



EFOP-3.6.2-16-2017-00010

III. RING – FENNTARTHATÓ NYERSANYAG-GAZDÁLKODÁS

III. SUSTAINABLE RAW MATERIALS

Sopron, 2019. október 10 – 11.

KONFERENCIAKÖTET - PROCEEDINGS

Szerkesztő:
Czupy Imre

Tudományos bizottság:

Czupy Imre
Kiss Tibor
Mucsi Gábor
Nagy Sándor
Rákhely Gábor

Ajánlott hivatkozás:

Czupy I. (szerk.) (2019): III. RING Fenntartható nyersanyag-gazdálkodás. III. Sustainable Raw Materials. Konferenciakötet. Proceedings. Sopron, Hungary 2019. e-book 310 p.

ISBN 978-963-334-353-1



Copyright © Soproni Egyetem Kiadó, Sopron, 2019.
Felelős kiadó: Alpár Tibor rektorhelyettes

SZÉCHENYI 2020



MAGYARORSZÁG
KORMÁNYA

Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

S01 Szekció 1

HARVESZTEREK ALKALMAZHATÓSÁGA SZÁLALÓVÁGÁSBAN

Horváth Attila László, Rátky Mihály, Czupy Imre, Szakálosné Mátyás Katalin
Soproni Egyetem Erdészeti-műszaki és Környezettechnikai Intézet

ABIOTIKUS ÉS BIOTIKUS KÁROK MIATTI FAKITERMELÉS VIZSGÁLATA AZ EGERERDŐ ZRT-NÉL

Papp Viktória ¹, Babiczki László ², Grédics Szilárd ², Fazekas Ákos ³, Szalay Dóra ¹
¹ *Soproni Egyetem, Erdőmérnöki kar, Erdészeti -műszaki és Környezettechnika Intézet;* ² *Egererdő Zrt.;* ³ *Szegedi Tudományegyetem, Mérnöki Kar, Folyamatmérnöki Intézet*

A HARVESZTERES FAKITERMELÉSEK KÍMÉLETESSÉGÉNEK VIZSGÁLATA

Szakálosné Mátyás Katalin, Sudár Ferenc János, Horváth Attila László
Soproni Egyetem, Erdészeti-műszaki és Környezettechnikai Intézet

NYÁR ÉS AKÁC ÜLTETVÉNYEK SZEREPE A FENNTARTHATÓ NYERSANYAG BIZTOSÍTÁSBAN

Németh Róbert, Fehér Sándor, Komán Szabolcs, Bak Miklós
Soproni Egyetem, Faanyagtudományi Intézet

APRÍTÉK ELŐÁLLÍTÁS MUNKARENDSZERÉNEK VIZSGÁLATA KÉT ELTÉRŐ ADOTTSÁGÚ ERDŐRÉSZLETBEN

Szakálosné Mátyás Katalin ¹, Horváth Attila László ¹, Bácsai Róbert ¹, Baló Tünde ², Vágvölgyi Andrea ¹
¹ *Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Erdészeti-műszaki és Környezettechnikai Intézet;* ² *Szegedi Tudományegyetem, Mérnöki Kar, Folyamatmérnöki Intézet*

MIRE ELÉG A DENDROMASSZA AZ ELEKTROMOS KÖZLEKEDÉSBEN?

Szalay Dóra ¹, Kertész Szabolcs ², Papp Viktória ¹
¹ *Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Erdészeti- műszaki és Környezettechnikai Intézet;* ² *Szegedi Tudományegyetem, Mérnöki Kar, Folyamatmérnöki Intézet*

SOMOGYI ÉS NYÍRSÉGI AKÁC ÁLLOMÁNYOK VÁLASZTÉK-ÖSSZETÉTELÉNEK ÖSSZEHASONLÍTÓ VIZSGÁLATA

Major Tamás, Pintér Tamás, Iski Richárd
¹ *Soproni Egyetem* ² *Nyírerdő Nyírségi Erdészeti Zrt*

FÁS SZÁRÚ ÜLTETVÉNYEKEN ALKALMAZOTT TECHNOLÓGIÁK HATÁSA A BIODIVERZITÁSRA

Szigeti Nóra, Czupy Imre, Vágvölgyi Andrea
Soproni Egyetem, Erdészeti-műszaki és Környezettechnikai Intézet

HARVESZTEREK ALKALMAZHATÓSÁGA SZÁLALÓVÁGÁSBAN

Horváth Attila László¹ – Rátky Mihály¹ – Czupy Imre¹ – Szakálosné Mátyás Katalin¹

Erdészeti-műszaki és Környezettechnikai Intézet

Erdőmérnöki Kar

Soproni Egyetem

Bajcsy-Zsilinszky u. 4., H-9400 Sopron

ahorvath@uni-sopron.hu, szakalosne.matyas.katalin@uni-sopron.hu

Kivonat: A gépfejlesztéseknek köszönhetően a harveszterek, ma már nem csak kizárólag a fenyvesekben, hanem lombos állományokban is hatékonyan alkalmazhatóak. Magyarországon most már nemcsak tarvágásokban, növedéfköszelő és törzskiválasztó gyéritekben használják ezt a technológiát, hanem szálalóvágásokban is. Nemcsak állami és magán erdőben dolgoznak ilyen gépek, hanem néhány nemzeti park is a védett erdőiben. Az Őrségi Nemzeti Park területén végeztünk méréseket szálalóvágásban végrehajtott magasan gépesített fakitermelésben. A harveszterek munkájának értékeléséhez (munkaidőszerkezet, teljesítmény) állományban történő mérésekre volt szükség. A terepi adatfelvétel haladó (folyamatos) időméréses módszerrel történt. A műveletelemek időtartama mellett többek között rögzítésre kerültek az egyes ciklusonként feldolgozott faanyag mennyisége, ill. az átállások távolsága is.

Kulcsszavak: harveszter, fakitermelés, teljesítmény, szálalóvágás, munkaidőszerkezet

1. Bevezetés

A gépfejlesztéseknek köszönhetően a harveszterek, ma már nem csak kizárólag a fenyvesekben alkalmazhatóak hatékonyan. Számos terepi méréssel sikerült Magyarországon (akác, cser, bükk, tölgy állományokban) is igazolni a „gépcsodák” létjogosultságát (1. ábra). Az idő- és költségelemzések során kapott eredmények tudatában biztonsággal állíthatjuk, hogy a lombos állományokban is alkalmazhatóak harveszterek, sok esetben hatékonyabb munkavégzés valósítható meg, mint a hagyományos motorfűrész fakitermelés során.



1. ábra: Harveszterek Magyarországon

2. Anyag és módszer

2.1 Harvester munkájának vizsgálata és értékelése

A többműveletes fakitermelő gépek ma már egyaránt dolgoznak fenyves és lombos állományokban is. Magyarországon, területi adottságtól függően egyes gépekkel elsősorban lombos, míg más gépekkel szinte kizárólagosan fenyves állományokban végeznek termelő munkát. Harvester által biztosított nagy hatékonyság és termelékenység, valamint gazdaságosság – külföldi eredményekre alapozottan – hazai fenyvesekben nem vonható kétségbe, lombos állományokban való alkalmazhatóságukkal kapcsolatban viszont igencsak sok kérdés merülhet fel. A magyar erdőkben az elmúlt években hajtottak végre fakitermelést többműveletes fakitermelő géppel akácosban, égeresben, nemesnyárasban, cseresben, gyertyános-tölgyesben, bükkösben, gyertyános-erdeifenyvesben és luc, erdei valamint fekete fenyvesekben is. Fahasználati módok tekintetében tarvágásban, gyéritésben, bontóvágásban és egészségügyi termelésben, valamint már szálalóvágásban is alkalmazásra kerültek a gépek.

A harvester munkájának értékeléséhez (munkaidőszerkezet, teljesítmény) állományban történő mérésekre volt szükség. 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 A., 2012; Horváth A., 2015):

- Döntés (D): Az az időtartam, amely alatt a gépkezelő a manipulátorkar segítségével ráhelyezi a harvesterfejet a fa törésére, valamint a fa döntését, előközelítését, gallyazását, választékolását, darabolását és választékonkénti rakásolását 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.
- Várakozás (V): Egyéb veszteségidő (pl. telefonálás).



2. ábra: Gyertyános- bükkös-erdeifenyves állomány, Apátistvánfalva 28C

2.3 Szálalóvágás Ponsse Ergo 6WD harveszterrel

A 3,21 ha összterületű 97 éves gyertyános- bükkös-erdeifenyves állományban (2. ábra) szálalóvágás történt egy Ponsse Ergo 6WD típusú többműveletes fakitermelő géppel. Az erdőterület védett, az Őrségi Nemzeti Park területén található és a NATURA 2000 hálózatnak is része. Az üzemtervi adatok alapján – fafajtól függően – a faegyedek átlagmagassága 17-26 m, míg az átlagos mellmagassági átmérője 20-40 cm volt (1. táblázat). Az erdészeti szakszemélyzet előzetesen színes jelölőfestékekkel megjelölte a kitermelendő faegyedeket. A gépkezelő a következő választékokat állította elő: erdei fenyőből 3,1 m-es, 4,1 m-es, 5,1 m-es, 6,1 m-es rönköt és 2 m-es rostfát, valamint bükkből és gyertyánból 2 m-es tűzifát.

3. Eredmények

3.1 Munkaidőszerkezet

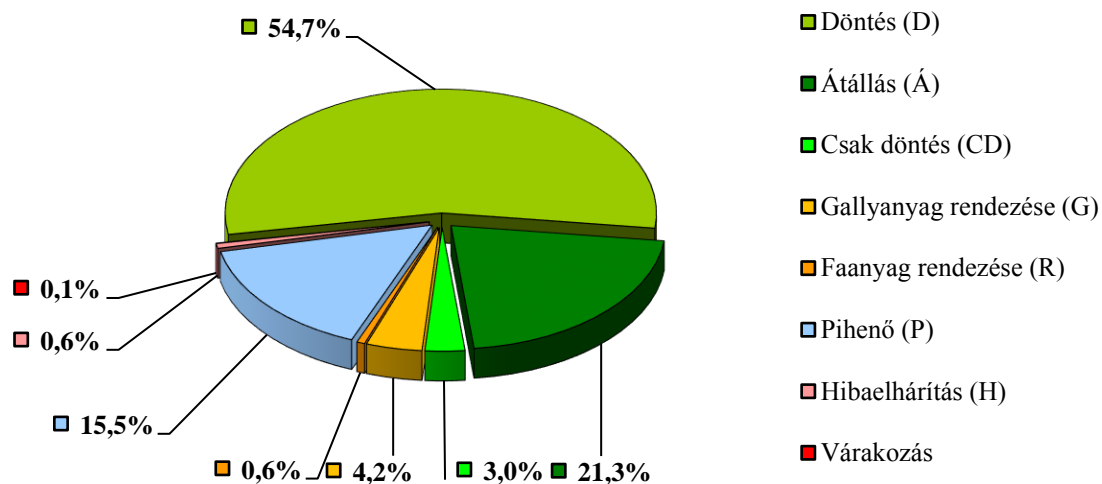
A terepi adatfelvétel három nap (708,17 perc) alatt valósult meg. A mérés időtartama (2. táblázat, 3. ábra) alatt a gép a munkaidejének 54,7%-át a fa döntésére, felkészítésére, 21,3%-át átállásra és többek között 4,2%-át gallyanyag rendezésére fordította. A munka jellegéből adódóan az átállások nagy részaránya elkerülhetetlen volt. Az átállások átlagos távolsága 6,8 m, az átlagos átállási idő pedig 0,7 perc volt. A pihenőidő aránya 15,5% volt.

1. táblázat: Üzemtervi adatok, Apátistvánfalva 28C

Sorszám	Lombkorona szintek	Fafaj neve	Elegyarány (%)	Elegyedési mód	Átlag kor (év)	Átlag mag. (m)	Átlag átm. (cm)	Záródás (%)	Körlet m ² /ha	Fakészlet (m ³ /ha)	Fakészlet a részletben (m ³)
1	Felső	Bükk	23	Fő fafaj	77	20	25	77	8	78,01	250
2	Felső	Bükk	4	Szórt	97	26	40	77	1	20,00	64
3	Felső	Erdei fenyő	46	Szórt	97	22	33	77	15	166,01	533
4	Felső	Kocsányos tölgy	9	Szórt	97	25	39	77	3	32,99	106
5	Felső	Gyertyán	18	Szórt	77	17	20	77	4	36,01	116
6	Alsó	Gyertyán	100	Fő fafaj	37	15	17	25	6	45,02	145
Összesen									37	378,04	1214

2. táblázat: Műveletelemek adatai, Ponsse Ergo 6WD harveszter

Művelet	Σ idő	Arány	Elem	Átl. idő
	min	%	db	min
Döntés (D)	387,65	54,7	302	1,28
Átállás (Á)	151,16	21,3	216	0,70
Csak döntés (CD)	21,00	3,0	31	0,68
Gallyanyag rendezése (G)	29,59	4,2	37	0,80
Faanyag rendezése (R)	4,25	0,6	5	0,85
Pihenő (P)	109,77	15,5	8	13,72
Hibaelhárítás (H)	4,33	0,6	1	4,33
Várakozás (V)	0,42	0,1	1	0,42
Összesen (Ö)	708,17	100,0		



3. ábra: Ponsse Ergo 6WD harvester munkaidőszerkezete (Rátky, 2019)

3.2 Harvester teljesítménye

A teljesítmények meghatározásához rendelkezésre állt a kitermelt és felkészített faanyag mennyisége (146,6 m³) és a műveletelemek időtartama. A Ponsse Ergo 6WD többműveletes fakitermelő gép óránkénti teljesítménye (üzemidőben) 12,4 m³. A gép műszakteljesítménye produktív időben 118,5 m³ (3. táblázat).

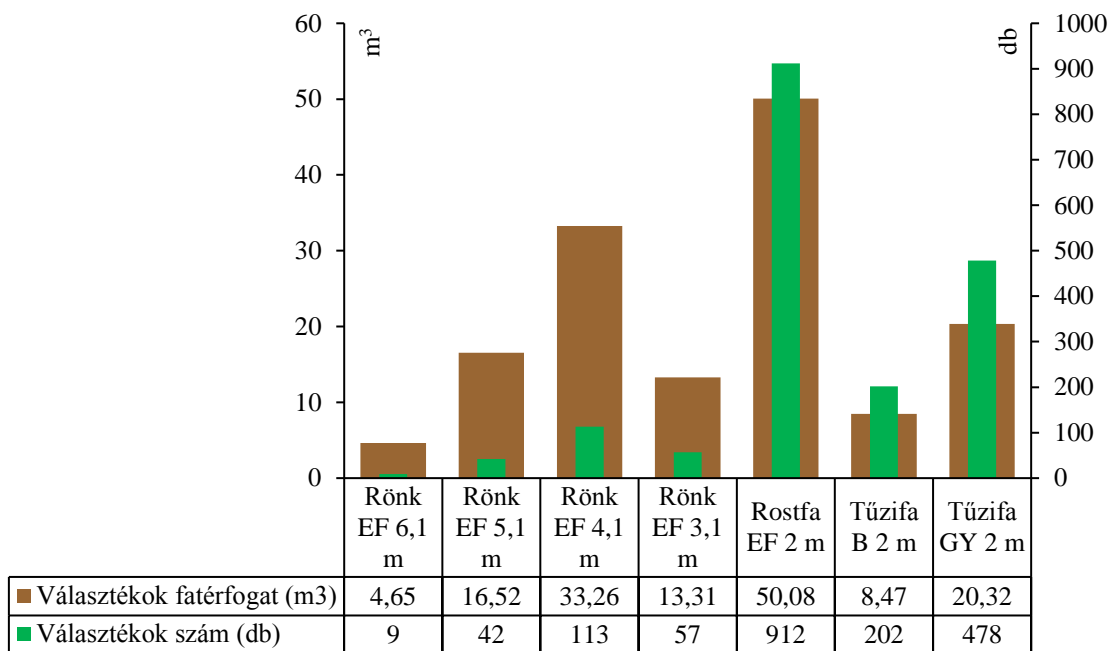
3. táblázat Ponsse Ergo 6WD harvester teljesítménye (Rátky, 2019)

Teljesítmény		m ³ /h	m ³ /műszak
Fakitermelési időben	(D+Á)	16,3	130,6
Produktív időben	(D+CD+Á+G+R)	14,8	118,5
Üzemidőben	(Ö)	12,4	99,4

Mindösszesen 331 db fa került kivágásra, ennek 46,2%-a erdei fenyő, 39,6%-a gyertyán, 12,4%-a bükk, 1,2%-a rezgő nyár és 0,6%-a kocsányos tölgy volt. A kitermelt 146,6 m³ faanyagból 1813 db választék keletkezett (4. ábra).

4. Összefoglalás

A technikai fejlődéseknek köszönhetően, az eddig többnyire tarvágásokban és gyérítésekben zajló harvesteres fakitermelési technológia méréseink alapján napjainkban már szálalóvágásokra is adaptálható, természetesen nagy odafigyelés, szakmai tudás és folyamatos ellenőrzés mellett.



4. ábra: Választékszerkezet

5. 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 valósul meg.

6. Felhasznált irodalom

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): Többszemes fakitermelő gépek a hazai lombos állományok fahasználatában. NYME EMK EMKI, Doctoral (PhD) dissertation, Sopron, 180 p.

Horváth B.(szerk.), Marosvölgyi B., Neményi M., Sitkei Gy., Czupy I., Fekete Gy., Horváth A. L., Major T., Vágvölgyi A. (2016): Erdészeti gépek, Szaktudás Kiadó Ház Zrt., Budapest, ISBN:978-615-5224-69-0, 476 p.

Rumpf J. (szerk.), Horváth A. L., Major T., Szakálosné Mátyás K. (2016): Erdőhasználat, Mezőgazda Kiadó, Budapest, ISBN:9789632867199, 390 p.

Rátky M. (2019): Magasan gépesített fakitermelési munkarendszerek vizsgálata az Őrségi Nemzeti Park területén, Diplomamunka, Sopron, 49 p.

ABIOTIKUS ÉS BIOTIKUS KÁROK MIATTI FAKITERMELÉS VIZSGÁLATA AZ EGERERDŐ ZRT-NÉL

Papp Viktória¹ – Babiczki László – Grédics Szilárd – Fazekas Ákos - Szalay Dóra¹

Soproni Egyetem, Erdőmérnöki kar, Erdészeti-műszaki és Környezettechnika Intézet

papp.viktoria@uni-sopron.hu

Absztrakt: *A klímaváltozás közvetett következményeként az erdőket érintő káresemények száma világszerte emelkedett. Az egyre gyakrabban megjelenő aszály, a fiatal állományokban okozza a legnagyobb kárt. A szokatlan időjárási események, viharok és széldöntések száma is emelkedő tendenciát mutat Európában. Az Egererdő Zrt. területén 15 évre visszamenőleg történt adatgyűjtés a fontosabb káresemények miatti kitermelésről, illetve fajfajonként bontva az EÜ és összes éves kitermelésről. Az utóbbi öt évben szignifikánsan emelkedett az abiotikus károk miatti kitermelések száma, széldöntés, jégkár, valamint tavasszal megjelenő hókár okozták a legnagyobb problémákat. A biotikus károk közül a lucfenyőket érinti leginkább a szúkár, a legyengült állományok pedig sokkal sérülékenyebbek, a nyári extrém magas hőmérsékletek, illetve a téli fagyos napok számának csökkenése is mind a kártevőknek kedvez. Az abiotikus károk a bükk állományokat érintették leginkább, a káresemények miatti kitermelések az utóbbi években kiugró értékeket mutatnak.*

Keywords: abiotikus erdőkár, biotikus erdőkár, bükk, fenyő,

1. Bevezetés

Az utóbbi években világszerte emelkedett az abiotikus és biotikus erdőkárok mértéke. Az emelkedő átlaghőmérséklet, a csapadék hiánya és időbeli eltolódása közvetetten a kártevőknek kedvez (Alexa M. et al. 2018). A meteorológiai adatok alapján a havária események száma is szignifikánsan emelkedett az utóbbi években. Az új adatok azt mutatják, hogy az utóbbi 30 évben az extrém időjárási események száma sokkal gyakoribbá vált. (EAESAC 2018) A hőmérséklet emelkedés és a víz hiánya mellett, egyéb klíma tényezők is változnak, úgy mint a szél sebessége, a levegő nedvességtartalma, a csapadék formája és térbeli eloszlása. (Seidl R. et al 2017) Magyarországon is megfigyelhető a csapadék változása, illetve télen a hó mennyiségének és időbeli eltolódásának hatásai is érezhetők. Az extrém időjárási események erősödésével, és gyakoribb megjelenésével, úgy mint az aszály, vihar vagy árvizek, emelkedik a fák fizikai károsodása, és a biotikus kártevők, rovarok és gombák jelenléte is. (Sierota Z. et al 2019) Mindemelllett, a klímaváltozás hatással van a patogén organizmusok fejlődési ciklusára, ami közvetetten szintén a fák egészségi állapotának romlásához vezet (Jaworski, T.2013) (Hilszczański, J. 2014). A betűzöszű (*Ips typographus*), amely a legpusztítóbb biotikus zavaró tényező Közép-Európa erdőiben, gyakran viharkárosodások után jelenik meg tömegesen. A térbeli-időbeli kéregbogár-dinamika finom skálán való megértése továbbra is korlátozott (Sedelman et al. 2014). A különböző szűfélék, a forró nyár és csapadékhiány miatt legyengült fenyőket károsítják, saját gombatelepeket hoznak létre a fa vízedényeinek elzárására.

Az utóbbi 50 évben az európai trendeket követve, Magyarországon is nőtt az aszályok gyakorisága. A vizsgált időszak második felében a kifejezetten extrém aszályok is egyre gyakoribbá váltak. Ezzel szoros

összefüggésben jelentősen növekedtek az erdeinkben bekövetkező aszálykárok is. Az évente bejelentett aszálykárok rendkívül szoros, szignifikáns összefüggést mutattak a két vizsgált aszályindex (Pálfai-féle és Forestry Aridity Index) éves értékeivel.(Hirka et al. 2018) A szakemberek vizsgálatai alapján, az összefüggések mindkét aszályindex esetében exponenciális jellegűek voltak. A korábbiaktól eltérően az aszálykárok az utóbbi időszakban nemcsak síkvidéki fiatalosokban, hanem hegyvidéki, idősebb, őshonos állományokban is fellépnek. Bizonyított, hogy a kocsánytalan tölgyesek és a bükkösök egészségi állapotában az aszályok döntő szerepet játszanak (Hirka et al. 2018).

2012 óta a Magyarországi erdők egészségi állapotában folyamatos romlás figyelhető meg. Ez a folyamat az elmúlt két évben felerősödött: 2018-ban a vizsgált fák kevesebb, mint 60 %-a tartozott az egészséges vagy gyengén károsodott (veszélyeztetett) kategóriába.(Nébih 2019) 2018-ban az összes mintafa közül mindössze 26,5% volt tünetmentes, tehát a levélvesztés tekintetében a korábbi évekhez képest tovább csökkent az egészséges egyedek száma. A veszélyeztetett fák aránya 26,2%, a közepesen károsodott egyedeké 36,5%, míg az erősen károsodott fák aránya 8,8% volt.(Nébih 2019)

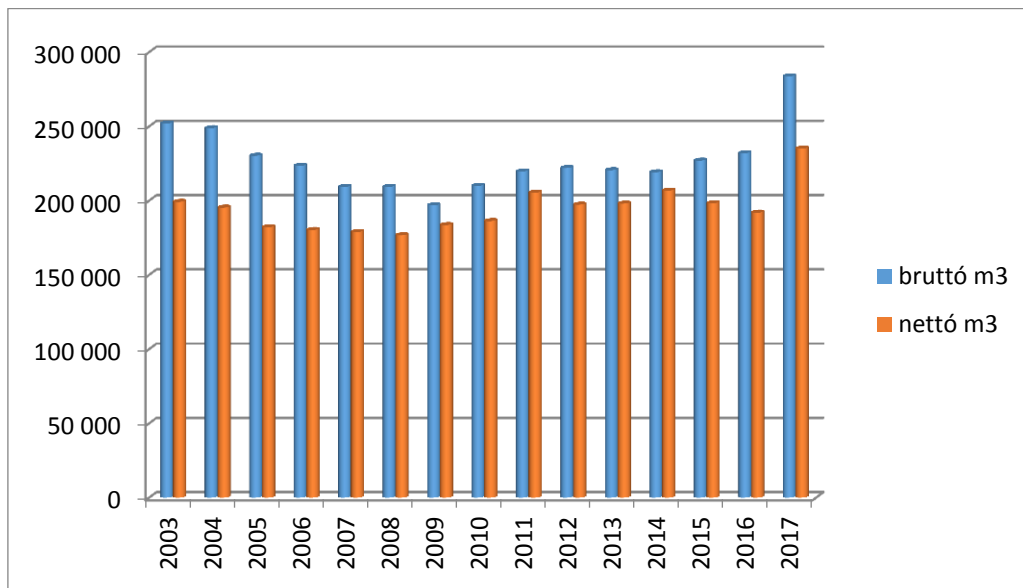
2. Anyag és módszer

A káreseményekről 15 évre visszamenőleg történt adatgyűjtés az Egererdő Zrt területén. Az éves kárbejelentési kötelezettség mellett a kitermelések területi és fafaj szerinti alakulásáról is információgyűjtés történt. Az adatok terepi felvételezésből származnak. Megtörtént a legfőbb abiotikus és biotikus károk fafaj szerinti összegzése, valamint az egészségügyi kitermelések éves bontásban lévő és területi összefoglalása. Az erdőtörvény előírja a károsodott erdőrészek felújítását. A kár csökkentése érdekében, a természetvédelmi hatóságok hozzájárulásától függően, a kidőlt fákat fel kell dolgozni, valamint a turista utakat megtisztítani a beleset veszély miatt.



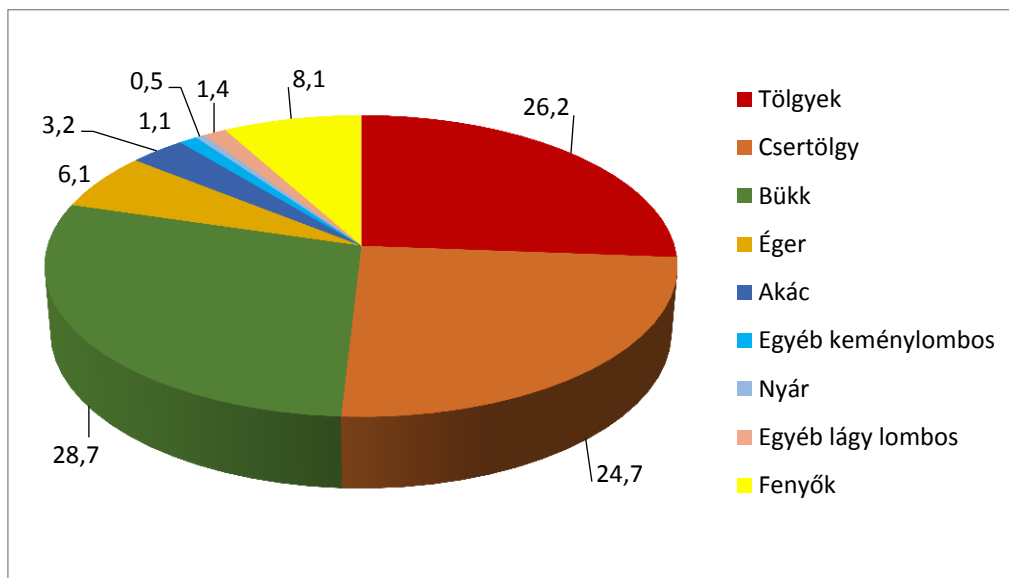
1. ábra Jégkár – Ice damage(Urban P. 2015)

A legfőbb káresemények kerültek most elemzésre, melyek közül jelentős volt a 2009-es és a 2014-es tornádó, vihar és jég kár, mely a bükkösökben okozta a legnagyobb problémát. A biotikus károk közül, a szű kár, a lucfenyves állományban okozta a legnagyobb pusztítást. Összefoglaltuk 15 évre visszamenőleg az összes bruttó és nettó kitermelést, amit a 2. ábra szemléltet.



2. ábra Összes fakitermelés 15 éves alakulása

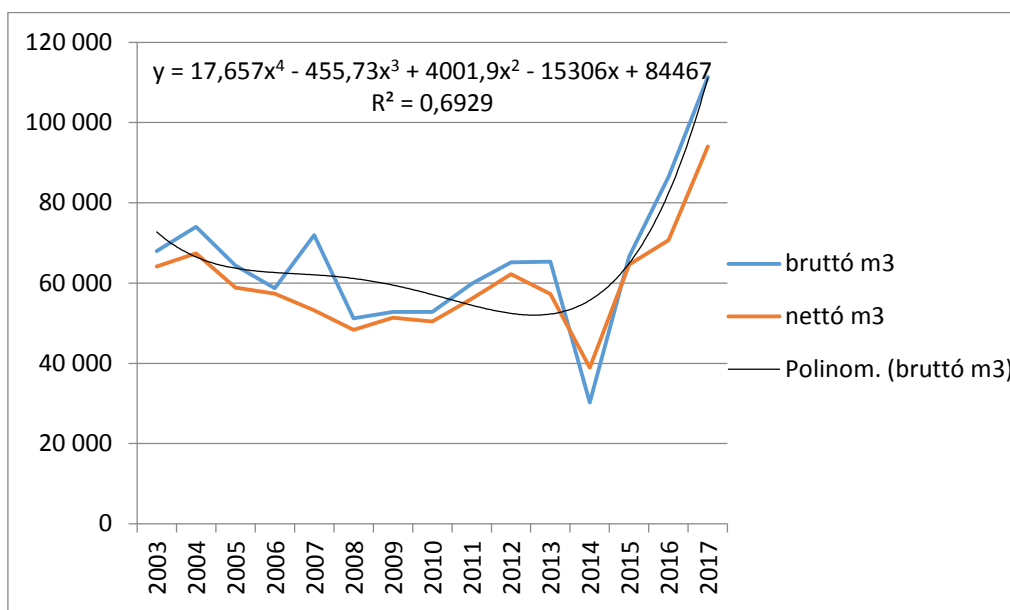
A legnagyobb területtel a tölgyfélék és a bükk rendelkezik, így a kitermelés alakulásán is látható, hogy ezekből a fajokból került ki a legtöbb faanyag. A 3. ábra a fafajtákra bontott átlagos kitermelést szemlélteti.



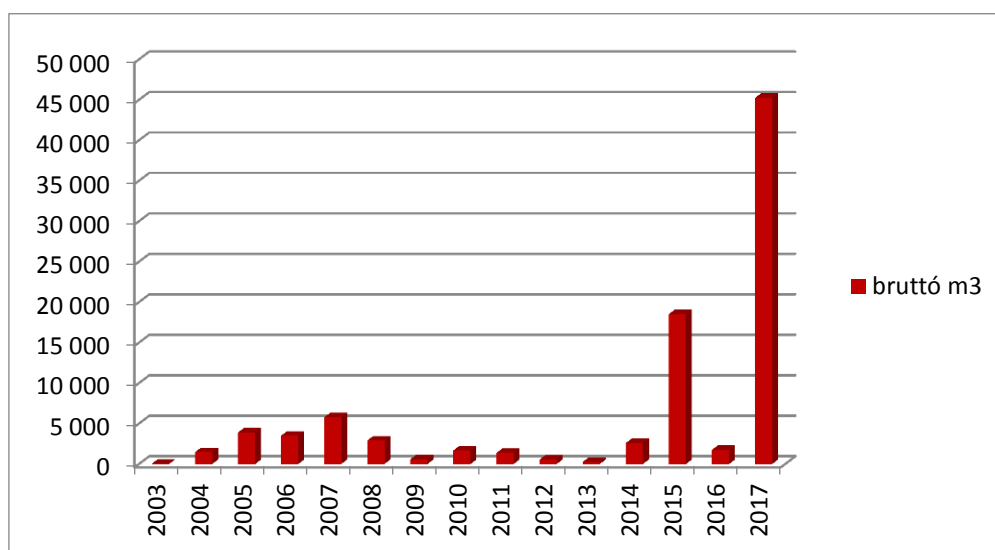
3. ábra Fafajtákra bontott átlagos kitermelés (%) 2003-2018,

3. Eredmények

Az erdészetben megjelenő káresemények közül e cikkben csak a nagyobb területet érintő, fontosabb fajokra kiterjedő károsításokat vizsgáljuk. A bükkösökben a 2014-es viharkár és ebben az évben megjelenő jégkár következtében jelentős mennyiségű EÜ és kényszer kitermelés történt. A viharkár következtében a következő években is folytatódott a kitermelés, ami a 4. ábrán is szembejuthat. Majd 2017-ben, a tavasszal lehulló már levélbe borult erdőt érő hó okozott problémákat.



4. ábra Bükk (*Fagus sylvatica*) össz. kitermelés éves alakulása

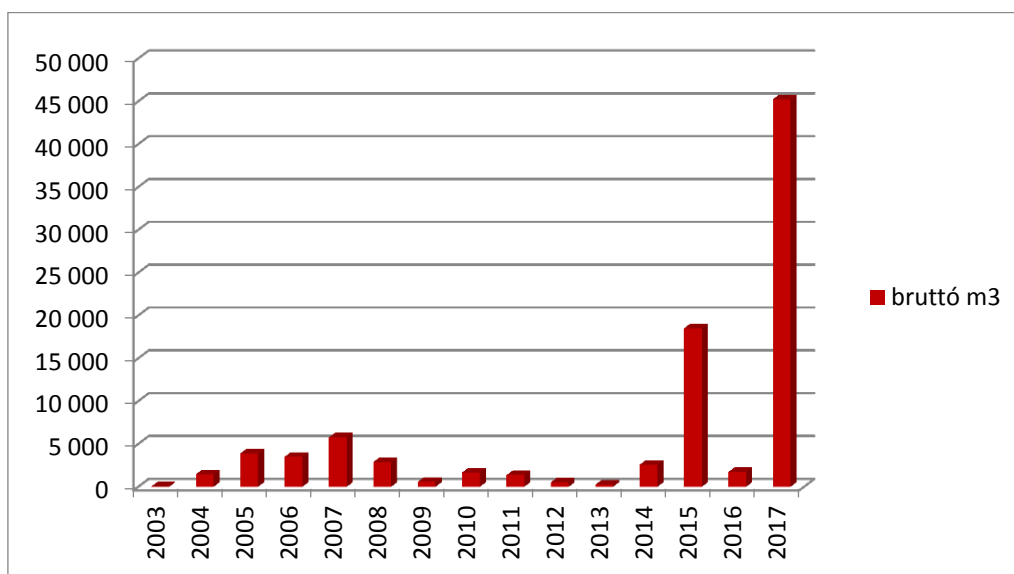


5. ábra Bükk EÜ kitermelés alakulása

Az EÜ kitermeléseknél a 2014-es időszaktól kezdve kiugró értékek jelennek meg. A vihar, hó és jégkarak következtében a bükk esetében az átlagos éves kitermelés közel a duplájára nőtt.

A fenyőfélék esetében, a szű legyengíti az egyedeket. A téli időszak átlaghőmérséklete is emelkedett az utóbbi években, így a kártevők könnyebben áttelelnek. Így a vihar, szél és jégkarak fokozottabban jelennek meg a legyengült állományokon. A helyzetet rontja az utóbbi évek nyári és téli hőmérséklet emelkedése, az extrém hőség is.

A fenyők EÜ kitermelését egyrészt a szű, másrészt a vihar, szél és jégkarak, illetve ezek együttes hatásai okozták. A következő ábrán szembevetjük az utóbbi 7-8 évben mennyire megnőtt a károk miatti kényszer kitermelés.



6. ábra Fenyőfélék Eü kitermelése

Következtetések

Összességében elmondható, hogy az Európai trendekhez hasonlóan, a vizsgált területen az utóbbi évtizedben jelentősen nőttek a biotikus és abiotikus károk, illetve az ezek miatti kitermelések. A bükkösök esetében a legnagyobb kárt a szél, vihar, jég és hókár okozta. Míg fenyőféléknél a szú is gyengíti az állományokat, melyek így kevésbé ellenállóak egy széldöntésnek vagy éppen jégkárnak. Az EÜ kitermelések az utóbbi hét év meteorológia káreseményei miatt jelentősen nőttek, az előző évek átlagához képest. Ha a klímaváltozás közvetett következményeként ezen események folytatódnak, az a jövőben is érinteni fogja a kitermelések alakulását. El kell gondolkodni a fajtaszerkezet átalakításán, előtérbe helyezni a klímarezisztens fafajok telepítését, ami komoly kihívás elé állítja az erdészeteket.

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

Alexa Michel, Walter Seidling, and Anne-Katrin Prescher (editors) (2018): ICP Forest Report, Forest Condition in Europe (2018) Technical Report of ICP Forests Report under the UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution, Air Convention, 23 p.

Dale V.H., L.A. Joyce, S. McNulty, R.P. Neilson, M.P. Ayres, M.D. Flannigan, P.J. Hanson, L.C. Irland, A.E. Lugo, C.J. Peterso D. Simberloff, F.J. Swanson, B.J. Stocks, B.M. Wotton (2001): Climate change and forest disturbances, *BioScience*, 51 (2001), pp. 723-734

EAESAC- European Academic Science Advisory Council (2018): Extreme weather events in Europe - https://easac.eu/fileadmin/PDF_s/reports_statements/Extreme_Weather/EASAC_Statement_Extreme_Weather_Events_March_2018_FINAL.pdf

Hirka Anikó, Pödör Zoltán, Garamszegi Balázs, Csóka György (2018): A MAGYARORSZÁGI ERDEI ASZÁLYKÁROK FÉL ÉVSZÁZADOS TRENDJEI (1962-2011), *Erdészettudományi közlemények*, 8 vol, 11-25p.

Herve Jactell et al.(2009): The influences of forest stand management on abiotic and biotic risk of damage, *Forest Science*, vol 66. online at : INRA EDP Sciences

Hilszczański, J.(2014): Dynamika populacji owadów oraz ocena ich funkcji ekologicznych w ekosystemach leśnych w związku ze zmianami klimatycznymi [The dynamics of the insect populations and the assessment of their ecological functions in forest ecosystems in relation to climate change]. In *KLIMAT. Lasy i Drewno a Zmiany Klimatyczne: Zagrożenia i Szanse. Materiały Pierwszego Panelu Ekspertów w Ramach Prac nad Narodowym Programem Leśnym [CLIMATE. Forests and Wood and Climate Change: Threats and Opportunities. Materials of the First Panel of Experts as Part of Work on the National Forest Program]*; Rykowski, K., Ed.; Instytut Badawczy Leśnictwa: Sękocin Stary, Poland, 2014; pp. 174–188.

Jaworski, T.; Hilszczański, J.(2013): The effect of temperature and humidity changes on insects development and their impact on forest ecosystems in the context of expected climate change. *Leś. Pr. Bad./ For. Res. Pap.* 74, 345–355.

Nébih Erdészeti Igazgatóság (2019): Erdeink egészségi állapota, Országos jelentés, Hungary Forest Report, pp.12

Seidr R. et al. : Rupert Seidl, Dominik Thom, Markus Kautz, Dario Martin-Benito, Mikko Peltoniemi, Giorgio Vacchiano, Jan Wild, Davide Ascoli, Michal Petr, Juha Honkaniemi, Manfred J. Lexer, Volodymyr Trotsiuk, Paola Mairota, Miroslav Svoboda, Marek Fabrika, Thomas A. Nagel & Christopher P. O. Reyer (2017) - Review Article, Forest disturbances under climate change *Nature Climate Change* volume7, pp.395–402

Stedelman et al (2014) Spatial interactions between storm damage and subsequent infestations by the European spruce bark beetle- Forest Ecology and Management Volume 318, 15 pp. 167-174

Sierota Z et al (2019) : Abiotic and Biotic Disturbances Affecting Forest Health in Poland over the past 30 Years: Impacts of Climate and Forest Management ,*Forests* 2019, 10(1), 75Review

Urban P.(2015): Jégkárok az EGERERDŐ Zrt. által kezelt erdőkben- Ice damage in the area of Egererdő Plc., Erdészeti lapok, vol CL/1. , https://erdeszetilapok.oszk.hu/01799/pdf/EPA01192_erdeszeti_lapok_2015-01.pdf

A HARVESZTERES FAKITERMELÉSEK KÍMÉLETESSÉGÉNEK VIZSGÁLATA

Szakálosné Mátyás Katalin¹ – Sudár Ferenc János¹ – Horváth Attila László¹

Erdészeti-műszaki és Környezettechnikai Intézet

Erdőmérnöki Kar

Soproni Egyetem

Bajcsy-Zsilinszky u. 4., H-9400 Sopron

szakalosne.matyas.katalin@uni-sopron.hu

Kivonat: Az évtizedekig csak Nyugat-Európa fahasználataira jellemző magasan gépesített harveszteres fakitermelések, mára már hazánkban is egyre nagyobb arányban vannak jelen és nem csak a véghasználatok során, hanem akár gyéritésekben, tisztításokban is. Alkalmazásuk több kérdést vet fel, amelyek kutatása aktuális feladat. A gazdaságossági kérdések, teljesítmény és gépkihasználat vizsgálat mellett a többműveletes fakitermelő gépek környezetre gyakorolt hatásait, használatukkal okozható károsításokat is mérni kell, a rendszerek alkalmazhatóságát pedig mérlegelni.

Kulcsszavak: harveszteres fakitermelés, kéméletesség, értékelés

1. Bevezetés

A fejlett, modern, nagy teljesítményű gépek, gépvezérlések egyre nagyobb arányú alkalmazásával párhuzamosan hangsúlyt kell fektetni a fahasználatok kéméletességének vizsgálatára is, hiszen az új nemzeti erdőstratégia kiemelt erőforrásként, „nemzeti kincsként” tartja számon erdeinket. A használati lehetőségek mellett számos egyéb, közjóléti, védelmi funkciót is betöltenek erdőállományaink és fontos szerepük van a szén-dioxid megkötésben.

A fakitermelések során fellépő károsítások történhetnek közvetlenül, vagy közvetett módon, káros hatásuk lehet rövid-, illetve hosszútávú, valamint megállapítható minőségi és mennyiségi károsítás. A fakitermelés közbeni károsítás érheti a visszamaradó állomány faegyedeit; az újulatot; a közelített faanyagot; a talajt; a levegőt; a földalatti, -feletti vizeket; az erdei állatokat és növényeket; műtárgyakat, gépeket, eszközöket; valamint az embert (Rumpf, 2016).

Célkitűzéseink között szerepelt a magasan gépesített munkarendszerek kéméletességének vizsgálata és a munka körülményeinek pontos leírása, amelyhez a munkavégzők véleményét a hatótényezőket kutattuk, majd terepi mérések zajlottak.

2. Anyag és módszer

2.1 Befolyásoló tényezők megállapítása

A fakitermelések során történő kéméletességi vizsgálatok alapját a munkát befolyásoló tényezők minél szélesebb körű feltárása adta, így ehhez – első lépésként – egy felmérés zajlott. Kérdőív segítségével a gyakorlati szakemberek véleményének megismerésére valamint a munkájukra ható tényezők összegyűjtésére volt lehetőség.

Az első kérdéscsoport 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 (gépközlelőre) 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 kérdőívben 1-10 -ig terjedő skálán (1: egyáltalán nem, 10: erősen befolyásol) kellett értékelni (1. ábra), illetve az utolsó kérdésben személyes véleményét lehetett megfogalmazni.

Állományadatok

15. Fafaj
 Pl: Csertölgy, Kocsánytalantölgy, Bükk, Erdeifenyő, Lucfenyő stb
 Soranként csak egy oválist jelöljön be.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Egyáltalán nem befolyásolja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Erősen befolyásolja

16. Faegyedek formája
 Pl.: Egyenes, ágas, görbe, stb (a választékeloszlással erősen összefügg)



Soranként csak egy oválist jelöljön be.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Egyáltalán nem befolyásolja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Erősen befolyásolja

17. Választékeloszlás
 Fafajtától, átmérőtől, egészségi állapottól, ágasságtól függ, pl.: Rönk - rövid, hosszú, fagyártmányfa, tűzifa, forgácsfa, energiafa stb.
 Soranként csak egy oválist jelöljön be.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Egyáltalán nem befolyásolja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Erősen befolyásolja

1. ábra: Kérdőív (részlet) (Sudár, 2018)

A válaszokban kapott eredmények könnyen átlagolhatók, szórás is számolható így láthatóvá válnak a megosztott kérdések is. Oszlop irányban átlagolva a befolyásoló tényezők súlyát kapjuk, sor irányban pedig az egyes válaszadók átlagos értékét (2. ábra), amely a komolytalan válaszok kiszűrésére alkalmas például, ha valaki válaszainak átlaga 1, vagy ahhoz közeli.

Az ön munkaköre	Egyéb észrevétel																																					
	Érő	Hőndésés/uzmana	Szél	Hőség	Köd	Megjegyzés/önosztó	Talajállapot	Évzrak	Domborzat	Lejtés	Közellőhálózat	Élővilág	Erdészeti/vadászati benedezés	Fafa	Fegyvedek formája	Választékelosztás	Kor	Magasság	Átmérő	Lombkoronák sűrűsége	Törzszám	Fenék	Lejtéllapot	Személyiség	Tapasztalat	Motiváltság	Fejlesztés a munkán	Munkakörülmények	Órállapot	Órabeállítások	Szakirodalom	Biológiai ismeretek	Szimulációs oktatás	Mentor	Átlag			
műszaki munkatárs	9	8	7	8	8	10	10	8	10	9	8	10	9	10	10	9	8	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	8,5
fakitermelő	9	7	6	6	8	9	10	6	8	8	9	8	8	9	10	9	8	9	10	10	10	10	6	8	7	9	9	9	8	10	9	7	4	7	4	10	8,1	
Fakitermelő	8	10	7	6	9	10	8	4	6	7	5	4	3	6	7	4	4	5	7	7	7	5	6	8	9	7	8	7	6	9	6	3	8	9	10	6,7		
Fahasználati ágazatvezető	5	5	7	3	3	10	3	8	8	7	3	3	8	8	2	4	3	3	8	8	10	8	8	10	8	8	8	8	9	9	5	5	7	7	6,3			
Fakitermelő	7	7	5	5	5	10	8	7	9	8	8	10	8	8	8	6	6	6	8	7	7	6	9	9	9	7	10	10	9	8	5	3	8	9	7,5			
tűzifa gyűjtő	7	1	3	5	6	10	6	1	1	3	4	5	2	4	9	8	4	8	6	4	2	3	5	10	9	10	6	10	3	6	8	8	5	8	5,6			
Erdézmérők	8	7	7	2	5	9	9	5	8	10	8	4	3	5	9	9	8	5	6	5	8	7	8	9	9	9	9	8	4	6	7	3	5	3	6	6,5		
Fakitermelő	9	1	8	7	1	9	9	9	9	9	8	7	8	7	8	4	4	8	7	6	8	9	9	9	9	9	9	9	9	9	7	9	9	5	4	7,4		
űrésztes	8	7	7	4	7	10	9	4	5	4	4	6	5	2	8	4	1	4	4	5	5	4	2	10	10	5	9	6	8	10	9	2	4	5	6	5,8		
szolgáltató	4	6	3	3	1	5	10	10	9	10	5	5	3	2	5	7	9	7	5	9	9	10	7	10	10	7	8	4	4	9	6	7	5	1	4	6,3		
Nyugdíjas 40évig erdész	10	10	7	1	6	10	10	10	9	10	10	7	6	10	6	9	1	10	6	3	10	10	10	9	10	8	10	1	1	10	6	6	5	10	10	7,6		
erdőgazdálkodási osztályvezető	8	5	8	5	5	10	10	10	8	8	10	5	5	10	8	9	9	5	5	5	5	7	8	10	10	10	10	9	8	9	10	7	9	10	10	8		
Fakitermelő	8	4	5	5	7	8	9	6	5	7	7	8	6	10	10	7	7	6	8	10	10	10	8	10	10	10	10	7	5	5	6	6	6	6	10	7,5		
Átlag	7	6,1	5,2	4,2	4,2	7,8	8,5	6,6	7,9	7,9	8,4	6,3	5	6,7	7,5	6	5,7	6,5	6,5	6,9	7,6	8	7	8,8	9,2	8,9	9,3	7,2	7,7	8,2	8	6,2	7,3	5,9	8,5	7,1		
Szórás	2	2,8	2,7	2,3	2,7	2,7	1,9	2,8	2,3	2,2	1,9	2,9	2,9	2,7	2,2	2,6	2,4	2,8	2,5	2,6	2,5	2,4	2,5	1,9	1,1	1,7	1,2	2,3	2,6	1,9	1,8	2,7	2,6	3	1,8	0,9		

2. ábra: A kérdésekre adott válaszok összesítése (részlet) (Sudár, 2018)

2.1 Terepi mérések előkészítése

A visszamaradó állományokban, fakitermelések során okozható sérülések vizsgálata hangsúlyos feladat, ezért a terepi felvételezések előhasználatokban történtek. Az adatrögzítésekhez az un. gyérítési eredménykontroll alapján készült felvételi lapok jelentették az alapot. Az előhasználatok körülményeinek rögzítése kiemelt fontosságú volt. A mintaterületek vizsgálatánál minden fa felmérésre került, így a visszahagyott faállományról pontos képet kaphatunk, amely szintén meghatározó körülmény a gyérítéseknél.

Az erdőállományokat a hektáronkénti fatérfogat, darabszám, átlagos tőtávolság, közelítőnyom távolság adatokkal jellemeztük. A faállomány jellemzői a körlap szerinti elegyarány, és a hektáronkénti átlagos bruttó és nettó fatérfogat. A jegyzőkönyvekben természetesen minden felmért faegyed átmérője és magassága is megtalálható. A különböző mintaterületek adatai között helyenként nagy eltérés volt, a kiértékeléseknél ezért a mintaterületek átlagait vettük, és nem összesítettük az adatokat (összes fatérfogat/összes terület), mert így a nagyobb mintaterületek adatai nagyobb súllyal kerültek volna bele az eredménybe.

A felvételezés a kérdőíves felmérésben megismert befolyásoló tényezők rögzítésével kezdődött, amihez egy protokoll űrlap készült (3. ábra). A releváns szempontok lehetséges válaszait tartalmazza, így a terepi bejárás és beszélgetés során csak be kell karikázni a vizsgált kitermelésre jellemző körülményeitket. Ez az űrlap lehetővé teszi, hogy minden fakitermelést ugyanazon szempontok szerint kategorizáljunk, és ez csupán néhány percet vegyen igénybe.

Munka környezeti kíméletességét befolyásoló tényezők								
Környezeti paraméterek								
Időjárás	Szép	Eső	Hó	Szél	Hőség	Köd	Jég	
Domborzat	SIK	AVM	MET	VHL	OLD	TETŐ	FEN	LP
Talajállapot	Kemény	Normál	Puha					
Évszak	Nyugalmi	Veget.						
Lejtés	SIK	5	10	15	20	25	30	TÖBB
Élővilág	Normál	Védett	FV					
Berendezés	Nincs	Van						
Egyéni								
lelkiállapot	nyugodt	Feldűlt						
személyiség	Precíz	Átlagos	Hanyag					
tapasztalat	profi	-	kezdő					
motivált	igen	-	nem					
felkészültség	pihent	normál	fáradt	ittas				
Feladat								
Feladat	motiváló	-	demotiváló					
Technikai háttér								
munkakörülmény	komfortos		nem komfortos					
Géptípus								
Gépállapot	kiváló							
Gépbeállítások	schwert előtolás fűrészlánc lengéscsillapítás vezérlő érzékenység daru gyorsaság							

3. ábra: Kíméletességet befolyásoló tényezők (Sudár, 2018)

Az erdőállomány leíró adatait a mintaterületeken gyűjtött ismérvek alapján határoztuk meg, így ezek nem szerepelnek a protokoll úrlapon. A hektáronkénti bruttó és nettó fatérfogatot, hektáronkénti darabszámot, körlap szerinti elegyarányt, közelítőnyom távolságot a későbbi kiértékelés során kaptuk meg.

A mintaterületeken a kíméletességgel kapcsolatosan gyökér-, tő-, törzssérülések és talajkárok (közelítőnyom mélysége) rögzítése történt. Sérülésnek számít a 10 cm² nagyobb olyan sérülés, amelynél a kéreg levált, a háncsrész, fatest védtelen az abiotikus és biotikus hatásokkal szemben. Az adatok kiértékeléséhez készült egy sablon (4. ábra), amely tartalmazza az összes mért adatot (fafajonként: átmérő, magasság, darabszám, sérülés, sérülés nagysága; mintaterületenként: közelítőnyom mélysége, közelítőnyom távolság, mintaterület oldalhosszai) és a belőlük számított értékeket (fatérfogat, körlap, mintaterület nagysága, sérülések darabszáma, aránya, körlap szerinti elegyarány).

6 mintaterület															16,0	17,0	14,5	18,0	312,1									
B			LF			EF			KTT																			
D	H	S	A	V(b)	V(vas)	D	H	S	A	V(b)	V(vas)	D	H	S	A	V(b)	V(vas)											
cm	m	cm	m ²	m ³	m ³	cm	m	cm	m ²	m ³	m ³	cm	m	cm	m ²	m ³	m ³											
0,0	0	0	0,000	0,000	0,000	29,5	21	0	0,068	0,829	0,767	28,0	18	0	0,062	0,602	0,497	42	23	0	0,139	1,967	1,827					
						21,5	18	0	0,036	0,400	0,368	41,0	22	0	0,132	1,509	1,268	20,5	16	0	0,033	0,295	0,252					
						31,0	20	0	0,075	0,877	0,805							35,0	19	0	0,096	0,000	0,000					
						20,5	18	0	0,033	0,364	0,336																	
						11,0	14	0	0,010	0,089	0,082																	
						19,0	19	0	0,028	0,321	0,297																	
						25,0	16	40	0,049	0,489	0,444																	
						10,0	8	0	0,008	0,053	0,048																	
						20,0	17	0	0,031	0,332	0,305																	
Σ			0	0,000	0,000	0,000	1	0,339	3,755	3,451	0	0,194	2,111	1,766	0	0,268	2,262	2,078										
%			0	0,0			11	42,4			0	24,2			0	33,4												
			%	%			%	%			%	%			%	%												

Közelítőnyom távolság
14,5 18,0 t= 16,25 m

Közelítőnyom mélység
0,0 1,0 m= 0,5 cm

Törzszám
n= 448,6 db/ha

Törzsszerűlés aránya
S= %

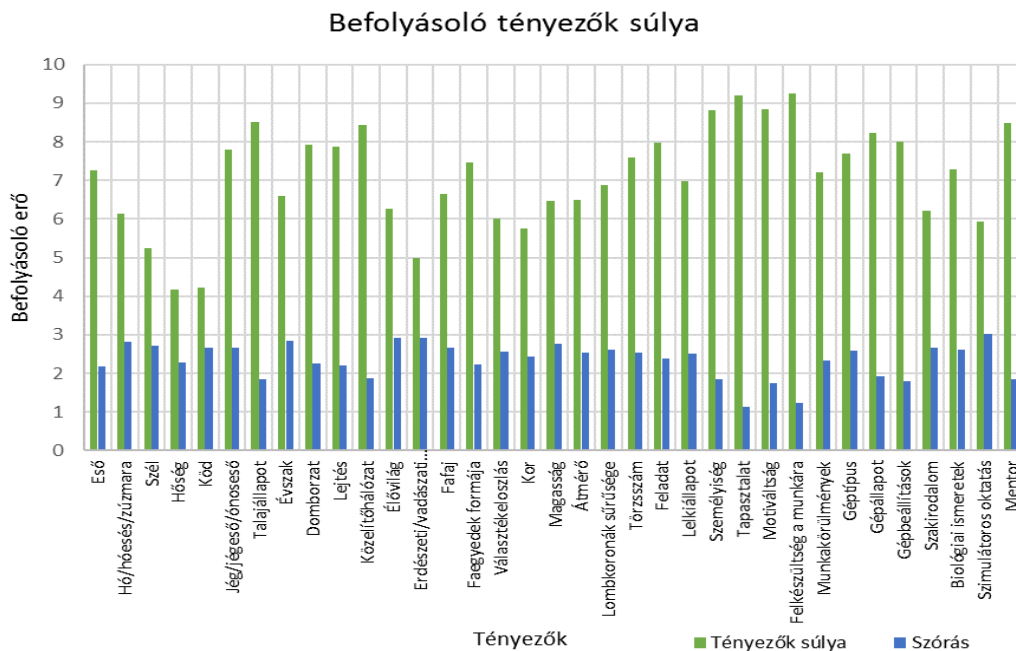
Fatérfogat
V(b)= 260,3 m³/ha

4. ábra: A mintaterületek kiértékelő sablonja (Sudár, 2018)

3. Eredmények

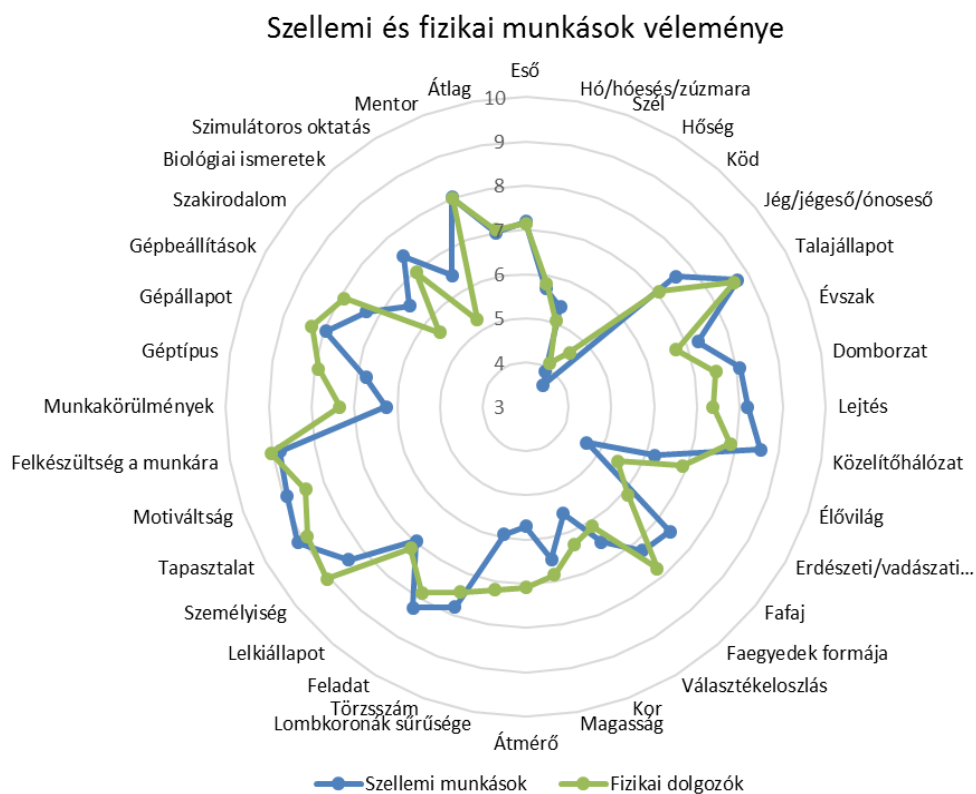
3.1. A kérdőíves felmérés eredményei

A felméréssel cél volt egy olyan séma alapjainak megalkotása, amellyel a gyakorlatban is adott szituációban egzakt módon becsülni lehet a várható károk mennyiségét. Ehhez a körülmények felmérése után a megadott súlyszámokkal lehet megmutatni illetve meghatározni mennyire kedvezőtlen az adott helyzet. A kérdőívre összesen 62 értékelhető válasz érkezett, ennek 14,5%-a külföldről. A kiértékelés során jól kirajzolódott, hogy a két legmeghatározóbb körülmény-csoport, a környezeti paraméterek, valamint az egyénre (gépkészlőre) jellemző tényezők (5. ábra).



5. ábra: A befolyásoló tényezők súlya (Sudár, 2018)

A válaszadóknak közel fele-fele volt fizikai (34 fő) valamint szellemi (28 fő) dolgozó. Összehasonlítva válaszaikat (6. ábra), meglepő módon csak 3 tényező esetében kaptunk látványosabban eltérést. Az átmérőt (14%-os eltérés) és lombkoronák sűrűségét (13%-os eltérés) a fizikai dolgozók tartották meghatározóbbnak, míg a szimulátoros oktatás fontossága a szellemi dolgozók esetében erősebb 12%-os eltéréssel.



6. ábra: Szellemi és fizikai dolgozók véleménykülönbsége (Sudár, 2018)

Vizsgálva a hazai és külföldi válaszokat érdekes különbségek rajzolódnak ki.

A környezeti paraméterek tekintetében általánosságban megállapítható, hogy a magyar válaszadók gondolták meghatározóbbnak. A legnagyobb különbség a jég/jégeső/ónoseső kérdés kapcsán volt, a magyar válaszadók 37%-kal fontosabbnak ítélik.

A második nagy eltérés az oktatás területén tapasztalható, a szimulátoros oktatás mellett a mentor szükségességét a magyar válaszadók 24%-kal gondolják hangsúlyosabbnak. A szöveges válaszok szerint is a Magyarországon képzett erdészeti szakmunkások nem elég felkészültek az önálló munkavégzésre.

A harmadik jelentős különbség a környezeti paraméterek között van. A külföldiek számára meghatározóbb az élővilág 22%-kal.

A negyedik lényeges eltérés a gépkezelő jellemzői terén, a munkára való felkészültségben van. A magyar válaszadók 21%-kal fontosabbnak tartják.

További fontos különbség 19% és 17% az állományjellemzők között található a kor és a magasság, amelyeket a külföldi válaszadók tartottak lényegesebbnek. A fafajon kívül, az erdei berendezéseket, a faegyedek formáját, a választékeloszlást, az átmérőt, bár nem jelentős eltéréssel, de szintén a külföldi válaszadók tartották meghatározóbbnak.

A szöveges válaszok nagy része a munkaerőhiányt és az alacsony vállalkozói díjakat részletezi, amelyek miatt a géppark nem vagy nehezen fejleszthető, a hatékonyságot viszont ennek ellenére igyekeznek fokozni, így jelentős a károkozás.

3.2. A terepi felvételezés eredményei

A terepi mérések a fakitermeléssel érintett állományokban, termelésenként 7-8 mintaterületen történtek. A mintaterületeken felvett adatok és a belőlük származtatott értékek segítségével a teljes kitermelésre általánosan megállapítható jellemzők kalkulálására volt lehetőség (7. ábra). A különböző mintaterületek adatai között helyenként tapasztalható volt eltérés, néha viszonylag nagy, ezért az egy fakitermelési egységre vonatkozó kitermelési jellemzők kalkulálása során a mintaterületek átlagainak az átlagát vettük, és nem összesítettük az adatokat (összes fatérfogat/összes terület), mert így a nagyobb mintaterületek adatai nagyobb súllyal kerültek volna bele az eredménybe.

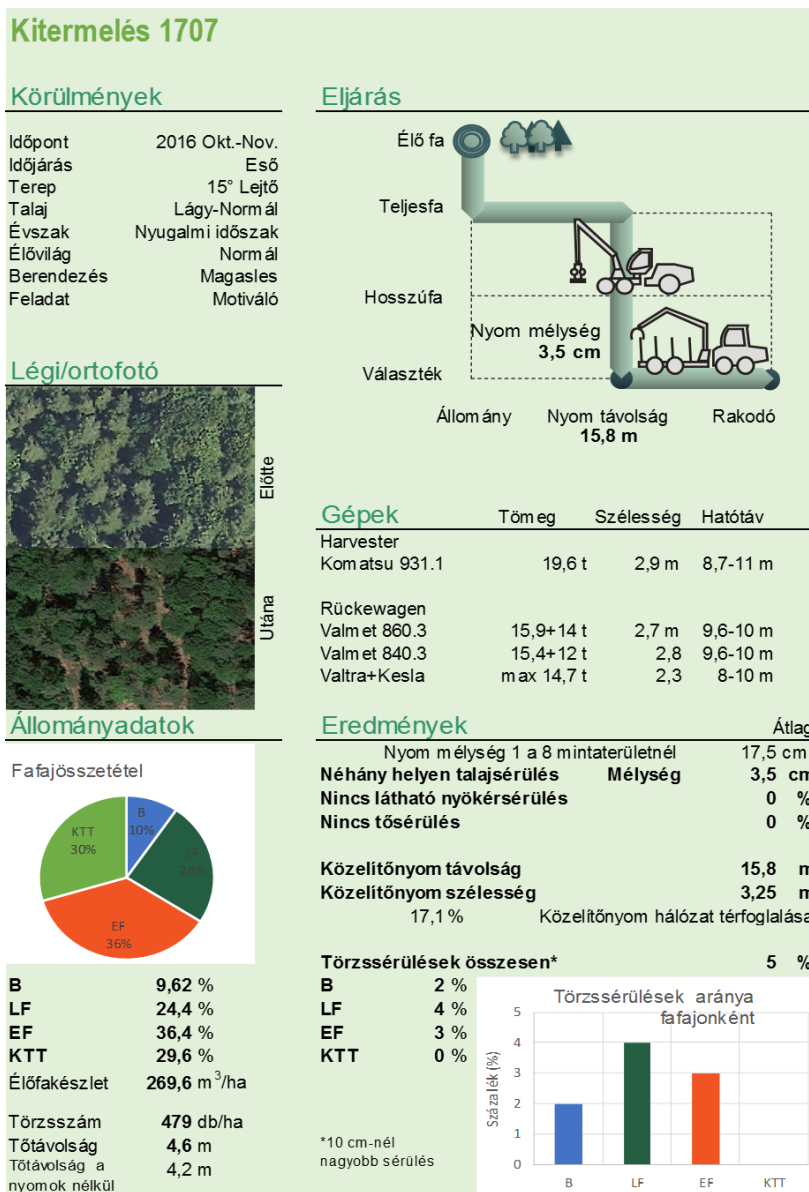
1707 kiértékelése

Bükk		Lucfenyő		erdeifenyő		kocsánytalanfű		
sérülések aránya	0,094	sérülések aránya	0,117	sérülések aránya	0,193	sérülések aránya	0,152	
körilap szerinti elegyarány	8,014	körilap szerinti elegyarány	20,3	körilap szerinti elegyarány	30,34	körilap szerinti elegyarány	24,68	\sum 83,3
hektárankénti átlagos bruttó fatérfogat	2 9,62	hektárankénti átlagos bruttó fatérfogat	4 24,4	hektárankénti átlagos bruttó fatérfogat	3 36,4	hektárankénti átlagos bruttó fatérfogat	0 29,6	\sum 100,0
hektárankénti átlagos vastagfa térfogat	44	hektárankénti átlagos vastagfa térfogat	52,5	hektárankénti átlagos vastagfa térfogat	83,1	hektárankénti átlagos vastagfa térfogat	78,5	ellenőrz
	% m ³ /ha	% m ³ /ha	% m ³ /ha	% m ³ /ha	% m ³ /ha	% m ³ /ha		V= 277,7
								m ³ /ha

A kitermelést jellemző átlagadatok				
sérülések aránya	fatérfogat /ha	darabszám / tőtáv	közéltőnyom mélység	közéltőnyom távolság
S= 5	V(t) 269,6	n= 478,5 4,6	m= 3,5	t= 15,8
%	m ³ /ha	db/ha m	cm	m
szórás: 5	58	193	6	2

7. ábra: Fakitermeléssel érintett állomány (pl. 1707) átlagadatai (Sudár, 2018)

Kitermelésenként készíthető egy-egy összesítő, értékelő lap, amelyen minden, a beavatkozást leíró, azt jellemző tényező, az alkalmazott munkarendszer, a használt gépek, alapvető állományadatok és a kíméletességre vonatkozó mérések eredményei feltüntetésre kerültek (8. ábra). A vizsgált fakitermelési körülményei és a fáhasználat következményei ennek köszönhetően könnyen áttekinthetőek és értékelhetőek.



8. ábra: 1707-es gyérítés jellemzői (Sudár, 2018)

A 10 kitermelés mért illetve számított adatainak, jellemzőinek felhasználása lehetőséget biztosítanak arra, hogy vizsgáljuk az egyes sérülések kártételek előfordulásának gyakoriságát általánosítva.

Az egyes kitermeléseknél kapott, fafajonkénti sérülések arányszámainak összesítése, és átlagolása a szakirodalom szerinti várt eredményeket hozta, vagyis a legsérülékenyebb a vékony kérgű bükk (10,2%) és jegenye- illetve lucfenyő (7,5%; 7,2%). Az erdei fenyő 6,0%-án míg a vörösfenyő 3,3%-án és a kocsánytalan tölgy 2,7%-án volt tapasztalható törzssérülés.

Az összes törzssérülések arányait, valamint az állomány adatokat (fatérfogat, törzsszám, tőtávolságok) vizsgálva egyértelműen megállapítható, hogy az átlagos tőtávolság csökkenésével jellegzetesen megugrik a sérülések aránya.

Az átlagos közelítőnyom-távolság 16,2 m, legkisebb távolság, 14,4 m, a legnagyobb 18,4 m volt. Az átlagos közelítőnyom szélesség 3-3,5 m. Átlagosan az erdőállomány 16,7%-át teszi ki a közelítőhálózat ami elég jónak mondható. 1-2 cm-nél mélyebb csapa ott alakult ki, ahol a lejtés megnő (20° feletti), a munkát alacsonyabb teherbírású talajon végezték, és nem volt elég vastag a gallyszőnyeg. A közelítőnyomok kialakításából adódóan elég hely van a gépek mozgásához, így tőserülés nem fordult elő.

4. Összefoglaló értékelés, következtetések

A kutatás során nagy hangsúlyt fektetődött a harveszteres munkát befolyásoló tényezők feltárására. Megállapítható, hogy a környezeti paraméterek, valamint a gépkezelő egyéni tulajdonságai lehetnek a legnagyobb hatással a kitermelés milyenségére. A felvételezéseket tehát minden esetben a körülmények rögzítésével kell kezdeni, amelynek köszönhetően a kapott értékek összehasonlítási alapként is szolgálhatnak.

A több mint 70 mintaterületen történt mérések közül csupán 2 mintaterületnél tapasztaltunk kritikus, 10 cm-nél mélyebb közelítőnyomot (talajsérülést). Gyökérsérülés a harveszterek munkájának köszönhetően szintén nem jellemzőek, mivel a döntés után a gallyazás a közelítőnyom felett történik, így a gépek mindig gallyszőnyegen mozognak. A lucfenyőnél fordulhat elő a sekélyebb termőrétegű vázталajoknál gyökérsérülés. Különösen igaz ez akkor, ha a gyérités erélye alacsony és a gallyszőnyeg megszakad. A felszínhez közel futó tányérgyökérzetet akár néhány cm mély csapa is megsértheti. A közelítőnyomok kialakításából adódóan elég hely van a gépek mozgásához, így tőrsérülés sem fordult elő. 30-40%-os erélyű gyéritések után körülménytől függően a törzssérülés 0-19% volt. Átlagosan 8-9% volt a sérült fák aránya. Gyakorlati tapasztalat, hogy a viharkárok nagyobb számban jelentkeznek ugyanazon erdészet ugyanazon kerületében a géppel végzett kitermelések után, mint a kézi fakitermelésnél. Oka valószínűleg az erősebb belenyúlás, amely a gép kihasználtsága miatt elengedhetetlen, illetve a közelítőnyomok szabályossága, amelyen a szél felgyorsulhat.

A vizsgálatok tanúságaként 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 kérdőíves felmérésből is kiderül, hogy vállalkozóink alulfizettek és nem érzik hogy nehéz, veszélyes munkájuk megbecsült lenne, hiányzik a szakképzett, felkészült munkaerő Minőségi javulást pedig csak akkor várhatunk ha etéren változás következik be.

5. 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

Horváth A. L., Szakálosné Mátyás K., Horváth B. (2015): Harveszteres fakitermelés normatáblázatai. V. Kari Tudományos Konferencia, Nyugat-magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Sopron

Rumpf J. (szerk.), Horváth A. L., Major T., Szakálosné Mátyás K. (2016): Erdőhasználat, Mezőgazda Kiadó, Budapest, ISBN:9789632867199, 390 p.

Sudár F. J. (2018): Kíméletességi vizsgálatok magasan gépesített fakitermelési munkarendszerekkel kezelt erdőkben. Lővérprint, Sopron 83 p.

NYÁR ÉS AKÁC ÜLTETVÉNYEK SZEREPE A FENNTARTHATÓ NYERSANYAG BIZTOSÍTÁSBAN

Németh Róbert, Fehér Sándor, Komán Szabolcs, Bak Miklós

Soproni Egyetem, Faanyagtudományi Intézet

koman.szabolcs@uni-sopron.hu

Abstract: *A növényi eredetű biomassza felhasználása bioenergia céljára kulcsfontosságú tényező a fenntartható fejlődéshez való hozzájárulás szempontjából. A kutatásban 3 lombos fafaj (2 nyár és fehér akác) Populus x euramericana. cv. 'I-214', Populus x euramericana cv. 'Pannonia' és Robinia pseudoacacia fűtőértéke és hamutartalma került vizsgálat alá. A minták 3 különböző korosztályból kerültek ki annak érdekében, hogy a kor befolyásoló hatása megállapítható legyen a vizsgált tulajdonságokra. Jelentős különbségek mutatkoztak a kéreg, szíjács és a geszt tulajdonságai között. A 10 éves akác kérge mutatta a legmagasabb fűtőértéket (21,53 MJ/kg), míg a 19 éves 'Pannonia' gesztje adta a legalacsonyabbat (17,68 MJ/kg). A hamutartalom tekintetében jelentős különbségek voltak tapasztalhatóak a kéreg és a fatest között. Míg a 26 éves akác gesztje csak 0,2% hamutartalommal rendelkezett, addig a 10 éves 'Pannonia' kérge már 5,2%-kal.*

APRÍTÉK ELŐÁLLÍTÁS MUNKARENDSZERÉNEK VIZSGÁLATA KÉT ELTÉRŐ ADOTTSÁGÚ ERDŐRÉSZLETBEN

Szakálosné Mátyás Katalin¹ - Horváth Attila László¹ - Baló Tünde² - Bácsai Róbert¹ - Vágvölgyi Andrea¹

¹Soproni Egyetem, Erdészeti-műszaki és Környezettechnikai Intézet
9400 Sopron, Bajcsy-Zs. u. 4.

²Szegedi Egyetem, Folyamatmérnöki Intézet
6725 Szeged, Moszkvai krt. 9.

szakalosne.matyas.katalin@uni-sopron.hu

Kivonat: *Az erdőállományok fahasználatai során történő aprítéktermelés, a dendromassza előállítás egyik lehetséges módja, amely többféle munkarendszerben, gépegyüttessel valósítható meg. Jellemzően az ún. vágástéri melléktermék, egyéb választékként nem hasznosítható, fakitermeléskor keletkezett faanyag (pl. vékonyanyag, gallyanyag) képezheti a faapríték alapanyagát. Hatással van a folyamatokra az előállítás helye, amely lehet akár a vágásterület (tő mellett vagy közelítőnyom), a felkészítőhely (rakodó) vagy egy telephely is. Az eltérő körülmények teljesítményre gyakorolt hatásának vizsgálata érdekében, munkaidő tanulmányok készültek két eltérő adottságú területen a gépláncok termelésének időelemzése segítségével.*

Kulcsszavak: aprítéktermelés, munkarendszer, munkaidő szerkezet, teljesítmény

1. Bevezetés

A fakitermelések során képződő ún. vágástéri melléktermék vagy erdőnevelési munkák alkalmával nyert, választékot nem adó faanyag hasznosítása napjainkban leginkább faapríték formájában valósulhat meg. A nemzetközi szakirodalom az aprítéktermelést a "teljes dendromassza" hasznosításának is nevezi, mert előfordulhat, hogy a faipari feldolgozás mellékterméke, vagy különleges esetekben a tuskó, és a gyökér is aprításra kerül.

Munkarendszerek tekintetében a faanyag felaprításának helye szerint többféle változat különíthető el. Amennyiben az aprítógép, gépegység kialakítása, az állomány és a terepviszonyok lehetővé teszik akár tő mellett elvégezhető a művelet vagy az

állományban, de meghatározott ún. közelítőnyomokon (munkanyiladékon) is. Olyan esetekben, amikor az alapanyag mozgatására (közelítésére) szükség van, hogy az az aprításra alkalmasabb helyre kerüljön ahonnan az elszállítás akár közúti járművekkel történhet, felkészítőhelyi aprítéktermelésről beszélünk. Telepi aprítás jellemzőbben a fafeldolgozás során képződött „hulladékok” aprítása során valósul meg vagy tárolási, vevőkiszolgálási feltételek miatt.

Az eltérő rendszerben és különböző gépekkel végrehajtott termelő tevékenységek vizsgálata rendkívül fontos, főként az erdőgazdálkodási munkák során, ahol a változatoknak szinte „se szeri se száma”. Lényeges megismerni az eltérő körülmények között elérhető teljesítmény értékeket és az azt befolyásoló tényezőket. A vizsgálat során az apríték termelés folyamatát elemeztük valós körülmények között az alapanyag összegyűjtésétől egészen az apríték szállításáig.

A motorfűrészes fakitermelés során a fákat igyekeznek olyan módon kidönteni, hogy a gallyazás, elődarabolás és a választékok kialakítása során keletkező apríték alapanyagának szánt farészek kisebb, koncentrált területeken helyezkedjen el az adott vágásterületen, lehetőleg olyan szisztéma szerint, hogy a forvarderekkel gazdaságosan össze lehessen gyűjteni. Ezt a koncentrált olykor kézi előközelítéssel is segítik. Elsőként az értékesebb hengeres választékokat közelítik és készletezik, majd ezt követően az apríték alapanyagot.

A harveszter segítségével végzett fakitermelések menete, ettől eltérő a gép sajátos tulajdonságaiból adódóan. A harveszter megkezd az erdőrésztlet letermelését, a vágáspászták közepén kialakított közelítő nyomokon haladva. A pászták szélessége, így a közelítő nyomok távolsága is alapvetően a harveszter gémkinyúlásától függ, annak kétszerese, körülbelül 20 m. A harveszter az általa kialakított közelítőnyomok két oldalára, kisebb halmokba koncentrálna az önmaga által választékolt, darabolt faanyagot és mellé az apríték alapanyagot, így a gép előrehaladása során több ilyen rakat képződik. A közelítést végző forvarderek időben késleltetve kezdik meg a munkát, hiszen a letermelés lassabb folyamat a közelítésnél. A faanyag összegyűjtését a forvarderek a harveszter által kialakított nyomon haladva végzik, annak két oldaláról felterhelve. A faanyag összegyűjtése gyorsan halad ez esetben, mivel mind a hengeres választékok, mind az apríték alapanyag koncentráltan helyezkedik el a területen, valamint a terület sem károsodik jelentősen, mivel a nagy erdőszeti gépek mind, a már előzőekben említett vágáspászták kialakítása során használt közelítő nyomokat veszik igénybe a munkájuk elvégzéséhez.

