgazdaságban dolgozók számára; A munkagépek kihasználtságának növelése, mezőgazdasági holtidényben történik a betakarítás; Biomassza tüzeléstechnológiai paraméterei kedvezőek; Mezőgazdasági termelőknek új piac Telepítésükre megfelelő minőségű és jelentős mennyiségű nem hasznosított terület áll Magyarországon rendelkezésre; Racionális földhasznosítás, parlagterületek kihasználása; Gyorsan újratermelhető megújítható energiaforrás; Hátrányos termőhelyi adottságokkal rendelkező területek hasznosítása (pl.: erodált talajon akác telepítése); CO₂ megkötés, O₂ termelés, pormegkötés, üvegházhatás mérséklése; Erdőhöz képest rövidebb szén ciklusú biomassza termelés; Égetése kisebb környezet szennyezéssel jár a fosszilis energiahordozókhoz képest; Erőzió, defláció csökkenés; Saját energiaigény kielégítése alacsonyabb áron; A nyereség helyben keletkezik; Az évek során egyre bővülő tapasztalati háttér; Kisebb időjárási és éghajlati érzékenység a mg-i lágyszárú növényekhez képest; Gáz árával folyamatosan mozog (nö) a fa ára, így folyamatosan emelkedő bevétel jelent; Telepítése mellé jár az évente növekvő mértékű földalapú támogatás; A teljes ültetvény ciklusra vonatkoztatva profitot termel; Hosszú távon pozitív hatással lehet a biodiverzitásra; Az ültetvény élettartama nagyjából megegyezik az erőmű élettartamával (kb. 25 év); Betakarítás elhalasztása nem okoz termésvesztést; Apríték formájában való betakarítás - nemesítési szempontok közül jelentőségét veszti a törzsalak, ág- és koronaszervezet, valamint az idősebb korban megjelenő törzskárosítókra való érzékenység; Jogsabályi háttér átalakulása pozitív irányú; Gépesítési technológia nagyrészt rendelkezésre áll; SAPS és zöldítés támogatások igénybevételei lehetősége.</p>	<p>Stabil, kiszámítható támogatási háttér (pénzügyi források) hiánya; Magas befektetési, szállítási költségek, késői megtérülés (3-5 év); Esetlegesen negatív hatás a talajvíztükörre; Első évben kiemelten fontos a talaj előkészítés, növényvédelem; Telepítés évében aszályérzékenység; Faanyag tárolásának problémája, magasabb költsége; Felvevőpiac (logisztikai központ, erőmű, fűtőmű) esetenkénti hiánya, távolsága; Szezonális betakarítás, felhasználás egész évben; Fosszilis energiahordozóknál alacsonyabb energiasűrűség; Nedvességtartalma változó, sokszor magas; Más ismeretek szükségesek a gazdák részéről (eltérő technológia a mg-i kultúráétól), melyek néhol még hiányoznak, illetve hiányosak; A felhasználást biztosító kazán- és tüzelőberendezés-technológia bonyolultabb és drágább, mint a fosszilis berendezéseknél; Ültetvények telepítésének, betakarításának, felszámolásának bejelentése az erdészeti hatóság felé; Hasznosító üzem létesítése előtt már évekkal szükséges a telepítés; Vadkárakra érzékeny, kerítés kialakítás csökkenti a hasznot.</p>
Külső tényezők	
Lehetőségek	Veszélyek
<p>EU-s támogatások; Vidéki régió fejlődése (települési és regionális szinten); Helyi nyersanyagbázis hasznosítása, ezzel a decentralizált energiatermelés megteremtése; Fában történő energiátárolás lehetősége; A faapríték piaci értékesítésének növekedése; Szén hosszú távú kötése a talajban; Talajjavítás; Javuló ökológiai környezet; Pozitív klímamérleg; Stabil alapanyagtermelés, más megújuló energiaforrásokhoz képest (pl. Nap, szél), Kisebb klímaérzékenység pl. lágyszárú növényekhez képest, nemesítési tevékenység ezirányú gyors fejlesztése Növekvő kereslet; Kedvezőtlen adottságú területek hasznosítása; Hígtrágya, szennyvíziszap hasznosítás; Teljes termékpályát (ültetés, betakarítás, logisztika, felhasználás, energiamérleg) bemutató modellek kialakítása; Adóbevétel növelése;</p>	<p>Gazdák körében kevésbé elfogadott – további információ hiánya az ültetvényekkel kapcsolatban; Élelmiszerkonfliktus; A gazdaság és politika előnyben részesíti a gázimportot; Új kórokozó, károsítók megjelenése; rezisztencia csökkenés; Negatív ellenérvek (monokultúra, élelmiszertermelés visszaszorulása, biodiverzitás csökkenése stb.), további támadások; Csökkenő telepítési kedv értékesítési, és fajtaválasztási kudarc miatt és támogatás hiányában; Felvevőpiac (logisztikai központok, fűtőművek, erőművek) bővülésének hiánya.</p>

<p>Javítható Magyarország környezetvédelmi megítélése az EU-ban; Termesztés, hasznosítás, feldolgozás munkalehetőségei → munkahelyteremtés; CO₂ megkötés, csökkentés; Energiail-importfüggőség csökkentése, ezzel az energiaellátás-biztonság növelése; Növekvő számú biomassa vagy vegyestüzelésű erőművek, fűtőművek; Piaci kereslet növekedése faapríték tekintetében; Fenntartható energiagazdálkodás kialakítása; Nemzeti és Európai Unió energetikai célkitűzések elérése; Szemléletformálás- a lakossági környezettudatosság növelése; Szennyvíziszap, szennyvíziszap komposzt vegetációs időszakban történő elhelyezése; Fahamu kihelyezés lehetősége a vegetációs időszakban; Szennyvízzel történő öntözés a vegetációs időszakban; Nem veszélyes mezőgazdasági melléktermékek kihelyezése a vegetációs időszakban; Biotrágya (biogáz termelés mellékterméke) kihelyezés lehetősége; 2013-2020 között az EU költségvetés által a megújuló energiák felhasználásának támogatása; Nehézfém felvétel a talajból, talajtisztítás; Agroerdészeti rendszerekbe történő beillesztése; Sokoldalú hasznosítási lehetőség, fűtés, biohajtóanyag, bioplasztik, biokemikáliák, stb.; Körforgásos gazdaságra való áttérés elősegítése.</p>	
---	--

Problémát jelent, hogy a faanyag energiasűrűsége kisebb, mint a fosszilis energiahordozóké. Nedvességtartalma változó, sokszor magas, mely megnehezítheti az energetikai felhasználást bizonyos berendezésekben. A felhasználás előtti tárolás, valamint átmozgatás -a nedvességtartalom csökkentése végett- szintén költséges. Ugyanez a helyzet a betakarítás szezonálisával is, mely vegetációs időszakon kívül, a faanyag felhasználása pedig egész évben történhet, így az apríték tárolásáról szintén gondoskodni kell.

Érdemes megemlíteni, hogy a jelenleg is zajló éghajlatváltozás következtében eltolódnak az évszakok, enyhébbek a telek. A kedvezőtlen időjárási feltételek (pl. sáros időszak) megnehezítik a betakarítást, lecsökkentik azt az időszakot, amikor a talaj fagyos és a gépek számára jól járható.

Az apríték kazán- és tüzelőberendezés-technológia bonyolultabb és drágább, mint a fosszilis berendezéseknél. Az apríték tüzelő kazánok ára jócskán meghaladja egy normál fatüzelésű kazán árát. A beszállító csiga szükségessége miatt, elsősorban nagyobb teljesítményű kazánok esetében alkalmazzák, amelyek megnövekedett helyigénnyel rendelkeznek.

Az ültetvények technológiája eltér a mezőgazdasági kultúrákétól, így más, specifikus ismeretek szükségeltetnek a gazdálkodó részéről. A technológia ismeretlensége is ellenállást válthat ki.

Az új jogszabály leegyszerűsítette az ültetvények szabályozását, mégis elég nagy adminisztrációs terhet ró a gazdálkodókra, hiszen az ültetvény telepítését, betakarítását és felszámolását is be kell jelenteni az erdészeti hatóság felé.

Veszélyként jelenhet meg az energetikai célú fás szárú ültetvényekre nézve a további gazdálkodói ellenállás, azaz a telepítési kedv csökkenése a támogatási háttér bizonytalansága, a korábbi értékesítési kudarc és a rossz fajtaválasztásnak köszönhetően gyenge vagy teljesen tönkrement ültetvények miatt.

Az ültetvények elvonhatják a termőterületet az élelmiszertermelés elől állítják az ellenzők. Viszont fontos tudni, hogy az ültetvények erodált, alacsony minőségű vagy szennyezett talajokon (pl. vörösiszap katasztrófa területein) is telepíthetők.

Negatív érvek az ültetvények ellen a monokultúra kialakítása és hosszabb távon történő fenntartása, mely kedvezőtlenül hat a terület biodiverzitására és élőhelyteremtés szempontjából értéktelen (Mátyás, 2005; Kölesei, 2015). Mások szerint (Faragó, 1997; Liebhard, 2009; Verheyen et al., 2014) hozzájárulnak az élettér-rendszerek összekapcsolódásához, növelhetik a táj rekreációs értékét. Egész éves talajtakaró hatásuknak köszönhetően bűvő, és szaporodóhelyet, valamint táplálékot biztosíthatnak egyes vadon élő állatok számára. Növelik a rovarok és

madarak faj- és egyedszámát, például a fűrj és fogoly számára kifejezetten alkalmas élőhelyeket alkotva. Különösen akkor érvényesül ez a hatás, ha az ültetvények területének csak egy részét termelik le alkalmanként így különböző korú állományok alakulnak ki, és a bolygatlan területeken menedéket talál az élővilág.

Ugyanakkor megjelenhetnek olyan károsítók, vagy kórokozók (akár külföldről behurcolva), melyek ellen az egyébként nagymértékben rezisztens, szelektált fajták sem tudják felvenni a küzdelmet, így csökkenhet az ültetvény hozama.

A felvevőpiac bővülésének hiánya akkor jelent majd problémát, ha az ültetvények területnagysága és az onnan betakarított faanyag meghaladja a biomassza hasznosító energiatermelő egységek kapacitását, mely a közel jövőben nem várható.

Veszélyként meg kell említenünk azt is, hogy sajnos a gazdaság és politika még mindig előnyben részesíti a fosszilis energiatermelést (fűtésnél a gázimportot), annak ellenére, hogy az ily módon történő energiatermelés környezetszennyező és a fosszilis energiahordozók készletei kimerülnek.

A felsorolásból kitűnik, hogy sokkal több erőssége és lehetősége van az energetikai célú fás szárú ültetvényeknek, mint gyengesége és veszélye.

Viszont elemezve az utóbbiakat, láthatjuk, hogy a legtöbb felsorolt paraméter sajnos komoly veszélyt jelent/het az ültetvények elterjedésére. Ezek közül a stabil, előre kiszámítható támogatási háttér hiánya végképp ronthatja területfoglalásuk bővülését.

Ugyanakkor szem előtt kell tartani, hogy a jövő éghajlati változásai egyre inkább elkerülhetlenné teszik a megújuló energiahordozók alkalmazását. A dendromassza mellett, hogy a rövidciklusú szénmegkötésben is szerepet vállal, a fás szárú tulajdonsága révén a jelenlegi biomasszatüzelő erőművekbe átalakítás nélkül bejuttathatók.

Köszönetnyilvánítás: A tanulmány/kutatómunka a „Fenntartható Nyersanyag-gazdálkodási Tematikus Hálózat – RING 2017” című, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 jelű projekt részeként a Szechenyi2020 program keretében az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Irodalom

- BOROVICS A. (szerk.) (2013): Energetikai faültetvények- új alapanyagforrás. Erdészeti Tudományos Intézet, Sárospatak.
- FARAGÓ, S. (1997): Élőhelyfejlesztés az apróvad-gazdálkodásban: A fenntartható apróvad-gazdálkodás környezeti alapjai. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
- GARAY R.- KOZÁK A.- NYÁRS L.- RADÓCZNÉ KOCSIS T. (2012): The potential for the production and use of biomass-based energy sources in Hungary. In: Studies in Agricultural Economics (114) 1-9.
- GIBER J. - GÖNCZI P. - SOMOSI L. - SZERDAHELYI GY. - TOMBOR A. - VARGA T. - BRAUN A. - DOBOS G. (2005): A magyar energiapolitikai tézisei a 2006-2030 közötti időszakra 12. fejezet. A megújuló energiaforrások szerepe az energiaellátásban. Gazdasági és Közlekedési Minisztérium.
- GOCKLER L. (2010): Fás szárú energiaültetvények a mezőgazdaságban. 2. rész- a sarjzattal fás szárú energetikai ültetvények technológiájának megfontolandó elemei. In Mezőgazdasági Technika, november, 40-43.
- HEIL B.- HEILIG D.- KOVÁCS G. (2017): Fás szárú ültetvények létesítési lehetőségei új Európai Unió támogatással. Előadás, Nemzeti Agrárgazdasági Kamara, Győr-Moson-Sopron Megyei Szervezet.
- KÖHN J. (2011): Wirkungen des Anbaus von Kurzumtriebsplantagen auf Landwirtschaftlichen Flächen –eine socio-ökologische Perspektive. Beckmann Institut für bio-basierte Produktionen (BIOP) e. V. Arbeitspapier 2011/01.
- KÖLCSEI, T. (2015): Bioenergia-ültetvény és a biodiverzitás. Agroinform.hu.
- LIEBHARD P. (2009): Energetikai faültetvények. Rövid vágásfordulójú faanyagtermelés. A jövő nyersanyaga. Cser Kiadó, Budapest.
- MAROSVÖLGYI B. (2005): A biomassza bázisú energiatermelés mezőgazdasági háttere. Elérhető: <http://www.enpol2000.hu/?q=taxonomy/term/5&from=90>; Letöltés: 2013. május 9.

- MÁTYÁS, CS. (2005): Erdészeti ökológia. Mezőgazda Kiadó, Bp.
- NAGY I. (2016): Csodavárás helyett egy lehetséges megoldás – jövőnk az iparifa-ültetvény! (1. rész)
Elérhető: <http://erdo-mezo.hu/2016/02/07/csodavaras-helyett-egy-lehetseges-megoldas-jovonk-az-iparifa-ultetveny-1-resz/>.
- PÓLISKA CS. (2012): Fás szárú energianövények szerepe kistelepülések hőenergia ellátásában. Anyagmérnöki Tudományok, 37. kötet, 1. szám, 331–342.
- RABI S. (2012): A SWOT elemzés kis-, középvállalati alkalmazása. In Vállalatépítő online szakmai folyóirat. Elérhető: <http://www.veniens.hu/vallalatepito/2009/07/04/betekintes-a-kockazatitokeb-fektetesek-vilagaba-interju/>; Letöltés: 2013. május 30.
- SCULTETY O. - SEIFFERT M. (2009): Opportunities and Challenges of Short Rotation Coppice in Hungary. Elektronikus folyóirat, 1. szám, Elérhető: www.e-tudomany.hu; Letöltés: 2011.január 9.
- SZALAY D. (2018): Energetikai célú dendromassza termesztés és hasznosítás lehetséges szerepe a lignocellulóz biohajtóanyag üzemek alapanyag ellátásában. Doktori értekezés. Soproni Egyetem. Sopron.
- SZALAY D. - KERTÉSZ SZ. - VÁGVÖLGYI A. (2019): Fás szárú energetikai ültetvények jogszabályi és támogatási hátterének változása. Előadás, Műszaki, Technológiai és Gazdasági Kihívások a 21. században, Konferencia helye és ideje: Szeged, 2019. május 31.
- SZIGETIN. - CZUPY I. - VÁGVÖLGYI A. (2019): Fás szárú ültetvényeken alkalmazott technológiák hatása a biodiverzitásra in: Czupy I. (szerk) III. RING- Fenntartható nyersanyag-gazdálkodás konferenciakötet, Sopron, Magyarország, Soproni Egyetem Kiadó 48-55.
- VÁGVÖLGYI A. (2013): Fás szárú energetikai ültetvények helyzete Magyarországon napjainkig, üzemeltetésük, hasznosításuk alternatívái. Doktori értekezés. Nyugat-magyarországi Egyetem. Sopron.
- VERHEYEN K., BUGGENHOUT M., VANGANSBEKE P., DOBBELAERE A. D., VERDONCKT P. AND BONTE D. (2014): “Potential of Short Rotation Coppice plantations to reinforce functional biodiversity in agricultural landscapes.” Biomass and Bioenergy. Vol 67, 435-442. DOI: 10.1016/j.biombioe.2014.05.021.
- 135/2017. (VI.9.) KORMÁNYRENDELET a fás szárú ültetvényekről.

SZENNYVÍZISZAP KOMPOSZTÁLÁS ANYAGMÉRLEGÉRE IRÁNYULÓ VIZSGÁLATOK

VÁGVÖLGYI ANDREA, MÉSZÁROS IMRE, CZUPY IMRE
Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Erdészeti-műszaki és Környezettechnikai Intézet
vagvolgyi.andrea@uni-sopron.hu

Bevezetés

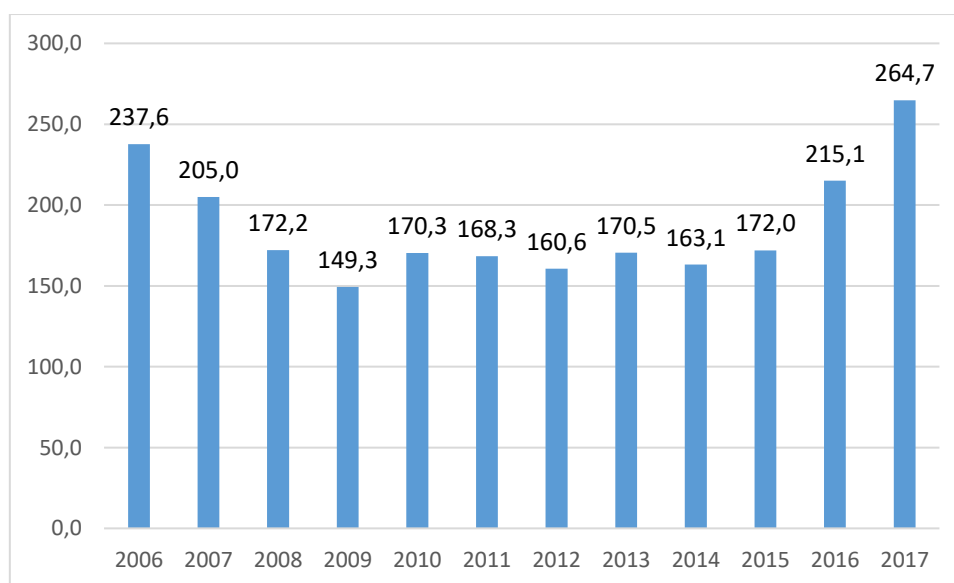
Magyarországon nagyjából 3 millió hektár nagyságú terület alkalmas települési szennyvíziszap, illetve iszapkomposzt hasznosítására. Ha ebből levonjuk a talaj- és talajvíz-vizsgálati eredmények szerint kizárható területeket, akkor 1,2 millió hektár mezőgazdasági területtel számolhatunk.

Ekkora nagyságú területen évente akár 5-6 millió t_{sza} iszap is elhelyezhető, ami az összes éves iszaptömeg 20-szorosa. Erdőterületen csak termékkomposztok (termékké minősített komposzt) hasznosítására van lehetőség, évente nagyjából 20.000 ha-on, ami 160.000 $t_{sza}/év$ mennyiség felhasználását jelentheti.

A szennyvíziszapok és szennyvíziszap komposztok a hasznosításuk során tápelemeket szolgáltatnak a növények számára, növelhetik a talajok szervesanyag tartalmát és adszorpciós kapacitását, javíthatják fizikai tulajdonságait, valamint kedvezően módosíthatják azok vízgazdálkodását.