2. Anyag és módszer

Az egyes gépek teljesítményét a rájuk jellemző folyamatok időelemzésével, és az általuk kitermelt, feldolgozott, szállított faanyag mennyiségével lehet a leginkább szemléltetni. A terepi felvételezés során az időszerkezet kalkulálásához szükséges mérések zajlottak, és mivel az egyes műveletelemek helyenként gyorsan váltották egymást, a haladó időmérés módszer alkalmazása volt kézenfekvő. A módszer előnye, hogy az időszükségletekhez a fakitermelés alatt a stopperóráról csak a műveletelemek, mint pl. anyagrendezés, átállítás, tiszta aprítás befejezéséhez tartozó időket szükséges leolvasni és feljegyezni. Továbbá rögzítésre kerültek az egyes műveletek alkalmával kitermelt, feldolgozott, szállított faanyag mennyiségek a teljesítmények kalkulálásához. Az időadatokból és a hozzájuk tartozó mennyiségi adatokból az

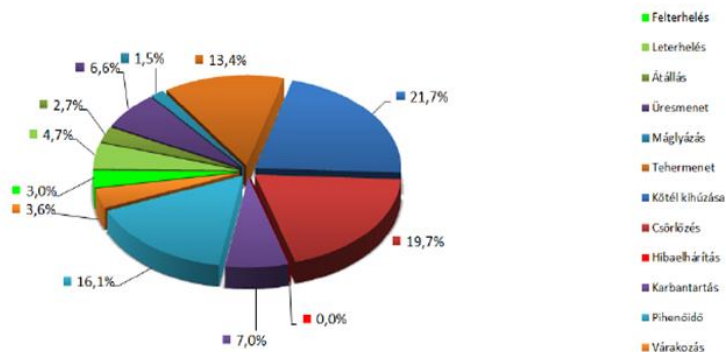
óránkénti munkateljesítmény és a műszakteljesítmény határozható meg. Az egy műszakra vonatkozó teljesítmény átlagosan 8 órás műszakidőre és 60%-os gépkihasználatra számolható a hazai fahasználati munkákban alkalmazott gépek tekintetében. A mérések két mintaterületen vagyis két erdőrészletben zajlottak.

3. Eredmények

3.1. Munkaidő szerkezet vizsgálata

3.1.1. 1-es számú mintaterület

Viszonylag kis kiterjedésű cseres-kocsánytalan tölgyes állomány. A fakitermelést motorfűrészsel, a közelítést csörlős vonszolóval (Timberjack 240C), az aprítást JENZ HEM 593Z aprítógéppel, a szállítást Renault 460 DXI+ Knapen trailers 90 tehergépjárművel végezték. A letermelés során a teljesfa termelési munkarendszer felső felkészítő helyi változatát alkalmazták. Az erdőrészlet főút vonal közelében fekszik, mellette szilárd burkolatú bekötőút található, így a faanyag felterhelése és elszállítása minden időjárási körülmény között megoldható volt. A kitermelt faanyagot teljes fában közelítették a munkapadra, majd ott gallyaztak, választékoltak, daraboltak és rakásoltak elkülönítve az apríték alapanyagot. A faanyagot a vállalkozó telephelyére szállították. A csörlős vonszoló munkaidő szerkezetét az 1. ábra foglalja össze.



1. ábra: Csörlős vonszoló munkaidő szerkezete (Bácsai, 2017)

Az ábrán látható a tehermenet viszonylag magas értéke (13,4%), melynek oka, hogy a kitermelt fák jelentős térbeli mérettel rendelkeztek, így a vonszoló csörlőzés és közelítés során is nagy megterhelésnek volt kitéve. Emellett volt pihenő idő, szükség volt karbantartásra is, valamint jelentős százalékot (21,7%) képviselt a csörlőkötél kihúzása is. Összeségében a jól szervezett munkának köszönhetően a gépkihasználati tényező 73,3% volt.

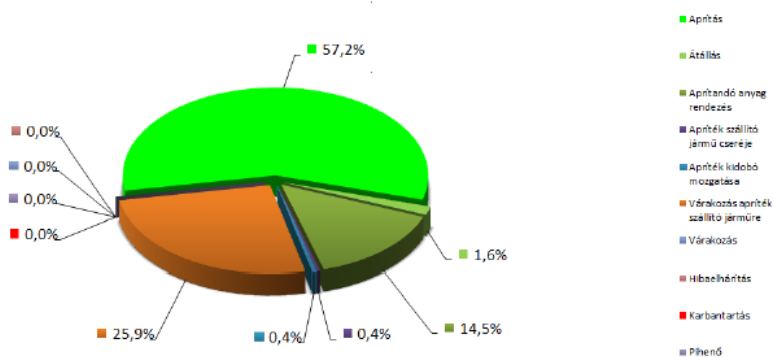
Az 1. táblázat a vonszoló mért teljesítményét és a magyarországi átlagra számított várható teljesítményét mutatja a mért adatok alapján

1. táblázat: Timbejack 240C csörlős vonszoló teljesítménye (Bácsai, 2017)

Teljesítmény		m ³ /h	m ³ /műszak
Közéltés	(F+L+Á+CS+KK+M+U+T)	46,2	369,2
Várakozás nélk. időben	(Ö-V)	35,1	280,8
Teljes időben	(Ö)	33,8	270,7

Várható teljesítmény		m ³ /h	m ³ /műszak
Közéltés (P _{M.o.átl.})	(F+L+Á+M+KK+CS+U+T)	27,7	221,5
Közéltés (P _{mért})	(F+L+Á+M+KK+CS+U+T)	33,8	270,7

Az erdőrészet kis területéből adódóan csekély faanyag mennyiség kitermelésére került sor. Az apríték alapanyag felső felkészítőhely mellé volt készletezve, de nem olyan koncentráltan mint forwarderes készletezés esetében.



2. ábra: JENZ HEM 593Z aprítógép munkaidő szerkezete (Bácsai, 2017)

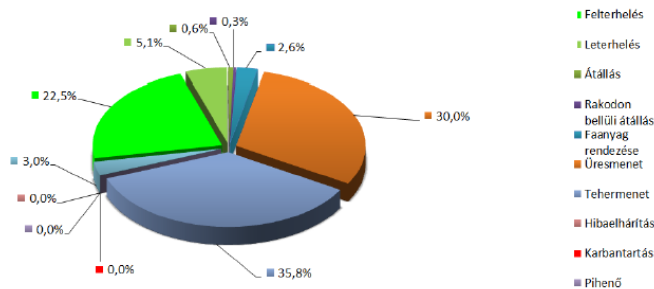
A 2. ábrán látható, hogy a készletezett anyag csekély koncentrálttsága miatt, sok átállásra (17,0%) és rendezésre (14,5%) volt szükség. Ennek ellenére jól látszik, hogy az idő 57,2%-ában így is tisztán aprítás történt. A nagyobb idővesztések közé tartozik még az egyszeri hosszabb várakozás apríték szállító járműre, ami 10,5%-ot tett ki a felvétel idejéből. A mért gépkihasznátsági tényező 74,1% volt. A 2. táblázat az aprítógép mért teljesítményét és a magyarországi átlagra számított várható teljesítményét mutatja a mért adatok alapján.

2. táblázat: JENZ HEM 593Z aprítógép teljesítménye (Bácsai, 2017)

Teljesítmény		űrm/h	űrm/műszak
Aprítás	(AP+Á+R+CS+X)	64,6	516,5
Várakozás nélk. időben	(Ö-V-VJ)	64,6	516,5
Teljes időben	(Ö)	47,8	382,6

Várható teljesítmény		űrm/h	űrm/műszak
Aprítás (P _{M.o.átl.})	(AP+Á+R+CS)	38,7	309,9
Aprítás (P _{mért})	(AP+Á+R+CS)	47,8	382,6

A keletkező aprítékot a vállalkozó telephelyére szállították.



3. ábra: Renault 460 DXI+ Knapen trailers 90 (ürm) munkaidő szerkezete (Bácsai, 2017)

A munkaidő-szerkezet alapján megállapítható, hogy a felterhelés 22,5%-os aránya eltörpül a tehermenet 35,8%-a és az üresmenet 30,0%-a mellett. A szállítás közbeni (tehermenet, üresmenet) eltérések a forgalom alakulásából adódtak. A vizsgált időtartam alatt nem volt szükség karbantartásra, hibaelhárításra, pihenőre, és a várakozás is csak 3%-ot tett ki. A vizsgált időszakban a gépkihhasználtság 97,0%-os volt. A 3. táblázat a tehergépjármű mért teljesítményét és a magyarországi átlagra számított várható teljesítményét mutatja a mért adatok alapján.

3. táblázat: Renault 460 DXI+ Knapen trailers 90 (ürm) teljesítménye (Bácsai, 2017)

Teljesítmény		ürm/h	ürm/műszak
Közelítés	(F+L+Á+Ár+R+Ü+T)	14,9	119,1
Várakozás nélk. időben	(Ö-V)	14,9	119,1
Teljes időben	(Ö)	14,4	115,6

Várható teljesítmény		ürm/h	ürm/műszak
Közelítés (P _{M.o.átl.})	(F+L+Á+Ár+R+Ü+T)	8,9	71,5
Közelítés (P _{mátr.})	(F+L+Á+Ár+R+Ü+T)	14,4	115,6

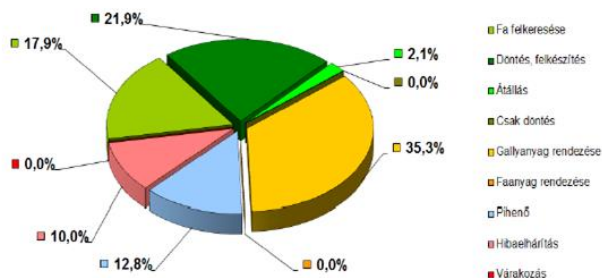
3.1.2. 2-es számú mintaterület

Az 5,9 ha nagyságú erdőrészletben szűkárosított lucfenyves állomány egészségügyi tarvágását hajtották végre.

A faitermelést harveszterrel (Ponsse Ego 8W), a közelítést forwarderrel (Timberjack 11010C), az aprítást JENZ HEM 593Z aprítógéppel, a szállítást Renault 460 DXI+ Knapen trailers 90 tehergépjárművel végezték.

A keletkezett aprítékot minimális víztartalom jellemezte, így a teherautók közvetlenül az erőműbe szállították, a szállítási távolság 130 km volt. A faanyag letermelését közelítő nyomokon haladva végezte a harveszter, a maximális gémkinyúlását kihasználva 20 m széles pásztákat kialakítva, mivel a fák csekély mérete ezt lehetővé tette. A letermelés nehezen haladt a sok széldöntéssel sújtott rész és a sűrű állományszerkezet miatt. A faanyag rakatokat a gép a közelítő nyom két oldalára koncentrálna az apríték alapanyaggal együtt, hogy segítse a közelítést, ami forwarderrel

történt. A faanyagot és apríték alapanyagot közbelső rakodón készletezték. A közelítési távolság ezen esetben volt a legnagyobb, átlagosan 1250 m. Két mérés történt, így két munkaidőszerkezeti diagram készült a harveszterre.

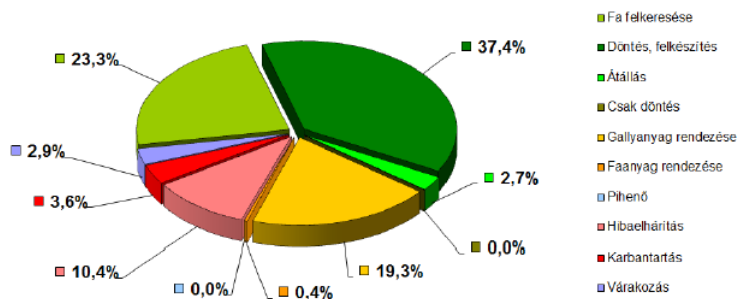


4. ábra: Ponsse Ergo 8W harveszter munkaidő szerkezete (1) (Bácsai, 2017)

A vizsgálat időtartama alatt a 10,0%-ot kitevő hibaelhárítást a láncclesések okozták. A sűrű és vékony állomány szerkezet miatt a fa felkeresése munkaművelet 17,9%-ot a döntés felkészítés 21,9%-ot és a gallyanyag rendezése 35,3%-ot tesz ki a munkaidőszerkezetből. A 4. táblázat a harveszter mért teljesítményét és a magyarországi átlagra számított várható teljesítményét mutatja a mért adatok alapján. A mérés ideje alatt a gép kihasználtsága 77,2% volt.

4. táblázat: Ponsse Ergo 8W teljesítménye (Bácsai, 2017)

Teljesítmény		m ³ /h	m ² /műszak
Döntés - felkészítés	(F+D)	19,6	156,6
Fakitermelés	(F+D+Á)	18,6	148,8
Fakitermelés + vágástakarítás	(F+D+CD+Á+G+R)	10,1	80,6
Várakozás nélk. időben	(O-V)	7,8	62,2
Teljes időben	(O)	7,8	62,2
Várható teljesítmény		m ³ /h	m ² /műszak
Döntés - felkészítés	(F+D)	11,7	93,9
Fakitermelés	(F+D+A)	11,2	89,3
Fakitermelés + vágástakarítás (P _{M.O.st.})	(F+D+CD+Á+G+R)	6,0	48,4
Fakitermelés + vágástakarítás (P _{M.en.})	(F+D+CD+Á+G+R)	7,8	62,2



5. ábra: Ponsse Ergo 8W harveszter munkaidő szerkezete (2) (Bácsai, 2017)

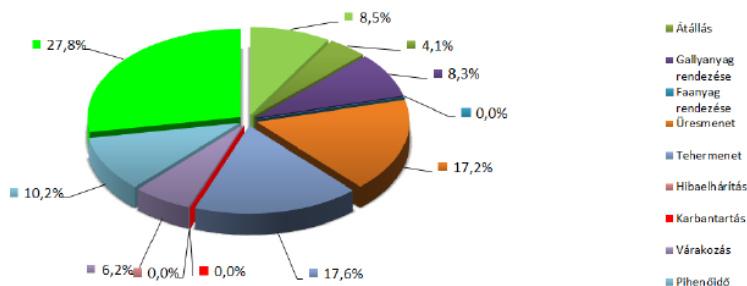
Az 5. ábra alapján leolvasható, hogy a második mérési napon az állományszerkezet valamelyest előnyösebbé vált, mivel a fa felkeresési ideje 23,3%-ra emelkedett, a döntés felkészítés aránya szintén növekedett 37,4%-ra, ellenben a gallyanyag rendezési százaléka csökkent 19,3%-ra.

A hibaelhárítás 10,4%-os arányát ismételten láncleesések idézték elő. A mérés ideje alatta jármű kihasználtsága 83,1%-ra javult. Az 5. táblázat a harveszter mért teljesítményét és a magyarországi átlagra számított várható teljesítményét mutatja a mért adatok alapján

5. táblázat: Ponsse Ergo 8W teljesítménye (Bácsai, 2017)

Teljesítmény		m ³ /h	m ³ /műszak
Döntés - felkészítés	(F+D)	15,3	122,3
Fakitermelés	(F+D+Á)	14,6	117,2
Fakitermelés + vágástakarítás	(F+D+CD+Á+G+R)	11,2	89,4
Várakozás nélk. időben	(O-V)	9,6	76,5
Teljes időben	(O)	9,3	74,3
Várható teljesítmény			
Döntés - felkészítés	(F+D)	9,2	73,4
Fakitermelés	(F+D+Á)	8,8	70,3
Fakitermelés + vágástakarítás (P _{M.O.Átl.})	(F+D+CD+Á+G+R)	6,7	53,6
Fakitermelés + vágástakarítás (P _{mer.})	(F+D+CD+Á+G+R)	9,3	74,3

Az apríték alapanyag összegyűjtése viszonylag könnyen ment, mivel a harveszter koncentráltan, kis rakatokban helyezte azt el a vágásterületen, ugyanakkor az egy helyen található viszonylag kis mennyiség miatt sok rendezésre és hosszadalmas felterhelésre volt szükség a munka elvégzéséhez.



6. ábra: Timberjack 1110C forvarder munkaidő szerkezete (Bácsai, 2017)

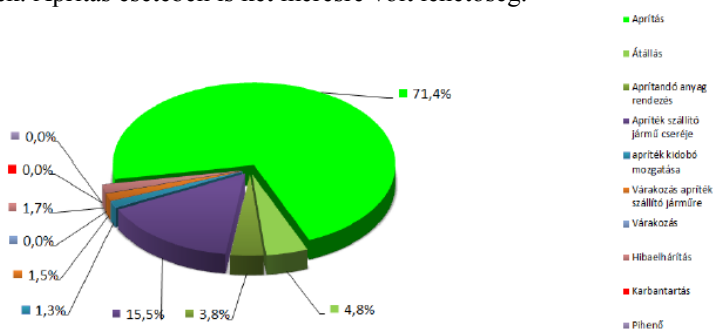
A 6. ábráról látható, hogy a hosszadalmas felterhelés 27,8%, valamint a nagy távolságú közelítésből adódó tehermenet 17,6% és üresmenet 17,2%-os aránya. A várakozási idő 6,2%-os értéke a rakodón mozgó többi gép miatt adódott, valamint a gépkezelő egyéb elfoglaltságából (telefonbeszélgetés). A 6. táblázat a forvarder mért teljesítményét és a magyarországi átlagra számított várható teljesítményét mutatja a mért adatok alapján. A mérés ideje alatt a gép kihasználtsága: 83,5% volt.

6. táblázat: Timberjack 1110C forvarder teljesítménye (Bácsai, 2017)

Teljesítmény		t/h	t/műszak
Közelítés	(F+L+Á+G+R+Ü+T)	3,2	25,6
Várakozás nélk. időben	(Ö-V)	2,9	22,8
Teljes időben	(Ö)	2,7	21,4

Várható teljesítmény		t/h	t/műszak
Közelítés (P _{M.o.átl.})	(F+L+Á+G+R+Ü+T)	1,9	15,4
Közelítés (P _{mért})	(F+L+Á+G+R+Ü+T)	2,7	21,4

Az aprítás gyorsan haladt, mivel a szűkáros lucfenyű „nem volt ellenfele” az aprítógépnek. Aprítás esetében is két mérésre volt lehetőség.



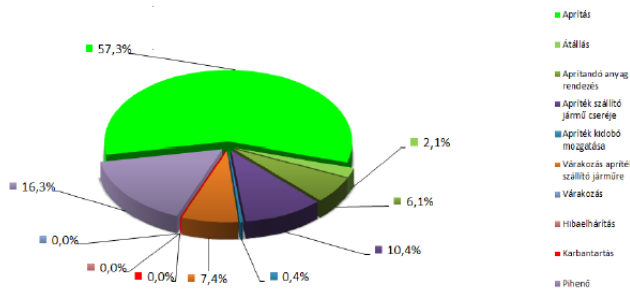
7. ábra: JENZ HEM 593Z aprítógép munkaidő szerkezete (Bácsai, 2017)

Az első mérésből készült diagramból (7. ábra) látszik, hogy az idő legnagyobb részét 71,4%-át az aprítás töltötte ki. Az átállásnak és az aprítandó anyag rendezésének nem volt jelentős időszükséglete. A járműcsere azonban hosszadalmas volt, így 15,5%-os arányban töltötte ki a felvétel idejét, a járművezetők figyelmetlenségéből és pihenőidők betartásából adódóan. A 7. táblázat az aprítógép mért teljesítményét és a magyarországi átlagra számított várható teljesítményét mutatja a mért adatok alapján. A gépkihasznátság tényező 96,8%-ra adódott.

7. táblázat: JENZ HEM 593Z aprítógép teljesítménye (Bácsai, 2017)

Teljesítmény		űrm/h	űrm/műszak
Aprítás	(AP+A+R+CS)	207,5	1660,0
Várakozás nélk. időben	(Ö-V-VJ)	203,9	1631,2
Teljes időben	(Ö)	200,8	1606,3

Várható teljesítmény		űrm/h	űrm/műszak
Aprítás (P _{M.o.átl.})	(AP+Á+R+CS)	124,5	996,0
Aprítás (P _{mért})	(AP+Á+R+CS)	200,8	1606,3



8. ábra: JENZ HEM 593Z aprítógép munkaidő szerkezete (2) (Bácsai, 2017)

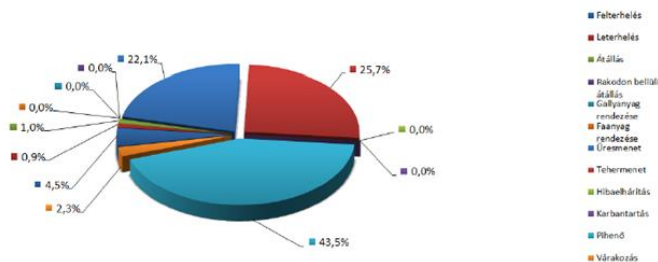
A következő mérési alkalom, hasonló eredményeket hozott, mint az első mérés (8. ábra). Itt is az aprítás munkaművelete volt a legszámottevőbb 57,3%-al. Ugyanakkor a szállítójármű cseréje 10,4% és várakozás járműre 7,4% művelet ismételen nagy részarányban volt jelen. Az alábbi táblázat az aprítógép mért teljesítményét és a magyarországi átlagra számított várható teljesítményét mutatja a mért adatok alapján. A gépkihasználatosság tényező a sok kieső idő miatt 76,3%-os értékre csökkent.

8. táblázat: JENZ HEM 593Z aprítógép teljesítménye (Bácsai, 2017)

Teljesítmény		űrm/h	űrm/műszak
Aprítás	(AP+A+R+CS)	189,3	1514,7
Várakozás nélk. időben	(Ö-V-VJ)	156,1	1248,5
Teljes időben	(Ö)	144,5	1155,7

Várható teljesítmény		űrm/h	űrm/műszak
Aprítás ($P_{M.o. \hat{a}tl.}$)	(AP+Á+R+CS)	113,6	908,8
Aprítás ($P_{m \hat{e}rt}$)	(AP+Á+R+CS)	144,5	1155,7

A pótkocsi (9. ábra) színültig volt töltve aprítékkal (90 űrm), mivel az alacsony nedvességtartalom miatt a rakomány még így sem érte el a teherautó maximális terhelhetőségének határát. A hosszú mérési periódus miatt a pihenőidő 43,5%-a teszi ki az időszereket legjelentősebb részét, ugyanakkor az érdemi munkaműveletek közül a tehermenet (25,7%) és az üres menet (22,1%) a legjelentősebb.



9. ábra: Renault 460 DXI+ Knapen trailers 90 (űrm) munkaidő szerkezete (Bácsai, 2017)

A 9. táblázat az aprítógép mért teljesítményét és a magyarországi átlagra számított várható teljesítményét mutatja a mért adatok alapján. A szállítójármű számított gépkihasználsági tényezője 54,2%.

9. táblázat: Renault 460 DXI+ Knapen trailers 90 (űrm) teljesítménye

Teljesítmény		űrm/h	űrm/műszak
Közelítés	(F+L+A+Ár+G+R+U+T)	20,1	160,7
Várakozás nélk. időben	(Ö-V)	11,1	89,2
Teljes időben	(Ö)	10,9	87,1

Várható teljesítmény		űrm/h	űrm/műszak
Közelítés ($P_{M.o.átl.}$)	(F+L+A+Ár+G+R+U+T)	12,0	96,4
Közelítés ($P_{mért}$)	(F+L+A+Ár+G+R+U+T)	10,9	87,1

3.2. Gépteljesítmény vizsgálatok

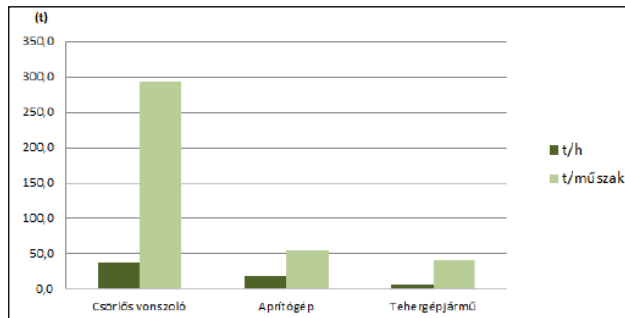
Az apríték termelés megfelelő termelékenységének eléréséhez nem elegendő az egyes gépek vagy csak az aprítógép nagy munkateljesítménye, mivel ez a folyamat több gép együttes munkáját igényli. A termelékenységet a géprendszerek összehangolt munkája teremti meg, amely során a munkafolyamatok egymásra épülnek és megfelelő szervezés hatására az egyes gépek közötti teljesítmény különbségek kiegyenlíthetők.

A méréseket tehát ki kellett terjeszteni a faanyag megmunkálását és mozgatását megvalósító géplánc valamennyi szereplőjére. Az aprítógép munkaidő elemzésével megegyező szisztéma szerint mintaterületeként a többi gép esetén is elvégeztük az időelemzéseket és teljesítmény meghatározásokat. A szállító teherautók számára a legnagyobb nehézséget az jelenti, hogy az aprítógép folyamatosan váltakozó munkaterületeit kell időben és térben lekövetniük, ami nem egyszerű feladat a nagy távolságok és a nehezen megtalálható aprítási helyszínek miatt. Az apríték közúti szállítására teherautók, három nyerges vontató, és a hozzájuk kapcsolt 90 űrm térfogatú kihordópadlós pótkocsi állt rendelkezésre.

Az összehasonlíthatóság érdekében a gépek munkateljesítményét tonnában számítottuk óránként valamint (8 órás) műszakra vetítve. A faanyagmennyiségek kalkulálása során a fafajokra jellemző térfogatsűrűséget és az aktuális nedvesség tartalmat is figyelembe kellett venni, ezen kívül az űrméter-köbméter átváltásához a vizsgált időszakban termelt G80-as apríték méreteiből származtatható általános lazulási tényező (kb. $1m^3=0,33$ űrm) érték került figyelembevételre.

3.2.1. 1-es számú mintaterület

Az erdőrésztletben a teljes faanyagot csörlős vonszolóval közelítették, az aprítógép a felső felkészítőhelyen dolgozott, ahol a keletkezett aprítékot a teherautókba ürítette. A kalkulált teljesítmény adatokat az alábbi ábra mutatja (10. ábra).

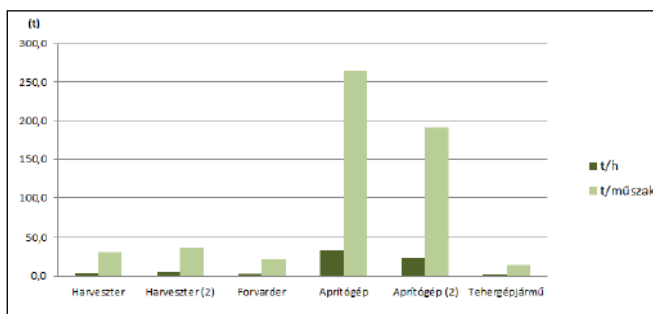


10. ábra: 1-es mintaterület aprítéktermelési géplánc teljesítményadatok (Bácsai, 2017)

Az ábráról leolvasható, hogy a csörlős vonszoló teljesítménye több mint ötszöröse az aprítógépnek, de a munkarendszer jellegéből adódóan nem volt lehetőség az apríték alapanyag megfelelő koncentrációjának elérésére, ellentétben a többi vizsgált erdőrészlettel. A diagramon látható, hogy az aprítógép és a tehergépjármű teljesítménye jóval elmaradt a csörlős vonszoló közelítési teljesítményétől. Annak ellenére, hogy a közelítést időben késleltetve követte az aprítás, -tehát az apríték alapanyag az aprítógép helyszínre érkezése előtt teljes mennyiségében készletezésre került- a csekély koncentrátság és térbeli rend rendkívül rossz hatással voltak az aprítógép és ez által a teherautók teljesítményére is.

3.2.2. 2-es számú mintaterület

Az erdőrészlet fakitermelése magas gépesítettségi szinten zajlott. A harveszter megkezdte az állomány letermelését, amelyet időben késleltetve a forvarder követett. A forvarder munkateljesítményét a rendkívül nagy közelítési távolság jelentősen rontotta. A letermelés előrehaladtával megkezdődött az apríték alapanyag közbenső rakodóra közelítése és nagy mennyiségben való koncentrálása, felkészülve az aprítógép munkaterületre érkezésére. Az apríték alapanyag megfelelő mennyiségének elérésekor a helyszínre rendelték az aprítógépet és az rövid idő alatt feldolgozta a több nap alatt készletezett faanyagot, majd az aprítás menetéhez hangolt szállító járművek elszállították azt. Az aprítógép kiemelkedő munkateljesítményt (11. ábra) csak abban az esetben tud elérni, ha az alapanyag kis helyen nagy mennyiségben és rendezetten helyezkedik el, a rendszerezés és készletezés a forvarderek kezelőinek feladata. A harveszter alacsony munkateljesítményét a hektáronkénti csekély átlagos mellmagassági átmérő, a rengeteg széldöntött erdőfolt, és a szúkárosításból adódó gyenge szerkezeti tulajdonságokkal rendelkező faanyag okozta. A forvarder munkáját nehezítő tényezők közül kiemelendő a nagy közelítési távolság, a sok átállással és darumozgással járó felterhelési művelet, valamint ezeken kívül a faanyag térfogatához viszonyított tömeg is. A szállítójárművek látszólagos teljesítmény csökkenése a nagy szállítási távolságból, valamint a száraz apríték kicsi tömeg-térfogat arányából származtak.



11. ábra: 2-es mintaterület aprítéktermelési géplánc teljesítményadatok (Bácsai, 2017)

4. Összefoglaló értékelés, következtetések

A hatékonyságot sok tényező befolyásolhatja, amelyek lehetnek időlegesen fennálló és folyamatosak. A gépmeghibásodás vagy kedvezőtlen időjárási körülmény csak időszakos hátráltató tényező, míg az aprítandó faanyag tulajdonságaiból, a közelítési távolság nagyságából, az alapanyag előkészítéséből, vagy a szállítási távolságból adódó hatásokkal az egész termelési folyamat alatt kalkulálni kell.

A faanyag fafajtól függő fizikai tulajdonságai (fajlagos tömeg, keménység) némileg hatnak az aprítás teljesítményére, ám ez nem olyan számottevő mint a faanyag nedvességtartalma, mivel a nedves apríték tömege hamar eléri a szállítójármű maximális terhelhetőségének mértékét, ezért az aprítás jó hatásfokúnak tűnik, de ez megtévesztő lehet.

Az aprítógép hatékony munkavégzését számottevően befolyásolja az alapanyag megfelelő előkészítése, koncentrálása, rontja a teljesítményt a sok átállás és anyagrendezés. A szállítójárművek szervezett munkája nagyban befolyásolja a termelékenységet. Az aprítógép várakozásával eltelt idő, minden egyes perce komoly gazdasági kiesést jelenthet, ezért sok múlik a járművek pontosságán, aprítás közbeni cseréjén és összehangolt mozgásán.

A géprendszer végső teljesítményét, tehát a megfelelően szervezett munkával a terület, állomány adottságainak és a gépek tulajdonságainak figyelembevételével a teljesítmények összehangolásával lehet elérni.

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.

Hivatkozások

Bácsai R. (2017): Aprítéktermelés vizsgálata a ZALAERDŐ Erdészeti Zrt. területén. Lővérprint, Sopron
 Rumpf J. szerk. (2016): Erdőhasználat. Mezőgazda Kiadó, Budapest

MIRE ELÉG A DENDROMASSZA AZ ELEKTROMOS KÖZLEKEDÉSBEN?

Szalay Dóra*¹, Kertész Szabolcs², Jákói Zoltán², Papp Viktória¹

¹Erdészeti-, műszaki és Környezettechnikai Intézet
Soproni Egyetem
Bajcsy-Zsilinszky utca 4., 9400 Sopron
szalay.dora@uni-sopron.hu

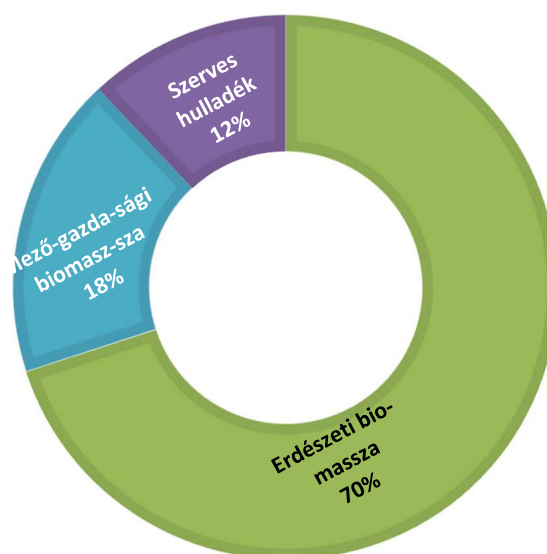
²Folyamatmérnöki Intézet
Szegedi Tudományegyetem
Moszkvai krt. 9., 6725 Szeged
kertesz@mk.u-szeged.hu

Absztrakt: Napjainkban az erdészeti apadék hasznosítása egyre nagyobb teret nyer az energiaszektorban. A felmerülő sokrétű igény indokoltá teszi egy összehasonlítás elvégzését arra vonatkozóan, hogy mely energetikai hasznosítási forma a leginkább kedvező megoldás. Az erdészeti melléktermékek az erdei fáktól valamelyest eltérő tulajdonsággal rendelkeznek a magas kéreg és hamutartalom következtében, ezért a cseppfolyós lignocellulóz biohajtóanyag célú hasznosításuk külön kihívást jelent. Kérdés, hogy indokolt-e a közeljövőben magas beruházási költséggel telepíthető üzemek létrehozása, vagy a dendromasszát inkább a kapcsolt hő- és villamosenergia ellőállításban érdemes hasznosítani. Az így kapott és hasznosított termék a közúti közlekedés megújuló energiára vonatkozó célértékeibe négyszeres szorzóval számítható be. A munka során számításokat végeztünk az egy tonna dendromasszából nyerhető villamosenergia mennyiségére és ennek segítségével, az elektromos járművekkel megtehető út hosszára vonatkozóan.

Keywords: dendromassza, biomassza erőmű, elektromos energia, elektromos meghajtás

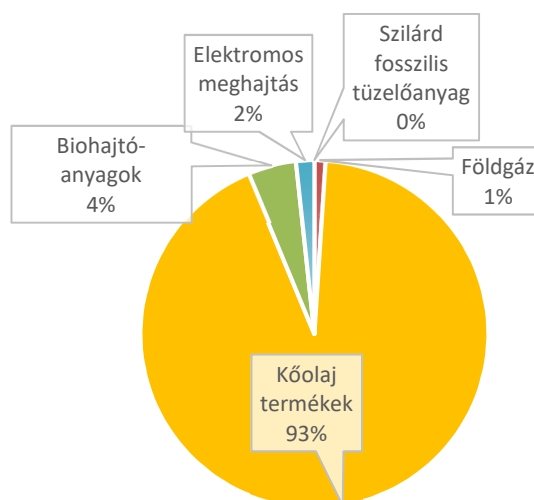
1. Bevezetés

A biomassza hasznosítása kiemelt szerepet kap az EU országainak energiastratégiájában (Simon, 2010). Termesztése történhet kifejezetten a szén tárolására, vagy energetikai célból a fosszilis energiahordozók közvetlen helyettesítőjeként. Energetikai hasznosításuk egyre szélesebb körben jelenik meg, mivel fontos eszköze az üvegházhatás csökkentésének. Közelmúltban végzett felmérések bizonyítják, hogy a rendelkezésre álló potenciál elegendő ahhoz, hogy az EU energiaszerkezetében a bioenergia mennyisége háromszorosára emelkedjen (Bioenergy Europe, 2019). Jelenleg a legnagyobb mennyiségű alapanyagot szolgáltató szektor az erdészet, a biomasszából előállított energia mintegy 70%-a származik belőle.



1. ábra: A különböző biomassza alapanyagok megoszlása az EU energiaelállításában (Bioenergy Europe, 2019)

Dendromassza alapú szabad potenciált a melléktermékként keletkező vágástéri apadék jelent. A faanyagot csak részben gyűjtik össze, amelyet leggyakrabban erőművek, kisebb mennyiségben fűtőművek, kazánok, pellet- és brikettgyárak számára értékesítenek. A jelenleg hasznosított mennyiségről eltérő információk állnak rendelkezésre, amelynek egyik oka, hogy a legnagyobb begyűjtők és felvásárlók a melléktermékek egy részét külföldi erdészetektől szerzi be. Szakirodalmi források alapján a begyűjtendő vágástéri apadék vékonyfa részének mintegy 4,5%-a kerül hasznosításra (Szakálosné és mtsai., 2013). Szerepe a közlekedésben is kiemelkedő lehet hiszen a biomassza egyik legintenzívebben fejlődő hasznosítási iránya a biohajtóanyag előállítás, amelyet az EU előírásai is ösztönöznek.



2. ábra: A különböző hajtóanyagok aránya az EU-28 közlekedési szektorának végső energiafelhasználásában, 2017-ben

A RED II (Renewable Energy Directive II) szerint a tagállamoknak 2030-ra 14% megújuló részarányt kell teljesíteniük a közúti és vasúti közlekedés energiafelhasználásán belül. A jelenlegi követelmények nagy

része konvencionális biohajtóanyagokkal kerül kielégítésre. Ugyanakkor a döntéshozók felismerték, hogy a terményalapú biohajtóanyagok a közvetett földhasználat révén elvonják a termőföldet az élelmiszer-növények termesztése elől. Ezért a belőlük készült hajtóanyagok az egyes tagállamok közötti és vasúti közlekedési energiafelhasználásában a 2020-as felhasználási szint fölött 1%-kal kerülnek befagyasztásra, maximum 7%-os határértéket meghatározva. Helyette előtérbe kerül a lignocellulóz biohajtóanyagok hasznosítása. A jogszabály a fejlett hajtóanyagok elérendő részarányát az alábbi értékeken határozta meg:

- 2022-re legalább 0,2%,
- 2025-re legalább 1%,
- 2030-ra legalább 3,5%.

A célértékek kielégítése komoly fejlesztéseket kíván a jövőben. Európában összesen 5 országban található kereskedelmi méretekben lignocellulóz biomasszát feldolgozó cseppfolyós hajtóanyagot előállító üzem. Ezért a villamos energia nagyfokú hasznosítása a rendelkezésre álló technológiának és infrastruktúrának köszönhetően a közeljövőben sokkal inkább prognosztizálható.

Magyarországon a 279/2017. (IX. 22.) Korm. rendelet határozza meg a jelenleg hatályos kötelező biohajtóanyag-részarány mértékét, számításakor a tárgyévben forgalomba hozott motorbenzin és dízelgázolaj energiataralomban meghatározott együttes mennyiségét kell alapul venni, 2019. január 1. és 2020. december 31. közötti időszakban 6,4%. Kielégítése legnagyobb részt konvencionális hajtóanyagokkal történik, elsősorban kukoricára alapozva. A Nemzeti energia- és klímatervezete szerint Magyarországon 2030-ra 8,1 százalék is lehet a megújuló energia felhasználásának aránya a közlekedési szektorban (NEKTt, 2019).

2. A biohajtóanyag célú hasznosítás kihívásai

Mind az alapanyag begyűjtése, mind feldolgozása és átalakítása, majd a termék hasznosítása komoly feladatot ró a fejlesztőkre. A szabad dendromassa potenciál, azaz az apadék begyűjtésére elsősorban az erdőgazdálkodóknál mutatkozik lehetőség. Nagyobb mennyiségben azokon a területeken érdemes kalkulálni vele, ahol a véghasználaton belül tarvágást hajtottak végre. Átlagosan az országban a hegyvidékeken kisebb, míg a domb és síkvidékeken nagyobb ennek a mértéke (Lett és Stark, 2017). Az utóbbi években egyre jelentősebb hangsúlyt kapnak a folyamatos erdőborítást biztosító módszerek, amelyek esetén egybefüggő vágásterület nem keletkezik. Ezek közé tartozik a szálaló, az átalakító és a faanyagtermelést nem szolgáló üzemmód (NÉBIH, 2015). Ezek az apadék begyűjtését nagyobb költségráfordítással, ökológiai behatással teszik lehetővé. A legnagyobb apadék hasznosító a Pécsi Erőmű, kisebb mennyiségben Pornóapáti, Hangony, Csitár-Nógrádgárdony, Mátészalka, Szakoly, Miskolc, Pannonhalma, Homrogd, Szombathely városokban találtunk példát erdészeti apadék tüzelésére, Tiszaújvárosban fapellet előállítására használnak erdészeti apadékot, ezentúl az apadék hasznosításának jelenlegi egyik gyakori formája a lakossági gyűjtés. KEFAG területén például 3–4 ezer m³ ágfát a lakosság gyűjt be, így jutva olcsó tüzelőanyaghoz. További 10 ezer m³ gépi apadék gyűjtés történik. Mivel az erdészetek munkaerőhiánnyal küzdenek, ezért az apadék begyűjtése nehézségekbe ütközik. Kizárólag gépesítés fejlesztéssel lenne erre mód, azonban ez a költségek emelkedésével jár.

Az új lignocellulóz alapanyagok átalakítása cseppfolyós biohajtóanyagokká sokkal összetettebb technológiát igényel, mint az első generációs biohajtóanyagok. Előállításuk biokémiai és/vagy termokémiai módszerekkel történik. Általában a termokémiai folyamatok nagyobb hatékonyságot és rövidebb reakcióidőt mutatnak, mint a biokémiai eljárások (Dou és mtsai., 2017). A lignocellulóz biomassa termokémiai módszerekkel történő biohajtóanyag célú átalakítása lehet pirolízisen, elgázosításon és közvetlen termikus cseppfolyósítási eljáráson alapuló (Alonso és mtsai., 2010). Alapanyagként elsősorban ipari és kisebb mennyiségben mezőgazdasági melléktermékeket hasznosítanak. Kimondottan erdészeti biomassa hasznosítására bioolaj vagy bioetanol előállítás céljából elsősorban Finnországban van példa. (Szalay, 2018). A leggyakrabban alkalmazott pirolitikus eljárás a bevitt biomassa akár 75%-át is képes átalakítani bioolajjává (Jahirul és mtsai., 2012, Extension, 2019). A kihozatal az alapanyag minőségétől függ. Az apadék hamutartalma akár 3–4% is lehet, a magas kéregtartalom következtében, ami a 20–40%-ot is

elérheti a vékony gallyaknál (Bíró, 2012). A begyűjtés során kéregre tapadó szennyeződésektől a hamutartalom tovább emelkedik. A túlzott mennyiségű szennyezőanyag a kezelési és feldolgozási rendszerek fokozott kopását, a pirolízisolaj kihozatalának csökkenését, az instabilitás növekedését, a reaktorban salakosodást okoz. A termék alacsony viszkozitással és magas, akár 15-20%-os víztartalommal rendelkezik, amely további feldolgozást igényel, hogy a fosszilis hajtóanyagok helyettesítőjévé válhassanak. A Fischer-Tropsch-eljárás egy katalizált kémiai reakció, amelyben a szintézisgázt, a szén-monoxid és hidrogén elegyét alakítják át különböző folyékony szénhidrogénekké. A konverziós ráta és termelési kapacitás is alacsonyabb, ugyanakkor a beruházási költség akár tízszerese is lehet a fejlett hajtóanyagok esetében. Piaci megjelenésük feltétele általában valamilyen támogatási forma. Emiatt a dendromassza jelenlegi hasznosítása elsősorban hagyományos módon tüzeléssel történik (Gyulai, 2006). Így a cseppfolyós hajtóanyagok mellett az elektromos meghajtás fontos szerepet tölthet be a jövőben a közlekedésben. Az ING becslései szerint 2035-re az újonnan regisztrált gépjárművek akár 100%-át az elektromos meghajtású gépjárművek fogják kitenni (ING, 2017). A RED II a fenntartható és az üvegházhatást okozó gázok kritériumát a közlekedésben felhasznált bioüzemanyagok mellett a villamosenergia előállításra is bevezette.

A biomasszából történő villamos energia előállítására számos technológiai kialakítás létezik. A CHP (kombinált hő- és villamos erőművek) erőművek 85-86% hatásfokkal működnek, mivel a villamos energia mellett a hőenergia is hasznosításra kerül. A hőerőművek 80-84%-os, míg a tisztán elektromos energiát előállító erőművek átlagosan 24-32%-os hatékonysággal üzemelnek az EU-ban (AEBIOM, 2015). Speciálisan vágástéri apadék és fanyesedékek hasznosítására kifejlesztett erőmű típusok is üzemelnek már Európában, ahol előnyként érdemes megjegyezni, hogy a viszonylag alacsony fűtőértékű és nedves, akár 30-40%-os nedvességtartalmú biomasszából is jó hatásfokkal állítanak elő hő- és villamos energiát (Lako, 2010). Ez azért is fontos, mert a bioolaj előállításánál például 5%-ra szükséges szárítani az alapanyagot, ami ha hulladékhoz vagy biomassza felhasználásával is történik, akkor is jelentős energiabevitelt igényel.

Bár a villamos energiaelőállítás technológiája kiforrott és a termék közvetlenül hasznosítható, az elektromos gépjárművek akkumulátorai még fejlesztésre szorulnak.

3. Módszer

Eddig nem volt széleskörben kutatott kérdés, hogy a magyarországi erőművek által termelt villamos energia a közlekedésben milyen hatásfokkal hasznosítható. A számításainkat és eredményeinket elektronikus források, szakirodalmi adatok és a jogszabályi háttér komplex elemzésére alapoztuk. A dendromassza tüzelése során kinyerhető villamos energia mennyiségének meghatározására kettő Magyarországon működő dendromassza hasznosító erőművet vettünk alapul. Magyarországon, a kombinált hő- és villamos erőművek a termelt villamos energia kevesebb, mint 50%-át állítják csak elő. Ezért mind kombinált, mind tisztán elektromos energiát előállító erőművet is figyelembe vettünk.

Kalkulációinkat mindig 1 tonna biomassza felhasználására vetítettük. Az elektromos gépjárművek esetében átlagos fogyasztást feltételeztünk, amelyet 20 kWh/100 km értékben határoztunk meg. A hasznosított energiamennyiség beszámításánál a RED II jogszabályban meghatározott szorzókat vettük figyelembe. A IX. Mellékletének „A” részében megfogalmazott alapanyagok, mint például az erdőgazdálkodás során keletkező dendromassza és apadék energiatartalma az elszámolás során csupán dupla szorzóval kerül regisztrálásra lignocellulóz cseppfolyós hajtóanyag esetében. Ezzel szemben a dendromassza alapú villamosenergia hozzájárulását a közúti közlekedésben 4-szeres szorzóval kell figyelembe venni.

4. Eredmények

A választott kettő Magyarországon működő erőmű fő jellemzői az 1. táblázatban foglaltuk össze. Az egyik esetében a villamos energia mellett a hőenergia is hasznosításra kerül, míg a másik esetében tisztán villamos energiát nyernek ki.

1. táblázat: Kettő magyarországi dendromassza hasznosító villamos erőmű főbb jellemzői (Veolia, 2018 adataira alapozva)

Erőmű	Alapanyag	Energiaátalakítási hatásfok (teljes)	Hasznos hatásfok (hálózatra kiadott villamosenergia)	Hasznos hatásfok (hálózatra kiadott hő+villamos energia)
		η_t [%]	η_e [%]	η_{e+th} [%]
Szakoly	fás biomassza	28,4	25,4	25,4
Pannongreen	fás biomassza	45,9	26,6	40,7

Az erőművek által közölt éves alapanyag felhasználási, valamint a hő- és villamosenergia termelési adatok a következők:

- Szakoly: 140-150 ezer tonna/év faaprítékot használ fel, és így 132 935 MWh/év villamos energiát termel
- Pannongreen: 400 ezer tonna/év dendromassza eltüzelésével 312 367 MWh/év villamos energiát és 166 533 MWh/év hőenergiát állítanak elő.

A fenti adatokból kiindulva számításokat végeztünk a kinyerhető energia mennyiségére, illetve a megtehető út hosszára vonatkozóan, 1 tonna alapanyag felhasználásával, elektromos meghajtás esetében, lásd 2. táblázat.

2. táblázat: 1 tonna fa alapanyagból előállítható villamosenergia és az általuk megtehető út hossza

Kinyerhető	Technológia	Energia- tartalom [10 ⁻⁴ ktoe]	Megtehető távolság [km]	Szorzó (RED II)	Beszámítás [10 ⁻⁴ ktoe]
Villamos energia (Szakoly)	villamos erőmű	0,79	45	4	3,16
Villamos energia (Pécs)	hő- és villamos erőmű	0,67	39	4	2,68

Számításaink eredményeként azt kaptuk, hogy 1 tonna faalapú biomassza felhasználásával az alkalmazott villamosenergia előállítási technológiától függően 39-45 km távolságot tehetünk meg egy átlagos fogyasztással rendelkező elektromos meghajtású gépjárművel.

A táblázat alapján kitűnik, hogy a megtehető út hossza szempontjából kedvezőbb a dendromassza hasznosítása a csupán villamos energiát előállító Szakolyi erőműhöz hasonló üzemben. A megtehető távolság nagysága a betáplált alapanyag minőségétől és ebből adódóan a fűtőérték nagyságától is függ. A hasonló erőművi hatásfokok ellenére ennek köszönhető a tonnára vetített különbség. Ugyanakkor energiahatékonysági szempontból semmiképpen sem elhanyagolható tény, hogy a Pécsi erőműben bár a Szakolyi Erőműhöz képest kisebb a kinyerhető villamosenergia, de további 1498 MJ hőenergiát is nyerünk minden tonna dendromassza átalakítása esetén, hasznosításával javítva a teljes folyamat energiamérlegét.

5. Összefoglalás, következtetések

A lignocellulóz hajtóanyagok kereskedelmi méretű gyártási technológiai még nem állnak készen arra, hogy gazdaságos működés mellett széles körben segítsék a megújuló hajtóanyagokra vonatkozó célok elérését. A jelenleg működő fejlett cseppfolyós hajtóanyagokat előállító üzemek elsősorban az EU nyugati tagállamaiban működnek. A 2000-es évek után csatlakozó országokban főképpen a konvencionális hajtóanyagok előállítása a meghatározó. A közeljövőben a közlekedés növekvő energiaigényének kielégítése az alacsonyabb beruházási igényből adódóan elsősorban a megújuló villamosenergia fokozott előállításában nyilvánulhat meg. A vízerőművi villamosenergia-termelés lehetőségei már napjainkban is fokozottan kiaknázott, ezért nehezen bővíthető. A szél- és napenergia hasznosítás utóbbi években történt intenzív kapacitásemelkedése ellenére, elsősorban az ökológiai előnyökkel és viszonylag stabil rendelkezésre állással rendelkező biomassza decentralizált CHP erőművekben történő hasznosítása jelentheti a megoldást. A kiválasztott üzemek bemeneteli és kihazatali adatait alapul véve, 1 tonna dendromassza felhasználásával átlagos üzemanyag fogyasztás mellett villamos energiát vagy hő és villamos energiát kapcsoltan termelő erőművek eltérő hatásfokától függően átlagosan 42 km megtételére van lehetőség.

6. 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 valósul meg.

7. Irodalomjegyzék

AEBIOM (2015) Report on conversion efficiency of biomass. BASIS Project.

http://www.basisbioenergy.eu/fileadmin/BASIS/D3.5_Report_on_conversion_efficiency_of_biomass.pdf

Alonso D. M.; Bond, J. Q.; Dumesic J. A. (2010) „Catalytic conversion of biomass to biofuels. Green chem”, 12, 1493-1513.

Bioenergy Europe (2019) European Bioenergy Outlook 2019, Biofuels for Transport, Brussels, p 25

Bíró B. (2012) Biomassza hasznosítás. Kézirat. Edutus Főiskola. p. 86

Dou, C.; Marcondes, W. F.; Djaja, J. E.; Gustafson, R.; Bura, R. (2017) Can we use short rotation poplar coppice for sugar based biorefinery feedstock? Bioconversion of 2-year-old poplar grown as short rotationcoppice. Biotechnol. Biofuels. 10(144).

Extension (2019): Farm Energy. Fast Pyrolysis Efficiently Turns Biomass into Renewable Fuels.

<https://farm-energy.extension.org/fast-pyrolysis-efficiently-turns-biomass-into-renewable-fuels/>

Gyulai I. (2006) Biomassza dilemma. Magyar Természetvédők Szövetsége Kiadó. Budapest. Második átdolgozott kiadás. ISBN-10: 963-86870-8-8; ISBN-13: 978-963-86870-8-1

ING (2017) Breakthrough of electric vehicle threatens European car industry

https://www.ing.nl/media/ING_EBZ_breakthrough-of-electric-vehicle-threatens-European-car-industry_tcm162-128687.pdf

Jahirul M. I.; Rasul M. G.; Chowdhury A. A., Ashwath N. (2012) „Biofuels Production through Biomass Pyrolysis —A Technological Review. Energies” (5), pp. 4952-5001 ISSN 1996-1073

Lako P (2010) ETSAP Energy Technology Systems Analysis Programme
<https://iea-etsap.org/E-TechDS/PDF/E05-BiomassforHP-GS-AD-gct.pdf>

Lett B.; Stark M. (2017) Amit a számok mutatnak-Differenciált erdővagyon-gazdálkodás. Erdővagyon-gazdálkodási közlemények 7. Soproni Egyetem Kiadó, Sopron. ISBN 978-963-359-076-8.

NEKTt (2019) Magyarország Nemzeti Energia- és Klímaterve (tervezet). Innovációs és Technológiai Minisztérium. <https://hirlevel.egov.hu/2019/05/12/nemzeti-energia-es-klimaterv-tervezet/>

NÉBIH (2015): Erdővagyon, erdőgazdálkodás Magyarországon.
https://portal.nebih.gov.hu/documents/10182/206281/2015_leporello_magyar_web_300dpi.pdf/672fd0f8-3a59-4dc7-a51a-13fd0daa7c2f

Simon T. (2010) A biomassza-felhasználás jelene és jövője Magyarországon – a 4Biomass projekt bemutatása. A Magyar Mérnöki Kamara Épületgépészeti Tagozatának Lapja.
<https://www.e-gepesz.hu/cikkek/4812-a-biomassza-felhasznalas-jelene-es-jovoje-magyarorszag-a-4biomass-projekt-bemutatasa>

Szakálosné M. K.; Horváth B.; Major T.; Horváth A. (2013) Magyarországi erdők energetikai célokra hasznosítható faanyaga. Alföldi Erdőkért Egyesület Kutatói Nap: Tudományos eredmények a gyakorlatban. Lakitelek.

Szalay D. (2018) Energetikai célú dendromassza termesztés és hasznosítás lehetséges szerepe a lignocellulóz biohajtóanyag üzemek alapanyag ellátásában. PhD dissertation. University of Sopron. p. 151.

Veolia (2018): Erőműveink
<https://www.veolia.hu/hu/letesitmenyeink>

SOMOGYI ÉS NYÍRSÉGI AKÁC ÁLLOMÁNYOK VÁLASZTÉK- ÖSSZETÉTELÉNEK ÖSSZEHASONLÍTÓ VIZSGÁLATA

Major Tamás*, Pintér Tamás, Iski Richárd
Erdészeti-műszaki és Környezettechnikai Intézet
Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar
9400 Sopron, Bajcsy Zs. u. 4.
major.tamas@uni-sopron.hu

Absztrakt: *Ma Magyarországon a fehérakác (*Robinia pseudoacacia*) a legelterjedtebb, és a legszélesebb körben felhasznált fafaj. Elterjedtsége és sokrétű felhasználása miatt érdemes megvizsgálni, hogy a különböző eredetű és a különböző környezeti viszonyok között növő állományaik milyen választékokat adnak.*

Az elmúlt időszakban 2 diplomatervből és számos cikkben foglalkoztunk ezzel a kérdéssel.

Jelen cikkünkben a különböző termőhelyeken található mag- és sarjeredetű akác állományok választék-összetételét hasonlítjuk össze, illetve vizsgáljuk, hogy ennek következtében miként alakul a különböző eredetű (mag, sarj) állományok fahasználati árbevétele.

Vizsgálatainkat a Nyírerdő Nyírségi Erdészeti Zrt. és a SEFAG Erdészeti és Faipari Zrt. területén végeztük. A kutatás során a 2010-17 közötti időszak véghasználati adatait használtuk fel.

Kulcsszavak: akác, választék-összetétel, Nyírség, Somogyi dombvidék

1. Bevezetés

Ma Magyarországon a fehérakác (*Robinia pseudoacacia*) a legelterjedtebb fafaj. Európa egyetlen országában sincs annyi akácerdő, mint Magyarországon. Hazánk összes erdőterületének több mint 24%-át borítják akácok (Országos Erdőállományi Adattár, 2015).

Természetes elterjedése az USA-ban a 43-35. szélességi fokok között van. Magyarországra az akácot 1710 körül hozták be. Kezdetben parkfának és utakat szegélyező sorfának ültették. Erdőtelepítés céljára a katonai kincstár alkalmazta először 1750-ben a komárom-herkályi erődítmény körül. Az 1800-as évek elején az Alföldön a futóhomok megkötésére kezdték ültetni, majd mezővédő erdősávokat is hoztak létre fehér akácból. Magyarországi tömeges elterjesztése az 1800-as évek közepétől kezdődött. Az 1923-ban meghozott Alföldfásítási törvény következtében mezőgazdasági művelésekre alkalmatlan területeken 38000 hektár akácerdőt telepítettek (Keresztesi, 1984; Bartha, 2016).

Az akác területfoglalásának változása az első állományadatoktól napjainkig az 1. táblázatban látható.

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.

A klímaváltozás következtében az évi átlag középhőmérséklet nő és ezzel együtt az erdészeti klímazónák is „vándorolnak”. Általánosságban elmondható, hogy a Bükkös klíma területaránya csökken és ezzel egyetemben az Erdőszyepp klíma területe nő. Ez fafajösszetétel változáshoz vezet, miszerint csökkenni fog a bükk területaránya és még jobban előtérbe kerülhet az akác, illetve a nemesnyárok csoportja (Vidékfejlesztési Minisztérium, 2011).

1. táblázat: A fehér akác térfoglalása 1885-től napjainkig

Év	Terület (ezer ha)	Területarány (%)
1885	24,2	2,1
1911	109,3	9,7
1923	110,6	10,1
1963	154,2	10,8
1992	268,0	18,3
2004	394,9	22,6
2015	451,8	24,2

Az akác mélyre hatoló gyökérzetének köszönhetően megél a homokos, szikes területeken is, megköti a laza futóhomokot, jól használható rossz minőségű homok területek beerdősítésére is (Járó, 1953; Rédei, 1997).

Fájának sokféle hasznosítási lehetősége van, kedvező fizikai tulajdonságai és rendkívüli tartóssága széles körű felhasználhatóságot tesz lehetővé a fűrészipar, a bútorigar és az épületasztalos-ipar területén egyaránt. Széles körben alkalmazzák a föld- és vízépítésben, tartós kerítésoszlop, szőlőtám, szőlőkaró. Az akácot a cellulóz, a farostlemez és a forgácslap gyártásnál is felhasználják. Ujabban rétegelt-ragasztott tartókat is készítenek belőle. A kitermelt akác fatömegének fele energetikai célokat szolgál, azaz tűzifa lesz belőle (Major, 2016; Molnár, 1996).

Elterjedtege és széleskörű felhasználása miatt érdemes megvizsgálni, hogy a különböző eredetű állományok milyen választékokat adnak, hogyan befolyásolják az akác felhasználhatóságát.

2. Vizsgálati módszerek

A kutatás során arra a kérdésre kerestük a választ, hogy azonos eredet (mag vagy gyökérsarj) és azonos genetikai talajtípus esetén, eltérő erdőgazdasági tájban lévő akácállományok választék-összetétele hogyan alakul. Vizsgálatainkat a két legnagyobb jelentőségű akáctermő körzetben, a Nyírerdő Nyírségi Erdészeti Zrt. és a SEFAG Erdészeti és Faipari Zrt. területén végeztük.

Akác állományok 9 féle genetikai talajtípuson fordulnak elő. Összehasonlításokat azonban csak két genetikai talajtípus esetén tudunk végezni, mivel csak ezek fordulnak elő mindkét erdőgazdasági tájban. Kovárványos barna erdőtalaj (KBE) esetében mag- és gyökérsarjeredetű akác állományokat, humuszos homokon (HH) gyökérsarj eredetű állományokat tudunk összehasonlítani.

A kutatás során a 2010-17 közötti időszak véghasználati adatait használtuk fel (Iski, 2017; Pintér, 2018).

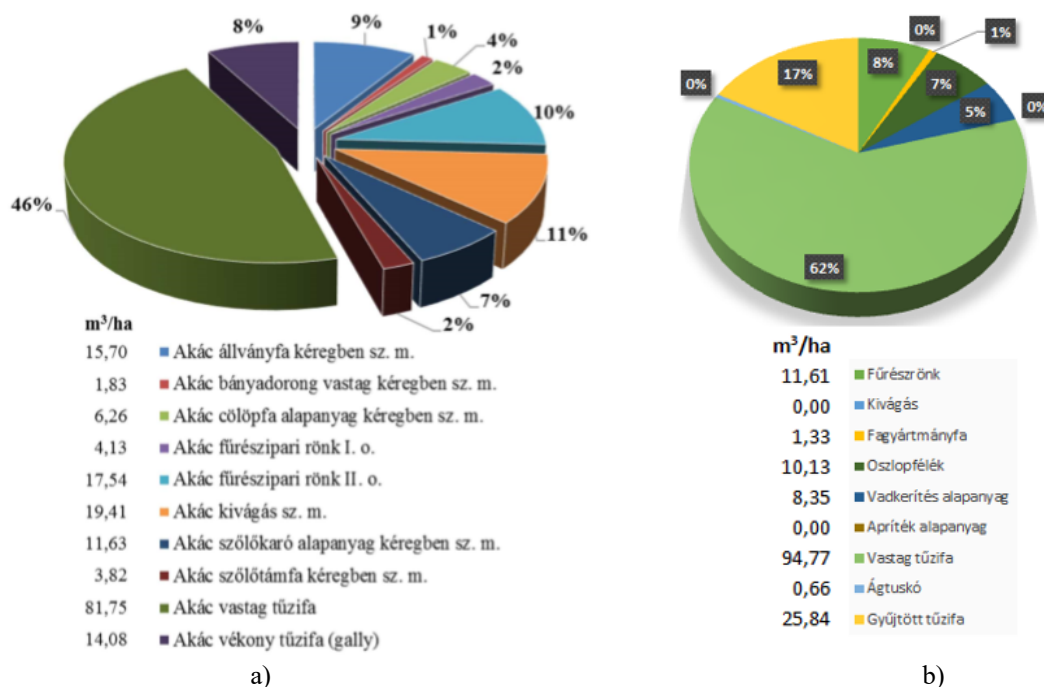
A vizsgálatok megkezdése előtt az adatokon különböző szűréseket végeztünk. Az adatbázisban 5-100%-os elegyarányú erdőrésztetek egyaránt megtalálhatóak voltak, ezek közül csak a 90%, vagy annál nagyobb akác elegyarányal rendelkező erdőrésztetek adatait vettük figyelembe a kiértékelések során.

A vizsgálatok során nem csak a választék-összetételt, hanem a kitermelt faanyagból származó hektáronkénti fahasználati árbevételt is összehasonlítottuk. Ehhez a 2017-es év választék árát használtuk.

3. Kovárványos barna erdőtalajon lévő mageredetű akácállományok összehasonlítása

A kovárványos barna erdőtalajon mageredet esetében 152,7 m³-t termelt ki a SEFAG Zrt. hektáronként, míg a Nyírerdő Zrt. 170 m³ -t. A Nyírségben 21,67 m³/ha-t termeltek a fűrészrönkből, míg Somogyban

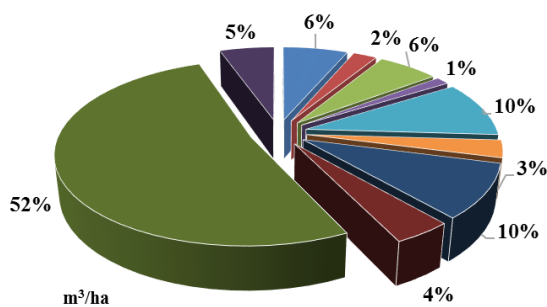
nagyjából a felét, 11,61 m³/ha-t. Kivágást Somogyban nem választékoltak, viszont a Nyírségben az összes választék egy tizedét a kivágás teszi ki mageredet esetében. A vastag tűzifából és a gyűjtött tűzifából egyaránt Somogyban termeltek többet, nagyjából 10 m³-rel hektáronként (1. ábra). A Nyírerdő Zrt.-nek 3,86 millió Ft/ha az árbevétele kovárványos barna erdőtalajon mageredet esetében, ez az összeg 1,26 millió forinttal több hektáronként, mint a SEFAG Zrt. esetén. A jó minőségű választékokból, amelyek drágák, a SEFAG Zrt. területén kevés van, az olcsóbb választékokból van több, ez eredményezi a pénzbeli különbségeket.



1. ábra: Mag eredetű akácállományok választék-összetétele kovárványos barna erdőtalajon [m³/ha; %]
a) a Nyírerdő Zrt. területén; b) a SEFAG Zrt. területén

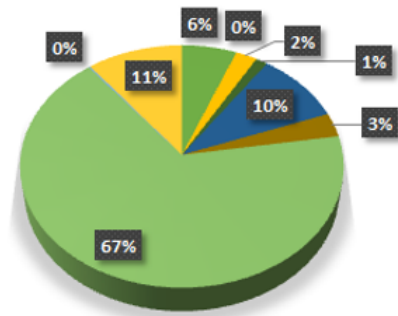
4. Kovárványos barna erdőtalajon lévő gyökérsarj eredetű akácállományok összehasonlítása

Kovárványos barna erdőtalajon lévő gyökérsarj eredetű állományokból 143,7 m³/ha faanyagot termeltek Somogyban, míg a Nyírségben 110 m³/ha-t (2. ábra). Gyökérsarj állományok esetén azonban a Nyírerdő Zrt. 2,20 millió Ft/ha-t termelt, míg a SEFAG Zrt. 2,42 millió Ft-ot hektáronként. A három összehasonlítás közül ez volt az egyetlen, ahol a SEFAG Zrt. területén kitermelt faanyag volt értékesebb.



m³/ha

6,73	Akác állványfa kéregben sz. m.
2,45	Akác bányadorong vastag kéregben sz. m.
6,31	Akác cölöpfa alapanyag kéregben sz. m.
1,38	Akác fűrészipari rönk I. o.
10,28	Akác fűrészipari rönk II. o.
3,22	Akác kivágás sz. m.
10,01	Akác szőlőkaró alapanyag kéregben sz. m.
4,34	Akác szőlőtámfa kéregben sz. m.
54,22	Akác vastag tűzifa
5,66	Akác vékony tűzifa (gally)



m³/ha

8,65	Fűrészrönk
0,00	Kivágás
3,38	Fagyártmányfa
1,84	Oszlopfélék
13,85	Vadkerítés alapanyag
4,58	Apríték alapanyag
96,04	Vastag tűzifa
0,30	Ágtuskó
15,05	Gyűjtött tűzifa

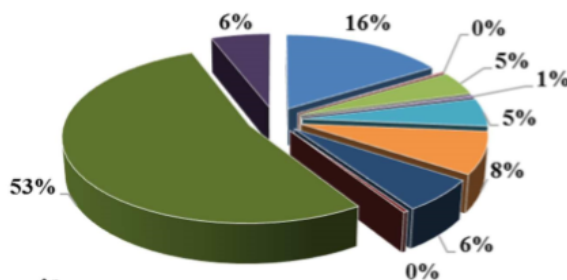
a)

b)

2. ábra: Gyökérsarj eredetű akácállományok választék-összetételének megoszlása KBE-on [m³/ha; %]

a) a Nyírerdő Zrt. területén; b) a SEFAG Zrt. területén

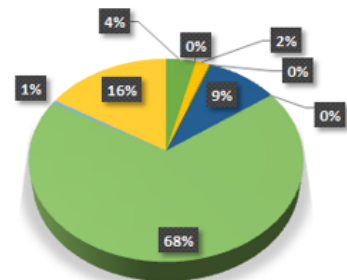
5. Humuszos homokon lévő gyökérsarj eredetű akácállományok összehasonlítása



m³/ha

20,85	Akác állványfa kéregben sz. m.
0,30	Akác bányadorong vastag kéregben sz. m.
5,71	Akác cölöpfa alapanyag kéregben sz. m.
0,51	Akác fűrészipari rönk I. o.
6,72	Akác fűrészipari rönk II. o.
10,24	Akác kivágás sz. m.
8,10	Akác szőlőkaró alapanyag kéregben sz. m.
0,50	Akác szőlőtámfa kéregben sz. m.
68,83	Akác vastag tűzifa
7,54	Akác vékony tűzifa (gally)

a)



m³/ha

3,76	Fűrészrönk
0	Kivágás
1,76	Fagyártmányfa
0,27	Oszlopfélék
8,93	Vadkerítés alapanyag
0	Apríték alapanyag
66,59	Vastag tűzifa
0,49	Ágtuskó
15,88	Gyűjtött tűzifa

b)

3. ábra: Gyökérsarj eredetű akácállományok választék-összetételének megoszlása HH-on [m³/ha; %]

a) a Nyírerdő Zrt. területén; b) a SEFAG Zrt. területén

A somogyi területeken lévő humuszos homok-talajokon jóval kevesebb faanyagot termeltek ki (97,7 m³/ha), mint a Nyírségben (130 m³/ha). Ahogyan azt már a kovárványos barna erdőtalajnál láttuk, a Nyírségben jelentős mértékű a kivágás termelése, valamint fűrészrönkből is többet termeltek. Vastag tűzifából a két erdőgazdaság közel megegyező mennyiséget termelt. Mint ahogyan azt az előző két összehasonlításban is láttuk, a gyűjtött tűzifából a SEFAG Zrt. területén termeltek többet (3. ábra). A választékok közötti különbség a bevételekben is megjelenik. A Nyírerdő 2,77 millió Ft/ha-os értékével szemben a SEFAG Zrt. csupán 1,56 millió Ft-ot termelt hektáronként az akác állományából humuszos homokon.

6. Összefoglalás

Az 1. táblázat összesítve mutatja a két erdőgazdaság (erdőgazdasági táj) területén hektáronként kitermelt fatérfogat mennyiségét és a hektáronkénti fahasználati árbevételt.

	Eredet	Genetikai talajtípus	SEFAG Zrt.	Nyírerdő Zrt.
Kitermelt fatérfogat [m ³ /ha]	Mag	Kovárványos barna erdőtalaj	152,7	170,0
	Gyökérsarj	Kovárványos barna erdőtalaj	143,7	110,0
		Humuszos homok	97,7	130,0
Árbevétel [millió Ft/ha]	Mag	Kovárványos barna erdőtalaj	2,60	3,86
	Gyökérsarj	Kovárványos barna erdőtalaj	2,42	2,20
		Humuszos homok	1,56	2,77

1. táblázat: Összesítés a két erdőgazdaság közötti különbségekről

A két terület között jelentős különbségek vannak a választék-összetételben és ennek következtében a fahasználati árbevételben, ugyanis az erdőgazdaság elhelyezkedése jelentősen befolyásolja a termelt választékok körét. A Nyírerdő Zrt. esetében az egyes választékok között egyenletesebben oszlik meg a kitermelt fatérfogat.

7. 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 valósul meg.

8. Hivatkozások

Bartha D. (2016), Tények és tévhitek a fehér akác első európai megjelenéséről, Erdészeti lapok, CLI. évf. 292- 295.

Iski R. (2017), Akác faállományok választék-összetételének vizsgálata a Nyírerdő Zrt. területén, Diplomamunka, Sopron.

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. *Erdőhasználat*. Mezőgazda Kiadó, Budapest.

Molnár S. (1996), *Az akácfa jelentősége, tulajdonságai és ipari felhasználása I-II.*, Bútor és Faipar, Budapest.

Országos Erdőállományi Adattár, 2015

Pintér T. (2018), *Akác faállományok választék-összetételének vizsgálata a SEFAG Erdészeti és Faipari Zrt. területén*, Diplomamunka, Sopron.

Rédei K. (1997), *Az akáctermesztés kézikönyve*, Erdészeti Tudományos Intézet, Budapest.

Vidékfejlesztési Minisztérium (2011): *A klímaváltozás hatásai, következményei, és az alkalmazkodás lehetőségei*.

FÁS SZÁRÚ ÜLTETVÉNYEKEN ALKALMAZOTT TECHNOLÓGIÁK HATÁSA A BIODIVERZITÁSRA

Szigeti Nóra - Czupy Imre - Vágvölgyi Andrea
Soproni Egyetem, Erdészeti-műszaki és Környezettechnikai Intézet
9400 Sopron, Bajcsy-Zs. u. 4.
szigeti.nora@uni-sopron.hu

Kivonat: *A fás szárú ültetvényeken viszonylag rövid idő alatt nagy mennyiségű dendromassza termelhető, mely felhasználható ipari vagy energetikai célra. Az ültetvények az erdőktől leginkább abban különböznek, hogy a faállományt nemesített szaporítóanyaggal, szabályos hálózatban telepítik, termesztéstechnológiájuk szinte egésze (terület nagyságtól függően) gépesített (terület- és talajelőkészítés, ültetés, ápolás, betakarítás stb.), és az egyes műveletek pl. gépi ápolás több évig vagy akár évente többször is ismétlődhet. Ezen befolyásoló tényezők hatására biodiverzitásuk (biológiai sokféleség) eltér/het a hagyományos erdőétől. Az ültetvények vadgazdálkodás és természetvédelem szempontjából is fontosak lehetnek, mivel élő- táplálkozó- vagy búvóhelyet nyújthatnak számos rovar-, madár- és kismélszaj számára. A vágásfordulótól, a fafajától és az ültetvény szerkezetétől függően a faültetvények ökológiai folyosó funkcióját tölthetik be a mezőgazdasági környezethez alkalmazkodott fajok számára..*

Kulcsszavak: dendromassza, faültetvények, ültetvény technológiák, biodiverzitás

1. Bevezetés

Az agroerdészeti rendszerek biodiverzitást módosító hatásainak tanulmányozása során felmerült a különböző faültetvények szerepe. Az agrár területen létrehozott energetikai faültetvények is tekinthetők agroerdészeti rendszernek, amennyiben a folyamatosan fenntartandó fás kultúrákat tudatosan integrálják a mezőgazdasági növénytermesztés vagy állattartás tevékenységébe ugyanazon földterületen (Keserű, 2014, Vityi és Marosvölgyi, 2014).

A mezőgazdasági faültetvények nagyon sok szempontból fejthetnek ki kedvező hatást a gazdálkodás és az élet minőségére. Ezek Moreno et al. (2016), Vityi és Marosvölgyi (2014) és Westaway et al. (2016) szerint például az alábbiak:

- karbon-megkötés;
- víz- és talajvédelem;
- biodiverzitás megőrzése;
- a rekreációs lehetőségeket is befolyásoló tájképi változatosság;
- specifikus mikroklímát is teremt, ami egyrészt szélfogóként, másrészt árnyékként, védelekként szolgál a jóságok és más állatok számára az adott területen;
- elősegíti a lakosság helyben tartását és bővíti jövedelemszerzési lehetőségeit;
- biztosítja a gazdálkodás fenntartását kedvezőtlen adottságú területeken és Natura 2000 területek esetében is;
- kár- és kórokozók természetes ellenségeinek élőhely-térnyerése;
- méhészeti jelentőség.

Tanulmányunk célja a faültetvények biodiverzitásra gyakorolt hatásainak, illetve az azt befolyásoló paraméterek bemutatása szakirodalmi adatok alapján.

Fás szárú ültetvények különböző céllal létesülnek, ezek közül a leggyakoribbak (a teljesség igénye nélkül):

- mérnökbiológiai létesítmények környezeti, vagy emberi hatások csökkentésére (pl erózió, szennyezések, vagy bűz mérséklése);
- városi, települési fásítások a kedvező mikroklimatikus hatásaik miatt;
- útmenti fásítások a vezetés optikai megkönnyítése, balesetmegelőzés, illetve hófúvások megelőzése érdekében;
- kopárfásítások az elpusztult termőréteg helyreállítása céljából;
- illetve ipari, energetikai célból.

A különböző funkciók nem mindig különülnek el élesen: egy út- vagy tanyafásítás egyszerre szolgálhat klimatikus és balesetmegelőzési célokat, illetve egy védő fásítás faanyaga is hasznosítható ipari, energetikai célra (Kiss-Szigeti, 2012).

A faültetvények létesítésének oka természetesen erősen befolyásolja a megjelenését, jellemzőit, például kiterjedését és alakját, szerkezetét, korát, kezelését, így a biodiverzitás szempontjából nem elemezhetők egységesen. A következőekben elsősorban a rövid vágásfordulójú, energetikai és ipari célú faültetvények élővilágának jellemzőit, és az azt befolyásoló tényezőket mutatjuk be.

2. Fás szárú ültetvények hazánkban

Fás szárú ültetvény a magyar jogszabály szerint az abban meghatározott alapfafajok (1. táblázat) és azok erdészeti és energetikai célra engedélyezett fajtaikból álló (1. ábra):

- legfeljebb 20 évig fenntartott, energetikai hasznosításra szánt *hengeres energetikai célú fás szárú ültetvény*,
- energetikai hasznosításra szánt legfeljebb 5 éves vágásfordulóval kezelt *sarjatzatásos 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.) Sarjatzatásos fűz ültetvény (Póliska, 2012)

Az energetikai illetve ipari célú ültetvények természetvédelmi létjogosultságát az adja, hogy az ilyen jellegű faigény kitermelése a megmaradt természetközeli erdőkre óriási nyomást gyakorolna. A fejlődő országokban egyre erősebb az az igény, hogy a természetes erdőkörnyezet fennmaradjon, ami gyakran csak a fakitermelés kizárásával (erős mérséklésével) oldható meg. A faigény kielégítése ezért az ültetvényes fatermesztéssel valósítható meg (Vágvölgyi, 2013).

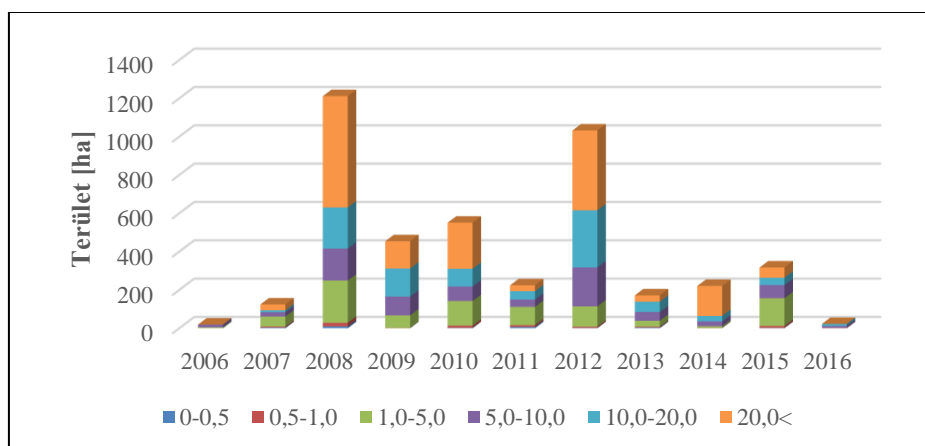
A biodiverzitás szempontjából a fajaj összetétel és az ültetvény szerkezet nagyon fontos. A leggyakrabban telepített fajok a fűz, nyár és akác.