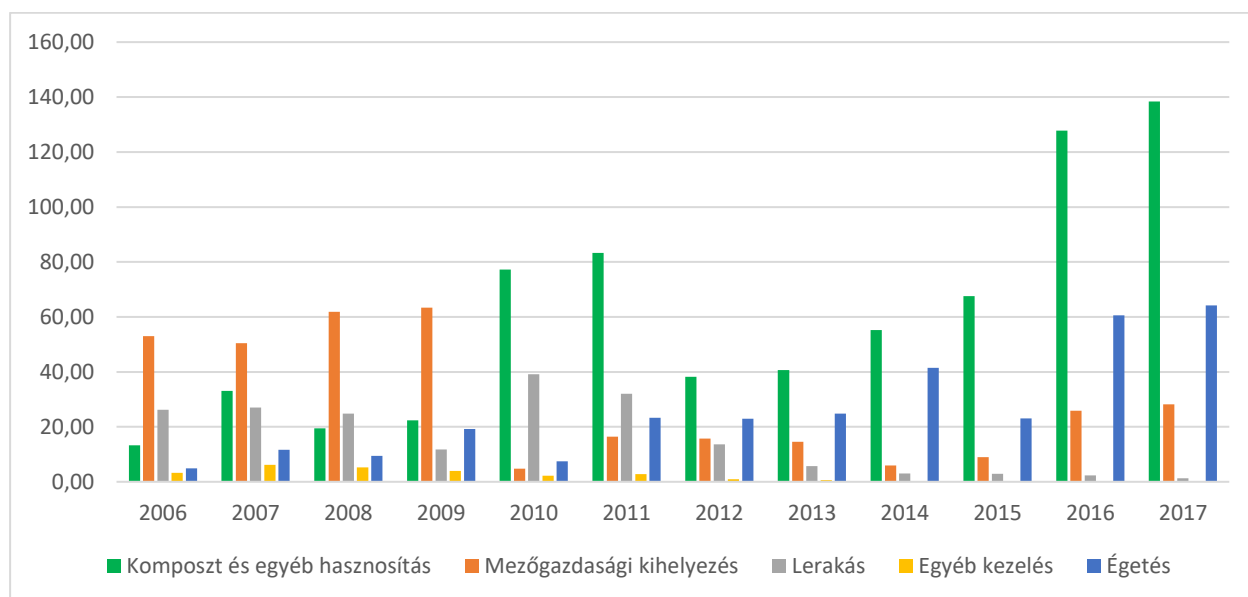
Ugyanakkor tartalmazhatnak toxikus nehézfémeket, valamint szerves szennyezőket, amelyek a szennyvíziszap vagy az iszapkomposzt kihelyezésével feldúsulhatnak a talajban, vagy kilúgzódással, növényi felvétellel, erózióval és deflációval távoznak onnan. Aggályos a gyógyszer-maradványok és egyéb szerves szennyező anyagok jelenléte, ugyanis ezeket a szennyvíztisztítási technológiák nem képesek eltávolítani. (Szennyvíziszap kezelési és hasznosítási stratégia 2014-2023)

Hazánkban az utóbbi években növekedett a szennyvíziszap mennyisége (1 ábra).



1. ábra: A keletkezett szennyvíziszap mennyisége Magyarországon 2006-2017 között (ezer tonna) (Eurostat adatbázis alapján, 2020)

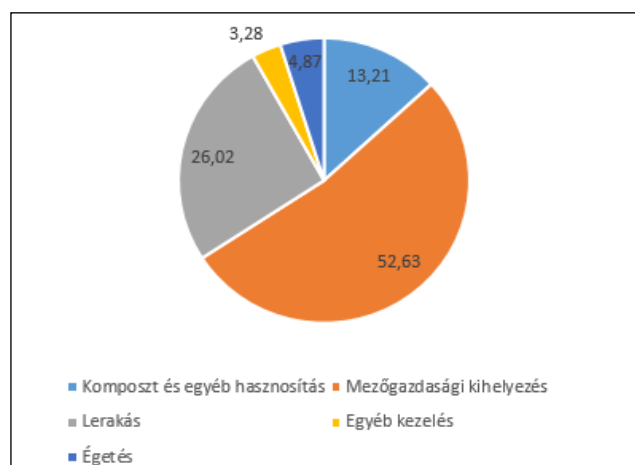
Ebből a kezelt iszap kezelésére vonatkozóan az alábbi megállapítások tehetők a 2. ábra alapján.



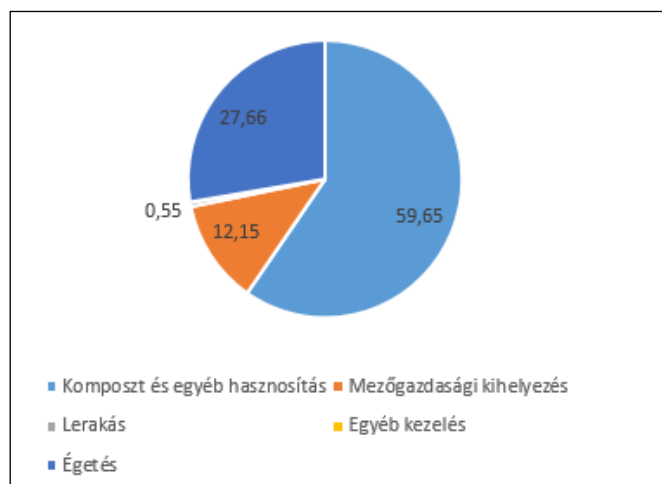
2. ábra: A szennyvíziszap kezelési formái 2006-2017 között (ezer tonna)
(Eurostat adatbázis alapján, 2020)

2017-re minimalizálódott a lerakott szennyvíziszap, valamint az iszap mezőgazdaságban való elhelyezésének mennyisége, viszont nőtt a komposztált és égetett mennyiség.

Kezelés szempontjából kiemelve a 2006 és 2017 éveket (3. és 4. ábra) láthatjuk, hogy 2006-ban a mezőgazdasági kihelyezés és lerakás dominált, ezt követte a komposztálás, mint kezelési művelet. 2017-ben viszont a komposztálási technológia vezette a kezelési műveletek rangsorát ezt követte az égetés és a mezőgazdasági kihelyezés csak azután következett.



3. ábra: A szennyvíziszap kezelésének formái 2006-ban (%)
(Eurostat adatbázis alapján, 2020)



4. ábra: A szennyvíziszap kezelésének formái 2017-ben (%)
(Eurostat adatbázis alapján, 2020)

Az irodalmi adatokból is látható, hogy a komposztálással, mint kezelési művelettel érdemes foglalkozni, kutatásunk is erre a kezelési műveletre irányult.

Vizsgálat anyaga

Kutatásunkban szennyvíziszap, hozzáadott lignocellulóz és a bomlási folyamatot elősegítő adalékanyag aerob biotechnológiai módszerrel, azaz komposztálással történő lebomlásának anyagmérlegét vizsgáltuk.

A komposztálási technológia helyi alkalmazása, a megfelelő „betanulás”, valamint az üzemelelési tapasztalatok megszerzése után szükséges a minél pontosabb anyagmérleg, azaz a bemenő és kimenő paraméterek ismerete. Segítségével jobban vizsgálható a folyamat költséghatékonysága, kiszámíthatóvá válik a gazdaságossága, tervezhetőek a logisztikai feladatok.

Vizsgálatunkban komposztprizmákat különítettünk el, minden hozzáadott elem mennyiségét mértük, a mérések alapján pedig anyagmérleget készítettünk.

A mért komponensek:

a hozzáadott lignocellulóz (szalma);

a bekevert szennyvíziszap; és

a hozzáadott bomlási folyamatokat elősegítő adalék (ELMOLIGHT knauhau).

A vizsgálat 2019.09.16-án kezdődött a prizmák bekeverésével, és 2020.01.17-én végződött az iszapkomposzt prizmából mezőgazdasági területre való kihordásával, utóérlelés nélkül.

A komposztálás technológiája

Az irányított prizmás komposztálási eljárásoknál (ELMOLIGHT technológia) az érlelési folyamat teljes egészében szabadtéri prizmákban megy végbe. A prizmás komposztálási módszernél a nyersanyagokat háromszög vagy trapéz keresztmetszetű prizmákba keverik be, és kívánt rendszerességgel átforgatják. Az átmozgatással egyúttal levegőztetik is a komposztot. A folyamat paramétereit rendszeresen ellenőrzik, ezzel nyomon követhető a komposztálás előrehaladottsága. Az érlelés/bomlás időigénye évszaktól, valamint időjárástól függően 30-120 nap között változik. Mérsékelt gépesítettség, rendszerint mobil gépek alkalmazása és jó folyamatszabályozás jellemzi ezeket a módszereket.

Vizsgálati eredmények

A komposztálási tér korlátozottsága miatt, a kísérlet két prizma bekeverésével indult, majd a többszöri átkeverés folyamán a prizmák térfogata jelentősen csökkent. A folyamat során olyan térfogatcsökkenés következett be, hogy a komposztálás egy prizmával zárult.

1. táblázat: Összesített mérleg jegyzék a vizsgált prizmákra

Komposztáló mérleg jegyzék összesítve			
Szalma	Iszap	Adalék	Teljes tömeg [kg]
Bevitt tömeg [kg]	Bevitt tömeg [kg]	Bevitt tömeg [kg]	
5960	84120	4070	94150
Kihordott tömeg [kg]			59320
Komposztálás során végbemenő tömegcsökkenés [kg]			34830
Kihordott komposzt mért szárazanyagtartalma [%]			30,49

Vizsgálati eredmények értékelése, megvitatása, következtetések

A vizsgálati eredményekből látható, hogy a komposztálás során a hozzáadott és adalékanyagokkal érlelt iszap tömegében közel 37%-os csökkenés következett be. A komposztálás eredményeképpen tehát csökken a szállítandó mennyiség, a komposztálás során javul az iszap struktúrája, valamint patogén mikroorganizmusok pusztulnak el az alapanyag magasabb hőmérsékleten tartásával (a komposztálás kezdetén). Azt is érdemes megjegyezni, hogy az 50/2001 Kormányrendelet az iszapkomposzt termőterületre való kihelyezésében kevésbé szigorú, mint szennyvíz és szennyvíziszap esetében, hiszen az iszapkomposzt további (hő)kezelésen átesett anyag. A telepen a komposztáló tér nagysága korlátozott, mely nem tette lehetővé a megfelelő utóérlelést. Amennyiben utóérlelésre lehetőség lett volna a kiszállított komposzt víztartalmában további javulást tapasztalhattunk volna, ugyanis megfelelő utóérleléssel igen jelentősen növelhető a szárazanyagtartalom, ezzel együtt tovább csökkenthető a térfogat. A vizsgálatok befejeződtek, a következő munkafázis az adatok kiértékelése, elemzése, következtetések levonása. A megfelelő elemzés érdekében mind a beviteli, mind a kimenő anyagokat szárazanyag-tartalomra célszerű visszaszámolni. Ezt követően javasolt a kiértékelés, valamint adatelemzés. Az eddig elvégzett vizsgálatokból látható, hogy a további pontosítások érdekében újabb anyagmérleg készítése indokolt. Újabb kísérletek beállítását javasoljuk nyár eleji, esetleg nyári időpontban. Ebben az esetben rövidebb komposztálási időre és jobb, magasabb szárazanyag tartalmú komposztra számíthatunk.

Köszönetnyilvánítás

A tanulmány/kutatómunka a „Fenntartható Nyersanyag-gazdálkodási Tematikus Hálózat – RING 2017” című, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 jelű projekt részeként a Szechenyi2020 program keretében az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Irodalom

EURÓPAI UNIÓ STATISZTIKAI HIVATAL - Eurostat adatbázis <https://ec.europa.eu/eurostat>
SZENNYVÍZISZAP KEZELÉSI ÉS HASZNOSÍTÁSI STRATÉGIA (2014-2023) Elérhető: http://www.nemzetizoldprogram.hu/gov/Szennyviziszap_kezeleri_es_hasznositasi_strategia_2018_2023.pdf
50/2001. (IV. 3.) KORM. RENDELET a szennyvizek és szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználásának és kezelésének szabályairól.

FÁS SZÁRÚ ÜLTETVÉNYEK TECHNOLÓGIAI ÉS ÖKOLÓGIAI SZEMPONTÚ SIKER-KUDARC TÉNYEZŐINEK VIZSGÁLATA

VÁGVÖLGYI ANDREA¹, SZIGETI NÓRA¹, CZUPY IMRE¹, BESZÉDES SÁNDOR², SZALAY DÓRA¹

¹Soproni Egyetem, Erdészeti-műszaki és Környezettechnikai Intézet, Sopron

²Szegedi Tudományegyetem, Folyamatmérnöki Intézet, Szeged

vagvolgyi.andrea@uni-sopron.hu

Bevezetés

A fás szárú ültetvényeken viszonylag rövid idő alatt nagy mennyiségű dendromassza termeszthető, mely felhasználható ipari vagy energetikai célra. Az ültetvények az erdőktől leginkább abban különböznek, hogy a faállományt nemesített szaporítóanyaggal, szabályos hálózatban telepítik, termesztés-technológiájuk szinte egésze (területnagyságtól függően) gépesített, és az egyes műveletek pl. gépi ápolás több évig vagy akár évente többször is ismétlődhet. A fás szárú ültetvények nem tartoznak az Erdőtörvény hatálya alá, így ezek szabályozására más jogszabályok hivatottak. Mivel az elmúlt években szignifikánsan nem nőtt az ültetvények területnagysága hazánkban, ennek okait igyekeztünk feltárni, többféle megközelítésben. Vizsgáltuk a különböző területnagyságú ültetvények termesztés-technológiáját, és a hozzá kapcsolódó gépi energiamérlegeket, valamint az ültetvények hasznosíthatóságának sokoldalúságát, biológiai sokféleségre gyakorolt hatásait. Elemezzük a fás szárú ültetvények jogszabályi és támogatási hátterét. Fásszárú ültetvény a 135/2017. (VI.9.) Kormányrendelet szerint az abban meghatározott alapfafajok és azok erdészeti és energetikai célra engedélyezett fajtáikból álló legfeljebb 20 évig fenntartott *hengeres energetikai célú fás szárú ültetvény*; legfeljebb 5 éves vágásfordulóval kezelt *sarjzattátamos energetikai célú fás szárú ültetvény*; vagy *ipari célú fás szárú ültetvény*. Évekkel ezelőtt számos kutató (Marosvölgyi, 2005; Scultety és Seiffert, 2009; Gockler, 2010; Garay et al., 2012) megállapította, hogy akár 400 ezer ha fás szárú energetikai ültetvény is telepíthető lenne hosszú távon Magyarországon. Sajnos azonban az előrevetített telepítési hullám a várttól elmaradt, 2018-ban a fás szárú ültetvények területfoglalása mindössze 4380 ha volt (NÉBIH, 2019). Azonban 2015 decemberében az Európai Bizottság elfogadta a Cirkuláris Gazdasági Csomagot, amelynek az egyik prioritási területe a biomassza és bio-alapú termékek előállításának fokozása. Tartós használatú termékek (pl. lakberendezési tárgyak) előállításával a dendromasszában tárolt szén hosszú távon kötésben tartható. A termékek újrahasznosíthatók és legvégül bioenergiatermelésre is felhasználhatók. Ugyanakkor, a lineáris gazdasági modellről a biomassza alapú körforgás gazdaság felé történő elmozdulás megvalósítása mellett az „ultrahosszú” szén ciklusú fosszilis energiahordozókon alapuló fokozódó energiaigény kielégítését is meg kell oldani. Ehhez a növénytermesztési rendszereink átgondoltabb kialakítására van szükség, amelybe jól illeszthető a rövid szén ciklusú dendromassza termesztés.

Vizsgálati anyag és módszer

Korábbi vizsgálatok és szakirodalmi elemzések segítségével áttekintettük a fás szárú ültetvények gépesítettségét és a gépi munkákhoz kapcsolódó energiamérlegeket.

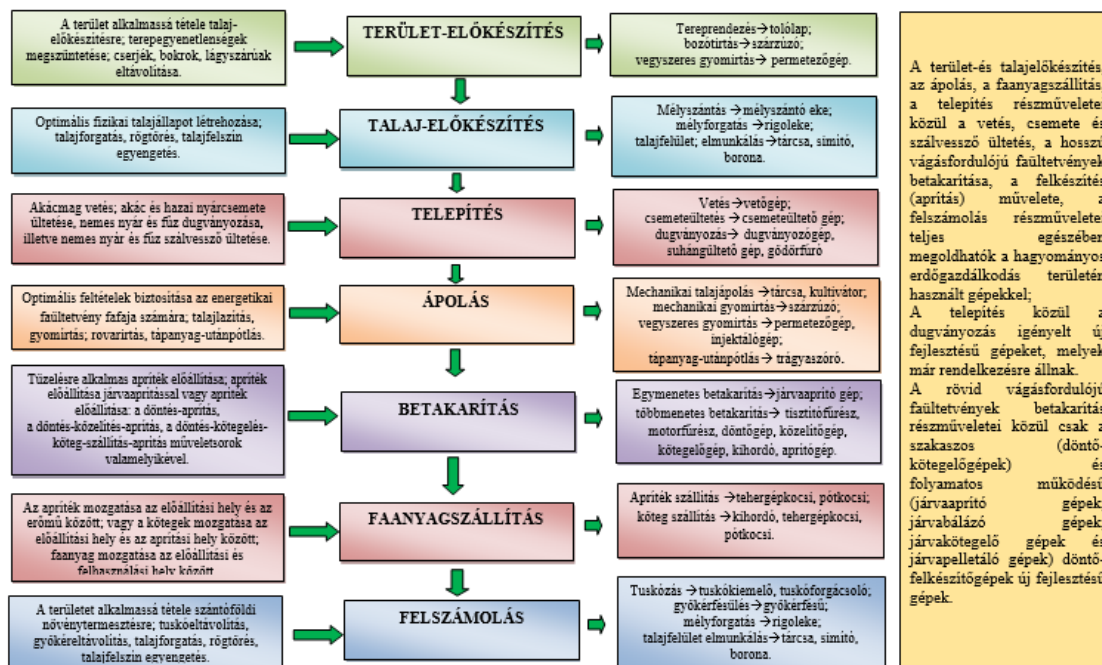
Szakirodalmi források segítségével feltártuk az ültetvények sokoldalúságát, egyrészt a termőhely hasznosítása szempontjából, másrészt a megtermelt faanyag felhasználása tekintetében.

Magyarországon a fás szárú energetikai ültetvényekre vonatkozó első jogszabályok 2007-ben születtek. A kutatómunka tartalmazza a 2007-től napjainkig tartó jogszabályi háttér áttekintését, elemzését, értékelését és az ebből levonható következtetéseket. A szilárd biomassza hasznosítás támogatására számos lehetőség áll, illetve állna rendelkezésünkre. A kutatásban áttekintésre került a fás szárú energetikai ültetvények közvetlen és közvetett támogatási háttere, a rendelkezésre álló tervek, cselekvési programok, jogszabályok, honlapok segítségével.

Vizsgálati eredmények, értékelés, megvitatás, következtetés

Termesztés-technológia, energiamérleg

Az energetikai célú ültetvényes fatermesztés egyes technológiai elemeit és a hozzá kapcsolódó technológiákat, valamint a faültetvények termesztés technológiájában az egyes műveletekhez kapcsolódó gépekre vonatkozó megállapításokat 1. ábra mutatja be.



1. ábra: Az energetikai faültetvények termesztés-technológiájában előforduló műveletek és azok gépei (Czupy et al., 2012; Hotváth, et al., 2016 alapján)

A kutatásaink során gépi energiamérleg vizsgálatok is történtek. A célunk az volt, hogy meghatározzuk azt, hogy 20 éves ciklusban a befektetett gépi energia és a letermelhető faanyag energiataralma milyen viszonyban van egymással. A technológiai modellek kialakításakor a területnagyságot és az ültetési hálózatot vettük figyelembe. Az ültetvények ajánlott telepítési hálózata 3 m x 0,5 m. A területnagyság tekintetében három kategóriát definiáltunk: 3 ha-nál kisebb területű; 3-20 ha-os és 20 ha-nál nagyobb méretű ültetvények. Az eltérő nagyságú ültetvények különböző gépesítési igényűek. A modellültetvény 2 éves vágásfordulójú és sarjaztatásos eljárással kezelt, 20 éves fenntartásra tervezett nyárültetvény volt. A kiszámolt energiamérlegek átlagos technológiákra, műszakidőre és gépi fogyasztásra vonatkoznak. A számoláshoz felhasználtuk továbbá a választott gépek teljesítményét, a gázolaj fűtőértékét, az ültetvény hozamát (20 nedves t/ha/év) és az apríték fűtőértékét (nedves állapotban: 7 MJ/kg). (1. táblázat)

1.táblázat: Az energiamérleg számítások összefoglaló táblázata

	Energiamérleg 1-ha-os területre, 20 éves időtartalomra, alacsony munkagép teljesítmény igény mellett (kis méretű: 3 ha alatti ültetvényekre)	Energiamérleg 1-ha-os területre, 20 éves időtartalomra, közepes munkagép teljesítmény igény mellett (közepes méretű: 3-20 ha-os ültetvényekre)		Energiamérleg 1-ha-os területre, 20 éves időtartalomra, magas munkagép teljesítmény igény mellett (nagy méretű: 20 ha feletti ültetvényekre)
Befektetett gépi energia (MJ)	59.775	106.632	78.132	75.331
Dendromasszával „kivett”energia (MJ)	2.800.000	2.800.000	2.800.000	2.800.000
Energiamérleg (MJ)	1:46	1:26	1:35	1:37

A számolás eredményeképpen elmondható, hogy különböző gépesítettségi szinten számolt példánál a legkisebb gépesítési igénynél a legjobb az energiamérleg 1:46. Közepes teljesítményű gépeknél a betakarításnál két eltérő géptípust vettünk figyelembe, biobaler esetén az energiamérleg 1:26, döntő-aprító gép esetében 1:35 volt. Nagy teljesítményű gépkategóriánál az energiamérleg 1:37 volt.