1. táblázat: Magyarországon telepíthető engedélyezett alapfajok listája

135/2017 (VI.9.) Kormányrendelet
Nyár fajok / <i>Populus spp./</i>
Kosárfonó fűz / <i>Salix viminalis/</i>
Fehér fűz / <i>Salix alba/</i>
Fehér akác / <i>Robinia pseudoacacia/</i>
Mézgás éger / <i>Alnus glutinosa/</i>
Magas kőris / <i>Fraxinus excelsior/</i>
Magyar kőris / <i>Fraxinus angustifolia danubialis/</i>
Vörös tölgy / <i>Quercus rubra/</i>
Dió fajok / <i>Juglans spp./</i>
Korai juhar / <i>Acer platanoides/</i>

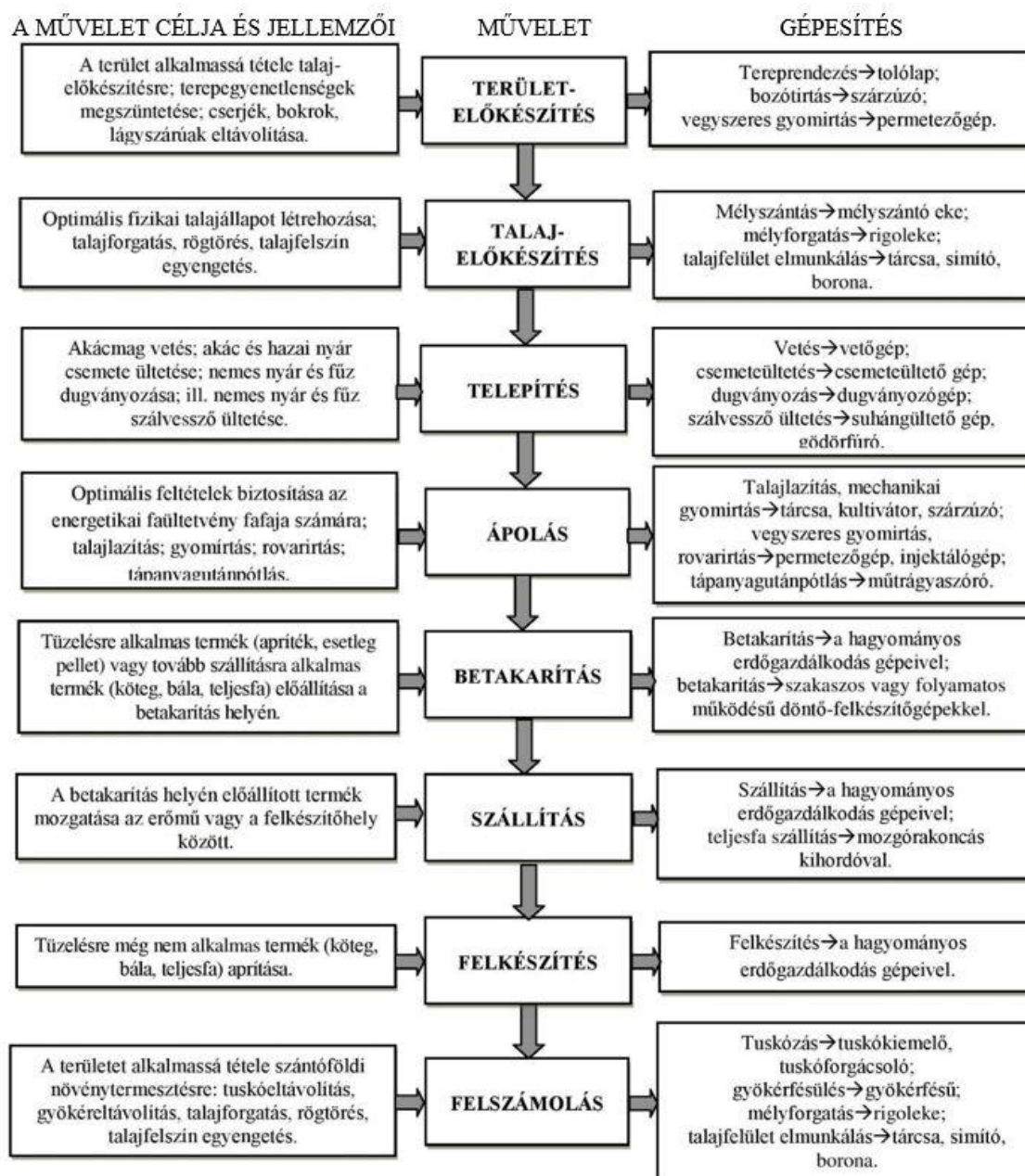
A hengeres energetikai vagy ipari célra szánt faültetvények területnagysága Magyarországon több ezer hektár. Az energetikai célú- tehát rövidebb vágásfordulójú- ültetvények területfoglalása több mint 4000 ha (Szalay, 2018).

Az ültetvények gépesítettségét nagyban meghatározza az ültetvények területnagysága, melyet a 2. ábra szemléltet.



2. ábra: Telepített ültetvények területe [ha] a támogatottság függvényében (Szalay et al., 2019)

Az ültetvények természetstechnológiája több pontban eltér/het az erdészeti technológiáktól. Az egyes technológiai elemeket és a hozzá kapcsolódó technológiákat az 3. ábra mutatja be.



3. ábra: Ültetvények termesztés technológiájának lépései és a hozzá kapcsolódó gépek (Czupy et al., 2012 alapján)

A pár (kb. 3 ha) hektáros területeken a kézi ültetés és kézi eszközös betakarítás jöhet számításba, ahogy növekszik az ültetvények területnagysága nő a gépesítési igény is az egyes technológiai elemekben. Eltérő lehet az ültetvények vágásfordulója is. Az energetikai célra szánt sarjaztatásos ültetvények vágásfordulója maximum 5 év lehet, ami azt jelenti, hogy az ültetvény betakarítható 1,2,3 éves korban, de maximum 5 évesen, értelemszerűen a hengeresfa és ipari ültetvények esetén a vágásforduló növekszik. Az ápolási munkák az ültetvény legalább első 2 évében elkerülhetetlenek. A sor és sorköz ápolás a gyomkonkurrencia leküzdésére nélkülözhetetlen. Ültetvény méretétől függően ez szintén lehet kézi vagy gépi, mechanikai vagy vegyszeres.

3. Rövid vágásfordulójú ültetvények biodiverzitása

A természetes ökoszisztemek önszabályzó, normál körülmények között évtizedeken, évszázadokon át fennmaradó nagy stabilitású rendszereknek tekinthetők, ezzel szemben az ember által fenntartott növénykultúrák stabilitása általában kicsi. (Godó, 2011).

A faültetvények megítélése az életközösségük szempontjából nagyon különböző a magyar és nemzetközi szakirodalomban, részben a vizsgált élőlény közösségektől függően. Tovább árnyalja a képet, hogy mihez hasonlítjuk a faültetvény élővilágát. Ha az ültetvény mezőgazdasági területen létesült, akkor nem a természetközeli társulásokhoz érdemes viszonyítani a biodiverzitást, hanem az intenzív művelésű szántóföldekhez.

A biológiai sokféleség (biodiverzitás) az élővilág értékelésének és értelmezésének napjainkban egyik legalapvetőbb szempontja. Az élet megjelenési formáinak gazdagságát próbáljuk ezzel az egyetlen kifejezéssel lefedni (Mátyás, 2005).

A Biológiai Sokféleség Egyezmény definíciója szerint: „*bármilyen eredetű élőlények közötti változatosság, beleértve többek között a szárazföldi, tengeri és más vízi-ökológiai rendszereket, valamint az e rendszereket magukban foglaló ökológiai komplexumokat; ez magában foglalja a fajon belüli, a fajok közötti sokféleséget és maguknak az ökológiai rendszereknek a sokféleségét*” (1995. évi LXXXI. törvény a Biológiai Sokféleség Egyezmény kihirdetéséről).

A diverzitást egyre gyakrabban és egyre szélesebb körben, nemcsak mint társulásjellemzőt, hanem mint önálló értéket is elismerik, amelynek megőrzését a természetvédelem kitüntetett feladatának tekinti. A diverzitásnak alapvető szerepe van az ökoszisztémák stabilitásának és komplexitásának alakulásában, fennmaradásában. A természetes flóra és fauna által képviselt sokféleség fenntartása ezért létfontosságú az élővilág fennmaradása érdekében.

Mátyás (2005) szerint a faültetvény mind a fajgazdagság fenntartása, mind élőhelyteremtés szempontjából értéktelen. Például a nemes nyárasok növényvilágát tekintve a táj hálózatból adódó fénybőség, a rendszeres talajművelés, a rövid vágásforduló miatt erdei fajok a gyepszintben rendszerint nem találhatók. A gyakorta művelt sorközökben főleg az egy- és két éves, zavarástűrő fajok uralkodnak, a kevésbé bolygatott sorokban az évelő, zavarástűrő („gyom-”) fajok szaporodnak fel. Az agrotechnikai beavatkozások elmaradásakor az évelők, közülük is a magaskórósok (pl. betyárkóró, selyemkóró, bojtortjánok, bogáncsok, aszatok, lóromok, nagycsalán, sédkender, magas aranyvessző) és a tarackoló fajok (pl. tarackbúza, siskanádtippán, hamvas szeder) válnak tömegessé.

Kölcsei (2015) szerint az európai bioenergia-ültetvények összességében negatív hatásúaknak tekinthetők az állatvilágra, az állatok elterjedési területének (élettere), a populációk nagyságának, és a fajgazdagság csökkenése, illetve az idegen fajok jelentette invázió növekedése miatt. A fajok 28%-ára negatív, viszont 10%-ára pozitív hatást jelent a bioenergia-ültetvények létesítése. Ezen hatások természetesen állatfajonként változnak.

Velük szemben Felton et al. (2016) svédországi megfigyelések alapján megállapította, hogy egyes ipari tölgy ültetvények madárközössége részlegesen összetételében és fajszámban is hasonló (34 faj), mint a védett tölgyerdőké (39 faj). Ezenkívül a felmérés alatt több veszélyeztetett madárfajt is megfigyeltek (*Dryocopus martius*, *Regulus regulus*, *Sturnus vulgaris*, *Emberiza citrinella*). Bár a tölgy ültetvények nem helyettesíthetik a védett tölgyerdők által biztosított élőhelyeket, ezek az állományok úgy tűnik, olyan feltételeket biztosítanak, amelyek összhangban állnak a madárfajok sokszínű élőhely- és erőforrásigényeivel, beleértve a jelentős természetvédelmi értékű fajokat is. Szerintük tehát az ipari tölgy ültetvények képesek pozitívan hozzájárulni a biológiai sokféleség megőrzéséhez.

Liebhard (2009) szerint különösen a szárazabb éghajlatú régiókban hozzájárulhatnak az élettér rendszerek összekapcsolásához, zöld folyosóként. Egész éves talajtakaró hatásuknak köszönhetően bűvő, és szaporodóhelyet és 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. Hasonlóan a mezőgazdasági területen létesített ültetvény a pókok ismételt megjelenését is elősegíti. Különösen akkor érvényesül ez a hatás, ha az ültetvények területének csak egy részét termelik le egy alkalommal, így különböző korú állományok alakulnak ki, és a bolygatatlan területeken menedéket talál az élővilág. A lehetőségekhez mérten egy kisméretű vizes biotóp további ökológiai értéket ad a területnek. Tovább fokozható a kedvező hatás az ültetvény szélén egy kevésbé intenzíven, vagy egyáltalán nem kezelt, több őshonos, a termőhelynek megfelelő fajtából álló sáv

létrehozásával. A madárberkenye, vadcserezsnye, nyír, kőris és éger még a méhek és beporzó szervezetek szempontjából is kedvezőek a táplálkozási, gyűjtési lehetőség elnyújtásával (Somogyi, 2014).

Verheyen et al. (2014) tíz rövid vágásfordulójú ültetvény edényes flóráját és rovarközösségét hasonlította össze kukoricás kontroll területével. Mindegyik ültetvényen -kukoricaföld összehasonlításban - jelentős eltérést találtak mind a növényborítottság, mind a faji sokféleség tekintetében az ültetvények javára. Az ízeltlábúak sűrűsége több esetben is szinte duplája volt 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. Összességében azt állapították meg, hogy mezőgazdasági környezetben a faültetvény jelentősen növelheti a növény és ízeltlábú közösségek diverzitását.

Müller et al. (2017) az ültetett fűz fajták genetikai diverzitása, és az ültetvényben megjelenő élővilág sokfélesége közötti kapcsolatot vizsgálta. Kísérleteik eredménye alapján a fűz genetikai diverzitásának növelésével az ízeltlábú, azon belül a növényevő közösségek fajgazdagsága szignifikánsan növekszik. Tehát egy több fajtából álló rövid vágásfordulójú ültetvény hozzájárulhat a rovarvilág diverzitásának megőrzéséhez.

Faragó (1997) megállapította, hogy a fűz ültetvények megfelelő élőhelyek az apróvad számára. Az ültetvényeket tápanyagban gazdag, megfelelő nedvesség-tartalmú területeken hozzák létre, és 10 -15 (-20) évig fenntartják, ami hosszú távon élőhelyeket eredményez.

A vegetációs szerkezet kiválóan alkalmas a fácánok és a mezei nyulak számára. Az ültetvények betakarítása- vegetációs időszakon kívül- novembertől február végéig bármikor lehetséges. Az extenzíven művelt fűz ültetvények csaknem egész évbe védelmet és táplálékot biztosítanak a apróvad számára, melyek szinte zavartalanul szaporodhatnak. A rövid vágásfordulójú ültetvényeket négy éves vágásfordulóval kezelik, melyek és a második évtől kezdve zavartalan rejtekhelyet, pihenőhelyet és táplálkozási területet biztosítanak a vadon élő állatok számára, különösen vegyszermentes technológiák esetén.

Westaway et al. (2016) Észak-Európa alföldjein az agrár területeket tarkító sövények biomassza termelési célú hasznosítását, és ennek (többek között) a biodiverzitásra gyakorolt hatásait tanulmányozva azt találta, hogy a biomassza alapú üzemanyag előállítás céljából hasznosított sövények pozitív és negatív hatásokat egyaránt hordoznak egyedi és táj szinten is. A legkisebb technológiai változtatás is jelentős tényező a biodiverzitás alakulása szempontjából: a sövénytáj kapcsolatai, hálózati sűrűsége, tőssűrűsége, strukturáltsága stb. befolyásolják elsősorban a kialakuló életközösséget.

Hasonlóan Weih (2008) szerint általánosságban 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.

Weih (2008) megállapításai szerint míg a vegyes tülevelű erdőkhöz viszonyítva az edényes flóra diverzitása kisebb a fiatal fűz és nyár ültetvényekben, addig az egyfajú, kezelt fenyvesekhez viszonyítva nagyobb.

A fűz illetve nyár hibrid faültetvények emlős- és madárközössége szignifikánsan diverzebb, mint a mezőgazdasági veteményeké. Különösen a ragadozómadarak szempontjából jelentősek ezek az élőhelyek. Az ültetvény élővilágában természetesen meghatározó a kapcsolódó élőhelyek használata is. Egy közeli természetserű erdő elősegíti a növények, rovarok, madarak vándorlását, így az ültetvény biodiverzitása megnő. Még az ültetvény közelében elhelyezkedő egy-egy őshonos fa, vagy facsoport is adhat átmeneti menedéket az élővilág számára arra az időre, amikor az ültetvény éppen intenzív kezelés alatt áll.

Nagyobb ültetvényekben egyes parcellák eltérő években való használata növeli a strukturális és biológiai diverzitást. Hasonló célt ér el, ha sok kisebb ültetvényt létesítünk, amelyeket nem ugyanabban az évben termelünk le. Ráadásul ezek a megoldások a herbivor rovarok elleni biológiai védekezést is megkönnyítik, ami egyébként az ültetvényes gazdálkodás egyik sarkalatos pontja.

Hasonlóan a struktúra, így az életközösségek diverzitását növeli, és a gyomosodás és betegségek jelentőségét csökkenti, ha különböző fajokat, fajtákat, illetve ezek kombinációit telepítjük a blokkokba, vagy sorokba. Végül a faültetvények szélein hagyott pár méter széles mezsgye is támogatja a különböző növény- és állatfajok betelepülését.

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 agrár tájban az élelmiszer termelés kiegészítésére, a termelés változatosságának növelésére.

4. Összefoglalás

A fenti kutatási eredményeket összefoglalva azt látjuk, hogy a rövid vágásfordulójú faültetvények biodiverzitásra gyakorolt hatásának megítélésében elsődleges az ültetvény elhelyezkedése. Ha természetközeli erdő, vagy egyéb társulás helyét foglalja el, akkor az intenzív kezelés, az abból adódó bolygatás, és a szegényes faji és strukturális változatosság miatt erősen kedvezőtlen hatással bír a biodiverzitásra.

Teljesen más megítélés alá esik a szántóföldi faültetvény, ami elsősorban a madár- és rovarközösségek számára menedéket és táplálékot jelenthet a monokultúras termesztési rendszerekben.

Amennyiben a telepítés során ökológiai megfontolások is helyet kapnak, kis területvesztéssel és ráfordítással komoly eredmények érhetők el a biológiai sokféleség megőrzése érdekében. Egy kevésbé intenzíven kezelt, több őshonos fajjal kialakított sáv, egy kis vizes biotóp, illetve az időben eltolt fahasználat a biodiverzitás növelése mellett a tájkép szempontjából is kedvező. Mindemellett az agrár területen létesült fás társulások a mikroklimát is előnyösen befolyásolják, a megtermelt javakat diverzifikálják, a vidéket többlet bevételhez, munkalehetőséghez juttatják, elősegítik a bevételek időben egyenletesebb eloszlását.

5. 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 valósul meg.

6. Hivatkozások

Czupy, I., Vágvolgyi, A. and Horváth, B. (2012) “The Biomass Production and its Technical Background in Hungary.” Proceedings of 45th International Symposium on Forestry Mechanization: "Forest Engineering: Concern, Knowledge and Accountability in Today's Environment". Dubrovnik, Cavtat, Horvátország. ISBN: 978-953-292-025-3. 1-9.

Faragó, S. (1997) Élőhelyfejlesztés az apróvad-gazdálkodásban: A fenntartható apróvad-gazdálkodás környezeti alapjai. Mezőgazda Kiadó, Budapest

Felton, A., Hedwall, P.O., Lindblad, M., Nyberg T., Holmström, E., Wallin, I., Löf, M. and 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

Godó Z. (2011) Agro-ökológia. Digitális tankönyvtár.

Kiss-Szigeti, N. (2012) Mérnökbiológiai létesítmények környezetvédelmi alkalmazhatóságának vizsgálata. Varga G. (szerk.) Környezeti Kutatások 2008-2012. Nyugat-magyarországi Egyetem Kooperációs Kutatási Központ Nonprofit Kft.

Keserű, Zs. (2014) "Agroerdészet Magyarországon." Erdészeti lapok CXLIX, 2, 49-50.

Kölcei, T. (2015) Bioenergia-ültetvény és a biodiverzitás. Agroinform.hu

Mátyás, Cs. (2005) Erdészeti ökológia. Mezőgazda Kiadó, Bp.

Moreno, G., Berg, S., Burgess, P.J., Camilli, F., Crous-Duran, J., Franca, A., Hao, H., Hartel, T., Lind, T., Mirck, J., Palma, J., Pantera, A., Paula, J.A., Pisanelli, A., Rolo, V., Seddaiu, G., Thenail, C., Tsonkova, P., Upton, M., Valinger, E., Varga, A., Viaud, V. and Vityi, A. (2016) "Agroforestry systems of high natural and cultural value in Europe: constraints, challenges and proposal for the future." 3rd European Agroforestry Conference Montpellier, France. Book of Abstracts 24-27.

Müller, M., Klein, A-M., Scherer-Lorenzen, M., Nock, C. A. and Staab, M. (2017) "Tree genetic diversity increases arthropod diversity in willow short rotation coppice." Biomass and Bioenergy Vol. 108, 338-344. DOI: 10.1016/j.biombioe.2017.12.001

Pásztor, E. and Oborny, B. (2007): Ökológia. Nemzeti Tankönyvkiadó, Bp.

Szalay, D. (2018) "Energetikai célú dendromassza termesztés és hasznosítás lehetséges szerepe a lignocellulóz biohajtóanyag üzemem alapanyag ellátásában." Doktori értekezés. Soproni Egyetem. Sopron, 151.

Szalay, D. Kertész, Sz., Vágvölgyi, A. (2019) "Changes in the legal and support background of woody energy plantations". *Analecta Technica Szegedinensia* 13, 72-81. ISSN 2064-7964

Vágvölgyi, A. (2013): Fás szárú energetikai ültetvények helyzete Magyarországon napjainkig; Üzemeltetésük, hasznosításuk alternatívái. Doktori értekezés. Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron.

Vágvölgyi, A., Fehér, S., Horváth, B., Komán, Sz., Kovács, G., Szabó, L., Czupy, I., Grigorev, I., Grigoreva, O., Danilov, D., Kunickaja, O. and Krivash, E. (2016) *Virascivanie I Ekspluatacia Lesnih Plantacij*. Nyugat-magyarországi Egyetem könyvkiadó, Sopron, 132. ISBN: 9789633343029

Verheyen K., Buggenhout M., Vangansbeke P., Dobbelaere A. D., Verdonck 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

Vityi, A., Marosvölgyi, B. (2014): *Agroerdészet egykor és ma Agroforum* 25, 10.

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)

Westaway S., Crossland EM., Chambers EM., Gerrard C., Smith J. (2016) "Does harvesting hedges for woodfuel conflict with their delivery of other ecosystem services?" 3rd European Agroforestry Conference Montpellier, France. Book of Abstracts 54-57.

1995. évi LXXXI. törvény a Biológiai Sokféleiség Egyezmény kihirdetéséről

135/2017. (VI.9.) Kormányrendelet a fás szárú ültetvényekről

S02 Szekció 2

SZENNYVÍZ ÉS ISZAP SZERVESANYAGFRAKCIÓK BIOLÓGIAI HASZNOSÍTHATÓSÁGÁNAK FOKOZÁSA MIKROHULLÁMÚ ELJÁRÁSOKKAL

Beszédes Sándor¹, Jákói Zoltán¹, Lemmer Balázs¹, Papp Viktória², Vágvolgyi Andrea², Nagy Sándor³, Hodúr Cecília¹

¹Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Kar; ²Soproni Egyetem Erdőmérnöki Kar; ³Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Kar

TÁPANYAG-ÖSSZETÉTEL HATÁSA GOMBA TENYÉSZETEK FT-IR SPEKTRUMAIRA

Rákosa Rita¹, Vargovics Máté¹, Jakab Jenő², Németh Zsolt István¹

¹Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Kémiai Intézet; ²Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Erdőművelési és Erdővédelmi Intézet

NÖVÉNYI LOMBOZAT INFRAVÖRÖS SPEKTRUMAINAK ÖSSZEHASONLÍTÓ STATISZTIKAI ÉRTÉKELÉSE

Németh Zsolt István, Rákosa Rita

Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Kémiai Intézet

OLAJSZÁRMAZÉKOK OKOZTA SZENNYEZÉS VIZES RENDSZEREKBE ÉS TALAJBAN: LEHETŐSÉGEK A BIOLÓGIAI KÁRMENTESÍTÉSRE

Bodor Attila^{1,2,3}, Petrovszki Péter¹, Vincze György Erik¹, Bounedjoun Naila¹, Erdeiné Kis Ágnes^{1,2,3}, Laczi Krisztián¹, Rákhely Gábor^{1,2,3}, Perei Katalin^{1,2}

¹Biotechnológiai Tanszék, Szegedi Tudományegyetem, Szeged; ²Környezettudományi és Műszaki Intézet, Szegedi Tudományegyetem, Szeged; ³Biofizikai Intézet, MTA Szegedi Biológiai Kutatóközpont, Szeged

MÓDOSÍTOTT MEMBRÁNOK ALKALMAZÁSA VÍZKEZELÉSBEN

Fazekas Ákos Ferenc¹, Veréb Gábor¹, Kertész Szabolcs¹, Beszédes Sándor¹, Hodúr Cecília^{1,2}, Németh Zsolt³, Dolgosné Kovács Anita⁴, László Zsuzsanna¹

¹Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Kar Folyamatmérnöki Intézet; ²Szegedi Tudományegyetem, Környezettudományi és Műszaki Intézet; ³Soproni Egyetem, Kémiai Intézet, ⁴Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar, Környezetmérnöki Tanszék

VÍZSZENNYEZŐ ANYAGOK LEBONTÁSA MIKROHULLÁMMAL INTENZIFIKÁLT FENTON-REAKCIÓ ALKALMAZÁSÁVAL

Jákói Zoltán¹, Lemmer Balázs¹, Hodúr Cecília^{1,2}, Vágvolgyi Andrea³, Dittrich Ernő⁴, Beszédes Sándor¹

¹Szegedi Tudományegyetem, Mérnöki Kar, Folyamatmérnöki Intézet; ²Szegedi Tudományegyetem, Természettudományi és Informatikai Kar, Környezettudományi és Műszaki Intézet; ³Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Erdészeti-műszaki és Környezettudományi Intézet; ⁴Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar, Környezetmérnöki Tanszék

APPLICATION OF HYDROCARBON CONTAMINATED-SOIL MICROBIOME FOR AQUEOUS ECOSYSTEMS BIOREMEDIATION IN RESPONSE TO EXTRACELLULAR ORGANIC MATTER FROM MICROCOCCLUS LUTEUS

Bounedjoun Naila^{1,2}, Bodor Attila^{1,2}, Vincze György Erik¹, Laczi Krisztián¹, Erdeiné Kis Ágnes^{1,2,3}, Rákhely Gábor^{1,2,3}, Perei Katalin^{1,2}

¹Department of Biotechnology, University of Szeged, Hungary; ²Institute of Environmental and Technological Sciences, University of Szeged, Hungary; ³Institute of Biophysics, Biological Research Center, Szeged, Hungary

SZENNYVÍZ ÉS ISZAP SZERVESANYAGFRAKCIÓK BIOLÓGIAI HASZNOSÍTHATÓSÁGÁNAK FOKOZÁSA MIKROHULLÁMÚ ELJÁRÁSOKKAL

Beszédes Sándor¹, Jákói Zoltán¹, Lemmer Balázs¹, Papp Viktória², Vágvölgyi Andrea²,
Haranghy Laura¹, Nagy Sándor³, Hodúr Cecília¹

¹Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Kar, Folyamatmérnöki Intézet
H-6725 Szeged Moszkvai krt. 9

²Soproni Egyetem Erdőmérnöki Kar, Erdészeti-műszaki és Környezettechnikai Intézet
H-9400 Sopron Bajcsy-Zsilinszky u. 4

³Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Kar, Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárastechnikai
Intézet
H-3515 Miskolc Egyetemváros
beszedes@mk.u-szeged.hu

Absztrakt: *A szennyvízben, illetve a szennyvíziszapban lévő szervesanyagok környezeti elemekbe való kijuttatásának mérséklése környezetvédelmi-, ezen frakciók hasznosítása - a körkörös gazdaság koncepciójának is megfelelően - a természeti erőforrásokkal való fenntartható gazdálkodás szempontjából aktuális megoldandó feladat. A szennyvíz, illetve ennek a fázis-szeparációjakor, vagy egyéb eljárásban, keletkező iszap szervesanyag frakcióinak biotranszformáción alapuló hasznosításának határfokát a szerves komponensek oldhatósága nagymértékben meghatározza. A mikrohullámú energiaközlés rövid időszükséglet mellett alkalmas a vízoldhatóság fokozására és kritikus energiaintenzitást meghaladóan alkalmazva a sejtfalak és a sejten kívüli polimerstruktúrák roncsolására, valamint egyes makromolekulák hidrolízisének elősegítésére. A kutatásaink során vizsgáltuk a mikrohullám-specifikus műveleti paraméterek hatását mind az aerob, mind az anaerob biodegradáció mértékére.*

Az eredményeink alapján megállapítható, hogy a mikrohullámú energiaközlés önmagában is alkalmas mind az aerob, mind az anaerob biológiai lebonthatóság növelésére, a szervesanyag frakciók vízoldhatóságában bekövetkező növekmény hatására. A mikrohullámú módszert kémiai módszerekkel kombinálva megállapítottuk, hogy a savas kémhatású rendszerben végzett energiaközlés elsősorban az aerob biológiai lebonthatóság, míg az energiaközlést megelőző lúg adagolás a biogáz kitermelési mutató javítása esetében hatékony. Továbbá vizsgáltuk a mikrohullámú sugárzás termikus hatásfokával is összefüggő dielektromos jellemzők, valamint az aerob és anaerob biológiai lebonthatóságot jelző indikátorok közötti kapcsolat potenciális meglétét.

Kulcsszavak: szennyvíz, iszap, mikrohullámú kezelés, dielektromos jellemzők

1. Bevezetés

A mikrohullámú energiaközlés, elsősorban a termikus hatásai következtében a szerves anyagokkal erősen terhelt szennyvíznél, vagy iszapoknál az élő sejtek sejtfalának felszakításával, a patogének pusztítása révén az ártalmatlanítás egy hatékony módszerének tekinthető (Ahn et al., 2009). A mikrohullámú sugárzás gyorsan és hatékonyan képes a nem oldott állapotban lévő részecskéket, illetve iszapok esetében a pelyhek szerkezetének felszakítására, illetve egyes esetekben – például kémiai és nagyhatékonyságú oxidációs módszerekkel kombinálva- a nagy molekulájú szerves komponensek részleges hidrolizálására (Tang et al., 2010). Ezen hatások, a nedvességtartalommal belül a szabad víz arányának növelésével elősegíthetik az iszapok víztelenítését, továbbá javíthatják a későbbiekben alkalmazott biológiai

hasznosítási módszerek (pl. anaerob fermentáció, vagy komposztálás) hatékonyságát, rövidebb időszükséglet, vagy több „értékes” termék képződése mellett (Eskicioglu et al, 2006).

A nagy energiaintenzitású mikrohullámú kezeléseknél a nagyobb iszapfolyókák kisebb fragmentumokra esnek szét (dezintegrálódnak) és ezek a részek az adagolt flokkulálószerrel újrapelyheseznek, azonban az ezután létrejövő részecskeméret már nagyobb, így a kisebb fajlagos felületnek, illetve a gyengébb extracelluláris polimerhálóknak köszönhetően a kötött víztartalom csökkenése miatti szabad víztartalom növekedés révén a későbbi víztelenítés hatásfoka javult (Ebenezer et al., 2015). A mikrohullámú iszapkezelési eljárás lúg-adagolással kombinálva alkalmas a szervesanyagok oldhatóságának fokozására. A kombinált módszer csökkenti a mikrohullámú hőkeltés külső energia igényét, így a költségeket is, hiszen együttes alkalmazással alacsonyabb teljesítmény-intenzitású mikrohullámú sugárással is hasonló szolubilizációs fok érhető el, mintha a mikrohullámot önállóan alkalmaznánk nagyobb teljesítményen (Jang et al., 2013). A kutatások eredményeként megállapítható, hogy a művelethez szükséges idő jelentősen lerövidíthető, valamint csökkenthető a kezelések energiaigénye a hagyományos hőközlésen alapuló termikus kezelési módszerekkel összehasonlítva. A mikrohullámú anyagkezelések kivitelezhetőek atmoszférikus körülmények között, illetve nyomás alatti (atmoszférikus forráspont feletti hőmérsékleten) eljárások alkalmazásával is. Kuglarz és munkatársai (2013) a szennyvíziszapot alacsony hőmérsékleten mikrohullámokkal kezelték, melynek során arra a következtetésre jutottak, hogy a hagyományos termikus módszert a mikrohullámú energiaközléssel összehasonlítva a forráspont alatti hőmérséklettartományban a biogáz termelődés és az iszap oldhatóvá tétele a mikrohullámokkal kezelt minták esetében energetikai szempontok alapján is hatásosabb volt.

Kommunális eredetű szennyvíziszappal végzett vizsgálatok során megállapították, hogy nőtt az iszapvízben (vízoldható fázisban mérhető) kation koncentráció, és az összes savtartalom is. Az oldható fehérje koncentráció lineáris növekedést mutatott a kezelési idő előrehaladtával egészen a forrásponti hőmérséklet eléréséig, magasabb hőmérséklet hatására sem figyeltek meg lényeges csökkenést (Tyagi et al., 2013). Az oldható szénhidrát koncentráció csökkenést csak nagy teljesítmény-intenzitású, a mikrohullámú kezelés szempontjából hosszúnak tekinthető 11-15 perces mikrohullámú sugárzás követően tapasztaltak. Növekedett továbbá az iszapvízben a lipid koncentráció is, részben a foszfolipidek fő szerkezetét adó citoplazma membrán felszakadása miatt (Eskicioglu, 2008). A sejtmembránok bomlása a protoplazmában lévő, az addig kötött állapotú enzimek felszabadításához vezet, amelyek a szerves nitrogén és foszfor vegyületek hidrolíziséért felelősek. Ez az ammónia és a foszfát felszabadulását, így a folyékony fázisban ezek koncentrációjának növekedését okozza (Lee et al., 2015). A hulladékból-energia (waste-to-energy) koncepció célkitűzéseinek megfelelően tehát a mikrohullámú kezelést jól adaptálható az energiában gazdag bio-hajtóanyagok előállítási technológiájának intenzifikálására, ilyen alkalmazásokra mind a biogáz, mind a biodizel előállítása esetében találhatók kutatási eredmények (Chandrasekara et al., 2012).

A nagyhatékonyságú oxidációs eljárásokkal való kombináció több szempontból is előnyös lehet. A mikrohullámú sugárzás hatására az anyag lokális túlmelegedésének („hot spot”) következtében hidroxil gyökök képződhetnek. A heterogén fotokatalízis alkalmazásakor, ha azt mikrohullámú erőterben végzik, a mikrohullámú sugárzás csökkentheti az elektron-lyukpár rekombináció lehetőségét úgy, hogy elősegíti a fotonok által kiváltott elektronok átmenetét a katalizátor felületére (Cravotto et al., 2007).

A mikrohullámú sugárzás esetében – a frekvencián és a térerősségen kívül – elsősorban a dielektromos jellemzők lesznek azok, amelyek meghatározzák az anyag felmelegedési ütemét. Ez az energiaátadási mechanizmusban lévő különbség okozza a mikrohullámú hagyományos hőkeltési eljárásokkal szembeni előnyét, vagyis hogy a mikrohullámnak nem felületi, hanem úgynevezett térfogati felmelegítő hatása van (Komarov et al., 2005). A dielektrikumok esetében, a mikrohullámú sugárzás okozta felmelegedés mechanizmusa visszavezethető az ionos vezetésre és/vagy a dipólusos rotációra. Az elektromágneses spektrumon belül a mikrohullámú frekvenciákon a nagy nedvességtartalmú anyagok esetében elsősorban a dipólusos polarizációs mechanizmus szerepe tekinthető meghatározónak (Brodie et al., 2014). Az utóbbi esetben a változó polaritású elektromágneses térben a molekulák vagy követik az igen gyors pólusváltást, vagy azt csak késve tudják követni, ebben az esetben energia disszipáció jön létre, amely az anyagban hőfejlődéshez vezet (Venkatesh et al., 2004). A változó polaritású elektromágneses tér

továbbá egyes apoláris tulajdonságú anyagok esetében is képes felmelegítésére, ha azokban ún. indukált dipólusokat tud létrehozni az elektronfelhő torzításával.

A dielektromos jellemzőket különböző elven működő és eltérő felépítésű mérőrendszerekkel is vizsgálhatják. A nyílt végű koaxiális szonda módszer (OCP) jelenleg az egyik legnépszerűbb technika az anyagok komplex dielektromos permittitásnak, vagy ennek képzetes részének (dielektromos veszteségi tényező), illetve valós tagjának (dielektromos állandó) reflexiós tényező mérésén alapuló meghatározására. Ennél a módszernél a vizsgált anyag közvetlen kapcsolatban áll a mérőszennel. Ez a mérési módszer, illetve mérőrendszer a legkevésbé érzékeny a mérési „zajokra”. A dielektromos paraméterek vizsgálata az anyagtudományokban is gyakran alkalmazott módszer. Például a polikondenzációs reakciók révén létrehozott dielektrikumokat eltérő arányban tartalmazó amorf, háromdimenziós geopolimer anyagok esetében a ZrO_2 , $BaTiO_3$ és Y_2O_3 komponensek polimermátrixba való beépülése a permittivitás változás mérésével nyomon követhető (Essaidi et al., 2017). Alkohol fermentáció során, *Saccharomyces* törzsek szuszpenziói esetében is megállapították, hogy a permittivitás értékének a fermentációs időszak alatti változása és az élő sejtszám növekedése jól korrelál (Tibayrenc et al., 2011; Kregiel et al., 2012).

2. Anyag és módszer

A vizsgálatokhoz élelmiszeripari eredetű szennyvizeket és iszapokat használtunk fel, amelyek összetétele (szárazanyag tartalom, szervesanyag tartalom, ezen belül BOI, KOI) a mintavételi időponttól függően változott. A mikrohullámú kezeléseket végrehajtottuk szakaszos (batch) kezelésekként formájában egy Labotron 500 típusú mikrohullámú berendezéssel (2450 MHz frekvencia, 250W, vagy 500W magnetron teljesítmény folyamatosan sugárzó üzemmódban), illetve egy saját fejlesztésű folytonos anyagáramú kísérleti berendezésben (teljesítmény 100-700W között fokozatmentesen változtatható 2450 MHz frekvencián). A közölt fajlagos mikrohullámú energiaintenzitást (kJ/L) a magnetron teljesítményének és az anyagtovábbításra használt perisztaltikus szivattyú térfogatáramának függvényében számítottuk. A mikrohullámú energiaközléssel kombinációban Fenton-eljárást is alkalmaztunk a szennyvizek kezelésére, amelynél a minta pH-ját 3,5-re állítottuk, a Fe^{2+} / H_2O_2 adagolási koncentrációkat 75/60 – 300/240 mg/mg arányok között változtattuk.

A dielektromos méréseket egy Rohde&Schwarz típusú vektor hálózat analízátorhoz kapcsolt, SPEAG által fejlesztett DAK 3.5 típusú nyílt végű koaxiális szenzorral végeztük 200 MHz-2400 MHz frekvenciatartományban, a szenzort 6 mm-es mélységben a mintába merítve. A dielektromos jellemzők hőmérsékletfüggése miatt a vizsgálatoknál a minta hőmérsékletének állandóságát vízfürdővel biztosítottuk. A dielektromos mérőrendszerben minden mérést (dielektromos állandó, veszteségi tényező, veszteségszög) 90 mérés átlagaként adtuk meg.

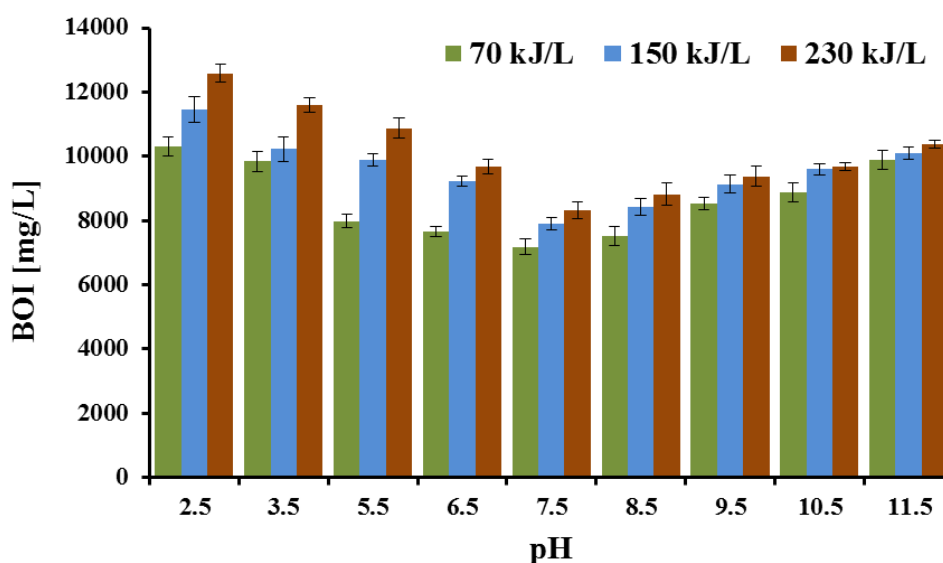
A kémiai oxigénigényt (KOI) bikromátos tesztküvetéssel, fotometriás módszerrel mértük. Az aerob körülmények közötti biológiai lebonthatóságot az 5 napos biokémiai oxigénigény (BOI) méréssel határoztuk meg, 20°C-on termosztált körülmények között, folyamatosan kevertetett reaktorokban, BOD Oxidirect respirometrikus elven működő mérőrendszerrel. Az összehasonlíthatóság érdekében valamennyi mintát heterogén, szelektált aerob mikroorganizmusokat tartalmazó készítménnyel (BOD Seed, Cole-Parmer, US) oltottuk be.

Az anaerob biológiai lebonthatóság vizsgálatára 30 napos időtartamú batch, mezofil hőmérséklettartományú rothasztási teszteket végeztünk 37°C-on termosztált körülmények között, folyamatosan kevertetett reaktoredényzetben. A gáztermelődési ütemet OxitopOC barometrikus mérőrendszerrel követtük nyomon, a keletkező biogáz térfogatát a nyomásnövekedésből számítottuk. A kontroll és kezelt minták beoltására egy üzemelő, ipari méretű mezofil iszaprothasztóból származó iszapot használtunk 10 m% koncentrációban, amelyet az élelmiszeripari iszapokhoz és szennyvízhez előzetesen 10 napig adaptáltunk.

3.Eredmények és értékelésük

A kísérletek során először folytonos anyagáramlású mikrohullámú kezeléseket végeztünk tejipari eredetű szennyvízből keletkezett iszap esetében. A kezeléseknél a magnetron teljesítményének és az iszap átáramlási térfogatáramának függvényében változtattuk a közölt fajlagos mikrohullámú (MW) energiaintenzitást.

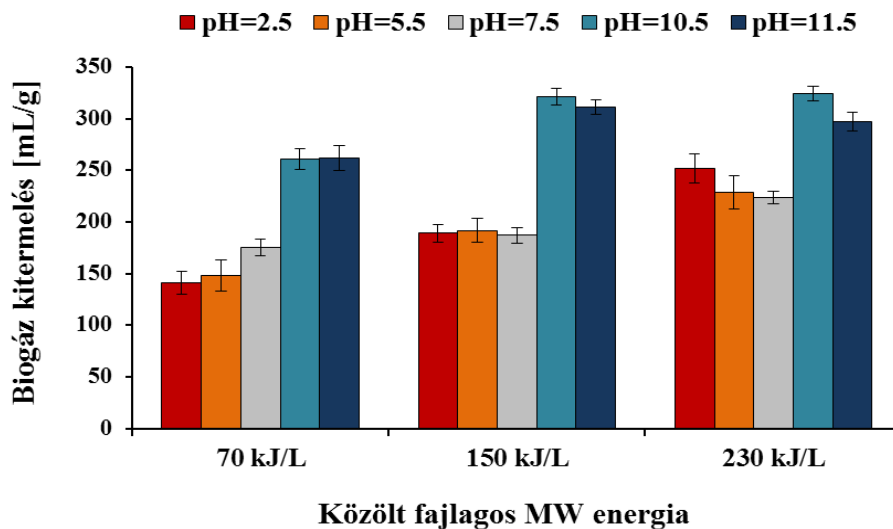
A kísérleteket elvégeztük semleges közeli, valamint savas és lúgos kémhatásra beállított iszapmintákkal is. Az aerob körülmények közötti biológiai lebonthatósággal arányos biokémiai oxigénigény (BOI), kezeléseket követően 5 napos lebontási folyamatban meghatározott, értékeit tekintve megállapítható, hogy mind a mikrohullámú kezeléseket fajlagos energiaintenzitása, mind az iszap kémhatása befolyásolja a biológiailag lebontható formába kerülő szerves komponensek koncentrációját. Az 1. ábrán látható módon a lúg adagolása esetén a mikrohullámú energia mértékének változása, ugyanazon pH-ra beállított minták esetében, kisebb hatást gyakorolt, mint az tapasztalható volt a savadagolással kombinált mikrohullámú kezeléseknél.



1. ábra. Tejipari iszap biokémiai oxigénigénye a kezeléseket követően

Összességében megállapítható, hogy a mikrohullámú kezeléseket során az iszap eredeti, semleges közeli pH-jának mind savas, mind lúgos kémhatás irányába történő megváltoztatása növeli a BOI értéket, azonban az aerob biológiai lebonthatóság mértékének fokozása szempontjából a savas kémhatású minták mikrohullámú energiaközléssel végzett kezelése tekinthető hatékonyabbnak. A pH=2,5-5,5 tartományban a 150 kJ/L fajlagos energiaintenzitású mikrohullámú kezelésekkal a tejipari iszap eredeti 4120 ± 38 mg/L biokémiai oxigénigény koncentrációja 10000 mg/L érték fölé volt növelhető.

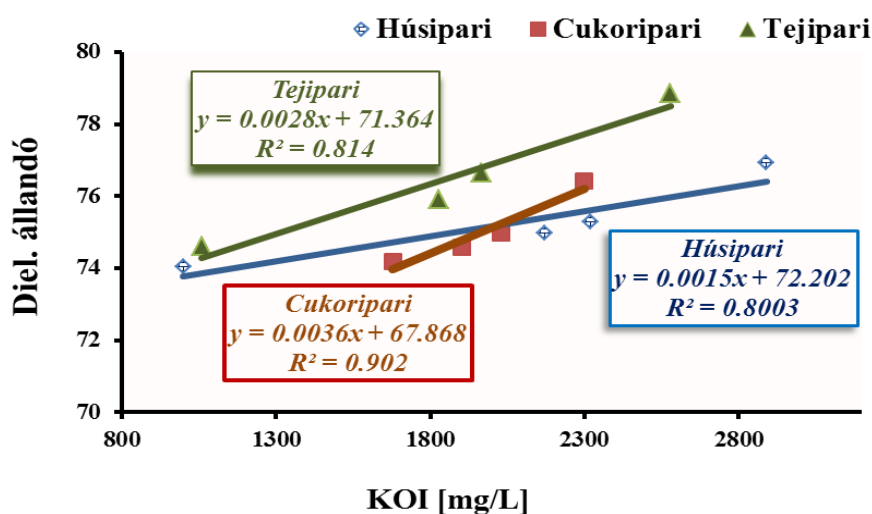
A savas és lúgos kémhatáson mikrohullámmal kezelt iszapminták esetében meghatároztuk a 30 napos, mezofil rothasztási folyamatban közben keletkező biogáz mennyiségét is (keletkező biogáz térfogata/szárazanyag mennyisége). A rothasztási próbák eredményei alapján megállapítható, hogy a BOI esetében tapasztaltaktól eltérően, az anaerob biológiai lebonthatóság szempontjából a lúgos kémhatásra beállított iszapminták mikrohullámú kezelése tekinthető eredményesebbnek. A kezeletlen iszapminta $85 \pm 4,2$ mL/g fajlagos biogáz kitermelési mutatója a pH=10,5, vagy ennél nagyobb pH-ra beállított minták esetében 150 kJ/L fajlagos, vagy ennél nagyobb mikrohullámú energiaintenzitású előkezelésekkel kb. 300 mL/g értékre volt növelhető (2. ábra). A tejipari iszap esetében tapasztaltak, miszerint a mikrohullámú energiaközléssel végzett kezeléseket már önmagukban is alkalmasak a biogáztermelés fokozására, illetve hogy a mikrohullámú előkezelés hatékonysága lúg adagolással tovább fokozható megegyeznek a szakirodalomban szereplő konklúziókkal is (pl.: Ahn et al., 2009; Dogan and Sanin, 2009; Eskicioglu et al., 2006)



2. ábra. Tejipari iszából keletkező biogáz mennyisége (30 napos kumulált térfogatból)

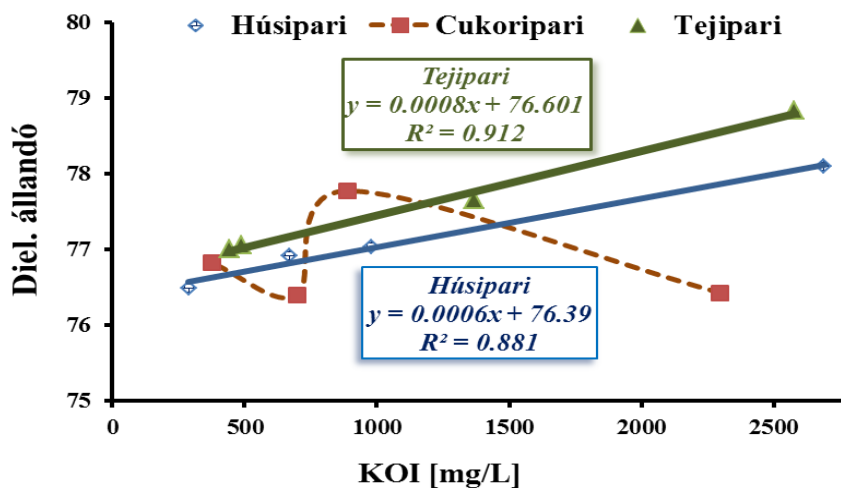
Az aerob és anaerob biológiai lebonthatósággal összefüggő paraméterek mellett vizsgáltuk az élelmiszeripari szennyvizek és iszapok dielektromos jellemzőit is. A kutatási eredmények közül a következőekben a szennyvizekre vonatkozó adatokat mutatjuk be. Az előzetes eredményeink alapján megállapítható volt, hogy szennyvíznél a dielektromos jellemzők közül a dielektromos állandó változásának mérése alkalmas elsősorban a szerves komponensek vízdoldhatóságában végbemenő változások követésére. Ezen paraméter kezelése hatására bekövetkező változása volt a legnagyobb arányú. A vizsgálatoknál használt 200-2400 MHz tartományon belül a 400 MHz mérési frekvencia alkalmazása esetében tapasztaltuk a dielektromos állandó legnagyobb mértékű változását, ezen a frekvencián történő mérés a leginkább „érzékeny” a szervesanyag koncentráció változására, ezért az erre vonatkozó eredményeket szemléltetjük a 3-5. ábrákon.

A mikrohullámmal kezelt mintáknál a vízdoldható fázisban lévő szervesanyagok koncentrációjával arányos KOI értékek valamennyi szennyvíz típus esetében (húsipari, tejipari, cukoripari) jól korreláltak a dielektromos állandóval (3. ábra).



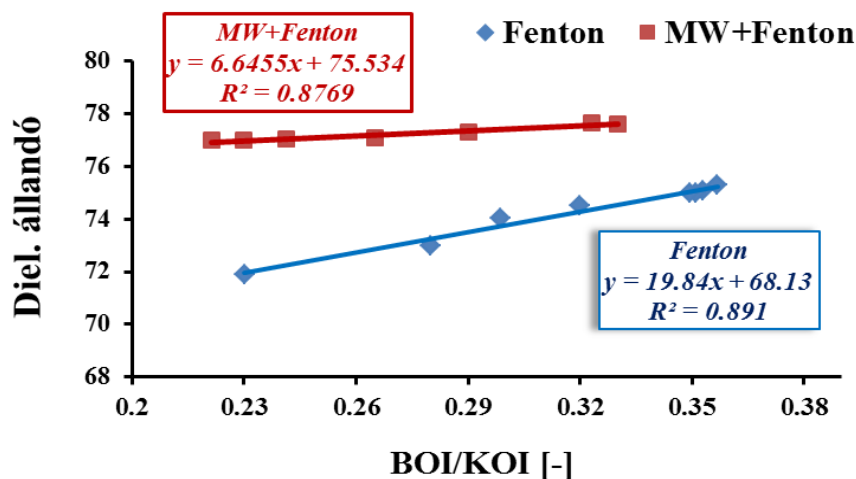
3. ábra. Dielektromos állandó és KOI kapcsolata különböző, élelmiszeripari eredetű szennyvizek esetében (mikrohullámmal kezelt mintáknál, 400 MHz frekvencián)

A mikrohullámú energiaközléssel kombinált Fenton eljárás alkalmazásakor, feltehetőleg az adagolt vas-szulfát és hidrogén-peroxid és a cukoripari szennyvízben lévő egyes egyszerű szénhidrát komponensek reakciói, illetve egymásra hatása a minta esetében olyan változásokat okozott az egyes komponensek, illetve az ezekből képződő termékek polarizációjában, ami a reflexión alapuló dielektromos méréseket zavarta, a rendszer dielektromos viselkedése nem követte a húsipari és tejipari szennyvíz esetében tapasztaltakat (4. ábra).



4. ábra. Dielektromos állandó és KOI kapcsolata különböző, élelmiszeripari eredetű szennyvizek esetében (kombinált mikrohullámú-Fenton eljárással kezelt mintáknál, 400 MHz frekvencián)

A tejipari szennyvíz esetében számítottuk a teljes szervesanyag mennyiségen belül a biológiailag könnyen lebontható vegyületek arányát jellemző BOI/KOI hányadost, illetve vizsgáltuk ezen – a biológiai lebonthatósággal szintén összefüggő - paraméter és a dielektromos állandó kapcsolatát. Megállapítható volt, hogy 400 MHz mérési frekvencián a dielektromos állandó és a BOI/KOI arány szoros, lineáris korrelációt mutat.



5. ábra. Dielektromos állandó és BOI/ KOI arány kapcsolata tejipari szennyvíznél (Fenton eljárásal és MW+Fenton eljárással kezelt mintáknál, 400 MHz frekvencián)

4. Összefoglalás

A kutatási munkánk során a mikrohullámú energiaközlésen alapuló kezelési eljárások hatását vizsgáltuk az élelmiszeripari eredetű szennyvizek és iszapok biológiai hasznosíthatóságának hatékonyságával összefüggő paraméterek tekintetében. A kísérleti eredmények alapján megállapíthatjuk, hogy a mikrohullámú energiaközlés önmagában is képes fokozni mind aerob, mind anaerob körülmények között a biológiai lebonthatóságot, azonban a kémiai kezelésekkel való kombinációja további hatékonyság növekedést eredményez. Az iszapkezelésben ipari léptékben is gyakran alkalmazott sav és lúgadalási módszer mikrohullámú energiaközléssel való kombinációja esetében megállapítottuk, hogy amíg az előkezeléseknél a savas kémhatás alkalmazása elsősorban az aerob biológiai lebonthatóság szempontjából, addig a lúg adagolás elsősorban az anaerob körülmények között, a biogáz termelődés fokozása szempontjából előnyös.

A dielektromos jellemzők egyidejű vizsgálata során megállapítottuk, hogy a dielektromos állandó mind a szennyvízkezelésekor a szervesanyag tartalom koncentráció változásával, mind a biológiai lebonthatósággal összefüggő mutatók változásával szoros korrelációt mutatott. Ezen előzetes alapján feltételezhető, hogy dielektromos mérésekkel a szennyvíztisztítási eljárások szervesanyag-eltávolítási hatásfoka, illetve a szennyvíz és iszapkezelési eljárások hatékonysága nyomon követhetővé, illetve már a kezelési folyamat során előrejelezhetővé válik.

Köszönetnyilvánítás

A kutatási együttműködés az EFOP-3.6.2-16-2017-00010 azonosító számú „Fenntartható nyersanyag-gazdálkodás tematikus hálózat fejlesztése - RING 2017 projekt keretében valósult meg. A kutatást az OTKA (NKFI) K115691 projekt támogatta.

5. Hivatkozások

Ahn, J.H., Shin, S.G., Hwang S. (2009) Effect of microwave irradiation on the disintegration and acidogenesis of municipal secondary sludge. *Chemical Engineering Journal*, 153, 145-150.

Brodie, G., Destefani R., Schneider, P.A., Airey L., Jacob M.V. (2014) Dielectric properties of sewage biosolids measurement and modeling. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*, 48, 147-157.

Chandrasekaran, S., Ramanathan, S., Basak, T. (2012) Microwave material processing-a review. *Fluid Mechanics and Transport Phenomena*, 58(2), 330-363.

Cravotto, G., Carlo S.D., Curini, M., Tumiatti, V., Roggero C. (2007) A new flow reactor for the treatment of polluted water with microwave and ultrasound, *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 82, 205–208

Dogan, I., Sanin, F.D. (2009) Alkaline solubilization and microwave irradiation as a combined sludge disintegration and minimization method. *Water Research*, 43(8), 2139–2148

Ebenezer, A.V., Arulazhagan, P., Kumar, S.A., Yeom, I-T., Banu, J.R. (2015) Effect of deflocculation on the efficiency of low-energy microwave pretreatment and anaerobic biodegradation of waste activated sludge. *Applied Energy*, 145, 104-110.

Eskicioglu, C., Kennedy, K.J., Droste, R.L. (2006) Characterization of soluble organic matter of waste activated sludge before and after thermal pretreatment. *Water Research*, 40, 3725-3736

Eskicioglu, C., Prorot, A., Marin, J., Droste, R.L., Kennedy, K.J. (2008) Synergetic pretreatment of sewage sludge by microwave irradiation in presence of H₂O₂ for enhanced anaerobic digestion. *Water Research*, 42 (18), 4674-4682.

- Essaidi, N., Nadir, H., Martinod, E., Feix, N, Bertrand, V. Tantot, V., Lalande, M., Rossignol, S. (2017) Comparative study of dielectric properties of geopolymer matrices using different dielectric powders. *Journal of the European Ceramic Society*, 37, 3551–3557
- Jang, J., Ahn, J-H. (2013) Effect of microwave pretreatment in presence of NaOH on mesophilic anaerobic digestion of thickened waste activated sludge. *Bioresource Technology*, 131, 437-442.
- Komarov, V., Wang, S., Tang, J. (2005) Permittivity and measurement. In: *Wiley Encyclopedia of RF and Microwave Engineering*, Vol.4., Wiley and Sons, Hoboken, 3694-3711.
- Kregiel, D., Berlowska, J., Szubzda, B. (2012) Novel permittivity test for determination of yeast surface charge and flocculation abilities. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 39, 1881-1886.
- Kuglarz, M., Karakashev, D., Angelidaki, I. (2013) Microwave and thermal pretreatment as methods for increasing the biogas potential of secondary sludge. *Bioresource Technology*, 134:290-297.
- Lee, JH., Lee, JM., Lim, JS., Park, TJ., Byun, IG. (2015) Enhancement of microwave effect with addition of chemical agents in solubilization of waste activated sludge. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 24, 359-364.
- Tang, B., Yu, L.F., Huang, S.S., Luo, J.Z., Zhuo, Y. (2010) Energy efficiency of pretreating excess sewage sludge with microwave irradiation. *Bioresource Technology* 101(14), 5092-5097.
- Tibayrenc, P., Preziosi-Belloy, L., Ghommidh C. (2011) On-line monitoring of dielectrical properties of yeast cells during a stress model alcoholiy fermentation. *Process Biochemistry*, 46, 193-201.
- Tyagi, V.K., Lo, S-L. (2013) Microwave irradiation: A sustainable way for sludge treatment and resource recovery. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 18, 288-305.
- Venkatesh, M.S., Raghavan, G.S.V. (2004) An overview of microwave processing and dielectric properties of agri-food materials. *Biosystems Engineering*, 88(1), 1-18.

TÁPANYAG-ÖSSZETÉTEL HATÁSA GOMBA TENYÉSZETEK FT-IR SPEKTRUMAIRA

Rákosa Rita¹, Vargovics Máté¹, Jakab Jenő², Németh Zsolt István¹

¹Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Kémiai Intézet

²Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Erdőművelési és Erdővédelmi Intézet
H-9400 Sopron, Bajcsy-Zs. u. 4.
rakosa.rita@uni-sopron.hu

Absztrakt: A növénypatogén gombák fajai világszerte jelentős károkat okoznak az erdei ökoszisztémákban. Biokémiai folyamataik érzékenyek és nagymértékben függenek az őket körülvevő környezet hatásaitól. Az eltérő összetételű táptalaj szignifikánsan befolyásolja a makromolekuláris termék anyagcserét, ami visszatükröződik a spektrumok intenzitás változásában. Kutatásunkban a micélium tenyészetek vizsgálatára egy gyors és költséghatékony, reflexiós (ATR) technikára alapozott FT-IR spektrometriás eljárást dolgoztunk ki. Az adatelőkészítési eljárások alkalmazását követően a spektrumokon főkomponens-elemzést (PCA) hajtottunk végre. A PCA főkomponensek „score plot” ábráin a micélium tenyészetek különböző táptalajok szerinti csoportosulásai egyértelműen felismerhetők. Az FT-IR spektrumok statisztikai összevetésével feltártuk a tápanyag-összetételnek a fitoftóta tenyészetekre gyakorolt hatását. A kifejlesztett vizsgálati módszer alkalmas micélium tenyészetek spektrális alapú, fajspecifikus megkülönböztetésére és felfedi a tenyészetek tápanyag összetételétől függő környezetérzékenységét is.

Kulcsszavak: FT-IR spektrometria, micélium-tenyészetek, PCA

1. Bevezetés

A különböző mikroorganizmusok által hasznosított tápanyagok nagyon sokfélék lehetnek, és a belőlük képződő anyagcseretermékek is jellegzetesen különbözőek. A környezeti feltételek (tápanyag, hőmérséklet, páratartalom, pH stb.) befolyásolják a biokémiai folyamatokat. Az élő szervezet az anyagcseréjének intenzitását a környezeti körülményhez igazítja. Az anyagcsere-útvonalak jellegzetességeit a fajok genetikai tulajdonságai és a környezeti körülmények határozzák meg, azok a mikroorganizmusok fenotípusos sajátosságának tekinthetők. Almaas és munkatársai egy *E. coli* baktériumtenyészetet biológiai rendszerként alkalmazva - mind kísérletes, mind anyagcsere modellezési eredményeikkel - alátámasztották és igazolták a tápanyag összetételének a szignifikáns hatását az anyagcsere útvonalainak intenzitásaira (Almaas *et al.* 2004).

A Fourier-transzformációs infravörös (FT-IR) spektrometriát széles körben alkalmazzák biológiai minták vizsgálatára is (Lecellier *et al.* 2014; Movasaghi *et al.* 2008; Oberle *et al.* 2015; Salman *et al.* 2012), főként olyan taxonok esetében, amelyek morfológiai sajátosságok alapján nehézkesen vagy egyáltalán nem osztályozhatók. Ebbe a körbe tartoznak a *Phytophthora* nemzetség tagjai is, amelyek a hazai erdőállományokat is veszélyeztetik (Szabó *et al.* 2013). Kutatásunkban néhány *Phytophthora* tenyészet spektrális megkülönböztetésére FT-IR-ATR spektrometriás módszert dolgoztunk ki. A spektrometriás vizsgálati megközelítést sokváltozós adatértékelési eljárásokkal kombinálva lehetővé válik az IR spektrumok fajspecifikusságra utaló rejtett információ tartalmának feltárása. Az FT-IR spektrometria bázisú kemometriai értékelési stratégiánk a tápanyag összetételének spektrumokra gyakorolt potenciális hatásának felderítésére irányult. Célunk egy olyan vizsgálati eljárás kidolgozása és tesztelése volt, amely alkalmas a fenotípusos tulajdonság-változás érzékeny detektálására.

2. Anyag és módszer

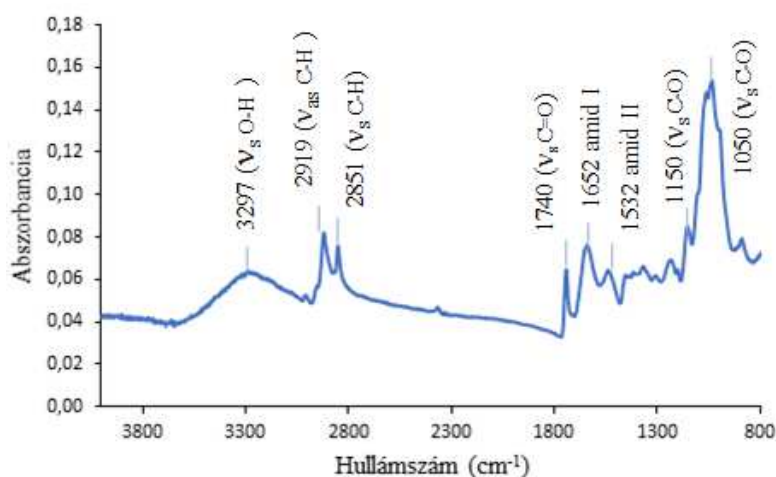
A spektrum felvételeket Shimadzu gyártmányú, IRAffinity-1 típusú, HATR-10 totálreflexiós kiegészítőegységgel felszerelt FT-IR spektrométerrel végeztük. A spektrumokat 4000-670 cm^{-1} hullámszám tartományban, 1 cm^{-1} felbontással vettük fel. A jel/zaj viszony növeléséhez az időbeli átlagolás módszerével 49 egymást követően felvett spektrumnak az átlagát képeztük.

Vizsgálatainkhoz standardizált burgonya kivonat agar (PDA), sárgarépa-agar és PBA (Pea-Broth-Agar) táptalajon kifejlődő, három különböző időpontban oltott *Phytophthora* tenyészeteket használtunk. A tenyészeteket (*P. cactorum*, *P. plurivora*, *P. lacustris*) a Soproni Egyetem Erdővédelmi Intézete bocsátotta rendelkezésünkre. A micéliumtenyészet és az agar-mátrix térbeli elkülönítése végett az agar-agar felületére szemipermeábilis hátrát (celofán) helyeztünk, ami a micélium akadálytalan növekedését és a tápanyag felvételt is biztosította. A micéliumokkal benőtt celofán eltávolítása után a minták légszáraz állapotig száradtak, majd a celofán felületéről lekapart micéliumport helyeztük az ATR mintatartó egykristályára.

Megfelelően megválasztott spektrum-előkészítési eljárások segítségével maximalizáltuk a spektrumokból kinyerhető információt. A spektrumokon atmoszféra korrekciót, átlagképzésen alapuló simítást, trendmentesítést és normalizálási eljárásként SNV (standard normal variate) transzformációt végeztünk el. Az adatelőkészítési eljárásokat követően a spektrumokon főkomponens-elemzést (PCA) hajtottunk végre, illetve a spektrumokat leíró statisztikai módszerekkel (normalitásvizsgálat, korreláció és regresszió analízisek, F-próba és t-próba) vetettük össze.

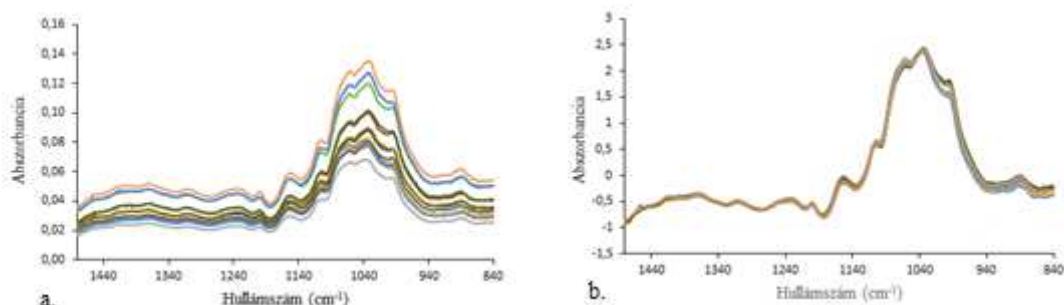
3. Eredmények és értékelés

A micélium genetikailag meghatározott fehérjéinek és az egyéb járulékos összetevőknek az anyagi minőségei és mennyiségei leképződnek az FT-IR spektrumban. Az 1. ábra egy jellegzetes FT-IR spektrumot mutat be, amely visszatükrözi a fitoftórák fényelnyelést produkáló összetevőit. Az anyagok infravörös fényelnyelése funkciók csoportok szerint specifikus. Az infravörös spektrum csúcsmintázatát a különböző IR aktív molekularészek (funkciós csoportok) fényelnyeléseinek eredője határozza meg. A karakterisztikus, adott hullámszámú fényelnyelési csúcsok a micélium kémiai összetevőitől: fehérjéktől, lipidektől és szénhidrátoktól erednek. A spektrumokon az 2800-2990 cm^{-1} hullámszám tartományban megjelenő csúcs a C–H vegyértékrezgéshez, az 1740 cm^{-1} -nél pedig a C=O vegyértékrezgéshez rendelhető. A fehérjék jellegzetes abszorpciós sávjai 1625-1695 cm^{-1} -nél (amid I) és 1525-1560 cm^{-1} -nél (amid II) láthatók. A 970-1200 cm^{-1} hullámszám tartományban megfigyelhető csúcs a szénhidrátok C–O vegyérték rezgési átmeneteinek az eredménye.



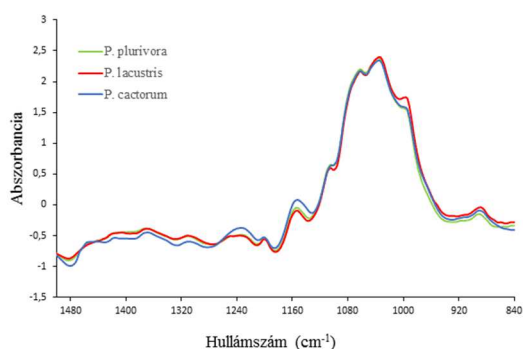
1. ábra: *Phytophthora cactorum* tenyészet primer FT-IR spektruma

A primer spektrumok közötti abszolút csúcshintenzitás eltéréseket spektrum előkészítési eljárásokkal küszöböltük ki. A spektrumokon végrehajtott simítás, trendmentesítés és SNV transzformáció eredményeként a transzformált spektrumok megközelítőleg átfedésbe kerülnek egymással (2. ábra). A transzformáció mentesíti a sokváltozós adatértékeléseket a sztochasztikus jelenségek elemzésre gyakorolt hatásaitól.

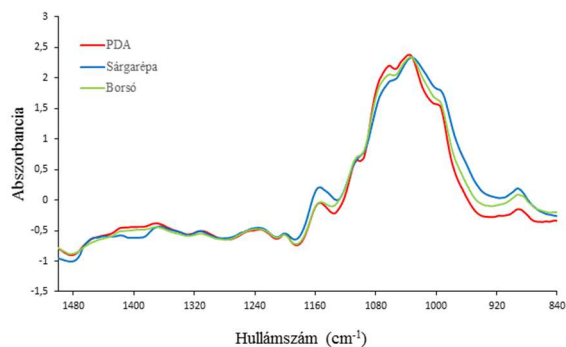


2. ábra: PDA táptalajon fejlődött *P. plurivora* tenyészetek spektrumai SNV transzformáció előtt (a) és után (b)

A vizsgált gombatenyészetek SNV transzformált spektrumai közötti különbségek felfedik a fajok (változatok) kémiai összetételének eltéréseit (3.a ábra). A különféle táptalajon fejlődött tenyészetek spektrumai közötti különbségek viszont azokat a fényelnyelés eltéréseket tükrözik vissza, amelyek a tápanyag-összetétel szignifikáns eltéréseinek köszönhetők (3.b ábra). Azonos anyagminőség esetén elméletileg az SNV spektrumok tökéletesen átfedőek lennének egymással.



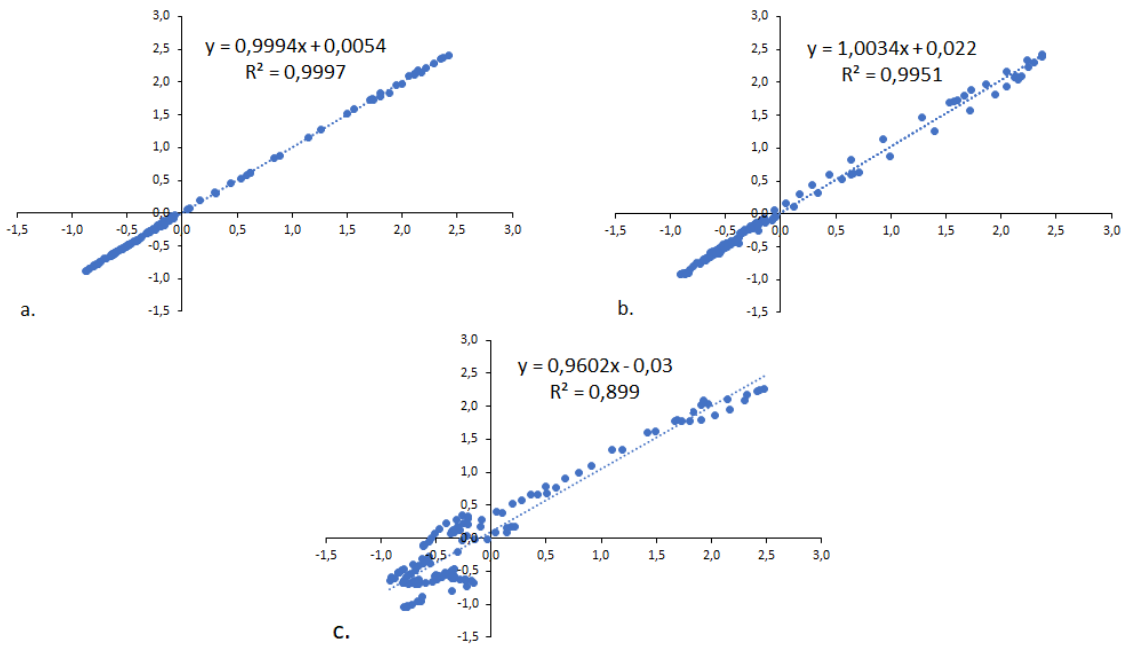
3.a ábra: PDA táptalajon fejlődő micélium-tenyészetek SNV transzformált átlag spektrumai



3.b ábra: Eltérő táptalajon fejlődő *P. plurivora* tenyészetek SNV transzformált átlag spektruma

A spektrum mintázatok hasonlóságának mértéke az SNV spektrum-párok lineáris regresszió analízisével jellemezhető, illetve valószínűsíthető. Az egymást fedő SNV spektrumok egységnyi meredekségű és zérus tengelymetszetű regressziós egyenest ($y=x$) határoznak meg $R^2=1$ határozottsági fok mellett.

A három különböző táptalajon kitenyészített micélium tenyészetek spektrumait párosával korreláltattuk. A korrelációs kapcsolatokat kifejező regressziós egyeneseket a tápanyag-összetétel megváltozása a határozottsági fokban, meredekségben, tengelymetszetben előidézett változásokon keresztül módosítja. A legmagasabb R^2 értékek egy adott tenyészetben azoknál a mintapároknál fordultak elő, melyek oltási időpontja és táptalaja megegyezett (4.a ábra). Az eltérő időpontban oltott tenyészetek között a korreláció ugyan alacsonyabb (4.b ábra), de ezt a látszólagos különbséget a statisztikai értékelés nem minősítette szignifikánsnak. A legnagyobb, szignifikánsnak bizonyuló eltéréseket a különböző táptalajok esetében tapasztaltuk (4.c ábra).

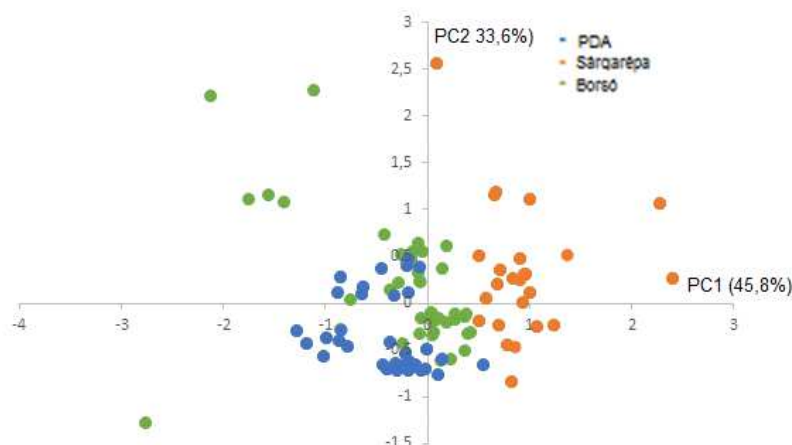


4. ábra (a): PDA táptalajon azonos időpontban oltott *P. plurivora* mintapár SNV spektrumainak korrelációja; (b): PDA táptalajon eltérő időpontban oltott *P. plurivora* mintapár SNV spektrumainak korrelációja; (c): PDA és PBA táptalajon azonos időpontban oltott *P. plurivora* mintapár SNV spektrumainak korrelációja

A korrelációs összehasonlításból kapott R^2 értékeket t-próbával vetettük össze. A t-próbát megelőzően elvégeztük az R^2 értékek normalitás vizsgálatát és a szórásértékek F-próbáját. A Shapiro-Wilk teszt alapján 95%-os konfidencia szinten nem zárható ki, hogy az adatok normáloszlást követnek. A szórásértékek F-próbája nem mutatott ki szignifikáns eltéréseket. A normalitási feltétel, illetve a szórások ekvivalenciájának teljesülését követően a t-próba szignifikanciát jelzett a *P. plurivora*, *P. lacustris* tenyészeteknél az eltérő táptalajon fejlődött minták esetében, míg a *P. cactorum* tenyészeteknél nem valószínűsített szignifikáns különbséget. Az eredményekből megállapítható, hogy a *P. cactorum* tenyészet a legkevésbé érzékeny a tápanyag-összetétel módosulására, míg a *P. lacustris* és a *P. plurivora* tenyészetek makromolekuláris anyagfelhalmozását a tápanyag-összetétel jelentősen befolyásolja.

Az FT-IR spektrumok sokváltozós értékelésével a különböző micélium tenyészetek fajspecifikusan, illetve a tenyésztéshez használt táptalajok 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) álltunk elő. Az adathalmaz hasznos információtartalmát meghatározó főkomponens számot az MCD (mean coefficients of determination) mátrix-skalár függvény indikátorral határoztuk meg (Németh és Rákosa 2018). A tenyészetek faji besorolását, illetve a tápanyag összetétel hatását kifejező fontos főkomponensek száma 9-nek adódott, amelyek a teljes varianciának több mint 98 %-át magyarázzák. Ennek köszönhetően kellő mértékűre csökkenthető a dimenziószám, ami az adatkezelést és értékelést jelentősen egyszerűsíti.

A determinisztikus főkomponensek tere felhasználható csoportelemzésre. A kétdimenziós un. „score plot” ábrák betekintést engednek a minták térbeli csoportosulásaiba, ahol az egyes mintákat (a spektrumokat) pontok jelképezik. A minták közötti hasonlóságokat, illetve különbözőségeket az egymáshoz viszonyított távolságok fejezik ki. Már a kétdimenziós, kisebb magyarázott varianciájú „score plot” ábrán is egyértelműen felismerhetők a micélium tenyészetek különböző táptalajok szerinti csoportosulásai (5. ábra).



5. ábra: Tenyészetek táptalajok szerinti csoportosulása az 1. és 2. főkomponens térben

4. Összefoglalás

A micélium-porminták FT-IR spektrumai visszatükrözik a micélium genetikailag meghatározott kémiai összetevőinek minőségét és mennyiségét, így biológiai rendszerek micélium tenyészetből történő azonosítása spektrometriásan kivitelezhető. A primer spektrumokon alkalmazott adatelőkészítés biztosította a spektrumok rejtett információtartalmainak a feltárását. A tápanyag összetételének a fitoftóra tenyészetekre gyakorolt hatása az FT-IR spektrometria célirányos alkalmazásával, és a spektrumok statisztikai értékelésével feltárható, kimutatható. A micélium tenyészetek spektrális alapú, fajspecifikus megkülönböztetéséhez a tenyésztési körülményeknek (táptalaj-készítés, oltás, tárolás stb.) a standardizálása szükséges.