Sokoldalú hasznosíthatóság

A fás szárú ültetvények termesztése kizárólag a fenntarthatósági kritériumoknak megfelelően történhet, kerülve a konfliktust az élelmiszer és takarmányozási célú növénytermesztéssel. Kiemelkedő szerepük abban rejlik, hogy telepítésükre a megfelelő fafaj megválasztásával és gondos talajelőkészítést követően lehetőség van a gyenge minőségű mezőgazdasági területeken is (Bakti, 2016), igaz, alacsonyabb várható terméshozam mellett. Ilyenek például az aszály és az árvíz sújtotta területek, a sekély termőréteggel rendelkező elhagyott parlagterületek, az erózióra, deflációra hajlamos területek (Gyuricza (szerk.), 2014; Führer et al., 2008; Szajkó et al., 2009). A belvizes, magas vízállású területeken a fűzfélék, míg a magasabban fekvő, szárazabb területeken, az aszályra hajlamos, gyenge termőképességű talajokon a nyár és az akác jöhet számításba (Szajkó et al., 2009; url.1.; Gyuricza-Alexa, 2014). Eredményesen termesztethők fás szárú energianövények a csekély termőképességű homokos talajokon is. (url. 1.) Kutatások bizonyítják, hogy a rövid vágásfordulójú energetikai ültetvények termesztésére a rekultiválásra váró bányászati területek, valamint a vörösiszap szennyezés után kármentesített területek is alkalmasak (Kovács, 2010; Drzewiecka et al., 2012; Bungarta-Hüttl, 2001). Példaként megemlítjük Drzewiecka et al. (2012) tanulmányát, melynek célja az volt, hogy felmérjék a *Salix viminalis* egy fajtájának bioakkumulációs képességét nikkkel tekintetében. Eredményként azt kapták, hogy a növekedés erőteljes gátlása ellenére a fajta kielégítően ellenáll a nikknek, és erősen szennyezett területeken termesztendő. Bungarta-Hüttl (2001) kutatása fás szárú ültetvények termesztésének tekintetében szintén eredményes volt bányászati területen agyagos-homokos, tápanyagszegény talajon. Az ültetvényekkel tehát eltüntethetők a tájsebek, kivonják a veszélyes anyagokat a talajból (pl. nehézfémek). Emellett hamarabb beindítják a szennyezett területek talajéletét és intenzívebb humuszképződést eredményeznek, mint a hagyományos termesztésben használt növények. A levegőminőség javításában is van szerepük, mivel megtisztítják a levegőt a különböző szennyezőanyagoktól. (Kovács, 2010) A fás szárú ültetvényekről származó alapanyag jól integrálható az energiaszektorba, hiszen az erőművek és fűtőművek megújuló alapú alapanyag-ellátásában napjainkban többségében a dendromassza tölti be a legfontosabb szerepet. A biomasszából történő villamos energia előállításra számos technológiai kialakítás létezik. Általánosságban elmondható, hogy az újabb típusú, kombinált ciklusú hő- és villamosenergia előállítás együttes hatásfoka a legkedvezőbb (>60%) (Szalay, 2018). Emellett

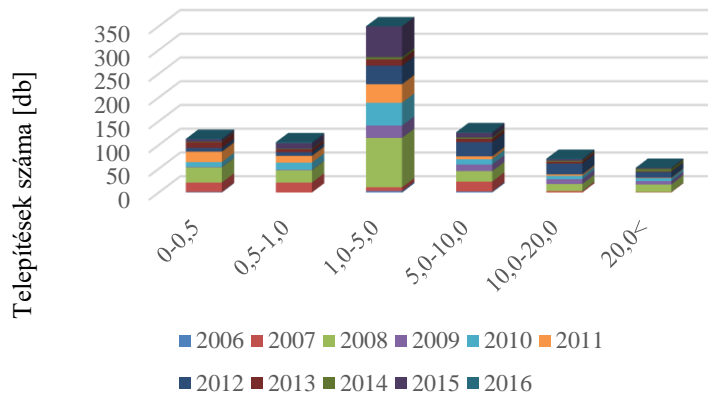
a megtermelt dendromassza alkalmas biohajtóanyag, biokompozitok, bioplasztik, biokemikáliák, stb. előállítására. Az energetikai ültetvények a hőtermelésen túl, az egyre nagyobb teret hódító lignocellulóz biohajtóanyag előállításának alapanyagaként is szolgálhat, ezek közül legígéretesebb a bioolaj. (Szalay, 2018) Hátrányként említendő technológiai szempontból az ültetvényekre jellemző vékony faanyag magas kéreghányada az erdei faanyaghoz képest, emiatt a cseppfolyós hajtóanyag előállításban kéregmentes faipari melléktermékekkel együtt érdemes felhasználni, vagy önmagában jó hatásfokkal működő kapcsolt hő- és villamosenergia termelő egységekbe juttatni. Az utóbbi a közeljövőben Magyarországon előnyt élvez a cseppfolyós lignocellulóz hajtóanyag felhasználásával szemben, a kiforrott technológia rendelkezésre állása és a kisebb kockázattal járó beruházási igény miatt (Szalay, 2018).

A természetes szálakkal megerősített biokompozitok a közelmúltban sok kutatót vonzottak biológiai lebonthatóságuk, költséghatékonyságuk és környezetbarát tulajdonságuk miatt. Zafar et al. (2016) a fűszállal erősített poli (tejsav) alapú kompozitok tulajdonságait és hab feldolgozhatóságát vizsgálta. Npanic és munkatársai (2016) annak érdekében, hogy meghatározzák a fa alapvető kémiai összetételének jelentőségét a biokompozitok előállításához szükséges alapanyag kiválasztásában, kutatásukban 20 mérsékelt övezetben található fafaj hamu-, extraktum-, lignin-, cellulóz- és alfa-cellulóztartalmát vizsgálták. A kapott eredmények azt mutatták, hogy a fehér fűz (*Salix alba* L.), meghatározott kémiai összetevőinek aránya volt a legkedvezőbb, tehát ez a legmegfelelőbb biokompozit anyagok előállításához. A lignocellulóz források, így akár az ültetvények faanyaga is helyettesíthetik részben a műanyagokat. A bioplastik előállítása a dendromasszából a fő alkotóelemekre, azaz a cellulózra, hemicellulózra és ligninre történő elkülönített frakcionálást igényel, hatékony tisztítási folyamatokat és költséghatékony módszereket a monomerekké és platformmolekulákká történő átalakításhoz. (Brodin et al., 2017). A bioplastik faanyagból történő előállítására is vannak kísérletek pl. Németországban, vagy Svédországban. A hasznosítható fafajok vizsgálata jelenleg is zajlik. Faalapú bioplastikot használhatunk élelmiszerek csomagolására, különböző áruk szállításánál történő csomagolására, készülhetnek belőle bútorok, játékok, építőanyagok, akkumulátorok. (url. 2.)

Jogsabályi és támogatási háttér

A korábbi és jelenlegi jogszabályok áttekintése után elmondható, hogy a 135/2017. (VI.9.) Kr. a fás szárú ültetvényekről valamelyest átláthatóbban szabályozza az ültetvények kérdéskörét. Megjelent egy új ültetvény kategória (faipari alapanyag termelését szolgáló ipari célú fás szárú ültetvény) is, valamint az előző jogszabályokhoz képest némely esetben hosszabb a vágásforduló (15 évről 20 évre emelkedett), kötelező a termőhely-feltárás és az ehhez kapcsolódó szakvélemény az ültetvény telepítése előtt, emellett valamelyest bővült a fafajlista is. Az elmúlt években bekövetkezett változások, melyek megszüntették a rövid vágásfordulójú ültetvények közvetlen és közvetett támogatásának lehetőségét -mindössze a területalapú és a zöldítéssel összefüggő támogatást meghagyva-, láthatóan csökkentették hazánkban a rövid vágásfordulójú ültetvények telepítésének hajlandóságát a gazdák részéről. (3. ábra) A 2016-tól ipari célú hengeresfa ültetvény telepítésére igénybe vehető támogatás sem növelte a gazdák telepítési kedvét, derült ki a NÉBIH adataiból (NÉBIH, 2019).

Ugyanakkor a stabil felvevő piac közelében (Pécsi, Bakonyi erőmű) támogatás nélkül is létesítettek ültetvényeket, hiszen az erőművek alapanyag ellátásában az ültetvényekről származó apríték jelentős szerepet játszik.



3. ábra: A telepítések jellemző területnagysága a telepítések számának tekintetében (NÉBIH adatai alapján saját szerkesztés)

Faültetvények hatása a biodiverzitásra

A faültetvények SWOT analízise során (Vágvölgyi és Szalay, 2019) „veszélyek” kategóriában szerepel a biodiverzitás esetleges csökkenése. Ennek megítélése attól függ, hogy az erdő-, vagy az agrár területek élővilága az összehasonlítás alapja.

Mátyás (2005) szerint a faültetvény mind a fajgazdagság fenntartása, mind élőhelyteremtés szempontjából értéktelen. Például a nemesnyárasok növényvilágát tekintve a tág hálózatból adódó fénybőség, a rendszeres talajművelés, a rövid vágásforduló miatt erdei lágyszárú fajok a gyepszintben rendszerint nem találhatók. A gyakorta művelt sorközökben főleg az egy- és két-éves, zavarástűrő növények uralkodnak, a kevésbé bolygatott sorokban pedig az évelő, zavarástűrő („gyom-”) fajok szaporodnak fel. Kölcsei (2015) szerint az európai bioenergia-ültetvények összességében negatív hatásúaknak tekinthetők az állatvilágra, az állatok elterjedési területének (életterének), a populációk nagyságának, és a fajgazdaság csökkenése, illetve az idegen fajok jelentette invázió növekedése miatt.

Velük szemben Felton et al. (2016) svédországi megfigyelések alapján megállapította, hogy egyes ipari tölgy ültetvények madárközössége összetételében és fajszámában is hasonló (34 faj), mint a védett tölgyerdőké (39 faj). Liebhard (2009) szerint különösen a szárazabb éghajlatú régiókban hozzájárulhatnak az élettér rendszerek összekapcsolásához, zöld folyosóként. Egész éves talajtakaró hatásuknak köszönhetően bűvő- és szaporodóhelyet, valamint táplálékot biztosíthatnak egyes vadon élő állatok számára. Különösen a rovarok és madarak faj- és egyedszámát növelik agrár területen, például a fűrj és fogoly számára kifejezetten alkalmas élőhelyeket alkotva. Verheyen et al. (2014) tíz rövid vágásfordulójú ültetvény edényes flóráját és rovarközösségét hasonlította össze kukoricaföldek hasonló közösségeivel. Mind a tíz esetben a faültetvény sokkal kedvezőbb képet mutatott mind a növényborítottság, mind a faji sokféleség tekintetében. Az ízeltlábúak sűrűsége több esetben is szinte kétszeres értéket mutatott a fás társulásban, mint a kukoricásban. A funkcionális csoportok tekintetében is egy-egy szerepkörhöz magasabb fajszámok tartoztak. A növényvédelmi szempontból kiemelten fontos predátor közösségek egyenletesebb eloszlású és változatosabb fajszámmal jelentek meg a faültetvényben.

Faragó (1997) szerint a fűz ültetvények megfelelő élőhelyek az apróvad számára. Az ültetvényeket 10 -15 (-20) évig fenntartják, ami hosszú távon élőhelyeket eredményez.

Weih (2008) általánosságban azt állapította meg, hogy a faültetvények pozitív és negatív hatással is lehetnek a biodiverzitásra az elhelyezkedés, kezelés és a telepítést megelőző területhasználat függvényében. Ráadásul több állatfaj élőhely rendszereket használ, ezért a jelenlétük a megfelelő élőhely kombinációtól függ. Ilyen módon a táj területhasználatának a diverzitása is erősen befolyásolja az ültetvény életközösségének sokféleségét.

A fűz, illetve nyár hibrid faültetvények emlős- és madárközössége szignifikánsan diverzebb, mint a mezőgazdasági veteményeké. Különösen a ragadozómadarak szempontjából jelentősek ezek az élőhelyek.

Összességében tehát egy jól megtervezett, nem túlzottan nagyméretű, rövid vágásfordulójú faültetvény növelheti a biodiverzitást, a fajszámot és a létszámot egyaránt, főleg intenzív mezőgazdasági művelésű tájakon. Másrészt viszont kerülendő ilyen ültetvények telepítése nyitott és magas természetvédelmi értékű területek, például láprétek, vízparti ligetek közelébe, mivel az ilyen élőhelyek értékét gyakran a nyitottságuk adja.

Ezekkel a megkötésekkel a faültetvény telepítése jó megoldás lehet agrártájban az élelmiszertermelés kiegészítésére, a termelés változatosságának növelésére.

Kutatásunk eredményeiből látható, hogy alapvetően minden rendelkezésre a technológia oldalon ahhoz, hogy a szakirodalomban előrevetített faültetvény területnagyságot elérhessük. A természet-technológia kidolgozásra került, a hozzá kapcsolódó gépek rendelkezésre állnak, a gépi energiamegterhelések pozitívak, az ültetvények szélsőséges tulajdonságokkal rendelkező termőhelyre is telepíthetők, a megtermelt faanyag sokoldalúan felhasználható. Megfelelő kialakítással és munkatervezéssel ökológiai oldalról is lehet kedvező a faültetvények hatása. Így alapvetően a támogatási háttér esetében vázolt problémák gátolhatják meg leginkább az ültetvények terjedését hazánkban. Azonban ha nagy erőmű közelében van szabad terület az ültetvények létrehozására, akkor a támogatási háttér hiánya sem hátráltatja a telepítési kedvet.

Köszönetnyilvánítás: A tanulmány/kutatómunka a „Fenntartható Nyersanyag-gazdálkodási Tematikus Hálózat – RING 2017” című, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 jelű projekt részeként a Szechenyi2020 program keretében az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- BAKTI B. (2016): Kedvezőtlen termőhelyi feltételek mellett telepített fás szárú energetikai ültetvény hozamvizsgálata. Konferenciakiadvány. Alföldi Erdőkért Egyesület 2016. Kutatói Nap, 11-17.
- BONTE D. (2014): “Potential of Short Rotation Coppice plantations to reinforce functional biodiversity in agricultural landscapes.” *Biomass and Bioenergy*. Vol 67, 435-442. DOI: 10.1016/j.biombioe.2014.05.021.
- BRODIN, M. - VALLEJOS, M. - OPEDAL, M. T. - ARE, M.C. - CHINGA-CARRASCO, G. (2017): Lignocellulosics as sustainable resources for production of bioplastics – A review *Journal of Cleaner Production* Volume 162, 20 September 646-664.
- BUNGARTA, R. - HÜTTL, R.F. (2001): Production of biomass for energy in post-mining landscapes and nutrient dynamics. *Biomass and Bioenergy* 20 (3) 181–187.
- CZUPY I. - VÁGVÖLGYI A. - HORVÁTH B. (2012): The Biomass Production and its Technical Background in Hungary. In: T Pentek, T Prosinsky, M Sporcic (szerk.) *Proceedings of 45th International Symposium on Forestry Mechanization: "Forest Engineering: Concern, Knowledge and Accountability in Today's Environment"* Zagreb: University of Zagreb, 1-9.
- DRZEWIECKA K. - MLECZEK M. - GAŚECKA M. - MAGDZIAK Z. - GOLIŃSKI P. (2012): Changes in *Salix viminalis* L. cv. ‘Cannabina’ morphology and physiology in response to nickel ions –Hydroponic investigations. *Journal of Hazardous Materials* Volumes 217-218, 429–438.
- FARAGÓ S. (1997): Élőhelyfejlesztés az apróvad-gazdálkodásban: A fenntartható apróvad-gazdálkodás környezeti alapjai. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
- FELTON, A. - HEDWALL, P.O. - LINDBLADH, M. - NYBERG T. - HOLMSTRÖM, E. - WALLIN, I. - LÖF, M. - BRUNET, J. (2016): “The biodiversity contribution of wood plantations: Contrasting the bird communities of Sweden’s protected and production oak forests.” *Forest Ecology and Management* Vol 365, 51-60. DOI: 10.1016/j.foreco.2016.01.030
- FÜHRER E. - RÉDEI K. - TÓTH B. (2008): Ültetvényszerű fatermesztés 2. Agroinform Kiadó, Budapest. ISBN 978-963-502-888-7.

- GARAY R. - KOZÁK A. - NYÁRS L. - RADÓCZINÉ KOCSIS T. (2012): The potential for the production and use of biomass-based energy sources in Hungary. In: Studies in Agricultural Economics (114) 1-9.
- GIBER J. - GERSE K. - TRINGER Á. (2005): A magyar energiapolitikai tézisei a 2006-2030 között időszakra 12. fejezet. A megújuló energiaforrások szerepe az energiaellátásban. Gazdasági és Közlekedési Minisztérium.
- GOCKLER L. (2010): Fás szárú energiaültetvények a mezőgazdaságban. 2. rész- a sarjaztatásos fás szárú energetikai ültetvények technológiájának megfontolandó elemei. In Mezőgazdasági Technika, november, 40-43.
- GYURICZA Cs. (szerk.) (2014): Energiatananyagok, biomassza termelés és felhasználás. 6. tananyag. Ágazati együttműködés a hulladékgazdálkodás, szennyvízkezelés és megújuló energia képzési rendszerének fejlesztése érdekében. Gödöllő. p. 143.
- GYURICZA Cs. - ALEXA L. (2014): Fás szárú növények energetikai célú termesztése. Elérhető: <https://www.agronaplo.hu/szakfolyoirat/2008/05/szantofold/fas-szaru-novenyekenergetikai-celu-termesztese>.
- HORVÁTH B. (szerk.) (2016): Erdészeti géptan. Szaktudás kiadó Ház Zrt. Bp.
- KOVÁCS G. (2010): A vörösiszap által szennyezett területek erdészeti hasznosítása. Erdészeti Lapok CXLV. évf. 11. sz.
- KÖLCSEI T. (2015) Bioenergia-ültetvény és a biodiverzitás. Agroinform.hu
- LIEBHARD, P. (2009): Energetikai faültetvények. Rövid vágásfordulójú faanyagtermelés. A jövő nyersanyaga. Cser Kiadó, Budapest.
- MAROSVÖLGYI B. (2005): A biomassza bázisú energiatermelés mezőgazdasági háttere. Elérhető: <http://www.enpol2000.hu/?q=taxonomy/term/5&from=90>
- MÁTYÁS Cs. (2005) Erdészeti ökológia. Mezőgazda Kiadó, Bp.
- MOLNÁR S. - BÖRCSÖK Z. (2009): Faenergia alapanyag forrásai és fejlesztési lehetőségei. Konferencia-előadás. A fa, mint megújuló energiaforrás konferencia. Sopron. <https://slideplayer.hu/slide/2125421/>.
- NÉBIH- ERDÉSZETI GAZGATÓSÁG ADATAI, 2019.
- NPANIC, N. – JAMBREKOVIC, V. – KLARIC, M.(2016): Basic chemical composition of wood as a parameter in raw material selection for biocomposite production. Elérhető: [_var_www_html_cct_html_authors_2_2271_2271_2018-04-11_3_1523445779%20\(1\).pdf](#).
- SCULTÉTY, O. - SEIFFERT, M. (2009): Opportunities and Challenges of Short Rotation Coppice in Hungary. Elektronikus folyóirat, 1. szám, Elérhető: www.e-tudomany.hu
- SZAJKÓ G. - MEZŐSI A. - PATÓ ZS. - SCULTÉTY O. - SUGÁR A. - TÓTH A. (2009): Erdészeti és ültetvény eredetű fás szárú energetikai biomassza Magyarországon. Műhelytanulmány 2009-5.
- SZALAY D. (2018): Energetikai célú dendromassza termesztés és hasznosítás lehetséges szerepe a lignocellulóz biohajtóanyag üzem alapanyag ellátásában. Doktori értekezés. Soproni Egyetem.
- VÁGVÖLGYI A. (2013): Fás szárú energetikai ültetvények helyzete Magyarországon napjainkig; üzemeltetésük, hasznosításuk alternatívái. PhD dolgozat, Nyugat- magyarországi Egyetem. Sopron.
- VÁGVÖLGYI A. - SZALAY D. (2019): Energetikai célú fás szárú ültetvények SWOT analízise. In Csiha I., Csiha S. Nagy A. (szerk.): Alföldi Erdőkért Egyesület Kutató Nap. Tudományos eredmények a gyakorlatban. Kecskemét, Magyarország, Alföldi Erdőkért Egyesület 274-281.
- VERHEYEN K. - BUGGENHOUT M. - VANGANSBEKE P. - DOBBELAERE A. D. - VERDONCKT P. - WEIH, M. (2008): "Short rotation forestry (SRF) on agricultural land and its possibilities for sustainable energy supply." Nordic Council of Ministers, Copenhagen. ISBN: 978-92-893-1695-8 (print).
- ZAFAR, M. T. - ZARRINBAKSH, N. - MOHANTY, A. K. - MISRA, M. - MAITI, S. N. - GHOSH, A. K. (2016): Biocomposites based on poly(lactic acid)/willow-fiber and their injection moulded microcellular foams. Express Polymer Letters . 2016, Vol. 10 Issue 2, 176-186.
- 135/2017. (VI.9.) Kormányrendelet a fás szárú ültetvényekről.
- URL.1. Energia-ültetvények https://hunio.hu/media/11_energiaultetvenyek_13.pdf
- URL.2. <https://storymaps.arcgis.com/stories/9d8b03c72bc140e0be2e2ddcae296b94>

A COVID-19 HATÁSA AZ AMERIKAI AGRÁRTÁMOGATÁSI RENDSZERRE

VAJDA JÓZSEF, HORVÁTH SÁNDOR

Soproni Egyetem Erdőmérnöki Kar, Erdővagyon-gazdálkodási és Vidékfejlesztési Intézet
jozsef.vajda@phd.uni-sopron.hu

Bevezetés

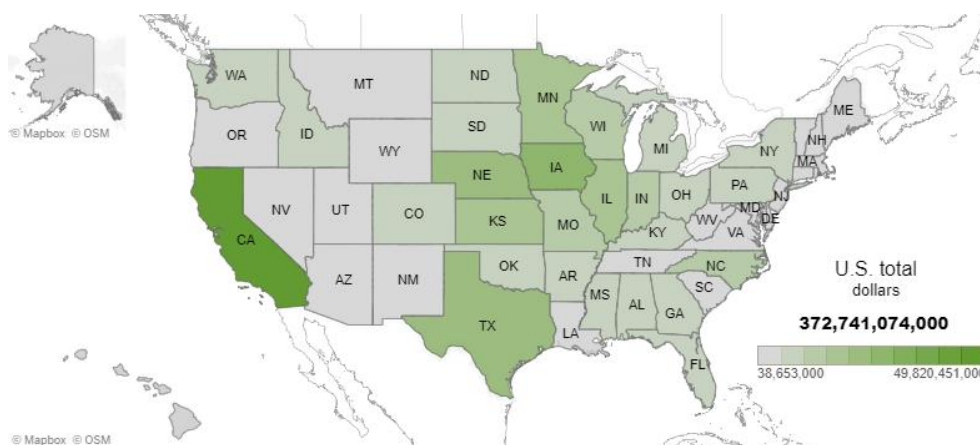
A legtöbb fejlett ország rendelkezik mezőgazdasági támogatásokkal. Ezen országok gazdálkodói számára a támogatási rendszer kereskedelmi előnyt is biztosít. Az Egyesült Államokban a legjelentősebben a gabonaféléket támogatják, és ez a támogatási rendszer olcsóbbá teszi a gabonát, mint a zöldségeket és a gyümölcsöket. Ennek eredményeként a gabonafélék teszik ki az átlagos amerikai étrend egynegyedét. A kukoricából, a szójababból és a repceből készülő olaj 25%-ban járul hozzá, míg a gyümölcsök és zöldségek kevesebb, mint 10%-al.

A mezőgazdasági támogatások több mint 6%-a négy gyorsétel (fast-food) összetevőre irányul: kukoricaszirup, magas fruktóztartalmú kukoricaszirup, kukoricakeményítő és szójaolaj. Elgondolkodtató, hogy a szövetségi kormány támogatja az ételeket, amelyek hozzájárulnak az amerikai elhízás veszélyének növekedéséhez.

Az USDA (Egyesült Államok Mezőgazdasági Minisztériuma) intézkedéseket tett a COVID-19 nemzeti vészhelyzet során annak biztosítása érdekében, hogy a gyermekeket és a családokat élelmiszerekkel lássák el az iskolák bezárása és a munkahelyek megszűnése idején, valamint növelte az USDA mezőgazdasági programjainak rugalmasságát és kiterjesztését annak biztosítása érdekében, hogy az amerikai élelmiszer-ellátási lánc biztonságban maradjon.

Az amerikai mezőgazdasági ipar áttekintése

2017-ben a mezőgazdaság és az élelmiszeripar az Egyesült Államok gazdaságának 5,4%-át tette ki, míg a munkavállalók 11%-át foglalkoztatta. Ebből a mezőgazdálkodás adta a bruttó hazai termék 1% -át, egyúttal a munkavállalók 1,3% -át foglalkoztatta.



1. ábra: Teljes mezőgazdasági termelés (bevétel) államonként 2018-ban

Forrás: USDA <https://www.ers.usda.gov/>

A kukorica az ország legnagyobb vetésterülettel rendelkező termesztett növénye. 2017-ben több mint 15 milliárd bushel-t (kb. 408 Mio tonna) termesztettek; (1 bushel (azaz véka) = 35,2 liter), ennek 15%-át exportálták. A kukoricatermesztés öve Indiana (IN), Illinois (IL), Iowa (IA), Missouri (MO), Nebraska (NE) és Kansas (KS) államok területe. Iowa gazdaságának egyharmada a mezőgazdálkodástól függ. Kaliforniában termelik meg a legtöbb élelmiszert

dollárérték szerint. Míg Kaliforniában termelik a legtöbb mandulát, bort, tejterméket, diót és pisztáciát, ezek a termékek nem részei a szövetségi kormány támogatási programjának, tehát nem támogatott termékek.

2,1 millió amerikai farm működik, ezek 97% -a családi tulajdonban van. A helyi talajviszonyok és az időjárási viszonyok megértése a gazdák számára versenyelőnyt jelent. A családok ezt a tudást nemzedékről nemzedékre adják tovább.

Körülbelül 3%-a nagygazdaság, amelyek meghatározása az, hogy a bevételük legalább 1 millió dollár évente. Az Egyesült Államok zöldség- és tejtermékeinek jelentős része ezekből a nagy gazdaságokból származik. A legtöbb gazdaság egyetlen árucikkre összpontosít. Minden ötödik ilyen gazdálkodás az elmúlt 10 évben indult, és ezek közül sok gazdaság a helyi vagy organikus élelmiszerekre koncentrál.

Vizsgálati anyag

A szövetségi kormány által nyújtott mezőgazdasági támogatások célja, hogy segítsék a mezőgazdasági termelőket a mezőgazdasági termelés és a jövedelmezőség évről évre történő változásainak kezelésében - az időjárási viszonyok, a piaci árak és más tényezők miatt -, miközben biztosítják a stabil nemzeti élelmiszer-ellátást. A valóságban ez a támogatás fő iránya a kukorica, a szójabab, a búza, a gyapot és a rizs. Néhány más áru is jogosult állami támogatásra, ideértve a földimogyorót, a cirkot és a mohart, bár ezeknek a termékeknek a támogatása jóval alacsonyabb. A tejtermékek és a cukor termelői külön-külön irányítják az árakat és a piacot, amelyeket szigorúan szabályoztak, és nagyon költségesek a kormány számára.

A „családi gazdaság megőrzésének” programja ellenére a gazdálkodók túlnyomó többsége nem részesül a szövetségi mezőgazdasági támogatási programok előnyeiből, és a támogatások nagy része a legnagyobb és pénzügyileg legbiztonságosabb mezőgazdasági műveletekre irányul. A hús-, élelmiszer- és zöldségfélék termelői szinte teljes egészében ki vannak hagyva a támogatási lehetőségekből (habár igénybe vehetik a támogatott növénybiztosítást, és gyakran kérelmeznek és kapnak szövetségi katasztrófa támogatást).

A 2014. évi mezőgazdasági törvényjavaslat 125 000 dollárra korlátozza a gazdálkodással „aktívan foglalkozó” személyek éves kifizetéseinek összegét. A házastárs további 125 000 dollár kifizetésre jogosult. A valóságban a nagy és összetett mezőgazdasági termelő szervezetek következetesen megtalálják a módját e korlátok tágításának.

Az öt támogatott gabonaféléről tudni kell, hogy ezek olyan növények, melyek a világ termőterületein biztosítják a globális kalóriaigény 80%-át. A gabonafélék tárolhatók és piaci áron szállíthatók. A támogatásokban részesülő öt legfontosabb állam Texas, Nebraska, Kansas, Arkansas és Illinois. 2017-ben az elosztott 7,2 milliárd dollár 38,5% -át kapták meg az EWG Farm Subsidy Database-en keresztül.

Szakértők azt állítják, hogy az amerikai gazdaságnak még támogatásra sem lenne szüksége. Végül is az államok a világ egyik legkedvezőbb földrajzi régiójában helyezkednek el. Gazdag talajjal, bőséges csapadékmennyiséggel rendelkeznek, és a folyók közelsége a gazdálkodó területekhez sok esetben lehetővé teszi az öntözést is. A mai gazdaságoknál elérhetőek a modern vállalkozás minden technológiai megoldásai. Magasan képzett munkaerővel, számítógépes berendezésekkel és csúcstechnikai kutatásokkal rendelkeznek, úgy a vetőmagok, mint a műtrágyák területén.

Az amerikai kormány azonban úgy gondolja, hogy az élelmiszerellátást védeni kell az aszályoktól, tornádóktól és a recesszióktól is. Valójában a mezőgazdasági támogatásokat eredetileg azért hozták létre, hogy segítsék a gazdálkodókat, akiket az 1929. évi aszályos időjárás (Dust Bowl) és a nagy gazdasági válság (The Great Depression) sújtott. Ez az ártámogatási rendszer az 1990-es évekig tartott. A szövetségi kormány kifejezetten magas árakat garantált a gazdálkodóknak, hogy jövedelmezőek maradjanak. A gazdálkodóknak

fizetett azért, hogy a kínálat ne haladja meg a keresletet. A kormány támogatta a gazdálkodókat, hogy jelentős növényterületet parlagon tartsanak a túltermelés elkerülése érdekében. Ezenkívül a felesleges terményt felvásárolta és tárolta (intervenciós raktárak), később felhasználta belföldön, vagy világszerte szétosztotta az alacsony jövedelmű országokban segélyként. 1999-re a mezőgazdasági támogatások rekordszintű 22 milliárd dollárt értek el évente.

2001 és 2006 között a mezőgazdasági támogatások egy kicsit csökkentek, évente átlagosan 19 milliárd dollárt tettek ki. Vannak, akik úgy vélekednek, hogy ennek kb. 15%-a szükségtelen. Ebből több mint 6% irányult a négy „egészségtelen étel” (junk food) összetevői felé.

A recesszió idején, amikor a törvényhozók keresték a költségvetés csökkentésének módját, sokan megkérdőjelezték, hogy egyáltalán szüksége van-e a kukoricatermesztők támogatására. 2011-ben rekord 12,4 milliárd bushel (436,4 mio tonna) kukoricát termesztettek. 2012-ben 94 millió acre (37,6 mio hektár, 1 acre = 0,4 hektár) kukoricát vetettek. Ez több volt, mint bármelyik másik évben a második világháború óta.

2017-re a nagy gazdaságok uralták az iparágat. Az egymillió dollárt meghaladó árbevétellel rendelkező gazdaságok az ország mezőgazdasági termelésének kétharmadát adták. A nagy gazdaságok felvásárolták azokat, amelyek nem tudtak versenyképesek maradni. A gazdaságok méretnövekedése elősegítette, hogy több élelmiszert olcsóbban állítsanak elő. Ez még tovább csökkentette az árakat, és több kistermelőt zárt ki a gazdálkodásból.

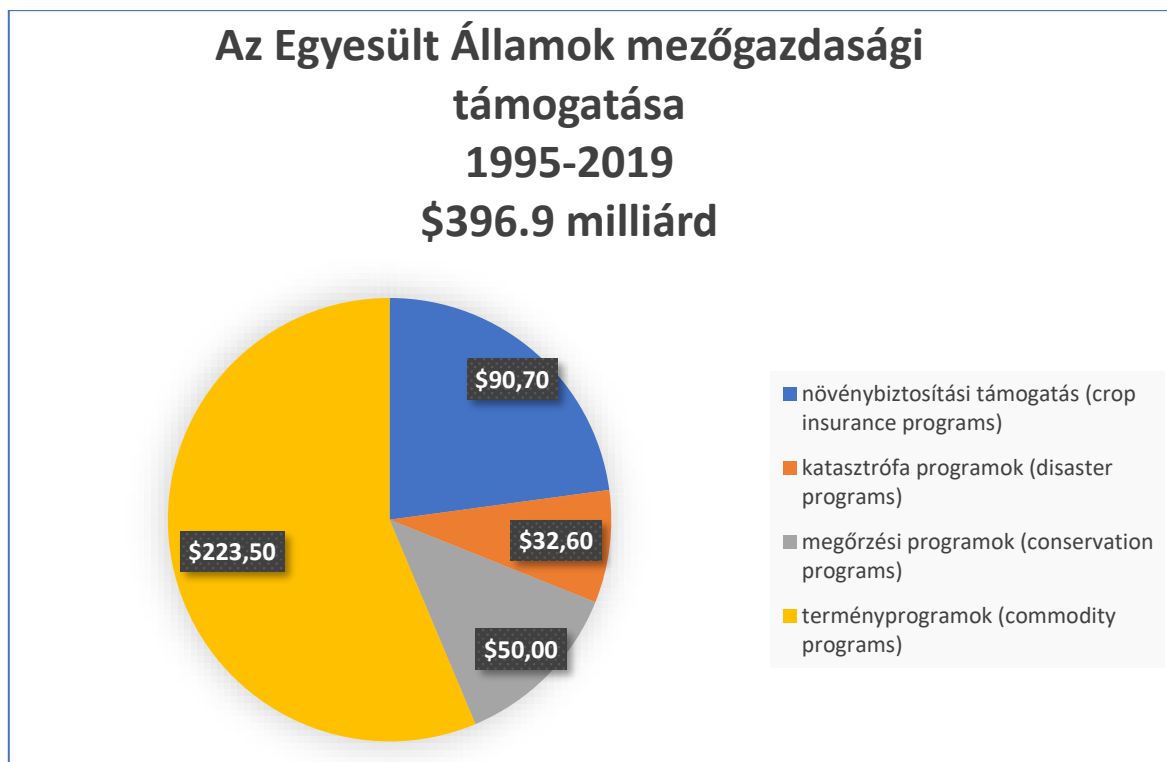
A 2012. évi költségvetés a mezőgazdasági támogatások 22%-os csökkentését javasolta, ideértve az 5 milliárd dolláros közvetlen kifizetési programot. A támogatást kapó gazdák fele évente több mint 100 000 dollárt keresett. 1995 és 2016 között a gazdálkodók 10%-a kapta a támogatások 77%-át. Ebből a gazdák felső 1%-a kapta a kifizetések 26%-át, vagyis 1,7 millió USD-t gazdaságonként (a 125.000 USD elméleti plafon mellett). A legnagyobb kedvezményezett a Deline Farms Partnership volt, amely 2016-ban 4 millió dollárt támogatást kapott.

A támogatási rendszer előnyei

A gazdaságok érzékenyek az árutőzsdei árak változására. Az mezőgazdasági termékek kereskedői nyílt tőzsdén határozzák meg az árakat. Olyan határidős szerződésekkel kereskednek, amelyek ígéretet jelentenek arra, hogy egy meghatározott időpontban megállapodott áron vásárolnak vagy adnak el. A mezőgazdasági termelők bizonyos keretek közt előre tervezhetik, hogy milyen lesz az ár, amikor aratni fognak. Az árfolyamot határidős szerződéssel zárhatják. Mivel ezek a szerződések amerikai dollárban van megkötve, a dollár értéke a mezőgazdasági termelők bevételeit is befolyásolja. Ha a dollár értéke emelkedik, akkor a külföldi vásárlók kevesebben fognak vásárolni.

A növények és az állatok érzékenyek a kórokozókra, a betegségekre és az időjárásra. 2012-ben az aszály arra kényszerítette a gazdákat, hogy vágjanak le olyan szarvasmarhákat, amelyek túl drágák lettek a takarmányárak növekedése miatt. 2015-ben a tojásárak a madárinfluenza miatt 17,8%-kal emelkedtek. 2018-ban a hurrikánok átmeneti áremelkedéseket okoztak, mivel a pekándió, a csirke és a sertés tenyésztését befolyásolta.

A gazdák gyakran kölcsönökre is támaszkodnak. Tavasszal kölcsönt vesznek fel, hogy vetni tudjanak, és ősszel fizetik vissza azt, amikor eladják a betakarítást. Ez kockázatosá teszi a gazdálkodást. Esetleges sürgősségi kiadások vagy az alacsony árak több éven át katasztrofálisak lehetnek. Sok gazdaság nem képes túlélni a két egymásutáni rossz évet, és csődbe jut.



2. ábra: Az Egyesült Államok mezőgazdasági támogatásai 1995-2019-ig
Forrás: EWG - The United States Farm Subsidy Information <https://farm.ewg.org/>

A támogatási rendszer hátrányai

Valamennyi iparág sajátos kihívásokkal néz szembe. A mezőgazdaság Amerikában jellemzően nem jelent nagyobb kockázatot, mint más iparágak. A támogatások regresszív rendszerben működnek, segítik a magas jövedelmű vállalkozásokat, és nem kedveznek a szegény vidéki gazdálkodóknak. A Forbes 400 leggazdagabb amerikai listáján 50 fő szerepel, akik részesülnek mezőgazdasági támogatásokban, ugyanakkor a gazdaságok 62%-a nem jut támogatáshoz.

Az amerikai mezőgazdasági támogatások blokkolják a globális kereskedelmet. A kereskedelmi tárgyalások dohai fordulója (The Doha Round of Trade Talks) és a transzatlanti kereskedelmi és beruházási partnerség (Transatlantic Trade and Investment Partnership) az USA és az európai mezőgazdasági támogatások miatt kudarcot vallott. Doha eltörölte volna a vámtarifákat a Kereskedelmi Világszervezet (WTO) minden országa között. A TTIP csökkentette volna az Egyesült Államok és az Európai Unió közötti kereskedelmi akadályokat. Ez az Egyesült Államok esetében a GDP-t 5%-al, az EU esetében 3,4%-al növelte volna. A tárgyalások azonban lobbierdek miatt leálltak.

COVID-19 hatása a mezőgazdasági termelőkre az USA-ban

Az USDA bejelenti a Koronavírus Élelmezési Segédprogramot (U.S. Department of Agriculture, Washington D.C., 2020.04.17., Coronavirus Food Assistance Program). Ez az új USDA program számos intézkedést fog tenni a mezőgazdasági termelők, az állattartók és a fogyasztók segítése érdekében a COVID-19 nemzeti vészhelyzet esetén. Donald Trump elnök utasította az USDA-t, hogy készítse el ezt a 19 milliárd dolláros azonnali segélyprogramot, hogy kritikus támogatást nyújtson mezőgazdasági termelőknek és gazdaságoknak, fenntartsa az élelmiszer-ellátási láncok integritását, és biztosítsa, hogy minden amerikai továbbra is megkapja és hozzáférjen a szükséges élelmiszerekhez. A terv hasonló struktúrájú, mint amelyet az adminisztráció használt a Kínával folytatott kereskedelmi harcában.

A koronavírusos élelmiszersegély-programnak két fő feladata lesz: közvetlen kifizetések biztosítása a mezőgazdasági termelők számára, valamint élelmiszervásárlás, amelyet elosztanak az élelmiszer-bankok, valamint a közösségek és a valláson alapuló szervezetek számára. „A program magában foglalja a mezőgazdasági termelőknek nyújtott közvetlen kifizetéseket, valamint a tej-, hús- és mezőgazdasági termékek tömeges beszerzését, hogy az élelmet a rászorulóknak számára adhassák. Az USDA további 14 milliárd dollárt kap júliusban.

Sonny Perdue mezőgazdasági titkár elmondta: „Az amerikai mezőgazdaság súlyos sérülést szenvedett, és Trump elnök a gazdáinkkal és az összes amerikaival együtt harcol, hogy megbizonyosodjunk arról, hogy valamennyien átjutunk ezen a nemzeti vészhelyzeten.”

Mivel a nagykereskedelmi piacokon, például az élelmiszer-szolgáltató ágazatban vagy az iskolákban alacsonyabb a kereslet, a tejtermelőket a szokásosnál gyorsabban a tej megsemmisítésére kényszerítették. A Reuters szerint az amerikai legnagyobb tejtermelő szövetkezet számos tagját utasította, hogy jelentős mennyiségű tejet semmisítsen meg (ezt gyakorlatilag zöldtrágyaként használják fel). A forgalomba hozható tejet megsemmisíteni vagy szántókon kipermetezni pénzügyi nehézségeket okoz, és morálisan nagyon veszélyes folyamat.