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.

Hivatkozások

- Almaas, E., Kovács, B., Vicsek, T., Oltvai, Z.N. and Barabási, A.L. (2004) “Global Organization of Metabolic Fluxes in the Bacterium *Escherichia coli*”, *Nature*, 427, 839-843.
- Lecellier A, Mounier J, Gaydou V, Castrec L, Barbier G, Ablain W, Manfait M, Toubas D, Sockalingum G.D. (2014) “Differentiation and identification of filamentous fungi by high-throughput FTIR spectroscopic analysis of mycelia”, *International Journal of Food Microbiology* 168–169. 32–41.
- Movasaghi Z, Rehman S, Rehman I. (2008) “Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy of biological tissues”, *Applied Spectroscopy Reviews* 43. 134-179.
- 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.
- Oberle J, Dighton J, Arbuckle-Keil G. (2015) “Comparison of methodologies for separation of fungal isolates using Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy and Fourier transform infrared attenuated total reflectance (FTIR-ATR) microspectroscopy”, *Fungal biology* 119. 1100-1114.
- Salman A, Lapidot I, Pomerantz A, Tsror L, Shufan E, Moreh R, Mordechai S, Huleihel M. (2012) “Identification of fungal phytopathogens using Fourier transform infrared-attenuated total reflection spectroscopy and advanced statistical methods”, *J. Biomed. Opt.* 17. 017002.
- Szabó I, Lakatos F, Sipos Gy. (2013) “Occurrence of soilborne *Phytophthora* species in declining broadleaved forests in Hungary”, *European Journal of Plant Pathology* 137. 159-168.

NÖVÉNYI LOMBOZAT INFRAVÖRÖS SPEKTRUMAINAK ÖSSZEHASONLÍTÓ STATISZTIKAI ÉRTÉKELÉSE

Németh Zsolt István, Rákosa Rita

Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Kémiai Intézet, 9400 Sopron, Bajcsy-Zs. u. 4.
nemeth.zsolt@uni-sopron.hu

Absztrakt: A növényi lombozatról való információszerzés a távérzékelési tudománynak egyik meghatározó alkalmazási területe. A növényi levelek reflexiók spektrális jellegzetességei visszatükrözik a növények aktuális vitalitási állapotát, valamint tájékoztatást adnak a növény és környezete közötti kölcsönhatásról is. A növényi lombozatról, az azt alkotó levelekről felvett spektrumok a vitalitási, kölcsönhatási információk hordozói. Az információk kinyerése a spektrum felvételeket befolyásoló determinisztikus (torzító) és sztochasztikus tényezők feltárását követeli meg. Kiküszöbölésük, kompenzálásuk elméletileg megalapozott spektrum-előkészítési stratégia alkalmazásával lehetséges. Leíró statisztikai módszerekkel (normalitásvizsgálat, korreláció és regresszió analízisek, F- és t-tesztek) a torzítástól és a sztochasztikus intenzitásváltozásoktól „megtisztított”, transzformált spektrumokból behatárolható a lombzat fajspecifikussága. Továbbá, a növény leveleinek környezeti körülményfüggő időbeli spektrális változásai is kimutathatóvá válnak.

Két erdei faj (bükk, kocsányos tölgy) lombzatának infravörös fényelnyelési sajátosságait térképeztük fel három különböző időpontban, a lombzatok 7-7 db leveleire. A primér FT-ATR-IR spektrumokon trendmentesítést és normalizálást magában foglaló spektrum-előkészítési transzformációt hajtottunk végre. A transzformált spektrumok korreláció analízise és a mintavételek átlagspektrumainak összehasonlító statisztikai értékelése (t-próba) érzékelhetővé teszi a növényi levél spektrumok környezeti körülmény érzékenységét, valamint az infravörös fényelnyelésnek a fajspecifikusságát.

Kulcsfogalmak: FT-IR spektrometria, lombzat, bükk, kocsányos tölgy

1. Bevezetés

A totálreflexió (ATR) kiegészítő egységgel felszerelt Fourier-transzformációs infravörös spektrométerrel (FT-IR) az anyagok felületi rétegeiről (kb. 0-3 μm) információ nyerhető. Az FT-ATR-IR analitikai technika alkalmas a növényi levelek reflexiók IR-spektrumának felvételére. A levél felületi sejteinek szerves anyagkészlete határozza meg az FT-ATR-IR-spektrum mintázatát. A spektrum csúcsai a levélszövet jellegzetes molekulárisrészek, funkciók csoportjainak (metil-, metilén, karbonil-, karboxil-, észter-, éter-, hidroxil-, amino-, aromás gyűrű-, telítetlen, ill. konjugált kettős kötésű, stb. csoportok) rezgési-gerjesztési átmeneteire vezethetők vissza (Buitrago, 2018). A csúcsmintázatot az IR-aktív (fényelnyelésre képes) szerves molekulárisrészeknek a moláris abszorpciós koefficiensei, az intermolekuláris kölcsönhatásai, valamint az egymáshoz viszonyított mennyiségi arányai határozzák meg. A növényi levél fényelnyelési sajátosságán túl a primér FT-ATR-IR spektrumot sztochasztikus hatások is befolyásolják. A mérőberendezés fényútjában lévő levegőnek széndioxid és vízgőz tartalma is hozzájárul az eredő spektrum kialakulásához. Az áramszolgáltatás feszültségének ingadozása kihat az IR fényforrás spektrális karakterisztikájára, ami a spektrum alapvonal tengelymetszetének és meredekségének módosulásait idézheti elő. A mintának az ATR egykristályhoz való illeszkedésének mértéke pedig a spektrum csúcsintenzitásaiban jelenik meg. A levél IR-fényelnyeléséhez az említett sztochasztikus faktorhatások hozzáadódnak az eredő (primér) spektrumban.

Első lépésként, a növényi levél IR-fényelnyelésének statisztikai értékelése megköveteli a sztochasztikus faktorhatásoknak a kompenzálását. Ezt követően, a precizitás javulása után nyílik lehetőség a spektrumok, s azok tartományainak összehasonlítására a matematikai leíró statisztika módszereivel (normalitás vizsgálat, F- és t-próba).

A vázolt értékelési stratégiát egy bükk- és egy kocsányos tölgyfa lombzatairól, három egymást követő hónapban (jún., júl., aug.) vételezett (7-7 levél/mintavétel) leveleknek a spektrumbázisára alkalmazva mutatjuk be.

2. Anyag és módszer

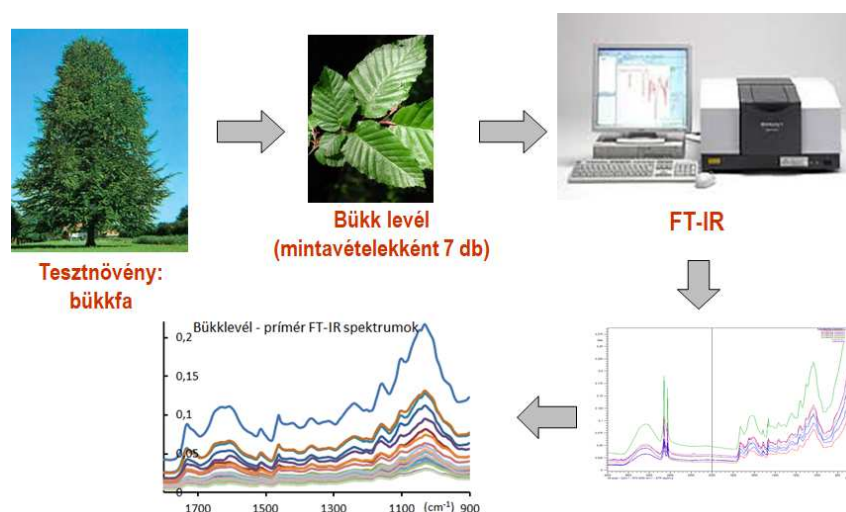
Növényi levelek: Soproni Egyetem, Botanikai Kert, Sopron, Bajcsy-Zs. u. 4.

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. Spektrumfelvétel: a mintavételtől számított 45 percen belül.

Spektrum-előkészítés: (a) Prímér spektrumok atmoszférikus korrekciója (CO_2 , H_2O). (b) Símtítás 5 cm^{-1} felbontásra. (c) Értékeléshez 900-1800 cm^{-1} tartományra szűkítés. (d) Lineáris trendmentesítés. (e) 900-1800 cm^{-1} tartományú SNV transzformáció.

Normalitásvizsgálat: Hullámszámfüggő SNV intenzitások Shapiro-Wilk testje és Q-Q ábrái. *F-teszt:* Azonos hullámszámhoz tartozó SNV intenzitások szórásértékeinek összehasonlítása. *t-próba:* Átlag SNV spektrumok azonos hullámszám értékekhez tartozó intenzitásainak összehasonlítása.

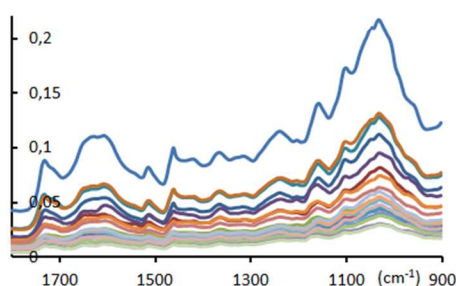
A mérés kivitelezési folyamatát az 1. ábra szemlélteti.



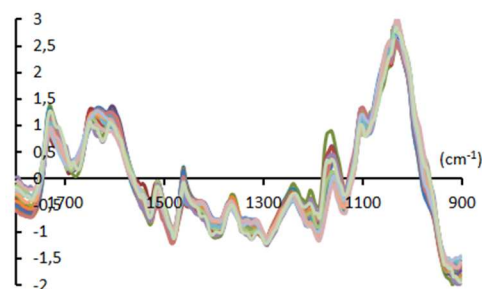
1. ábra. Információszerzés folyamata

3. Eredmények és értékelés

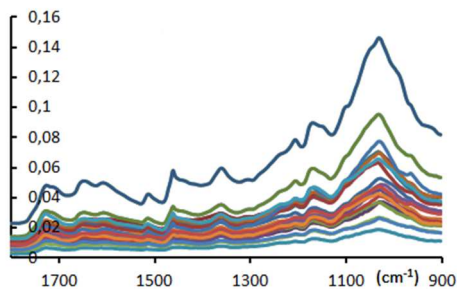
A mintafa egyedekről vételezett levelek primér és a közölt spektrum-előkészítéssel transzformált spektrumait szemléltetik a 2. és a 3. ábrák. A 2a és 3a ábrák a három különböző mintavételi időpontban, mintavételenként 7-7 db levélre kapott spektrumokat (összesen: 21-21 db egyedi levélspektrum) tartalmazzák.



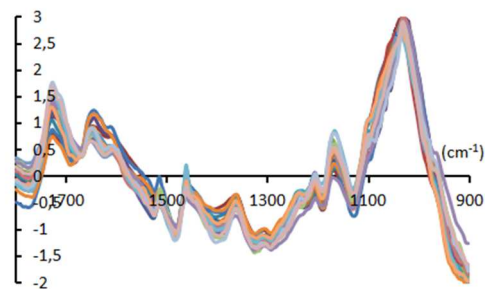
2a. ábra. Bükklevél primér spektrumok



2b. ábra. Transzformált bükklevél spektrumok



3a. ábra. Tölgylevél primér spektrumok



3b. ábra. Transzformált tölgylevél spektrumok

Abban az esetben, ha a levelek IR-spektrumaik környezeti körülménytől függetlenek, és ha a spektrum-előkészítéssel a sztochasztikus faktorhatások tökéletesen kiküszöbölhetők lennének, akkor a fajspecifikus transzformált spektrumoknak azonosnak kellene lenniük egymással. A 2b és 3b ábrák szemrevételezésével is megállapítható, hogy a spektrum-előkészítési transzformáció keskeny sávokban megjelenő spektrumokat eredményezett. A mintavételek és a két faj szerinti csoportosított, transzformált spektrumok csúcsmaximumainak értékeit az I. és II. táblázatok tartalmazzák.

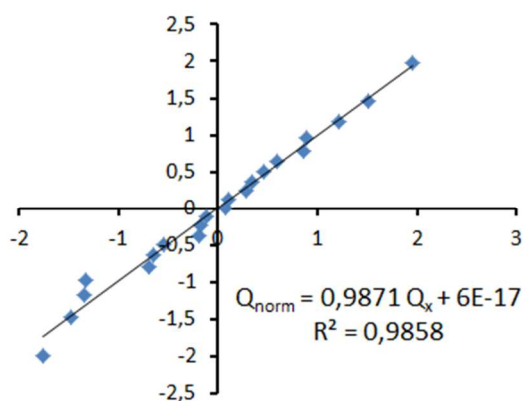
I. táblázat. Bükklevél transzformált spektrumainak csúcsmaximum értékei

Bükkfa lombzat		Hullámszámfüggő csúcsmaximumok											
Mintavétel	Minta	1033	1105	1158	1207	1240	1366	1462	1530	1636	1650	1732	cm ⁻¹
J ú n i u s	1.	2,718	1,317	0,349	-0,718	-0,265	-0,424	0,132	-0,657	1,261	1,122	1,000	
	2.	2,840	0,965	0,040	-0,720	-0,333	-0,388	0,005	-0,419	1,293	1,322	0,821	
	3.	2,552	1,074	0,741	-0,214	-0,087	-0,303	0,109	-0,862	0,909	1,083	1,383	
	4.	2,755	1,009	0,539	-0,474	-0,260	-0,371	-0,013	-0,761	1,009	1,086	1,046	
	5.	2,825	1,131	0,391	-0,701	-0,177	-0,389	0,230	-0,766	1,169	1,090	1,325	
	6.	2,702	1,270	0,407	-0,610	-0,251	-0,417	0,191	-0,677	1,271	1,217	1,114	
	7.	2,732	1,306	0,337	-0,771	-0,283	-0,454	0,161	-0,590	1,346	1,213	0,961	
J ú l i u s	1.	2,601	1,123	0,608	-0,364	-0,297	-0,396	-0,407	-0,116	1,161	1,281	1,120	
	2.	2,716	1,256	0,451	-0,602	-0,376	-0,394	-0,136	-0,153	1,173	1,171	0,923	
	3.	2,827	1,184	0,395	-0,637	-0,319	-0,365	-0,229	-0,189	1,272	1,221	0,948	
	4.	2,944	0,932	0,077	-0,712	-0,336	-0,380	-0,333	-0,387	0,972	0,998	1,030	
	5.	2,706	1,179	0,364	-0,555	-0,311	-0,345	-0,214	-0,295	1,247	1,185	1,077	
	6.	2,900	1,119	-0,032	-0,875	-0,426	-0,443	-0,324	-0,374	1,212	1,220	0,831	
	7.	2,568	1,320	0,458	-0,656	-0,276	-0,410	0,040	-0,534	1,254	1,241	1,141	
A u g .	1.	2,906	0,867	0,109	-0,635	-0,337	-0,429	-0,159	-0,042	1,099	1,178	0,927	
	2.	2,693	1,173	0,427	-0,371	-0,295	-0,464	-0,187	-0,102	1,039	0,990	1,249	
	3.	2,979	1,128	0,067	-0,867	-0,404	-0,559	-0,069	-0,337	1,034	1,171	1,063	
	4.	3,003	0,992	0,015	-0,808	-0,307	-0,447	-0,084	-0,239	1,129	1,196	0,919	
	5.	2,875	1,188	0,058	-0,871	-0,419	-0,567	-0,051	-0,347	1,091	1,140	0,947	
	6.	2,988	0,909	-0,127	-0,891	-0,323	-0,411	-0,110	-0,258	0,890	0,992	0,976	
	7.	2,847	1,018	0,327	-0,457	-0,274	-0,491	-0,085	-0,139	1,056	1,079	1,274	

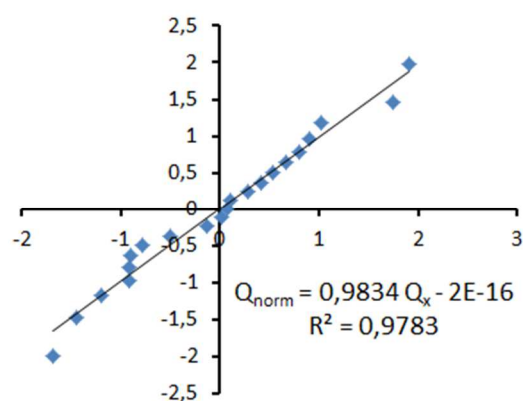
II. táblázat. Tölgylevél transzformált spektrumainak csúcsmaximum értékei

Tölgyfa lombzot		Hullámszámfüggő csúcsmaximumok											
Mintavétel	Minta	1033	1168	1207	1245	1308	1361	1462	1515	1612	1650	1727	cm ⁻¹
J ú n i u s	1.	2,959	0,292	-0,146	-0,623	-1,169	-0,365	0,168	-0,485	0,585	0,907	1,211	
	2.	3,046	0,119	-0,304	-0,627	-1,005	-0,349	-0,144	-0,400	0,756	0,947	0,827	
	3.	2,958	0,454	-0,070	-0,628	-1,229	-0,568	-0,058	-0,449	0,475	0,754	1,345	
	4.	3,038	0,401	-0,125	-0,623	-1,111	-0,508	-0,145	-0,403	0,794	1,056	1,112	
	5.	2,940	0,150	-0,297	-0,604	-1,085	-0,549	0,003	-0,396	0,530	0,909	1,062	
	6.	2,997	0,398	-0,192	-0,582	-1,199	-0,513	0,015	-0,478	0,545	0,819	1,390	
	7.	2,993	0,135	-0,301	-0,616	-1,045	-0,449	-0,070	-0,398	0,643	0,928	0,944	
J ú l i u s	1.	2,961	0,208	-0,150	-0,465	-1,139	-0,391	-0,211	0,002	0,942	1,220	0,887	
	2.	2,844	0,473	-0,011	-0,518	-1,179	-0,540	-0,055	-0,290	0,496	0,746	1,290	
	3.	2,860	0,643	0,066	-0,340	-1,177	-0,443	-0,035	-0,423	0,563	0,926	1,397	
	4.	2,875	0,594	0,079	-0,489	-1,228	-0,547	-0,025	-0,438	0,519	0,769	1,499	
	5.	2,720	0,610	0,040	-0,319	-1,071	-0,547	-0,251	-0,498	0,576	0,876	1,462	
	6.	2,938	0,246	-0,166	-0,361	-0,998	-0,342	-0,088	-0,273	0,792	1,161	0,758	
	7.	2,984	0,503	0,027	-0,607	-1,294	-0,620	-0,110	-0,405	0,424	0,672	1,401	
A u g .	1.	3,005	0,516	-0,086	-0,561	-1,187	-0,505	0,045	-0,257	0,540	0,855	1,358	
	2.	2,907	0,624	-0,034	-0,673	-1,239	-0,631	-0,091	-0,234	0,507	0,758	1,512	
	3.	2,797	-0,027	-0,406	-0,849	-1,299	-0,750	-0,371	-0,415	0,577	0,830	1,444	
	4.	2,645	0,867	0,061	-0,418	-1,149	-0,502	0,221	-0,435	0,544	0,812	1,711	
	5.	2,740	0,480	-0,118	-0,378	-1,105	-0,478	-0,083	-0,469	0,545	0,890	1,303	
	6.	2,887	0,818	0,057	-0,578	-1,274	-0,618	-0,197	-0,397	0,572	0,915	1,778	
	7.	2,913	0,546	-0,064	-0,675	-1,284	-0,609	-0,250	-0,508	0,480	0,670	1,692	

A transzformált spektrumok (2b és 3b ábrák) hullámhosszfüggő intenzitásértékeinek normáloszlás jellegét Shapiro-Wilk teszttel ellenőriztük. A normalitásvizsgálatot mind a mintavételek szerinti adatsoportokra (7-7 db intenzitás/hullámszám) és mind a hullámszámfüggő standardizálás utáni egyesített adatsoportokra (21-21 db intenzitás/hullámszám) végrehajtottuk. A Shapiro-Wilk teszt ($\alpha=0,05$) egyetlen egy esetben sem zárta ki a levelekenkénti spektrális adatok normáloszlású jellegét. A transzformált spektrumok csúcsintenzitásainak normáloszlást közelítő jellegét szemléltetik az I. és II. táblázatokból kiemelt adatok (bükk: 1366 cm⁻¹; tölgy: 1462 cm⁻¹) standardizált értékeinek *Q-Q plot* diagramjai (4a és 4b ábrák).



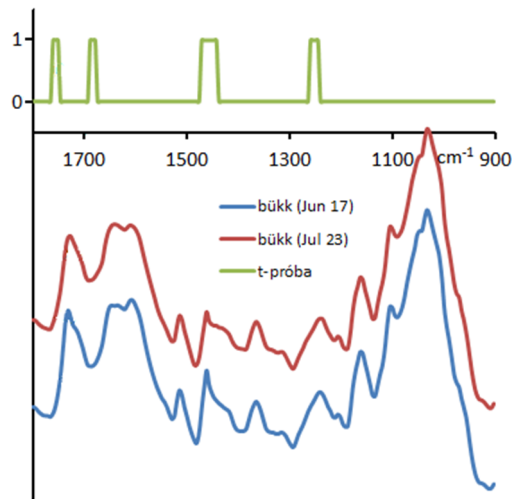
4a. ábra. Bükklevél standardizált csúcsintenzitásainak normáloszlási jellege 1366 cm⁻¹ hullámszámnál



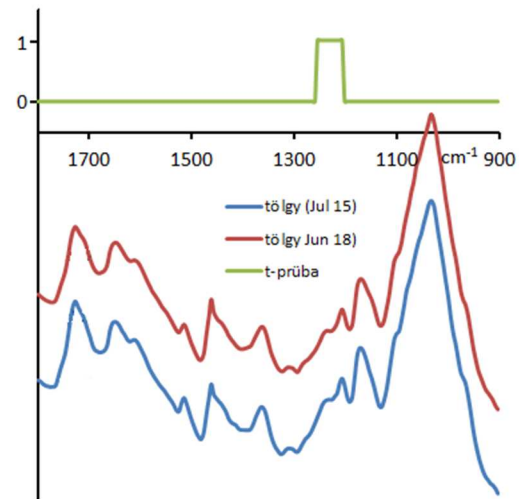
4b. ábra. Tölgylevél standardizált csúcsintenzitásainak normáloszlási jellege 1462 cm⁻¹ hullámszámnál

Az azonos hullámszámokhoz, de eltérő mintavételekhez tartozó csúcsintenzitások szórásértékeinek (I. és II. táblázat adatainak szórásértékei) F-tesztje szignifikánsan eltérő, ill. azonosnak tekinthető szórás összevetéseket egyaránt eredményezett. Ezért a mintavételek szerint származtatott átlagspektrumok

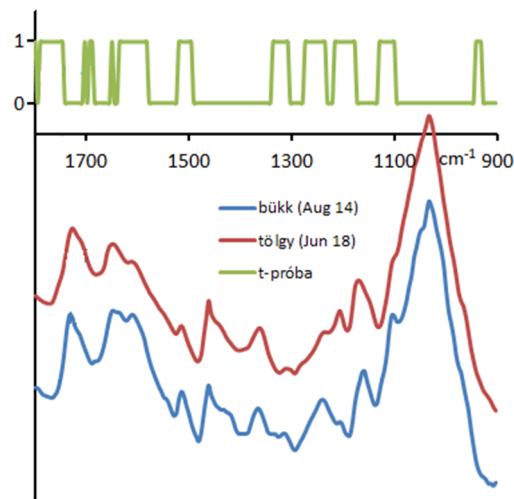
összehasonlításához a korrigált t-próbát alkalmaztuk (Sváb, 1973). Az eredmények vizualizálására alkalmazták a t-próba P-valsősínúsegeinek hullámhosszfűgését (Buitrago, 2018). A szemléletességet előtérbbe helyezve, a t-próba hullámszámfüggő eredményeinek bemutatásához bevezetjük a fényelnyelés szignifikáns eltéréseit ábrázoló ún. szignifikancia t-próba spektrumot, amely azoknál a hullámszám értékeknél zérusértékű, ahol a t-próba szignifikáns eltérést nem valószínűsít, ill. 1 értéket vesz fel azokban a spektrum tartományokban, ahol az átlagos fényelnyelések között szignifikancia valószínűsíthető. Két bükk, két tölgy, valamint egy bükk és egy tölgy átlagspektrum pároknak a t-próba összehasonlításí eredményeit szemléltetik az 5, 6 és 7. ábrák. Ezeken az ábrákon alul az összehasonlított átlagspektrumok, felül a t-próba szignifikancia spektrumai szerepelnek.



5. ábra. Bükklevél átlagspektrumok t-próbája



6. ábra. Tölgylevél átlagspektrumok t-próbája



7. ábra. Tölgy- és bükklevél átlagspektrumok t-próbája

Átlagspektrum-párokat a két fafajon belül és a két faj közötti lehetséges kombinációikra képezve, a t-próba összehasonlítás az 5.-7. ábrák szignifikancia spektrumaihoz hasonló eredményt szolgáltatott. Az átlagspektrumok hasonlóságának számszerűsítésére a szignifikancia spektrumból származtatható egy dimenziómentes mérőszám, amit spektrális szignifikancia indexnek neveztünk el. A szignifikancia index százalékos skálán azt fejezi ki, hogy a szignifikáns eltérésűnek adódó spektrális résztartományok összege mekkora hányadát teszi ki a teljes spektrumtartomálynak. A lehetséges átlagspektrum összevetések szignifikancia index értékeit a III. táblázat tartalmazza.

III. táblázat. Átlagspektrum összehasonlítások t-próba szignifikancia index értékei

Szignifikancia Index ($\alpha=0,01$)						
	Bükk (Jún)	Bükk (Júl)	Bükk (Aug)	Tölgy (Jún)	Tölgy (Júl)	Tölgy (Aug)
Bükk (Jún)	0	9.09 %	7.13 %	42.22 %	46.52 %	44.78 %
Bükk (Júl)		0	1.07 %	42.24 %	58.29 %	46.36 %
Bükk (Aug)			0	41.71 %	52.36 %	43.68 %
Tölgy (Jún)				0	5.89 %	3.74 %
Tölgy (Júl)					0	1.07 %
Tölgy (Aug)						0

A t-próba összehasonlítások fafajokon belül 10 % alatti, fafajok között 40 % feletti szignifikancia értékeket eredményeztek.

4. Összefoglalás

A növényi sejtek faj specifikus anyagkészlete, valamint vegetációs időszakon belüli változása visszatükröződik az FT-IR spektrumokban is. Az alkalmazott spektrum-előkészítési stratégia kiküszöböli az FT-ATR-IR mérésnél jelentkező, a spektrumok determinisztikus információtartalmát elfedő, „rontó” sztochasztikus jellegű hatásokat. A transzformált spektrumok F- és t-próba értékelései megerősítik a növényi lombzat IR fényelnyelésének vegetációs időszakon belüli determinisztikus változását, módosulásait. A fafajon belüli és fajok közötti szignifikancia index értékek jelentős eltérése lehetővé teszi a növényi lombzatok fajspecifikus behatárolását, ill. megkülönböztethetőségét. Az általunk javasolt értékelési stratégia a távérzékelés hiperspektrális felvételeinek feldolgozásába integrálható. A 10 % szignifikancia index tartományon belül a környezeti körülménynek lombzatra gyakorolt hatása monitorozható.

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 valósul meg.

Hivatkozások

Buitrago M. F. (2018): Infrared spectroscopy of leaf traits: Detecting plant stress and identifying plant species, Ph D dissertation ITC 318, University of Twente, p. 185.; ISBN: 978-90-365-4534-1; doi: 10.3990/1.9789036545341

Sváb János (1973): Biometriai módszerek a kutatásban, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 1973., p. 517.

OLAJSZÁRMAZÉKOK OKOZTA SZENNYEZÉS VIZES RENDSZEREKBE ÉS TALAJBAN: LEHETŐSÉGEK A BIOLÓGIAI KÁRMENTESÍTÉSRE

Bodor Attila^{1,2,3}, **Petrovski Péter**¹, **Vincze György Erik**¹, **Boundedjoum Naila**¹, **Erdeiné Kis Ágnes**^{1,2,3}, **Laczi Krisztián**¹, **Rákhely Gábor**^{1,2,3}, **Perei Katalin**^{1,2}

¹ Biotechnológiai Tanszék, Szegedi Tudományegyetem, Szeged; ² Környezettudományi és Műszaki Intézet, Szegedi Tudományegyetem, Szeged; ³ Biofizikai Intézet, MTA Szegedi Biológiai Kutatóközpont, Szeged
perei@bio.u-szeged.hu

Abstract: *A fokozott használat, véletlen balesetek és emberi gondatlanság során bekövetkező olajszennyezések a mai napig a legfőbb környezetvédelmi problémák közé tartoznak. A kőolajszármazékok olyan hidrofób, szerves vegyületek, amelyek súlyos kockázatot jelentenek mind a természetes életközösségekre, mind pedig az emberi egészségre nézve. Különösen igaz ez a változatos hosszúságú és szerkezetű szénláncok, valamint adalékanyagok keverékéből álló motorolajokra, amelyekben az üzemidő növekedésével feldúsulnak a poliaromás vegyületek, a nehézfémek és a korom. Vizes rendszerekben vagy a talajba szivároghva (és ott a talajszemcsékhez kötődve) ezek a komponensek hosszán tartó, nehezen kezelhető szennyezést okozhatnak.*

Számos fizikokémiai és biológiai módszer áll rendelkezésre az olajipari termékek és hulladékok okozta szennyezések kármentesítésére, azonban minden esetben érdemes alaposan megvizsgálni a szennyezett közeg paramétereit és tervezett remediáció körülményeit, hogy a lehető leghatékonyabb lehessen a terület rekultivációja. A SWOT analízis a menedzsment rendszerekben gyakran alkalmazott tervezési és stratégia-értékelési módszer a versenyképesség és a megtérülés megállapítására, de a terepi kármentesítések tervezésében is fontos szerepet tölthet be.

A kutatásunk során SWOT analízissel értékeltük ki egy használt vasúti motorolajjal szennyezett talaj kis léptékű, ex situ bioremediációja során kapott eredményeinket. A kísérletekben a szennyezőanyag lebontására képes baktériumokat alkalmaztunk a közeg biológiai megtisztítására. Annak érdekében, hogy megállapíthassuk, hogy az általunk ajánlott módszer mennyire versenyképes más kármentesítési technikákkal szemben, integráltuk a bioremediációs eljárás legfőbb erősségeit, lehetőségeit, gyengeségeit és veszélyeit. Az eredményeink alapján a módszerünk környezetbarát és költséghatékony versenytársa lehet más fizikai és kémiai kármentesítési technológiáknak kőolajszármazékok nagymértékű felhasználása következtében folyamatosan fennáll a lehetősége annak, hogy a szállításuk, használatuk vagy tárolásuk során ezek a veszélyes anyagok bekerülnek a természetes közegekbe. Ebben a tekintetben a talaj különösen veszélyeztetett, hiszen itt a szennyezés tartósan fennállhat, ezáltal számos olyan, mérgező vegyület halmozódhat fel, amely aztán további környezetvédelmi vagy egészségügyi kockázatot jelenthet.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetüket fejezik ki az EFOP-3.6.2-16-2017-00010 „Fenntartható nyersanyag-gazdálkodás tematikus hálózat fejlesztése – RING 2017 pályázat anyagi támogatásáért.

MÓDOSÍTOTT MEMBRÁNOK ALKALMAZÁSA VÍZKEZELÉSBEN

Fazekas Ákos Ferenc¹, Veréb Gábor¹, Kertész Szabolcs¹, Beszédes Sándor¹, Hodúr Cecília^{1,2},
Németh Zsolt³, Dolgosné Kovács Anita⁴, László Zsuzsanna¹

¹ Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Kar Folyamatmérnöki Intézet; ² Szegedi Tudományegyetem, Környezettudományi és Műszaki Intézet; ³ Soproni Egyetem, Kémiai Intézet, ⁴ Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar, Környezetmérnöki Tanszék
fazekas.akos92@gmail.com

Abstract: *Absztrakt*

Napjainkban az egyik legnagyobb globális problémaként tekintünk az antropogén eredetű üvegházhatású gázok légkörben való feldúsulására, ami globális felmelegedéshez (sivatagosodási folyamatok, jeges területek változása, szélsőségesebb időjárás) vezethet. Köztudott továbbá, hogy a fosszilis energiahordozók elégetéséből légkörbe kerülő többlet szén-dioxid ezeknek a folyamatoknak meghatározó okozója, mennyiségüket feltétlenül csökkenteni kell.

Magyarország kedvező földtani körülményeinek köszönhetően a geotermikus energia reális alternatívát nyújthat villamosenergia-termelésre (100 °C feletti víz), vagy kisebb energiatartalom esetén közvetlen hőhasznosítás (100 °C alatti víz) során épületek fűtésére. A Föld belső hőjéből származó energia használata során direkt ugyan nem kerül szén-dioxid a légkörbe, viszont a használt termálvíz magas szerves és szervetlenanyag tartalma miatt a környezetbe kikerülése előtt kezelése elengedhetetlen. A konvencionális biológiai szennyvíztisztítás mellett hatékonyabb módszerek tekinthetjük a nagyhatékonyságú oxidációs eljárások alkalmazását (advanced oxidation process, AOPs), melyekkel a nehezen bomló aromás, toxikus vegyületek kezelése hatásosabb lehet a hagyományos módszerrel szemben. A nagyhatékonyságú oxidációs eljárások olyan gyökgeneráláson alapuló módszerek, melyekkel nagy reaktivitású szabadgyököket, elsősorban hidroxilgyököket hozunk létre, melyek az oldott vagy diszpergált szerves komponenseket oxidatív úton képesek lebontani.

Munkám során növényház fűtésére használt termálvíz Fenton és foto-Fenton reakciók, illetve ózonozás során végbemenő szervesanyag-csökkenés hatékonyságot vizsgáltam különböző paraméterek mellett.

Köszönetnyilvánítás:

A szerzők köszönetüket fejezik ki az EFOP-3.6.2-16-2017-00010 „Fenntartható nyersanyag-gazdálkodás tematikus hálózat fejlesztése – RING 2017 és a TÉT: 2017-2.3.7-TÉT-IN-2017_00016 azonosító számú pályázatok anyagi támogatásáért.

VÍZSZENNYEZŐ ANYAGOK LEBONTÁSA MIKROHULLÁMMAL INTENZIFIKÁLT FENTON-REAKCIÓ ALKALMAZÁSÁVAL

Jákói Zoltán¹; Lemmer Balázs¹; Hodúr Cecilia^{1,2}; Vágvolgyi Andrea³; Dittrich Ernő⁴;
Beszédes Sándor¹

¹Folyamatmérnöki Intézet
Szegedi Tudományegyetem, Mérnöki Kar
6725 Szeged, Moszkvai krt. 9.
jakoiz@mk.u-szeged.hu

²Környezettudományi és Műszaki Intézet
Szegedi Tudományegyetem
6726 Szeged, Közép fasor 52

³Erdészeti-műszaki és Környezettechnikai Intézet
Soproni Egyetem

⁴Környezetmérnöki Tanszék
Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar

Absztrakt: Az élelmiszeripari technológiai láncban a feldolgozás, tisztítási és működtetési folyamatok során jelentős mennyiségben keletkezik számottevő szerves- és szervesanyag-tartalommal rendelkező szennyvíz. A feldolgozástechnológiától és az alapanyagoktól függően a keletkező szennyvizek mennyiségi és minőségi jellemzői jelentős eltéréseket mutathatnak, előrejelzésük sokszor nem is lehetséges. Emiatt a csatornarendszerbe, esetleg környezetbe való kihelyezésük előtt a szennyvizek károsanyag-tartalmát mindenképpen csökkenteni kell, amelyre napjainkban már számtalan technológia rendelkezésre áll. Számos tudományos kutatás számolt be arról, hogy bizonyos oxidoreduktív reakciókon alapuló folyamatokkal a szennyvizek szerves szennyezőanyag-tartalma jelentős mértékben csökkenthető. Kutatásaink során mikrohullámmal kombinált Fenton-eljárás szennyezőanyag-tartalom csökkenésre gyakorolt hatásait vizsgáltuk húsipari szennyvíz esetében, eltérő dóziskoncentrációkkal és mikrohullámú működtetési paraméterekkel. Kutatásunk továbbá kiterjedt a szerves anyagok eltávolításának dielektromos paraméterek mérésével történő nyomon követhetőségére is a klasszikus analitikai metódusok mellett.

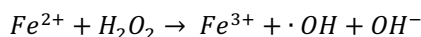
Kulcsszavak: szennyvíz, szennyvízkezelés, mikrohullám, Fenton-reakció, dielektromos paraméterek

1. Bevezetés

Az élelmiszeripari gyakorlatban jelentős mennyiségben, a húsfeldolgozás, tisztítási és működtetési folyamatok során keletkező húsipari szennyvizek számottevő szerves- és szervesanyag-tartalommal rendelkeznek. A feldolgozástechnológiától és az alapanyagoktól függően a keletkező húsipari szennyvíz mennyiségi és minőségi jellemzői - különösen tekintettel a környezetre is veszélyes toxikus anyagokra és szennyezőkre - nagyban változhatnak, pontos előrejelzésük gyakran nem is lehetséges. Emiatt a csatornarendszerbe, esetleg környezetbe való kihelyezésük előtt a szennyvizet ártalmatlanítani szükséges megfelelő szennyvízkezelési eljárások alkalmazásával. Számos korábbi tudományos kutatás igazolta, hogy bizonyos, oxidoreduktív reakciókon alapuló vegyi folyamatokkal a szennyvizek és iszapok szerves szennyezőanyag-tartalma eredményesen lecsökkenthető. Ezek közül a napjainkban egyre nagyobb figyelmet kapó Fenton- és Fenton-típusú reakciók tekinthetők az egyik legeredményesebb és leghatékonyabb alternatívának, köszönhetően az alacsony anyag- és működtetési költségeiknek, valamint az ipari szinten is egyszerű kivitelezhetőségük miatt.

2. Irodalmi áttekintés

A Fenton-reakciók során használt reagens H_2O_2 és egy disszociációra képes $Fe(II)$ ion tartalmú vegyület adott arányú oldata, amely felhasználható szerves komponensek és egyéb szennyezőanyagok oxidálására. A Fenton és foto-Fenton-reakciók egyik legfőbb előnye, hogy kémiai-fizikai tulajdonságaikból adódóan felhasználhatók csökkentett energetikai igény mellett a víz- és szennyvízkezelésben, szobahőmérsékleten és atmoszferikus nyomás mellett is. A lejátszódó reakció általános sémáját a következő egyenlet írja le (Turney, 1995):



A Fenton-típusú reakciók másik előnye, hogy - például az ózon alapú előkezelésekkel szemben - a reakció során képződő szabad hidroxil-gyökök képesek a hidrofil és hidrofób szerves szennyezők degradálására is (Jung et al., 2016). A Fenton-reakció alkalmazásakor sok anyag és/vagy berendezés esetében a hosszú tartózkodási idő nem előnyös. A reakcióidő lecsökkentése tehát az ipari gyakorlatban is gyakran megoldandó feladat. Számos korábbi kutatás foglalkozott a mikrohullámú energiaközlés, mint intenzifikáló eljárás alkalmazásaival. A mikrohullámú (MW) sugárzás bizonyítottan felhasználható különböző környezettechnológiai és tisztítási folyamatokban, mint például extrakciós műveleteknél (Prevot et al., 2001), radioaktív hulladékok remediációjában (Wicks & Schulz, 1999) és kémiai katalízisekben (Zhang et al., 2005), illetve biológiai hasznosíthatóság fokozásában (Ahn, 2009 és Yang et al., 2013).

A szennyvízkezelésben a mikrohullám, mint önálló kezelési eljárás is hatékonyan alkalmazható (Lin et al., 2009), ugyanakkor a legfrissebb tudományos eredmények alapján a mikrohullámú energiaközlés kombinálása más folyamatokkal vagy anyagokkal (pl. oxidálószerekkel, híg savval/lúggal, fotokatalitikus folyamatokkal) tűnik a leghatékonyabb megoldások egyikének. A mikrohullámú hőkeltés speciális tulajdonságai miatt alkalmas a katalitikus degradációs hatások növelésére (Jones et al., 2002). Az önállóan alkalmazott Fenton-reakcióhoz képest a mikrohullámú kombinációban használt folyamat jobb tisztítási hatásfokot eredményezett metilénkék színezőanyag eltávolításakor (Liu et al., 2013). Továbbá a gyógyszergyári szennyvizek szervesanyagterhelésének csökkentésére is hatékonyan bizonyult (Yang et al., 2009).

A mikrohullámú sugárzásnak az anyaggal való kölcsönhatásának jellemzésére szolgál a dielektromos állandó, illetve a dielektromos veszteségi tényező. A veszteségi tényező és a dielektromos állandó hányadosa adja az úgynevezett veszteségi szög tangensét ($\tan\delta$) (Clark et al., 2000). Egy adott frekvencián a dielektromos paraméterek értéke függ az anyag hőmérsékletétől és fizikokémiai struktúrájától, ezáltal alkalmasak egyes fizikai és kémiai változások detektálására is (Kovács et al., 2018).

Jelenlegi kutatásunk a húsipari szennyvizekben jelenlévő szervesanyag-tartalom csökkentésének mikrohullámmal kombinált Fenton-típusú reakcióval történő lehetőségét célozta, illetve a szerves anyagok eltávolításának nyomon követhetőségét a dielektromos jellemzők mérésével.

3. Anyag és módszer

A kísérleteinkhez helyi üzemből származó húsipari szennyvizet használtunk fel. A szennyvíz főbb jellemzőit - kémiai oxigénigény (KOI), össz. szilárd anyag tartalom (TS), teljes nitrogéntartalom (TN) és biológiai oxigénigény (BOI₅) és pH. - az 1. táblázat foglalja össze. A kémiai oxigénigény spektrofotometriás-, az ötnapos biológiai oxigénigényt respirometriás módszerrel mértük.

Jellemző	Mértékegység	Érték
pH	[-]	6.8 ± 0.2
Teljes lebegőanyag-tartalom	w%	2.3 ± 0.15
Kémiai oxigénigény	mgO ₂ /L	1568 ± 38
Biokémiai oxigénigény	mgO ₂ /L	407 ± 53
Teljes nitrogéntartalom	mg/L	95 11

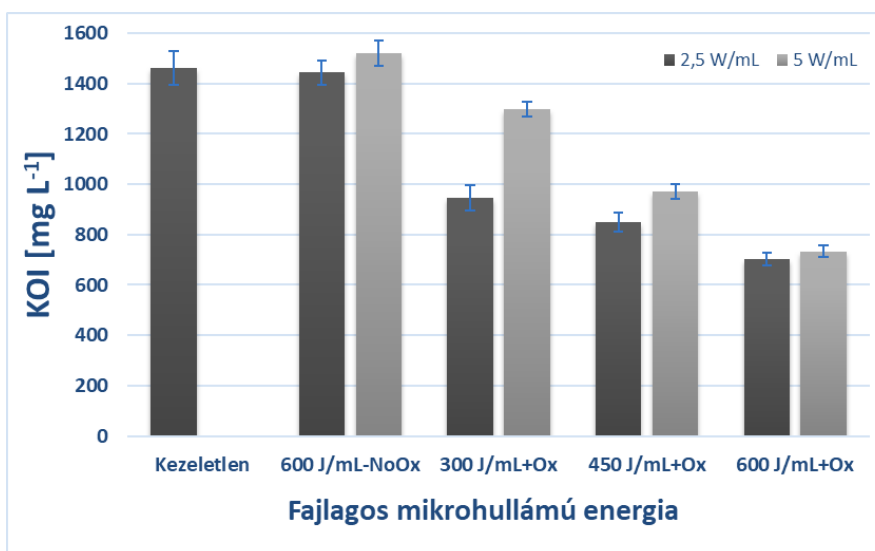
1. táblázat. Az felhasznált szennyvíz alapparaméterei

A mikrohullámú kezeléseket egy 2,45 GHz frekvenciájú magnetronnal ellátott Labotron 500 típusú berendezésben végeztük két teljesítménylépcsőben (500 W és 250 W). A Fenton-típusú oxidációs folyamathoz 30%-os H₂O₂ (VWR, Magyarország) és 88%-os FeSO₄ (VWR, Magyarország) különböző arányú keverékét használtuk fel. Az oxidációs kísérleteknél a minták pH-ját előzetesen 3,0 értékre állítottuk.

A különböző kísérleti beállítások során rendre 100 cm³ térfogatú szennyvízmintákat használtunk fel. A mikrohullámú kezelések után közvetlenül a mintákat 25°C-s hőmérsékletre hűtöttük le, majd a KOI és dielektromos mérésekhez 120 perc után vettük le a mintákat. A dielektromos paraméterek mérését egy DAK-3.5 (SPEAG, Svájc) típusú dielektromos szenzorhoz kapcsolt ZVL3 (Rhode&Schwarz, Németország) vektor hálózati analízátorral végeztük 200 MHz és 2400 MHz közötti frekvenciaintervallumon.

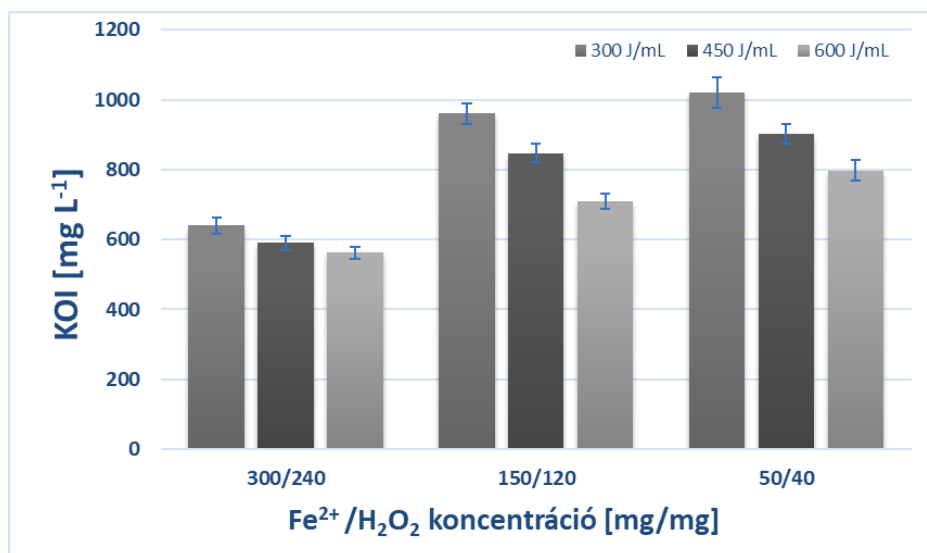
4. Eredmények és értékelésük

A kísérletek során meg kívántuk határozni, hogy a mikrohullámú energiaközlés milyen hatással bír a Fenton-reakció hatékonyságára a szennyvízminták kezelése során. Megállapítható, hogy a mikrohullámú kezelés önmagában nem okozott számottevő csökkenést a kémiai oxigénigény mértékében (i.e. nem csökkentette szignifikánsan a minták szervesanyag-tartalmát), azonban a Fenton-típusú oxidációs reakció hatékonyságát megnövelte a KOI-csökkenést tekintve. Rögzített Fe²⁺/H₂O₂ dózis (rendre 150/120 mg/mg) esetében az MW energia növelése rendre magasabb KOI-érték csökkenést eredményezett. A kombinált folyamatban a mikrohullámú teljesítmény szervesanyag-tartalom csökkenésre gyakorolt hatása a besugárzott MW energiától függött; azonos közölt energiamennyiségnél a nagyobb (500 W) teljesítménylépcső magasabb KOI értéket eredményezett, így a kisebb, 250 W-os teljesítmény alkalmazása bizonyult az előnyösebbnek (1. ábra).



1. ábra A kémiai oxigénigény (KOI) értékei a közölt fajlagos MW energia függvényében

Adott mértékű (30 kJ, 45 kJ, 60 kJ) besugárzott mikrohullámú energia esetében a szervesanyag-tartalom csökkenés mértéke észrevehetően függött az adagolt $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$ aránytól. Magas koncentrációban (300/240 mg/mg) alkalmazott $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$ reagens esetén a közölt MW energiától függetlenül kisebb volt a mért kémiai oxigénigény a folyamat végén, mint a kisebb koncentrációk esetén, vagyis az oxidációs folyamat hatékonyságának szempontjából a magasabb koncentrációk alkalmazása bizonyult az előnyösebbnek. Ugyanakkor a közölt MW energia megnövelésével megközelítőleg azonos KOI érték érhető el úgy is, ha az adagolt $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$ koncentrációt lecsökkentjük, vagyis a mikrohullámú kezeléssel a folyamathoz szükséges reagens mennyisége számottevően redukálható (2. ábra)

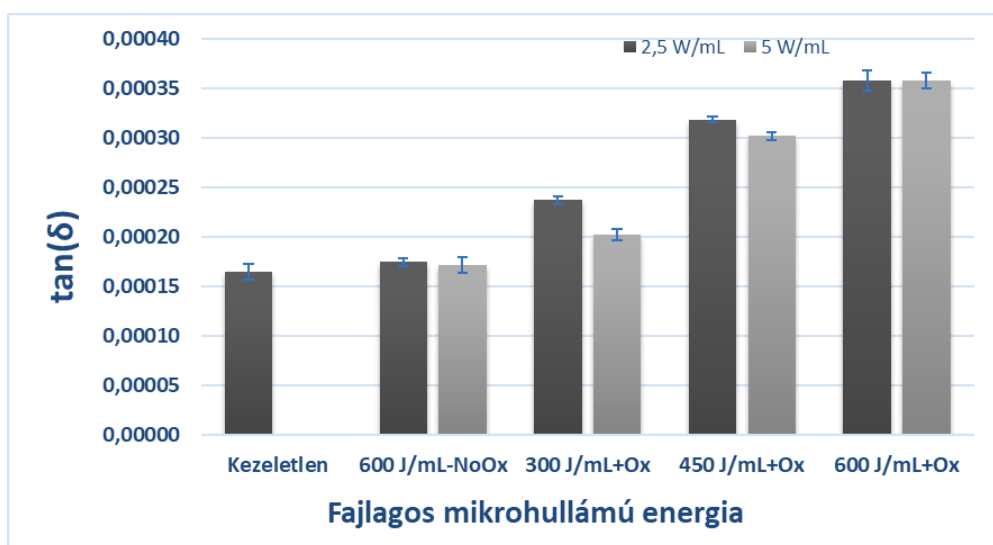


2. ábra A kémiai oxigénigény (KOI) értékei az adagolt reagens-koncentráció függvényében

Korábbi kutatásaink során igazoltuk, hogy szennyvíziszapok mikrohullámmal történő kezelése során a lebontási hatékonyság a dielektromos paraméterek mérésével nyomon követhetővé válik (Lemmer et al., 2017). A különböző anyagok dielektromos viselkedésére hatással van a frekvencia, a hőmérséklet és az alapanyagmátrix fizikokémiai tulajdonságai (Jha et al., 2011). Amikor valamilyen kémiai és/vagy termikus kezelés során a szennyvíz oldhatatlan formájú szerves anyagai vízoldható formába kerülnek, akkor a dielektromos jellemzők megváltozását várjuk. Ennek igazolására, illetve hogy a dielektromos jellemzők és a szervesanyag-tartalom csökkenés között korreláció van, a mikrohullámmal kombinált Fenton-típusú reakció után ellenőriztük a minták dielektromos veszteségi szög tangensét ($\tan\delta$).

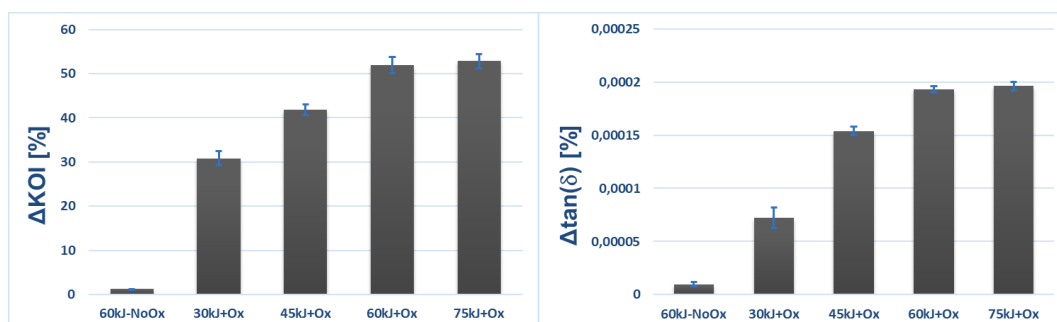
A dielektromos paraméterek mérésekor a 200-2400 MHz frekvenciaintervallum került végigpásztázásra. Nyugvó közegű és 25°C-on rögzített mintahőmérsékletű mérés esetén a nagyobb különbség a különböző minták dielektromos paramétereit között az alacsonyabb frekvenciatartományban adódott. A dielektromos tulajdonságok (dielektromos állandó, veszteségi tényező, veszteségi szögtangens, reflexiós együttható, stb.) közül a veszteségi szög tangense bizonyult a legmegfelelőbbnek a kezelt szennyvíz szervesanyag-koncentráció változásának a meghatározására. Ezen megfigyeléseink alapján a veszteségi szögtangens ($\tan\delta$) értékeit 200 MHz-en mértük a kezeléseket után.

A dielektromos mérések igazolták, hogy a $\tan\delta$ értéke alkalmas a mikrohullámú-oxidációs reakció által előidézett szervesanyag-tartalom csökkenés nyomon követésére. A KOI értékek csökkenésével a $\tan\delta$ arányosan megnőtt, és a különböző kísérleti beállítások (közölt MW energia, reagens dózis, stb.) során kapott KOI értékek változásával hasonló tendenciát mutat (3. ábra)



3. ábra A veszteségi szög tangens ($\tan(\delta)$) értéke a közölt MW energia függvényében

A 4. ábra szemlélteti a dielektromos veszteségi szög tangens ($\Delta \tan(\delta)$, *a*), és az oxidációs folyamat alatt bekövetkező kémiai oxigénigény értékeinek változását (ΔKOI , *b*). Az ábrákon látható, hogy a két vizsgált paraméternél a változási tendencia hasonló, így a kettő között (i.e. a dielektromos veszteségi szög tangens és a szervesanyag-tartalom csökkenés) feltételezett korreláció bizonyítható.



4. ábra A KOI-értékek változása (a) és a veszteségi szög tangens változása (b) az alkalmazott kezelések függvényében

5. Összefoglalás

Kísérleteink során húsipari szennyvízminták szervesanyag-tartalmának csökkentésének lehetőségeit vizsgáltuk mikrohullámmal kombinált Fenton-típusú reakcióval. A kísérleti eredmények alapján megállapítható, hogy a reakció hatékonyságának szempontjából a magasabb $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$ koncentráció a kedvezőbb, ugyanakkor mikrohullámú energiaközléssel kombinálva ugyanolyan mértékű szervesanyag-bontáshoz – közölt energiától függően – szignifikánsan kevesebb mennyiségű reagens is elegendő. Az alkalmazott mikrohullámú kezelések esetében az alacsony teljesítményszint és a magas közölt összes MW energia bizonyult a leghatékonyabbnak a KOI-csökkenés szempontjából. A dielektromos mérések igazolták, hogy az eltávolítási hatékonyság pontosan nyomon követhető, az egyes dielektromos paraméterek közül pedig a veszteségi szög tangens bizonyult a legmegfelelőbbnek a folyamat leírásához.

Köszönetnyilvánítás

A kutatócsoport köszönetet mond a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal – NKFIH, K115691, és Az EFOP-3.6.2-16-2017-00010 azonosító számú „Fenntartható nyersanyag-gazdálkodás tematikus hálózat fejlesztése – RING 2017 által nyújtott anyagi támogatásért. Az Innovációs és Technológiai Minisztérium ÚNKP-19-2-SZTE-62 Kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának

szakmai támogatásával készült.



Hivatkozások

- Ahn J. H. - Shin S. G. - Hwang S.: 2009. Effect of microwave irradiation on the disintegration and acidogenesis of municipal secondary sludge. *Chemical Engineering Journal* 153, 145–150.
- Clark D. E. - Folz D. C. - West J. K.: 2003. Processing materials with microwave energy. *Materials Science and Engineering A* 287 (2), 153–158.
- Jha, S. N. - Narsaiah K. - Basedya A. L. - Sharma R. - Jaiswal P. - Kumar S. – Bhardwaj R.: 2001. Measurement techniques and application of electrical properties for non-destructive quality evaluation of foods-a review. *Journal of Food Science and Technology* 48, 387–411.
- Jung C. – Deng Y. – Zhao R – Torrens K.: 2016. Chemical oxidation for mitigation of UV-quenching substances (UCQS) from municipal landfill leachate: fenton process versus ozonation. *Water Research* 108, 260-270.
- Kovács P. V. - Lemmer B. - Keszthelyi-Szabó G. - Hodúr C. - Beszédes S.: 2018. Application of dielectric constant measurement in microwave sludge disintegration and wastewater purification processes. *Water Science and Technology* 77 (9), 2284–2291.
- Lemmer B. - Veszelyovszki-Kovács P. - Hodúr C. - Beszédes S.: 2017. Microwave-alkaline treatment for enhanced disintegration and biodegradability of meat processing sludge. *Desalination and Water Treatment* 98, 130–136
- Lin L. - Yuan, S. - Chen, J. - Xu Z. - Lu X.: 2009. Removal of ammonia nitrogen in wastewater by microwave irradiation. *Journal of Hazardous Materials* 161, 1063–1068.
- Liu, S.-T. - Huang J. – Ye Y. - Zhang A.-B. - Pan L. - Chen X.-G.: 2013. Microwave enhanced Fenton process for the removal of methylene blue from aqueous solution. *Chemical Engineering Journal* 215–216, 586–590.
- Prevot A. B. – Gulmini M. – Zelano V. – Pramauro E.: 2001. Microwave-assisted extraction of polycyclic aromatic hydrocarbons from marine sediments using non-ionic surfactant solutions. *Analytical Chemistry* 73, 3790-3795.
- Turney, T. A.: 1995. *Oxidation Mechanisms*. Butterworths and Co, Londom, p. 196.
- Wicks G. G. - Schulz R. L.: 1999. *Microwave Remediation of Hazardous and Radioactive Wastes*. WSRC-MS-99-00762.
- Yang Q. - Yi J. - Luo K. - Jing X. - Li, X. - Liu Y. & Zeng G.: 2013. Improving disintegration and acidification of waste activated sludge by combined alkaline and microwave pretreatment. *Process Safety and Environmental Protection* 91, 521–526.
- Yang Y. – Wang P. - Shi S. - Li Y.: 2009. Microwave enhanced Fenton-like process for the treatment of high concentration pharmaceutical wastewater. *Journal of Hazardous Materials* 168, 238–245.
- Zhang H. - Hayward D. O. - Mingos D. M. P.: 2003. Effects of microwave dielectric heating on heterogeneous catalysis. *Catalysis Letters* 88, 33–38.

**APPLICATION OF HYDROCARBON CONTAMINATED-SOIL
MICROBIOME FOR AQUEOUS ECOSYSTEMS BIOREMEDIATION IN
RESPONSE TO EXTRACELLULAR ORGANIC MATTER FROM
MICROCOCCUS LUTEUS**

Boundedjoun Naila^{1,2}, **Bodor Attila**^{1,2}, **Vincze György Erik**¹, **Laczi Krisztián**¹, **Erdeiné Kis Ágnes**^{1,2,3}, **Rákhely Gábor**^{1,2,3}, **Perei Katalin**^{1,2}

¹ Department of Biotechnology, University of Szeged, Hungary; ² Institute of Environmental and Technological Sciences, University of Szeged, Hungary; ³ Institute of Biophysics, Biological Research Center, Szeged, Hungary
rakhely@brc.hu

Abstract: *Bioremediation proved to be one of the most cost-effective and ecofriendly tool to rehabilitate hydrocarbon-contaminated environments. The efficacy of this biological approach is controlled by various environmental and biological factors proper to each site.*

*Lubricating oils (LOs) and Used Lubricating Oils (ULO) are widespread hazardous pollutants of a varying chemical formulation, they consist of a complex mixture of linear, branched and cyclic alkanes, mono and polyaromatics, additives and an increased fraction of heavy metal after usage. Therefore, these xenobiotics became a crucial target of the environmental processes and pollution research. One of the key to an efficient bioremediation is the growth and the survival of the indigenous potential hydrocarbon-degrading microbial communities and their access to the contaminants. Only a small fraction of the native microflora can be cultivated and characterized using culture-dependent methods; most of these microorganisms remain unrecovered. The yet-to-be-cultured bacterial strains are viable but frequently adopt a survival strategy known as the viable but non-culturable state (VBNC), from which they can revert through a resuscitation process when environmental conditions are favorable again, or triggered by resuscitation promoting factors (Rpfs) such as found in the extracellular organic matter (EOM) of *Micrococcus luteus*.*

In our study case, hydrocarbons-degrading consortia were recovered from the maintenance area of a train station oil-contaminated soil. The indigenous enrichment cultures were characterized and the EOM effect on the diversity and composition of the bacterial communities was evaluated using next generation sequencing methods (NGS). The enrichment cultures' biodegradation efficiency in response to EOM was also assessed in aqueous matrix.

Our preliminary results suggest that EOM could increase the diversity and relative abundance of genera previously reported to be predominant in bioremediation of aromatics and consequently enhanced the bioconversion efficacy in liquid matrix as well as the uncultured bacterial fraction, suggesting a stimulation of potentially yet-to-be-cultured hydrocarbon-degraders.

Acknowledgements

The project was supported by the European Union and Hungarian State (grant agreement no. EFOP-3.6.2-16-2017-00010).

S03 Szekció 3

DEVELOPMENT OF THERMAL INSULATION MATERIAL MADE OF RECYCLED PAPER

Pásztory Zoltán, Börcsök Zoltán

Innovációs Központ, Soproni Egyetem

EFFECT OF FINENESS OF LIGNITE FLY ASH ON THE PROPERTIES OF GEOPOLYMER FOAM

Szabó Roland, Mucsi Gábor

Miskolci Egyetem, Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet

MEASUREMENT OF HEAT LOSS IN STEAMING KILN OR CHAMBER

Adamik Péter, Pásztory Zoltán

Soproni Egyetem SKK Innovációs Központ

MÓDOSÍTOTT COLE-COLE MODELL ALACSONY FEKVENCIÁS ELEKTROMOS IMPEDANCIA SPETROSKÓPIÁS MÉRÉSEK KIÉRTÉKELÉSÉRE

Györfi Nina¹, Nádasdi Lili¹, Tóth Attila², Klincsik Mihály³, Sári Zoltán⁴, Kuljic Bojan⁵, Odry Ákos⁶, Odry Péter⁶, Vizvári Zoltán¹

¹ Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar, Mérnöki és Smart Technológiák Intézet, Környezetmérnök Tanszék; ² Pécsi Tudományegyetem, Általános Orvostudományi Kar, Élettani Intézet; ³ Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar, Mérnöki és Smart Technológiák Intézet, Mérnöki Matematika Tanszék; ⁴ Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar, Mérnöki és Smart Technológiák Intézet, Műszaki Informatika Tanszék; ⁵ Subotica Tech, College of Applied Sciences; ⁶ Dunaiújvárosi Egyetem, Informatikai Intézet, Számítógéprendszerek és Irányítástechnikai Tanszék

RONCSOLÁSMENTES ÉLŐ FA VIZSGÁLAT ELEKTROMOS IMPEDANCIA TOMOGRÁFIÁS MÓDSZERREL

Vizvári Zoltán¹, Tóth Attila², Dívós Ferenc³, Klincsik Mihály⁴, Sári Zoltán⁵, Odry Péter⁶,
¹ Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar, Mérnöki és Smart Technológiák Intézet, Környezetmérnök Tanszék; ² Pécsi Tudományegyetem, Általános Orvostudományi Kar, Élettani Intézet; ³ Nyugat-magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Kitaibel Pál Környezettudományi Doktori Iskola, ⁴ Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar, Mérnöki és Smart Technológiák Intézet, Mérnöki Matematika Tanszék; ⁵ Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar, Mérnöki és Smart Technológiák Intézet, Műszaki Informatika Tanszék; ⁶ Dunaiújvárosi Egyetem, Informatikai Intézet, Számítógéprendszerek és Irányítástechnikai Tanszék

NON-DESTRUCTIVE EVALUATION ON MODULUS OF ELASTICITY OF LOW DENSITY BARK-BASED PANELS

Tsalagkas Dimitrios, Börcsök Zoltán, Pásztory Zoltán

Soproni Egyetem, Simonyi Károly Kar, Innovációs Központ

THERMALLY MODIFIED BARK CHIPS PANEL

Börcsök Zoltán, Tsalagkas Dimitrios, Horváth Norbert, Pásztory Zoltán

Soproni Egyetem, Simonyi Károly Kar, Innovációs Központ

THE OPPORTUNITIES OF BARK UTILIZATION

Keresztfalvi Péter, Börcsök Zoltán

Soproni Egyetem, Innovációs Központ

HATÉKONY ÉS ROBOSZTUS SAJÁT FEJLESZTÉSŰ MÓDSZER A COLE-COLE PARAMÉTEREK KINYERÉSÉRE AZ ELEKTROMOS IMPEDANCIA SPEKTRUM MÉRÉS ADATAIBÓL

Nádasdi Lili¹, Györfi Nina¹, Tóth Attila², Klincsik Mihály³, Sári Zoltán⁴, Kuljic Bojan⁵, Odry Ákos⁶, Odry Péter⁶, Vizvári Zoltán¹

¹ Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar, Mérnöki és Smart Technológiák Intézet, Környezetmérnök Tanszék; ² Pécsi Tudományegyetem, Általános Orvostudományi Kar, Élettani Intézet; ³ Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar, Mérnöki és Smart Technológiák Intézet, Mérnöki Matematika Tanszék; ⁴ Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar, Mérnöki és Smart Technológiák Intézet, Műszaki Informatika Tanszék; ⁵ Subotica Tech, College of Applied Sciences; ⁶ Dunaiújvárosi Egyetem, Informatikai Intézet, Számítógéprendszerek és Irányítástechnikai Tanszék

DEVELOPMENT OF THERMAL INSULATION MATERIAL MADE OF RECYCLED PAPER

Zoltán Pásztor, Zoltán Börcsök
Innovation Center
University of Sopron

4. Bajcsy Zs. str. Sopron 9400 Hungary
pasztor.zoltan@uni-sopron.hu

Abstract: *Multiple reflecting insulation material was developed and built into a pilot building in the frame of four year research project called Mirrorpanel. The thermal insulation system used effectively the reflection of radiated heat the reduced convection effect of small air gaps, and the good thermal resistance of still air. Recycled paper were used for the material of reflecting layers with a special coating for reflect higher ratio of radiation. The distance between layers was set to 5 mm. Laboratory size panel thermal conductivity was 0.029 and full size panel was 0.038 W m⁻¹ K⁻¹.*

Keywords: Thermal insulation materials, heat reflection, Mirrorpanel

1. Introduction

Researchers found, that in the European Union, buildings account for 40% of the total energy consumption (Report on the Green Paper on Energy or Doing More with Less, European Commission, 2005, Directive 2010/31/EU). In residential homes, about 82% of the total energy is used for heating and hot water production (Gordon and Holness 2008, Linder, S. & Bhar 2007). At the same time, in Europe at the temperate climate often cooling of the building is required during the summer due to heat which amount of heat could partially or completely cover the heating demand during the winter. The energy used can be reduced by increasing the thermal insulation of the buildings and by storing the summer heat for space heating purpose at winter (Magyar et al. 2017, Faitli et al. 2015, Dincer and Rosen 2011, Agyenim et al. 2010, Dincer 2002, Ismail and Stuginsky 1999). The natural based, environmentally friendly products are gradually gaining ground between the thermal insulation materials. To examine these two way together, an environmentally conscious, energy efficient test building was built. The building was environmentally friendly by its thermal insulation was solved by multiple reflecting of thermal radiation and was made of natural based material (Pásztor 2013). This study summarizes the experiences of this pilot building concerning the reflecting thermal insulation system which was tested for years to get experience of effectivity.

2. Materials and methods

2.1 Mirrorpanel thermal insulation

The concept of the formation of narrow air layers with the help of heat-reflecting foils within the wall structure was used to build the insulation of the house by minimalizing the heat bridges and slowing down the heat flux by multiple heat reflection layers through the wall. This Mirrorpanel system was designed for wood frame structure buildings, where there is an air gap between studs. Normally these gaps are filled with traditional insulation materials such as, rockwool glasswool or cellulose fiber. The frames provide the fixing places of the new developed insulation system and the cover plates were OSB both side for protecting the system from mechanical stress.

The material of the reflecting layers was recycled paper which was coated special nanopigment to reduce the original surface emission value from 0.93 to 0.35 and to preserve the vapor permeability of the layers. The layers were coated both sides for having higher thermal resistance of the system. According to preliminary studies, the 5 mm gap was economically and technically optimal between layers. Small, 1.5×0.5 cm cellulose distance holders were used to keep the distance between the layers and they were fixed to the edge of the layers by stapling. Because of the small surface and the relatively low thermal conductivity of the distance holders, they have little heat bridge effect to the overall heat conductivity of the whole structure. The framework was made of 6×16 cm spruce laths and the frame systems were covered with fiber-reinforced gypsum boards on both sides (Figure 1).

There were built a laboratory sized small panels and the life size panel for testing. The small panel was 300 mm by 300 mm with a thickness of 30 mm and the air layers was 5 mm inside the panel. The life size panel was 2 m by 1.25 m the thickness was 16 cm. In case of small size panel the frame element was only 15 mm because the purpose of these samples was to determine the thermal conductivity of the pure Mirrorpanel system without frame's effect. In the large panel the frame was built in as a normal wall structure and the purpose of the measurement was the examination of thermal conductivity of the whole system.

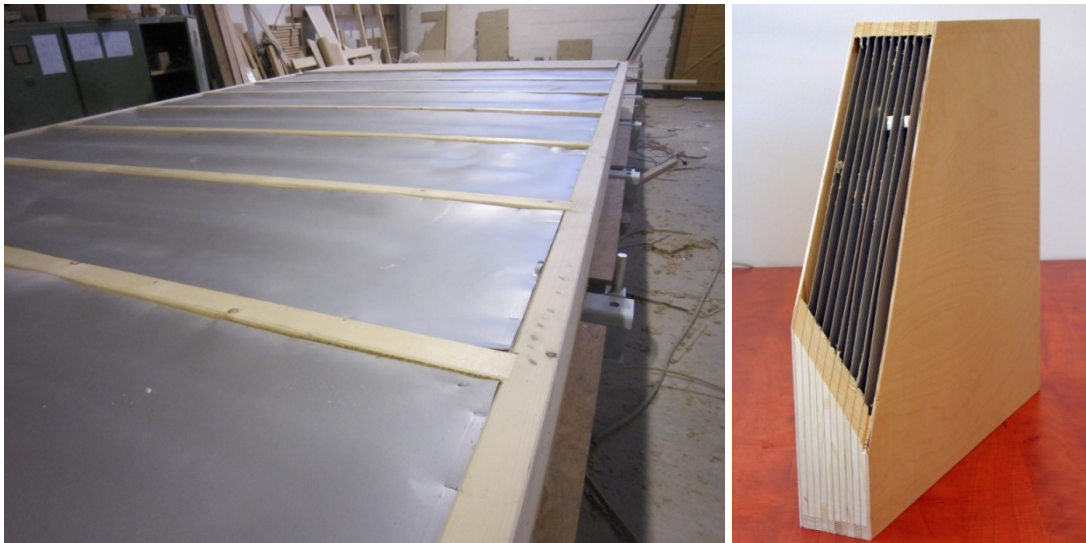


Figure1 The Mirrorpanel wall system a) full panel surface, b) panel cross section

By means of the special form and material of Mirrorpanel thermal insulation system could reduce the thermal transmittance through the wall in three ways. The low emissivity layers reflect thermal radiation multiple times; the 5 mm air gaps provide a significant thermal resistance for thermal conductivity and because of the narrow air layer and the small temperature difference between the boundary layers the convection effect can be neglected according to the Prandtl and Grashof dimensionless numbers. The structure was designed for having the minimal surface contact perpendicular to the surface of the wall which causes minimal thermal loss by heat bridges.

2.2 Test building

120 m² residential home was built in western part of Hungary for testing the system (Figure 2). The orientation of the building was toward south with larger windows for increase the solar gaining and no window was set to the north which was the ruling wind direction too. The house was very well insulated for minimize energy demand for heating and cooling purpose. The whole building was sit to a foundation surrounded by 20 cm extruded insulation boards reduce the heat loss toward the ground. The roof has also high thermal resistance, the thickness was 40 cm and cellulose insulation fibers filled the gap between rafters. Three glassing windows were chosen with a thicker frame structure and with plastic distance holder between glasses. It was devoted high attention to the air tightness for reducing the heat loss by filtration. By the effort of the high insulation elements of the pilot building the thermal energy demand was quite low, around 1 kW in case of 22 degree Celsius temperature difference.



Figure 2. Experimental building in West-Hungary

3. Result and discussion

3.1 Mirrorpanel thermal insulation

The heat conductivity of a completed, large panel was measured by the Hungarian Building Material Certification Institute (ÉMI), it was 0.038 W m⁻¹ K⁻¹, including the thermal bridges of the distance holders, and the fiber-reinforced gypsum boards on the sides, which is better than the light frame walls made of commonly used insulating materials [5]. This result is significantly better than that of the traditional light frame panels which consist rock or glass wool having thermal conductivity about 0.04 W m⁻¹ K⁻¹.

The results of the small size laboratory panel was 0.029 W m⁻¹ K⁻¹ which value is really low taking into account the thermal conductivity of still air (0.025 W m⁻¹ K⁻¹).

Both experiment proved that the multiple reflection of radiation and the small air gaps and the reduction of the numbers and surfaces of heat bridges can result lower thermal conductivity than the fiber and foam based insulation materials. Proved that it is possible to build a system and the reduction of surface emissivity is a key element of the low thermal conductivity.

4. Conclusion

New insulation system was build and tested in laboratory size and also in building size. For space heating seasonal thermal energy storage system was designed and built into the test building and a finite element simulation was run for determination the elapsing time of the thermal storage block.

- Multiple thermal reflection can be used as an effective insulation system and the insulation value is competitive relates to the traditional insulation materials. The best value in laboratory size was 0.029 W m⁻¹ K⁻¹, and the full size panel reach the 0.038 W m⁻¹ K⁻¹ value.

- Space heating of reduced thermal loss building can be supplied of seasonal thermal storage system.
- Insulation thickness of the thermal storage block has slight effect to the elapsed time.
- The withdrawn energy dominantly influence duration of the operation time of the seasonal thermal storage system.
- Transient model could not be compare to the steady state situation unless the average value of the transient model is calculated for longer time.

As the energy consumption has increasing importance the improvement of the building envelope produce building with reduced energy demand. By this process the seasonal thermal storage system will be investigated and to build different model will be necessary for the future for the better thermal design of the building.

5. Acknowledgement

The work was carried out as part of the "Sustainable Raw Material Management Thematic Network – RING 2017", EFOP-3.6.2-16-2017-00010 project in the framework of the Széchenyi 2020 Program. The realization of this project is supported by the European Union, co-financed by the European Social Fund.

6. References

Report on the Green Paper on Energy or Doing More With Less, European Commission, Brussels, Belgium, 2005.

Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings. Online. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32010L0031:EN:NOT>

Gordon, V.R. & Holness, P.E., Improving Energy Efficiency in Existing Buildings. ASHRAE Journal, 50(1), pp. 12-26, 2008.

Linder, S. & Bhar, R., Space conditioning in the residential sector in Europe, Deliverable 1 Ground Reach EU project. Ecofys. pp. 1-38, 2007. Online.

Pásztory Z. (2013): Improved heat insulation system (Mirrorpanel) for construction of wood buildings. *Holzforschung* 67(6): 715-718. DOI 10.1515/hf-2012-0198

Dincer, I. & Rosen, M.A., Thermal Energy Storage: Systems and Applications, 2nd ed.. Chichester: Wiley, pp. 83-190, 2011.

Agyenim, F., Hewitt, N., Eames, P. & Smyth, M., A review of materials, heat transfer and phase change problem formulation for latent heat thermal energy storage systems (LHTESS). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(2), pp. 615-628, 2010.

Dincer, I., On thermal energy storage systems and applications in buildings. *Energy and Buildings*, 34(4), pp. 377–388, 2002.

Ismail, K.A.R. & Stuginsky Jr., R., A parametric study on possible fixed bed models for PCM and sensible heat storage. *Applied Thermal Engineering*, 19(7), pp. 757-788, 1999.

Magyar T., Faitli J., Szabó R.: Geopolimer-EPS kompozit szigetelő anyagok eredő hővezetési tényezőjének elméleti és kísérleti vizsgálata. *ÉPÍTŐANYAG* 69: 3 pp. 74-82., 9 p. (2017)

Faitli J., Magyar T., Erdélyi A., Murányi A.: Characterization of thermal properties of municipal solid waste landfills. WASTE MANAGEMENT 36: 1 pp. 213-221., 9 p. (2015)

EFFECT OF FINENESS OF LIGNITE FLY ASH ON THE PROPERTIES OF GEOPOLYMER FOAM

Roland Szabó*, Gábor Mucsi

Institute of Raw Material Preparation and Environmental Processing
University of Miskolc
H-3515 Miskolc, Egyetemváros
ejtszabor@uni-miskolc.hu

Abstract: *Present study deals with the effect of lignite fly ash fineness on the rheology of geopolymer paste and on the changes in properties of geopolymer foam. The raw fly ash was ground in a laboratory ball mill for various duration (5; 10; 20; 30; 60 and 120 min). The rheological behaviour of the geopolymer paste changed due to the fineness of fly ash (from Bingham plastic to Newtonian liquid). Geopolymer paste which was prepared from fly ash with smaller particle size and higher specific surface area (higher fineness) had lower flow characteristics (yield stress, coefficient of rigidity, viscosity). Grinding of fly ash has a significant effect on the physical properties of the geopolymer foam (compressive strength, specimen density). Increasing specific surface area of fly ash resulted in higher density and compressive strength. Additionally, the ground fly ashes and geopolymer foam material structure was investigated by Fourier transform infrared spectrometer.*

Keywords: lignite fly ash, grinding fineness, rheology, geopolymer foam

1. Introduction

Geopolymers are an inorganic, semi-crystalline 3D aluminosilicate materials which can be produced by dissolving aluminosilicate-containing materials in alkaline (sodium/potassium hydroxide, sodium/potassium silicate) or possibly acidic (phosphoric acid) media. Natural aluminosilicates (kaolin, perlite) or calcined clay minerals (metakaolin) can be used as raw materials after appropriate activation. Besides these materials the geopolymers can be fabricated from industrial by-products (e.g. fly ash, metallurgical slag, red mud, rice husk ash, etc. or combination of them) (Vaou and Panias, 2010; Mucsi et al. 2014; Komnitsas and Zaharaki 2007; Bai and Colombo, 2018, Tchakouté et al. 2017, Bai et al. 2017). Porous geopolymers, so-called geopolymer foams (GFs), can be obtained using various foaming processes e.g. direct foaming, pre-foaming method, replica method, sacrificial filler method, additive manufacturing and combined process (Bai and Colombo 2018).

Geopolymer foam (GF) possess good physico-chemical and mechanical properties like relative high strength (0.4-20 MPa), low density (290-800 kg/m³), chemical and thermal stability, good acoustic and thermal insulation properties ($\lambda=0.03-0.39$ W/mK), fire resistance, high water absorption and water retention capabilities (Abdollahnejad et al. 2015; Hlaváček et al. 2015; Sanjayan et al. 2015, Bajare et al. 2014; Dembovska et al. 2017, Hung et al. 2014; Papa et al. 2016a; Okada et al. 2009). Due to these properties GFs can be applied as acoustic and thermal insulators, catalysts, membrane, adsorbents and filters in (waste)water treatment (Hung et al. 2014, Strini et al. 2016; Medpelli et al. 2015; Lee et al. 2017; Minelli et al. 2016).

The rate of foaming of the geopolymer (thus their properties) can be influenced by several parameters such as the foaming method, the amount of foaming agent and surfactant, or the rheological properties of the initial mixture (geopolymer paste) (Abdollahnejad et al. 2015; Hlaváček et al. 2015; Favier et al. 2013;

Papa et al. 2016; Franchin et al. 2017). The rheology of mixture can be easily changed by the amount of added liquid activator, i.e. by the liquid/solid ratio (L/S ratio) or using superplasticizer (Nematollahi and Sanjayan, 2014; Papa et al. 2016; Franchin et al. 2017). However, rheology of geopolymer paste can also be controlled at a given L/S ratio by the size reduction of the solid component, by grinding.

The main aim of the research is to investigate the effect of the fly ash fineness on the rheology of the geopolymer paste and the geopolymer foam's properties (density, porosity, strength and material structure of the geopolymer foam).

2. Materials and methods

For the experiments lignite fly ash was used, the main characteristics of which are shown in Table 1. The particle size distribution (PSD) of raw and ground fly ashes were measured by Horiba LA-950V2 laser diffraction particle size analyzer in wet mode. The geometric (outer) specific surface area, which was calculated from PSD data by the analyzer's software was corrected by $f_s = 1.75$ shape factor (Mucsi et al. 2009).

TABLE 1 PROPERTIES OF RAW FLY ASH

Origin	Mátra Power Plant (Visonta, Hungary)
Moisture content (w/w %)	0.27
Bulk density (g/cm ³)	0.72
Particle density (g/cm ³)	1.93
x ₁₀ (μm)	10.3
x ₅₀ (μm)	48.4
x ₈₀ (μm)	119.6
Specific surface area (SSA) (cm ² /g)	2016.2

The chemical composition of the fly ash has been investigated by X-ray fluorescence spectroscopy (XRF), the results can be seen in Table 2. The main crystalline phase of fly ash was quartz (20.34%), but it also contained albite, anhydrite, maghemite and hematite. The amorphous phase represented 52.55% of the fly ash.

TABLE 2 CHEMICAL COMPOSITION OF FLY ASH

Compound	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	MnO	TiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	L.o.I.*
w/w %	48.10	14.42	3.34	11.76	0.37	1.66	10.97	0.17	0.49	0.26	0.58	2.2

*Loss on ignition at 950 °C

The raw fly ash was mechanically activated for various duration (5, 10, 20, 30, 60 and 120 min) in a batch laboratory ball mill with the size of Ø305×305 mm. The diameter of steel grinding balls were between 12 and 40 mm. The mill filling ratio of the grinding media was 30 v/v%, the material filling ratio (compared to the pore volume among the grinding media) was 110 v/v%. The grinding energy was measured during the grinding.

The geopolymer paste were prepared by mixing the fly ash as solid and sodium hydroxide solution (8 M) and waterglass (Betol SB) as alkaline activators. The liquid/solid ratio (L/S ratio) of geopolymer paste was 0.82.

The rheology of geopolymer pastes with various fly ash fineness was measured using Anton Paar Physica MCR 51 type rotational rheometer. The measurements were carried out with cylindrical geometry. For geopolymer foam production hydrogen peroxide (30 mass % solution) was used as chemical foaming agent. Amount of H₂O₂ solution was 3 w/w% in fly ash mass. The specimens with various fly ash fineness were heat treated in 2 steps. As a first step the foamed mixture was kept in moulds for 24 hours in sealed condition in a climate chamber (SDL Atlas G212-D1 type) at 23 °C, then it was followed by heat curing at 30 °C for 6 hours. After the heat treatment, the specimens were stored in a climate chamber at 23 °C and 90% relative humidity until the measurement of compressive strength. Five specimens were made in all cases for the strength test. The uniaxial compressive strength was measured at the age of 7 days. The material structure of the geopolymer foam products was investigated by JASCO FT-IR 4200 type Fourier Transformed Infrared Spectrometer in reflection mode, using a diamond ATR.

3. Results

3.1 Grinding kinetics of fly ash

At the start of grinding, the material is become finer relatively quickly, and the work required for grinding (optionally grinding time) is approximately proportional to the new surface formed, i.e. the degree of dispersion of the resulting product.

TABLE 3 CHARACTERISTIC PARTICLE SIZES AND SPECIFIC SURFACE AREA OF GROUND FLY ASH

Properties	Grinding time (min)						
	0	5	10	20	30	60	120
x ₁₀ (µm)	10.3	10	8.4	6.5	5.8	2.4	0.5
x ₅₀ (µm)	48.4	43.8	29.6	19.5	16.4	11.6	8.4
x ₈₀ (µm)	112.6	91.7	68.1	45.9	33.7	27.9	16.1
SSA (cm ² /g)	2016.2	2133.8	2481.3	3163.0	3598.9	9494.8	21400.4
Produced specific surface area, dSSA (cm ² /g)	0	117.6	465.1	1146.8	1582.7	7478.6	19384.2

Figure 1 shows the almost linear relationship between the newly formed specific surface and the specific grinding energy. It is observed that the particle size of the fly ash showed an intense decrease in the initial stage of the grinding (Table 3). Primarily the fracture of bigger particles was occurred. In subsequent period of the grinding (after 30 minutes) a significant increase in specific surface area was experienced due to the increased amount of smaller particles. Significant amount (above 10%) of particles below 1 µm particle size were produced at 120 minutes of grinding.

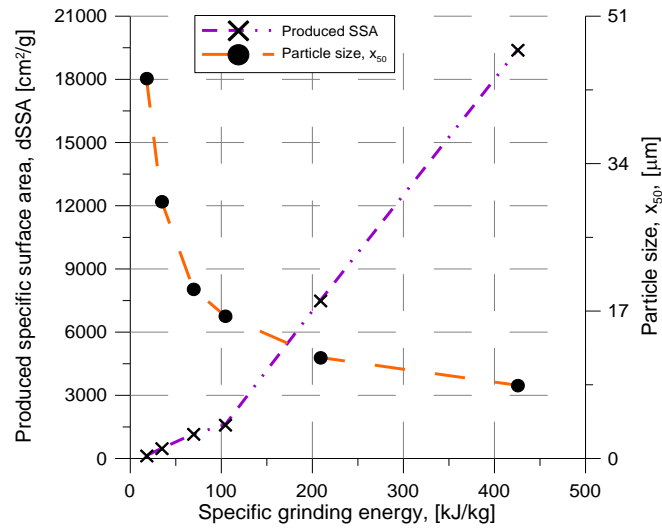


FIGURE 1 MEDIAN PARTICLE SIZE AND PRODUCED SSA AS A FUNCTION OF SPECIFIC GRINDING ENERGY

3.2 Rheological behavior of geopolymer paste with various fly ash fineness

Due to the short setting time of the geopolymer paste, the paste composition had to be modified to increase the setting time. To eliminate this, the amount of waterglass in the paste was changed completely to 8 M NaOH, keeping the activating solution/solids ratio ($L/S = 0.82$). In Figure 2 the rheological properties of geopolymer pastes can be seen as a function of fly ash fineness. Based on this Figure can be observed that the geopolymer paste, which contained fly ash with a median size of above $30\mu\text{m}$ and SSA of below $2481\text{ cm}^2/\text{g}$ has shown Bingham-plastic behavior with a yield stress of 23 to 32 Pa. However, as a result of higher fly ash fineness, the coefficient of rigidity [η] was reduced. When the fly ash had a higher fineness ($x_{50} < 19.5\mu\text{m}$, $\text{SSA} > 3163\text{ cm}^2/\text{g}$), the rheology of the paste changed and became Newtonian fluid with a yield stress of 0 Pa. The viscosity of the geopolymer paste (μ) changed from 518 to 290 mPas with further increase of the specific surface area of the fly ash (decrease in particle size). Therefore, it can be concluded that the change in the fineness of the fly ash had a significant effect on the flow behavior of the geopolymer paste.

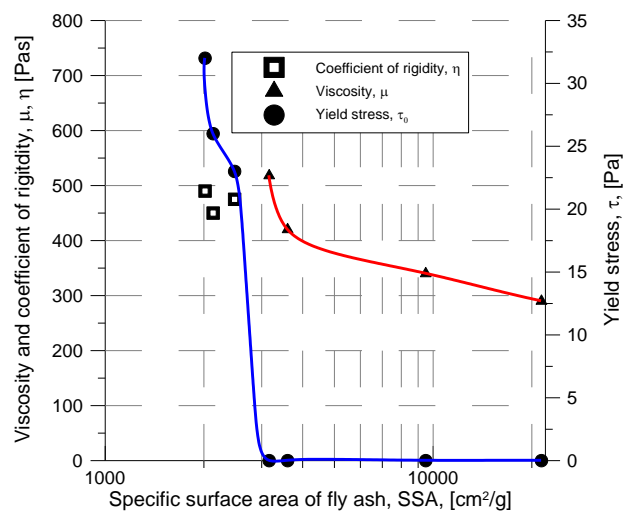


FIGURE 2 EFFECT OF FLY ASH FINENESS ON RHEOLOGY OF GEOPOLYMER PASTES

3.3 Effect of grinding fineness of fly ash on geopolymer foam properties

The geopolymer foam could only be produced using fly ash with a specific surface area of 2016 to 3600 cm²/g, because at higher fly ash fineness (9495 and 21400 cm²/g) geopolymer paste was immediately foamed by the added H₂O₂ solution. This effect was mainly caused by those components of the fly ash (e.g. unburned carbon) which may have accelerated the decomposition of hydrogen peroxide (Heard and Senftle, 1982) and may have caused the bounding of liquid content of paste.

The effect of fly ash fineness on the rheological behavior of geopolymer paste can be well observed in the changes of the geopolymer foam density (Fig. 3), porosity (Fig. 4) and thus their compressive strength values. In Figure 3 it can be seen that increasing specific surface area of fly ash, the density of geopolymer foams also increased, which can be explained by the decreasing viscosity of the geopolymer paste. The O₂ gas which formed due to the decomposition of H₂O₂ was able to leave the lower viscosity geopolymer paste more easily, resulting in a denser geopolymer foam with a higher strength. However, not only increasing the density played a role in the change of strength, but also the mechanical activation of fly ash, which is also well represented by the density and strength values of foams made of 3163 and 3600 cm²/g specific surface area of fly ash. Geopolymer foam which made from fly ash with a higher specific surface area showed higher strength. This also supports the statement that the mechanical activation of the raw material by grinding can improve the strength of the geopolymers (Kumar et al 2007, Singh et al. 2018, Mucsi et al. 2015).

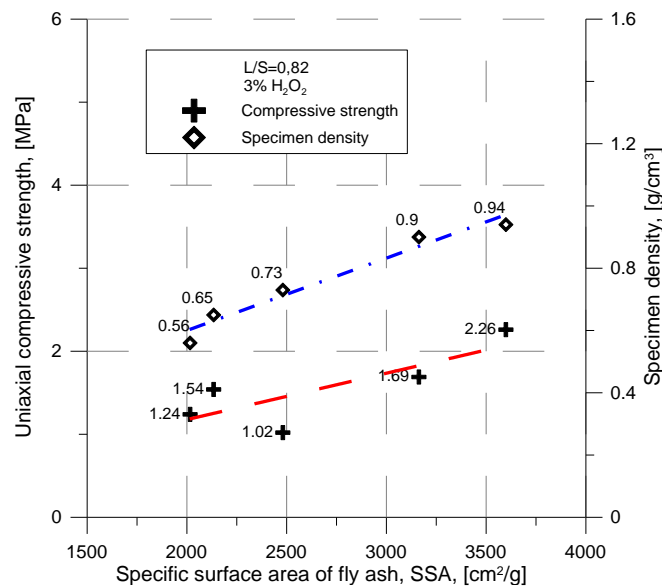


FIGURE 3 EFFECT OF FLY ASH FINENESS ON THE COMPRESSIVE STRENGTH AND DENSITY OF GEOPOLYMER FOAM

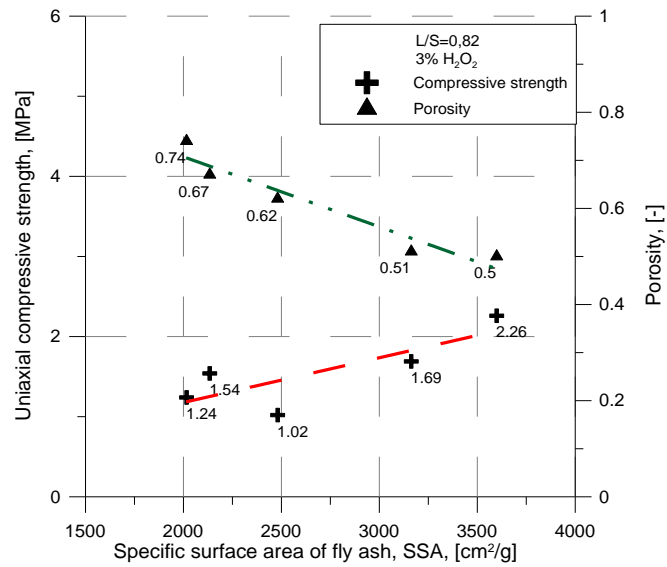


FIGURE 4 EFFECT OF FLY ASH FINENESS ON THE COMPRESSIVE STRENGTH AND POROSITY OF GEOPOLYMER FOAM

3.4 Material structure

The FT-IR spectra of the fly ash with different fineness is shown in Figure 5. Based on the IR spectra of raw and mechanically activated fly ash it can be seen that when the fly ash had a specific surface area of 2016-3600 cm²/g, the band referring to T-O-Si (T = Si, Al) bonds signed with double peak (1101 and 1009 cm⁻¹), which has shown a wide band at higher fly ash fineness. Furthermore at 678 and 598 cm⁻¹ can be assigned to Si-O-Si and Al-O-Si bonds symmetric stretching vibration, while double peaks at 796 and 778 cm⁻¹ refer to O-Si-O bond (Criado et al. 2005).

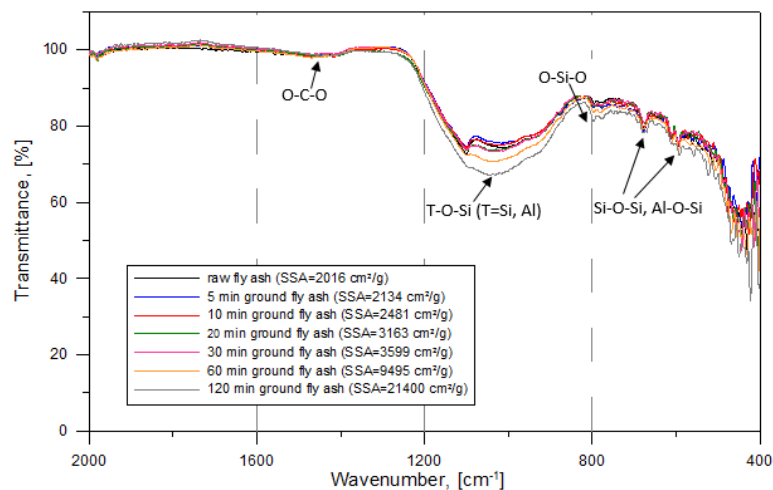


FIGURE 5 FT-IR SPECTRA OF FLY ASHES WITH DIFFERENT FINENESS

Figure 6 shows IR spectra of GF with different fly ash fineness. Based on Swanepoel and Strydom (2002) peaks at 3370 cm⁻¹ and 1644 cm⁻¹ have been assigned to the vibrations of weakly bound molecules of H₂O which are adsorbed on the surface or trapped in the large cavities. The broad band at about 1413 cm⁻¹ which is attributed to stretching vibrations of O-C-O bond is a result of the presence of Na₂CO₃. This may be due

to a large concentration of Na carried to the surface where it carbonates. Peak observed between 1009 and 1101 cm^{-1} in the case of fly ash shifted lower wavenumber (960 cm^{-1}) in the FT-IR spectra of GF, indicating the formation of a new product (the amorphous aluminosilicate gel phase) (Swanepoel and Strydom, 2002, Criado et al. 2005). Furthermore, the absorption bands in the IR spectrum of the fly (678; 598; 796 and 778 cm^{-1}) disappeared after geopolymerization.

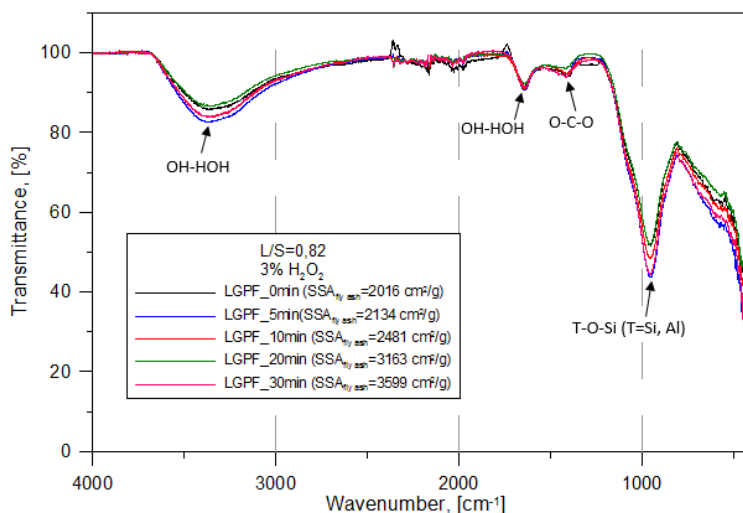


FIGURE 6 FT-IR SPECTRA OF GEOPOLYMER FOAMS

4. Conclusion

Based on the experimental results presented above the following conclusions can be drawn:

- The rheology of geopolymer paste changed by decrease of particle size (increase of specific surface area) of fly ash by keeping constant liquid/solid ratio (L/S).
- Changing rheology of geopolymer paste modified the compressive strength, density and porosity of geopolymer foam.
- Increasing specific surface area of fly ash the density and strength of geopolymer foams also increased.
- Grinding caused significant change on the structure of fly ash detected by FTIR.
- Based on the IR spectra of GF it can be stated that the fly ash fineness did not cause a significant change in their structure.

5. Acknowledgement

The described work was carried out as a part of the „Sustainable Raw Material Management Thematic Network – RING 2017”, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 project in the framework of the Széchenyi2020 Program. The realization of this project is supported by the European Union, co-financed by the European Social Fund.

6. References

Abdollahnejad, Z., Pacheco-Torgal, F., Félix, T., W. Tahri, W., Aguiar, J. B. (2015). Mix design, properties and cost analysis of fly ash-based geopolymer foam. *Construction and Building Materials*, 80, 18–30.

- Bai, C., & Colombo, P., (2018). Processing, properties and applications of highly porous geopolymers: A review. *Ceramics International*, 44, 16103–16118.
- Bai, C., Conte, A., Colombo P., (2017). Open-cell phosphate-based geopolymer foams by frothing, *Materials Letters*, 188, 379–382.
- Bajare, D., Bumanis, G., Korjakins, A., (2014). New porous material made from industrial and municipal waste for building application, *Materials Science*, 20 (3), 333–338.
- Criado, M., Palomo, A., Fernandez-Jimenez, A., (2005). Alkali activation of fly ashes. Part 1: Effect of curing conditions on the carbonation of the reaction products. *Fuel*, 84, 2048–2054.
- Dembovska, L., Bajare, D., Ducman, V., Korat, L., Bumanis, G., (2017). The use of different by-products in the production of lightweight alkali activated building materials. *Construction and Building Materials*, 135, 315–322.
- Favier, A., Habert, G., d'Espinose de Lacaillerie, J.B., Roussel, N., (2013). Mechanical properties and compositional heterogeneities of fresh geopolymer pastes. *Cement and Concrete Research*, 48, 9-16.
- Franchin, G., Scanferla, P., Zeffiro, L., et al., (2017). Direct ink writing of geopolymeric inks. *Journal of the European Ceramic Society*, 37 (6), 2481–2489.
- Hlaváček, P., Šmilauer, V., Škvára, F., Kopecký, L., Šulc, R., (2015). Inorganic foams made from alkali-activated fly ash: Mechanical, chemical and physical properties. *Journal of the European Ceramic Society*, 35(2), 703-709.
- Heard, I., Senftle, F. E. (1982): Chemical oxidation of anthracite with hydrogen peroxide via the Fenton reaction. *FUEL*, 63, 221-226.
- Hung, T.C., Huang, J.S., Wang, Y.W., Lin, K.Y. (2014). Inorganic polymeric foam as a sound absorbing and insulating material, *Construction and Building Materials*, 50, 328–334.
- Komnitsas, K., & Zaharaki, D. (2007). Geopolymerisation: A review and prospects for the mineral industry. *Mineral Engineering*, 20, 1261-1277.
- Kumar, S., & Kumar, R., (2011). Mechanical activation of fly ash: Effect on reaction, structure and properties of resulting geopolymer. *Ceramics International*, 37, 533–541.
- Lee N.K., Khalid H.R., Lee H.K. (2017). Adsorption characteristics of cesium onto mesoporous geopolymers containing nano-crystalline zeolites. *Microporous and Mesoporous Materials*, 242, 238-244.
- Medpelli, D., Sandoval, R., Sherrill, L., et al., (2015). Iron oxide-modified nanoporous geopolymers for arsenic removal from ground water. *Resource-Efficient Technologies*, 1 (1), 19–27.
- Minelli, M., Medri, V., Papa, E., et al., (2016). Geopolymers as solid adsorbent for CO₂ capture. *Chemical Engineering Science*, 148, 267–274.
- Mucsi, G., Csóke, B., Gál, A., Szabó, M., (2009). Mechanical activation of lignite fly ash and brown coal fly ash and their use as constituents in binders. (Mechanische Aktivierung von Lignit- und Braunkohlenflugasche und ihre Verwendung als Bindemittel.), *Cement International*, 7(4), 76-85.
- Mucsi, G., Lakatos, J., Molnár, Z., Szabó, R. (2014). Development of geopolymer using industrial waste materials. The 9th International Conference “Environmental Engineering”, Vilnius, Lithuania

- Mucsi, G., Kumar, S., Csöke, B., Kumar, R., Molnár, Z., Rácz, Á., Máday, F., Debreczeni, Á. (2015). Control of geopolymer properties by grinding of land filled fly ash. *International Journal of Mineral Processing*, 143, 50–58.
- Nematollahi, B., Sanjayan, J. (2014). Effect of different superplasticizers and activator combinations on workability and strength of fly ash based geopolymer. *Materials and Design* 57, 667–672.
- Okada, K., Ooyama, A., Isobe, T., et al., (2009). Water retention properties of porous geopolymers for use in cooling applications. *Journal of the European Ceramic Society*, 29 (10), 1917–1923.
- Papa, E., Medri, V., Benito, P., et al., (2016). Insights into the macroporosity of freeze-cast hierarchical geopolymers. *Royal Society of Chemistry Advances*, 6(29) 24635–24644.
- Sanjayan, J. G., Nazari, A., Chen, L., Nguyen, G. H., (2015). Physical and mechanical properties of lightweight aerated geopolymer. *Construction and Building Materials*, 79, 236-244.
- Singh, S., Aswath, M.U., Ranganath, R.V. (2018). Effect of mechanical activation of red mud on the strength of geopolymer binder. *Construction and Building Materials*, 177, 91-101.
- Strini, A., Roviello, G., Ricciotti, L., et al., (2016). TiO₂-based photocatalytic geopolymers for nitric oxide degradation, *Materials*, 9 (7) 513-525.
- Swanepoel, J.C., Strydom, C.A. (2002). Utilization of fly ash in a geopolymeric material. *Applied Geochemistry*, 17, 1143–1148.
- Tchakouté, H. K., Rüscher, C. H., Kamseu, E., Andreola, F., Leonelli, C. (2017). Influence of the molar concentration of phosphoric acid solution on the properties of metakaolin-phosphate-based geopolymer cements. *Applied Clay Science*, 147, 184-194.
- Vaou, V. & Panyas, D. (2010). Thermal insulating foamy geopolymers from perlite. *Minerals Engineering*, 23 (14), 1146–1151

MEASUREMENT OF HEAT LOSS IN STEAMING KILN

Péter Adamik Zoltán Pásztor

Innovation Center

University of Sopron

Bajcsy-Zsilinszky street 4.

H-9400 Sopron

adamikp15@student.uni-sopron.hu

Abstract: *Wood steaming is large energy consuming process, which results high cost and has high CO₂ emission. Because of these two reasons the reduction of energy consumption is desired and important in terms of minimizing cost and carbon-dioxide emission. In this study steaming chamber was examined which works in a wood processing factory in western part of Hungary. Transmitting and filtrated energy loss was measured by means of infrared camera and flux meters. Measurement were done in original condition and after data analyses several changes were done on the chamber than the results was measured again. Highlighted lines of heat loss were the edge of the door, where the sealing was changed and resulted significant reduction of filtrated heat loss. The average transmitting thermal loss was 71.3 W/m² in PUR sandwich panel and 415.5 W/m² in the concrete foundation. In case of restoration of such a steaming chamber the crucial points are the sealing of doors and the foundation.*

Keywords: steaming, beech, measurement, energy consumption

1. Introduction

There are some sector of woodworking industry are in tight position between the increasing price of raw material and energy and the selling price of produced product determinate by the market. Sawing mills needs either high amount and high production capacity and/or further processing of semi products different value added technics such as drying planning or steaming. Wood steaming is a large energy consuming process, what's results high cost for the factory. The steaming technology needs high amount of thermal energy and it is well known that producing thermic energy results high amount of carbon-dioxide emission, in addition the transportation of steam has a high loss ratio. From these aspects the reduction of used steam amount is desired. The thermal loss is determined by the technical condition of the chamber and the pipe line of steam transport. The examination of steaming chamber is important for explore the most critical parts and for replace this parts for decrease undesirable thermal loss.

The main result of steaming treatment is the discolour of wood, if there is some change in the treatment schedule, then it can show the consequences in colour.

The energy consumed for steaming is affected by the time of schedule, lumber's thickness, species of wood, outside temperature, type of steaming, and the condition of chamber. In this study the main targeted areas are schedule, and chamber's condition.

2. Material and methods

2.1 Measurements

Working steaming chamber were investigated in terms of heat loss in the surface of the chamber. Thermo vision and thermal flux measurement have been done. The used devices are Fluke TiR3FT infrared camera with the resolution of 0.1 Celsius, Ahlborn Almemo 2590 data collecting, thermal flux sensor, calibrated temperature sensor. The measurement was done during the steaming process was running in calm weather without significant wind and air temperature change. Background temperature was set to the measured air temperature and the emission value of the surface was set 0.25 which fits to the dirty rough aluminium surface. The setting of emission was done by measuring the surface temperature by tactile thermometer and the thermo vision camera emission value was changed until the same temperature was achieved. After taking the thermo images the pictures was adjusted and analysed be the Smart View software belonging to the thermo image system. The software provided the possibility to do the section of a line on the image. See Figure 1, the graph shows the thermal value of the line drawn to the thermo image [Fig 1.].

For thermo flux measurement flux meter was fixed to the surface of the chamber. The instantaneous values were hectic changing by the time within a range, although the wind speed on the surface was near to zero. For compensating this variation of the flux value, high number of measurement were run in every 15 seconds and the results was generated as the average of close to hundred data.

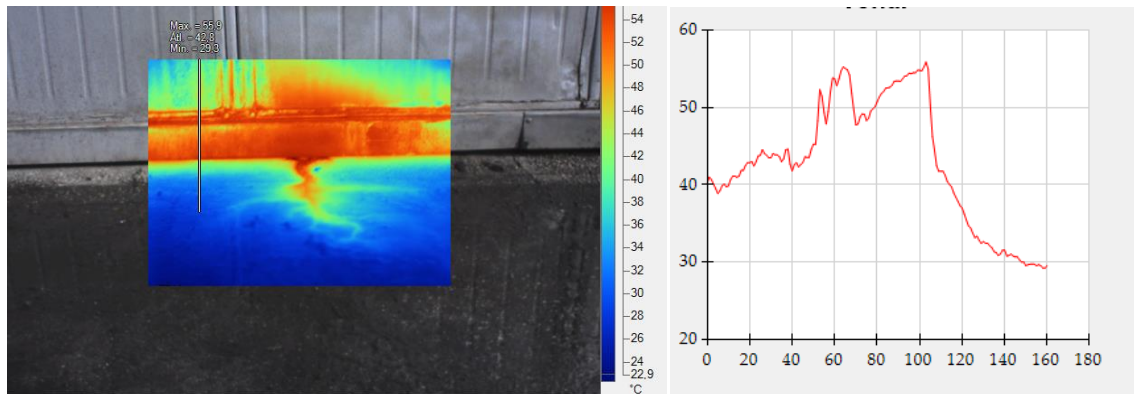


Figure 1 Infrared picture and the function about the white line

The thermo flux measurement made by thermometer, heat flux sensor placed different places of the chamber outer surface. The outside temperature become from thermometer, the inside is from the electrical guide, and controlled with heat flux measure. In the choice of flux measurements area [Fig 2] is important the average value, and need to keep distance the corners, and inlets.

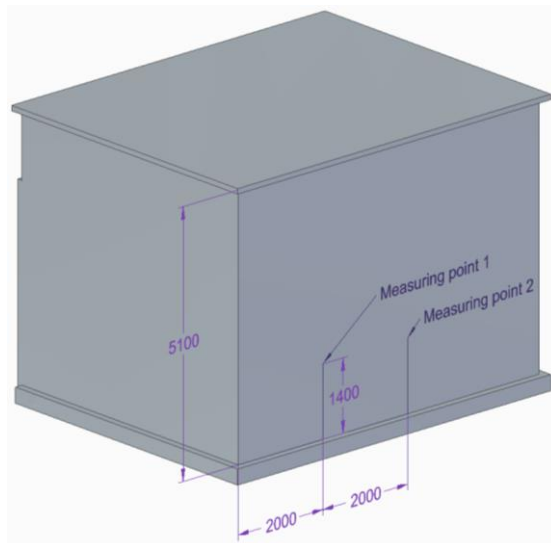


Figure 2 Thermo flux measurement point on chamber's surface

3. Results

3.1 Infrared pictures

The high resolution infrared images show places with different surface temperatures. The places the red strips can be seen are the heat bridges resulted mostly filtrated steam from inside. The inside and outside temperature is much difference under the steaming schedule on the chamber's wall. The heat loss become by filtrating and transmitting mods. The first we examined the larger values, like in sealing of the chamber's door. The high temperature in picture show filtration heat loss, then it need changed. The returned measure is revealing the difference [Fig 3].

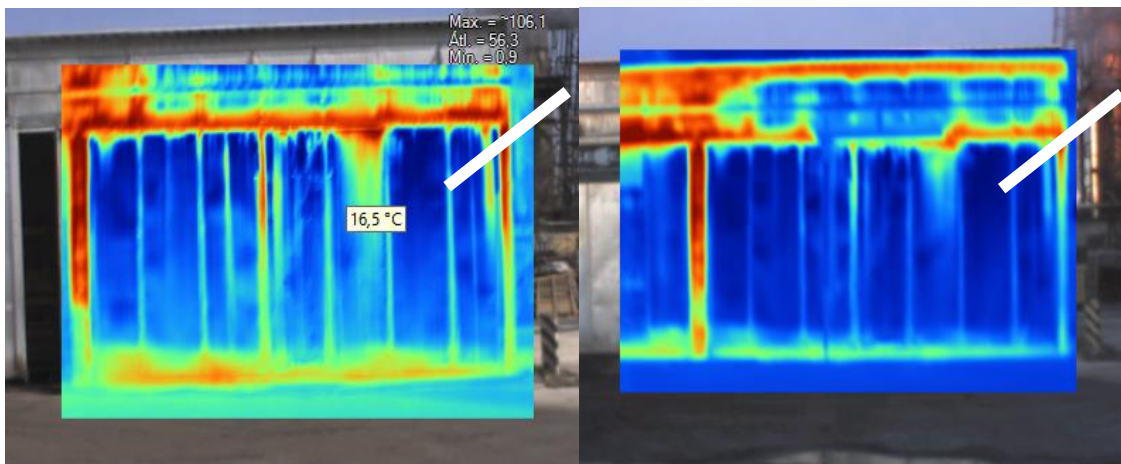


Figure 3 Chamber door's temperature before and after the change of seal

The functions [Fig 4.] show the temperature in the white line, and the area is under function line is balanced the heat loss in this distance.

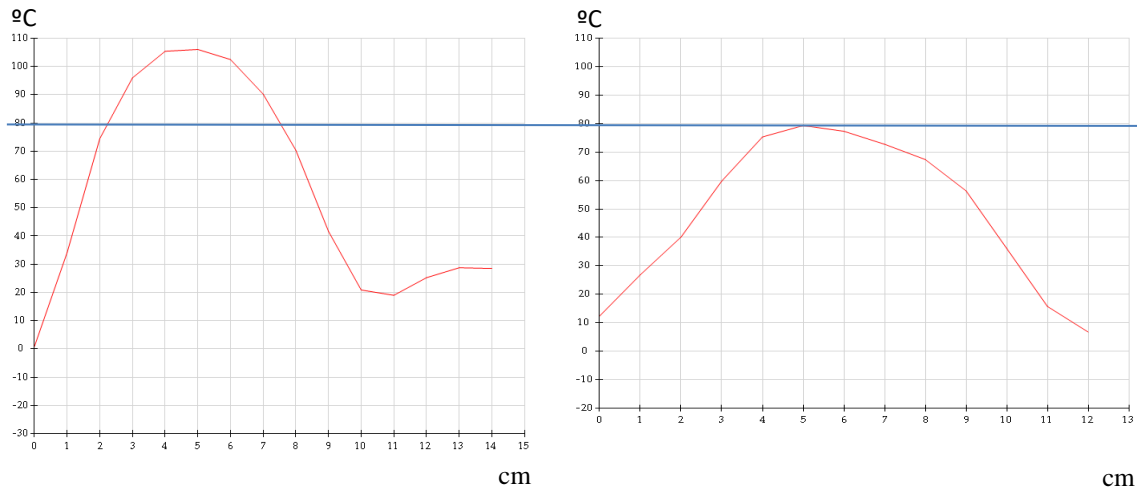


Figure 4 The temperature function before and after seal change

Linear thermal transmittance of the designated line. The change of sealing results significant temperature decrease which derives from less steam loss.

3.2 Transmission heat loss

The transmission heat loss rates are too much under the total energy waste. Transmission heat loss is there on surface, on corners (linear thermal transmittance), and it appear on points. The measured values are on the surface.

Table 1 Measured heat flux in different point of chamber. The point 1 and 2 is on the PUR panel

Surface	Measuring point 1	Measuring point 2	Concrete foundation
Average heat flux [W/m ²]	69.7	72.3	415.5

4. Conclusions

The heat loss, and energy waste increases the costs and carbon dioxide emission. At steaming treatment, we could measure those points, where can decrease the consuming. The seal of chamber's door is a high filtration transmitting area, its change was quick possibility for good results. Another high-risk place is the wall and foundation connection of the chamber. In continuous measure we can demonstrate, the grown-up isolation how can increase the energy efficiency.

5. Acknowledgements

The work was carried out as part of the „Sustainable Raw Material Management Thematic Network – RING 2017”, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 project in the framework of the Széchenyi 2020 Program. This project is supported by the European Union, co-financed by the European Social Fund.

6. References

Barański J., Klement I., Vikovská T., Konopka A. (2017) „High temperature drying process of beech wood (*Fagus sylvatica L.*) with different zones of sapwood and red false heartwood”, *BioResources* 12 (1), 1861-1870

Majka J., Olek W. (2007) „Effects of european beech (*Fagus sylvatica L.*) wood steaming on sorption properties and klin-drying intensity”. *Folia Forestalia Apolonica* 38., 55-65.

Németh R., Ott Á., Takáts P., Bak M. (2013) „The effect of moisture content and drying temperature on the colour of two poplars and robinia wood”. *BioResources* 8 (2) 2074-2083.

Taghiyari H.R., Talaei A., Karimi A. (2011) „A correlation between the gas and liquid permeabilities of beech wood heat-treated in hot water and steam mediums”. *Ciencia y tecnología* 13. (3): 329-336. *Maderas*.

Tolvaj L., Molnár S., Takáts P., Németh R. (2006) „A bükk (*Fagus sylvatica L.*) faanyag fehér- és színes gesztje színének változása a gőzölési idő és a hőmérséklet függvényében”. *Faipar* 54 (2) 3-4.

Tolvaj L., Németh R., Varga D., Molnár S. (2009) „Colour homogenisation of beech wood by steam treatment” *Drewno – Wood* 52. 181

**MÓDOSÍTOTT COLE-COLE MODELL ALACSONY FEKVENCIÁS
ELEKTROMOS IMPEDANCIA SPETROSKÓPIÁS MÉRÉSEK
KIÉRTÉKELÉSÉRE**

Gyórf Nina

Mérnöki és Smart Technológiák Intézet, Környezetmérnök Tanszék
Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar
7624 Pécs, Boszorkány út 2.
gyorfinina@gmail.com

Nádasdi Lili

Mérnöki és Smart Technológiák Intézet, Környezetmérnök Tanszék
Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar
7624 Pécs, Boszorkány út 2.
nadasdililike@gmail.com

Tóth Attila

Élettani Intézet
Pécsi Tudományegyetem, Általános Orvostudományi Kar
7624 Pécs, Szigeti út 12.
attila.toth@aok.pte.hu

Klincsik Mihály

Mérnöki és Smart Technológiák Intézet, Mérnöki Matematika Tanszék
Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar
7624 Pécs, Boszorkány út 2.
klincsik@mik.pte.hu

Sári Zoltán

Informatika és Villamos Intézet, Műszaki Informatika Tanszék
Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar
7624 Pécs, Boszorkány út 2.
sari.zoltan@mik.pte.hu

Kuljic Bojan

College of Applied Sciences
Subotica Tech
Marka Oreškovića 16, 24000 Subotica, Serbia
bojan@vts.su.ac.rs

Odry Ákos

Informatikai Intézet, Számítógéprendszerek és Irányítástechnikai Tanszék
Dunaújvárosi Egyetem
2401 Dunaújváros, Táncsics Mihály utca 1/A fszt.
odrya@uniduna.hu

Odry Péter

Informatikai Intézet, Számítógéprendszerek és Irányítástechnikai Tanszék
Dunaújvárosi Egyetem
2401 Dunaújváros, Táncsics Mihály utca 1/A fszt.
podry@uniduna.hu

Vizvári Zoltán

Mérnöki és Smart Technológiák Intézet, Környezetmérnök Tanszék
Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar
7624 Pécs, Boszorkány út 2.
vizvari.zoltan@mik.pte.hu

Absztrakt: *Az Elektromos Impedancia Spektroszkópia egy széles körben alkalmazott roncsolásmentes anyagvizsgálati eljárás. A költséghatékony technika legnagyobb előnye, hogy a vizsgált anyag kémiai összetételét jellemzi. A mérések során gyűjtött adatokat ekvivalens elektronikai modellekkel értékelik ki, amelyek esetében az anyagjellemzők a modellparaméterekkel korrelálnak. Az alkalmazott modell követelményei elsősorban attól függenek, hogy milyen anyagszerkezetet vizsgálunk és milyen frekvenciatartományban. Kutatócsoportunk igen nagyszámú alacsony frekvenciás (< 10 Hz) vizsgálatot végez és a tapasztalatainknak megfelelően módosítottuk a Cole-Cole relaxációs modellt, olyan irányban, hogy az az alacsony frekvenciás mérésekhez a leginkább illeszkedjen. Jelen cikkünkben a módosított Cole-Cole modell bemutatása mellett kísérleti méréssel is alátámasztjuk a saját fejlesztésű mérőrendszer és módszer hatékonyságát és robusztusságát.*

Keywords: Elektromos Impedancia Spektroszkópia, Cole-Cole modell, diszperziós modell anyagvizsgálathoz

1. Elektromos Impedancia Spektroszkópia

Az elektromos impedancia spektroszkópia (EIS) egy elterjedt roncsolásmentes anyagvizsgálati eljárás, melynek során egy adott frekvenciaspektrumban váltakozó feszültség mellett mérik az ennek hatására az elektródokon átfolyó áramot. Az alkalmazott potenciál és hatásukra kialakult áram hányadosa adja a vizsgált anyag komplex impedancia spektrumát, melyet Bode-diagramon vagy Nyquist spektrumként ábrázolhatunk (O. Panke et. al, 2008) . A Nyquist-diagramnak egyik fő hiányossága, hogy a grafikon bármely adatpontját vizsgálva nem lehet megállapítani, hogy milyen frekvenciát használtunk a pont rögzítésére. A Bode-diagram ettől eltérően frekvenciainformációt is megjelenít (GAMRY Instruments, 2019).

Az EIS előnyei az időtartománybeli (pl. impulzusos, vagy négyszög hullámos) mérésekhez képest, hogy frekvenciatartományban a frekvencia-válasz analitikusan meghatározható ekvivalens áramköri elemek és kapcsolások alkalmazásával. Ezek az alkalmazott ekvivalens áramköri elemek viszonylag egyszerű matematikai függvényekként reprezentálhatók (B. A. Boucamp et. al, 1986). Az ekvivalens kapcsolások kialakításának alapját az ekvivalens áramköri elemek képezik. Ezek között természetesen megtalálható az elektronikában megismert ellenállás (R) és kapacitás (C). Azonban ezeken kívül az egyes fizikai – kémiai folyamatok leírására ezek alkalmatlanok. Ilyen pl. a diffúzió, ionvándorlások stb. (B. A. Boucamp et. al, 1986).

2. Az alkalmazott matematikai modellek

Az EIS-adatokat általában az egyenértékű elektromos áramkör-modellhez való illesztéssel elemzik. Az egyes dielektromos anyagok polarizációja a molekuláris és atomkémiai kötések természetétől függ, és jelenleg nincs olyan univerzális modell, amely megmagyarázhatja a polarizációs jelenséget bármely anyagban is (C. F. A. Rosa et. al, 2015). Számos dielektromos anyag relaxációs válaszreakciója nem magyarázható a standard Debye-modellel, ezért további különböző modelleket bevezetésére volt szükség. A legfontosabbak a Cole-Cole egyenlet, a Cole-Davidson egyenlet, a Havriliak-Negami egyenlet, amelyek már figyelembe veszik a relaxációs idők különböző eloszlási típusait (G. Giannoukos et. al, 2014).

1929-ben Debye egy egyszerű modellt hozott létre a relaxációs folyamatok leírására, amelyben minden molekulára egyedülálló relaxációs időt feltételezett (C. F. A. Rosa et. al, 2015). A Debye-modell a

dielektrikumok polarizációs folyamatainak legegyszerűbb matematikai modellje (G. Giannoukos et. al, 2014):

$$Z(j\omega) = R_\infty + \frac{(R_0 - R_\infty)(1 - j\omega\tau)}{(1 - \omega^2\tau^2)} \quad (2.1)$$

Debye válaszfüggvénye volt az első elméleti modell egyes anyagok dielektromos viselkedésének leírására. Korlátai miatt azonban ez a modell nem tudja megfelelően leírni az alacsony frekvenciájú spektrumot, ahol a valós relaxációs viselkedés lényegében eltérhet a hagyományos Debye mintázatától. Ezért a Debye elméletének megjelenését követő években számos más válaszfüggvényt javasoltak, amelyek modellként szolgálhatnak számos anyag dielektromos relaxációjának leírására (C. F. A. Rosa et. al, 2015).

A Cole testvérek által létrehozott Cole-Cole modell – Debye-modellhez képest – egy α paramétert tartalmaz, amely 0 és 1 közötti értékeket vehet fel (G. Giannoukos et. al, 2014):

$$Z(j\omega) = R_\infty + \frac{(R_0 - R_\infty)}{1 + (j\omega\tau)^\alpha} \quad (2.2)$$

Az α exponensparaméter, lehetővé teszi a különböző spektrális alakzatok leírását. Ha $\alpha=0$, akkor a standard Debye-modell kapjuk vissza (G. Giannoukos et. al, 2014). Egyszerűsége és a mért adatokkal való jó illeszkedés miatt Cole-Cole impedancia modellt széles körben használják a geofizikától egészen a biokémiai, biológiai anyagok jellemzésére. Egy adott szövet jellemzéséhez négy paraméter meghatározása szükséges: R_0 , R_∞ , α és τ (Y. Yang et. al, 2013)

Cole és Davidson munkái lehetővé tették a dielektromos tulajdonságok szinte teljes meghatározását és pontosabb mennyiségi leírását. A Cole-Davidson-modell megalkotásával egy teljesebb modellt fogalmaztak meg a dielektrikumok kísérleti adatai alapján:

$$Z(j\omega) = R_\infty + \frac{(R_0 - R_\infty)}{(1 + j\omega\tau)^\beta} \quad (2.3)$$

ahol a relaxációs idők eloszlása nem szimmetrikus. A β paraméter lehetővé teszi a diszperzió kiterjedésének leírását, 0 és 1 közötti értéket vehet fel. Ha $\beta = 1$, akkor az egyenlet a Debye-egyenletre egyszerűsödik (G. Giannoukos et. al, 2014).

A Havriliak-Negami-modell az előbbi modellek általánosításának tekinthető, az univerzális relaxációs törvény általános kifejezése. Ennek következtében a komplex permittivitás frekvenciafüggőségének legáltalánosabb közelítése kétparaméteres képlettel fejezhető ki:

$$Z(j\omega) = R_\infty + \frac{(R_0 - R_\infty)}{\left[1 + (j\omega\tau)^\alpha\right]^\beta} \quad (2.4)$$

ahol az α és a β exponensek a megfelelő spektrumok szimmetriáját és a diszperzió kiterjedését írják le. Ha $\beta = 1$, az egyenlet megadja a Cole-Cole egyenletet, ha $\alpha=1$, a Cole-Davidson egyenlet, és ha $\alpha = \beta = 1$, akkor visszanyerjük a Debye által javasolt eredeti modellt (G. Giannoukos et. al, 2014).

2.1 Alkalmazási lehetőségek

Az elektromos impedancia spektroszkópiát széles körben alkalmazzák, mert gyors, egyszerű és költséghatékony. A festék- és bevonóiparban hasznos eszköz a bevonatok minőségének vizsgálatára (T. C. Da Silva et. al, 2019) és a korrózió kimutatására (T. Unsal et. al, 2019 és V. Encinas-Sánchez et. al, 2019).

Számos bioszenzoros rendszerben használatos, mint a baktériumkoncentráció (R. Maalouf et. al, 2007) mérésére szolgáló módszer, valamint olyan veszélyes kórokozók kimutatására, mint az Escherichia Coli O157: H7 (C. Ruan et. al, 2002), a Salmonella (T. L. Alford et. al, 2008).

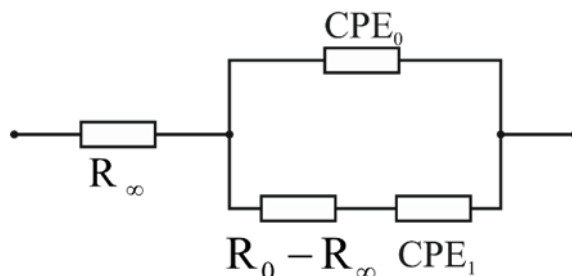
A mezőgazdaságban kiváló módszernek bizonyult a növekedés nyomonkövetésére és a minőségellenőrzésre. Kutatásokat végeztek többet között különböző gyümölcsök (J. R. González-Araiza et. al, 2016 és T. Wantabe et. al, 2016), zöldségek (Y. Ando et. al, 2016, A. Kertesz et. al, 2015, J. L. Damez et. al, 2008) és húsok (X. Zhao et. al, 2017 és C. Farber et. al, 2019) érettségének tanulmányozására, növénybetegségek kimutatására (M. Khater et. al, 2018), bor- és tejösszetétel elemzésére (A. M. Lopes et. al, 2016 és A. M. Lopes et. al, 2017) olívaolaj kinyerésének monitorozására (S. Yang et. al, 2018). Élelmiszeripari alkalmazása határozottan csökkenti a vizsgálati időt és növeli a pontosságot a hagyományos kémiai módszerekhez képest.

A módszer segítségével a többrétegű talajstruktúrák, valamint azok térbeli eloszlása is leírható (Z. X. Li et. al, 2019).

Széles körben használják az emberi test összetételének és különböző paramétereknek, például a folyadéktartalom, teljes testvíz és a szabad zsírtömeg becslésére (B. M. Carrion et. al, 2019).

3. Módosított Cole-Cole modell alacsonyfrekvenciás mérésekhez

Kutatócsoportunk elsősorban alacsony frekvenciás (<10 Hz) mérésekre specializálódott. Ebben a frekvencia tartományban a Cole-Cole modell korlátozottan alkalmazható az impedancia adatok alacsony frekvenciás viselkedése miatt. Csoportunk módosította a Cole-Cole modellt olyan formában, hogy az a gyűjtött adatokhoz a leginkább illeszkedjen. Így a módosított Cole-Cole modell ekvivalens áramkörüi kapcsolási rajza a következő (3.1. ábra):

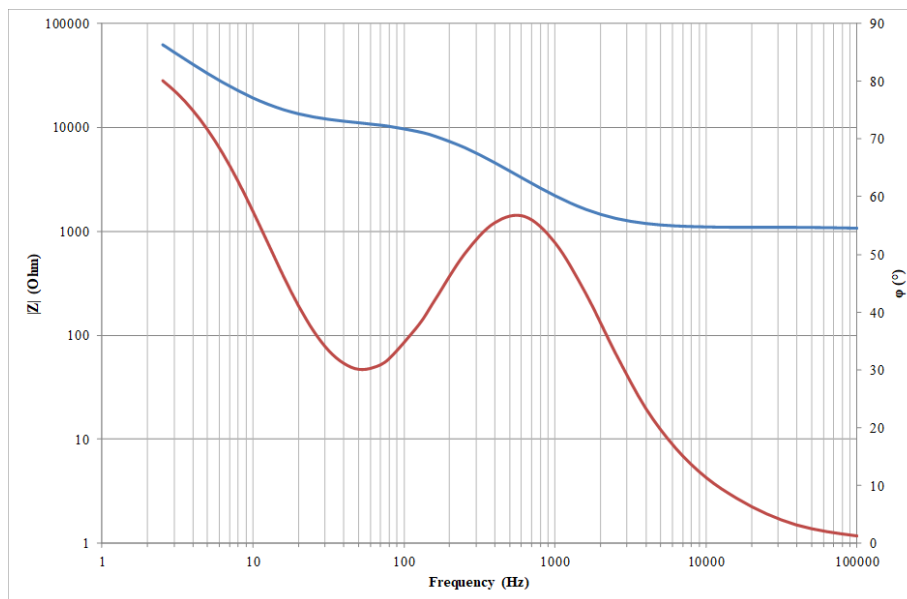


3.1. ábra: A módosított Cole-Cole modell sematikus ábrája

A módosított Cole-Cole modell esetében a legfőbb különbség, az eredeti változathoz képest, az $R_0 - R_{\infty}$ ellenállásokkal sorba kötött CPE_1 nem-lineáris elem. Az ekvivalns áramkör két időállandóval rendelkezik ($\tau_1 > \tau_2$). Mivel

$$Z_{CPE0} = \frac{1}{(j\omega C_0)^{\alpha}}, Z_{CPE1} = \frac{1}{(j\omega C_1)^{\beta}} \quad (3.1)$$

ezért a kapcsolás frekvenciatartománybeli viselkedését ezek határozzák meg elsősorban. Amennyiben ω nullához tart, a kapcsolás impedanciája a végtelenbe tart, illetve ha ω végtelenhez tart, a kapcsolás impedanciája egyenlő lesz R_{∞} -nel. Ezt szemléltetik a következő ábra is (3.2. ábra)



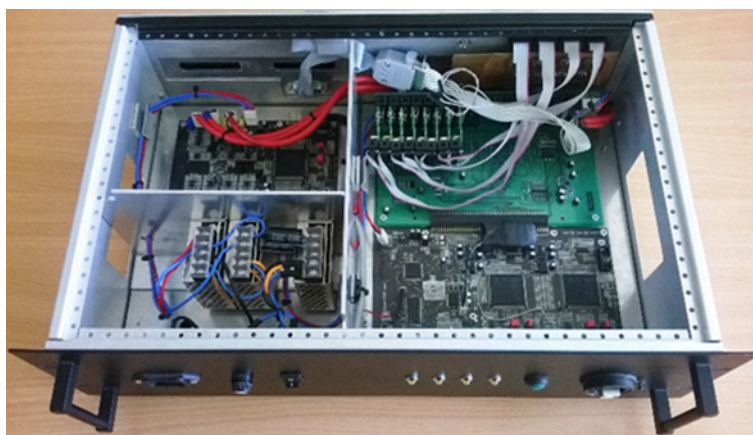
3.2. ábra: A módosított Cole-Cole modell impedancia spektruma

4. Anyagok és módszerek bemutatása

A módosított Cole-Cole modell paraméterek becslésének bemutatására egy lineáris, passzív hálózatot állítottunk össze, amely esetében α , $\beta = 1$ helyettesítéssel a CPE elemek egész egyszerűen egy kondenzátorokká egyszerűsödnek. Az RC tagok paraméterei a következők: $R_{\infty} = 1$ kOhm, $R_0 - R_{\infty} = 10$ kOhm, valamint a kondenzátorok értéke $C_{\alpha} = 0.1$ uF és $C_{\beta} = 1$ uF. Az ellenállások ultraprecíz ellenállások kisebb, mint 2 ppm termikus koefficienssel és 1 % toleranciával. A kondenzátorok toleranciája 5 %, valamint a hőmérséklet koefficiense 200 ppm/°C.

4.1 Az alkalmazott mérőrendszer

A kísérletet egy saját fejlesztésű multifunkciós eszközzel végeztük, amely EIS és EIT mérésekhez is egyaránt használható. Az eszköz (Vizvari et al, 2019.) képes az impedancia, impedancia spektrum és a gyors Fourier-transzformáció (FFT) spektrumának minden csatornán önállóan történő mérésére. A gerjesztés monokromatikus szinuszhullám volt 1 mHz és 100 kHz közötti frekvenciatartományban, 100 dB-nél nagyobb teljes harmonikus torzítás + zaj (THD + N) esetén. A maximális zajszint a 0,1 Hz – 40 kHz frekvenciatartományban 150 fA_{eff} az áramnál, míg 1,5 μV_{eff} a feszültségnél. Az alkalmazható gerjesztések tartománya 110 dB mind az áramgenerátor, mind a feszültséggenerátor esetén, maximális értékük 10 mA csúcstól csúcsig, 10 V csúcstól csúcsig. A jeleket a vevőegység digitalizálja 24 bites analog-digitális (AD) átalakítókat használva és dolgozza fel a számítógép által vezérelt digitális platformon. A pontos impedancia számítások során (48 bites felbontás mind a valós, mind a képzeletbeli részeknél) a jelmanipulációkkal és a paraméterkivonásokkal kapcsolatos összes műveletet a digitális tartományban hajtjuk végre. A berendezés egyik legfontosabb érzékenységi tulajdonsága az amplitúdó 1 ppm és a fázis 0,01 ° pontossága. A megvalósított műszert a 4.1 ábra mutatja.

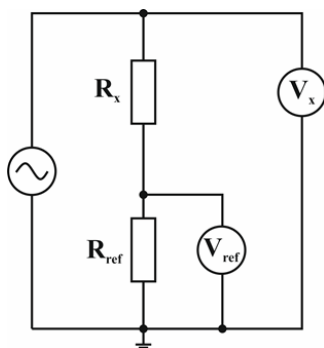


4.1. ábra: A mérőrendszer

A teljes mérés az Embedded System for Impedance Measurement (ESIM) nevű számítógépes szoftverével történik. Az ESIM az eredményeket megjeleníti a képernyőn, továbbá képes minden mérési adatot SD kártyára vagy a merevlemez-meghajtóra (HDD) menteni. A mérőrendszer a számítógép nélkül is képes működni.

4.2 Az alkalmazott adatgyűjtési és kiértékelési módszerek

A 3.1. ábrán bemutatott testtáramkör mérésével statisztikai becslést lehet végezni a rendszer pontosságáról és az adatértékelési módszeréről, kiszámítva a mért értékek relatív hibáját (ϵ), a korrelációs együtthatót (R^2) és a Khi-négyzet értékeket (χ^2) a modell illesztési folyamatához.



4.2. ábra: Passzív testtáramkörök (R_x a mért modelláramot szimbolizálja)

A saját fejlesztésű impedancia mérési technika előnyeinek teszteléséhez a 4.2 ábra szerinti elrendezést alkalmaztuk (Vizvari et al, 2019.). A szabadalmaztatott módszer szerint az R_x kiszámítása a következő képlettel lehetséges:

$$R_x = R_{ref} \cdot \frac{V_x - V_{ref}}{V_{ref}} \quad (4.1)$$

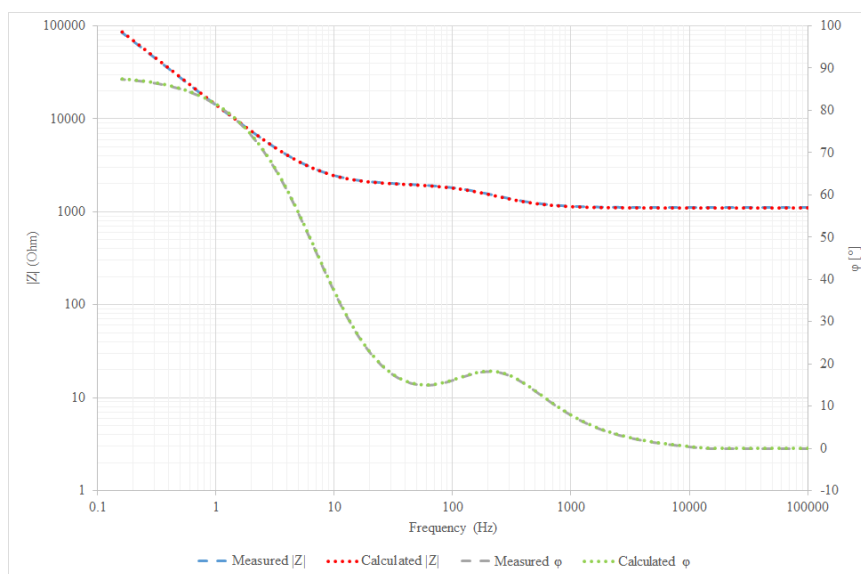
Az EIS-méréseket 1 másodperces átlagok felhasználásával végeztük el 100 különálló frekvencián 1Hz és 10 kHz között. A mért frekvencia-impedancia adatpárok értékeléséhez Levenberg-Marquardt módszerrel alapuló, nemlineáris optimalizálási algoritmust dolgoztunk ki MatLab környezetben.

5. Eredmények

A következő eredmények a teljes berendezés tulajdonságait, hatékonyságát, valamint az adatgyűjtés módszerét mutatják be. Az impedancia (R_x) értékek hibája két összetevőből áll: az analóg mérőcsatornák állandó hibájából és az ellenállás tűréséből. Az impedancia abszolút értékének (Z) és fázisának (φ) relatív hibái a következő képlet szerint számíthatók ki:

$$e_Z = 100 \cdot \frac{Z_i - Z}{Z}, \quad e_\varphi = 100 \cdot \frac{\varphi_i - \varphi}{\varphi} \quad (5.1)$$

ahol e_Z és e_φ a relatív hibák (%), Z_i és φ_i az i -edik csatornának megfelelő mért értékek ($i = 1, \dots, 8$), míg Z az impedancia nagysága és φ az impedancia fázisa (az (1.1) egyenlet alapján számított elméleti érték, ha $\alpha = 1$). Az EIS mérés eredményeit a 3.1. ábra szemlélteti. Az impedancia nagyságára vonatkozó maximális relatív hiba (a mérés teljes frekvenciatartományára kiszámítva) 0,83%. A mért fázisértékeket illetően a maximális relatív hiba 0,42%.



5.1. ábra: A teszttáramkörön végzett EIS-mérés eredménye

Az 5.1. táblázat a MatLab illesztési algoritmus eredményeit mutatja. A kinyert modellparaméterek relatív hibája kisebb, mint a passzív alkatrészecskék tűrése.

Megnevezés	Elméleti érték	Mért érték	Relatív hiba (%)
R_∞ (Ohm)	1 000	997	0.3
$R_0 - R_\infty$ (Ohm)	10 000	9 957	0.43
α (-)	1	0.9999	0.01
τ_0 (sec)	0.01	0.01012	1.2
β (-)	1	0.9999	0.01
τ_1 (sec)	0.1	0.0982	1.8

5.1. táblázat: A kinyert modellparaméterek az elméleti értékekhez viszonyítva

Az illeszkedés jóságát R^2 értékének (0,9999) és χ^2 értékének (0,24) alapján mértük. Ez megmutatja a saját fejlesztésű mérési rendszer, az adat rögzítés és a kitékelés kiemelkedő tulajdonságait.

6. Összefoglalás

Cikkünkben amellet, hogy bemutatjuk az Elektromos Impedancia Spektroszkópiához használt ekvivalens modelleket, bemutatjuk az alacsony frekvenciás mérések kiértékeléséhez használt módosított Cole-Cole Modellt is, amely az általunk rögzített alacsony frekvenciás adatokhoz megfelelően illeszkedik. Ezek után validáljuk a modellt ekvivalens passzív elektronikai hálózaton, amelyen méréseket hajtottunk végre és megvizsgáltuk a műszer és módszer hatékonyságát az elméleti értékekre figyelembevételével. A rögzített frekvencia-impedancia párokból nem-lineáris regresszióval kinyertük a modell paraméterek, amelyek szórása a passzív hálózatot alkotó alkatrészeinek tolerancián belül mozog. Ezzel megmutattuk, hogy a saját fejlesztésű technikáink alkalmasak az alacsony frekvencián rögzített Elektromos Impedancia Spektrum mérési adatainak kiértékelésére legyen szó geofizikáról, vagy akár biológiai mérésekről.

5. 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 valósul meg.

7. Hivatkozások

Ando, Y., Maeda, Y., Mizutani, K., Wakatsuki, N., Hagiwara, S., & Nabetani, H. (2016) “Effect of air-dehydration pretreatment before freezing on the electrical impedance characteristics and texture of carrots.”, *Journal of Food Engineering*, 169, 114–121.

B. A. Boukamp (1986) A Non-linear Least Squares Fit Procedure for Analysis of Impedance Data of Electrochemical Systems, *Solid State Ionics* 20, 31 – 44.

Bakr, A. A., Radwan, A. G., Madian, A. H., & Elwakil, A. S. (2016) “Aging effect on apples bio-impedance using AD5933”, 2016 3rd International Conference on Advances in Computational Tools for Engineering Applications (ACTEA)

Carrion, B. M., Wells, A., Mayhew, J. L., & Koch, A. J. (2019) “Concordance Among Bioelectrical Impedance Analysis Measures of Percent Body Fat in Athletic Young Adults”, *International journal of exercise science*, 12(4), 324–331.

Damez, J.-L., Clerjon, S., Abouelkaram, S., & Lepetit, J. (2008) “Beef meat electrical impedance spectroscopy and anisotropy sensing for non-invasive early assessment of meat ageing”, *Journal of Food Engineering*, 85(1), 116–122.

Da Silva, T. C., Mallarino, S., Touzain, S., & Margarit-Mattos, I. C. P. DMA (2019) EIS and thermal fatigue of organic coatings, *Electrochimica Acta*

Encinas-Sánchez, V., de Miguel, M. T., Lasanta, M. I., García-Martín, G., & Pérez, F. J. (2019) “Electrochemical impedance spectroscopy (EIS): An efficient technique for monitoring corrosion processes in molten salt environments in CSP applications”, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 191, 157–163.

Farber, C., Mahnke, M., Sanchez, L., & Kourouski, D. (2019) “Advanced Spectroscopic Techniques for Plant Disease Diagnostics”, A Review. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 118, 43-49.

GAMRY Instruments: Basics of Electrochemical Impedance Spectroscopy
<https://www.gamry.com/application-notes/EIS/basics-of-electrochemical-impedance-spectroscopy/> 2019

G. Giannoukos, M. Min. (2014) “Mathematical and Physical modelling of the dynamic electrical bioimpedance”, *International Journal of Circuits, Systems and Signal Processing*, 8.

- González-Araiza, J. R., Ortiz-Sánchez, M. C., Vargas-Luna, F. M., & Cabrera-Sixto, J. M. (2016) "Application of electrical bio-impedance for the evaluation of strawberry ripeness", *International Journal of Food Properties*, 20(5), 1044–1050.
- Grossi, M. and Riccò, B. (2017) "Electrical impedance spectroscopy (EIS) for biological analysis and food characterization: a review", *J. Sens. Sens. Syst.*, 6, 303-325.
- Kertész, Á., Hlaváčová, Z., Vozáry, E., & Staroňová, L. (2015) "Relationship between moisture content and electrical impedance of carrot slices during drying", *International Agrophysics*, 29(1), 61–66.
- Khater, M., Alfredo de la, E.-M., Daniel, Q.-G., & Merkoçi, A. (2018) Electrochemical detection of plant virus using gold nanoparticle-modified electrodes. *Analytica Chimica Acta*
- Lopes, A. M., Machado, J. A. T., & Ramalho, E. (2016) "On the fractional-order modeling of wine", *European Food Research and Technology*, 243(6), 921–929.
- Lopes, A. M., Machado, J. A. T., Ramalho, E., & Silva, V. (2017) "Milk Characterization Using Electrical Impedance Spectroscopy and Fractional Models", *Food Analytical Methods*, 11(3), 901–912.
- Maalouf, R., Fournier-Wirth, C., Coste, J., Chebib, H., Saïkali, Y., Vittori, O., ... Jaffrezic-Renault, N. (2007) "Label-Free Detection of Bacteria by Electrochemical Impedance Spectroscopy: Comparison to Surface Plasmon Resonance", *Analytical Chemistry*, 79(13), 4879–4886.
- Nandakumar, V., La Belle, J. T., Reed, J., Shah, M., Cochran, D., Joshi, L., & Alford, T. L. (2008) "A methodology for rapid detection of Salmonella typhimurium using label-free electrochemical impedance spectroscopy", *Biosensors and Bioelectronics*, 24(4), 1039–1042.
- O. Pänke, T. Balkenhohl, J. Kafka, D. Schäfer and F. Lisdat,(2008) "Impedance Spectroscopy and Biosensing", *Adv Biochem Engin/Biotechnol*, 109, pp. 195–237.
- Rosa CFA, Oliveira CD (2015) "Relaxation Equations: Fractional Models", *J Phys Math* 6, 146.
- Ruan, C., Yang, L., & Li, Y. (2002) "Immunobiosensor Chips for Detection of Escherichiacoli O157:H7 Using Electrochemical Impedance Spectroscopy", *Analytical Chemistry*, 74(18), 4814–4820.
- Unsal, T., Cansever, N., & Ilhan-Sungur, E. (2019) "Impact of biofilm in the maturation process on the corrosion behavior of galvanized steel: long-term evaluation by EIS", *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 35(2).
- Watanabe, T., Orikasa, T., Shono, H., Koide, S., Ando, Y., Shiina, T., & Tagawa, A. (2016) "The influence of inhibit avoid water defect responses by heat pretreatment on hot air drying rate of spinach", *Journal of Food Engineering*, 168, 113–118.
- Yang, Y., Ni, W., Sun, Q., Wen, H., & Teng, Z. (2013) "Improved Cole parameter extraction based on the least absolute deviation method", *Physiological Measurement*, 34(10), 1239–1252.
- Zhao, X., Zhuang, H., Yoon, S.-C., Dong, Y., Wang, W., & Zhao, W. (2017) "Electrical Impedance Spectroscopy for Quality Assessment of Meat and Fish: A Review on Basic Principles, Measurement Methods, and Recent Advances", *Journal of Food Quality*, 2017, 1–16.
- Yang, S., Hallett, I., Oh, H. E., Woolf, A. B., & Wong, M.(2018) "Application of electrical impedance spectroscopy and rheology to monitor changes in olive (*Olea europaea* L.) pulp during cold-pressed oil extraction", *Journal of Food Engineering*, 245, 96-103.
- Z-X Li , S-W Rao (2019) "Estimation of frequency domain soil parameters of horizontally multilayered earth by using Cole–Cole model based on the parallel genetic algorithm", *IET*, 13, 1746-1754.

Z. Vizvari, T. Kiss, Cs. Ver, M. Klincsik, Z. Sari, K. Mathe, B. Kuljic, F. Henezi, P. Odry: “A multi-channel electrical impedance meter based on digital lock-in technology”; *Pollack Periodica*; (accepted) 2019.

RONCSOLÁSMENTES ÉLŐ-FA VIZSGÁLAT ELEKTROMOS IMPEDANCIA TOMOGRÁFIÁS MÓDSZERREL

Vizvári Zoltán

Mérnöki és Smart Technológiák Intézet, Környezetmérnök Tanszék
Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar
7624 Pécs, Boszorkány út 2.
vizvari.zoltan@mik.pte.hu

Tóth Attila

Élettani Intézet
Pécsi Tudományegyetem, Általános Orvostudományi Kar
7624 Pécs, Szigeti út 12.
attila.toth@aok.pte.hu

Dívós Ferenc

Kitaibel Pál Környezettudományi Doktori Iskola
Nyugat-magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar
9400 Sopron, Bajcsy-Zsilinszky u. 4.
divos@fmk.nyme.hu

Klincsik Mihály

Mérnöki és Smart Technológiák Intézet, Mérnöki Matematika Tanszék
Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar
7624 Pécs, Boszorkány út 2.
klincsik@mik.pte.hu

Sári Zoltán

Informatika és Villamos Intézet, Műszaki Informatika Tanszék
Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar
7624 Pécs, Boszorkány út 2.
sari.zoltan@mik.pte.hu

Odry Péter

Informatikai Intézet, Számítógéprendszerek és Irányítástechnikai Tanszék
Dunaújvárosi Egyetem
2401 Dunaújváros, Táncsics Mihály utca 1/A fszt.
podry@uniduna.hu

Absztrakt: Az élő fa vizsgálati módszerek tekintetében az Elektromos Impedancia Tomográfia egyik legújabb eljárás. A mérési módszer iránt az érdeklődés egyre növekszik. Annak ellenére, hogy piacon jelen vannak ilyen eszközök, melyekkel a mérés végrehajtható, a módszer – az akusztikus favizsgálati technikákkal ellentétben – korántsem tekinthető kiforrottnak. A piacon jelenlévő eszközök a számításokban csak az ellenállás jellegét vizsgálják a szerkezetnek, nem dolgozzák fel a fázis jellegét a méréseknek. Ez a cikk a méréstechnikai információk mellett, néhány rögzített impedancia tomográfiai eredményt is bemutat. Az ezekből szerzett tapasztalatokat a kutatáshoz kívánjuk felhasználni.

Keywords: roncsolásmentes anyagvizsgálata, élő-fa vizsgálat, Elektromos Impedancia Tomográfia

1. Bevezetés

A roncsolásmentes vizsgálati technikák fontossága a favizsgálatok területén megkérdőjelezhetetlen. Mind technikai, mind biológiai okokból jelentős hangsúlyt kap az élő fák állapotának felmérése, ami erdőgazdálkodási szempontból és a faanyagot felvevő iparágak oldaláról is fontos. A rendelkezésre álló méréstechnikai eljárások közül a roncsolásmentes, vagy noninvazív módszerek különösen fontosak (Nicolotti G. et. al, 2003). Roncsolásmentes mérések egy csoportját, a geofizikai méréstechnikai eljárásokat, kiemelten kell kezelnünk, mert a mérések körülményei igen hasonlóak a mi kutatási területünknek. Mind a két esetben a cél, egy adott tartomány (geológiai képződmény vagy a mi esetünkben fatörzs) lehetőségeihez mérten minél részletgazdagabb feltérképezése anélkül, hogy a tartomány belsejébe hatolna a szenzor, vagyis roncsolná azt (Erkel A. et. al, 1970). Így ezek a mérések a vizsgált térfogat peremén elhelyezett adókkal és vevőkkel hajthatók végre, mialatt a vevőkkel az adó által kibocsátott gerjesztőjelben történő változásokat regisztráljuk.

A geofizikai metrológiai gyakorlat legelterjedtebb és legnagyobb irodalommal rendelkező ágának, az akusztikus, szeizmikus kutatómódszereknek élő-fa vizsgálatokra történő adaptációja már sok éve megtörtént. A módszer alkalmazása az élő fák noninvazív vizsgálata során elterjedt és széles körben használatba került. A technika a faanyagot sűrűsége alapján térképezi, hiszen az azon áthaladó akusztikus hullám sebessége ennek a függvénye. Ez a tény a módszer korlátait is jelzi, ugyanis így a fatesten belüli jelentős sűrűség (tehát fizikai) változások (üregek, korhadások stb.) vehetők észre, észlelhetők (Divós F. et. al, 1991,1992,1993, 1994, és Gergely L. et. al, 2000).

Amennyiben a kémiai változásokra is következtetni szeretnénk a vizsgált szerkezetben, egy másik geofizikai mérési eljárást kell alkalmaznunk, a geoelektromos/elektromágneses mérési eljárásokat az élő-fa vizsgálatához (Bieker D. et. al, 2010). A módszer elnevezése Elektromos Impedancia Tomográfia (a továbbiakban EIT). Az EIT segítségével a faanyag szerkezet impedanciaterképét kapjuk meg amiből következtetni lehet a szerkezetben belüli nedvesség eloszlásra, sejtszerkezet, elektrolit tartalma eloszlásra (Vizvari et al, 2019). Az EIT módszere a faanyagvizsgálatok esetében fejlődés alatt álló méréstechnikai eljárás, a módszer esetében a legnagyobb gond a mérés térbeli rezolúció kismértéke. Ennek ellenére a műszerpiacon kapható impedancia tomográfiai mérőeszközök jelen vannak, ilyen eszköz PICUS Tretronics is (Nicolotti G. et. al, 2003, Bieker D., Rust S., 2010, Bieker D. et. al, 2010, Brazeo N. J. et. al, 2011), amit ebben a kutatásunkban is alkalmaztunk. Minekünk célunk egy új műszer felület bevezetése (amit már tesztelünk orvosi biológiai eljárásokban a Pécsi Egyetemen) és a műszer környezethez új matematikát fejlesztünk ami kutatás alatt van.

Ebben a cikkben az EIT fizikai alapjai mellett röviden összefoglalnánk a geoelektromos mérési eljárást is, amit adaptáltunk az élő fa vizsgálatunkhoz. Folytatásban a mérőeszköz, valamint a vele végrehajtott néhány mérés részletes ismertetése következik.

A piacon jelenlévő műszerek ERT (Electric Resistive Tomography) eredményeket generálnak (Argus Electronic GmbH, 2017). Az ERT nem veszi figyelembe a dielektrikumok fázis jellegét ezáltal korlátozott rálátást mutatnak a vizsgált szerkezeti anyag dielektikum szerkezetére. A dielektikumoknak a vegyipari spektroszkópia eredményei szerint a fázis jellegnek is van szerepe az anyagszerkezet megítélésében. Mi impedancia jelleg mérésére alkalmas EIT műszert fejlesztünk. A mi mérési eljárásunk bevezetése az élő-fa vizsgálatok gyakorlatába, impedancia tomográfias mérési módszer, ami a jelenleginél lehetőség szerint jobb felbontású kiértékelést ad.

2. Az EIT fizikai alapjai

Az EIT esetében a vizsgált objektum szerkezetében elektromos teret hozunk létre, majd ennek bizonyos paramétereit (pl. potenciálkülönbség) mérve, az elektromos tér torzulását észlelve következtethetünk az adott objektum komplex elektromos vezetőképességére. A mérés fizikai alapját az elektrodinamika

jelenségeinek leírásához használt Maxwell-egyenletek rendszeréből kell kiindulnunk (Standeisky I., 2007). Az EIT esetében gerjesztés szinuszos váltakozó árammal történik, ezek az egyenletek jelentősen egyszerűsödnek, ugyanis az időben állandó áramok bevezetésével a Maxwell-egyenletek a következőképpen alakulnak (Standeisky I., 2007):

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} \quad (2.1)$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = 0 \quad (2.2)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \quad (2.3)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho \quad (2.4)$$

Mivel az EIT mérés alapvetően alacsonyfrekvenciás (maximális frekvencia a mi alkalmazásunk 100 kHz), a mérés során a keletkező mágneses jelenségeket elhanyagoljuk, így a (2.2) és (2.4) egyenletek számíthatnak az EIT mérés alapegyenleteinek, rendszerezve az egyenletrendszer, kapjuk az EIT méréshez kiindulásnak szolgáló parciális differenciális egyenletet (D. S. Holder, 2005):

$$\nabla \cdot \sigma \nabla \phi = 0 \quad (2.5)$$

ami megoldható az ún. Dirichlet-, és Neumann- peremfeltételek, vagy mindkettő egyidejű megadásával. A megoldáshoz többféle matematikai módszer áll rendelkezésre. Ilyenek a véges elem módszer (FEM, Finite Element Method, (D. S. Holder, 2005)), a peremelem módszer (BEM, Boundary Element Method, (R. Duraiswami et. al, 1998)), a véges differenciák módszere (FD, Finite Differences) stb.

A mérés során az a célunk, hogy a (2.5) egyenletben szereplő, helytől függő vezetőképességet állítsuk vissza. Erre a feladatra különböző inverz probléma megoldási módszerek állnak rendelkezésünkre (M. G. Rasteiro et. al, 1998):

- lineáris módszerek: LBP, linear back projection,
- nem lineáris módszerek,
- heurisztikus (empirikus) módszerek.

Az élő fákon történő EIT mérés a felszíni geoelektromos mérések elvét használja fel. Az EIT a látszólagos fajlagos ellenállás mérési. A látszólagos fajlagos ellenállás meghatározása akkor legegyszerűbb a geofizikai mérések esetében, ha az altalaj minden irányban azonos fajlagos ellenállású kőzetből épül fel, vagyis homogén feltérrel helyettesíthető. A homogén feltér felszínén (3.1. ábra) az A és B pontban IAB áramgenerátorral gerjesztenek mérés közben, ha megmérjük az M és N pontban a gerjesztés eredményeként kapott feszültséget, akkor a kőzet látszólagos fajlagos ellenállását a következő egyenlet segítségével tudjuk meghatározni (Erkel A. et. al, 1970):

$$\rho_L = K \frac{\Delta V_{MN}}{I_{AB}} \quad (2.6)$$

A kilencvenes évek előtti kézi kiértékelési és szemléltetési módszereket felváltották a számítógépes kiértékelési technikák, köszönhetően a matematikai modellezés ugrásszerű fejlődésének. Megjelentek a továbbfejlesztett 2D-s, illetve 3D-s elektromos szelvényezési módszerek, amelyek segítségével a 2D-s esetben egy síkmetszet ellenállás-eloszlása, vagy 3D-s esetben egy térrész ellenállás profilja határozható meg több tucat elektróda alkalmazásával. A mérések eredményei így gyakorlatilag az adott területen mind szelvényezés, mind szondázás során állnak elő.