Vizsgálati eredmények értékelése

Az Egyesült Államok agrártámogatási rendszere, az EU agrártámogatásokhoz hasonlóan, rendkívül patrióta, a piaci folyamatokat sokszor túlzón befolyásoló és eltorzító hatású. Az USA-ban a közvetlen támogatások a mezőgazdasági termelőknek (Farmers) és az állattenyésztőknek (Ranchers) 16 milliárd dollár lesz idén, annak érdekében, hogy az árcsökkenés és a piaci ellátási láncok által okozott veszteségeket pótolják. A segítséget marketing célokra is fel lehet használni, hogy a kereslet csökkenést és a COVID-19 okozta túlkínálatot a 2020-as gazdasági évben kiegyensúlyozhassák. Ez a mentességi terv kiegészíti a mezőgazdasági termelők számára korábban biztosított 28 milliárd dolláros kárpótlást, amely egy 2018-ban kezdődött mechanizmus, annak érdekében, hogy ellensúlyozza a Kínával folytatott kereskedelmi háború költségeit.

Az USDA együttműködik a regionális és helyi forgalmazókkal, akiknél jelentős munkaerő leépítések történnek. Az éttermek, szállodák és más vendéglátóhelyek bezárása miatt történt fogyasztáscsökkentést a kormány 3 milliárd dollár friss termékek, tejtermék és hús felvásárlásával szeretné kiegyensúlyozni (intervenció). Az amerikai kormány megkezdte havi kb. 100 millió dollárnyi friss gyümölcs, zöldség, valamint havi 100 millió dollárnyi különféle tejtermék és havi 100 millió dollárnyi húskészítmény beszerzését. A disztribútorok és nagykereskedők ezután egy előre jóváhagyott feltételek mellett elkészített csomagot küldenek friss termékekből, tejtermékekből és húskészítményekből az élelmiszer-bankok, közösségi és vallási szervezetek és más rászoruló amerikaiakat segítő egyéb nonprofit szervezetek számára. A cikkben megvizsgáltam az USA támogatási rendszerének illesztési pontjait a COVID-19 járvány idején. Az amerikai kormány, és illetékes minisztériuma az USDA, folytatva korábbi támogatáspolitikáját, a járvány idejére is rendkívül nagyvonalú támogatási intézkedéseket vezetett be, melyek a termelőket és a fogyasztókat hivatott védeni a piaci turbulenciáktól, és a politikailag vállalhatatlan élelmiszerhiánytól. Magyarországhoz hasonlóan, méretükhöz viszonyítva, az USA is jelentős, önellátó és exportképes mezőgazdasági ország. A magyar támogatási rendszer fejlesztése során, az európai dominancia mellett az amerikai modellt is figyelniünk kell. Gabona és hústermékek tekintetében jelentős magyar export-import forgalom zajlik a két ország között, mely időről-időre még intenzívebbé válik. Románián keresztül hajón értékesítünk magyar viszonylatban óriási gabonátételeket USA-vevőknek, és szóját hozunk be. A járvány ideje alatt a mező- és erdőgazdálkodás többé-kevésbé zavartalanul működik mindkét országban, amellett, hogy folyamatos aszályveszély is van párhuzamosan. Az amerikai szövetségi kárenyhítési rendszerhez hasonló termelésbiztosítási rendszer Magyarországon is

működik, önkéntes alapon, az erdőgazdálkodók azonban ehhez jelenleg nem kapcsolódhatnak. Az ültetvényes gazdálkodás (iparifa ültetvények, energetikai ültetvények) esetén előnyös lenne, ha a közeljövőben megnyílna ez a mechanizmus.

Köszönetnyilvánítás: Jelen publikáció az „EFOP-3.6.1-16-2016-00018 – A felsőoktatási rendszer K+F+I szerepvállalásának növelése intelligens szakosodás által Sopronban és Szombathelyen” című projekt támogatásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

ASTILL G., PEREZ A., THORNSBURY S. (2020) Developing Automation and Mechanization for Specialty Crops: A Review of U.S. Department of Agriculture Programs
STEPHANIE A. MERCIER – STEVE A. HALBROOK (2020) Agricultural Policy of the United States
U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE - <https://www.usda.gov/>

A FAKÉREG ANTIOXIDÁNS TULAJDONSÁGAINAK KIÉRTÉKELÉSE

VISINÉ RAJCZI ESZTER, ALBERT LEVENTE, HOFMANN TAMÁS
Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Kémiai Intézet
visine.rajczi.eszter@uni-sopron.hu

Az élelmiszeripar, a mezőgazdaság és az erdőgazdálkodás melléktermékei ígéretes alapanyagok, mivel kis anyagi ráfordítással beszerezhetők, széles körben felhasználhatók, és újrafelhasználásuk környezeti előnyökkel is jár (VÁZQUEZ et al. 2012). E tekintetben az erdei fák kérge különös jelentőséggel bír (MOLNÁR 2004, PIETARINEN et al. 2006, DIOUF et al. 2009, EKMAN et al. 2013, GHITESCU et al. 2015). A faanyag feldolgozása során globális szinten évente mintegy 300-400 millió m³ fakéreg keletkezik (PÁSZTORY et al. 2016), csak Magyarországon 0,5-0,6 millió m³ (MOLNÁR 2004). A fák kérge jelentős mennyiségben tartalmaz enzimatikus és nem-enzimatikus antioxidánsokat, amelyek nemcsak a fák élő szöveteinek védelmi funkcióit látják el, hanem megfelelő feldolgozás után az emberi egészségre is jótékony hatással lehetnek. A kéreg kivonatok legfontosabb és széles körben alkalmazott antioxidáns vegyületei a polifenolok. Egy felmérés szerint a polifenolok iránti globális piaci kereslet mintegy 6,1 %-os éves szintű növekedést mutat (AMEER et al. 2017).

Kutatásainkban célszerűen kiválasztott magyarországi erdei fafajok (fehér nyár (*Populus alba* L.), fehér akác (*Robinia pseudoacacia* L.), kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea* Liebl.), fekete nyár (*Populus nigra* L.), közönséges nyír (*Betula pendula* Roth), európai vörösfenyő (*Larix decidua* Mill.), erdefenyő (*Pinus sylvestris* L.), vadcsereesznye (*Prunus avium* L.), közönséges gyertyán (*Carpinus betulus* L.) és a szelídgesztenye (*Castanea sativa* Mill.) kérgének összfenol tartalmát és antioxidáns kapacitását mértük és hasonlítottuk össze. Ezek antioxidációs potenciálját korábban nem vizsgálták. A háncsot és a héjkérget külön vizsgáltuk, bár az ipari gyakorlatban a kéreg egésze kerül begyűjtésre. A minták összes polifenol tartalmát Folin-Ciocâlțeu módszerrel, az antioxidáns kapacitást a FRAP (vas(III)-ion redukáló képességen alapuló), az ABTS (2,2'-azinodi-(3-etilbenzotiazolin)-6-szulfonsav), és a DPPH (1,1-difenil-2-pikrilhidrazil gyök megkötésén alapuló) módszerekkel határoztuk meg. Mivel mindegyik antioxidáns kapacitás meghatározási módszer eltérő szelektivitású az antioxidánsok adott típusaira, az eredményeket egy pontrendszer alkalmazásával egységesítettük és annak alapján értékeltük ki, hogy megkapjuk a minták „összesített” antioxidáns kapacitását (TÁLOS-NEBEHAJ et al. 2017).

A legmagasabb antioxidáns kapacitással rendelkező fajok kérge a jövőben potenciális antioxidáns forrás lehet és felhasználást nyerhet élelmiszeripari termékekben, táplálékkiegészítőkben, egészségügyi- és gyógyászati termékekben.

Anyag és módszer

Mintavétel és feldolgozás

A mintákat a Soproni Tanulmányi Erdőgazdaság Zrt. Soproni Erdészetének állományában lévő faegyedekről vettük. Mivel mindegyik fafaj vizsgált példánya azonos mintaterületről származott, a klimatikus, valamint egyéb környezeti hatások is hasonlóak voltak. A mintavétel során olyan egyedeket választottunk, amelyek érett korúak (mellmagassági törzsátmérőjük 30-50 cm), és egészségesek voltak. Mindegyik fafaj esetében egy reprezentatív törzsről vettünk mintát, közvetlenül a döntés után. A kéreg lehántását 1,5-3 méter közötti magasságból fejsze segítségével végeztük, 5 kg mennyiségben. A mintákat a laboratóriumba szállítás után laborklímán (18 °C-on), sötétben 2 napig szárítottuk. A kéregdarabokról a háncsot és a héjkérget ráspoly segítségével különítettük el. A közönséges gyertyán kérge legtöbbször túl vékony ahhoz, hogy a két réteget pontosan el lehessen választani, ezért gyertyán esetében az egész kérget vizsgáltuk. A kéregmintákból 0,15 g-ot extraháltunk szobahőmérsékleten 15 ml metanol:víz 80:20 v/v% oldószerkeleggyel 20 perces ultrahangos extrakcióval (Elma Transsonic T570 ultrasonic bath,

Elma Schmidbauer GmbH, Singen, Németország). Az extraktumokat 0,45 µm pórusátmérőjű fecskendőszűrőn szűrtük, és felhasználásig barna üvegekben tároltuk -20 °C-on.

Mérési módszerek

Az elvégzett vizsgálatok során 3 párhuzamos meghatározás történt mintánként a Hitachi U-1500 spektrofotométer (Hitachi Ltd., Tokio, Japán) segítségével adott hullámhosszokon. Totál-fenol tartalom meghatározás: Folin - Ciocâlteu módszerrel mértük, standardként kvercetin használtunk. Az eredményeket mg kvercetin/g száraz levélben (mg Q/g sz.a.) adtuk meg (SINGLETON - ROSSI 1965). ABTS antioxidáns kapacitás meghatározás: STRATIL et al. (2007) módszerével 734 nm hullámhosszon, trolox standardet használtunk. Az eredményeket mg trolox /g száraz levél egységben adtuk meg. FRAP antioxidáns kapacitás meghatározás: BENZIE és STRAIN (1996) módszerével 593 nm-en, standardnak aszkorbinsavat alkalmaztunk. Az eredményeket mg aszkorbinsav/g száraz levél egységben adtuk meg. DPPH antioxidáns kapacitás meghatározás: A méréseket SHARMA és BHAT (2009) módszere alapján végeztük el, kisebb módosításokat alkalmazva (HOFMANN et al. 2015b). A DPPH antioxidáns kapacitást IC₅₀ értékben (µg/ml) határoztuk meg. Extraktanyag tartalom meghatározás: A DPPH antioxidáns kapacitás meghatározásához megmértük mindegyik kivonat extraktanyag tartalmát mg/ml egységben. Szárazanyag tartalom meghatározás: A tobozminták szárazanyag tartalmát Ohaus MB23 gyors nedvességtartalom meghatározó mérleggel mértük, a minták tömegállandóságig történő szárításával 105°C- on.

Statisztikai kiértékelés

A varianciaanalízist adott szignifikancia szintek mellett a Statistica 12 software (StatSoft Inc., Tulsa, USA) segítségével végeztük el.

Eredmények és értékelésük

Totálfenol tartalom. Az 1. táblázat a vizsgált fajok héjkérgének és háncsának totálfenol tartalmát tartalmazza. Az 1. táblázat adatai alapján megállapítható, hogy a totálfenol tartalom faj- és szövetfüggő és széles határok között változik. A fehér akác, a kocsánytalan tölgy, a szelídgesztenye, a fekete nyár, fehér nyár és a vörösfenyő héjkérgének polifenol tartalma magasabb mint a háncsé, a vadcseresznyéjé, a közönséges nyíré és az erdeifenyőé alacsonyabb.

1. táblázat. Totálfenol tartalom a héjkéreg és a háncs szövetekben.

Fafaj	Totálfenol (mg Q/g sz.a.)	
	Héjkéreg	Háncs
Közönséges gyertyán	25,2 ± 0,63 ^{ab}	25,2 ± 0,63 ^b
Fehér akác	29,4 ± 3,13 ^b	9,9 ± 0,05 ^a
Kocsánytalan tölgy	71,6 ± 1,20 ^d	46,2 ± 1,39 ^d
Vadcseresznye	70,0 ± 2,43 ^d	139,0 ± 4,00^h
Szelídgesztenye	89,0 ± 3,90^e	61,4 ± 1,73 ^e
Fekete nyár	52,8 ± 2,83 ^c	36,3 ± 0,51 ^c
Fehér nyár	49,2 ± 1,35 ^c	44,1 ± 1,71 ^d
Közönséges nyír	57,3 ± 6,21 ^c	76,6 ± 0,54 ^f
Vörösfenyő	121,0 ± 4,11^f	106,9 ± 0,70^g
Erdeifenyő	16,4 ± 3,32 ^a	76,2 ± 3,15 ^f

Az eredmények feltüntetése átlagérték ± szórás formában történt. Adott oszlopon belül a felső indexben lévő különböző betűk szignifikáns különbséget jeleznek p < 0,02 szinten. A félkövérrel kiemelt értékek a legjobb totálfenol értékeket mutatják.

A héjkéreg összehasonlításánál legmagasabb totálfenol értékeket a vörösfenyő (121,0 mg Q/g sz.a.) és a szelídgesztenye (89,0 mg Q/g sz.a.) esetében találtunk, míg a háncsoknál a vadcseresznyénél (139,0 mg Q/g sz.a.) és a vörösfenyőnél (106,9 mg Q/g sz.a.). Az eredmények alapján a vörösfenyő, a szelídgesztenye a vadcseresznye kérge a jövőben potenciális antioxidáns forrás

lehet. Ezt alátámasztja az is, hogy TÁLOS-NEBEHAJ ET AL. (2018) magas flavan-3-ol tartalmat mértek a vörösfenyő héjkérgében (20,0 mg (+)-katechin/g sz.a.), és magas flavonoid koncentrációt (4,81 mg Q/g sz.a.) a szelídgesztenye héjkérgében.

A héjkéreg DPPH, FRAP és ABTS antioxidáns kapacitásának mérési eredményeit a 2. táblázat tartalmazza, a hancs szövetek eredményei a 3. táblázatban szerepelnek.

2. táblázat. A héjkéregből készült extraktumok antioxidáns kapacitása.

Fafaj	Héjkéreg		
	DPPH (IC ₅₀ , µg/ml) <i>p</i> < 0,02	FRAP (mg AS/ g sz.a.) <i>p</i> < 0,05	ABTS (mg T/g sz.a.) <i>p</i> < 0,01
Közönséges gyertyán	6,2 ± 0,26 ^{cd}	30,1 ± 1,01 ^d	86,1 ± 0,81 ^{ab}
Fehér akác	5,1 ± 0,46 ^c	19,5 ± 0,86 ^b	103,3 ± 5,85 ^b
Kocsánytalan tölgy	4,0 ± 0,10^b	29,3 ± 0,76 ^d	86,5 ± 9,19 ^{ab}
Vadcseresznye	12,0 ± 0,32 ^{ef}	35,9 ± 0,89 ^e	207,7 ± 7,71 ^d
Szelídgesztenye	2,8 ± 0,11^a	82,8 ± 0,71^g	320,1 ± 5,73^e
Fekete nyár	30,2 ± 2,89 ^g	18,3 ± 0,62 ^b	154,7 ± 10,75 ^c
Fehér nyár	6,9 ± 0,60 ^d	38,1 ± 1,38 ^e	153,9 ± 2,53 ^c
Közönséges nyír	12,8 ± 0,06 ^f	23,4 ± 0,30 ^c	205,2 ± 17,13 ^d
Vörösfenyő	5,8 ± 0,16 ^{cd}	51,4 ± 2,06^f	371,5 ± 18,53^f
Erdeifenyő	11,20 ± 0,61 ^e	10,9 ± 0,62 ^a	61,7 ± 4,37 ^a

Az eredmények feltüntetése átlagérték ± szórás formában történt. Adott oszlopon belül a felső indexben lévő kisbetűk szignifikáns különbséget jeleznek. A félkövérrel kiemelt értékek a legjobb antioxidáns kapacitás értékeket mutatják.

Legmagasabb DPPH antioxidáns kapacitást (legalacsonyabb IC₅₀ érték) a szelídgesztenye és a kocsánytalan tölgy héjkérgének extraktumaiból, míg a legalacsonyabbat a fekete nyár extraktumaiból mértünk.

A legmagasabb FRAP antioxidáns kapacitással a szelídgesztenye és a vörösfenyő héjkéreg extraktumok rendelkeznek, a kocsánytalan tölgy mérsékelt aktivitást mutat, míg a legalacsonyabb aktivitással a fekete nyár, a fehér akác és az erdeifenyő rendelkezik. A legnagyobb ABTS kapacitást a vörösfenyő és a szelídgesztenye minták, míg a legalacsonyabb értékeket az erdeifenyő és a gyertyán kivonatok mutatták.

A hancs szövetek kivonataiban a vadcseresznye, a kocsánytalan tölgy és a szelídgesztenye mutatta a legmagasabb DPPH aktivitást, míg a fehér akác és a fekete nyár a vizsgálati szempontból a legrosszabban teljesítő fajnak bizonyult (3. táblázat). Fontos megállapítás, hogy miközben a kocsánytalan tölgy a legjobb DPPH antioxidáns kapacitást mutatja (4,6 ± 0,13 µg/ml), csak közepes totálfenol tartalommal rendelkezik (46,2 ± 1,39 mg Q/g sz.a.). A vadcseresznye, a szelídgesztenye és a vörösfenyő hancs szöveteinek kivonatai a legmagasabb FRAP értékeket mutatták, míg a fekete nyár szövetei a legalacsonyabbat.

Az ABTS módszerrel vizsgált hancs szövetek közül a vadcseresznye kiugróan magas antioxidáns kapacitást mutatott (533,3 ± 11,2 mg T/g sz.a.), ami majdnem duplája a szelídgesztenye értékének (264,7 ± 13,9 mg T/g sz.a.). A vörösfenyő és a nyír is kitűnő ABTS kapacitással bír, míg a fekete nyár, a fehér akác és a gyertyán alacsony ABTS antioxidáns értékeket mutatott.

A mérési eredmények azt is bizonyítják, hogy a különböző antioxidáns kapacitás meghatározási módszerek eltérő eredményekre vezetnek, mivel különböző szelektivitásúak az antioxidánsok egyes típusaira.

Összehasonlítottuk a szakirodalom alapján a vizsgált fajok antioxidáns kapacitását más fajokéval. Az alkalmazott módszerek eltérő szelektivitása miatt csak az azonos módszerrel nyert eredményeket vetettük össze. A DPPH antioxidáns kapacitás mérése során HOFMANN et al. (2015a,b) a bükk hancs szöveteiből 11,12 ± 0,90 µg/ml értéket, GAO et al. (2007) az oregoni hamisciprus (*Chamaecyparis lawsoniana* (A. Murr.) Parl.) mindkét kéregrészt vizsgálva 10,31 és 19,87 µg/ml-t értéket közölt. NORIEGA et al. (2015) a vörös kína (Cinchona

pubescens (Vahl)) 42,00 µg/ml DPPH antioxidáns kapacitást mért, amely összehasonlítható a fekete nyár háncs szöveteinek értékével (44,0 ± 2,41 µg/ml). A *Pinus cembra* L. kérgének DPPH antioxidáns kapacitása 71,1 µg/ml (APETREI et al. (2011), a *Casuarina equisetifolia*-é 101,69 (ZHANG et al. 2010) bizonyult.

3. táblázat. A háncsból készült extraktumok antioxidáns kapacitásai.

Fafaj	Háncs		
	DPPH	FRAP	ABTS
	(IC ₅₀ , µg/ml)	(mg AS/ g sz.a.)	(mg T/g sz.a.)
	<i>p</i> < 0,05	<i>p</i> < 0,03	<i>p</i> < 0,05
Közönséges gyertyán	6,2 ± 0,26 ^b	30,1 ± 1,01 ^b	86,1 ± 0,81 ^a
Fehér akác	13,3 ± 1,88 ^f	13,6 ± 0,12 ^a	63,7 ± 2,72 ^a
Kocsánytalan tölgy	4,6 ± 0,13^a	44,5 ± 0,12 ^c	138,4 ± 7,91 ^b
Vadcseresznye	4,7 ± 0,05^a	80,1 ± 3,98^f	533,3 ± 11,20^g
Szelídgesztenye	4,8 ± 0,17^a	70,9 ± 3,47^e	264,7 ± 13,91 ^d
Fekete nyár	44,0 ± 2,41 ^g	17,6 ± 0,27 ^a	94,7 ± 4,48 ^a
Fehér nyár	8,8 ± 0,27 ^e	34,6 ± 0,40 ^b	143,2 ± 4,31 ^b
Közönséges nyír	6,6 ± 0,22 ^{bc}	32,9 ± 2,23 ^b	300,4 ± 10,53^e
Vörösfenyő	6,7 ± 0,04 ^c	62,3 ± 3,58^d	345,6 ± 9,28^f
Erdeifenyő	7,2 ± 0,09 ^d	42,4 ± 2,66 ^c	219,0 ± 13,98 ^c

Az eredmények feltüntetése átlagérték ± szórás formában történt. Adott oszlopon belül a felső indexben lévő kisbetűk szignifikáns különbséget jeleznek. A félkövérrel kiemelt értékek a legjobb antioxidáns kapacitás értékeket mutatják.

A különböző módszerekkel nyert antioxidáns kapacitásokat egy pontrendszer segítségével összegeztük, majd az összesített eredmények alapján értékeltünk. A három alkalmazott módszerrel mért értékeket 0-1 tartományra normalizáltuk (0 pontot kapott az a minta, amely a legkisebb antioxidáns kapacitással, míg 1-et amelyik a legnagyobbval rendelkezett). A DPPH esetében fordított számozást alkalmaztunk. A köztes értékeket lineáris interpolációval számoltuk ki. A különböző antioxidáns kapacitások normalizált értékeit mintánként összegeztük, így a maximálisan elérhető pontszám egy minta esetében 3 volt. A 4. táblázat tartalmazza a minták összesített pontszámait.

4. táblázat. Az antioxidáns kapacitások (DPPH, FRAP és ABTS) pontrendszer alapján történt kiértékelésének és összesítésének eredménye.

Fafaj	Háncs				Héjkéreg				Összpont
	DPPH	FRAP	ABTS	Össz	DPPH	FRAP	ABTS	Össz	
Szelídgesztenye	0,99	0,86	0,43	2,28	1,00	1,00	0,83	2,83	5,12
Vörösfenyő	0,95	0,73	0,60	2,28	0,89	0,56	1,00	2,45	4,73
Vadcseresznye	1,00	1,00	1,00	3,00	0,66	0,35	0,47	1,48	4,48
Közönséges nyír	0,95	0,29	0,50	1,74	0,60	0,17	0,46	1,24	2,98
Kocsánytalan tölgy	1,00	0,46	0,16	1,62	0,96	0,26	0,08	1,29	2,92
Fehér nyár	0,89	0,32	0,17	1,38	0,85	0,37	0,30	1,52	2,89
Közönséges gyertyán	0,96	0,25	0,05	1,25	0,88	0,27	0,08	1,22	2,48
Erdeifenyő	0,93	0,43	0,33	1,70	0,69	0,00	0,00	0,69	2,39
Fehér akác	0,78	0,00	0,00	0,78	0,92	0,12	0,13	1,17	1,95
Fekete nyár	0,00	0,06	0,07	0,13	0,00	0,10	0,30	0,40	0,53

Megállapítható, hogy az antioxidáns kapacitás fafajfüggő és fajonként jelentős eltérést mutat. Egyes fajoknál a háncs, másoknál a héjkéreg antioxidáns kapacitása magasabb. A vizsgált fajok háncsai közül a vadcseresznye (3,00), a szelídgesztenye és a vörösfenyő (2,28), héjkérgői közül pedig a szelídgesztenye (2,83) és a vörösfenyő (2,45) extraktumai rendelkeznek a legmagasabb antioxidáns tulajdonságokkal.

A háncs és a héjkéreg minták eredményeit fafajonként egyesítve a legjobban teljesítő fajok a szelídgesztenye > vörösfenyő > vadcserezsnye. A legalacsonyabb antioxidáns kapacitással rendelkező fajok az erdeifenyő > fehér akác > fekete nyár.

Összefoglalás

Kiválasztott magyarországi erdei fajok kérgének totálfenol tartalmát és antioxidáns tulajdonságait hasonlítottuk össze. Az antioxidáns kapacitás meghatározásánál külön vizsgáltuk a háncs és a héjkéreg szöveteket. A pontosság érdekében három antioxidáns kapacitás meghatározási módszert használtunk, és a FRAP, DPPH és ABTS módszerrel meghatározott értékeket egy pontrendszer segítségével összesítve hasonlítottuk össze.

Mérésekkel bizonyítottuk azt a (valószínűsíthető) tényt, hogy a totálfenol tartalom és az antioxidáns kapacitás fafajfüggő és széles határok között változik. Különböznek a háncs és héjkéreg szövetek antioxidáns kapacitásai is. A vizsgált fajok közül legmagasabb antioxidáns kapacitással a vadcserezsnye háncs szövetei és a szelídgesztenye héjkérge rendelkezik.

A háncs és a héjkéreg minták antioxidáns kapacitásait fafajonként összeadva a következő sorrendet állítottuk fel: szelídgesztenye > vörösfenyő > vadcserezsnye. A legalacsonyabb antioxidáns kapacitással rendelkező fajok az erdeifenyő > fehér akác > fekete nyár.

A szakirodalomban általában alkalmazott DPPH módszerrel nyert eredmények alapján összehasonlítottuk az általunk vizsgált fajok antioxidáns kapacitását más fajokéval. Megállapítottuk, hogy vizsgált fajok DPPH antioxidáns kapacitása a szakirodalmi adatokkal nagyságrendileg megegyezik.

A kutatási eredmények azt bizonyítják, hogy vizsgált fajok közül elsősorban a szelídgesztenye, a vörösfenyő és a vadcserezsnye kérge élelmiszeripari termékekben, táplálékkiegészítőkben, egészségügyi- és gyógyászati termékekben felhasználható természetes antioxidánsok potenciális forrása lehet.

További kutatásokra sarkall a fehér nyár ($6,9 \pm 0,60 \mu\text{g/ml}$) és a fekete nyár ($30,2 \pm 2,89 \mu\text{g/ml}$) DPPH antioxidáns kapacitása közötti jelentős különbség értelmezése. A mintákban lévő fenoloidok szétválasztására és a komponensek (vagy frakciók) antioxidáns kapacitásának külön mérésére lesz szükség annak értelmezéséhez is, hogy miért mutat a legmagasabb totálfenol tartalommal rendelkező vadcserezsnye ($70,0 \pm 2,43 \text{ mg Q/g sz.a.}$) csak mérsékelt DPPH IC_{50} értéket ($12,0 \pm 0,32 \mu\text{g/ml}$), míg a fehér akác héjkéreg mintáiban alacsony totálfenol tartalom ($29,4 \pm 3,13 \text{ mg Q/g sz.a.}$) mellett meglehetősen magas a DPPH antioxidáns kapacitás ($5,1 \pm 0,46 \mu\text{g/ml}$).

Köszönetnyilvánítás: Jelen publikáció az EFOP-3.6.1-16-2016-00018 – „A felsőoktatási rendszer K+F+I szerepvállalásának növelése intelligens szakosodás által Sopronban és Szombathelyen” című projekt támogatásával valósult meg, valamint az MTA Bolyai János Kutatási Ösztöndíjának támogatásával készült.

Irodalomjegyzék

- AMEER, K., SHAHBAZ, H.M., KWON, J.H. (2017): Green extraction methods for polyphenols from plant matrices and their byproducts: a review. *Compr. Rev. Food. Sci. Food Saf. Banner* 16 (2): 295–315.
- APETREI, C.L., TUCHILUS, C., APROTOSAIE, A.C., OPREA, A., MALTERUD, K.E., MIRON, A. (2011): Chemical, antioxidant and antimicrobial investigations of *Pinus cembra* L. bark and needles. *Molecules* 16 (9): 7773–7788.
- BENZIE, I.F.F., STRAIN, J.J. (1996): The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of antioxidant power: the FRAP assay. *Anal. Biochem.* 239: 70–76.
- DIOUF, P.N., STEVANOVIC, T., CLOUTIER, A. (2009): Study on chemical composition, antioxidant, anti-inflammatory activities of hot water extract from *Picea mariana* bark and its proanthocyanidin-rich fractions. *Food Chem.* 113: 897–902.

- EKMAN, A., CAMPOS, M., LINDAHL, S., CO, M., BÖRJESSON, P., NORDBERG KARLSSON, E., TURNER, C. (2013): Bioresource utilisation by sustainable technologies in new value added biorefinery concepts – two case studies from food and forest industry. *J. Clean. Prod.* 57: 46–58.
- GAO, H., SHUPE, T.F., EBERHARDT, T.L., HSE, C.Y. (2007): Antioxidant activity of extracts from the wood and bark of Port Orford cedar. *J. Wood Sci.* 53: 147–152.
- GHITESCU, R.E., VOLF, I., CARAUSU, C., BÜHLMANN, A.M., GILCA, I.A., POPA, V.I. (2015): Optimization of ultrasound-assisted extraction of polyphenols from sprucewood bark. *Ultrason. Sonochem.* 22: 535–541.
- HOFMANN, T., NEBEHAJ, E., ALBERT, L. (2015a): The high-performance liquid chromatography/multi-stage electrospray mass spectrometric investigation and extraction optimization of beech (*Fagus sylvatica* L.) bark polyphenols. *J. Chromatogr. A.* 1393: 96–105.
- HOFMANN, T., NEBEHAJ, E., STEFANOVITS-BÁNYAI, E., ALBERT, L. (2015b): Antioxidant capacity and total phenol content of beech (*Fagus sylvatica* L.) bark extracts. *Ind. Crop. Prod.* 77: 375–381.
- HOFMANN, T., TÁLOS-NEBEHAJ, E., ALBERT, L., NEMETH, L. (2017): Antioxidant efficiency of beech (*Fagus sylvatica* L.) bark polyphenols assessed by chemometric methods. *Ind. Crop. Prod.* 108: 26–35.
- MOLNÁR, S. (szerk.) (2004): Faanyagismeret. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest.
- NORIEGA, P., SOLA, M., BARUKCIC, A., GARCIA, K., OSORIO, E. (2015): Cosmetic antioxidant potential of extracts from species of the *Cinchona pubescens* (Vahl). *Int. J. Phytocosmetics Nat. Ingrid.* 2 (1): 14.
- PÁSZTORY, Z., MOHÁCSI-RONYECZ, I., GORBACHEVA, G., BÖRCÖK, Z. (2016): The utilization of tree bark. *Bioresources.com* 11 (3): 7859–7888.
- PIETARINEN, S.P., WILLFÖR, S.M., AHOTUPA, M.O., HEMMING, J.E., HOLMBOM, B.R. (2006): Knotwood and bark extracts: strong antioxidants from waste materials. *J. Wood Sci.* 52: 436–444.
- SHARMA, O.P., BHAT, T.K. (2009): DPPH antioxidant assay revisited. *Food Chem.* 113: 1202–1205.
- SINGLETON, V.L., ROSSI, J.A. (1965): Colorimetry of total phenolics with phosphomolibdic phosphotungstic acid reagents. *Am. J. Enol. Vitic.* 161: 144–158.
- TÁLOS-NEBEHAJ, E., ALBERT, L., VISI-RAJCSI, E., HOFMANN, T. (2018): Complex assessment of the antioxidant capacity and polyphenol content of wood bark. *In: Németh, R., Teischinger, A., Rademacher, P., Bak, M. (eds.) 8th Hardwood Conference – With Special Focus On “New Aspects of Hardwood Utilization – from Science to Technology”, Sopron, Hungary. University of Sopron Press. pp. 48–49.*
- TÁLOS-NEBEHAJ, E., HOFMANN, T., ALBERT, L. (2017): Seasonal changes of natural antioxidant content in the leaves of Hungarian forest trees. *Ind. Crop. Prod.* 98: 53–59.
- VÁZQUEZ, G., SANTOS, J., FREIRE, M., ANTORRENA, G., GONZÁLEZ-ÁLVAREZ, J. (2012): Extraction of antioxidants from eucalyptus (*Eucalyptus globulus*) bark. *Wood Sci. Technol.* 46: 443–457.
- ZHANG, S.J., LIN, Y.M., ZHOU, H.C., WEI, S.D., LIN, G.H., YE, G.F. (2010): Antioxidant tannins from stem bark and fine root of *Casuarina equisetifolia*. *Molecules* 15 (8): 5658–5670.

TOBOZOK ANTIOXIDÁNS TULAJDONSÁGAINAK VIZSGÁLATA

VISINÉ RAJCZI ESZTER, ALBERT LEVENTE, BOCZ BALÁZS, BOCZ DÁNIEL, HOFMANN TAMÁS
Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Kémiai Intézet
visine.rajczi.eszter@uni-sopron.hu

Az erdei fakitermelés és feldolgozás során keletkező melléktermékek (toboz, kéreghulladék, gyökérzet, ággöcs) jelentős mennyiségben tartalmazhatnak antioxidánsokat, amelyek hatékony kivonása és hasznosítása élelmiszeripari, gyógyászati, környezetvédelmi és hulladékgazdálkodási szempontból is jelentős (PIETARINEN et al. 2006; DEDRIE et al. 2015; BOURAS et al. 2016; TÁLOS-NEBEHAJ et al. 2017).

Az antioxidánsok egyik fontos csoportja, a polifenolos antioxidánsok főbb alkalmazási területei a természetes alapú élelmiszer tartósítószer (GYAWALI - IBRAHIM 2014; KOBUS-CISOWSKA et al. 2014), táplálékkiegészítők és egészségügyi termékek (PACKER et al. 1999; WATSON et al. 2018), illetve az utóbbi időben jelentős figyelmet kaptak a növényi antioxidánsok az ezüst-nanoszemcsék előállításában (RANOSZEK-SOLIWODA et al. 2019; ROLIM et al. 2019). Az erdei fák tobozait elsősorban a magok kinyerésére használják erdészeti szaporítóanyag előállításához, valamint étkezési és energetikai célokra. A mediterrán térségben az egyik legfontosabb étkezési célokra használt tobozmag a mandulafenyő (*Pinus pinea* L.) magja (KEMERLI-KALBARAN - OZDEMIR 2019). Az energetikai célú felhasználás során a több száz tonnányi mennyiségben keletkező tobozokat általában tömörítetlen állapotban égetik el (ANISZEWSKA - BEREZA 2014), vagy brikketálják (GENDEK et al. 2018). A tobozok kémiai összetételének vizsgálata kémiai hasznosítás (pl. illóolaj kinyerés, gyógyhatású anyagok kinyerése) céljából csak néhány túlevelű taxon esetében történt meg. A *Pinus*, *Thuja* és a *Cedrus* toboz kivonatait és illóolajait a mediterrán térségben és Japánban a népi gyógyászat is előszeretettel alkalmazza, különféle jótékony hatásai miatt (pl.: gyulladásgátló, antioxidáns, antibakteriális, gombaölő, fájdalomcsillapító). Hajhullás és reuma ellen (SÜNTAR et al. 2012; DJOUAHRI et al. 2014), valamint gyomorrák (WATANABE et al. 1995), nátha, húgyuti és veseproblémák, bőrgyógyászati rendellenességek, bronhitisz, tüdőgyulladás és egyéb betegségek esetén is hasznosíthatók (LESJAK et al. 2011). A *Juniperus* fajok tobozát hagyományosan ízesítésre használják (LESJAK et al. 2011). A *Pinus Parviflora* Sieb et Zucc tobozkivonata hatékonyan bizonyult a HIV és az influenza vírusok ellen (NAGATA et al. 1990), valamint jelentős antimutagén, rákellenes hatással is rendelkezik (NAGASAWA et al. 1992). A *Metasequoia glyptostroboides* Hu et W.C. Cheng tobozából kinyert diterpén, a sugiol nagyon magas DPPH* gyökfogyó képességgel rendelkezik (BAJPAI ET AL. 2014). A *Juniperus sibirica* Burgsdorf. toboz extraktuma szintén magas DPPH és FRAP antioxidáns kapacitással bír, amit szintén a magas polifenol koncentráció eredményez (LESJAK ET AL. 2011). A szerzők egy része ezeket a hatásokat bizonyos polifenilpropanoid-poliszacharid komplexeknek tulajdonítja. WANG ET AL. (2019) beszámoltak a *Pinus koraiensis* (Siebold & Zucc.) tobozaiban található polifenolok antioxidáns aktivitásáról, biológiai hozzáférhetőségéről és fizikai-kémiai tulajdonságairól. A legújabb tudományos kutatások alapján a fenyőtoboz és fenyőtoboz kivonatok felhasználása tovább bővült, hasznosulnak pl. mint élelmi rost források (KARTAL - OZTURK 2016), koagulálószer alapanyagai (HUSSAIN et al. 2019), vagy víztisztító adszorbensek (KUPETA et al. 2018; MTSHATSHENI et al. 2019). A kutatási eredmények alapján kijelenthető, hogy a tobozok antioxidáns tartalma jelentősen hozzájárulhat az egészség megőrzéséhez, de további értékes táplálkozási és egyéb felhasználhatósággal is bír.

A leközölt szakcikkek közül hiányoznak a tobozok antioxidáns összetételére vonatkozó módszeres, számos fajra kiterjedő összehasonlító kutatási eredmények, valamint a természetes antioxidáns forrásként betöltött szerepük széleskörű felmérése is. Feltételezhető, hogy a publikált kutatási eredmények érett tobozokra vonatkoznak, amelyek tartalmazták a magokat is. A túlevelű tobozok polifenol és antioxidáns tartalmával foglalkozó közlemények szinte soha nem dokumentálják a tobozok begyűjtési idejét és azt sem, hogy a begyűjtés a tobozérésnek melyik

fenofázisában történt. Elsőként vizsgáltuk és hasonlítottuk össze a zöld, az érett (barna) és a lehullott magokat nem tartalmazó tobozok antioxidáns tulajdonságait hat kiválasztott faj esetében. Előzetes kutatásainkban a kiválasztott fajok esetében elvégeztük az ultrahangos extrakciós módszer körülményeinek optimalizálását (oldószer összetétel, extrakciós idő) a tobozokban található összes polifenolos antioxidáns mennyiségének méréséhez (VISINÉ et al. 2019). Meghatároztuk a toboz kivonatok összes polifenol tartalmát (Folin-Ciocalteu-módszer), valamint a FRAP (vas(III)-ion redukáló képességen alapuló), és a DPPH (1,1-difenil-2-pikrilhidrazil gyök megkötésén alapuló) antioxidáns kapacitásukat. Mivel mindegyik alkalmazott módszer különböző szelektivitású az antioxidánsok adott típusaira, ezért a három módszerrel kapott eredményeket egy pontrendszer segítségével összesítettük (maximum 3 pont) és azután értékeltük ki, hogy megkapjuk a minták „összesített” antioxidáns kapacitását.

Anyag és módszer

Mintavétel és feldolgozás

2018 július-október, Soproni Egyetem Élő Növénygyűjtemény (Botanikus Kert). Vizsgált fajok: atlaszcédrus (*Cedrus atlantica*), európai vörösfenyő (*Larix decidua*), lucfenyő (*Picea abies*), feketefenyő (*Pinus nigra*), amerikai duglászfenyő (*Pseudotsuga menziesii*), kanadai hemlokfenyő (*Tsuga canadensis*). Minden faj esetében zöld, érett barna és már lehullott barna tobozokat vizsgáltunk. Mintavételenként legalább 10 tobozt gyűjtöttünk, melyeket -20 °C-on tároltunk a vizsgálatokig, majd daráltuk és homogenizáltuk. Ultrahangos extrakció: Elma Transsonic T570 ultrahangos fürdővel (Elma Schmidbauer GmbH, Singen, Germany) 0,45 g darált minta + 45 ml aceton:víz (80:20 v/v) eleggyel, 30 percig (VISINÉ et al. 2019).

Mérési módszerek

Mintánként három párhuzamos mérést végeztünk Hitachi U-1500 spektrofotométer (Hitachi Ltd., Tokio, Japan) segítségével a szakirodalomban szereplő hullámhosszokon. Totálfenol tartalom meghatározás: Folin-Ciocalteu módszerrel mértük, standardként galluszsavat használtunk (SINGLETON – ROSSI 1965). FRAP antioxidáns kapacitás meghatározás: BENZIE és STRAIN (1996) módszerével 593 nm-en, standardnak aszkorbinsavat alkalmaztunk. DPPH antioxidáns kapacitás meghatározás: A méréseket SHARMA és BHAT (2009) módszere alapján végeztük el, kisebb módosításokat alkalmazva (HOFMANN et al. 2015). A DPPH antioxidáns kapacitást IC₅₀ értékben (µg/ml) határoztuk meg. Extraktanyag tartalom meghatározás: a DPPH antioxidáns kapacitás meghatározásához megmértük a kivonatok extraktanyag tartalmát mg/ml egységben. Szárazanyag tartalom meghatározás: Ohaus MB23 gyors nedvességtartalom meghatározó mérleggel.

Statisztikai kiértékelés

A korrelációs vizsgálatokat és a varianciaanalízist adott szignifikancia szintek mellett a Statistica 12 software (StatSoft Inc., Tulsa, USA) segítségével végeztük.

Eredmények és értékelésük

A minták totálfenol, FRAP és DPPH értékei az 1. táblázatban láthatók. A FRAP módszerrel meghatározott antioxidáns kapacitás értékek hasonló tendenciát mutatnak a totálfenol tartalom változásával. A legmagasabb FRAP antioxidáns kapacitást a zöld tobozokban találtuk, ezeket az érett és a lehullott tobozok követték: a lucfenyő (72,02 ± 8,76 mg AE/g sz.a.), a kanadai hemlokfenyő (57,01 ± 3,13 mg AE/g sz.a.), valamint a vörösfenyő (40,39 ± 0,73 mg AE/g sz.a.) zöld toboza mutatta a legmagasabb értékeket. A lucfenyő esetében az érett (50,19 ± 2,08 mg AE/g sz.a.) és a lehullott tobozok (28,35 ± 3,37 mg AE/g sz.a.) is magas FRAP-szinttel rendelkeztek.