Ilyen, 2D-s mérési módszer illesztése történt az élő-fa vizsgálatok esetében is, ahol az EIT mérést gyakorlatilag a geofizikai gyakorlatban általános dipól axiális (tengelyirányú) mérési elrendezést módosított változatát alkalmaztuk.

3. Az alkalmazott mérőeszköz és mérési módszer

A publikációnkban a méréseket a német Argus Electronic GmbH. PICUS Treetric elnevezésű EIT eszköz segítségével végeztük el. Ez a mérőműszer impedancia meghatározás helyett csak az ellenállás értékkel foglalkozik az impedancia érték fázis jellegét elhanyagolja, így a mérés eredménye ERT (Electric Resistive Tomography). A mérőeszköz főbb részei (3.1. ábra):

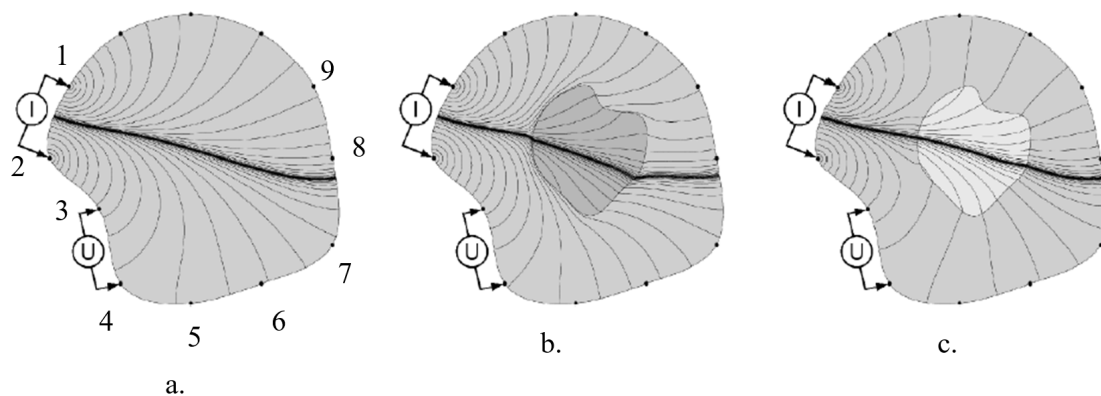
- számozott mérővezetékek, melyek az elektródák és a mérőrendszer közötti megfelelő sorrendű összeköttetésért felelősek,
- AD konverter és multiplexer egység, melynek feladata a generátor és a mérőcsatornák mérési algoritmusnak megfelelő elektródákra történő kapcsolása és a mért analóg jel digitalizálása,
- a mérőegység a mért jeleket dolgozza fel és továbbítja bluetooth kommunikáción keresztül a PC-n lévő mérőszoftvernek, mely az adatgyűjtést és a mérésiértékelést végzi.



3.1. ábra: A PICUS Treetric mérőrendszer (Argus Electronic GmbH, 2017)

Az elektródák, azaz az alkalmazott csatornák számát a mérés célja határozta meg. Így például álgeszt meghatározásához elegendő kevesebb csatornával végrehajtani mérést, azonban más, részletesebb szerkezeti célú méréseknél, kiértékelhető eredmény elérése érdekében ajánlatos növelni a csatornaszámot. Ez azonban jelentősen növeli a mérés elvégzésének idejét. Az 1-es számú elektróda alatt foglal helyet az ADC és a multiplexer egység. Az elektródák szerepét egyszerű szögek töltötték be, amelyekre krokodil csipeszek segítségével csatlakoztak a megfelelően számozott kábelek.

A PICUS Treetric tomográfia kizárólag egy fajta impedancia tomográfias elektróda-konfiguráció segítségével végezhető el a mérés. Ez a geofizikai méréseknél dipól tengelyirányú, vagy dipól axiálisként ismert elrendezés. A 3.2. ábrán is látható, hogy a PICUS Treetric is a geofizikai vizsgálatoknál tradicionálisan elfogadott A és B elnevezést használja a generátor pozíciójának, míg az M és N betűket a mérőcsatornák szemléltetésére. A mérési módszer elvét a következő, 3.2. ábra szemlélteti:



3.2. ábra: Az EIT mérés elve élőfák esetében (a. homogén vezetőképesség-eloszlás b. és c. inhomogén vezetőképesség-eloszlásra példák) (Argus Electronic GmbH, 2017)

A mérőeszköz egy elektródapárra kapcsolja a generátort (gerjesztőjelet) és ezzel egy időben a mérőcsatornát. Ebben az esetben mindig szomszédos elektródákon történik gerjesztés és szomszédos elektródákon történik a mérés (3.2. ábra). A mérés során a műszer regisztrálja a rendszeren átfolyó áramerősséget és az M, N elektródákon mérhető potenciálkülönbséget. A 3.2. ábra a konfiguráció mellett a mérési tartományon belül kialakuló elektromos teret is szemlélteti. Amennyiben a vizsgált tartományt homogén izotrópnak (3.2.a. ábra) és elektromosan vezetőnek (míg a tartományon kívüli teret szigetelőnek) feltételezzük, a betáplált elektromos áram a teljes tartományt kitölti, illetve a töltésmegmaradás értelmében az áramgenerátor (3.2. ábrán I-vel jelölve) kapcsa között folyik. A 3.2. ábra a kialakuló áramtér által létrehozott potenciáltér izopotenciál vonalait szemlélteti, melyek az áramgenerátor kapcsai között kialakuló áramsűrűségnek megfelelően alakulnak: az elektródák környezetében, a nagyobb áramsűrűség következtében, az izopotenciál vonalak közelebb helyezkednek el egymáshoz, majd ettől távolodva ritkulnak és egyenesednek ki, illetve a vastag vonal mentén sűrűsödnek újra. A potenciáltér a 3.2.b. és 3.2.c. ábrán láthatóan aszimmetrikus, hiszen a vezetőképesség inhomogenitása torzítja azt. A mérés során az A-B és M-N távolság állandó, viszont az elektródapárok közötti távolság (B-M távolság) változik.

Az adatgyűjtési sorozat hossza az elektródák számától függ, így aktuálisan n maximális értéke az összes elektródák számának fele. A mérés indítása előtt lehetőség van valamilyen szinten beavatkozni a mérés menetébe, de lényegében ennek végrehajtása teljesen automatikus. A maximális csatornaszám kihasználásakor, azaz 24 elektródás mérésnél a mérőrendszer 252 adat-csomagot regisztrál. Minden adatcsomag esetében 4 paraméter kerül rögzítésre:

- I^+ a rendszeren átfolyó áramerősség és U^+ az M és N elektródákon mért feszültség (potenciálkülönbség),
- I^- a rendszeren átfolyó áramerősség a generátor polaritás váltása után és U^- az M és N elektródákon mért feszültség (potenciálkülönbség).

Mérés közben a generátor amplitúdóját automatikus szervórendszer szabályozza, hogy a méréstartományból való kilépés elkerülhető legyen. Erről a szoftver az észlelőt tájékoztatja. A mérés befejeztével az adatok külön mentésre kerülnek, majd az értékeléshez ki lehet rajzolni a tomogramot.

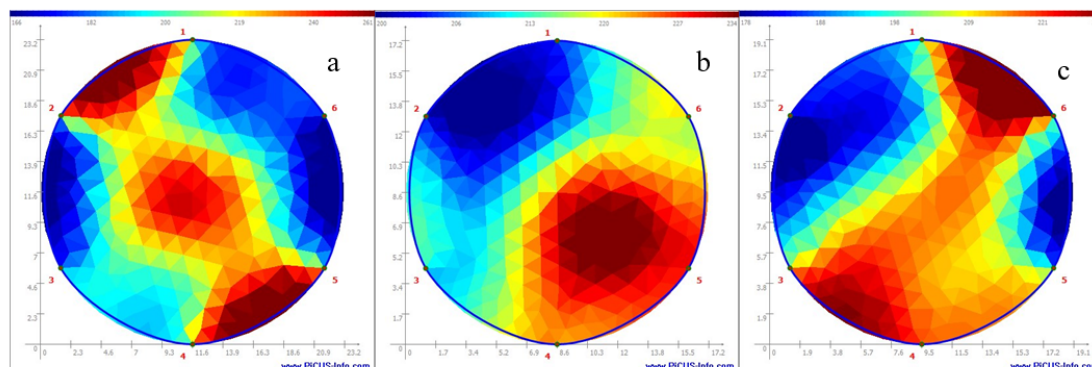
4. Élő fákön végzett EIT mérések

Kísérleti méréseinket Darány község határában elterülő tölgyes (Somogy megye) határában végeztük a PICUS Treetriconic ERT eszközzel. A vizsgálat tárgyát két fafaj képezte:

1. középkorú csertölgy (*quercus cerris*), illetve
2. az annak szélében elhelyezkedő öreg kocsányos tölgy (*quercus robur*) állomány.

A területre tipikusan a belső somogyi homokvidék talajtípusa, a savanyú homok a jellemző. Az itt elhelyezkedő csertölgyesből szemrevételezéssel választottunk ki három egészségesnek vélt példányt,

melyekre mellmagasságban helyeztünk el 6 elektródát és végrehajtottuk az EIT mérést. A mérési eredményeket a 4.1. ábra szemlélteti:



4.1. ábra: Középkorú csertölgyeken végzett EIT mérés eredményei (Ωm)

A 4.1. ábra három vizsgált egyed megfelelő mérés eredményét mutat be. A mérés célja ebben a mérés sorban a műszer működésének a megismerése, és az eredmény tomogramoknak a megismerése viszonylag kis számú elektróda alkalmazásával. Mindhárom mérés esetében 6 db elektródát használtunk a tomogramm elkészítéséhez, ami törzsenként összesen 36 db mért értéket jelent. Ezekből álltak elő a 4.1. ábrán látható diagramok. A fakéreg magas ellenállása miatt szigetelőnek tekinthető, és azon keresztül lehetetlen áthajtani az áramot, ezért az elektródaként használt szögeket át kell ütni a fakérgen (kambiumon), ezért a fakéreg hatása nem látható a mérési tomogram eredményekben. Így a 4.1. ábrán látható tomográfiai képek gyakorlatilag a szíjács és a geszt ellenállás-eloszlását közelítik.

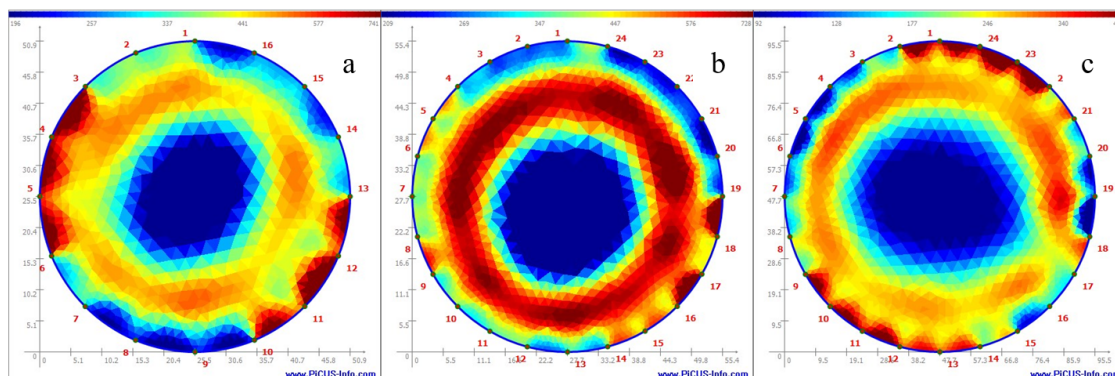
Elsőként egy 73 cm átmérőjű csertölgyet választottunk ki. A 4.1.a ábrán viszonylag jól elkülöníthető, hogy a geszt (a kör középpontja körüli síkrész) ellenállása nagyobb a körülötte lévő szíjács nagy részéhez képest, valamint az is észrevehető, hogy a középpontban maximális az ellenállás értéke, aminek az értéke fokozatosan csökken. A szíjács ellenállás-eloszlása az ellenálláskép alapján két részre osztható. A szíjács egy részről két egymással átellenesen elhelyezkedő magasabb ellenállású részből áll (az 1 és 2, illetve 4 és 5. számú elektródák között), melyek a tomogramm maximális értékeit tartalmazzák, másrészt pedig két szintén egymással szemben elhelyezkedő kék sávból áll, ami viszont a képen a minimális fajlagos ellenállású részre vonatkozik. A 4.1.a ábra színskálája lineáris, minimuma $166 \Omega\text{m}$, maximuma $261 \Omega\text{m}$, tehát kb. $100 \Omega\text{m}$ -es fajlagos ellenállás tartományt fog át.

A 4.1.b. ábra – melyet egy 54 cm területű csertölgy esetében kaptunk – teljesen más eloszlást mutat. Az 4.1.a ábrán látható, szíjácsra jellemző ellenállás-eloszlást itt nem vehetjük észre. Két markánsan elkülönülő zónát mutat a tomogram. Az 1-es és 2-es elektróda között láthatóak a minimális, míg az 5-ös elektróda környezetében a maximális ellenállás értékek. A színskálát megfigyelve észrevehető, hogy az előzőhöz képest az ellenállás tartomány nagymértékben csökkent, hiszen a színek $200 - 234 \Omega\text{m}$ között oszlanak meg. Tehát, ha a 4.1.a ábra ellenállás határait állítanánk be itt is, akkor a kép kontrasztja oly mértékben csökkenne, hogy a jelenleg látható eltérések kevésbé emelkednének ki.

Végül egy 60 cm sugarú csertölgyet vizsgáltunk. A 4.1.c ábrán (összehasonlítva a 4.1.a ábrával) megfigyelhető a szíjács tagoltsága. Ebben az esetben a magas ellenállású részek az 1-es és 6-os, illetve 4-es és 3-as, míg az alacsony ellenállású részek a 2-es környezetében, illetve az 5-ös és 6-os elektródák között láthatóak. Ezen az ábrán a geszt ellenállása nem különül el olyan mértékben, mint a 4.1.a ábra esetében, azonban megfigyelhető, hogy a középpont környezete magasabb ellenállású. A színskála ebben az esetben is lineáris, minimuma $178 \Omega\text{m}$, maximuma pedig $232 \Omega\text{m}$.

A kis elektródaszámú mérések után úgy döntöttünk, hogy növeljük az elektródaszámot, azaz a mérés csatornaszámát annak érdekében, hogy a mérés lefolyását tanulmányozhassuk. Ennek érdekében kiválasztottunk három kocsányos tölgyet, melyeken szintén mellmagasságban elhelyezett elektródákkal

végeztünk EIT mérést. Ennek megfelelően a három kocsányos tölgyön mért EIT metszeteket a 4.2. ábra szemlélteti:



4.2. ábra: Idős kocsányos tölgyeken végzett EIT mérés tomogramjai (Ωm)

A 16 csatornás mérés esetében 416, míg a 24 elektródás mérések esetében 1008 számértékből lettek visszaállítva a tomogramok. A 4.2. ábrán megfigyelhető, hogy a középkorú csertölgyekhez képest egy teljesen más mintázatot állít vissza a mérőeszköz. A mintázatra általánosan jellemző, hogy határozottan kiemelkedik a középhez képest magasabb ellenállású gyűrű. Mindhárom ábra esetén megfigyelhető továbbá, hogy a középpont körüli kör alakú tartomány képezi a tomogramm minimumát, így szemmel láthatóan teljesen elkülönül a körülötte látható magasabb ellenállású gyűrűtől. Figyelmesebben vizsgálva az is megfigyelhető, hogy a 4.1. ábrán megfigyelt alacsony-magas osztott perem itt is jelen van, ugyanúgy 90° -os váltakozással.

Amennyiben külön-külön kívánjuk vizsgálni az ellenállás képeket, megállapíthatjuk, hogy a 4.2.a ábrán és 4.2.b ábra lényegében igen hasonló. Az ellenállás skála lineáris, minimuma $200 \Omega\text{m}$, míg maximuma $730 \Omega\text{m}$ körüli. A fák geometriai méretei nagyjából azonosak (a 4.2.a esetében a törzs kerülete 160 cm , míg a 4.2.b esetében 174 cm), ami alátámasztja a hasonlóságot.

A 4.2.c ábra esetében a terület (300 cm) majd kétszerese az előzőkének. Így maga a fa is korban idősebb. Ha megfigyeljük a rajta elvégzett EIT mérés eredményét, szemmel láthatóan nincs változás, azonban ha a színskála határait figyeljük meg ($92 - 459 \Omega\text{m}$), észrevehetjük, hogy abszolút értékben a metszet ellenállása csökkent. Ezen kívül azt is észrevehetjük, hogy a közepén látható alacsony ellenállású rész és a magasabb ellenállású gyűrű maximuma közti különbség csökkent a többi két ábrához képest. A két fafajon végzett mérések eredményei jellegükben eltérnek egymástól, azonban a szíjács tagoltsága közös vonás az összes bemutatott mintázat esetében.

5. Összefoglalás

Cikkünkben a roncsolásmentes élő-fa vizsgálatoknak egy viszonylag új és jelenleg még kevésbé kiforrott technikáját mutattuk be, kezdve annak fizikai alapjaival. Mivel egy rutinszerűen alkalmazott geofizikai eljárás adaptációjáról van szó, ezért nélkülözhetetlennek találtuk az EIT kiindulási módszerének a felszíni geoelektromos vizsgálatok általános bemutatását. Természetesen az ott leírtak analógiája felfedezhető a mérőeszköz és a mérési módszer ismertetésénél is. Ezután saját mérési eredményeket mutattunk be, melyek a mérőeszköz pontosabb megismerését szolgálták.

Mivel kutatási témánk célja EIT mérés fejlesztése szimulációs és valós mérési eljáráshoz, új, sokcsatornás, nagy felbontású mérőeszköz bevezetése az EIT-s faanyagvizsgálati módszertanba, illetve a tomográfias mérési módszer, kiértékelés fejlesztése faanyagvizsgálatokra, ezért fontosnak tartottuk egy, a piacon kapható EIT mérőeszköz megismerését, melyet referenciának tekinthetünk a későbbi kutatási feladatok során. Így jutottunk el az Argus Electronic GmbH. PICUS Treetronic elnevezésű EIT mérőeszközéhez.

A mérőeszköz működése a geofizikai alapok segítségével megérthető. Még az elektródák elhelyezése is megegyezik a geofizikai gyakorlatban megszokottakkal, azonban favizsgálatok esetében nagymennyiségű mérés végrehajtásakor ez igen lassúvá teheti a vizsgálatok lefolytatását. A mérési módszer gyakorlatilag a geofizikában elterjedt geoelektromos tomográfiával egyezik meg. Sajnálatosan kizárólag a dipól-axiális mérési elrendezéssel végezhető el EIT mérés a mérőeszközzel. A rugalmatlanság hátránya továbbá az is, hogy így sok esetben az alkalmazott módszer nem illeszkedik megfelelően a mérés céljához. Nagy előnye azonban, hogy a mérési algoritmus egyszerűbben programozható és ez által könnyebben kivitelezhető. A mérés során gyűjtött adatokat kizárólag a PICUS mérőszoftverben lehet kiértékelni, az adatokról átmeneti fájl nem készül, azok nem kinyerhetőek.

A képkalkulációs algoritmus végeelem módszerrel (FEM) működik. Ez látható az 4.1. és 4.2. ábrán is, melyekből egyértelműen észrevehető, hogy a mérési tartomány háromszögekre van felbontva, melyeket egy színnel tölt ki a szoftver, tehát az adott háromszögön belül homogénnek feltételezi a fajlagos ellenállást. A számítás eredménye a fajlagos ellenállás síkbeli eloszlása az adott tartományon belül. A tomogramok színezettek, és a színskálát lineáris skálán jelzi ki a szoftver. A kiértékelés, azaz a képkalkuláció off-line módon történik, ami azt jelenti, hogy a gyűjtött adatok képezik gyakorlatilag az elmentett információt, így minden megnyitás után újra el kell végezni a számítást, amit így természetesen különféle paraméterekkel tehetünk meg, ez azonban lassítja a helyszíni kiértékelést.

Ezek a megállapítások igen fontosak az általunk fejlesztett műszer és módszer tekintetében, ugyanis a jövőbeli terveink szerint a felsorolt hiányosságokon tudunk majd javítani. A mérés végrehajtása több csatornán, párhuzamosan történik majd. Ez annyiban jelent előnyt, hogy a technikailag a 252 db mérés 252 db kapcsolást jelent a mérőeszköz számára, míg több, például 8 csatornán mérve, egy gerjesztési pozíció egy mérés során lefedhető, tehát a mérés gyorsítható és a mérés szempontjából kényes pontok, azaz a kapcsolások száma csökkenthető. A kiértékelő és képkalkulációs algoritmust tekintve meg kívánunk maradni a végeelem módszer használatánál, mert ez egy modern és viszonylag gyors ütemben fejlődő numerikus módszer, azonban a további matematikai módszerek tekintetében újszerűbbek alkalmazására törekszünk. Egy nagyobb pontosságú, érzékenységű és felbontóképességű mérőeszköz használatával lehetőség nyílik a bemutatottaknál nagyobb felbontású képek rekonstrukálására, ami a kisebb mértékű, vagy méretű anomáliák feltárására tehető alkalmassá.

6. 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 valósul meg.

7. Hivatkozások

A. Erkel, A. Meskó, L. Stegena (1970) *Geofizikai Kutatási Módszerek III.*, Felszíni Geofizika, Tankönyvkiadó Vállalat, Bp.

D. Bieker, S. Rust (2010) “Electric resistivity tomography shows radial variation of electrolytes in *Quercus robur*”, *Canadian Journal of Forest Research*, 40(6): 1189-1193.

D. Bieker, S. Rust (2010) “Non-Destructive Estimation of Sapwood and Heartwood Width in Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.)”, *Silva Fennica* 44(2): 267–273.

D. Bieker, R. Kehr, G. Weber, S. Rust S. (2010) “Non-destructive monitoring of early stages of white rot by *Trametes versicolor* in *Fraxinus excelsior*”, *Annals of Forest Science*, Volume 67, Issue 2, pp 210–210.

D. S. Holder (2005) *ELECTRICAL IMPEDANCE TOMOGRAPHY, Methods, History and Applications*, Institute of Physics Publishing, IOP Publishing Ltd.

- F. Divós (1991) "The International Symposium on Non-destructive Testing of Wood", *Faipar*, 11-12.
- F. Divós, K. Csupor, F. Bröker (1991) "Ultrasonic and Stress Wave based Non-destructive Testing of Wood", *Proc. 8th International Symp. on Nondestructive Testing of Wood*, Vancouver, WA, 272.
- F. Divós, K. Mészáros (1994) "Root Decay Detection by Stress Wave Technique", *Proc. of the First European Symposium on Nondestructive Evaluation of Wood*, p524. Sopron, Hungary.
- F. Divós, M. Sugiyama (1993) "Longitudinal Stress Waves for Detecting the Presence, Location and Size of Defects in Wood and Wood based Composites" *9th International Symposium on Non-destructive Testing of Wood, Madison, WI.*, 218-219.
- G. Nicolotti; L.V.Socco; R.Martinis; A. Godio; L. Sambuelli (2003) "Application and comparison of three tomographic techniques for detection of decay in trees" *Journal Of Arboriculture*, vol. 29 n. 2, pp. 66-78.
- I. Ständeisky (2007) *Elektrodinamika*; Egyetemi Jegyzet, Széchenyi István Egyetem, Universitas-Győr Kht., Győr
- K Borbas, T. Kiss, M. Klincsik, Z. Kvasznicza, K. Mathe, Cs. Ver, Z. Vizvari, P. Odry (2015) *Process and measuring system for data acquisition and processing in soft-tomography studies* (in Hungarian) Patent P1500616.
- K Borbas, T. Kiss, M. Klincsik, Z. Kvasznicza, K. Mathe, Cs. Ver, Z. Vizvari, P. Odry: *Process and Measuring System for Data Acquisition and Processing in Soft-Tomography Studies*, US20180374244A1, <https://patents.google.com/patent/US20180374244A1/en>
- L. Gergely, F. Divos (2000) "Possibility of glue-defect detection in solid wood panels with ultrasound", *Proceedings of the 12th International Symposium on Nondestructive Testing*, Sopron, pp 453.
- M. G. Rasteiro, R. Silva, F. A. P. Garcia and P. Faia (2011) "Electrical Tomography: a review of Configurations and Applications to Particulate Processes", *Volume 29 Pages 67-80*.
Description of Tree Inspection Equipment, Argus Electronic GmbH.
- N. J. Brazee, R. E. Marra, L. Göcke, P. V. Wassenaer (2011) "Non - destructive assessment of internal decay in three hardwood species of northeastern North America using sonic and electrical impedance tomography", *Forestry*, Vol. 84, No. 1.
- N. Lesparre, A. Adler, D. Gibert, F. Nicollin (2011) "Electrical Impedance Tomography in geophysics", *Application of EIDORS*.
- R. Duraiswami, K. Sarkar, G. L. Chahine (1998) "Efficient 2D and 3D electrical impedance tomography using dual reciprocity boundary element techniques", *Engineering Analysis with Boundary Elements* 22 (PII: S0955-7997(98)00028-9) 13–31.
- Z. Vizvari, T. Kiss, K. Matha, P. Odry, Cs. Ver, F. Divos (2019) "Multi-Frequency Electrical Impedance Measurement on a Wooden Disc Sample", *Acta Silvatica et lignaria Hungarica: Forest, wood and environmental sciences* 11:(2) pp. 153-161.
- Z. Vizvari, T. Kiss, Cs. Ver, M. Klincsik, Z. Sari, K. Mathe, B. Kuljic, F. Henezi, P. Odry: "A multi-channel electrical impedance meter based on digital lock-in technology"; *Pollack Periodica*; (accepted) 2019.

NON-DESTRUCTIVE EVALUATION ON MODULUS OF ELASTICITY OF LOW DENSITY BARK-BASED PANELS

Dimitrios Tsalagkas, Zoltán Börcsök, Zoltán Pásztor^{*}

Innovation Center
University of Sopron

4. Bajcsy Zs. str. Sopron 9400 Hungary
pasztor.zoltan@uni-sopron.hu

Abstract: *Acoustic vibration non-destructive tests have been successfully used to predict the stiffness, i.e. Young's modulus or modulus of elasticity (MOE) values of solid wood and wood-based panels. In this work, there was an attempt to evaluate the relationship of dynamic MOE longitudinal and static MOE values, of low-density panels produced from bark particles reinforced with various length glass fibres. For this purpose, the applicability of the acoustic resonance vibration, as a non-destructive technique, on the determination of MOE values was validated and compared by static bending experiments. According to these preliminary findings, it was possible to indicate a correlation between the dynamic and static MOE values of blank and reinforced bark-based panels.*

Keywords: Glass fiber, bark, acoustic resonance, bending properties

1. Introduction

Wood based panels are essential and common raw materials suitable for engineering applications in the building construction and furniture industry. These represent a variety of products in the shape of panels in which various species of wood is bonded with structural and non-structural adhesives. Wood-based panels are made in the form of veneers (plywood, laminated veneer lumber), particles (particleboards, oriented strandboards) and fibres (fibreboards). Wood-based panels such as particleboards make use of low grade logs, thinning, and recycled wood and wood residues as raw materials during their manufacturing (Irle and Barbu 2010).

Each year large amounts of bark are remained as waste in the forest or sawmills. The disposal of bark waste has traditionally been used as biomass for energy production. Several, past research efforts have studied the feasibility of making particleboards from bark residues. The results have shown the successful replacement of wood particles from bark particles up to a range of 30 to 50%. Beyond this percentage, the physical and mechanical properties of the bark-based particleboards are substantially decreasing and usually not fulfil the standard minimal requirements even for furniture manufacture (Blanchet et al. 2000, Muszynski and McNatt 1984). Although, under certain conditions and due to the inherent low thermal conductivity value of bark, particleboards made of bark particleboards, it was shown that could be used as thermal insulation panels where the mechanical properties are not in priority (Kain et al. 2014, Pásztor et al. 2017).

One of the main mechanical properties of solid materials, such as wood panels, is the determination of Young's modulus, also referred as modulus of elasticity, which depicts the bending stiffness or resistance of the material, i.e. how much a wood panel would deflect under load in the elastic range. However, worldwide research efforts have been focused on the development of non-destructive tests to be used in the forestry sector. Ross (2015) defines non-destructive evaluations as 'the science of identifying the physical and mechanical properties of a piece of material without altering its end-use capabilities and then using this information to make decisions regarding appropriate applications'. It is further stated that such evaluations rely upon various appropriate non-destructive tests and their selection depends by the particular

performance or interest quality characteristic. Among them non-destructive tests include sound vibration, acoustic or stress wave tomography, ultrasound and X-ray (Cavalheiro et al. 2018).

Acoustic tools are a non-destructive method of predicting the physical and mechanical properties of timber and wood-based materials. The principle of this method is based on the speed at which an induced sound or stress wave travels through a sample of wood. These changes in the acoustic velocity will cause the wood sample to vibrate as its resonant frequency (Mochan et al. 2009). As stated by Niemz and Mannes (2012) the spreading velocity of sound waves depends on the elastic properties and moisture content of the material and it is possible to determine the modulus of elasticity using longitudinal waves. Dynamic tests based on resonant frequency have shown strong correlations between the longitudinal and static modulus of elasticity values of small wood specimens and also in structural timber and logs (Hein et al. 2012). Further, stress-wave vibration technique have been successfully used to determine the modulus of elasticity of wood-based panels (Maldonado et al. 2012, Ross and Pellerin 1988).

The objective of this work was to receive some preliminary results i) for the estimation of elastic properties (modulus of elasticity) of low-density bark-based panels reinforced with glass fibres, based on sound vibration (resonant frequency) non-destructive test (NDT) and ii) to assess if the existence of correlation between the dynamic and static bending stiffness of the proposed panels. Glass fibres in different lengths were mixed with the bark particles, to investigate their potential feasibility as reinforcement materials in the proposed bark-based panels.

2. Materials and methods

2.1. Materials

The whole bark samples used in this research were directly collected from the debarking units of a wide diameter range harvested poplar logs stored in a local sawmill at the area of Sopron, Hungary. The E-glass fibres roving (EC 14-300-350) used for this study was supplied by Tolnatek company (Tolna, Hungary). The investigated lengths of 12 mm (GF_12), 18 mm (GF_18), 24 mm (GF_24) and 30 mm (GF_30) were manually cut from the obtained fibreglass roving cylindrical packages. The commercial UF resin and hardener used in this work was purchased by DUKOL Ostrava s.r.o.

2.2. Bark panels manufacturing

Initially, the various thicknesses bark slices, comprising of inner and outer bark were collected and dried below 20% into a chamber. Consecutively, the inner and outer bark, were cut into small pieces and chipped into particles using a hammer mill equipped with an 8-mm screening holes. The granulated bark particles sized from 0.5 mm to 8 mm fractions were used as raw material for the manufacturing of bark panels. The moisture content of the bark particles was reduced the range of 6% to 9% before further processing.

The randomly oriented, chopped glass fibres with the prepared dimension lengths were placed and homogenized with the bark particles in a laboratory type blender for five minutes, before pressing. A 8% urea formaldehyde (UF) adhesive stirred with a 35% aqueous solution of ammonium sulfate $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ as catalyst, was sprayed on the mixture of bark particles and glass fibres.

Forthwith, the glued mixtures were manually layered and formed in a wooden frame into a mat. Thereafter, the frame was removed, and the mats were pre-pressed by hand to compact the materials without heat transfer. Following, the mats were transferred to a single-opening hydraulic hot press machines (Siempelkamp). The pressing temperature was set at 180°C with a pressing time of 18 seconds per thickness millimetre at a maximum pressure of 2.86 MPa. Constant weight of bark particles and glass fibres were weighted to obtain the target density of 350 kg m⁻³. Control panels at the target density of 350 kg/m³ (C_350) were used as reference. Single-layered boards with dimensions of 500 mm x 500 mm x 20 mm were produced using approximately 1.6±0.5 kg of dried bark particles and 50 g glass fibres for each composite.

2.3. Measurements

All the composites panels were kept at standard climate conditions (20°C and 65% relative humidity), until equilibrium moisture content (EMC) was achieved, prior to experimental measurements. The density and

moisture content of each panel were determined according to the European standards EN 323:1993 and EN 322:1993, respectively.

2.3.1. Modulus of elasticity in static bending

The modulus of elasticity (MOE_{sb}) as well as modulus of rupture determination of obtained bark composite panels were characterized by a 3-point bending test (figure 1a), with a universal testing machine Instron 5506, in compliance with the appropriate European Standards EN 310 (1993) at a crosshead speed of 8 mm min⁻¹. MOE were calculated on specimen dimensions of 450 mm x 50 mm x 20 mm, according to the following equations:

$$MOE = \frac{\Delta F}{\Delta \alpha} \times \frac{L^3}{4 \cdot b \cdot d^3} \quad (1)$$

where L is the span between supports (mm), b is the width of the specimens (mm), and d is the thickness of the specimens (mm), ΔF is the load increment and $\Delta \alpha$ is the deflection increment rate. Young's modulus was calculated from the elastic region of the stress-strain curves, corresponding to strains between approximately 10% and 40%.

2.3.2 Dynamic modulus of elasticity in longitudinal vibration

In this work, vibration non-destructive tests through resonant frequency signals were performed on the glass fibre reinforced bark-based panels using the 'Stress Wave Vibration Equipment' developed by Fakopp Enterprise Bt, Hungary. The setup is simple and accompanied with the necessary software which based on a Fast-Fourier Vibration analyser, that directly displays the maximum peak frequency intensity. The determination of the longitudinal (figure 1b) was conducted according to the manufacturer's manual instructions.

The calculation of dynamic modulus of elasticity in longitudinal vibration (MOE_{lv}) was performed according to the following equation:

$$MOE_{lv} = \rho (2 L f)^2 \quad (2)$$

where ρ is the density, L the length of the specimens and f is the longitudinal vibration frequency. Regression analysis measurements were conducted to evaluate the correlation relationship between the static MOE_{sb} values as a function of dynamic longitudinal MOE_{lv} of the reinforced bark-based panels.

3. Results and discussion

For the determination of dynamic MOE_{lv} , the first vibration mode which represents its stiffness under compressive stress was measured, in consequence with the study on scantlings originating from Eucalyptus plantations (Hein et al. 2012). Table 1 shows the mean density, MOR, MOE_{sb} , MOE_{lv} values of the results obtained from the investigated bark-based panels. Ratio values were determined from the division of MOE_{lv} by the MOE_{sb} . Coefficient of determinations (R^2) were linearly calculated to evaluate the correlation dependence of static MOE_{sb} as a function of the dynamic MOE_{lv} on the specimens in each group of panels.

As indicated in Table 1 the bark-based panels density was calculated in the range of 350-400 kg/m³. A possible explanation for the increased mean density of the produced panels related to the target density of 350 kg/m³ could be the compression of bark particles during the hot pressing. Further, it was found that the addition of glass fibres exhibited opposite outcome, instead of the theoretically expected reinforcement on the mechanical properties of the bark panels. Additionally, the modulus of rupture was gradually decreasing by increasing the length of the glass fibres from 12 mm up to 30 mm. However, it seems that glass fibres did not occur any significant influence in the MOE, i.e. the stiffness of the investigated panels.

As illustrated by the results, the R^2 values in each group of panels were above 0.8 indicating strong correlation between the static and dynamic MOE measurements. The coefficients of determination resulted to be from 0.84 to 0.97. The only exception was in the case of control bark boards, in which the R^2 was defined as 0.50. In addition, As it is generally expected, the estimated MOE_{lv} are higher than the calculated MOE_{sb} . This trend was verified for all the measured specimens. According to the findings, the mean

averages of the ratio values of the C_350, GF_12, GF_18, GF_24 and GF_30 panels were relatively high compared to an investigation on commercial wood-based panels (Poggi 2017).

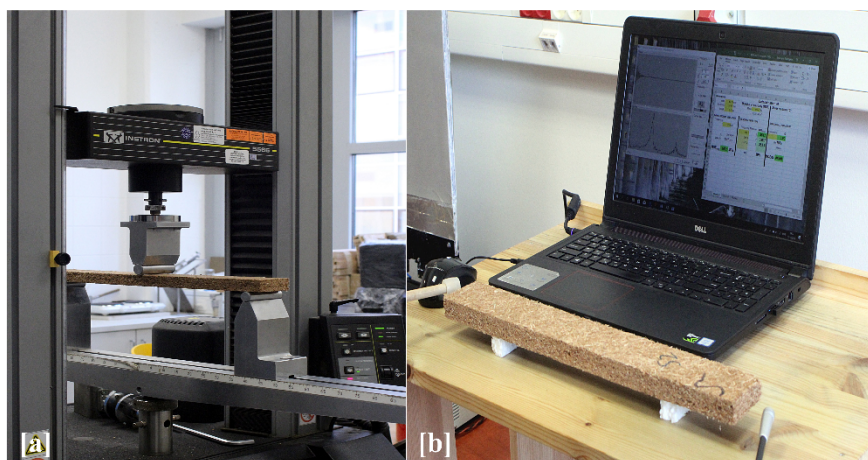


Figure 1 Determination of MOE through the destructive [a] and non-destructive tests [b]

Table 1 Reported mean values of the measured properties in this study. Standard deviations values are in brackets

Bark-panels	Density (kg/m ³)	MOR (MPa)	MOE _{lv} (Mpa)	MOE _{sb} (Mpa)	Ratio	R ²
C_350	372.11 (± 25.57)	1.20 (± 0.52)	398.05 (± 98.78)	200.15 (± 69.63)	2.09 (± 0.65)	0.50
GF_12	371.17 (± 19.49)	0.99 (± 0.32)	335.39 (± 59.02)	193.45 (± 48.58)	1.76 (± 0.16)	0.97
GF_18	385.01 (± 14.11)	0.93 (± 0.22)	323.56 (± 44.72)	166.45 (± 21.03)	1.94 (± 0.12)	0.84
GF_24	376.00 (± 14.77)	0.69 (± 0.24)	277.03 (± 65.95)	143.30 (± 30.98)	1.93 (± 0.17)	0.85
GF_30	373.54 (± 11.87)	0.68 (± 0.16)	295.20 (± 30.69)	285.43 (± 24.85)	1.03 (± 0.04)	0.89

4. Conclusion

In this study, there was an attempt to assess the calculation of MOE values of bark based panels with a common and simple set-up non-destructive test method. The predicted R² indicated comparatively strong correlations between the dynamic and static modulus of elasticity values. Therefore, determination of MOE low density reinforced bark-based panels through acoustic (resonance frequency) tests could potentially be feasible. However, higher amount of specimens is necessary to enhance and further verify the MOE_{lv} and MOE_{sb} relationship through regression analysis statistics measurements. Results show the non-destructive testing for determination of mechanical properties needs further investigation. Testing method developed for structural material needs more sophisticated settings of parameters, but correlation could be found between tasting methods.

5. Acknowledgments

The described work was carried out as part of the „Sustainable Raw Material Management Thematic Network – RING 2017”, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 project in the framework of the Széchenyi 2020 Program. This project is supported by the European Union, co-financed by the European Social Fund.

6. References

Irle, M. & Barbu, M-C., Wood-based panels: An introduction for specialists. Cost Action E49, Brunel University Press, 2010.

Blanchet, P., Cloutier, A. & Riedl, B., Particleboard made from hammer milled black spruce bark residues. Wood Science and Technology 34, pp. 11-19, 2000.

Muszynski, Z. & McNatt J.D., Investigations on the use of spruce bark in the manufacture of particleboard in Poland. Forest Products Journal, 34(1), pp. 28-35, 1984.

Kain, G., Güttler, V., Barbu, M-C., Petutschnigg, A., Richter, K. & Tondi, G., Density related properties of bark insulation boards bonded with tannin hexamine resin. European Journal of Wood and Wood Products, 72(4), pp. 417-424, 2014.

Pásztor Z, Mohácsiné IR, Börcsök Z (2017) Investigation of thermal insulation panels made of black locust tree bark. Construction and Building Materials 147: 733-735

Ross, R.J., Nondestructive evaluation of wood. 2nd ed., General Technical Report FPL-GTR-238, Madison WI, USA, pp. 1-5, 2015.

Cavalheiro, R.S., De Almeida, D.H., De Almeida, T.H., Christoforo, A.L. & Lahr, F.A.R., Estimation of modulus of elasticity in static bending of wood in structural dimensions as a function of longitudinal vibration and density. Current Journal of Applied Science and Technology, 26(1), pp.1-8, 2018.

Mochan, S., Moore, J. & Connolly, T., Using acoustic tools in forestry and the wood supply chain. FCTN018 Technical Note Forestry Commission, Online. 2009.

Niemz, P. & Mannes, D., Non-destructive testing of wood and wood-based materials. Journal of Cultural Heritage, 13S, pp. S26-S34, 2012.

Hein, P.R.G., Lima, J.T., Gril, J., Rosado, A.M. & Brancheriau, L., Resonance of scantlings indicates the stiffness even of small specimens of *Eucalyptus* from plantations. Wood Science and Technology, 46(4), pp. 621-635, 2012.

Maldonado, I.B., Gonzalez, G.I., Herrero, M.E. & Martitegui, F.A., Vibration method for the prediction of aging effect on properties of particleboard and fibreboard. Forest Products Journal, 62(1), pp. 69-74, 2012.

Ross, R.J. & Pellerin, R.F., NDE of wood-based composites with longitudinal stress waves. Forest Products Journal, 38(5), pp. 39-45, 1988.

Poggi, F., Bending properties of commercial wood-based panels by NDT methods. MSc Dissertation Linnaeus University, Växjö, Sweden, 2017.

INSULATION PANELS MADE FROM THERMALLY MODIFIED BARK

Zoltán Pásztory^a, Dimitrios Tsalagkas^a, Norbert Horváth^b, Zoltán Börcsök^a

^a Innovation Center, University of Sopron, Sopron, Hungary, pasztory.zoltan@uni-sopron.hu

^b Department of Wood Sciences, University of Sopron, Sopron, Hungary

Abstract: *Bark insulation panels were made of pre-manufacturing thermally treated poplar bark. Bark chips were heat treated for one, two, and three hours at 180°C top temperature. The physical, mechanical and thermal properties of the panels were studied and compared to untreated ones. The target density was the same for every panel type. Thermal conductivity ranged from 0.064 – 0.067 W·m⁻¹·K⁻¹. The MOR and MOE showed a significant increase. The internal bond increased (27%) while the water absorption and thickness swelling decreased (53.8% and 69.1% respectively).*

Keywords: bark panel, thermal insulation, pre-manufacturing thermal modification

1. Introduction

As most researchers have accepted climate change, reducing energy consumption has become increasingly important. One method for reducing energy demand for buildings is thermal insulation. On the other hand, the importance of natural-based, recyclable materials and solutions is increasing. Therefore, many researches focusing on natural-based insulation materials, several natural and waste materials have been investigated including rice husk, sugar cane, coconut fiber, (Panyakaew and Fotios, 2008), cotton stalk fibers (Zhou et al., 2010), various grasses (Vèjeliènè et al., 2011), papyrus (Tangjuank and Kumfu, 2011), pineapple (Tangjuank, 2011), jute (Fadhel, 2011), oil palm (Manohar, 2012), wool (Zach et al., 2012), wood ashes, cotton, animal hair (Rèbèk-Nagy and Pásztory, 2014), plant stalks, textile waste and stubble fibers (Binici et al., 2014) and straw (Volf et al., 2015), municipal solid waste (Faitli et al., 2015), geopolimer (Magyar et al., 2017). The thermal conductivity of insulation made of wood or other plant fibers ranged between 0.037 – 0.065 W·m⁻¹·K⁻¹ (Hurtado et al., 2016, Schiavoni et al., 2016, Veitmans and Grinfèlds, 2016). Bark was also among the investigated materials (Kain et al., 2013, Pásztory and Ronyecz, 2013, Pásztory et al., 2017b).

The thermal modification of wood is well known. With heat treatment, dimensional stability and resistance against wood degrading organisms increases, while some strength properties decrease (Seborg et al., 1953; Rowel and Youngs, 1981; Hill, 2006). Many variables influence the results achieved during heat treatment including tree species, chamber design, treatment duration and temperature, closed or open system, medium, etc. (Rapp, 2001; Militz, 2002; Hill, 2006; Esteves and Periera, 2009; Navi and Sandberg, 2012; Sandberg and Kutnar, 2016).

Boards are heat treated mainly to reduce water uptake and thickness swelling, but in most cases the deterioration of the mechanical properties was observed when pre-manufacturing heat treatment was used (Lehmann, 1964; Tomek, 1966; Ohlmeyer and Lukowsky, 2004; Boonstra et al., 2006; Paul et al., 2006; Mendes et al., 2013; Kwon and Ayrlimis, 2016; Lee et al., 2017).

Sometimes thermal post-treatment was used, but steam injection and post-treatment only work with isocyanate, PMUF, MUF, and phenol-formaldehyde adhesives (Ernst, 1967; Suchsland and Enlow, 1968; Menezzi and Tomaselli, 2006; Boonstra et al., 2006; Ayrlimis et al., 2009; H'ng et al., 2012; Oliveira et al., 2017).

Thermal conductivity also decreases with thermal treatment (Sekino and Yamaguchi, 2010; Kol and Sefil, 2011; Korkut et al., 2013; Pásztor et al., 2017a). Similar processes can occur during heat treatment as the structure and the composition of the wood and bark are similar, but not the same.

The main goal of this investigation was to improve the mechanical properties and examine the thermal insulation property changes of insulation panels made of poplar bark. The secondary goal was to investigate the effect of thermal treatment duration on thermal conductivity and other parameters.

2. Materials and methods

‘Pannónia’ poplar clone (*Populus ×euramericana* (DODE) GUINIER cv. *Pannónia*) was studied, which clone is widespread in Hungarian plantations and favored by the wood industry because of its advantageous mechanical properties. Bark was collected from a nearby sawmill (TEAG PLC Wood Processing Plant). Inner and outer bark was not separated. The collected bark was hammer ground and dried to 8% moisture content. Particles smaller than 0.5 mm were fractionated from the chips.

A custom-made labor chamber was used for the treatment, which is not airtight, so steam escapes from the system during the treatment and so oxygen is present. The bark chips were heated from room temperature to 95°C in one hour, from 95°C to 130°C in another two hours, and then to the peak temperature of 180°C top in another 30 minutes. Three different treatment durations (constant temperature) were used which lasted one (T1), two (T2) and three (T3) hours (Figure 1). During cooling, the thermal inertia of the chamber was exploited; hence, the specimens were cooled to 25 °C in about 15 hours. Three panels were produced from each type.

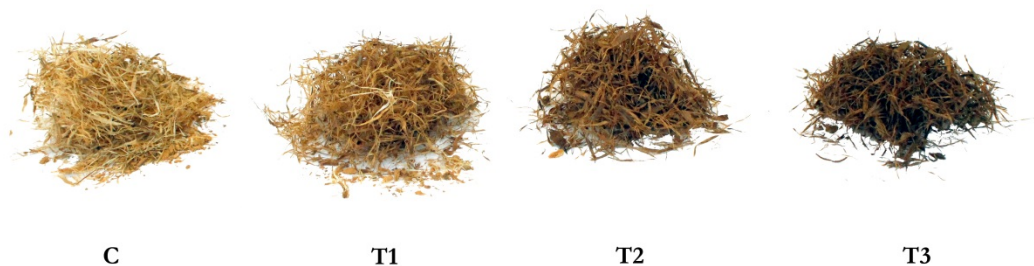


Figure 1. Treated raw materials (C – control; T1 – one hour treatment; T2 – two hours treatment; T3 – three hours treatment)

A laboratory hot press produced panels of 500×500×20 mm with the targeted density of 340 kg·m⁻³ (Siempelkamp). The pressing time was 18 seconds per thickness millimeter, at 180 °C, with a pressure of 2.86 MPa, which was reduced after 120 seconds in three steps to release steam pressure inside the panel.

The physical and mechanical properties of the panels were examined. The thermal conductivity (λ) of all the panels was measured by a hot plate method. The temperature of the cold side was 5 °C and the hot side was 15 °C, with a mean temperature of 10 °C according to the standard (MSZ ISO 8301). To ensure parallel heat flow perpendicular to the surface of the panel, 15 cm of side insulation was used around the specimens. Before the thermal conductivity measurement, the panel had to reach a steady state, which was determined when the fluctuation of the last per minute measurement was under 0.002 W·m⁻¹·K⁻¹. The measuring equipment made one measurement every minute, and the average of the last 100 measurements was accepted as the measured result of the panel. The averages of the three data points collected were taken as the results.

Board moisture content and bulk density (ρ) were calculated from ten samples taken from the panels. The thickness swelling (TS) and water absorption (WA) after immersion in water for 2 and 24 hours were calculated according to European standard EN 317 (1993). Ten 50×50 mm specimens were weighed and their thicknesses measured with an accuracy of 0.01 g and 0.1 mm, respectively. The samples were stored at 20°C and 65% relative humidity for seven days.

Bending strength, modulus of elasticity (MOR, MOE) (EN 310), and internal bond (IB) (EN 319) were tested using Instron 5506 universal testing machine. The specimens were prepared from different areas of the board and cut according to the EN 326-1 (1994) European standard.

The differences between the panels were evaluated with Statistical3 software. To find means of different treatment that significantly varied from each other, the Tukey-test was run on the raw data. On the basis of the differences and the identities of the different variables (MOR, MOE, TS, WA, EMC), the treatments were grouped to identify the similarities and differences between treatments.

3. Results and Discussion

The density of the bark panels treated for one, two, and three hours and the control were 336, 349, 352, and 336 kg·m⁻³ respectively. The density of the panels treated for three hours (T3) is a little higher, which may be caused by the inhomogeneity of the laboratory scale experiment (Table 1).

The thermal conductivity of the panels was 0.064, 0.065, and 0.067 W·m⁻¹·K⁻¹ respectively, and the control panels had 0.067 W·m⁻¹·K⁻¹. Although the thermal conductivity of artificial insulating materials is lower (0.015 – 0.045 W·m⁻¹·K⁻¹), the environmental impact of naturally-based insulation is lower. Solid wood thermal conductivity is also relatively low (0.08 – 0.2 W·m⁻¹·K⁻¹) (Touloukian et al., 1971; Glass and Zelinka, 2010), but different wood-based panels can achieve even better values (0.05 – 0.08 W·m⁻¹·K⁻¹) (TenWolde et al., 1988; Kamke, 1989). The thermal conductivity of the panels studied here is located in the middle of that said range.

The thermal conductivity of wood and wood products is influenced by many factors: density, moisture content, chemical composition, porosity, grain direction, etc. (MacLean, 1941; TenWolde et al., 1988, Ragland et al., 1991, Suleiman et al., 1999). Heat can be transferred in such panels by heat bridges between the particles and air convection in large gaps. Because the same weight of treated bark was used to press the panels, there is a similar amount of air gaps in the panels; only density affects this. Conductivity increases with density because the amount of solid content increases with density. Parallel to the increasing density of the studied panels, the thermal conductivity of the panels made of treated bark particles increased. The T1 panels (one hour treatment) had the lowest thermal conductivity and density. The control and the T1 panels had a similar density, but the treated panels had lower thermal conductivity.

Thermal treatment affected the cell walls by changing the molecular structure and relationships of the wall. During the heat treatment, mass loss is detectable in the wood; first the transformation and decomposition of the hemicelluloses takes place. The amount of hydroxyl and carbonyl groups decreases in the cell wall, which allows it to absorb less water. Paralel this due to weight loss, small cavities and voids form in the cell wall (Stone and Scallan, 1965; Tjeerdsma et al., 1998; Tjeerdsma and Militz, 2005; Windeisen et al., 2007; Kocaefe et al., 2008; Mitsui et al., 2008; Yin et al., 2011; Kekkonen et al., 2014; Gao et al., 2019). These processes cause a decrease in thermal conductivity. Panels made of heat-treated raw material have lower thermal conductivity at the same density (T1), and reach the value of control panels at about 5% higher density (T3). This shows the heat treatment had an effect on the microstructural and chemical levels, but panel density had a greater impact on the thermal conductivity of the panel than the heat treatment. By using other heat-resistant adhesives and post-manufacture heat treatments of the finished panels, panel density and thermal conductivity could be drastically reduced.

Table 1. The physical and mechanical properties of panels, pre-treated with different durations (T1-T2-T3=one hour – two hour – three hour) and the control (C)

	C	T1	T2	T3
Physical properties				
ρ (kg·m ⁻³)	336.80 (± 22.95)	336.40 (± 13.53)	349.78 (±20.73)	352.29 (±12.74)
EMC (%)	8.88 (±0.22)	8.33 (±0.22)	8.44 (±0.21)	7.66 (±0.17)

WA (wt%)	217.89 (± 48.0)	185.57 (± 23.58)	123.19 (± 25.93)	100.61 (± 34.82)
TS (%)	17.67 (± 2.84)	10.68 (± 2.49)	7.65 (± 1.49)	5.45 (± 0.72)
Thermal properties				
λ ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)	0.067 (± 0.004)	0.064 (± 0.003)	0.065 (± 0.005)	0.067 (± 0.001)
Mechanical properties				
MOR (MPa)	0.54 (± 0.17)	0.45 (± 0.09)	0.89 (± 0.21)	1.08 (± 0.22)
MOE (GPa)	0.28 (± 0.08)	0.22 (± 0.03)	0.41 (± 0.13)	0.56 (± 0.06)
IB (MPa)	0.037 (± 0.014)	0.032 (± 0.018)	0.039 (± 0.009)	0.047 (± 0.014)

The **equilibrium moisture content** (EMC) of the control panel was higher (8.88 %) than all of the treated bark panels. The T3 (7.66 %) has the lowest EMC. A Tukey-test was completed on the data. The T1 and T2 created a group, and the control and the T3 were in individual groups. As a result of heat treatment, the EMC decreased. With increasing temperature and/or time, EMC decreased (Akyildiz and Ateş, 2008; Esteves and Pereira, 2009). Heat reduces EMC by degrading the hemicelluloses, which is one of the major hygroscopic components of wood, and by degrading and volatilizing extractives or further breaking down other low-molecular weight polymers, and increasing cellulose crystallinity.

The control panels had higher **water uptake** (WA) (217.89 %) and **thickness swelling** (TS) (17.67 %), than any treated panels. Both the WA and TS decreased parallel with the duration of the treatment. The one-hour treatment caused the smallest decrease (WA: 185.57 %; TS: 10.68 %), and the three-hour treatment caused the highest (WA: 100.61 %; TS: 5.45 %). The control and T1 form a group based on the WA, the T2 and T3 form another group based on both the WA and the TS. Wood swelling decreased with increasing treatment times and temperature (Boonstra et al., 2006; Winandy and Smith, 2006; Kocaefer et al., 2015).

The T1 panels had the lowest **MOR** and **MOE**, (0.45 MPa; 0.22 GPa respectively), but these values are similar to the control panel (0.54 MPa; 0.28 GPa respectively). Parallel to the increasing treatment duration, both MOR and MOE increased. Based on the Tukey-test, C and T1 formed one group, and the T2 and T3 formed two other individual groups. In most cases, panels made of pre-heat treated particles or chips, or panels treated after the manufacturing have lower mechanical properties (MOE, MOR) than the untreated particles, chips, or panels (Seborg et al., 1953; Lehmann, 1964; Rowel and Youngs, 1981; Ohlmeyer and Lukowsky, 2004; Lee et al., 2017 etc.). Tomek (1966) found results similar to ours, but this contradicts the results of the majority of researchers.

If all the properties are examined together (with a Tukey test), the control panel and T1 are often in the same group. T2 and T3 are similar in many aspects and form a group, but in other cases they are significantly different. That is, one-hour treatment (T1) caused a relatively small change in the base material, so it is slightly different from the control, while the ever-increasing treatments (T2 and T3) show increasing changes (Figure 2).

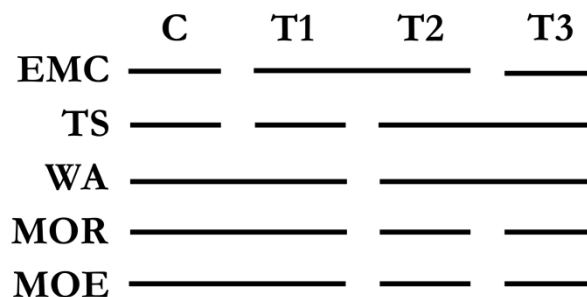


Figure 2. Grouping the treated and control panels based on the Tukey test

4. Conclusions

Heat-treated poplar bark particles are suitable for insulation panels. As described above, it is possible to produce a panel of heat-treated bark particles as the UF adhesive is able to form a bond between the heat treated particles. The effect of heat treatment is hardly perceptible on the mechanical properties of the panels, and the effect of density is stronger: the MOR and MOE of the panels with higher density, even treated for longer periods, are higher.

The thermal conductivity ($0.067 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$) of our poplar bark panels lies in the middle of the heat conducting range of other wood-based panels ($0.05\text{-}0.08 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$). The thermal conductivity of these insulation panels made of bark can be reduced by heat treatment. By treating the particles with one hour of heat before the panels are manufactured, the thermal conductivity of a panel – at the same density – decreased to $0.064 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. A big problem with natural thermal insulation materials is that their moisture content changes in parallel with atmospheric humidity, which strongly influences heat conduction. Pre-manufacturing heat treatment of the raw material bark changes its chemical structure, thus decreasing the water absorption and swelling of the manufactured panels. A three-hour treatment reduced the water uptake to half, decreased the thickness swelling to one-third, and pushed the EMC down 10%. The significantly lower moisture sensitivity is an advantage for practical usage such as a treated insulation panel.

The study found that treatment duration affects the changes; the longer treatment at the same temperature causes greater changes in physical and mechanical properties.

5. Acknowledgments

The work was conducted as part of the "Sustainable Raw Material Management Thematic Network – RING 2017", EFOP-3.6.2-16-2017-00010 project in the framework of the Széchenyi 2020 Program. This project is supported by the European Union, co-financed by the European Social Fund.

6. References

- Akyildiz, H. M. and Ateş, S. (2008): Effect of heat treatment on equilibrium moisture content (EMC) of some wood species in Turkey. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences* 4(6): 660-665
- Ayrilmis, N., Laufenberg, T. L. and Winandy, J. E. (2009): Dimensional stability and creep behavior of heat-treated exterior medium density fiberboard. *European Journal of Wood and Wood Products* 67: 287-295. <https://doi.org/10.1007/s00107-009-0311-7>
- Binici, H., Eken, M., Dolaz, M., Aksogan, O. and Kara, M. (2014): An environmentally friendly thermal insulation material from sunflower stalk, textile waste and stubble fibres. *Construction and Building Materials* 51: 24-33. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.10.038>
- Boonstra, M. J., Pizzi, A., Zomers, F., Ohlmeyer, M. and Paul, W. (2006): The effects of a two stage heat treatment process on the properties of particleboard. *Holz als Roh- und Werkstoff* 64: 157-164. <https://doi.org/10.1007/s00107-005-0055-y>
- Brischke, C. (2017): Performance of the bio-based materials: Moisture performance (Chapter 5.4) In: Jones D. and Brischke C. (eds.) *Performance of Bio-based Building Materials*. Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering. ISBN: 978-0-08-100982-6
- Del Menezzi, C. H. S. and Tomaselli, I. (2006): Contact thermal post-treatment of oriented strandboard to improve dimensional stability: A preliminary study. *Holz als Roh- und Werkstoff* 64: 212-217. <https://doi.org/10.1007/s00107-005-0052-1>
- Ernst, K. (1967): Möglichkeit zur Verminderung der Quellung bei Spanplatten. *Holztechnologie* 8: 41-47.

Esteves, B. M. and Pereira H. M. (2009): Wood modification by heat treatment: a review. *BioResources* 4(1): 370-404.

Faitli, J., Magyar, T., Erdélyi, A., Murányi, A. (2015): Characterization of thermal properties of municipal solid waste landfills. *Waste Management* 36: 213-221.

Gao, Y., Xu, K., Peng, H., Jiang, J., Zhao, R. and Lu, J. (2019): Effect of heat treatment on water absorption of chinese fir using TD-NMR. *Applied Sciences* 9: 78. <https://doi.org/10.3390/app9010078>

Glass, S. V. and Zelinka, S. L. (2010): Moisture relations and physical properties of wood. *Wood handbook: wood as an engineering material: Chapter 4. Centennial ed. General technical report FPL; GTR-190. Madison, WI: U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. pp. 4.1-4.19.*

H'ng, P. S., Lee, S. H. and Lum, W. C. (2012): Effect of post heat treatment on dimensional stability of UF bonded particleboard. *Asian Journal of Applied Sciences* 5(5): 299-306. <https://doi.org/10.3923/ajaps.2012.299.306>

Hill, C. [2006]: *Thermal Modification of Wood*. In: Hill [2006]: *Wood Modification. Chemical, Thermal and Other Processes*. John Wiley & Sons, Ltd. ISBN-13 978-0-470-02172-9. pp:99-128.

Hurtado, P. L., Rouilly, A., Vandenbossche V. and Raynaud C. (2016): A review on the properties of cellulose fibre insulation. *Building and Environment* 96: 170-177. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.09.031>

Kain, G., Barbu, M.C., Hinterreiter, S., Richter, K. and Petuschnigg, A. (2013): Using bark as a heat insulation material. *BioResources* 8(3): 3718-3731.

Kamke F. A. (1989): Thermal conductivity of wood-based panels. In: Hasselman, D.P.H. – Thomas, J.R. (eds.): *Thermal conductivity 20. Proceedings of the Twentieth International Thermal Conductivity Conference, held October 19-21, 1987, in Blacksburg, Virginia. pp. 249-260. ISBN 978-1-4613-0761-7*

Kekkonen, P. M., Ylisassi, A. and Telkki, V. V. (2014): Absorption of water in thermally modified pine wood as studied by Nuclear Magnetic Resonance. *Journal of Physical Chemistry C* 118: 2146-2153. <https://doi.org/10.1021/jp411199r>

Kocaefe, D., Poncsak, S., Doré, G. and Younsi, R. (2008): Effect of heat treatment on the wettability of white ash and soft maple by water. *Holz Roh Werkstoff* 66: 355-361. <https://doi.org/10.1007/s00107-008-0233-9>

Kocaefe, D., Huang, X. and Kocaefe, Y. (2015): Dimensional stabilization of wood. *Current Forestry Reports* 1(3): 151-161. <https://doi.org/10.1007/s40725-015-0017-5>

Kol, Ş. H. and Sefil, Y. (2011): The thermal conductivity of fir and beech wood heat treated at 170, 180, 190, 200, and 212°C, *Journal of Applied Polymer Science* 121(4): 2473–2480. <https://doi.org/10.1002/app.33885>

Korkut, S., Aytin, A., Taşdemir, Ç. and Gurău, L. (2013): The transverse thermal conductivity coefficients of Wild cherry wood heat-treated using the ThermoWood method. *ProLigno* 9(4): 649-683. Online ISSN 2069-7430.

Kwon, J. H. and Ayrilmis, N. (2016): Effect of heat-treatment of flakes on physical and mechanical properties of flakeboard. *European Journal of Wood and Wood Products* 74: 135-136. <https://doi.org/10.1007/s00107-015-0961-6>

- Lee, S. H., Ashaari, Z., Jamaludin, F. R., Yee, C. N. and Ahamad, W. N. (2017): Physico-mechanical properties of particleboard made from heat-treated rubberwood particles. *European Journal of Wood and Wood Products* 75: 655-658. <https://doi.org/10.1007/s00107-016-1145-8>
- Lehmann, W. F. (1964): Retarding dimensional changes of particle boards. Information Circular 20, Forest Products Research, Forestry Laboratory, Oregon State University.
- MacLean, J. D. (1941): Thermal conductivity of wood. *Heating, piping & air conditioning* 13(6): 380-391.
- Magyar, T., Faitli, J. and Szabó, R. (2017): Geopolimer-EPS kompozit szigetelő anyagok eredő hővezetési tényezőjének elméleti és kísérleti vizsgálata. *Építőanyag* 69: 74-82.
- Manohar, K. (2012): Renewable building thermal insulation – Oil Palm fibre. *International Journal of Engineering and Technology* 2(3):475-479.
- Mendes, R. F., Júnior, G. B., de Almeida, N. F., Surdi, P. G. and Barberio, I. N. (2013): Effects of thermal pre-treatment and variables of production on properties of OSB panels of *Pinus taeda*. *Maderas. Ciencia y tecnología* 15(2): 141-152. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2013005000012>
- Mitsui, K., Inagaki, T. and Tsuchikawa, S. (2008): Monitoring of hydroxyl groups in wood during heat treatment using NIR spectroscopy. *Biomacromolecules*, 9: 286-288. <https://doi.org/10.1021/bm7008069>
- Navi P., Sandberg D. (2012): Thermo-hydromechanical processing of wood. Chapter 9: Heat Treatment. pp. 249-286. EPFL Press. ISBN 978-2-940222-41-1
- Ohlmeyer, M. and Lukowsky, D. (2004): Wood-based panels produced from thermal treated wood – Properties and Perspectives. Wood-Frame Housing Durability and Disaster Issues Conference. October 4–6 2004, Las Vegas, USA pp. 127-132.
- Oliveira, S. L., Freire, T. P., Mendes, L. M. and Mendes, R. F. (2017): The effect of post-heat treatment in MDF panels. *Materials Research* 20(1): 183-190. <https://doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2016-0259>
- Panyakaew, S. and Fotios, S. (2008): Agricultural Waste Materials as Thermal Insulation for Dwellings in Thailand: Preliminary Results. 25th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Dublin, 22nd to 24th October:1-6
- Pásztory, Z., Horváth, N. and Börcsök, Z. (2017a): Effect of heat treatment duration on the thermal conductivity of spruce and poplar wood. *Eur. J. Wood Prod.* 75: 843–845. <https://doi.org/10.1007/s00107-017-1170-2>
- Pásztory, Z., Mohácsiné, R.I. and Börcsök, Z. (2017b): Investigation of thermal insulation panels made of black locust tree bark. *Construction and Building Materials* 147: 733-735. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.04.204>
- Pásztory, Z. and Ronyecz, I. (2013): The Thermal Insulation Capacity of Tree Bark, *Acta Silv. Lign. Hung.* 9: 111–117, <https://doi.org/10.2478/aslh-2013-0009>
- Paul, W., Ohlmeyer, M., Leithoff, H., Boonstra, M. J. and Pizzi A. (2006): Optimising the properties of OSB by a one-step heat pre-treatment process. *Holz als Roh- und Werkstoff* 64: 227-234. <https://doi.org/10.1007/s00107-005-0073-9>.
- Ragland K. W., Aerts D. J. and Baker A. J. (1991): Properties of wood for combustion analysis. *Bioresource Technology* 37: 161-168.

Rapp A. O. (ed.) (2001): Review on heat treatments of wood. COST Action E22: Environmental optimisation of wood protection. Proceedings of Special Seminar Antibes, France, 9th February 2001. ISBN: 3 926 301 02 3

Rébék-Nagy, P. and Pásztor, Z. (2014): Természetes anyagok szigetelőképessége. [Thermal performance of natural materials.] Faipar 62, https://doi.org/10.14602/WoodScience-HUN_2014_6 (in Hungarian)

Rowel, R. M. and Youngs, R. L. (1981): Dimensional stabilization of wood in use. Research Note FPL-0243, Forest Products Laboratory, Forest Service, USDA

Sandberg D. and Kutnar A. (2016): Thermally modified timber: Recent developments in Europe and North America. Wood and Fiber Science 48: 28-39.

Schiavoni, S., D'Alessandro, F., Bianchi, F. and Asdrubali, F. (2016): Insulation materials for the building sector: A review and comparative analysis. Renewable and Sustainable Energy Reviews 62: 988-1011. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.045>

Seborg, R. M., Tarkow, H. and Stamm, A. J. (1953): Effect of heat upon the dimensional stabilization of wood. Journal of Forest Product Res. Soc. 3(3): 59-67.

Sekino, N. and Yamaguchi, K. (2010): Carbonizing binderless wood shaving insulation panels for better insulation and durability Part 1: Relationship between thermal conductivity and carbonizing temperature. Proceedings of the International Convention of Society of Wood Science and Technology and United Nations Economic Commission for Europe – Timber Committee October 11-14, 2010, Geneva, Switzerland. Paper IW-3 pp. 8.

Stone J. E. and Scallan A. M. (1965): Effect of component removal upon the porous structure of the cell wall of wood. Journal of Polymer Science: Part C 11: 13-25.

Suchsland, O. and Enlow, R. C. (1968): Heat treatment of exterior particleboard. Forest Products Journal 18(8): 24-28.

Suleiman B. M., Larfeldt J., Leckner B. and Gustavson M. (1999): Thermal conductivity and diffusivity of wood. Wood Science and Technology 33: 465-473.

Tangjuank, S. and Kumfu, S. (2011): Particle board from papyrus fibres as thermal insulation. Journal of Applied Sciences 11(14): 2640-2645. <https://doi.org/10.3923/jas.2011.2640.2645>

Tangjuank, S. (2011): Thermal insulation and physical properties of particleboards from pineapple leaves. International Journal of Physical Sciences 6(19): 4528-4532. <https://doi.org/10.5897/IJPS11.1057>

TenWolde, A., McNatt, J.D. and Krahn, L. (1988): Thermal properties of wood and wood panel products for use in buildings. USDA Forest Service DOE/USDA-21697/1

Tjeerdsma, B. F., Boonstra, M., Pizzi, A., Tekely, P. and Militz, H. (1998): Characterisation of thermally modified wood: Molecular reasons for wood performance improvement. Holz Als Roh-Und Werkstoff 56: 149–153. <https://doi.org/10.1007/s001070050>

Tjeerdsma, B. F. and Militz, H. (2005): Chemical changes in hydrothermal treated wood: FTIR analysis of combined hydrothermal and dry heat-treated wood. Holz Als Roh-Und Werkstoff 63: 102–111. <https://doi.org/10.1007/s00107-004-0532-8>

Tomek, A. (1966): Die Heißvergütung von Holzspänen, ein neues Verfahren zum Hydrophobieren von Spanplatten. Holztechnologie 7: 157-160.

Touloukian, Y. S., Powell, R. W., Ho, C. Y. and Klemens, P. G. (1971): Thermophysical and Electronic Properties Information and Analysis Center Lafayette In, TPRC Data Series Volume 2, <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a951936.pdf> retrieved on March 13, 2019

Veitmans, K. and Grinfelds, U. (2016): Wood fiber insulation material. Proceedings 22nd Annual International Scientific Conference "Research for Rural Development 2016" 18-20 May, 2016 Vol. 2: 91-98. ISSN 2255-923X

Vėjelienė, J., Gailius, A., Vėjelis, S., Vaitkus, S. and Balčiūnas, G. (2011): Evaluation of structure influence on thermal conductivity of thermal insulating materials from renewable resources. *Materials Science* 17(2): 208-212. <http://dx.doi.org/10.5755/j01.ms.17.2.494>

Volf, M., Diviš, J. and Havlíka, F. (2015): Thermal, moisture and biological behavior of natural insulating materials. *Energy Procedia* 78: 1599-1604. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.219>

Winandy, J. E. and Smith, W. R. (2006): Enhancing composite durability: using thermal treatments. In: Barnes H. M. (ed.): *Proceed Wood Protection*, March 21–23, Forest Prod Society, New Orleans, Louisiana, pp 195-199

Windeisen, E., Strobel, C. and Wegener, G. (2007): Chemical changes during the production of thermo-treated beech wood. *Wood Science and Technology* 41: 523–536. <https://doi.org/10.1007/s00226-007-0146-5>

Yin Y., Berglund L. and Salmén L. (2011): Effect of steam treatment on the properties of wood cell walls. *Biomacromolecules* 12: 194-202. <https://doi.org/10.1021/bm101144m>

Zach, J., Korjenic, A., Petránek, V., Hroudová, J. and Bednar, T. (2012): Performance evaluation and research of alternative thermal insulations based on sheep wool. *Energy and Buildings* 49: 246-253. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.02.014>

Zhou, X., Zheng, F., Li, H. and Lu, C. (2010): An environment-friendly thermal insulation material from cotton stalk fibers. *Energy and Buildings* 42: 1070-1074. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.01.020>

OPPORTUNITIES OF BARK UTILIZATION

Péter Keresztfalvi, Zoltán Börcsök

Innovation Center

University of Sopron

4. Bajcsy Zs. Sopron 9400

keresztfalvi.peter@uni-sopron.hu, borcsok.zoltan@uni-sopron.hu

Abstract: *Worldwide the total lumbered roundwood quantity is estimated 3 591 142 000 m³. The quantity of the bark is approximately 10 percent of this volume, so yearly 300-400 million m³ bark is produced during wood processing. The bigger proportion of this considerable amount remains unused or burned. The more economical utilization of tree bark is very important task of the humanity. The structure and the consistence of this raw material offers numberless opportunities in several sectors of the human life: starting with the medicine, production of boards, water and gas cleaning. This study presents an overview about the bark as a natural raw material and possible utilization.*

Keywords: tree bark, bark utilization

1. Introduction

One of the main reasons of forestry is tree cultivation, while yearly large amounts of renewing raw material are produced. A significant factor of tree cultivation that it binds the carbon-dioxide content of the air and carbon is built in its cell structure through photosynthesis. The amount of lumbered roundwood worldwide is estimated at 3 591 142 000 m³ (FAO, 2015). Therefore in the world the amount of yearly arising bark counting with 10% bark ratio is approximately 359 114 200 m³. In the middle of the 20th century the placing of arising enormous amount of bark during lumbering and processing also meant a big problem, which was delivered to dumps in most cases (Weissmann, 1976). The bark remains arising only in Californian sawmills are estimated to total 2.2-2.6 million tons (Yang et al., 2008). According to Feng et al. (2013) in Canada more than 17 million m³ bark is produced yearly and more than half of it is burnt or delivered to dumps. The amount of bark removed from lumbered wood in Hungary reaches 5-6000 m³ (Molnár, 2004) and in Russia about 30 million m³ yearly (Ushanova, 2012; Melekhov et al., 2015). Exactly quantifying the amount of yearly produced bark worldwide is a very complicated problem and despite strenuous efforts it would carry considerable uncertainty as only a little proportion of bark is traded in contrast with wood

The bark has numerous functions during the lifespan of the plant, while itself is also changing due to its age. The outer bark is very diverse, it can take shapes characteristic to some species, its thickness can depend on the species, the age and ecological facts, even it can be different in different parts of the tree (Fekete, 1951; Gencsi, 1980).

2. Roles of the bark

2.1 Protection role of the bark

The bark of trees gives shelter to dozens of organisms: it is the habitat of different arthropoda, vertebrata, lichen, moss and other living creatures. Most entities do not „damage” the environment of their lives but there are some species that damage trees e.g. woodborers or bark beetles. In pines (*Pinus*) the resin flow happening in the bark has a significant role in the protection against woodborers (Popp et al.1991).

The bark protects the tree not only from weather conditions, insect pest, browsing, but it has crucial role in the case of wood fires. There were more researches in this subject. (Schafer et al., 2015; Catry et al. 2010; Lawes et al., 2011; Wang et al., 2011, do Vale and Elias, 2014; Dickinson and Johnson, 2001; Dickinson, 2002) They proved that the relative thickness of the bark significantly influences the survival of the trees in fire. They found that the fire resistance of the bark depends on thickness, moisture content, the different physical qualities of tree species have a negligible influencing role.

2.2 Bark as a pollution indicator

Using the bark as bio indicator is advantageous because the bark is always exposed to air pollution, moreover deriving from its structure, porosity (crackings, knobs) is in contact with air on a big surface and preserves pollution longer than the surface of leaves where rain can wash it off easily (Härtel, 1982; Böhm et al., 1997; Saarela et al., 2005; Mandiwana et al., 2006). The pollution can be proved this way even if there are no pollutants in the air. Grodzinska used the growth of acidity of tree barks to estimate the quantity of pollution in Poland (Grodzinska,1971; 1978; 1979; 1982).

The bark preserves the pollutants of the past so with the help of bark ingrowths, which were formed as results of damage, conclusions were drawn from small samples for historical perspective lead pollution, respectively for the changes of intensity and source of pollution (Satake et al., 1996; Bellis et al., 2002a, 2002b; Wang et al., 2003; Åberga et al., 2004; Conkova and Kubiznakova, 2008).

3. Utilizations of tree bark

3.1 Utilization as medicine

The first medicines were supplied by plants. Their active ingredients such as alkaloids, essential oils, carbohydrates, vitamins, antibiotics are the elements of the live unit mass of our forests. The folk medicine used bark preparations of locust, willow, elm, oak, ash to cure several diseases (Rápóti et al., 1974). More species are used in perfume making as a material giving or fixing fragrance. In pharmacology they act as components of plasters, ointments, rubs, hair fluids and other mixtures.

3.2 Energetic utilization

Because of shortage of raw materials the exploration of alternative fuels is more and more required, thus the burning of bark. The energetic utilization is mostly influenced by the fact that the ash content of the bark is much higher than that of wood. According to a study real possibilities are hidden in European forests, the energetic utilization of wood will grow in the following years (Verkerk et al., 2011). Harkin et al. (1971) demonstrated that the average heating value of ten tons totally dried bark is equal to the heating value of seven tons coal. The heating value of the bark per kilogram is similar to wood: 16.2-23 MJ/kg (Corder, 1976; Pecznik and Körmendi, 2002; Dibdikova et al., 2014). Bark waste produced in large numbers usually has high moisture content which significantly reduces the efficiency of energetic utilization as a significant part of the energy is needed to evaporate the moisture content. Over 60% net moisture content bark cannot be burnt effectively (Molnár, 2004). When using bark as briquette it is

usually mixed with straw and sawdust. Adding wax increases the solidity of bio briquette but the additive can have a moisture content reducing effect as well. Its most important characteristic is high density and compactness (1-1.3 g/cm³) (Baros, 2003). In Norway the bark of Scotch pine was examined as potential raw material. The experiment was performed with 5, 10, 30 and 100% bark content. Durability was the same quality in all classes. Its density was higher than pure wood pellet. The more bark was in the mixture the ash content was the higher. The results given by the experiment showed the best quality class was the 10% mixture with 0.7% ash content (Filbakk et al., 2011).

Melin (2008) found that bark can be excellently used to produce pellet, moreover as it is cheaper than wood, it will probably be one of the main raw materials of processing pellet. Thanks to materials found in bark that melt more easily in high pressure, the bond among particles is strong, therefore the pellet made of bark has advantageous physical and mechanical qualities. As disadvantages he mentions the high ash content and the presence of materials (chlorides, sulphates) that requires special measures. Similar results were found by Lehtikangas (2001) who found that besides suitability, the pellet made of bark has excellent durability and it tolerates moisture well. Melekhov et al. (2015) studied energy potential of bark in resource saving program. They suggested thermomodification of birch bark for changes in physical-mechanical properties, which greatly simplifies further technology to turn it into pelletized fuel. Obernberger and Thek (2004) examined the suitability of increased density biomass fuels according to standards. So density, ash and water content, gross and net heating value, C, H, N, S, Cl, K, and attrition is influenced by the Cd, Pb, Zn, Cr, Cu, As and Hg content. They found that the examined pellets meet the Austrian, German, Swiss and Swedish standards. Kamikawa et al. (2009) using a special measurement device found, although the total amount of heat energy extractable from bark does not differ from the extractable quantity from wood, there is difference: bark pellet dissipates less heat during burning and more with coruscate.