1. táblázat. Tobozok totálfenol, FRAP és DPPH antioxidáns kapacitása (átlag ± szórás). A különböző betűk szignifikáns különbséget jeleznek $p < 0,01$ (totálfenol,) $p < 0,001$ (FRAP) és $p < 0,05$ (DPPH) szintén a 10 legjobb antioxidáns kapacitással rendelkező minta esetében.

	Totálfenol (mg galluszsav/g sz.a.)			FRAP (mg aszkorbinsav/g sz.a.)			DPPH IC ₅₀ (µg extraktanyag/ml)		
	zöld	barna	lehullott	zöld	barna	lehullott	zöld	barna	lehullott
amerikai duglászfenyő	48,67 ± 0,90 ^b	17,24 ± 0,89	11,16 ± 0,66	23,36 ± 0,17 ^b	7,51 ± 0,28	3,61 ± 0,14	11,95 ± 0,79 ^{bcd}	14,40 ± 1,24 ^d	10,18 ± 0,79 ^{ab}
kanadai hemlokfenyő	118,91 ± 2,97 ^d	78,05 ± 2,57 ^c	3,31 ± 0,08	57,01 ± 3,13 ^f	38,31 ± 1,60 ^{cde}	0,98 ± 0,20	14,77 ± 2,85	9,84 ± 1,81 ^{ab}	25,89 ± 4,59
feketefenyő	47,17 ± 9,74 ^b	10,63 ± 0,36	9,20 ± 0,34	31,89 ± 1,31 ^{bcd}	6,24 ± 0,38	4,03 ± 0,27	14,81 ± 2,61	40,63 ± 0,86	17,02 ± 0,38
atlaszcédrus	44,62 ± 0,16 ^{ab}	12,29 ± 1,20	6,05 ± 0,51	24,19 ± 0,45 ^{bc}	5,82 ± 0,24	2,53 ± 0,12	14,91 ± 2,00	25,44 ± 0,67	35,55 ± 1,55
lucfenyő	105,58 ± 7,92 ^d	64,64 ± 2,68 ^{bc}	46,39 ± 3,54 ^b	72,02 ± 8,76 ^g	50,19 ± 2,08 ^{ef}	28,35 ± 3,37 ^{bcd}	10,75 ± 0,32 ^{abc}	9,38 ± 1,14 ^{ab}	8,57 ± 0,17 ^a
európai vörösfenyő	70,12 ± 5,62 ^c	24,07 ± 0,82 ^a	17,93 ± 0,75	40,39 ± 0,73 ^{de}	7,79 ± 0,52	8,07 ± 0,46 ^a	13,73 ± 1,30 ^{cd}	12,27 ± 1,14 ^{bcd}	14,39 ± 0,75 ^d

A feketefenyő, a duglászfenyő, az európai vörösfenyő és a lucfenyő esetében a lehullott tobozok DPPH-aktivitása szignifikánsan nem tér el a zöld toboz értékeitől. Figyelemre méltó a lucfenyő érett (9,38 ± 1,14 µg/ml) és lehullott barna (8,57 ± 0,17 µg/ml) tobozainak DPPH aktivitása. További kutatásokra van szükség ahhoz, hogy meghatározzuk, mely vegyületek felelősek a lehullott lucfenyő tobozokban mérhető magas DPPH antioxidáns kapacitásért.

A FRAP és a DPPH IC₅₀ értékek eltérő tendenciát mutattak, ami feltételezhetőleg a módszerek eltérő szelektivitásával magyarázható (APAK et al. 2007; MÜLLER et al. 2011). Ahhoz, hogy átfogó képet kapjunk a különböző fajokból és szövetekből származó minták antioxidáns tulajdonságairól, és az egyes mintákra kapott eredményeket össze tudjuk egymással hasonlítani, szükséges a különböző antioxidáns kapacitási módszerekkel kapott eredmények együttes kiértékelése, pl. többváltozós statisztikai módszerekkel vagy más eljárásokkal. A jelen munkában az antioxidáns kapacitásokat egy, a szakirodalomban már alkalmazott pontrendszer (TÁLOS-NEBEHAJ et al. 2017) segítségével összegeztük és értékeltük ki. Mindegyik módszer esetében a kapott antioxidáns kapacitás eredményeket 0-1 tartományra normalizáltuk (0 pontot kapott az a minta, amely a legkisebb antioxidáns kapacitást, míg 1-et az, amelyik a legnagyobb antioxidáns kapacitás értékkel rendelkezett). A DPPH esetében fordított számozást alkalmaztunk, mivel az alacsony IC₅₀ érték magas antioxidáns kapacitást jelent (itt a legalacsonyabb IC₅₀ értékhez rendeltük az 1 pontot, a legmagasabb IC₅₀ értékhez a 0 pontot, ezek rendre a legjobb, illetve legrosszabb antioxidáns kapacitásnak feleltek meg). A köztes értékeket lineáris interpolációval számoltuk ki mindegyik módszer esetében. Végül a különböző antioxidáns kapacitások normalizált értékeit mintánként összegeztük, így a maximálisan elérhető pontszám egy minta esetében 3 volt abban az esetben, ha mindhárom módszerrel az adott mintából mértük a legmagasabb antioxidáns kapacitást (2. táblázat).

A legmagasabb pontszámot a zöld, majd az érett, és a lehullott tobozok mintái kapták. Az egyetlen kivétel a feketefenyő, ahol az érett tobozok pontszáma (0,14) alacsonyabb volt a lehullott tobozhoz képest (0,83). A duglászfenyő esetében az érett (1,03) és a lehullott toboz (1,05) pontszám közötti különbség elhanyagolható. A legmagasabb pontszámot a lucfenyő zöld tobozában (2,82) és a kanadai hemlokfenyő zöld tobozában (2,60) mértünk. Az érett tobozok közül a legmagasabb antioxidáns kapacitást a lucfenyő (2,20) és a kanadai hemlokfenyő mintáiban mértük (2,13). A lehullott tobozok esetében a lucfenyőben (1,76), a duglászfenyőben (1,05) és az európai vörösfenyőben (1,04) kaptunk magas értékeket.

2. táblázat. A totálfenol, FRAP és DPPH IC₅₀ antioxidáns kapacitásokra meghatározott pontszámok, valamint az egyes minták pontszámainak összege

	Totálfenol (pontszám)			FRAP (pontszám)			DPPH IC ₅₀ (pontszám)			Összesített pontszám		
	zöld	barna	lehullott	zöld	barna	lehullott	zöld	barna	lehullott	zöld	barna	lehullott
amerikai duglászfenyő	0,39	0,12	0,07	0,32	0,09	0,04	0,89	0,82	0,95	1,60	1,03	1,05
kanadai hemlokfenyő	1,00	0,65	0,00	0,79	0,53	0,00	0,81	0,96	0,46	2,60	2,13	0,46
feketefenyő	0,38	0,06	0,05	0,44	0,07	0,04	0,81	0,00	0,74	1,62	0,14	0,83
atlaszcédrus	0,36	0,08	0,02	0,33	0,07	0,02	0,80	0,47	0,16	1,49	0,62	0,20
lucfenyő	0,88	0,53	0,37	1,00	0,69	0,39	0,93	0,97	1,00	2,82	2,20	1,76
európai vörösfenyő	0,58	0,18	0,13	0,55	0,10	0,10	0,84	0,88	0,82	1,97	1,16	1,04

Összefoglalás

Kutatásunkkal elsőként vizsgáltuk és hasonlítottuk össze a zöld, az érett (barna) és a lehullott magokat nem tartalmazó tobozok antioxidáns tulajdonságait hat kiválasztott faj esetében. A kiválasztott fajok közül a legmagasabb polifenol tartalommal a kanadai hemlokfenyő és a lucfenyő rendelkezett, melyeknek nem csak a zöld, hanem az érett barna tobozában is jelentős a polifenol tartalom. A FRAP antioxidáns kapacitás meghatározásának eredményei a totálfenol tartalomhoz hasonlóan alakultak. A legjobb teljesítő fajok a kanadai hemlokfenyő és a lucfenyő voltak, melyekben mind a zöld, mind a barna tobozok magas antioxidáns tartalommal rendelkeztek. A DPPH módszer esetében nem volt egyértelműen felállítható a sorrend, melynek oka a módszerek eltérő szelektivitása. Ahhoz, hogy különböző fajokból és szövetekből származó minták antioxidáns tulajdonságait, valamint az egyes mintákra kapott eredményeket összehasonlíthassuk, egy pontrendszer-alapú kiértékelést alkalmaztunk, amely alkalmasnak bizonyult a toboz kivonatok antioxidáns tulajdonságainak komplex felmérésére és összehasonlítására. A bemutatott vizsgálati és kiértékelési módszereket a jövőben más fajokra is kiterjesztjük, a magas antioxidáns tartalommal rendelkező mintákkal további vizsgálatokat hajtunk végre, melyek elsősorban a toboz kivonatok kémiai összetételének kutatását és a tobozok hasznosítását célozzák meg.

Köszönetnyilvánítás: Jelen publikáció az EFOP-3.6.1-16-2016-00018 – „A felsőoktatási rendszer K+F+I szerepvállalásának növelése intelligens szakosodás által Sopronban és Szombathelyen” című projekt, valamint az MTA Bolyai János Kutatási Ösztöndíjának támogatásával készült.

Irodalomjegyzék

- ANISZEWSKA, M., BEREZA, B. (2014): Analysis of water absorption process in the cones of common pine (*Pinus sylvestris* L.). Ann. Wars. Univ. Life Sci.-SGGW Agric. 63, 105–112.
- APAK, R., GÜÇLÜ, K., DEMIRATA, B., ÖZYÜREK, M., ÇELİK, S.E., BEKTAŞOĞLU, B., BERKER, K.I., ÖZYURT, D. (2007): Comparative evaluation of various total antioxidant capacity assays applied to phenolic compounds with the CUPRAC assay. Molecules 12, 1496–1547.
- BAJPAI, V.K., SHARMA, A., KANG, S.C., BAEK, K.H. (2014): Antioxidant, lipid peroxidation inhibition and free radical scavenging efficacy of a diterpenoid compound sugiol isolated from *Metasequoia glyptostroboides*. Asian Pac. J. Trop. Med. 7, 9–15.
- BENZIE, I.F.F., STRAIN, J.J. (1996): The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of antioxidant power: the FRAP assay. Anal. Biochem. 239, 70–76.
- BOURAS, M., GRIMI, N., BALS, O., VOROBIEV, E. (2016): Impact of pulsed electric fields on polyphenols extraction from Norway spruce bark. Ind. Crop. Prod. 80, 50–58.

- DEDRIE, M., JACQUET, N., BOMBECK, P.L., HÉBERT, J. (2015): Oak barks as raw materials for the extraction of polyphenols for the chemical and pharmaceutical sectors: A regional case study. *Ind. Crop. Prod.* 70, 316–321.
- GENDEK, A., ANISZEWSKA, M., MALAŤÁK, J., VELEBIL, J. (2018): Evaluation of selected physical and mechanical properties of briquettes produced from cones of three coniferous tree species. *Biomass Bioenerg.* 117, 173–179.
- GYAWALI, R., IBRAHIM, S.A. (2014): Natural products as antimicrobial agents. *Food Control* 46, 412–429.
- HOFMANN, T., NEBEHAJ, E., STEFANOVITS-BÁNYAI, É., ALBERT, L. (2015): Antioxidant capacity and total phenol content of beech (*Fagus sylvatica* L.) bark extracts. *Ind. Crop. Prod.* 77, 375–381.
- HUSSAIN, S., GHOURI, A.S., AHMAD, A. (2019): Pine cone extract as natural coagulant for purification of turbid water. *Heliyon* 5 (3), e01420.
- KARTAL, E., OZTURK, S. (2016): Pine cone as an alternative dietary fiber source and its effects on cake and cookie quality. *GIDA/The Journal of Food* 41 (5), 291–297.
- KEMERLI-KALBARAN, T., OZDEMIR, M. (2019): Multi-response optimization of oil extraction from pine nut (*Pinus pinea* L.) by response surface methodology: Extraction efficiency, physicochemical properties and antioxidant activity. *LWT-Food Sci. Technol.* 103, 34–43.
- KOBUS-CISOWSKA, J., FLACZYK, E., RUDZIŃSKA, M., KMIĘCIK, D. (2014): Antioxidant properties of extracts from *Ginkgo biloba* leaves in meatballs. *Meat Sci.* 97, 174–180.
- KUPETA, A.J.K., NAIDOO, E.B., OFOMAJA, A.E. (2018): Kinetics and equilibrium study of 2-nitrophenol adsorption onto polyurethane cross-linked pine cone biomass. *J. Clean. Prod.* 179, 191–209.
- LESJAK, M.M., BEARA, I.N., ORČIĆ, D.Z., ANAČKOV, G.T., BALOG, K.J., FRANCIŠKOVIĆ, M.M., MIMICA-DUKIĆ, N.M. (2011): *Juniperus sibirica* Burgsdorf. as a novel source of antioxidant and anti-inflammatory agents. *Food Chem.* 124, 850–856.
- LESJAK, M.M., BEARA, I.N., ORČIĆ, D.Z., KNEŽEVIĆ, N.P., SIMIN, N.Đ., SVIRČEV, Đ.E., MIMICA-DUKIĆ, N.M. (2014): Phytochemical composition and antioxidant, anti-inflammatory and antimicrobial activities of *Juniperus macrocarpa* Sibth. et Sm. *J. Funct. Foods* 7, 257–268.
- MTSHATSHENI, K.N.G., OFOMAJA, A.E., NAIDOO, E.B. (2019): Synthesis and optimization of reaction variables in the preparation of pine-magnetite composite for removal of methylene blue dye. *S. Afr. J. Chem. Eng.* 29, 33–41.
- MÜLLER, L., FRÖHLICH, K., BÖHM, V. (2011): Comparative antioxidant activities of carotenoids measured by ferric reducing antioxidant power (FRAP), ABTS bleaching assay (α TEAC), DPPH assay and peroxy radical scavenging assay. *Food Chem.* 129, 139–148.
- NAGASAWA, H., SAKAMOTO, S., SAWAKI, K. (1992): Inhibitory effect of lignin-related pine cone extract on cell proliferating enzyme activity of spontaneous mammary tumours in mice. *Anticancer Res.* 12, 501–503.
- NAGATA, K., SAKAGAMI, H., HARADA, H., NONOYAMA, M., ISHIHAMA, A., KONNO, K. (1990): Inhibition of influenza virus infection by pine cone antitumor substances. *Antivir. Res.* 13, 11–22.
- PACKER, L., RIMBACH, G., VIRGILI, F. (1999): Antioxidant activity and biologic properties of procyanidin-rich extract from pine (*Pinus maritima*) bark, pycnogenol. *Free Radic. Biol. Med.* 27, 704–724.
- PIETARINEN, S.P., WILLFÖR, S.M., AHOTUPA, M.O., HEMMING, J.E., HOLMBOM, B.R. (2006): Knotwood and bark extracts: strong antioxidants from waste materials. *J. Wood Sci.* 52, 436–444.
- RANOSZEK-SOLIWODA, K., TOMASZEWSKA, E., MAŁEK, K., CELICHOWSKI, G., ORLOWSKI, P., KRZYZOWSKA, M., GROBELNY, J. (2019): The synthesis of monodisperse silver nanoparticles with plant extracts. *Colloid Surface B* 177, 19–24.
- ROLIM, W.R., PELEGRINO, M.T., LIMA, B.A., FERRAZ, L.S., COSTA, F.N., BERNARDES, J.S., RODRIGUES, T., BROCCHI, M., SEABRA, A.B. (2019): Green tea extract mediated biogenic synthesis of silver nanoparticles: Characterization, cytotoxicity evaluation and antibacterial activity. *App. Surf. Sci.* 463, 66–74.
- SHARMA, O.P., BHAT, T.K. (2009): DPPH antioxidant assay revisited. *Food Chem.* 113, 1202–1205.
- SINGLETON, V.L., ROSSI, J.A. (1965): Colorimetry of total phenolics with phosphomolibdic-phosphotungstic acid reagents. *Am. J. Enology Vitic.* 161, 144–158.

- SÜNTAR, I., TUMEN, I., USTÜN, O., KELES, H., AKKOL, E.K. (2012): Appraisal on the wound healing and anti-inflammatory activities of the essential oils obtained from the cones and needles of *Pinus* species by *in vivo* and *in vitro* experimental models, *J. Ethnopharmacol.* 139, 533–540.
- TÁLOS-NEBEHAJ, E., HOFMANN, T., ALBERT, L. (2017): Seasonal changes of natural antioxidant content in the leaves of Hungarian forest trees. *Ind. Crop. Prod.* 98, 53–59.
- VISINÉ RAJCZI E., ALBERT L., HOFMANN T. (2019): Tobozok antioxidáns polifenol tartalmának felmérése. In: Facskó F. & Király G. (szerk.): Soproni Egyetem Erdőmérnöki Kar VII. Kari Tudományos Konferencia
- WANG, L., LI, X., WANG, H. (2019): Physicochemical properties, bioaccessibility and antioxidant activity of the polyphenols from pine cones of *Pinus koraiensis*. *Int. J. Biol. Macromol.* 126, 385–391.
- WATANABE, K., MOMOSE, F., HANDA, H., NAGATA, K. (1995): Interaction between influenza virus proteins and pine cone antitumor substance that inhibits the virus multiplication. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 214, 318–323.
- WATSON, R.R., PREEDY, V.R., ZIBADI, S. (2018): *Polyphenols: Prevention and Treatment of Human Disease*. Academic Press, London.

AGRÁRERDÉSZETI RENDSZER TALAJNEDVESSÉGÉNEK VIZSGÁLATA FERTŐDI MINTATERÜLETEN

ZAGYVAINÉ KISS KATALIN ANITA¹, GRIBOVSZKI ZOLTÁN¹, KALICZ PÉTER¹, SZŐKE ELŐD¹,
VARGA JENŐ², CSÁKI PÉTER¹

¹Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Geomatikai, Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Intézet

²NAIK Gyümölcs- és Dísznövénytermesztési Kutatóintézet, Fertődi Kutatóállomás

E-mail: zagyvaine.kiss.katalin@uni-sopron.hu

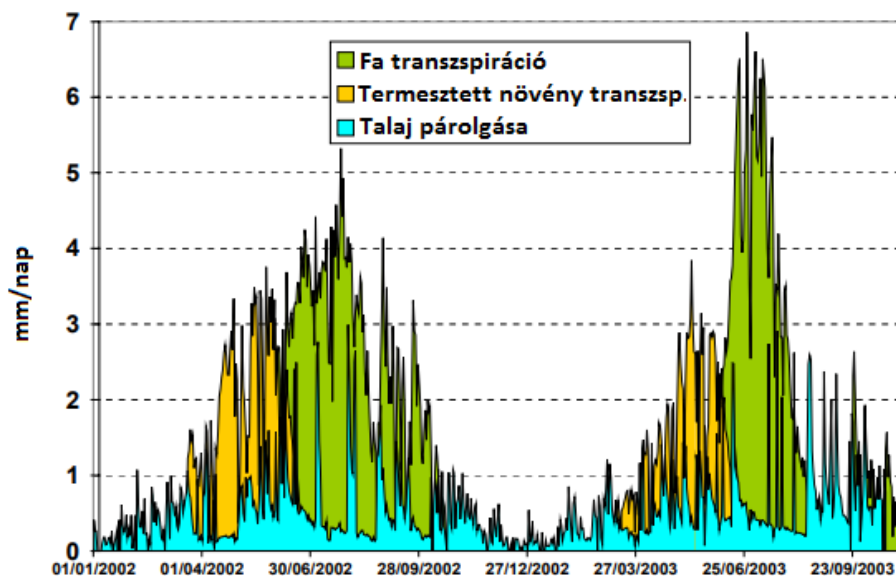
Bevezetés

Az agrárerdészeti rendszerek magukban foglalják a fás szárú vegetációt, és a mezőgazdasági hasznosítást – ami állhat lágyszárú fajokból, évelő növényekből és/vagy állatállományból – együtt ugyanazon a földterületen. Ezek a rendszerek növelik a tájképi egységen belüli biológiai sokféleséget, ami erősíti az ökológiai stabilitást, és optimalizálják a korlátozott erőforrások felhasználását a kiegészítő elemek integrálása révén. Nem szabad azonban elfeledkezni arról sem, hogy ezek a rendszerek megfelelő vízellátottság esetén tudják inkább az előnyös tulajdonságokat érvényesíteni, száraz területen hátrányos is lehet alkalmazásuk. Mivel a víz kérdése ebben az esetben halmozottan hangsúlyos, így fontosak azok a vizsgálatok, melyek az agrár-erdészeti rendszerek hidrológiai körülményeit igyekeznek feltárni. Jelen munkában ennek egy kis szeletét mutatjuk be, mely egy hosszabbtávú vizsgálat egyik első eredményének tekinthető. A kutatás bogyós gyümölcsöket termeszto agrárerdészeti rendszer talajnedvességét elemzi az EFOP-3.6.2-16-2017-00018 projekt keretében. A rendszert az az igény hívta életre, hogy a szélsőséges időjárási körülmények között a bogyósokat a napégés károsítja, és az árnyékolás, amit a fák nyújtanak, megoldást jelenthet a mezőgazdasági kultúra számára.