3.3 Agriculture

The simplest way of agricultural utilization of bark is clearly mulching. The advantages of mulching are reducing evaporation on the surface of soil, helps the reproduction of microorganisms, decays more slowly than wood, and because of its lower „nitrogen- intake” less artificial fertilizer is needed than by decay of wood, bark mixed into heavy soil works as aerifying, it prevents compaction, increases water absorption and reduces erosion of the soil. However, not all types of barks are suitable for mulching because of their high chemical substances content (Nagy et al., 1998; Whiting et al., 2011) and according to Harkin et al. (1971) delivery has high costs. In seedling nursery creating 2-3 cm mulching from bark flour, making neutrality with addition of lime, conditions adequate to forest conditions can be created say Bittner et al. (1975). Chipped and classified spruce, Scotch pine and oak bark besides providing plants with nutritives with their decay products, could be successfully used when growing vegetables and strawberry (Blossfeld, 1977). Bark in natural circumstances decays slowly, the main reason of this is its low nitrogen content. Composting can speed up decay process: outdoors 4 months are needed if the bark is chipped smaller than 10 mm pieces (Beresznev, 1975). Barks can be recommended to be used as growing medium after more years of ripening, during this time its humus state, adsorption and puffer capacity and ability of moisten increases (Sári, 2008).

Bark can be used as litter as well. Its advantageous characteristic is that it can bond the ammonia content of air and moist. Litter made of bark grind smaller than 4-5 mm had no harmful effect on the nutrition and weight gain of the experimented poultry stock. The bark of broad leaved and coniferous species both could be used (Laborsky et al., 1977).

3.4 Production of boards

Several efforts were made towards the production of bark-based (as alternative raw material) particle boards and fiberboards. One of the basic difficulties is caused by contaminations found on the bark (sand containing silicon-dioxide, soil). In the production of particle boards this fact has a restricting effect (Deppe et al., 1977). Another difficulty that the increase of proportion of bark particles goes together with

the fall of solidity because the mechanical properties of the bark are behind that of wood. Dost (1971) examined redwood three-layer particleboards with, which contained 0, 10, 20, 30% bark, using three different resin levels. The increase of bark content at all resin levels resulted in the fall of MOR and MOE and dimension stability, however, the 24 hour water intake decreased. Chen et al. (1972) made particle boards with using up whole *Picea abies* entities and this material was combined with chips of traditional debarked spruce. The particle boards made from the whole tree did not meet the standard bending strength requirements, but the 1:1 proportion mix with debarked spruce did. Heebink (1974) used *Pinus contorta* harvesting losses its average bark content was 7%. He found that different structured particle boards could be produced from these materials without any difficulty. Lehmann and Geimer (1974) produced particle boards with the help of different forest waste and harvesting losses, and they found that strong and stable boards can be produced if the bark content remains under 12%. Muszynski and McNatt (1984) examined the utilizability of *Picea abies* and *Pinus sylvestris* bark in producing particle boards. During the experiment the bark content of the particle boards varied between 0 and 100% in 10% steps. The results of physical and mechanical examination proved that even the 30% bark content boards can be suitable to produce furniture. Chow et al. (2008) examining the wood and bark of *Parthenium argentatum* found that it can be used for direct substitution of wood based fiber. This tree is suitable to produce hypoallergenic latex as well. Gertjeansen and Haygreen (1973) examined the effect of common aspen bark to physical properties of particle boards. They came to the conclusion that even the whole trunk could be used to produce particle boards if the bark of the lower trunk is not put in the board as it drastically reduces linear stability. Anderson et al. (1974a, 1974b, 1974c) made a series of studies on particle boards glued with bark extractive and on bark core particle boards. The boards made from bark only were not suitable because of low MOR values and large linear shrinkage values, but the bark core boards had satisfying qualities. Starecki (1979) produced one and three layer boards, in them he used the waste bark material of cellulose and paper industry. The bark amount was varied between 0 and 100%. The bending strength decreased due to bark ratio. Those experimental products where the middle part contained 65% bark, met the standards of that time. Compared to purely bark boards the boards made from bark and chip combination showed three times bigger bending strength. In a research an experiment was made with bark of black spruce and spruce to produce particle boards. They proved that under certain conditions it is technologically possible for particle boards to contain bark. The best mechanical properties were reached with 50% wood and 14% resin content (Blanchet et al. 2000). About the recommended amount of bark in the middle of a particle board different opinions arose. Kehr (1979) by analyzing technical literature and according to his own observations adopted the point of view that in the middle part wood material with over 10% bark ratio can only be used with density increase, which means surplus expenditure. A study proved that the production of particle boards could be 70% cheaper with adding bark and such way that mechanical properties do not weaken. The experiments were made with white birch (Pédieu et al., 2009). Nemli et al. (2005) determined some mechanical characteristics of bark-particle boards in their experiments. During the research locust and mimosa bark was used and examined the formaldehyde emission, tensile strength, Modulus of Elasticity (MOE), inner bond strength and the thickness of boards. With using bark the formaldehyde emission significantly decreased and the inner bond strength increased. In another study bond-strength of PF-A and PF-B resins was examined (vener board glue) where acacia bark dust was used in different concentrations. The bond strength of PF-A increased while the solidity of PF-B resin did not change (Miyazaki et al., 2011) The *Acacia mangium* is a fast growing specie, which is planted in many countries. The tree has about 10% bark content, 20% of that is extract material (tannin materials) (Hoong et al., 2009). The wood is mainly the raw material of veneer and paper production. The extract of the bark are rich in phenol compounds and potentially can replace phenol-formaldehyde (PF) glues in the processing industry of plywood. However, according to experiments to get the suitable effect resin must be mixed besides the extracts (Hoong et al., 2011). Gupta (2009) successfully produced boards from the bark of *Pinus contorta* damaged by typographer without adding resin, although their physical-mechanical properties did not reach the minimal values given in standards.

According to a study MDF boards were produced using the bark of four tree species (hybrid poplar, jack pine, larch, spruce). The refined bark fibers had bigger volume density than that of control wood (Cheng et al., 2006).

Using bark as thermal insulation board is still in its infancy. It is a question how the lumbering difficulties, quality differences, difficult handling could be tolerated. Bark usually has a lower fiber content than wood so its solidity is lower as well, but in Scandinavia it was proved that it still meets standards. Some trees have a relatively high resin and wax content which can be an advantage as well, because when clamping boards together not any other glue is needed, it is enough to press at high temperatures. These boards are made mixed with wood chips where the bark content is usually 25% (Harkin et al., 1971). Kain et al (2012) made insulation boards out of *Pinus sylvestris* bark. They found that it is possible to produce comparatively light bark boards for thermal insulation. The panels' heat storage capacity is superior to commonly known insulation materials. Kain et al. (2013a) used spruce bark pieces as blow thermal insulation while making insulation for a log wall on which winter temperature was simulated. The temperature profile was modelled. Bark conducted heat more slowly than other materials used for blowing, so it can be used as insulation material as well. Kain et al. (2013b) made insulating boards using bark of *Pinus sylvestris*, *Picea abies* and *Abies alba*. They found that the heat and sound insulating properties are very good and its mechanical properties are the required, moreover its formaldehyde emission is low. According to the experiments of Kain et al. (2014) the bark of *Larix decidua* is suitable to make thermal insulation boards, which have relatively low coefficients of thermal conductivity (0.065-0.09 W/mK). Moreover the boards can be glued with tannin-resin, free from formaldehydes and artificial resins so it is more environmental friendly. In a Japanese study it is mentioned that *Cryptomeria japonica* is widely used in the construction industry in the country, but they get rid of its bark (which is rich in fiber and long lasting). Experiments were made on its thermal insulation properties, it was coarsely and finely chopped and boards were made with expanded polystyrene foam. The coarse and fine chopping did not make a difference the coefficients of thermal conductivity was 0.073 and 0.076 W/mK in contrast with styrofoam board 0.045 W/mK (Sato et al., 2004).

3.5 Water and gas cleaning

Bark or its modified version can be used to clean water. According to several researchers the bark of spruce, Scotch pine and larch plus alder, linden and elm binds the poisonous lead, cadmium, mercury and zinc ions (Randall et al. 1976). With chemical activating technique activated carbon can be produced from eucalyptus bark with the help of phosphoric acid (Patnukao et al., 2008). The activated carbon because of its excellent adsorptive properties can be used to clean drinking water, for sewage water disposal, to remove air contamination, to reclaim dissolvent and to whiten sugar. Palma et al. (2003) used chemically modified *Pinus radiata* bark and tannins to remove metal ions from water solutions and from the acid waste water of copper mine. The pH strongly influenced the metal adsorption ability. Modified tannins could bind less metallic ions than the modified bark.

4. Acknowledgement

The described work was carried out as part of the „Sustainable Raw Material Management Thematic Network – RING 2017”, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 project in the framework of the Széchenyi 2020 Program. This project is supported by the European Union, co-financed by the European Social Fund.

5. References

- Åberga, G., Abrahamsen, G., Steinnes, E., and Hjelmseth, H. (2004) “Utilization of barkpockets as time capsules of atmospheric-lead pollution in Norway,” *Atmospheric Environment* 38, 6231-6237. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2004.06.041
- Anderson, A. B., Wong, A., and Wu, K. T. (1974a) “Utilization of white fir bark in particleboard,” *For. Prod. J.* 24(1), 51-54.

- Anderson, A. B., Wong, A., and Wu, K. T. (1974b) "Utilization of white fir bark and its extract in particleboard," *For. Prod. J.* 24(7), 40-45.
- Anderson, A. B., Wong, A., and Wu, K. T. (1974c) "Utilization of Ponderosa pine bark and its extract in particleboard," *For. Prod. J.* 24(8), 48-53.
- Bellis, D. J., McLeod, C. W., and Satake, K. (2002a) "Pb and ²⁰⁶Pb ²⁰⁷Pb isotopic analysis of a tree bark pocket near Sheffield, UK recording historical change in airborne pollution during the 20th Century," *The Science of the Total Environment* 289, 169-176. DOI: 10.1016/S0048-9697(01)01037-3.
- Bellis, D. J., Satake, K., Noda, M., Nishimura, N., and McLeod, C. W. (2002b) "Evaluation of the historical records of lead pollution in the annual growth rings and bark pockets of a 250-year-old *Quercus crispula* in Nikko, Japan," *The Science of the Total Environment* 295, 91-100. DOI: 10.1016/S0048-9697(02)00054-2.
- Beresznev, R. Sz. (1975) "Kory na ydobrenie, Devenoobrobratyvajuscsaja promyslennoszty, 12(27).
- Bittner, A., and Schneider, A. (1975) "Wertvoller Humus aus Rinde," *Holz- Zentralblatt*, 73-74, 956.
- Blanchet, P., Cloutier, A., and Riedl, B. (2000) "Particleboard made from hammer milled black spruce bark residues," *Wood Science and Technology* 34(1), 11-19. DOI: 10.1007/s002260050003.
- Blossfeld, O. (1977) "Einsatzmöglichkeiten für Rinden sind geklärt," *Informationen für den Industriezweig Schnittholz und Holzwaren* 4, 319.
- Böhm, P., Wolterbeek, H., Verburg, T., and Mušilek, L. (1998) "The use of tree bark for environmental pollution monitoring in the Czech Republic," *Environmental Pollution* 102, 243-250. DOI: 10.1016/S0269-7491(98)00082-7.
- Catry, F. X., Rego, F., Moreira, F., Fernandes, P. M., and Pausas, J. G. (2010) "Post-fire tree mortality in mixed forests of central Portugal," *Forest Ecology and Management* 260, 1184-1192. DOI: 10.1016/j.foreco.2010.07.010.
- Chen, T. Y., Paulitsch, M., and Soto, G. (1972) "On the suitability of the biological surface mass from spruce thinnings as raw material for particleboard," *Holz Roh-Werkst* 30(1), 15-18. DOI: 10.1007/BF02615026.
- Cheng, X., Deng, J., Zhang S. Y., Riedl, B., and Cloutier, A. (2006) "Impact of bark content on the properties of medium density fiberboard (MDF) in four species grown in eastern Canada," *Forest products* 56(3), 64-69.
- Chow, P., Nakayama, F. S., Blahnik, B., Youngquist, J. A., and Coffelt, T. A. (2008) "Chemical constituents and physical properties of guayule wood and bark," *Industrial Crops and Products* 28, 303-308. DOI:10.1016/j.indcrop.2008.03.006.
- Conkova, M., and Kubiznakova, J. (2008) "Lead isotope ratios in tree bark pockets: An indicator of past air pollution in the Czech Republic," *Science of the Total Environment* 404, 440-445. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2008.04.025.
- Deppe, H. J., and Ernst, K. (1977) "Taschenbuch der Spanplattentechnik," Stuttgart, DRW- Verlag.
- Dickinson, M. B. (2002) "Heat transfer and vascular cambium necrosis in the boles of trees during surface fires," *Forest Fire Research & Wildland Fire Safety*, Millpress, Rotterdam, ISBN 90-77017-72-0.

- Dickinson, M. B., and Johnson, E. A. (2001) "Fire effects on trees," *Forest Fires: Behavior and Ecological Effects*. Chapter 14. Academic Press, 477-525. DOI: 10.1016/b978-012386660-8/50016-7.
- do Vale, A. T., and Elias, P. S. (2014) "Bark thermal protection level of four tree species and the relationship between bark architecture and heat transfer," *Ciência Florestal*, Santa Maria 24(4), 979-987. DOI: 10.1590/1980-509820142404017.
- Dost W. A. (1971) "Redwood bark fiber in particleboard," *For. Prod. J.* 21(10), 38-43.
- FAO 2015: *Forest products 2009-2013*. FAO Forestry Series No. 48 FAO Statistics Series No. 204. ISBN 978-92-5-008811-2.
- Fekete, Z. (1951) *Erdőbecslésstan*, Budapest: Akadémiai Kiadó.
- Feng, S., Cheng, S., Yuan, Z., Leitch, M., and Xu, C. (2013) "Valorization of bark for chemicals and materials: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 26, 560-578. DOI: 10.1016/j.rser.2013.06.024.
- Filbakk, T., Jirjis, R., Nurmi, J., and Høibø, O. (2011) "The effect of bark content on quality parameters of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) pellets," *Biomass and bioenergy* 35, 3342-3349. DOI: 10.1016/j.biombioe.2010.09.011.
- Gertjeansen, R., and Haygreen, J. G. (1973) "Effect of aspen bark from butt and upper logs on the physical properties of wafer-type and flake-type particleboards," *For. Prod. J.* 23(9), 66-71.
- Grodzinska, K. (1971) "Acidification of tree bark as a measure of air pollution in southern Poland," *Bull. Acad. Polon. Sci., Cl. 2, Sér. Sci. Biol.*, 19(3), 189-195.
- Grodzinska, K. (1978) "Acidity of tree bark as a bioindicator of forest pollution in southern Poland," *Water, Air, and Soil Pollut.* 7, 3-7.
- Grodzinska, K. (1979) "Tree-bark – sensitive biotest for environment acidification," *Environment International* 2(3), 173-176. DOI: 10.1016/0160-4120(79)90075-8.
- Grodzinska, K. (1982) "Monitoring of air pollutants by mosses and tree bark," in: *Monitoring of Air Pollutants by Plants – Methods and Problems*, Steubing, L., Jäger, H.-J. (Eds.). W. Junk Publishers, The Hague, 33-42. ISBN 978-90-6193-947-4.
- Gupta, G. K. (2009) "Development of bark-based environmental-friendly composite panels," Master thesis, Faculty of Forestry, University of Toronto.
- Harkin, J. M., Rowe, J. W. (1971) "Bark and its possible uses." USDA. Forest Service, Research note, FPL-091, Forest Products Laboratory.
- Härtel, O. (1982) "Pollutants accumulation by bark," In: *Monitoring of Air Pollutants by Plants – Methods and Problems*, W. Junk Publishers, The Hague, 137-147.
- Heebink, B.G. (1974) "Particleboards from lodgepole pine forest residue," USDA For. Serv. Res. Pap. FPL 221. For. Prod. Lab., Madison, Wis.
- Hoong, Y. B., Paridah, M. T., Loh, Y. F., Jalaluddin, H., and Chuah, L. A. (2011) "A new source of natural adhesive: *Acacia mangium* bark extracts co-polymerized with phenol-formaldehyde (PF) for bonding Mempisang (*Annonaceae* spp.) veneers," *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 31(3), 164–167. DOI: 10.1016/j.ijadhadh.2010.12.002.

- Hoong, Y. B., Paridah, M. T., Luqman C. A., Koh, M. P., and Loh, Y. F. (2009) "Fortification of sulfited tannin from the bark of *Acacia mangium* with phenol–formaldehyde for use as plywood adhesive," *Industrial Crops and Products* 30, 416–421. DOI: 10.1016/j.indcrop.2009.07.012.
- Kain, G., Barbu, M. C., Hinterreiter, S., Richter, K., and Petuschnigg, A. (2013a) "Using bark as a heat insulation material," *BioResources* 8(3), 3718-3731. DOI: 10.15376/biores.8.3.3718-3731.
- Kain, G., Güttler, V., Barbu, M. C., Petutschnigg, A., Richter, K., and Tondi, G. (2014) "Density related properties of bark insulation boards bonded with tannin hexamine resin," *Eur. J. Wood Prod.* 72, 417-424. DOI 10.1007/s00107-014-0798-4.
- Kain, G., Heinzmann, B., Barbu, M. C., and Petutschnigg, A. (2013b) "Softwood bark for modern composites," *ProLigno* 9(4), 460-468.
- Kamikawa, D., Kuroda, K., Inoue, M., Kubo, S., and Yoshida, T. (2009) "Evaluation of combustion properties of wood pellets using a cone calorimeter," *Journal of Wood Sciences* 55, 453-457. DOI 10.1007/s10086-009-1061-1.
- Kehr, E. (1979) "Untersuchungen zum Einfluss der Rinde bei der Verarbeitung unentrindeten Holzes in der Deckschicht von Spanplatten," *Holztechnologie* 1, 32.
- Kelly, M. W. (1977) "Critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboard," General Technical Report FPL-10. Forest Products Laboratory, Forest Service, U.S. Department of Agriculture.
- Laborsky, P., Holleman, K. A., Dick, J. W. and So, D. T. (1977) "Utilization of Bark Residues as Poultry Litter," *Forest Products Journal*, Jan, 28.
- Lawes, M. J., Richards, A., Dathe, J., and Midgley, J. J. (2011) "Bark thickness determines fire resistance of selected tree species from fire-prone tropical savanna in north Australia," *Plant Ecology* 212, 2057-2069. DOI 10.1007/s11258-011-9954-7.
- Lehmann, W. F., and Geimer, R.L. (1974) "Properties of structural particleboards from Douglas-fir forest residues," *For. Prod. J.* 24(10), 17-25.
- Lehtikangas, P. (2001) "Quality properties of pelletised sawdust, logging residues and bark," *Biomass and Bioenergy* 20, 351-360. DOI: 10.1016/S0961-9534(00)00092-1.
- Mandiwana, K.L., Resane, T., Panichev, N., and Ngobeni, P., (2006) "The application of tree bark as bio-indicator for the assessment of Cr(VI) in air pollution," *J. Haz. Mater. B* 137, 1241-1245. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2006.04.015.
- Martin, R. E., and Crist, J. B. (1970) "Elements of bark structure and terminology," *Wood and Fiber Science* 2(3), 269-279 ISSN: 0735-6161.
- Melekhov, V.I., Tyurikova, T.V, Ponomareva, N.G. (2015) "Energy potential of bark in resource saving program", *Current research areas of the XXI century: theory and practice*, 9-3 (20-3), 106-110. DOI: 10.12737 / 16877.
- Melin, S. (2008) "Bark as feedstock for production of wood pellets," *Wood pellett asociacion of Canada*, (http://www.pellet.org/images/2008-12-11_Bark_as_feedstock_for_Production_of_Wood_Pellets_Report_December_2008.pdf)
- Miranda, I., Gominho, J., Mirra, I., and Pereira, H. (2013). "Fractioning and chemical characterization of barks of *Betula pendula* and *Eucalyptus globulus*," *Industrial Crops and Products* 41, 299- 305. DOI: 10.1016/j.indcrop.2012.04.024.

- Miyazaki, J., and Hirabayashi, Y. (2011) "Effect of the addition of Acacia mangium bark on thermosetting of phenol–formaldehyde resin," *Wood Science and Technology* 45(3), 449-460. DOI: 10.1007/s00226-010-0342-6.
- Molnár, S. (2004) *Faanyagismeret*, Budapest: Mezőgazdasági Szaktudás kiadó.
- Muszynski, Z., and McNatt, J.D. (1984) "Investigations on the use of spruce bark in the manufacture of particleboard in Poland," *Forest Products Journal* 34(1), 28-35.
- Nagy, Gy., Novák, Á., and Osztrólczy, M. (1998) *Zöld szerkezetek*, Ybl Miklós Műszaki Főiskola, Multimédia Laboratórium, Budapest: Publisher Kiadó.
- Nemli, G., and Colakoglu, G. (2005) "Effects of Mimosa Bark Usage on Some Properties of Particleboard," *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 29(3), 227-230.
- NEURO CT Pécsi Diagnosztikai Központ Kft (2010) "Hatóanyagként kapszaicint és illóolajokat együttesen tartalmazó kozmetikai készítmény, eljárás előállítására és alkalmazása," ("Cosmetic Product Comprising Capsaicin and Essential Oil as Active Agents, Method for the Production and Use Thereof") Patent protection.
- Obernberger, I., and Thek, G. (2004) "Physical characterisation and chemical composition of densified biomass fuels with regard to their combustion behavior," *Biomass and Bioenergy* 27, 653-669. DOI: 10.1016/j.biombioe.2003.07.006.
- Palma, G., Freer, J., and Baeza, J. (2003) "Removal of metal ions by modified *Pinus radiata* bark and tannins from water solutions," *Water Research* 37, 4974-4980. DOI: 10.1016/j.watres.2003.08.008
- Patnukao, P., and Pavasant, P. (2008) "Activated carbon from *Eucalyptus camaldulensis* Dehn bark using phosphoric acid activation," *Bioresource Technology* 99(17) 8540–8543. DOI: 10.1016/j.biortech.2006.10.049.
- Peczник, P., and Körmendi, P. (szerk.) (2002) *Hőenergia gazdálkodás- biomassza tüzelés*, Gödöllő, FM Műszaki Int. 1997, p 23, 39 pp.
- Pedieu, R., Riedl, B., and Pichette, A. (2009) "Properties of mixed particleboards based on white birch (*Betula papyrifera*) inner bark particles and reinforced with wood fibres," *European Journal of Wood and Wood Products* 67(1), 95-101. DOI: 10.1007/s00107-008-0297-6.
- Popp, M. P., Johnson, J. D., and Massey, T. L. (1991) "Stimulation of resin flow in slash and loblolly pine by bark beetle vectored fung," *Canadian Journal of Forest Research* 21(7), 1124-1126. DOI: 10.1139/x91-155.
- Randall, J. M., Hautala, E., Waiss C. A., and Tschernitz J. L. (1976) "Modified Barks as Scavengers for Heavy Metal ions," *Forest Products Journal*, Aug, 46. p.
- Rápóti, J., and Romváry, V. (1974) *Gyógyító növények*, Budapest: Medicina.
- Saarela, K. E., Harju, L., Rajander, J., Lill, J. O., Heselius, S. J., Lindroos, A., and Mattsson, K. (2005) "Elemental analyses of pine bark and wood in an environmental study," *Science of The Total Environment* 343(1–3), 231–241. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2004.09.043.
- Sári, J. Sz. (2008) *Tőzeghelyettesítő anyagok a paprikahajtásban*, Budapesti Corvinus Egyetem (Talajtan és Vízgazdálkodási Tanszék), PhD Thesis, Budapest.

- Satake, K., Tanaka, A., and Kimura, K. (1996) "Accumulation of lead in tree trunk bark pockets as pollution time capsules," *The Science of the Total Environment* 181, 25-30. DOI: 10.1016/0048-9697(95)04955-X.
- Sato, Y., Konishi, T., and Takahashi, A. (2004) "Development of Insulation Material Using Natural Tree Bark," *Transactions of the Materials Research Society of Japan* 29(5), 1937-1940.
- Schafer, J. L., Breslow, B. P., Hohmann, M. G., and Hoffmann, W. A. (2015) "Relative bark thickness is correlated with tree species distribution along a fire frequency gradient," *Fire Ecology* 11(1), 74-87. DOI: 10.4996/fireecology.1101074.
- Starecki, A. (1979) "Spanplatten aus Holz mit Rindenanteil," *Holztechnologie* 2, 108.
- Ushanova, V.M. (2012) "Complex processing of Siberian fir needles and bark for obtaining products having biological activity", Dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences, Krasnoyarsk.
- Verkerk, P. J., Anttila, P., Eggers, J., Lindner, M., and Asikainen, A. (2011) "The realisable potential supply of woody biomass from forests in the European Union," *Forest Ecology and Management* 261(11), 2007-2015. DOI: 10.1016/j.foreco.2011.02.027.
- Wang, G. G., and Wangen, S. R. (2011) "Does frequent burning affect longleaf pine (*Pinus palustris*) bark thickness?" *Canadian Journal of Forest Research* 41(7), 1562-1565. DOI: 10.1139/X11-074.
- Wang, Q., Zhu, C., Wang, Y., Huang, Z., Li, Z., and Huang, B. (2003) "A novel sampling method for present and historical monitoring of air pollution by using tree bark," *Environmental Chemistry* 22(3), 250-254.
- Weissmann, G. (1976) "Reinigung Ölhaltiger Abwässer mit Rinde," *Holz Zentralblatt* 50, 661-662.
- Whiting, D., Tolan, R., Mecham, B., and Bauer, M. (2011) "Mulching with Wood/Bark Chips, Grass Clippings, and Rock, Colorado Master Gardeners Program, Colorado Gardener Certificate Training," Colorado State University Extension.
- Yang, P., and Jenkins, B. M. (2008) "Wood residues from sawmills in California," *Biomass and Bioenergy* 32(2), 101-108. DOI: 10.1016/j.biombioe.2007.09.001.

HATÉKONY ÉS ROBOSZTUS SAJÁT FEJLESZTÉSŰ MÓDSZER A COLE-COLE PARAMÉTEREK KINYERÉSÉRE AZ ELEKTROMOS IMPEDANCIA SPEKTRUM MÉRÉS ADATAIBÓL

Nádasdi Lili

Mérnöki és Smart Technológiák Intézet, Környezetmérnök Tanszék
Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar
7624 Pécs, Boszorkány út 2.
nadasdililike@gmail.com

Gyórf Nina

Mérnöki és Smart Technológiák Intézet, Környezetmérnök Tanszék
Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar
7624 Pécs, Boszorkány út 2.
gyorfinina@gmail.com

Tóth Attila

Élettani Intézet
Pécsi Tudományegyetem, Általános Orvostudományi Kar
7624 Pécs, Szigeti út 12.
attila.toth@aok.pte.hu

Klincsik Mihály

Mérnöki és Smart Technológiák Intézet, Mérnöki Matematika Tanszék
Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar
7624 Pécs, Boszorkány út 2.
klincsik@mik.pte.hu

Sári Zoltán

Informatika és Villamos Intézet, Műszaki Informatika Tanszék
Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar
7624 Pécs, Boszorkány út 2.
sari.zoltan@mik.pte.hu

Kuljic Bojan

College of Applied Sciences
Subotica Tech
Marka Oreškovića 16, 24000 Subotica, Serbia
bojan@vts.su.ac.rs

Odry Ákos

Informatikai Intézet, Számítógéprendszerek és Irányítástechnikai Tanszék
Dunaújvárosi Egyetem
2401 Dunaújváros, Táncsics Mihály utca 1/A fszt.
odrya@uniduna.hu

Odry Péter

Informatikai Intézet, Számítógéprendszerek és Irányítástechnikai Tanszék

Dunaújvárosi Egyetem
2401 Dunaújváros, Táncsics Mihály utca 1/A fszt.
podry@uniduna.hu

Vizvári Zoltán

Mérnöki és Smart Technológiák Intézet, Környezetmérnök Tanszék
Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar
7624 Pécs, Boszorkány út 2.
vizvari.zoltan@mik.pte.hu

Absztrakt: *A Cole-Cole modell az Elektromos Impedancia Spektroszkópia alapvető matematikai modellje. Az ilyen típusú mérések során rögzített adatok többségének kiértékelésére használható. Kutatócsoportunk tevékenységének fontos szegmensét képezi az Elektromos Impedancia Spektroszkópia, így amellet hogy saját fejlesztésű célműszerrel rendelkezünk, saját fejlesztésű adatgyűjtési eljárást is alkalmazunk a mérések kivitelezéséhez. Ezen technikák alkalmazása a Cole-Cole modell paraméterek kinyerését hatékonyabb és robosztusabb módon teszi lehetővé. Jelen cikkünkben egy kísérleti mérés során kívánjuk bemutatni a teljes mértékben saját fejlesztésű módszerek alkalmazásának erősségeit.*

Keywords: Elektromos Impedancia Spektrum mérés, Cole-Cole modell paraméterek

1. Bevezetés

Az elektromos impedancia mérés, mint anyagvizsgálati módszer számos tudományterületen, széles körben alkalmazott technika. Az orvos – és gyógyszer tudományokon túlmenően környezetvédelmi, geofizikai, erőforrás- feltárára is alkalmas módszer alkalmazása nemcsak a geofizika, de az anyagvizsgálat szélesebb területeire, hanem az állati, emberi szövetekre, de növényi például zöldség és gyümölcs típusokra is kiterjed. A következőkben tekintsünk néhány példát.

Az indukált polarizációs módszer és a Cole-Cole modell együttes alkalmazásával leírható, hogy hogyan függ a felszíni ellenállás a geológiai közegtől. Garcia-Fiscals és Flores cikkükben (S. García-Fiscal et. al, 2018) a modell paramétereinek pontosítását más geoelektromos mérési (spektrális és frekvenciatartománybeli indukált polarizációs, valamint tranziens elektromágneses) módszerekkel történő kombinálással igyekeztek megvalósítani. Ezen módszer segítségével a többretegű talajstruktúrák, valamint azok térbeli eloszlása is leírható (ZX. Li et. al, 2019).

Növényi szövetekkel kapcsolatos kutatás során gyümölcsmintákból nyerik ki az impedancia adatokat (B.J. Maundy et. al, 2015). Ebben az esetben, egy aktív hálózati áramkör segítségével kalibrálják a Cole-Cole modellt a paraméterek meghatározásához, és ezt követően hasonlítják összetöbb mérési technika segítségével a kapott eredményeket. Almamintákkal folytatott kísérletek során a különböző impedancia értékeket más-más frekvencián rögzítették és a Cole-Cole modell ismeretlen paramétereit az ún. Flower Pollination Algorithm (FPA) segítségével határozták meg (S. Kapoulea et. al, 2019).

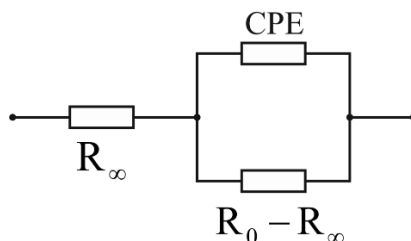
Állati és emberi szövetek vizsgálata esetében a technika segítségével számszerűsítik a szövet bizonyos ingerre adott ellenállását (T. J. Freeborn, 2018). Áramkör modellek segítségével megjeleníthetők ezen szövetek közti ellenállásainak a különbsége. A különbségeket, a relaxációs idők eloszlása közti eltéréssel is ki tudják mutatni (R. G. Ramírez-Chavarría et. al, 2018). Izomszövetek vizsgálata során, például erő kifejtés előtt, illetve után, már más impedanciával rendelkeznek a bicepsz izomszövetéből származó elvezetett értékek (T. J. Freeborn et. al, 2019). Továbbá, különböző impedanciával rendelkeznek a daganatos és az egészséges emlőszövetek is (H. Song et. al, 2018). A szövetek életkorával is összefüggésbe hozható az impedancia változások (A. Peyman et. al, 2010). A diagnosztikában, képalkotásban pontosító szerepet tölt be a Cole-Cole modell alkalmazása (T. Rydholm et al, 2017). A vér impedanciájának vizsgálatával, a vörösvértestek megfigyelésével, a vérrögképződés monitorozására nyílik lehetőség (D. Nguyen et, al, 2017), valamint adott emberi szövet helyettesítésére szolgáló mesterséges szövetek

kialakításánál is jelentős szerepet tölt be, hogy az pontosan megegyezzen az emberi szövet elektromos tulajdonságaival és így reprodukálhatóvá válhasson ezáltal (M. E. Fouda et. al, 2018).

A Cole-Cole modell, így tehát számos kutatási területen hasznos, viszont az anyagjellemzőkre utaló paramétereinek kinyerésére a mai napig nem alakult ki egységes mérésiértékelő eljárása. Így a technika alkalmazása esetében ezen adatok kinyerése jelenti a legnagyobb bizonytalanságot. A legegyszerűbb, empirikus módszerek megjelenésén (K. Sasaki et. al, 2014) túl, néhány területen két méréses megoldást véltek találni a problémára, Wien-hidas oszcillátor segítségével (C. Vastarouchas et. al, 2019). Különböző algoritmusok bevezetésével is kiértékelhetőek a Cole-Cole impedancia adatok (pl.: FPA, Moth-flame Optimization Algorithm, stb. (D. A. Yousri et. at, 2017)), továbbá vizsgálják még a különböző elektróda elhelyezések és a paraméterek változása közti összefüggéseket is (T. J. Freeborn et. al, 2016). Sztochasztikus módszerekkel (pl. Markovchain Monte Carlo Method) is igyekeznek sikeresen kinyerni a paraméterek mediánját és ezt követően determinisztikusan (Gauss-Newton módszer) megbecsülni a paraméterek értékeit (J. Chen et. al, 2008). A sztochasztikus módszerek tárházából a Bayes-i megközelítést is megpróbálták alkalmazni Cole-Cole paraméterek kinyerésére (A. Ghorbani et. al, 2007). A szakirodalomban a probléma nehézségére utal a maradvány impedancia kérdése is, amely figyelmen kívül hagyása pontatlan mérést eredményez (BoFu et. al, 2019). Ugyanis, a korábban említett technikák nem teljesen pontos eredményt hoznak. 2014-ben mutattak be egy programcsomagot, amelyet különböző elektromos impedancia spektroszkópia területén felmerülő matematikai modellek kiértékelésére készítettek (C. Grosse, 2014).

2. A Cole-Cole modell

A Cole-Cole modell elektromos RC-kapcsolás analógiát kihasználó, nem-lineáris modell. A sokfrekvenciás elektromos impedancia méréséknél a modelltől és a kapott adatokból egymással jól illeszkedő függvényt kapunk. A modell elektronikai megfelelőjét a következő (2.1. ábra) szemlélteti:



2.1. ábra: Cole-Cole modell biológiai mérések esetében

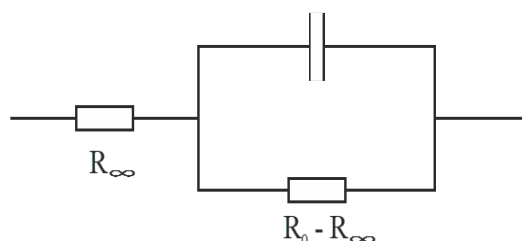
A 2.1. ábrán látszik, hogy megjelenik benne a mért elektrolit diffúziós jelenségeit figyelembe vevő, nem-lineáris, ekvivalens áramköri elem (constant phase element, (CPE)) és ezen kívül két ellenállás: R_∞ és $R_0 - R_\infty$. Itt a 0 index a DC-n mért ellenállást, míg a ∞ a végtelen frekvencián mért ellenállást jelenti. A kapcsolás impedanciájának matematikai reprezentációját a következő komplex függvény jelenti:

$$Z(j\omega) = R_\infty + \frac{R_0 - R_\infty}{1 + (j\omega\tau)^\alpha} \quad (2.1)$$

Amennyiben a $\alpha \neq 1$, egy igen nehéz matematikai problémával állunk szemben, amely alkalmazására – az előző fejezetben is bemutatott módon – a tudomány jelenlegi álláspontja szerint nem áll még rendelkezésre egységes technika.

3. A kísérlethez használt anyagok és módszerek

A Cole-Cole modell paramétereinek bemutatására egy passzív, lineáris hálózatot állítottunk össze, amely esetében $\alpha = 1$ helyettesítéssel a CPE egész egyszerűen egy kondenzátorra egyszerűsödik. A testméréshez összeállított kapcsolás a következő:



3.1. ábra: A Cole-Cole modellből $\alpha = 1$ helyettesítéssel kapott lineáris modell (Debye modell)

Az RC tag paramétereinek a következők: $R_{\infty} = 1$ kOhm, $R_0 - R_{\infty} = 10$ kOhm, valamint a kondenzátor értéke $C = 1\mu\text{F}$. Az ellenállások ultraprecíz ellenállások kisebb, mint 2 ppm termikus koefficienssel és 1 % toleranciával. A kondenzátor toleranciája 5 %, valamint a hőmérséklet koefficiense 200 ppm/°C.

3.1. Az alkalmazott mérőrendszer

A kísérletet egy saját fejlesztésű többfunkciós műszerrel hajtottuk végre, amely felhasználható EIS és EIT mérésekre is. A műszer (Vízvari et al, 2019) képes impedancia, impedancia spektrumok és Fast Fourier-transzformációs (FFT) spektrumok mérésére az összes csatornán. A gerjesztés monokromatikus szinuszos hullám, 1 mHz és 100 kHz közötti frekvenciatartományban, a teljes harmonikus torzítás + zaj (THD + N) nagyobb, mint 100 dB. A maximális zajszint a 0,1 Hz – 40 kHz frekvenciatartományban 150 fA eff az áramnál, míg 1,5 μV eff a feszültségnél. Az alkalmazható gerjesztések tartománya 110 dB mind az áramgenerátor, mind a feszültséggenerátor esetén, maximális értékük 10 mA csúcsról csúcsig, 10 V csúcsról csúcsig. A jeleket a vevőegység digitalizálja a 24 bites Analog-Digital (AD) átalakítókat használva, és dolgozza fel őket a számítógép által vezérelt digitális platformon. A pontos impedancia számítások során (48 bites felbontás mind a valós, mind a képzetes összetevőnél) a jelmanipulációkkal és a paraméter kinyeréssel kapcsolatos összes műveletet a digitális tartományban hajtjuk végre. A berendezés egyik legfontosabb érzékenységi jellemzője az 1 ppm pontosság és az amplitúdó 0,01 ° pontossága. A 3.2. ábra a sajátfejlesztésű műszert ábrázolja.

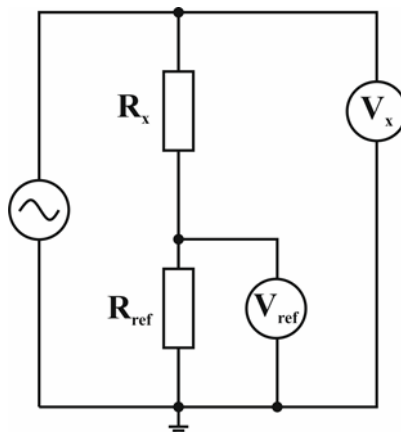


3.2. ábra: A mérőrendszer

A teljes mérési eljárást az ESIM (Embedded System for Impedance Measurement) PC-szoftver hajtja végre. Az ESIM az eredményeket megjeleníti a képernyőn, és képes minden mérési adatot a Secure Digital (SD) kártyára vagy a merevlemez-meghajtóra (HDD) menteni. A mérőrendszer PC nélkül is képes működni.

3.2. Az alkalmazott adatgyűjtési és kiértékelési módszerek

A 3.3. Ábrán bemutatott tesztáramkör mérésével statisztikai becslést lehet készíteni a rendszer pontosságáról és az adatértékelési módszerről a mért értékek relatív hibájának (e), a korrelációs hatékonyságnak (R^2) és a modellillesztési folyamat Khi-négyszet érték (χ^2) segítségével.



3.3. ábra: Passzív próbaáramkör (R_x jelöli a mért Debye-modell áramkört)

A saját fejlesztésű impedancia mérési technika előnyeinek vizsgálatára a 3.3. ábrán bemutatott próba elrendezést alkalmaztuk (Vizvari et al, 2019). A szabadalmaztatott módszer szerint az R_x kiszámítása az alábbi képlettel történik:

$$R_x = R_{ref} \cdot \frac{V_x - V_{ref}}{V_{ref}} \quad (3.1)$$

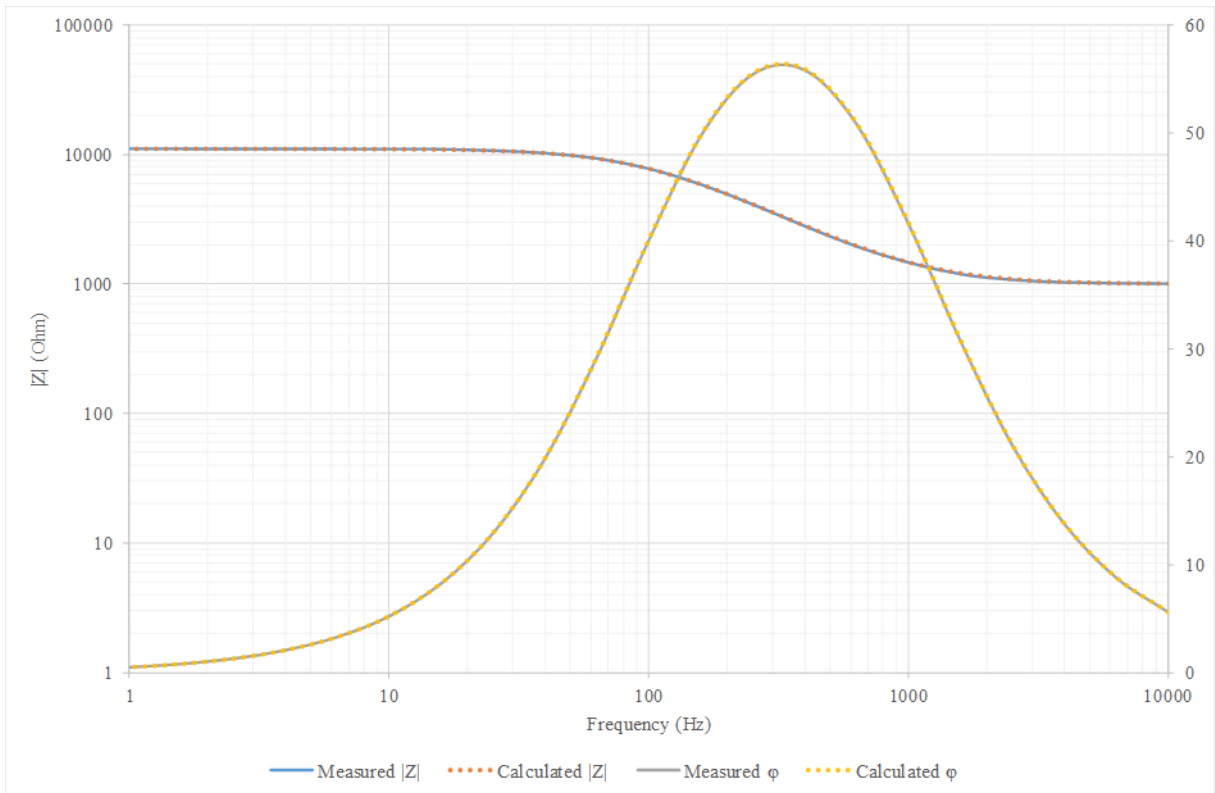
1 Hz és 100 kHz közötti frekvencia tartományban, 100 mérési pontban 1 másodperces átlagolási idővel rögzítettük a nyers mérési adatokat. A mért frekvencia-impedancia adatpárok értékeléséhez Levenberg-Marquardt alapú módszerrel, egy nemlineáris optimalizálási algoritmust dolgoztunk ki a MatLab program segítségével.

4. Eredmények ismertetése

Ezek az eredmények bizonyítják a berendezés képességeit és hatékonyságát, valamint az adatgyűjtési módszert is. Az impedancia (R_x) értékének hibája két összetevőből áll: az analóg mérési csatornák állandó hibája és az ellenállás toleranciája. Az impedancia abszolút értékének (Z) és fázisának (φ) relatív hibái a következő képletek szerint adhatók meg:

$$e_Z = 100 \cdot \frac{Z_i - Z}{Z}, \quad e_\varphi = 100 \cdot \frac{\varphi_i - \varphi}{\varphi} \quad (4.1)$$

ahol e_Z és e_φ a relatív hibák (%), Z_i és φ_i az i -edik csatornának megfelelő mért értékek ($i = 1, \dots, 8$), míg Z a nagyság és φ az impedancia fázisa (az (2.1) egyenlet alapján számított elméleti érték, míg $\alpha = 1$). Az EIS mérés eredményeit a 4.1. Ábra szemlélteti. Az impedancia nagyságának maximális relatív hibája (a mérés teljes frekvenciatartományára kiszámítva) 0,83%. A mért fázisértékeknél a maximális relatív hiba 0,42%.



4.1. ábra: EIS mérési eredmények a próba áramkörben (Fig. 3.3)

A 4.1. Táblázat a MatLab illesztési algoritmus eredményeit mutatja. A kinyert modellparaméterek relatív hibája kisebb, mint a passzív összetevők toleranciája.

Component name	Theoretical value	Extracted value	Relative error (%)
R_{∞} (Ohm)	1 000	1004	0,4
$R_0 - R_{\infty}$ (Ohm)	10 000	9 926	0,74
α (-)	1	0,9999	0,01
τ (sec)	0,01	0,01023	2,3

4.1. táblázat: Az extrahált modellparaméterek az elméleti értékekhez viszonyítva

Az illeszkedés jóságát R^2 érték, 0,9999, és χ^2 értékének 0,32 között mértük. Ez megmutatja a saját fejlesztésű mérési rendszer, az adat rögzítés és az értékelés kiemelkedő tulajdonságait.

5. Összefoglalás

A cikkben bemutatásra kerül egy, az EIS mérésekhez széles körben alkalmazott matematikai modell. Mindamelltt, hogy nagy igény van az előzőekben említett Cole-Cole modell alkalmazására, számos módszer található a modell paramétereinek értékelésére, illesztésére és kinyerésére. E célból egy saját fejlesztésű, komplex elektromos impedancia spektroszkópiás adatrögzítési és értékelési eljárást vezetünk be. A bemutatott módszer magában foglalja a javasolt mérési eljárás minden szükséges elemét a mért adatok vizsgálatához, megjelenítéséhez, összegyűjtéséhez és kiértékeléséhez. A spektroszkópiás képességek és a javasolt módszerek tulajdonságainak bemutatására egy vizsgálóáramkört készítettünk. Az ezen áramkörökön végzett teszteredmények bizonyítják a rendszer pontosságát és megbízhatóságát. A

tesztmérések esetén mért hiba kisebb volt, mint a beépített ellenállások és kondenzátorok tűrése. A kutatás jövőbeni célja az, hogy lehetővé tegye konkrét alkalmazását e módszer jellemzőinek felhasználásával.

5. 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 valósul meg.

6 Hivatkozások

A. Ghorbani, C. Camerlynck, N. Florsch, P. Cosenza and A. Revil (2007) “Bayesian inference of the Cole–Cole parameters from time- and frequency-domain induced polarization”, *Geophysical prospecting*, 55, 589-605.

A. Peyman, C. Gabriel (2010) “Cole–Cole parameters for the dielectric properties of porcine tissues as a function of age at microwave frequencies”, *Institute of Physics and Engineering in Medicine, Physics in Medicine & Biology*, 55, 15.

BoFu, T. J. Freeborn (2019) “Residual impedance effect on emulated bioimpedance measurements using Keysight E4990A precision impedance analyzer”, *Measurement*, 134, 468-479.

B.J. Maundy, A.S. Elwakil, A. Allagui (2015), “Extracting the parameters of the single-dispersion Cole bioimpedance model using a magnitude-only method”, *Computers and Electronics in Agriculture*, 119, 153-157.

C. Grosse (2014) “A program for the fitting of Debye, Cole–Cole, Cole–Davidson, and Havriliak–Negami dispersions to dielectric data”, *Journal of Colloid and Interface Science*, 419, 102-106.

C. Vastarouchas, C. Psychalinos, A. S. Elwakil, A. A. Al-Ali (2019) “Novel two-measurements-only Cole-Cole bio-impedance parameters extraction technique”, *Measurement*, 131, 394-399.

D. A. Yousri, A. M. Abdel, A. Lobna, A. Said, A. A. Bakr, A. G. Radwan (2017) “Biological inspired optimization algorithms for cole-impedance parameters identification”, *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, 78, 79-89.

D. N. Huu, D. Kikuchi, O. Maruyama, A. Sapkota, M. Takei (2017) “Cole-Cole analysis of thrombus formation in an extracorporeal blood flow circulation using electrical measurement”, *Flow Measurement and Instrumentation*, 53, Part A, 172-179.

García-Fiscal S., Flores C. (2018), “Sensitivity of galvanic and inductive Induced Polarization methods to the Cole-Cole parameters”, *Journal of Applied Geophysics*, 158, 1-10.

H. Song, H. Sato, T. Koide, K. Arihiro, M. Okada, T. Kadoya, T. Kikkawa (2018) Breast Tumor Tissues Classification using the Modified Cole–Cole Parameters with Machine Learning Technique, *Res. Inst. for Nanodevice & Bio Syst., Hiroshima Univ., Higashihiroshima, Japan*

J. Chen, A. Kemna, S. S Hubbard (2008) “A comparison between Gauss-Newton and Markov-chain Monte Carlo–based methods for inverting spectral induced-polarization data for Cole-Cole parameters”, *GEOPHYSICS*, 73, 6.

K. Sasaki, K. Wake, S. Watanabe (2014) "Development of best fit Cole-Cole parameters for measurement data from biological tissues and organs between 1 MHz and 20 GHz", *Radio Science*, 49, 7.

M. E. Fouda, A. E. Khorshid, I. Alquaydheb, A. Eltawil, F. Kurdahi (2018) Extracting the Cole-Cole Model Parameters of Tissue-mimicking Materials, *IEEE, 2018 IEEE Biomedical Circuits and Systems Conference (BioCAS)*

Metallized polyester film capacitor d.c. multipurpose applications, Kemet (Formerly Arcotronics) Distributor, R82 Series, 2016.

Pollack Periodica cikk

Patent P1500616, K. Borbás, T. Kiss, M. Klincsik, Z. Kvasznicza, K. Máthé, Cs. Vér., Z. Vizvári, P. Odry (2015) Process and measuring system for data acquisition and processing in soft-tomography studies (in Hungarian)

Richard C. Aster Brian Borchers Clifford H. Thurber (2018) *Parameter Estimation and Inverse Problems*, 3rd Edition, Elsevier (ISBN: 9780128046517)

R.G.Ramírez-Chavarría, C.Sánchez-Pérez, D.Matatagui, N.Qureshi, A.Pérez-García, J.Hernández-Ruiz (2018), "Ex-vivo biological tissue differentiation by the Distribution of Relaxation Times method applied to Electrical Impedance Spectroscopy", *Electrochimica Acta*, 276, 214-222.

S. Kapoulea, A. M. AbdelAty, A. S. Elwakil, C. Psychalinos, A. G. Radwan (2019) "Cole-Cole Bio-Impedance Parameters Extraction From a Single Time-Domain Measurement", *IEEE 2019 8th International Conference on Modern Circuits and Systems Technologies (MOCAST)*

T. J. Freeborn, A. S. Elwakil, B. Maundy (2016) Variability of Cole-model bioimpedance parameters using magnitude-only measurements of apples from a two-electrode configuration, S507-S519.

T. J. Freeborn, BoFu (2019) "Time-course bicep tissue bio-impedance changes throughout a fatiguing exercise protocol", *Medical Engineering & Physics*, 69, 109-115.

T. J. Freeborn (2018) Chapter 7 – Bioimpedance: Analysis Using Fractional-Order Equivalent Electrical Circuits, *Fractional Order Systems, Optimization, Control, Circuit Realizations and Applications, Advances in Nonlinear Dynamics and Chaos (ANDC)*, 205-237.

T. Rydholm, A. Fhager, M. Persson, P. M. Meaney (2017) 11th European Conference on Antennas and Propagation (EUCAP), Microwave tomographic image improvement by fitting to a Cole-Cole relaxation model, *IEEE*

Z-X. Li, S-W. Rao (2019), "Estimation of frequency domain soil parameters of horizontally multilayered earth by using Cole–Cole model based on the parallel genetic algorithm" *IET*, 13, 1746-1754.

UPR resistors Token Passive Components Ltd. <http://www.4-direct.com/pdf/resistor-ppm/ultra-precision-resistor-upr.pdf>, (last visited 20 August 2016).

Z. Vizvari, T. Kiss, Cs. Ver, M. Klincsik, Z. Sari, K. Mathe, B. Kuljic, F. Henezi, P. Odry: "A multi-channel electrical impedance meter based on digital lock-in technology"; *Pollack Periodica*; (accepted) 2019.

S04 Szekció 4

A BIOLÓGZÁS LEHETŐSÉGEI ÉS KORLÁTAI AZ ELEKTRONIKAI HULLADÉKOK FELDOLGOZÁSA TERÉN

Bokányi Ljudmilla, Varga Terézia, Mádainé Üveges Valéria
Miskolci Egyetem, Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet

A BASIC ANALYSIS FOR DESIGNING THE TREATMENT OF SOLID-STATE DRIVE (SSD) WASTE

Fadhil Muhammad Faisal, Romenda Roland Róbert, Papné Halyag Nóra, Nagy Sándor
Institute of Raw Material Preparation and Environmental Processing

RECENT OVERVIEW ON RECHARGEABLE AQUEOUS BATTERIES

Tahir Chenar Ali ¹, Csóka Levente ²
¹ *Institute of Wood Based Products and Technologies;* ² *Institute of Cellulose and Paper Technology, Celltech-paper Ltd.*

KÍSÉRLETEK KOMMUNÁLIS HULLADÉKOK BIOFRAKCIÓJÁNAK ENERGETIKAI HASZNOSÍTÁSÁRA

Romenda Roland Róbert ¹, Nagy Zoltán ², Szűcs István ³, Agatics Roland ⁴, Csöke Barnabás ¹
¹ *Miskolci Egyetem, Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet;* ² *3B Hungária Kft.;* ³ *Miskolci Egyetem, Energia- és Minőségügyi Intézet;* ⁴ *VERTIKÁL Nonprofit Zrt.*

FERROMANGÁN SALAK ÓRLÉSKINETIKAI VIZSGÁLATA ÉS GEOPOLIMERIZÁCIÓS ALAPVIZSGÁLATA

Papné Halyag Nóra ¹, Sisol Martin ², Mucsi Gábor ¹
¹ *Miskolci Egyetem - Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet;* ² *Technical University of Košice - Faculty of Mining, Ecology, Process Control and Geotechnologies*

HATÉKONYSÁG ORIENTÁLT SZEMLELET A GAZDASÁGI NÖVEKEDÉS ÉRDEKÉBEN

Kornfeld Zsuzsanna
Soproni Egyetem Géptani Intézet

MOBILTELEFONOKBÓL SZÁRMAZÓ LÍTIUM-ION AKKUMULÁTOROK FELÉPÍTÉSÉNEK ÉS APRÍTHATÓSÁGÁNAK VIZSGÁLATA

Orosz Kinga Andrea, Romenda Roland, Mádainé Üveges Valéria, Nagy Sándor
Miskolci Egyetem, Nyersanyagelőkészítési és Környezet Eljárástechnikai Intézet

ELECTRICAL AND ELECTRONIC PARTS IN END OF LIFE BUSESSES

Oláh Tamás ¹, Nagy Sándor ¹, Csöke Barnabás ¹, Chrabák Péter ², István Zsolt ², Lukács Pál ³
¹ *Institute of Raw Material Preparation and Environmental Processing University of Miskolc, Miskolc Egyetemváros;* ² *Bay Zoltán Nonprofit Ltd. for Applied Research Miskolc;* ³ *John von Neumann University, Kecskemét*

A BIOLÚGZÁS LEHETŐSÉGEI ÉS KORLÁTAI AZ ELEKTRONIKAI HULLADÉKOK FELDOLGOZÁSA TERÉN

Bokányi Ljudmilla, Varga Terézia, Mádainé Üveges Valéria¹

Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet

Miskolci Egyetem

3515 Miskolc, Egyetemváros

¹ejtmuva@uni-miskolc.hu

Absztrakt: Az e-hulladékban nagy tömeghányadot képviselő fémek - mint a réz, a vas és az alumínium, stb. - mellett, az úgynevezett kritikus elemek visszanyerhetőségének vizsgálata különösképpen is a fókuszba került az utóbbi évtizedben, így az LCD kijelzők indium tartalmának, vagy a LED-ek indium és gallium tartalmának kinyerése is megoldandó feladattá vált a 100 mg/kg-os nagyságrendű csekély alkotórész tartalmuk ellenére. Számos kutatási eredmény – többek között a mi kutatóműhelyünk eredményei is - bizonyítják ezen fémek kémiai úton történő kinyerhetőségét. Ugyanakkor a környezetbarátnak mondható, a megújuló mikroorganizmusok segítségével történő szolubilizálás terén van sok tisztázandó kérdés, amely számos kutatási feladatot fogalmaz meg számunkra.

A cikkben szakirodalmi adatok alapján bemutatjuk a biológus terén elért legújabb eredményeket az elektronikai hulladékok kritikus elemtartalmának, különösképpen az indium kioldásának vonatkozásában. Ennek tükrében beszámolunk az *Acidithiobacillus ferrooxidans* autotróf baktériummal LCD paneleken végzett kioldási kísérleteink legújabb eredményéről. A kapott kísérleti eredményeket elemezzük termodinamikai-reakciókinetikai, valamint eljárástechnikai szempontból is, majd fontos következtetéseket vonunk le.

Kulcsszavak: biológus, *A. ferrooxidans*, LCD, indium

1. Bevezetés

Az Európai Bizottság 2013-ban 96%-osnak és áthidalandónak ítélte az EU importfüggőségét a high-tech fémek vonatkozásában. Tekintettel arra, hogy ezen fémek széles skálája megtalálható az elektronikai cikkekben, az utóbbi évtizedben egyre nőtt az elektronikai hulladékok újrahasznosítását célzó kutatások száma és megfigyelhető az a tendencia, hogy az e-hulladékban nagy tömeghányadot képviselő fémek - mint a réz, a vas és az alumínium, stb. - mellett, az úgynevezett kritikus elemek visszanyerhetőségének vizsgálata különösképpen is a fókuszba került.

A kritikus elemekről kiadott legutóbbi, 2017-es lista szerint jelenleg 27 nyersanyag került azonosításra, amelyek gazdasági szempontból kiemelten fontosak és/vagy az elérhetőségük kérdéses, de legalábbis kockázatot hordoz a jövőre nézve. Az úgynevezett high-tech fémek, kiemelten a Rf, Sc, In, Ga is szerepelnek a listán, tehát ezen fémek esetén különösen is fontos annak kutatása, hogyan nyerhetők vissza különböző hulladékokból. A Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézetben is egyre hangsúlyosabb kutatási területté vált az elektronikai és elektromos hulladékok újrahasznosítása. A különböző típusú akkumulátorok, NYÁK lapok, háttértárak, fényszórók mellett az LCD kijelzők is vizsgálat tárgyát képezik. Az LCD kijelzős készülékekben alkalmazott panel egy ITO réteggel bevont üveg szubsztrátot tartalmaz, mely ITO réteg összetételét tekintve 80-90% In₂O₃ és 10-20% SnO₂ keverékből áll (Faitli et. al., 2014). Az LCD panelben így átlagosan 130mg/kg indium található, mely

indium mennyisége függ a kijelző eredetétől, pl. laptopok kijelzőjében jellemzően magasabb indiumtartalom található (Jowkar et al., (2018).

Az elektronikai hulladékok fémtartalmának kinyerésére alkalmas eljárás a bioszolubilizálás, melynek során szilárd fázisú komponensek oldatba vitele történik mikroorganizmusok segítségével. Alapvetően a mikroorganizmusok 3 csoportja alkalmas erre a feladatra: az autotróf acidofil baktériumok (*Acidithiobacillus ferrooxidans*, *A. Thiooxidans*), bizonyos gombák (pl. *Aspergillus niger*) és a cianogén baktériumok (pl. *Chromobacterium violaceum*). Az alábbi 1. táblázatban néhány, az elektronikai hulladék biológusával foglalkozó tanulmány eredménye látható összefoglalva. Az *Acidithiobacillus ferrooxidans* és *A. thiooxidans* elektronikai hulladékon, különösképpen LCD panelen való alkalmazása még nagyon újkeletű. Az irodalmi adatok alapján megállapítható, hogy a ferrooxidans önmagában kevésbé alkalmas, mint a thiooxidans. A bemutatott vizsgálatok zöme 30°C-os hőmérsékleten, 14-30 nap időtartamig futó biológusai kísérletekről számolt be. Jellemzően a szilárd/folyadék arányt alacsonyan kell tartani, mert az e-hulladék komplex összetétele révén toxikus lehet a mikroorganizmusok számára, még hosszadalmas adaptálást követően is.

1. TÁBLÁZAT: ELEKTRONIKAI HULLADÉKOK BIOSZOLUBILIZÁLÁSI KÍSÉRLETEINEK EREDMÉNYEI A SZAKIRODALOM SZERINT

Hulladék	Mikroorganizmus	T (°C)	pH	Szilárd anyag koncentráció (g:ml)	Fém kioldás (%)	Ref.
NYÁK	<i>Pseudomonas Chlororaphis</i>	25	7	4:25	Au:8,2; Ag:12,1; Cu:52,3	Ruan et al, 2014
E-hulladék	<i>Chromobacterium violaceum</i>	30	9-10	0,5-4:100	Au:18-22,5	Natarajan és Ting, 2014
E-hulladék	<i>Aspergillus niger</i> , <i>Penicillium simplicissium</i>	30	6-7	5-10:1000	Cu:65; Sn:65; Al>95; Ni>95; Zn>95	Brandl et al., 2001
NYÁK	<i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i>	30	2,25	1:20	Cu:95,4	Chen et al., 2015
LED	<i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i> által termelt Fe ³⁺	29	2	2:100	Ga:84; Cu:83; Ni:97	Pourhossein és Mousavi, 2019
LCD	<i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i> és <i>A. thiooxidans</i>	30	1,9	2,5:100	In:55,6	Willner et al, 2018
LCD	<i>Acidithiobacillus thiooxidans</i> (adaptált)	30	2,6	1,6:100	In:100	Jowkar et al, 2018

Jelen tanulmányban TV készülékekből származó, mechanikai úton előkészített LCD paneleken végzett, az indium kinyerésére irányuló bioszolubilizálási kísérletek eredményének értékelésén keresztül mutatjuk be a biológusai eljárásban rejlő lehetőségeket, emellett rávilágítunk azokra a korlátozó tényezőkre, amelyek az *Acidithiobacillus ferrooxidans* faj alkalmazása során fellépnek.

2. Kísérleti körülmények

A bioszolubilizálási kísérletekhez előzetesen mechanikai előkezelésen átesett, a polarizáló fóliát és folyadék-kristályt nem tartalmazó, 5mm-es szemcseméretűre aprított hulladékpanelt használtunk, amely különböző típusú és évjáratú hulladék TV készülékekből származott. ICP-OES mérési eredmények szerint ez a kiindulási minta 128mg/kg In, 77,7mg/kg Cu és 142mg/kg Sn tartalommal bírt.

Oldószerként Silverman - Lundgren (9K) tápoldatban kultivált *Acidithiobacillus ferrooxidans* baktériumfajt alkalmaztunk, két változatot, a karitast és pech-et, amelyeket Szlovákiában, de különböző helyeken izoláltak. A baktériumot a filtersterilizált, magas vas(III)-szulfát-tartalmú tápoldatban 1:9 arányú beoltást követően 6 napig statikus körülmények között kultiváltuk, majd ezt követően a kísérleteket 10g/200mL szilárd /oldószer arány tartásával, 30°C-on, folyamatos keverés mellett végeztük 14 napig Wise Cube típusú rázógépből 150rpm fordulatszámmal. Időközben pH mérés és mintavétel történt, mely mintavételek alkalmával a kivett minta mennyiségét 9K tápoldattal visszapótoltuk. A kísérletek kezdetén a pH érték 2,3 volt. Végeztünk ugyanilyen körülmények mellett vakpróbát is, amelyben az LCD mintát a baktériumot nem tartalmazó tápoldatban oldottuk. Továbbá vizsgáltuk azonos körülményű baktériumkultúra viselkedését – a rendszer pH változásán keresztül-, amennyiben a baktériumokat nem érintkeztettük a hulladékkal, tehát a tápanyagot számukra csak a tápoldat fedezte. A kinetikai vizsgálathoz vett oldatmintákat, illetve a vég-oldatokat ICP-OES-sel kémiai elemeztük, a szilárd maradékon keletkezett csapadékot Phenom ProX SEM készülékkel vizsgáltuk. Az LCD mintát tartalmazó lombikokról készült fotó látható az alábbi, 1. ábrán.



1.ÁBRA: A BIOSZOLUBILIZÁLÁS 14. NAPJÁN KÉSZÜLT FOTÓ A KARITAS, PECH ÉS VAK OLDÓSZERT (BALRÓL JOBBRA) TARTALMAZÓ LOMBIKOKRÓL

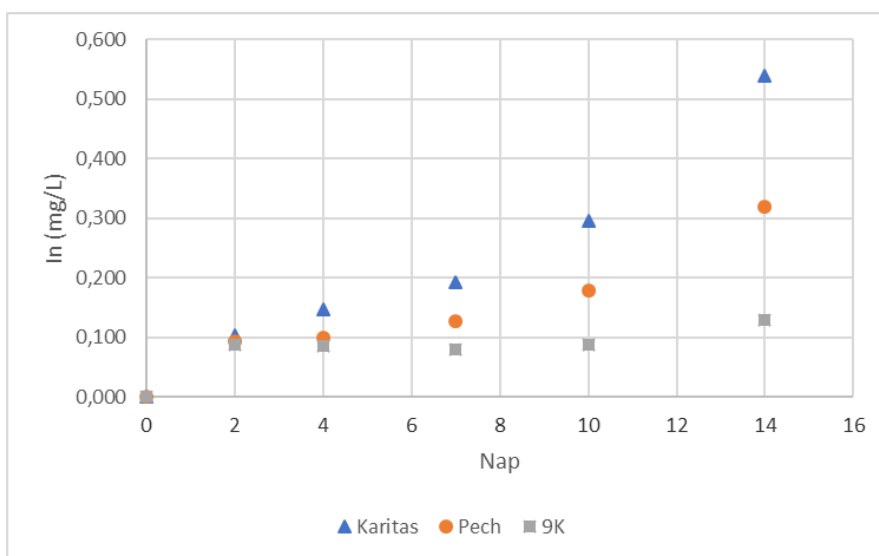
3. Eredmények bemutatása és értékelése

3.1 Oldatok kémiai összetétele

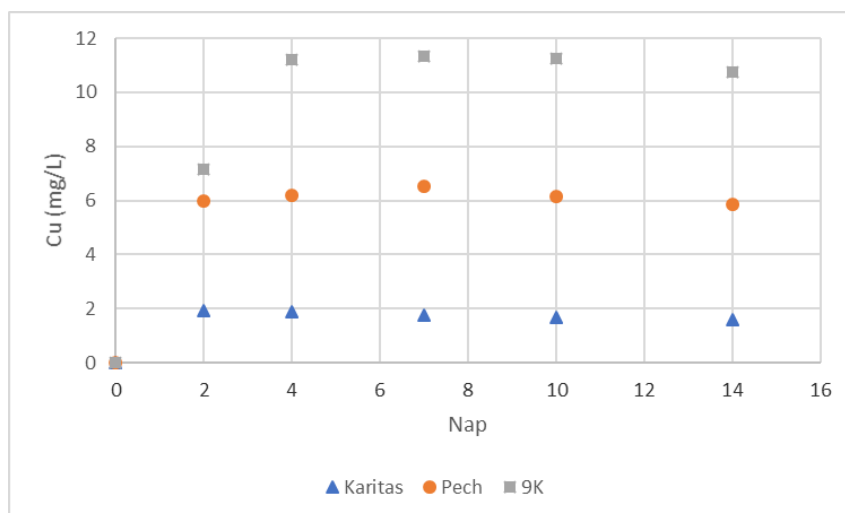
Az alábbi, 2. ábrán látható az oldatok indium koncentrációjának változása a kísérlet során. Egyértelmű különbség mutatható ki a baktériumok jelenlétében végzett kioldás és a vak (csak vas-szulfátos 9K tápoldatot tartalmazó) oldószerrel elért indium koncentrációk esetén. A két baktériumváltozat között is kimutatható különbség adódott, ugyanis a karitas változat esetében jobb eredményt értünk el, a kísérlet végén, a 14. napon a pech-hez képest közel kétszeres, ugyanakkor a vak oldószerhez képest, ahol tisztán kémiai kioldásról beszélhetünk, négyszeres indiumkoncentráció jellemezte a karitas baktériummal kultivált oldatot.

Az értékes, közönséges fémek közül a réz oldódásának eredményét mutatjuk be a 3. ábrán. Látható, hogy míg az indium oldódását kedvezően befolyásolta a baktériumok jelenléte, a réz esetén a tisztán kémiai kioldás sikeresebbnek bizonyult. Tekintettel arra, hogy az oldás során az átbocsájtott anyagmennyiséget a koncentráció gradiense és a tartózkodási idő mellett a kontakt felület is befolyásolja, ez esetben úgy véljük, hogy a mintában jelenlévő réz nem elérhető a baktériumok számára, feltehetőleg amiatt, hogy az

érintkezőként használt réz lakk vagy fólia védőréteggel lehet bevonva, amely egyrészt akadályozza a baktériumok megtelepedését, másrészt inhibitorként funkcionál.

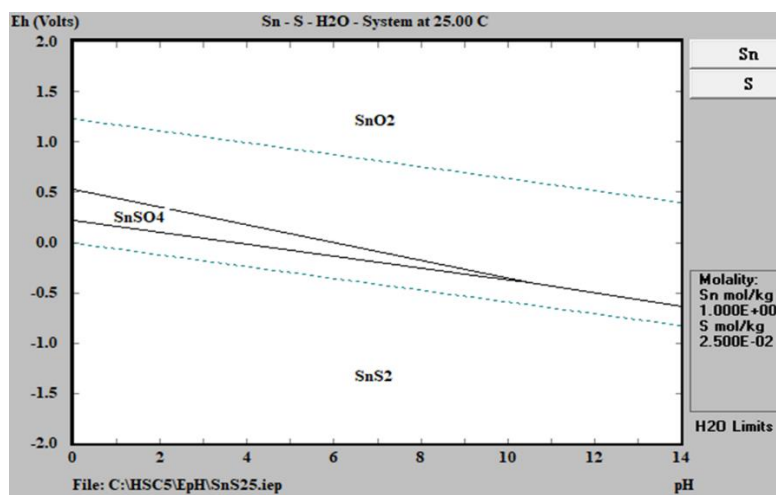


2. ÁBRA: OLDATOKBAN MÉRT INDIUM KONCENTRÁCIÓ VÁLTOZÁSA A BIOSZOLUBILIZÁLÁSI KÍSÉRLET SORÁN



3. ÁBRA: OLDATOKBAN MÉRT RÉZ KONCENTRÁCIÓ VÁLTOZÁSA A BIOSZOLUBILIZÁLÁSI KÍSÉRLET SORÁN

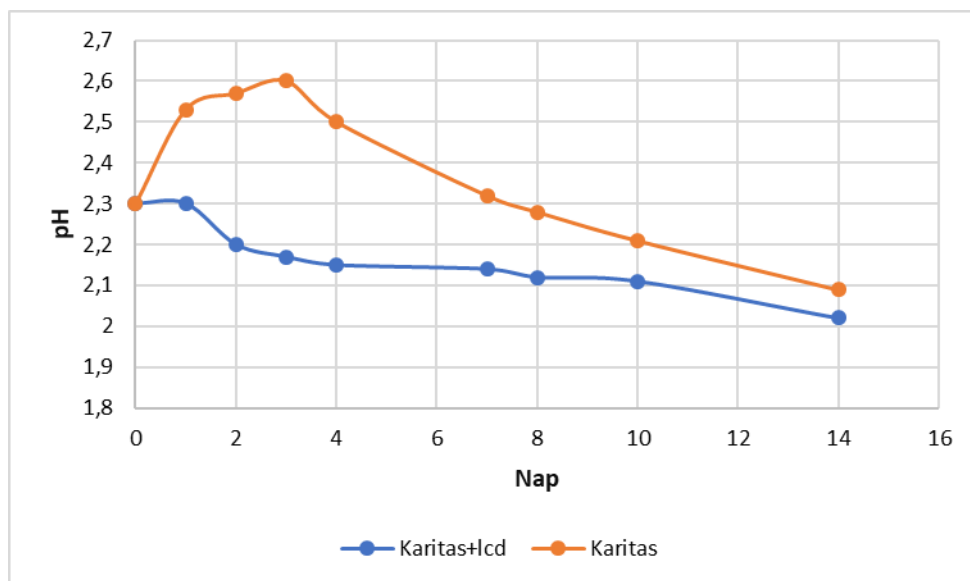
Megvizsgáltuk az ón oldódását is a fent nevezett oldószerekben, azonban csekély mértékű oldódást tapasztaltunk, amely kvázi nem változott idő függvényében és nem volt értékelhető különbség a vak és a baktériummal oltott oldószer esetében sem. Erre a jelenségre magyarázattal szolgál, ha megvizsgáljuk a rendszerre jellemző, 4. ábrán szemléltetett Pourbaix-diagramot. Az oldatokban az elektródpotenciál 2,5V feletti értéket mutatott, mely értékeknél az ón-oxid fázis stabilis, tehát az ITO rétegről annak leoldódása nem is várható.



4. ÁBRA: POURBAIX DIAGRAM ÓN-OXIDRA VONATKOZÓAN

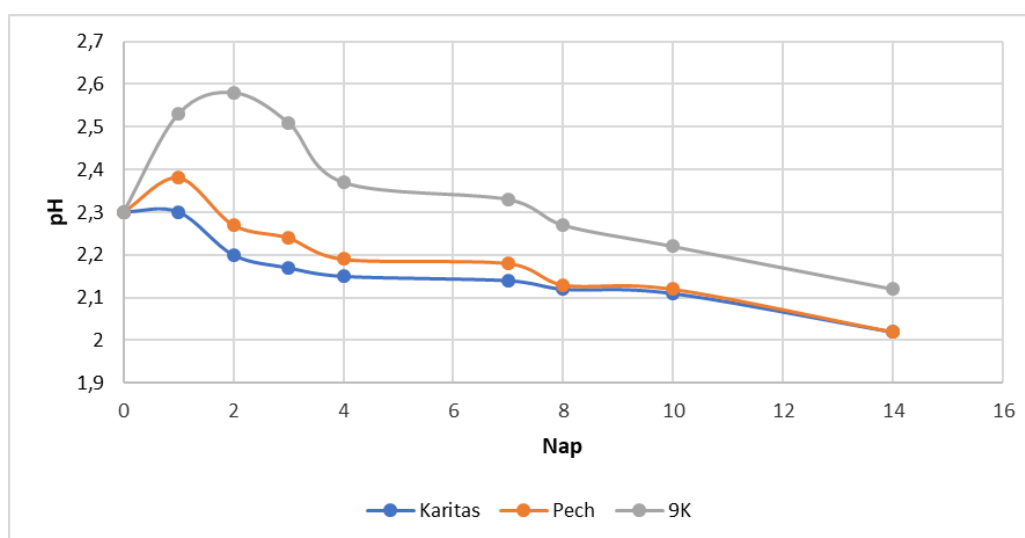
3.2 pH változás

A kísérletek során mért pH érték változást az alábbi, 5. és 6. ábrákon szemléltetjük. Látható, hogy az *Acidithiobacillus ferrooxidans* karitas baktériumok szaporodása során, a vas-szulfátos táplevesben a pH csökkenése figyelhető meg, általában egy kezdeti 2-3 napos adaptációs szakaszt követően. Ez a kezdeti pH növekedés betudható egyrészt annak, hogy miközben a baktérium a Fe^{2+} ionokat bio-oxidálja Fe^{3+} ionokká, protont használ fel, ami a pH érték növeléséhez vezet. Majd 2-3 napos szaporodást követően a pH csökkenésnek indul, mivel akkorra a Fe^{3+} hidrolizál az oldószerben és így H^+ szabadul fel. Amennyiben a hulladékot is hozzáadtuk ehhez a beoltott tápoldathoz, látható, hogy a pH érték időben korábban bekövetkező csökkenése következett be annak ellenére, hogy a hulladék eredendően lúgosító hatással van a rendszerre. Feltehetőleg az LCD hulladék egyes összetevői a baktériumok számára azonnal hozzáférhető formában vannak jelen.



5. ÁBRA: KARITASSAL BEOLTOTT OLDÓSZER PH VÁLTOZÁSA

Az alábbi, 6. ábrán a beoltott és a vak oldószerezrel végzett bioszolubilizálási kísérletek során mért pH változás látható. A 9K megnevezésű, vak oldatban is pH csökkenés volt megfigyelhető, de az nem volt olyan nagymértékű, és a kezdeti stádiumban itt különösen jól megfigyelhető volt az a 4 napos átmeneti időszak, amíg a pH nőtt és nem csökkent. Az ábrából jól látszik, hogy mindkét baktérium változat tevékenysége végeredményben hasonló, a vak oldatnál gyorsabb és nagyobb pH csökkenést eredményezett.