Hidrológiai hatótényezők

A mezőgazdasági területekhez képest az agrárerdészeti rendszereknek nagyobb a párologtató felülete, az érkező csapadék egy része a fák lombkoronájára, ágaira, fatörzsekre érkezik, azt benedvesíti, és onnan párolog el részben már a csapadékesemény alatt, részben azt követően. Ez az elpárologtató vízmennyiség növeli a levegő relatív páratartalmát, és képes csökkenteni a léghőmérsékletet, ezáltal csökken a légköri aszály mértéke. A lombzat szélfogó, és árnyékoló hatása révén is erősíti ezt a jelenséget. Az árnyékolás továbbá gátolja a csupasz talajfelszín felforrósodását, és az ezzel járó gyors kiszáradást.

A passzív párologás mellett meg kell említeni a növények aktív párologtatását, melyet a vízfelvétel előz meg. A sorközi művelésben érintett növények gyökérzete általában nem éri el a talajvíztükröt. A fák gyökerének 90-95%-a is a talaj felső 2 m-ében található. Ez a talajréteg gyökerekkel sűrűn átszőtt. Ebben a rétegben a fák és a mezőgazdasági növények között gyökérkonkurencia léphet fel, a sorközi művelés hatására azonban csökkenhet a konkurencia azáltal, hogy a fák gyökere a folyamatos sérülések miatt inkább lefelé fejlődik (ONG *et al.* 2014). A talajnedvesség szempontjából kiegészítő viszonya is lehet a fáknek a lágyszárúakkal, amikor a fák olyan vizet használnak fel, ami a lágyszárúak számára úgysem lenne elérhető. A kiegészítő viszony egyrészt eredhet abból, hogy a köztesnövények egy részének a gyökérzete sekélyebb, mint a fák egy részének gyökérzete, másrészt a kiegészítő viszony származhat a vízfelhasználás időbeli különbözőségéből is (1. ábra). A vízfelhasználás maximuma ez esetben nem esik egybe a fás és mezőgazdasági növényzet esetén (DUPRAZ *et al.* 2005).



1. ábra. Diófa és mezőgazdasági növény párologtatásának, valamint a talaj párolgásának éven belüli változása agrárerdészeti rendszerben (Dupraz et al. 2005)

A vegetáció vízfogyasztásának napi ingadozás alapján történő számítása viszonylag pontos evapotranszpiráció (ET) értéket szolgáltat. A talajvíz szintjének és a talajnedvességnek a napi ingadozása a mi éghajlatunkon nyári időszakban a vegetáció vízfogyasztására vezethető vissza. Jelentős különbség mutatható ki az erdő és a mezőgazdasági terület alatti talajvízszint napi változásában. MADAS (1980) szerint a fényigényes fajok meglehetősen nagy vízmennyiséget igényelnek egy egységnyi szárazanyag előállításához, míg az árnyéktűrő fajok lényegesen takarékosabban használják fel a vizet. Mivel az előrejelzések szerint a klímaváltozás hatására a hosszabb csapadékmentes periódusok mind szélsőségesebb aszályokat indukálnak majd (GÁLLOS *et al.* 2007), ezért mindenképpen érdemes megfontolni, hogy az adott terület alkalmas-e agrárerdészeti rendszer kialakítására, és ha igen, milyen fajjal.

Vizsgálati terület

Az adatgyűjtés helyszíne a sarródi székhelyű Fertődi Gyümölcskutató Intézet Sírdombi Kutatóhelye. A terület három kistáj határában fekszik, ezek a Fertő-medence, a Hanság és az Ikvásík. A szélirány miatt feltételezhetően a Fertő-medence éghajlata jellemzi leginkább a területet. Mérsékelt hűvös, száraz éghajlatú vidék. Az évi napsütéses órák összege 1850-1880 óra körül alakul. Az évi középhőmérséklet 10°C körül alakul. A 10°C feletti napi középhőmérsékletet 186 napon haladja meg. A legmelegebb napok átlaghőmérséklete 33,5°C, a lehidegebbeké -15 és -15,5°C között alakul. Az évi csapadékmennyiség 580-600 mm közé tehető (DÖVÉNYI 2010).

Fertődi Gyümölcskutató sírdombi agrárerdészeti kísérleti területén nyárfa és bogyós gyümölcsök rendszerének hidrológiai vizsgálatára 2019.07.19.-én ideiglenes figyelőkútúrásokat végeztünk. A pályázat keretében talajvízszint és talajnedvesség monitoringot folytatunk a helyszínen. A manuális mérések a vegetációs időszakban heti-kétheti gyakorisággal történnek, így értékes eredményeket remélünk az agrárerdészeti rendszerek és a csak bogyósokat tartalmazó mezőgazdasági területek hidrológiai viszonyainak összehasonlításától. A kiválasztott helyszíneken összesen hat talajvízfigyelő kutat létesítettünk: Szeder (*Rubus fruticosus* 'Dirksen') sorban egy agrárerdészeti mérőhelyet (1. kút) és egy kontrollt (1K jelű kút); Málna (*Rubus idaeus* 'Fertődi zamatos') sorban egy agrárerdészeti mérőhelyet (2. kút) és egy kontrollt (2K jelű kút);

fekete ribizli (*Ribes nigrum* 'Oteló') sorban egy agrárerdészeti mérőhelyet (3. kút) és egy kontrollt (3K jelű kút). A terület kísérleti vázrajzát a 2. ábra mutatja.

A kutak koordinátái (ETRS89) Lat: 47-37-57 - 47-37-59, Lon: 16-52-56 - 16-52-58 értékek közé esnek (3. ábra). Az agrárerdészeti terület fafaja a nemesnyár (*Populus x euramericana*), melyet 2017-ben telepítettek 9·6 méteres hálóban.

A kutak telepítésekor megfigyelt fúrési rétegsorok alapján elmondható, hogy a terület felszínén 40-90 cm humuszos, barna homoklisztes homok réteg található, néhol kövekkel. E réteg alatt sárgás homok következik, mélyebben kovárványos csíkokkal, majd redukív kékes színnel és 3,6-4 m mélyen kavicsos réteg jelentkezett. A megütött talajvíz a felszíntől 2,8-3,5 m mélységben volt.

	90	87	84	81	78	75	72	69	66	63	60	57	54	51	48	45	42	39	36	33	30	27	24	21	18	15	12	9	6	3	0																	
	Eper																																															
																																			12													
Ribizli																																				15	É											
																																					18											
																																						21										
																																						24										
Málna																																							27									
																																								30								
																																								33								
																																								36								
Málna																																									39							
																																										42						
																																										45						
																																										48						
Málna																																											51					
																																												54				
																																												57				
																																											60					
Málna																																												63				
																																												66				
																																												69				
																																												72				
Szeder																																													75			
																																														78		
																																														81		
																																														84		
Szeder																																														87		
																																														90		
																																														93		
																																														96		
Szeder																																														99		
																																															102	
																																															105	
																																															108	
Erdő-határ																																																

2. ábra. Kísérleti vázrajz (sárgával jelölve a mérési pontok, mellette pirossal a figyelőkút száma)

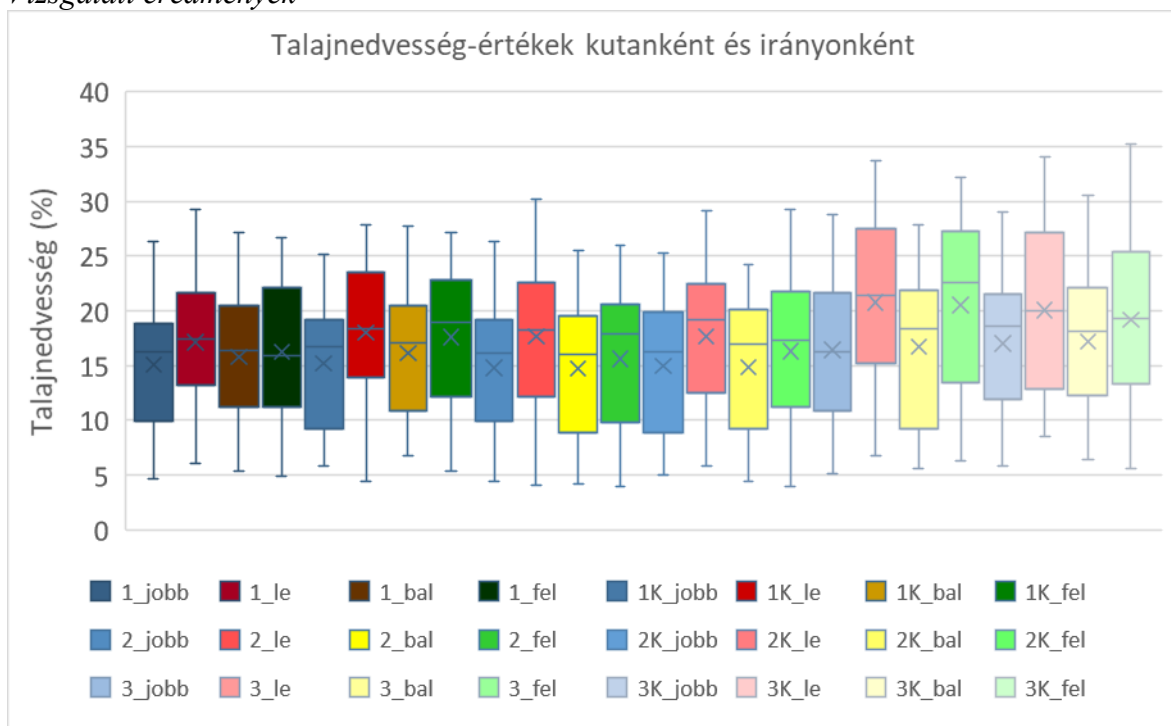
Vizsgálati anyag és módszer

Jelenleg a talajnedvesség mérése a talajvízfigyelő kutak környezetében történik átlagosan kétheti gyakorisággal. A kutak körül négy irányban történnek a mérések: a bogyósok sorában (jobb, bal) és arra merőlegesen (le, fel) két-két irányban.

A kézi mérések a víztartalom azonnali kijelzésére alkalmas HH2 nedvességmérővel és a hozzá csatlakozó $\pm 1\%$ pontosságú ML3 ThetaProbe talajnedvesség-érzékelőkkel történtek, egy irányban egy alkalommal kezdetben 3, majd 5 méréssel, amivel dátumonként 120 talajnedvesség-adatot gyűjtöttünk összesen (6 kút, 4 irány, 5 mérés). Azokat az időpontokat, amikor nem került sor minden vizsgálati pont mérésére, kihagytuk az elemzésből. A jelen vizsgálatba a 2019.08.01. és 2020.04.10. közötti mérések kerültek be.

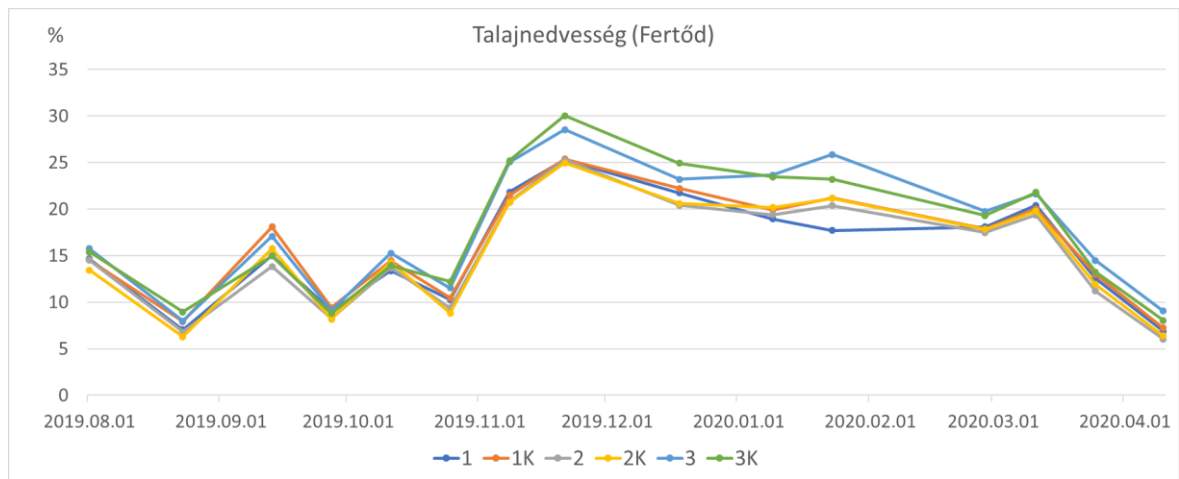
A felszíni talajnedvesség-méréseket a kutak telepítésekor (2019.07.19.) mért mélység menti nedvességvizsgálattal egészítettük ki.

Vizsgálati eredmények



3. ábra. Talajnedvesség-értékek kutanként és irányonként

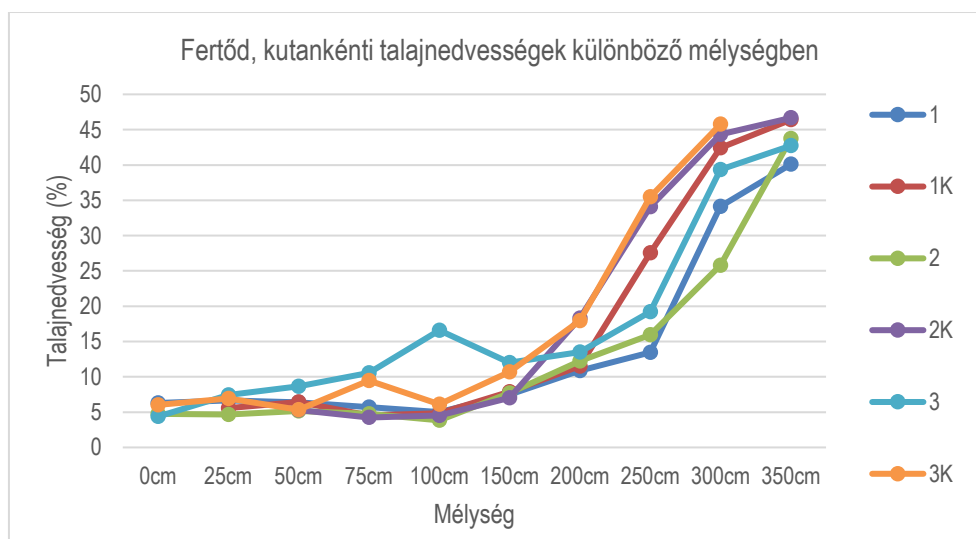
A 3. ábra szemlélteti az egyes kutak irányonkénti értékeit a vizsgált időszakban. Mérőpontonként jellemzően a bogyósok soraira merőlegesen mutatkoztak magasabb talajnedvesség-értékek az interkvartilis terjedelem felső határát és az átlagértékeket tekintve. A jelenséget a rendszeres talajlazítás magyarázhatja, mellyel a hajszálcsőves kapcsolat megszakítása révén a kissé mélyebb rétegek már nem, csak a csupasz talajfelszín szárad. Az eredmények nem mutattak egyértelmű különbséget a mérőhelyek és a kontroll pontok között. A málna és a szeder talajnedvessége nem mutatott igazolható különbséget, míg a ribizli kissé magasabb talajnedvesség-adatokkal jellemezhető. A málna és szeder talajnedvesség-értékei egy esetben haladják meg a 30% nedvességtartalmat. Mivel a vizsgálati periódus három évszakot ölel fel, egy száraz nyár utáni lassú visszatöltődést tapasztaltunk a talajvízben, így érdemes az idősort (4. ábra) elemezni.



4. ábra. Átlagos talajnedvesség-értékek időszora

Az augusztusban és szeptemberben mutatkozó száraz periódus után novembertől a talajnedvesség-értékek egyértelmű emelkedése figyelhető meg, ami decembertől lassú csökkenést mutat, majd március közepétől a felmelegedéssel párhuzamosan erőteljesen süllyednek a nyár végén mért értékekig. A magasabb talajnedvesség-adatokkal jellemzett időszakban megfigyelhetők a ribizli (3, 3K) nagyobb értékei a másik két fajtához képest.

A fúrás közben mért talajnedvesség-tartalom általában nem változott észrevehetően egy méter mélységig (5. ábra), majd erőteljesen nőtt a mélységgel, egészen a telítettségig (kb. 3,5 m). Az egyes fúrási helyszínek között nem volt egyértelmű különbség 2-2,5 m-ig, ahonnan a kontroll kutak magasabb nedvességgel voltak jellemezhetők.



5. ábra. Talajnedvesség alakulása a mélységgel

Összefoglalás

A klímaváltozás miatt gyakoribbá váló aszályok (GÁLOS *et al.* 2007) hatása, amit lokálisan a sekély termőrétegű, kedvezőtlen vízháztartású talaj súlyosbíthat (BIDLÓ *et al.* 2017), kárláncolatot idézhet elő a fás szárú vegetációban (CSÓKA *et al.* 2009). Ezért is kell nagy körültekintéssel határozni meg azokat a területeket, ahol agrárerdészeti rendszer kialakítása mellett döntenek, és a hidrológiai körülmények, lehetőségek függvényében választani fajtát.

Jelen munka leginkább állapotfelvételnek minősül, a vizsgálati idő rövidege miatt, valamint, mivel az adatgyűjtés nagy része nyugalmi időszakban történt. A talajnedvesség-adatokban jellemző különbséget nem találtunk az agrárerdészeti és a kontroll kutak között, és az egyes bogyósokat összehasonlítva sem jelentős az észlelt eltérés. Ennek oka lehet a homoktalaj rossz víztartó képessége. A továbbiakban tervezzük a csapadék- és talajvízszint-adatokkal történő párhuzamos elemzést, valamint a mérési gyakoriság növelését.

Köszönetnyilvánítás: A publikáció elkészítését az EFOP-3.6.2-16-2017-00018 („Termeljünk együtt a természettel - az agrárerdészet mint új kitörési lehetőség”) projekt támogatta.

Irodalomjegyzék

- BIDLÓ, A. – GÁLOS, B. – HORVÁTH, A. (2017): Observed response of vulnerable forest ecosystems to ongoing site condition changes. Geophysical Research Abstracts Vol. 19, EGU2017-5087.
- CSÓKA, GY. – KOLTAY, A. – HIRKA, A. – JANIK, G. (2009): Az aszályosság hatása kocsánytalan tölgyeink egészségi állapotára. „Klíma-21” Füzetek 57: 64-73. pp.
- DÖVÉNYI, Z. (szerk.) (2010): Magyarország kistájainak katasztere, MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest, 876 p.
- DUPRAZ, C. – BURGESS, P. – GAVALAND, A. – GRAVES, A. – HERZOG, F. – INCOLL, L.D. – JACKSON, N. – KEESMAN, K. – LAWSON, G. – LECOMTE, I. – LIAGRE, F. – MANTZANAS, K., MAYUS, M. – MORENO, G. – PALMA, J. – PAPANASTASIS, V. – PARIS, P. – PILBEAM, D.J. – REISNER, Y. – VAN NOORDWIJK, M. – VINCENT, G. – WERF VAN DER, W. (2005): Silvoarable Agroforestry for Europe. SAFE Project Final Progress Report; Volume 2: Work Packages Reports. Elérhető: <https://www1.montpellier.inra.fr/safe/english/results/final-report/SAFE%20Fourth%20Year%20Annual%20Report%20Volume%202.pdf> [Letöltés ideje: 2019. május 22.]
- GÁLOS, B. – LORENZ, P. – JACOB, D. (2007): Will dry events occur more often in Hungary in the future? Environmental Research Letters 2(3): 034006. (9 pp.) DOI: 10.1088/1748-9326/2/3/034006
- MADAS, A. (1980): Az erdőgazdálkodás hatása és jelentősége az árvizek kialakulására. Erdő és víz. Munkaértekezlet Sopron. Veszprém. p. 12-22.
- ONG, C. – BLACK, C.R. – WILSON, J. – MUTHURI, C. – BAYALA, J. – JACKSON, N.A. (2014): Agroforestry: Hydrological Impacts. In: Encyclopedia of Agriculture and Food Systems. (Ed.: Neal Van Alfen) Vol. 1, San Diego: Elsevier, pp. 244-252.