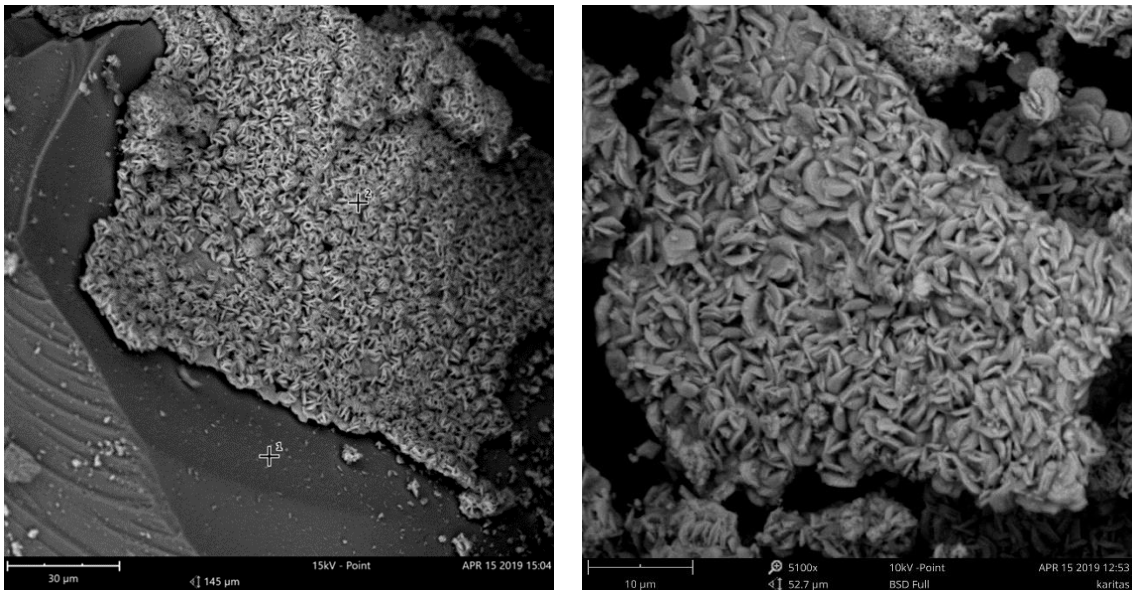


6. ÁBRA: LCD BIOSZOLUBILIZÁLÁSI KÍSÉRLETEI SORÁN AZ OLDATOKBAN MÉRT PH VÁLTOZÁS

3.3 A kísérlet során kivált csapadék jellemzése

Jin-yan et al, 2009-es cikkében beszámolt arról, hogy a *Thiobacillus ferrooxidans* jelenlétében a 9K tápoldatban mindenképpen keletkezik csapadék. Kísérleti úton kimutatta, hogy a csapadék keletkezésének mértéke 1.6-1.7 pH értéken tartás esetén a legminimálisabb, de ez esetben is 3.73g/L mennyiségre lehet számítani. A csapadékot Fe^{3+} hidroxid-szulfátok ($\text{M Fe}(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$) alkotják, ahol M-el jelölve lehet K^+ , Na^+ , NH_4^+ , Ag^+ , H_3O^+ .

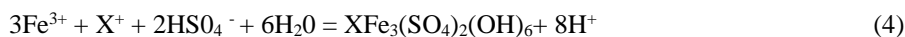
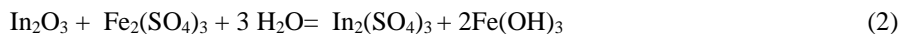
Saját méréseink alapján is igazoltuk ezt a megállapítást, és röntgenvizsgálattal megállapítottuk a csapadék összetételét egy korábbi kutatás során (Bokányi et al., 2018a). Jelen tanulmányban a karitas változattal végzett bioszolubilizálási kísérlet során keletkezett csapadék mintáról készült SEM felvételeket mutatunk be a 7. ábrán. A készülék adott pontban megadja a jellemző tömegkoncentrációt, amely szerint a csapadékban közel 60% a vas koncentrációja, emellett az oxigén, a kén és a kálium is kimutatható volt rendre 19%, 2,48% és 1,65%-os tömegkoncentráció értékkel. A bemutatott csapadék keletkezése a bioszolubilizálás során problémát okoz. Egyrészt annak leválasztását meg kell oldani, ami különösen problémás lehet, amennyiben finom szemcseméretű hulladék kezelése a cél. Másrészt korábbi, ICP analitikai vizsgálattal kimutattuk, hogy ez a frakció is tartalmazza a célkomponenseket, továbbá az LCD esetén jelentős mennyiségű stronciumot is, ami további kezelését mindenképpen szükségessé teszi és megoldandó feladat (Bokányi et al., 2018b).



7. ÁBRA: PHENOM PROX SEM-MEL KÉSZÜLT KÉPEK A MÉRÉSI PONTOKKAL: 1. PONT: AZ ÜVEG SZUBSZTRÁTON, 2. PONT A CSAPADÉKON

3.4. Szolubilizálás mechanizmusa

Az eddigi vizsgálataink szerint az indium bioszolubilizációja nem enzimekatalitikus redoxi reakció, hanem a baktériumok szerepe itt a Fe(III)-szulfát biooldószer generálása. Ez a reakció kedvezőtlen melléktermék képződésével jár, jarozitos csapadék képződéssel, amely befoglalja a kioldott In egy részét, amennyiben *A. ferrooxidans* a kultúra, az alábbi 1-4 egyenletek szerint.



4. Konklúziók

Az ITO réteg indium tartalmának kinyerésében az *Acidithiobacillus ferrooxidans* fontos szerepet játszik, ez a szerep azonban nem a redoxi reakció enzimekatalizálása, hanem a bio-oldószer generálása. A steril (csak 9K) tápoldat – noha szolubilizáló hatású – indium tekintetében lényegesen elmarad a baktériumot is tartalmazó bio-oldószer hatásától. A réz bio-szolubilizációja azonban az érintkezési felület által limitált, az ön ITO rétegről történő kioldásához pedig eredendően nem alkalmasak a kísérleti körülmények. Az azonos fajhoz tartozó két baktériumváltozat hatása között kimutatható különbség van, ezen különbség felderítésére genetikai vizsgálatot tervezünk. A jarozit csapadék keletkezése *Acidithiobacillus ferrooxidans* alkalmazása esetén elkerülhetetlen és egyértelműen negatív hatása van az In kioldására, ezért erre a feladatra az *Acidithiobacillus thiooxidans* baktérium alkalmazása előnyösebb lenne, így a vas-szulfát helyett elemi kén szolgáltatná a tápanyagot.

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.

Hivatkozások

Bokányi, L., Varga, T., (2018a): Desulphurisation of waste car tyres by bioleaching followed by flotation, Proceedings of XXIX International Mineral Processing Congress (IMPC 2018), 3063-3071

Bokányi, L., Sedlaková-Kadikova J., Mádai-Üveges, V., (2018b): Preliminary experiments on the bioleaching of indium on waste LCD panels, Proceedings of 5th. Biotechnology & Metals International Scientific Conference, pp:12-15

Brandl, H., Bosshard, R., Wegmann, M., (2001): Computer-munching microbes: metal leaching from electronic scrap by bacteria and fungi, Hydrometallurgy 59, 319-326

Chen, S., Yang, Y., Liu, C., Dong, F., Liu, B., (2015): Column bioleaching copper and its kinetics of waste printed circuit boards (WPCBs) by *Acidithiobacillus ferrooxidans*, Chemosphere 141, 162-168

Faitli, J., Magyar, T.: Az LCD kijelző felépítése, működési elve. In: Csöke B., Bokányi Lj., Faitli J., Nagy S. (szerk.) Elektronikai hulladékok előkészítése a stratégiai elemek visszanyerése érdekében. Miskolc: Milagrossa Kft., 2014. pp. 14-21.

Jin-Yan, L., Xiu-xiang, T., Pei, C. (2009): Study of formation of jarosite mediated by *thiobacillus ferrooxidans* in 9K medium, Procedia Earth and Planetary Science 1 706-712

Jowkar, M. J., Bahaloo-Horeh, N., Mousavi, S.M., Pourhossein, F., (2018): Bioleaching of indium from discarded liquid crystal displays, Journal of cleaner production, 180, 417-429

Natarajan, G. and Ting, Y.P. (2014) Pretreatment of e-waste and mutation of alkali tolerant cyanogenic bacteria promote gold biorecovery, Bioresource Technology 152, 80-85

Pourhossein, F. and Mousavi, S.M. (2019): A novel step-wise indirect bioleaching using biogenic ferric agent for enhancement recovery of valuable metals from waste light emitting diode (WLED), Journal of Hazardous Materials 378 120648

Ruan, J., Zhu, X., Quian, Y. Hu, J., (2014): A new strain for recovering precious metals from waste printed circuit boards, Waste Management 34, 901-907

Willner, J., Fornalczyk, A., Gajda, B., Saternus, M., (2018): Bioleaching of indium and tin from used LCD panels, Physicochemical Problems of Mineral Processing, 53(3) 639-645

A BASIC ANALYSIS FOR DESIGNING THE TREATMENT OF SOLID-STATE DRIVE (SSD) WASTE

MUHAMMAD FAISAL FADHIL¹, Roland Róbert Romenda¹, Nóra Papné Halyag¹, Sándor Nagy¹

¹*Institute of Raw Material Preparation and Environmental Processing
University of Miskolc, Hungary, H3515 Miskolc Egyetemváros
e-mail: mfaisalfadhil286@gmail.com*

Abstract

Waste electrical and electronic equipment (WEEE) or e-waste is electrical and electronic equipment (EEE) that becomes waste. The e-waste generation globally was 44.7 million metric tons in 2016, and only 20% of this amount is collected and recycled. Moreover, improper way of handling the WEEE also contribute to the hazard to the environment and human health and the loss of resource as it contains not only hazardous material but also a precious resource. Therefore, researches about the collection, handling, and treatment of WEEE is imperative.

This paper will focus on Solid-state drive (SSD) as it is a new technology in storing data, introduced in the late 2000s; thus, there is still little research regarding the way of handling and treating the SSD that already or will be in the waste stream. The basis data for designing an appropriate treatment of the SSD will be analyzed, such as the mass balance of the components of the SSD, material composition of the parts in the SSD, and size reduction of the SSD.

Keywords: Waste electrical and electronic equipment (WEEE), e-waste, Solid-state drive (SSD), treatment

1 Introduction

1.1 Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)

According to European Union directives on Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) (European Parliament; The Council of European Union 2012), E-waste or WEEE is an Electrical and Electronic Equipment (EEE), including all of its parts, which is discarded and becomes waste. Almost every household or business equipment with circuits or electrical components with power or battery supply is e-waste. E-waste covers six waste categories (European Parliament; The Council of European Union 2012): (1) Temperature exchange equipment, (2) Screens or Monitors, (3) Lamps, (4) Large Equipment, (5) Small Equipment, (6) Small IT and telecommunication equipment.

Globally, the quantity of the e-waste generation in 2016 was around 44.7 million metric tons (Mt), or roughly 6.1 kg per inhabitant. This number is estimated to increase each year, wherein 2021, the amount of e-waste is expected around 52 Mt, with an annual growth rate of 3 to 4%. The driving force behind the increase of e-waste globally is affected by consumer behavior, rapid changes in the technologies, and falling prices of the EEE devices and services (C. P. Balde, et al. 2017).

The increasing level of electronic waste will bring negative impacts to the environment and human health if managed improperly and unsafely as it contains hazardous content such as chlorofluorocarbon (CFCs) and various flame retardants (Tsydenova and Bengtsson 2011). Moreover, E-waste contains a large variety of precious materials (K. Balde, et al. 2017, Namias 2013, He, et al. 2006, Cucchiella, et al. 2015, Buchert, et al. 2012, Jandric 2017, Khaliq, et al. 2014, Meng, et al. 2018), which will bring economic and environmental benefits if recovered.

Therefore, it is crucial to recycle E-waste properly to avoid harm to the environment and human health and to recover the precious metals contained in it. In general, e-waste recycling consists of three main steps: collection, pre-processing, and end-processing (Meskers, et al. 2009). The collection of e-waste needs appropriate policies from the government, good public awareness, and proper collection facility at the public places to ensure that all of the e-waste can enter the recycling chain (Khaliq, et al. 2014, Meskers, et al. 2009). After the collection, the e-waste then enters the pre-processing stage, which consists of the disassembly and recycling process. In this phase, manual dismantling, comminution as well as sorting based on the material physical characteristic are employed.

Lastly, in the final stage, the end-process, the sorted material then undergoes further treatment, some of them, like valuable and hazardous components, will go to specialized treatment and some, like ferrous and non-ferrous fraction, will be directly refined in the refining plant or smelters.

1.2 Solid-State Drive (SSD)

Solid State Drive (SSD) is one of the storage devices which contains non-volatile memory (Baxter n.d., Ommi 2016), NAND flash memory, that was introduced in the late 2000s (Brant 2019). Due to its benefits, like processing speed, durability, and energy consumption, SSD becomes a prima donna in the data storage market. Based on the data from Statista (Statista 2019), the shipment of SSD keeps increasing in each quarter of the year, with the last recorded in the second quarter of 2018, by 47.8 million units shipped.

SSD did not have a moving or rotating part, which makes its component relatively simple, and only composed of a case in which contains Printed Circuit Board (PCB), where several of the main parts attached. The main components of SSD are (Ommi 2016, Thierolf and Uriarte 2010):

- Input/Output Interface or I/O interface: The I/O interface is a connector that connects the power and data to the SSD. Types of I/O in the SSD are SATA, PCIe, and SAS.
- Controller: Manages all functions in the SSD, such as data transmission and allocating data load to flash memory.
- Flash Memory: is where the data stored. Commonly used flash memory is NAND type.
- Printed Circuit Board (PCB): is a printed board where the three parts above attached.

Due to its simplicity, SSD becomes less attractive in terms of recycling compared to other e-waste (Cucchiella, et al. 2015). According to Cucchiella et al. (Cucchiella, et al. 2015), SSD is composed of Aluminum (Al), Copper (Cu), Gold (Au), Palladium (Pd), Silver (Ag), Iron (Fe), and plastic. However, given the trend of the SSD that continues to increase, there is a possibility that there will be a considerable amount of End of Life (EOL) SSD that enters the waste stream. Therefore, research about how to handle the EOL SSD effectively and efficiently is needed to recover the valuable materials contained in it as well as avoid the hazard that can arise from the untreated EOL SSD.

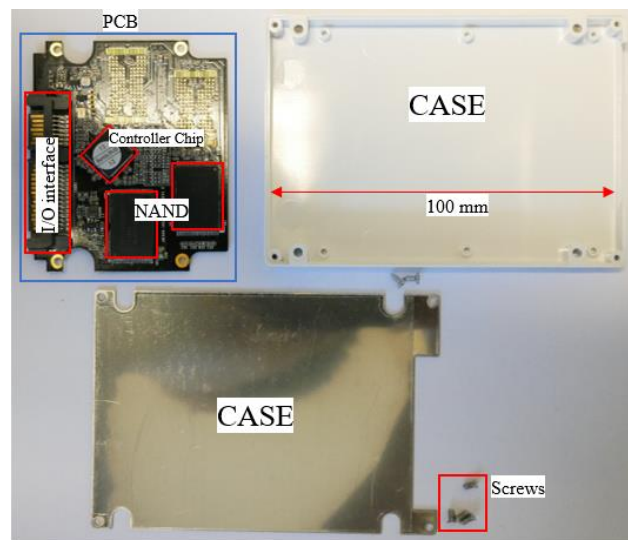


Figure 1. Components of SSD

2 Material, Methods, and Equipment

2.1 Material

The SSDs that are used in the experiments are the typical SSDs for commercial usage with 2.5-inch form factors. There are six SSDs from six different manufacturers that will be used in this experiment (Table I). Two of them will be used for the mass balance and material composition experiment, while the rest are for the comminution test.

Table I. Specifications of the research materials and the associated experiment

Name	Specifications							Experiment
	Brand	Type	Capacity (in GB)	Case Material	Dimension	Mass (Whole SSD) [g]		
SSD1	Kingston	A400	120	Mainly Aluminum	100 mm x 69.9 mm x 7 mm	39.79		Mass Balance and Material Composition
SSD2	Goodram	CX400	128	Plastic	100 mm x 69.9 mm x 7 mm	34.05		Mass Balance and Material Composition
SSD3	Samsung	850 EVO	120	Mainly Aluminum	100 mm x 69.9 mm x 7 mm	41.35		Comminution test
SSD4	WD	GREEN	120	Plastic	100 mm x 69.9 mm x 7 mm	31.68		Comminution test
SSD5	KingSpec	-	32	Front Cover: Plastic Back Cover: Stainless Steel	100 mm x 69.9 mm x 7 mm	56.79		Comminution test
SSD6	PNY	CS900	120	Plastic	100 mm x 69.9 mm x 7 mm	32.92		Comminution test

2.2 Methods and Equipment

There are three fundamental analyses in this research: (1) Mass Balance of SSD components, (2) Material composition of SSD parts, and (3) Comminution test of SSD, which are the basics in designing the recycling technology (Cui and Zhang 2008).

1. Mass Balance of the SSD components

First, the SSD1 and SSD2 will be manually disassembled to separate all the components. Tools like screwdriver is used for opening the case of SSD1, while for SSD2, it is relatively easy to dismantle by gouging. After the case is opened, all the components like PCB are removed from the case. Some of the components in the PCB are also removed by melting the solder using the heating tool. After all parts are liberated, the liberated parts are measured by using digital scales to calculate the mass balance.

2. Material composition of SSD's part

Scanning Electron Microscope (SEM) is used to analyze the material composition of the SSD. SEM is a tool that uses a focused beam of electrons to generate a variety of signals at the surface of the specimen, which then can reveal the information about the external morphology, chemical composition, and crystalline structure of the sample (Swapp n.d.). The area of image scanning of the SEM is approximately 10 mm to 5 microns in width and the data are collected over the selected areas of the surface of the sample which then projected in a 2-dimensional image which displays spatial variation of the properties (Swapp n.d.).

The PCB of the SSD1 and SSD2 are prepared for the experimentation by cut into size less than 10 mm. Then, the selected parts are attached to the circular pins that will be installed into the SEM chamber for measurement. In the measurement process, some points on the surface of the measured components will be chosen to represent the material

composition of the components. The selected parts for the measurements are (1) Gold pins in the input/output interface, (2) Controller chip, (3) NAND chip, (4) Vias of the PCB, (5) Some parts of the PCB containing capacitor.

3. Comminution test

The comminution equipment used for this test is a hammer crusher and an impact crusher. Comminution equipment, such as hammer mill, shear shredding, and pulverization of e-waste, are crucial in preparing or liberating the materials for further preparation process (Vats and Singh 2014). The past research from Bíró (István 2019) also showed the effectiveness in dismantling of the SSD by using hammer crusher. The specification of both comminution tools is shown in the Table II. Moreover, for this research, the sieve on the bottom the hammer crusher is removed.

The SSDs used for this experiment are SSD3 – SSD6. SSD3 – SSD5 will be comminuted by using a hammer crusher without bottom screen, while SSD6 will be using an Impact Crusher. Afterward, all of the output of the comminution processes are combined and sieved to analyze the particle size distribution (PSD).

Table II. Specification of the comminution machines

Specification	Hammer Crusher
Types	UK 60/40
Power (ton/hour)	8-20
Max. feed size (mm)	200
Output size (mm)	0-20*
Rotor	
<i>Diameter*Length (mm)</i>	600 x 400
<i>Revolution (rpm)</i>	980
<i>Peripheral speed (m/s)</i>	31
<i>Number of hammers (pcs)</i>	20+6
Feed opening (mm*mm)	480 x 410

*the output size with the screen installed

3 Result and Discussion

3.1 Result and discussion

1. Mass balance of the SSD components

The average mass per SSD is 36.9 g. The weight of the SSD is mainly affected by the case, which represents around 70 wt.% of the total mass of the SSD. The other part that also will contribute to the weight of the SSD is the NAND chip, as sometimes the higher the capacity of the SSD, the number and the layers in the NAND also will be different. The other parts from both SSDs relatively have similar wt.%. The complete mass balance of each part of the SSD can be seen in Table III. Moreover, Figure 2 shows the mass comparison between the two SSDs.

2. Material Composition of SSD parts

The gold pin top surface, the parts which are used for connecting the connector, is mainly covered with gold (Au). From the measurement, the concentration of the gold in the top surface is between 80 – 98 wt.% where the maximum concentration is on the tip of the pin. Moreover, in the bottom surface of the pin, it is mainly nickel (Ni). The trace of tin (Sn) can be found in the parts where the gold pin is connected to the PCB.

Due to difficulties in stripping the controller chip and the NAND chip to expose its layers, the possible measurements are only done on the surface of the chip and in the exposed parts of the chip's layer. The material used to connect the controller chip to the PCB is mainly made from tin (Sn), while for the NAND, it is Sn/Cu alloy. Moreover, the layer of the controller chip that can be measured mainly consists of silica (Si).

In the PCB, the measurement is done for the vias of both PCBs and some multi-layered ceramic capacitors (MLCC) attached in the PCB. The material composition found in the surface of the vias from both PCBs is different, where

copper (Cu) is found in the vias of SSD1 PCB while gold (Au) is found on the surface of the vias of SSD2 PCB. Moreover, for the MLCC, tin (Sn) is mainly found in the parts where MLCC is connected to the PCB, while Barium Titanite is mainly found on the surface of the MLCC.

The further details of the material compositions of the components in the SSD can be seen in Table IV.

Table III. Mass balance of the components of the SSD

No	Component	SSD1		SSD2		Average	
		Σm_i [g]	wt.%	Σm_i [g]	wt.%	m_i [g]	wt.%
1	Case	29.7004	74.64	22.9296	67.34	26.0648	70.60
2	Controller Chip	0.1884	0.47	0.1982	0.58	0.1933	0.52
3	NAND Chip	0.8848	2.22	1.3256	3.89	1.1052	2.99
4	Gold Pin	0.2530	0.64	0.2508	0.74	0.2519	0.68
5	I/O interface	1.3167	3.31	1.2101	3.55	1.2634	3.42
6	PCB (Base board)	7.4476	18.72	7.5072	22.05	7.4474	20.25
7	Other	0.5004	1.26	0.6304	1.85	0.5654	1.53
TOTAL		39.7909	100.00	34.0519	100.00	36.9214	100.00

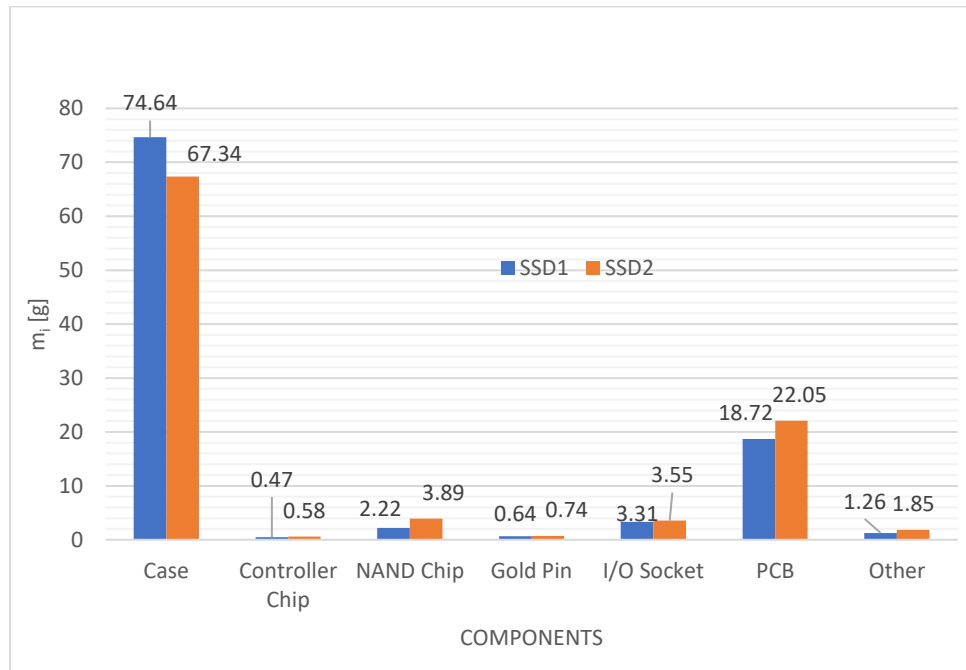
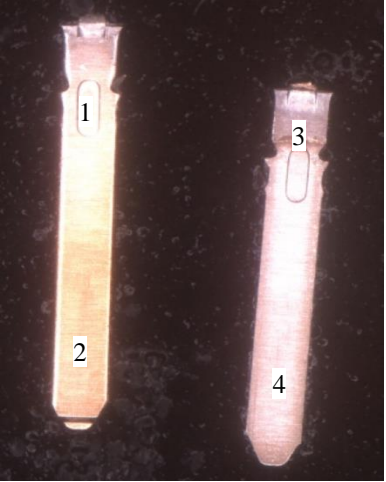
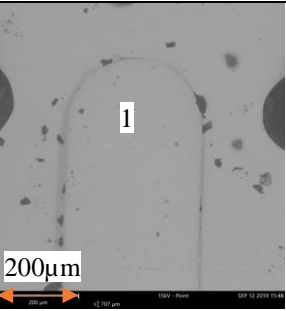
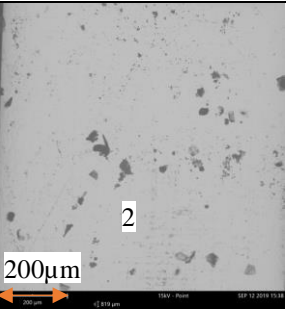
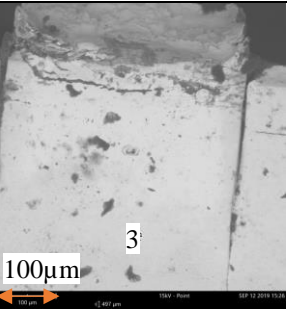
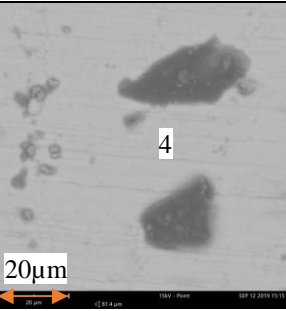
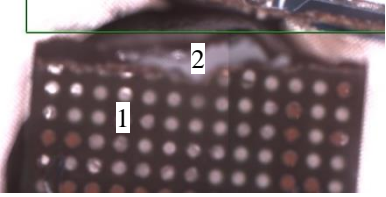
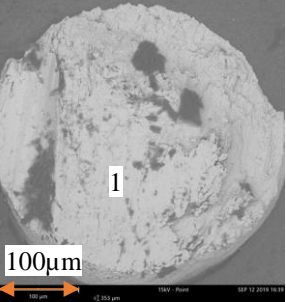
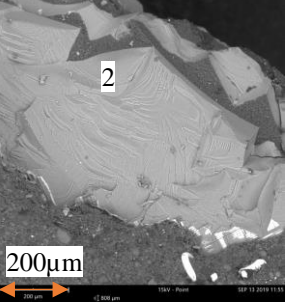
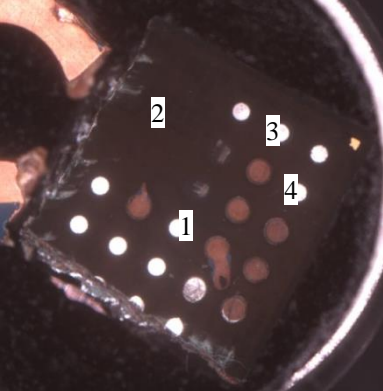
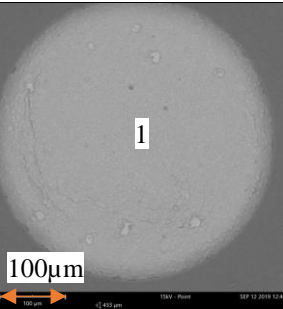
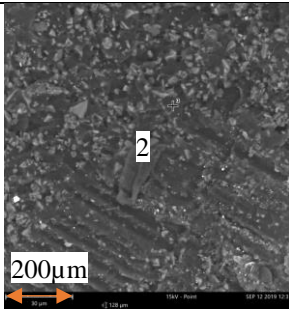
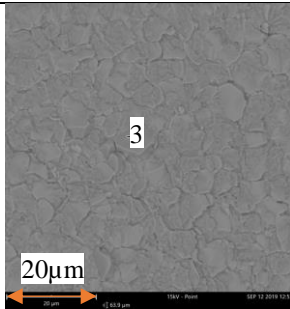
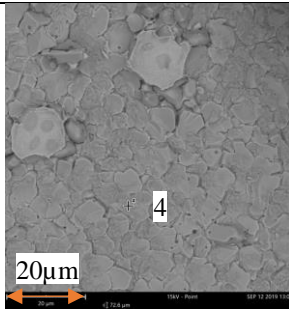
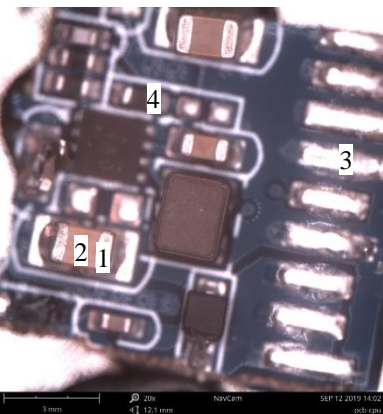
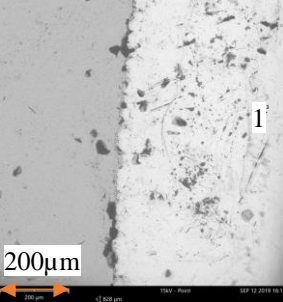
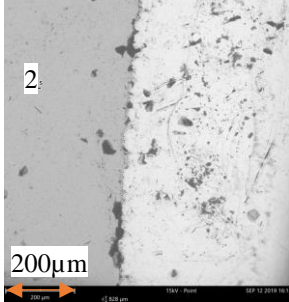
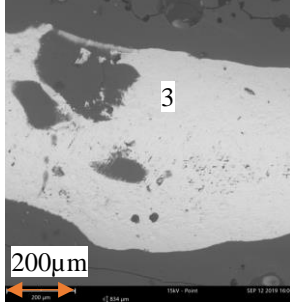
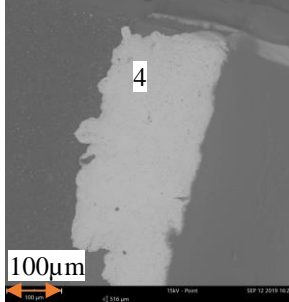


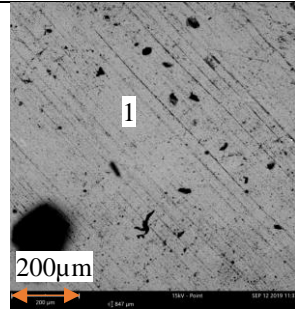
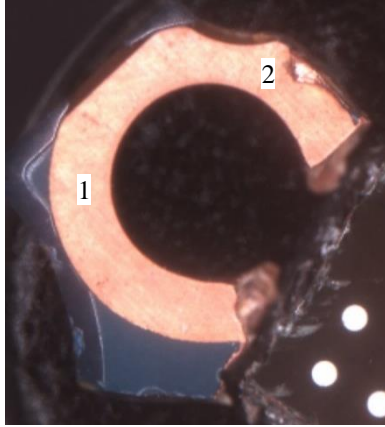
Figure 2. Mass comparison of the SSD components

Table IV. Material composition of parts of SSD

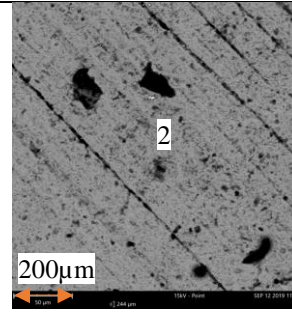
SSD Part	Material			
	Point 1 [wt%]	Point 2 [wt%]	Point 3 [wt%]	Point 4 [wt%]
<p>Gold Pin</p> 	 <p>Au: 84.24 Ni: 14.99 Other: 0.77</p>	 <p>Au: 98.97 Other: 1.03</p>	 <p>Sn: 68.53 Ni: 16.35 O: 5.68 C: 4.81 Te: 1.53 Cu: 1.17 Ca: 0.98 Other: 0.95</p>	 <p>Ni: 91.74 C: 7.25 O: 1.02</p>
<p>Controller Chip</p> 	 <p>Sn: 83.73 O: 8.12 C: 4.05 B: 3.71 Si: 0.39</p>	 <p>Si: 71.92 C: 24.81 O: 3.27</p>	-	-

<p>NAND Chip</p> 	 <p>100μm</p> <p>Sn: 48.96 Cu: 29 N: 10.66 O: 5.76 C: 4.28 Other: 1.34</p>	 <p>200μm</p> <p>C: 67.01 O: 26.17 Cu: 1.57 Si: 1.4 Al: 1.39 P: 1.37 Other:</p>	 <p>20μm</p> <p>Sn: 47.87 Cu: 35.97 C: 6.94 O: 5.83 Ba: 1.28 Other: 2.11</p>	 <p>20μm</p> <p>Cu: 49.22 Sn: 33.69 C: 8.5 O: 5.01 Ba: 1.82 Other: 1.76</p>
<p>Printed Circuit Board (PCB)</p> 	 <p>200μm</p> <p>Sn: 82.18 O: 6.85 C: 6.81 B: 2.88 Ni: 1 Other: 0.28</p>	 <p>200μm</p> <p>Ba: 60.25 O: 17.99 Ti: 15.76 C: 3.22 Sn: 1.45 Other: 1.33</p>	 <p>200μm</p> <p>Sn: 73.28 Ag: 10.2 O: 6.33 Cu: 5.09 Other: 5.1</p>	 <p>100μm</p> <p>Sn: 60.42 O: 14.73 C: 8.35 Sb: 4.52 B: 2.95 Si: 1.39 Other: 7.64</p>

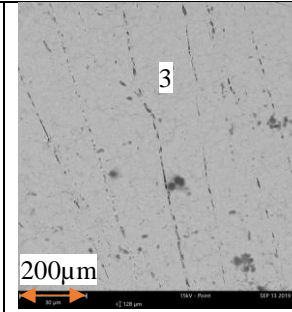
Vias in the PCB
SSD1 PCB



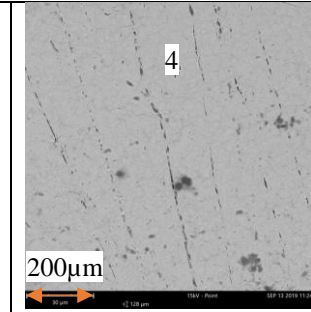
Cu: 85.77
C: 11.8
O: 2.43



Cu: 91.34
O: 5.35
Other: 3.31

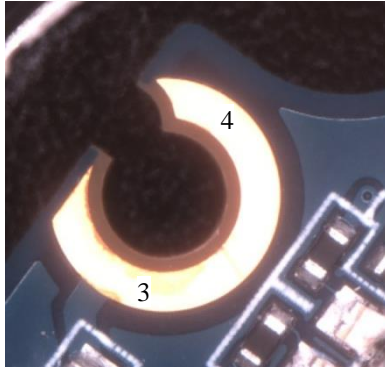


Au: 97.09
Ni: 1.69
Other: 1.22



Au: 97.42
Ni: 1.59
Other: 0.99

SSD2 PCB



3. Comminution test

From the comminution test, all the PCBs are liberated entirely from the case with a little damaged part in the PCBs, especially in its edge, due to the impact of the comminution process. All the I/O interfaces also are liberated from the PCBs. However, not all the controller chip, NAND chip, or gold pins are utterly liberated from the PCBs. Most of the PCBs are still had either controller chip, NAND chip, or gold pins attached. It is suggested to use further liberation process for the PCBs to remove the unliberated components from it.

All the particle fraction above 45 mm are from the case materials. Accounted for Almost 60 wt.% of the total mass of all the SSDs are found in this range. The size range between 20 – 45 mm is dominated by the PCBs with little parts of the casing. The total size of the fraction in this range is 30 wt.% of the total mass of all SSDs. Moreover, the NAND chip is found between 10 – 16 size fractions, while the gold pins are found in the fine fraction, below 4 mm. The complete particle size distribution of the SSD can be seen in Table V and Figure 3.

From the distribution of materials in the size fraction, it is possible to separate the components stated above from the flow of comminuted SSD. However, they still need a further separation process. For the case materials, it should be followed up with separation based on their material properties, as the materials of the cases of the SSDs are a mix of ferrous and non-ferrous metals as well as plastic. For the PCBs and NANDs, the further separation should be able to correctly separated the PCBs from the remnant of case materials, while for the gold pins, the next separation process should be able to separate the gold pins from the fine particles which have various material properties.

Table V. Particle size distribution of the comminuted SSDs

Sieve Sizes (Mesh)			Mass of Size Fraction	Mass fraction	Cumulative undersize
[mm]			[g]	[-]	[-]
0	-	4	2.96	0.02	0.02
4	-	5	0.87	0.01	0.02
5	-	8	4.62	0.03	0.05
8	-	10	0.54	0.00	0.06
10	-	11.2	2.83	0.02	0.07
11.2	-	12.5	0.98	0.01	0.08
12.5	-	16	1.72	0.01	0.09
16	-	20	3.07	0.02	0.11
20	-	22.4	13.79	0.08	0.19
22.4	-	31.5	6.05	0.04	0.23
31.5	-	40	6.85	0.04	0.27
40	-	45	22.49	0.14	0.41
45	-	56	6.66	0.04	0.45
56	-	63	58.75	0.36	0.81
63	-	80	30.56	0.19	1.00
Σ			162.74	1	

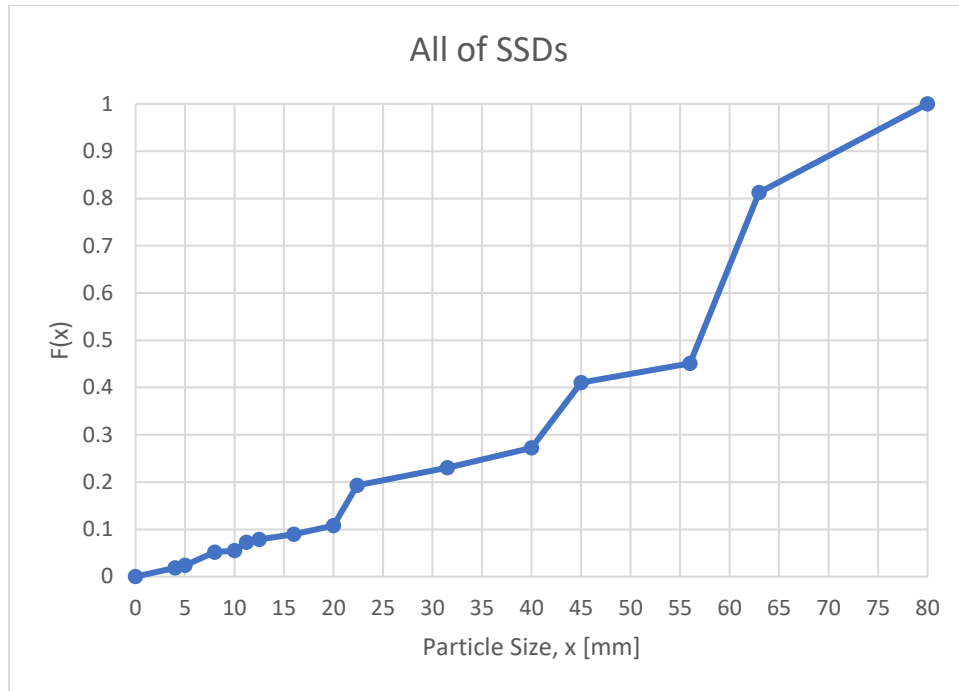


Figure 3. Graph of the particle size distribution of the comminuted SSDs

4 Conclusion

Regardless of unattractive in terms of recycling, SSD still contains some valuable materials. Moreover, with the increasing demand of the SSD worldwide, the research regarding SSD recycling is needed to ensure the effectivity and efficiency in handling the emerging EOL SSD in the future.

The weight of SSD mainly depends on the case material, which covers up to 70 wt.% of the total mass of the SSD. The other parts that also possible to affect the total weight of SSD are the NAND, which in some cases, the number and the weight of NAND will increase in line with the increase of the capacity of the SSD.

The precious metal found in the surface of the SSD's components is gold (Au) which is found in the gold pin and the vias in the PCB. Moreover, the material used to attach the component to the PCB is mainly tin (Sn).

The result from the comminution test shows the possibility of SSD disassembling by using mechanical means. The PCB is still intact with a little damage in its edge, while some of the components are liberated from the PCB. Moreover, the distribution of the components in the size fraction can be grouped based on the majority of the materials found in it: (1) Case materials in above 45 mm size fraction, (2) PCBs in 20-45 mm size fraction, (3) NAND chips in 10-16 size fractions, and (4) Gold pins in below 4 mm size fraction. From the distribution of materials in the size fraction, it is possible to separate the components stated above from the flow of comminuted SSD.

5 Acknowledgment

The described article was carried out as part of the “Sustainable Raw Material Management Thematic Network – RING 2017”, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 project in the framework of the Széchenyi 2020 program. The realization of these projects is supported by the European Union, co-financed by the European Social Fund.

6 References

- Balde, Cornelis P., Vanessa Forti, Vanessa Gray, Ruediger Kuehr, and Paul Stegman. 2017. *The Global E-waste Monitor 2017: Quantities, Flows and Resources*. Bonn, Geneva, and Vienna: United Nations University, International Telecommunication Union, and International Solid Waste Association.
- Balde, Kees, Vanessa Forti, Vanessa Gray, Ruediger Kuehr, and Paul Stegmann. 2017. *The Global E-waste Monitor 2017*. Bonn/Geneva/Vienna: United Nation University (UNU), International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA).
- Baxter, Andrew. n.d. *SSD vs HDD*. Accessed May 2019. https://www.storagereview.com/ssd_vs_hdd.
- Brant, Tom. 2019. *SSD vs. HDD: What's the Difference?* January. Accessed May 2019. <https://www.pcmag.com/article/297758/ssd-vs-hdd-whats-the-difference>.
- Buchert, Matthias, Andreas Manhart, Daniel Bleher, and Detlef Pingel. 2012. *Recycling critical raw materials from waste electronic equipment*. Darmstadt: Oeko-Institut e.V.
- Cucchiella, Federica, Idiano D'Adamo, S.C. Lenny Koh, and Paolo Rosa. 2015. "Recycling of WEEE: An economic assessment of present and future e-waste streams." *Renewable and Sustainable Energy* 51: 263-272.
- Cui, Jirang, and Lifeng Zhang. 2008. "Metallurgical recovery of metals from electronic waste: A review." *Journal of Hazardous Materials* 158 (2-3): 228-256.
- European Parliament; The Council of European Union. 2012. "Directive 2012/19/EU of the European Parliament and of the Council of 4 July 2012 on Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)." *Official Journal of the European Union*.
- Faitli J., Magyar T.: Az LCD kijelző felépítése, működési elve. (The structure and operating principle of LCD displays). In: Csöke et al. (eds.) *Elektronikai hulladékok előkészítése a stratégiai elemek visszanyerése érdekében*. (Preparation of electronic wastes for recycling strategic elements). Miskolc, Magyarország: Milagrossa Kft., (2014) pp.14-21., 8 p.
- Faitli J., Magyar T., Takács A.: Tantál kondenzátor előkészítése. (Preparation of tantalum capacitors) In: Csöke et al. (eds.) *Elektronikai hulladékok előkészítése a stratégiai elemek visszanyerése érdekében*. (Preparation of electronic wastes for recycling strategic elements). Miskolc, Magyarország: Milagrossa Kft., (2014) pp. 151-155., 5 p.
- He, Wenzhi, Guangming Li, Xingfa Ma, Hua Wang, Juwen Huang, Min Xu, and Chunjie Huang. 2006. "WEEE recovery strategies and the WEEE treatment status in China." *Journal of Hazardous Materials* 136: 502-512.
- István, Bíró. 2019. *HÁTTÉRTÁRÓLÓK (HDD,SSD) ANYAGI ÖSSZETÉTELÉNEK ÉS MECHANIKAI*. Gödöllő: SZENT ISTVÁN EGYETEM.
- Jandric, Aleksander. 2017. *Material composition of complex components in WEEE*. Master's Thesis, Vienna: University of Natural Resources and Life Sciences.
- Kang, Hai-Yong, and Julie M. Schoenung. 2005. "Electronic waste recycling: A review of US infrastructure and technology options." *Resources, Conservation and Recycling* 45: 368-400.
- Khaliq, Abdul, Muhammad Akbar Rhamdhani, Geoffrey Brooks, and Syed Masood. 2014. "Metal Extraction Processes for Electronic Waste and Existing Industrial Routes: A Review and Australian Perspective." *Resources* 3: 152-179.
- Meng, Long, Lei Guo, Yiwei Zhong, Zhe Wang, Kuiyuan Chen, and Zhancheng Guo. 2018. "Concentration of precious metals from waste printed circuit boards using supergravity separation." *Waste Management* 82: 147-155.
- Meskers, Christina E.M., Christian Hagelken, Stefan Salhofer, and Markus Spitzbart. 2009. "Impact of pre-processing Routes on Precious Metal Recovery from PCs." *Proceedings of European Metallurgical Conference*. Innsbruck.
- Namias, Jennifer. 2013. *The Future of Electronic Waste Recycling in The United States*. New York: Columbia University, 27-45.

Ommi, Anil K Y. 2016. *Solid State Drive (SSD) Overview*. June. Accessed May 2019. <http://www.tsmtutorials.com/2016/06/ssd-overview.html>.

Statista. 2019. Solid State Drive (SSD) Shipments Worldwide from 2013-2018, by quarter (in million units).

Swapp, Susan. n.d. "Geochemical Instrumentation and Analysis." Accessed 11 2019. https://serc.carleton.edu/research_education/geochemsheets/techniques/SEM.html.

Thierolf, Tyler, and Justin Uriarte. 2010. "Solid State Drive Architecture." Accessed March 2019. <http://meseec.ce.rit.edu/551-projects/fall2010/>.

Tsydenova, Oyuna, and Magnus Bengtsson. 2011. "Chemical hazards associated with treatment of waste electrical and electronic equipment." *Waste Management* 31: 45-58.

Vats, Mahesh Chander, and S. K. Singh. 2014. "E-waste characteristic and its disposal." *International Journal of Ecological Science and Environmental Engineering* 1 (2): 49-61.

REVIEW ON RECENT DEVELOPMENT IN RECHARGEABLE AQUEOUS BATTERIES

Chenar A.Tahir, Levente Csoka
Innovation Center
University of Sopron
4. Bajcsy Zs. str. Sopron 9400 Hungary
chenar321@gmail.com

Abstract: *While focus on renewable and sustainable energy increasing, the demand for energy storage also rising. Many different ideas available with enormous inventions in this area. Among them, Lithium-ion battery request at topmost because of growing mobile devices which require a great amount of energy with high quality of battery. And for this purpose, Lithium battery is the one which fulfill this entreaty. But the safety issue pushed scientist to come up with a safer solution, so water been added to electrolyte. And this can provide a higher safety with some other issues that challenge the scientists. Which in this review, we will present some of recent solutions with their capabilities and challenges.*

Keywords: Aqueous battery, Aqueous Lithium-ion battery

1. Introduction

If we go through history of battery, we see the first rechargeable battery invention goes to G. Plante in 1859 which it was a (lead-acid) battery¹. Then after, the evolution of rechargeable batteries was started. In other hand, the demand on renewable energy ascending and energy storage is the major part of sustainable energy development. Because every mobile device and any possible electrical unit require stored energy for the period of time when the energy harvesting is stopping, like at night, so battery playing a huge role in modern world. Among all these types of rechargeable batteries, recently Lithium battery became very popular and became an attractive battery to industries because of many aspects and benefits. Moreover, regarding Lithium-ion Aqueous battery (LIAB) invention, it is been proposed by Dahn and co-workers in 1994, which they were used VO₂ and LiMn₂O₄ as anode and cathode, respectively, in 5 M LiNO₃ aqueous electrolyte².

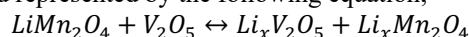
In general, battery consist of an Anode, cathode electrode and membrane with electrolyte between them. The electrodes are consisting of an active material attached with a metal grid which aiding in electric conducting³. And there are many varieties of electrolyte were used and tested, which here we review a few recent aqueous electrolytes and their performance and mechanism of working of some studied aqueous Li-ion batteries.

Success of a battery system defined according few outlets, which they are:

1. Overall low cost, this comes with using a material which is abundant in earth shell and easy processable.
2. High conductivity of the Electrolyte
3. high voltage of hydrolysis of aqueous which means “low gas evolution rates”
4. Need no maintenance
5. The percentage of being free from toxic material inside the battery. If less toxic, then this gives more lead to the reliability of the battery and create more trust of safety
6. Not having overcharge issue
7. Long cycle life
8. Giving high volumetric energy density⁴

2. Lithium Ion battery types

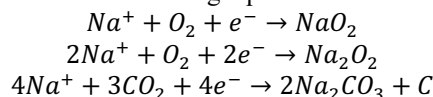
The prototype of LIAB was first proposed by Dahn and co-workers in 1994, in which VO₂ and LiMn₂O₄ were employed as anode and cathode, respectively, in 5 M LiNO₃ aqueous electrolyte. In a recent study, a hybrid battery was developed with the anode material consisting of V₂O₅ nanowires and polypyrrole-coated multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs), and LiMn₂O₄ as the cathode in 0.5M Li₂SO₄ aqueous electrolyte⁵. The polypyrrole coating prevented the dissolution of the reduced vanadium ions and ensured a reversible redox reaction. and represented by the following equation;



The Li⁺ ions could easily pass through the coating as their charge density was not high. The working voltage of the battery ranged between 0.8-1.75 V, while the specific capacity (based on the cathode mass) was 110 mA h g⁻¹. The network of MWCNTs in the battery resulted in a good electrical conductivity and a small charge transfer resistance during the charging and discharging processes⁵.

3. Sodium Ion battery types

Another research Na₄Fe₃(PO₄)₂(P₂O₇) as cathode and NaTi₂(PO₄)₃ as anode been used with a new class of super-concentrated aqueous electrolyte of NaClO₄ which works 200 cycles with coulombic efficiency of 99% at 1C⁶. In this research high electrochemical stability of electrolyte and stable solid-electrolyte interphase (SEI) layer formation were observed. Moreover, the water activity decreases due to forming ion-aggregated structure from molecule solvation. The test has performed at 1C in 1m and 17m NaClO₄ electrolytes between 0.01 and 2.0 V voltage range. Decomposition of water and irreversible reaction at 1m was highest point and decreased with increasing NaClO₄ until no side reaction observed at 17 m electrolyte. The cycle stability at 1m NaClO₄, decreased significantly after 50 cycle from 87 to 17 mAh/g while with 17m NaClO₄ working efficiency was high after 200 cycles. TEM image shows in 1m NaClO₄, not growing of any protective surface or film detected on the NaTi₂(PO₄)₃ electrode after 20 cycles. while in 17 m NaClO₄, a 5 to 10nm thick amorphous layer was perceived on the NaTi₂(PO₄)₃ surface. During the first full-cell charging, a series of reaction occur between dissolved O₂ and CO₂ with sodium ions close to Na intercalation of NaTi₂(PO₄)₃, as shown in following equation below.



But the most privilege of this study is the composition of surface layer from Na₂CO₃ and NaOH, which obtained an extraordinary stability of the battery for 900h continued at a constant voltage of 1.08 V⁶.

4. Zinc ion aqueous batteries

In a recent study, ZnMn₂O₄ as cathode and zinc as anode was used with 1mol/L ZnSO₄ as electrolyte, also tested with and without of 0.05mol/L MnSO₄⁷. The results showed 1.18 V, and 1.35 V on the cathode while 0.05mol/L MnSO₄ added. In addition, Zn²⁺ started to separate while charging from spinel ZnMn₂O₄ and go in to electrolyte and taking two electrons provided by electric circuit, then precipitate on surface of Zn current collector, and the process went vice versa when discharge⁷.

Acknowledgement

The work was carried out as part of the " Sustainable Raw Material Management Thematic Network – RING 2017", EFOP-3.6.2-16-2017-00010 project in the framework of the Széchenyi 2020 Program. The realization of this project is supported by the European Union, co-financed by the European Social Fund.

5. References

1. Beck, F. & Rüetschi, P. Rechargeable batteries with aqueous electrolytes. *Electrochim. Acta* **45**, 2467–2482 (2000).
2. Li, W., Dahn, J. R. & Wainwright, D. S. Rechargeable Lithium Batteries with Aqueous Electrolytes. *Science (80-.)*. **264**, 1115–1117 (1994).

3. Zhang, Z. & Zhang, S. S. *Rechargeable Batteries. Green Energy and Technology* (Springer, Cham, 2015). doi:10.1007/978-3-319-15458-9
4. Ruetschi, P. Energy storage and the environment: the role of battery technology. *J. Power Sources* **42**, 1–7 (1993).
5. Tang, W. *et al.* A hybrid of V₂O₅ nanowires and MWCNTs coated with polypyrrole as an anode material for aqueous rechargeable lithium batteries with excellent cycling performance. *J. Mater. Chem.* **22**, 20143–20145 (2012).
6. Lee, M. H. *et al.* Toward a low-cost high-voltage sodium aqueous rechargeable battery. *Mater. Today* (2019). doi:10.1016/j.mattod.2019.02.004
7. Wu, X. *et al.* Green-low-cost rechargeable aqueous zinc-ion batteries using hollow porous spinel ZnMn₂O₄ as the cathode material. *J. Mater. Chem. A* **5**, 17990–17997 (2017).

KÍSÉRLETEK KOMMUNÁLIS HULLADÉKOK BIOFRAKCIÓJÁNAK ENERGETIKAI HASZNOSÍTÁSÁRA

Romenda Roland Róbert¹, Nagy Zoltán², Szűcs István³, Agatics Roland⁴, Csóke Barnabás⁵

PhD hallgató¹, ügyvezető igazgató², professor emeritus^{3,5}, igazgatósági tag⁴
Miskolci Egyetem, Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet^{1,5}
Miskolci Egyetem Energia- és Minőségügyi Intézet³
Zalaegerszeg, 3B Hungária Kft.²
Polgárdi, VERTIKÁL Nonprofit Zrt.⁴
Miskolc, 3515 Miskolc - Egyetemváros,
ejtrom@uni-miskolc.hu

Absztrakt: Az Európai Unió 2030-ra növelni akarja a kommunális hulladékok hasznosítási arányát, ezzel egy időben pedig csökkenteni a deponálással történő ártalmatlanítást. Korábbi vizsgálatokból kiderül, hogy a vegyes települési szilárd hulladékok (VTSZH) nagy részét a biológiailag lebomló anyagokban gazdag, úgy nevezett finom frakció alkotja (továbbiakban biofrakció), amely 60 mm-nél kisebb szemmagysággal rendelkezik. A legnagyobb probléma, hogy bár sok bioanyagot tartalmaz ez a frakció, de emellett nagyon sok más is (fémek, üvegek, műanyagok, inert hulladékok), amelyek megnehezítik a kezelésüket. Ennek ellenére sok megoldás létezik, mind külföldi, mind hazai viszonylatban.

A 3B Hungária Kft. és a Miskolci Egyetem által közösen kifejlesztett és megépített, új hulladék előkészítő üzem előaprítót egy 60 mm-es, környílású dobszita követi, ami leválasztja a kommunális hulladékból az említett frakciót. Ahhoz, hogy az EU direktíváját hazánk is teljesíteni tudja, ezt a frakciót további kezelési módnak kell alávetni, mert ez a rész a teljes anyagmérleg 50-60 %-át teszi ki. 2018 évelején – még a zalaegerszegi üzem építésének hajrájában - Egerben RDF-ből és biofrakcióból készített pelleteteket égettünk, és vizsgáltuk azoknak hamutartalmát, fűtőértékét egy későbbi pirolízis üzem tervezése céljából, amelyről jelen munkában számolunk be.

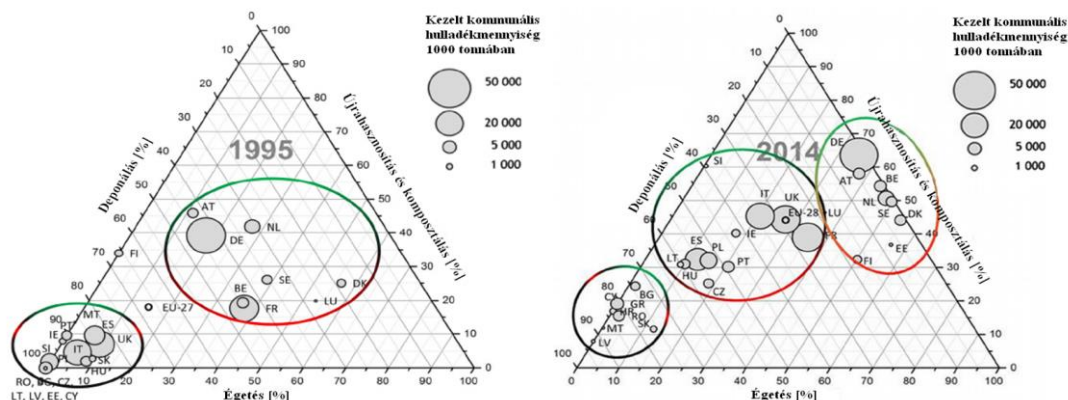
Kulcsszavak: kommunális hulladék, TSH, biofrakció, termikus hulladékkezelés, együttégetés

1. Bevezetés

2016-ban a zalaegerszegi 3B Hungária Kft. és a Miskolci Egyetem egy közös pályázat keretében egy újfajta előkészítő üzem tervezését, építését kezdte meg, aminek eredményeképpen az üzem próbatesztjei 2018-ban el is kezdődtek. Az üzem, amelynek tervezett kapacitása 60 000 t/év, kulcsberendezése az ún. KLME (Kombinált Légáramú Mágneses és Elektromos) szeparátor, mely elősegíti a vegyesen gyűjtött kommunális hulladék előkészítését. A technológiai folyamatnak köszönhetően nagymértékben csökken a deponálásra kerülő hulladéknak a mennyisége, de a 60 mm-es szemcseméret alatti, ún. finom frakció még így is közel 50-60%-át teszi ki a bejövő anyagmennyiségnek (Faitli et al, 2018). Főleg ebben a frakcióban koncentrálódik a biológiailag lebontható szerves anyag, de emellett sok más olyan anyag is megtalálható benne, ami megnehezíti, hogy egyszerűen csak komposztállással ártalmatlanítani lehessen a hulladékot.

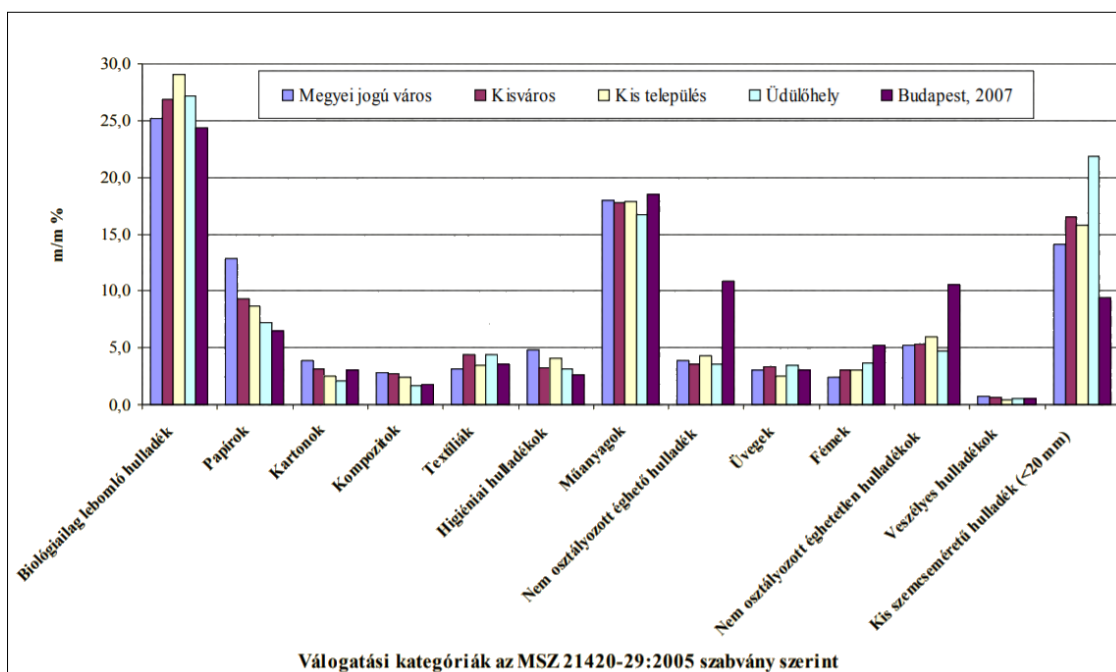
Az EP 2018/851 irányelve (korábban 2015/0275/COD javaslat) alapján, amely a hulladékokról szóló 2008/98/EK irányelv módosításáról szól, kimondja, hogy 2025-től minimum 55 tömegszázalékra kell növelni az újrahasználatra előkészített és újrafeldolgozott települési hulladék mennyiségét, majd 2035-ig ezt az arányt 65%-ra növelni. Továbbá az irányelv azt is megemlíti, hogy 2025-re a tagállamok 30%-al, 2030-ra pedig 50%-al csökkentsék az élelmiszer-hulladék mennyiségét. Az 1. ábrán látható, hogy az 1995-ös állapotokhoz képest a korábbi 2008-as irányelvhez igazodva mennyit fejlődtek a tagországok

hulladékgazdálkodási rendszerei. Dehogyan tudja Magyarország is ezt az új célkitűzést, ahhoz szükség van mind a hulladékkezelési rendszerek, mind az infrastruktúra, mind a hazai jogszabályi háttér változtatására.



1. ábra: Az EU tagországok hulladékkezelési rendszerük megoszlása 1995 és 2014-ben (Pomberger et al, 2017)

Magyarországon minden negyedévben kötelező a hulladékkezelő cégeknek egy általános analízist lefolytatniuk, a hulladék összetétele a magyar MSZ 21420-28 és MSZ 21420-29 szabványban megtalálható 13+1 anyagkategóriára vonatkoztatva. A 2. ábráról leolvasható, hogy hazánkban, a legnagyobb arányban a biológiailag lebomló, műanyag és a kis szemcseméretű hulladékok vannak jelen a kommunális hulladékban. Éppen ezért, hogy Magyarország tudja tartani az Uniós célkitűzést kulcsfontosságú, hogy ennek a három anyagkategóriának a kezelési és hasznosítása biztosítva legyen.



2. ábra: A települési szilárd hulladékok összetétele 2007-2008-ban (Pfeiffer, 2008)

A műanyag, karton és papír frakciókat elsősorban RDF-ként (Residue Derived Fuel), másodlagos tüzelőanyagként hasznosítják, főként erőművekben, a távhő hálózat táplálására, vagy cementgyárakban a klinkerégetéshez. Az RDF-et a hulladékkezelők pelletek formájában tudják értékesíteni az egyes felvásárlók részére, ahol azok nedvesség tartalma a szemcseméret függvényében változhat (Kiss et al, 2019, Györfi et al, 2019), és ezzel együtt befolyásolja annak fűtőértékét.

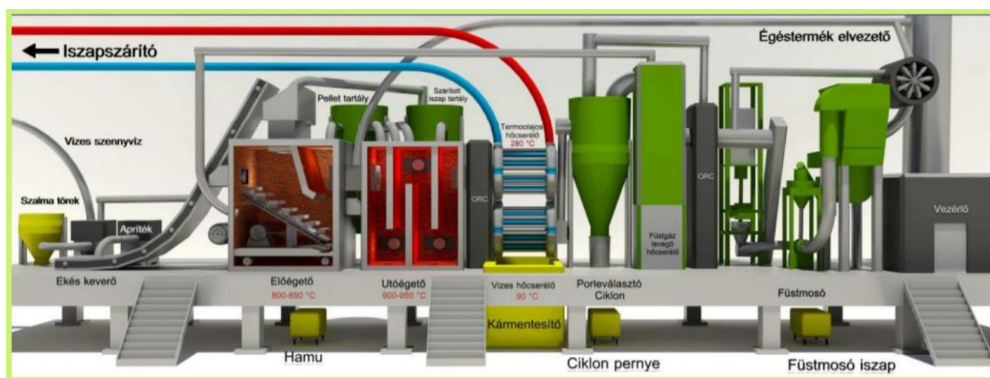
2. Anyagok és módszerek

A kísérlet célja az volt, hogy megvizsgáljuk a finom biofrakció (továbbiakban B-frakció) energetikai hasznosításra való alkalmasságát. A mintaanyag Vaskútról származott, amit a Vertikál Zrt. a Polgárdi telephelyén pelletált. A pelletekre vonatkozó adatokat az 1. táblázat foglalja össze.

1. táblázat: A Vaskútról származó B-biofrakció pelletjeinek összefoglaló táblázata

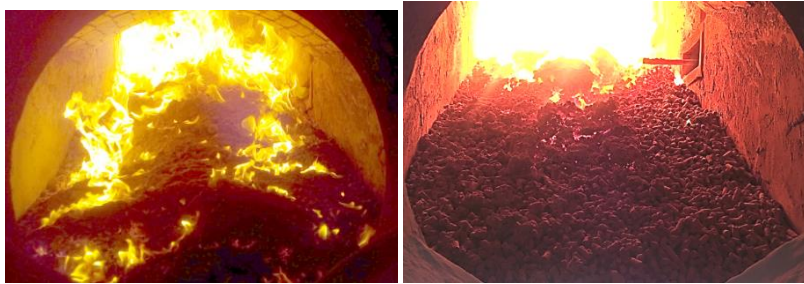
1) Pelletméret: \varnothing x L	$\varnothing 14$ x 15-30 mm
2) Pellet nedvességtartalma	
Minta tömege [g]	2065,0
Szárítás után [g]	1991,5
Nedvesség [g]	73,5
Nedvesség tartalom [%]	3,56
3) Pellet hamu-, és illótartalma	
Hamutartalom [%]	51,62
Illótartalom [%]	44,98
Elemzési minta nedvesség tartalma [%]	2,14

Az égetési tesztek 2018 elején Egerben a BIOFIVE®-ENTECCO Termikus Ártalmatlanító Rendszerrel végeztük. Az említett hulladékégető rendszer felépítése az alábbi ábrán látható.



3. ábra: BIOFIVE-ENTECCO Termikus Ártalmatlanító Rendszer felépítése (Garamszegi és Tóth, 2015)

A tesztek során változott az adagolás mennyisége és a rostély sebessége, a stabil üzemállapot elérése érdekében. A 4. ábrán jól látható, mikor az adagolás és a rostély sebessége túl nagy volt a lángfront egészen az égéstér aljáig ért, a pelletek pedig nem égtek ki tökéletesen. A stabil állapotot, ahogy az a képeken is látható 2 kg / 4 perc adagolási sebesség és 2 perces rostélysebesség mellett lehetett elérni.



4. ábra: A pelletek égetés során tapasztalt viszonyok a tüztérben.
Bal oldalon túlzott adagolás, jobb oldalon stabil égési állapot

Mikor a stabil égési állapot beállt, mintát vettünk az aktuálisan elégetett pernye salakjából és pernyéjéből. Ezeket a mintákat később a Miskolci Egyetem Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézetében megvizsgáltuk és meghatároztuk azok izzítási veszteségét, valamint a szemeloszlását. Ezen felül a mintákból kémiai elemzést is kértünk, hogy annak összetétele megfelel-e a törvényi előírásnak, mely a széneróműi együttégetésre vonatkoznak.



5. ábra: A pelletégetés salakja és pernyéje

3. Eredmények

A kémiai (nehézfémek) elemzés meghatározása a nyers B-biofrakcióra, a pelletekre történt. Kémiai elemzésre vonatkozó adatokat a 2. táblázat foglalja össze.

2. táblázat: A pelletek és azok hamújának, valamint pernyéjének kémiai összetétele

	Egység	Mért érték		
		<i>Pellet</i>	<i>Pellet pernye</i>	<i>Pellet hamu</i>
Klór (Cl)	% m/m d	0,09	0,08	0,05
Antimon (Sb)	mg/kg d	10,5	32,7	5,84
Arzén (As)	mg/kg d	1,3	91,7	2,8
Kadmium (Cd)	mg/kg d	4,65	33,8	1,83
Króm (Cr)	mg/kg d	126	170	152
Kobalt (Co)	mg/kg d	25,9	14,6	26,1
Réz (Cu)	mg/kg d	171	455	544
Ólom (Pb)	mg/kg d	152	374	141
Mangán (Mn)	mg/kg d	724	1560	673
Higany (Hg)	mg/kg d	0,26	4,89	0,13
Nikkel (Ni)	mg/kg d	82,6	88,3	72,3
Tallium (Tl)	mg/kg d	<0,25	4,67	1,85
Vanádium (V)	mg/kg d	6,9	29,1	8,3
∑ Nehézfémek	mg/kg d	1300	2810	1630

A fizikai és kémiai vizsgálatok céljára az égetési salak és pernye maradék anyagokból vett minták izzítási veszteségét az alábbi táblázat mutatja be.

3. táblázat: Pellet-tüzelés égetési maradékai

Égetés során alkalmazott beállítások	
2 kg adagolási mennyiség/ 4 perc adagolási sebesség / 2 perc rostély sebesség	
SALAK	
Beérkezett minta tömege, g:	2270
Izzítási veszteség, %:	0,99
PERNYE	
Beérkezett minta tömege, g:	2815
Izzítási veszteség, %:	10,54

Az adatokból látható, hogy a salakban kevesebb, mint egy százalék volt a maradék éghető anyag, így kijelenthető, hogy az adott beállítások mellett, a pelletek teljesen kiégték, ahogy ez az 5. ábrán is látható volt.

4. Összegzés

A vizsgálatokból megállapítható, hogy a B-frakció, amelyet 60-80 mm-es dobszita mellett választanak le a kommunális hulladékokból alkalmas termikus hasznosításra, mert fűtőértéke eléri a 8-10 MJ/kg-os értéket. Kémiai összetételét tekintve kielégíti a szénerőművi együttégetésre vonatkozó követelményeket, egyedül a mangántartalom volt magas a vizsgált mintákban. Azonban RDF hozzáadásával a fűtőérték növelhető, míg hamutartalma fajlagosan csökken.

A B-frakció pelletálásnak köszönhetően pontosabb adagolást lehet biztosítani a termikus folyamatok esetében, illetve csökken a szagártalom, mert a darabosítás miatt kevésbé bomlik. A bomlásra való hajlam csökkenésével a pelletek tartósak és szállítás közben kisebb a kiporzás, amellyel a szállítás útvonala mentén kisebb a környezeti terhelés is. Végül, de nem utolsó sorban, a pelletek nedvességtartalma jóval kisebb a kiindulási állapothoz képest, amellyel a jelentős szállítási költséget lehet megtakarítani, mert közel 30-40%-nyi víz tömegével kevesebb anyagot kell szállítani a hulladékkezelő és a termikus ártalmatlanítás helyei között.

5. Köszönetnyilvánítás

A cikkben ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valamint a „Fenntartható Nyersanyag-gazdálkodási Tematikus Hálózat – RING 2017” című, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 jelű projekt részeként a Széchenyi2020 program keretében az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

6. Hivatkozások

Faitli, J., Csőke, B., Romenda, R., Nagy, Z. and Németh, S. (2018), „Developing the combined magnetic, electric and air flow (KLME) separator for RMSW processing,” Waste Management & Research

Garamszegi, G., és Tóth, J. (2015), „Javaslat a környezeti kockázatot jelentő hulladékok („end of pipe” maradvány) biztonságos ártalmatlanítására és hasznosítására”

Györfi, A., Leitl, Cs., Kiss, T. (2019) „Study of the correlation between the particle size and the moisture content of waste derived fuel,” II. Sustainable Raw Materials Conference Book - International Project Week and Scientific Conference

Kiss, T., Leitl, Cs., Györfi, A. (2019), „Study of the particle size distribution and moisture content of residue derived fuels,” Sustainable resource management: Scientific conference proceedings

Pfeiffer Zs. (2018), „A magyarországi hulladékösszetétel alakulása vizsgálati tapasztalatok,” XV. Nemzetközi Köztisztasági Szakmai fórum és kiállítás

Pomberger, R., Sarc, R., Lorber, K. E. (2017): „Dynamic visualisation of municipal waste management performance in the EU using Ternary Diagram method,” Waste Management

INVESTIGATION OF GRINDING KINETICS OF FERROMANGANESE SLAG AND ITS GEOPOLYMERISATION

Nóra Halyag¹, Michal Marcin², Martin Sisol³, Gábor Mucsi⁴

1,4 Institute of Raw Material Preparation and Environmental Processing
University of Miskolc
3515 Miskolc, Egyetemváros
1, ejtpnora@uni-miskolc.hu
4, ejtmucsi@uni-miskolc.hu

2,3 Faculty of Mining, Ecology, Process Control and Geotechnologies
Technical University of Košice
Letna 9, 042 00 Košice
[2, michal.marcin@tuke.sk](mailto:2.michal.marcin@tuke.sk)
[3, martin.sisol@tuke.sk](mailto:3.martin.sisol@tuke.sk)

Abstract Nowadays one of the most important environmental problems are the global warming and climate change caused by the high level of CO₂ emissions associated with the industrial production, including cement and other construction raw materials. To reduce this process, there is a growing demand in the construction industry for environmentally friendly building materials. One possible solution is to replace Portland cement with industrial waste, such as fly ash or granulated blast furnace slag, which makes concrete more environmentally friendly and economical without carbon dioxide emissions. Another solution is the creation of a new type of binder made from waste material and alkaline activating solution, called geopolymer which both reduces the carbon dioxide produced by cement production and reduces the environmental impact. The possible materials used for the preparation of geopolymer are rich in silica and alumina which can be activated by the addition of sodium hydroxide to provide a product with high quality and high strength. In addition to promising mechanical properties, the most important parameters are heat resistance, low creep and drying shrinkage, chemical resistance, compressive strength, tensile strength, durability and workability. The aim of the research is to study the grinding kinetics of ferromanganese slag and to compare the strength results of geopolymer produced in different preparation conditions. The results show that geopolymerization of the slag can produce a binder with quickly hardening behaviour with high final strength depending on the preparation conditions.

Keywords: geopolymer, alkali activation, mechanical properties

1. Introduction

The manufacturing of building and construction materials cause liberation of carbon dioxide (CO₂) that is a major greenhouse gas. This high CO₂ emission and the extraction of raw materials are the main reasons of the emergence and growing use of environmentally friendly building materials. This newly formed product is called geopolymer, which was first introduced to the world by Davidovits. Geopolymers are three dimensional semi-crystalline inorganic aluminosilicate polymers resulting from the reaction of

amorphous aluminosilicate with alkali hydroxide and silicate solutions. Theoretically, any aluminosilicate material can undergo geopolymerisation under certain conditions. The source material could be natural minerals such as clays, kaolinite, or industrial by-products such as red mud, fly ash, slags (Mucsi and Csöke 2012, Mucsi et al, 2019) that can be used after mechanical activation (Kumar et al., 2017). Geopolymer possess good properties such as: high compressive strength, heat resistance (in the case of low calcium binder), fire resistance, durability, low drying shrinkage (at higher curing temperature), workability compared with OPC and it is much more environmentally friendly due to the lack of calcination that produce CO₂ emission. For preparing geopolymer the most commonly used activators are sodium hydroxide, potassium hydroxide, sodium silicate and potassium silicate. The sodium and potassium silicate can enhance the SiO₂/Al₂O₃ ratio which plays an important role in the geopolymerisation process by increasing the silica content in the matrix. Xu and Van Deventer (2000) observed that sodium hydroxide caused a higher rate of dissolution compared to potassium hydroxide. Palomo et al. (1999) stated that the presence of soluble silicate cause a higher rate of geopolymerisation process compared to only use of NaOH. The alkaline solution first attack the outer surface of the particles and spread inside through dissolved voids, so that the smaller particles are completely dissolved and reorganised into three dimensional aluminosilicate geopolymeric network. The reactions of slag in alkali solution depends on the particle size. Particles above 20 µm can react slowly or not react, while particles smaller than 2 µm can react faster with the alkaline solution. This process control the strength of the geopolymer (Provis et al. 2009). Geopolymer concrete with its promising mechanical properties has great potential as an alternative construction material. Prior to preparing geopolymer the chemistry of the geopolymer concrete has to be investigated, and well established conditions must be ensured to design adequate geopolymer mixes since it causes significant structural differences which determine the final properties of geopolymer. Low Si/Al molar ratio leads to the formation of three-dimensional framework. In this research we used metallurgical slag (ferro-manganese slag) to prepare geopolymer at different conditions and to compare the strength results. Metallurgical slags (granulated and air-cooled) are disposed as waste from the ferro- manganese and ferro-manganese-silicon alloys manufacturing plants. Metallurgical plants produce a lot of by-product in the form of slag which means environmental risk. Slag containing high amount of manganese can cause soil contamination, river or groundwater pollution and other environmental pollution. For environmental protection the main purpose is how to utilize manganese slag waste. One of the possible way to utilize is the preparation of geopolymer material and application as fire resistant materials. Sakkas et al. (2013) used slag based geopolymer for passive fire protection of tunnels, and other authors also investigated slags based geopolymers such as Cheng and Chiu (2003), and Kumar et al. (2009).

Factors influencing the mechanical properties

There are several factors that influence the compressive strength of geopolymer concrete. One of the most important factors is the curing temperature, as the geopolymerisation process is accelerated with increasing temperature. The longer curing time produces more efficient geopolymerisation process with higher strength. Bondar et. al. (2011) stated that geopolymers can reach 70% of their final strength within the first few days. The increase of sodium hydroxide concentration cause higher strength, as more aluminosilicates can be dissolved allowing the formation of stronger bonds. The use of alkali silicate and alkali hydroxide gives higher compressive strength. The SiO₂/Al₂O₃ ratio is an important parameter for governing the strength. The water content of the geopolymer slurry affect the workability and the strength. As the water/solid ratio increases the compressive strength decreases (Lloyd and Rangan 2010).

2. Materials and methods

2.1. Characterization of raw materials

The slag used in this study was ferromanganese slag with its characteristic green colour derived from the high amount of manganese (8 wt. %). The slag consists of angular fragments of different sizes. The alkaline activator used for the preparation of geopolymer was NaOH (6, 8, 10, 12 M) and waterglass. The alkali

silicate solution (waterglass) was potassium silicate solution which is known to be more viscous than the sodium silicate solution. Characteristic particle size values of the raw slag were $x_{50} = 99.05 \mu\text{m}$ and $x_{80} = 245.72 \mu\text{m}$. The specific surface area (SSA) of the raw slag was $643 \text{ cm}^2/\text{g}$ additionally, the bulk, and the particle density were 1.44 g/cm^3 , and 2.65 g/cm^3 respectively. Moisture content was 0.54 wt%. *Table 1.* presents the chemical composition of slag. The $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ratio was 1.6. Based on Davidovits (1999) this ratio allow the application of bricks, ceramics, fire protection, low CO_2 cements and concretes and radioactive waste encapsulation. The combined SiO_2 , Al_2O_3 and Fe_2O_3 content of the slag was 41.07 wt%.

TABLE 1. CHEMICAL COMPOSITION OF THE FERROMANGANESE SLAG (WT. %)

SiO_2	Al_2O_3	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	Fe_2O_3	MnO	TiO_2	P_2O_5	S	F
25.4	15.1	5.59	22.4	0.94	1.49	0.57	8.06	0.072	0.021	1.4	<0.3

The mineralogy of the ferromanganese slag was determined by X-Ray diffraction (XRD) on a Bruker D8 Advance diffractometer using CuK α radiation (40 kV), 40mA). The crystalline phases were identified by Bruker DiffracPlus software package in its EVA module ICDD PDF-2 (2005) database for search/ matching of phases. The quantitative evaluation was carried out by Rietveld-profile fitting method, on TOPAS3 software, where the amorphous content was determined from the crystalline phases. The diffractogram of the slag sample (*Figure 1.*) indicate a large amorphous hump between the 20-40° on 2theta scale meaning that there is a considerable amount of amorphous phase beside the crystalline phases. The main crystalline phases are gehlenite, merwinite and monticellite.

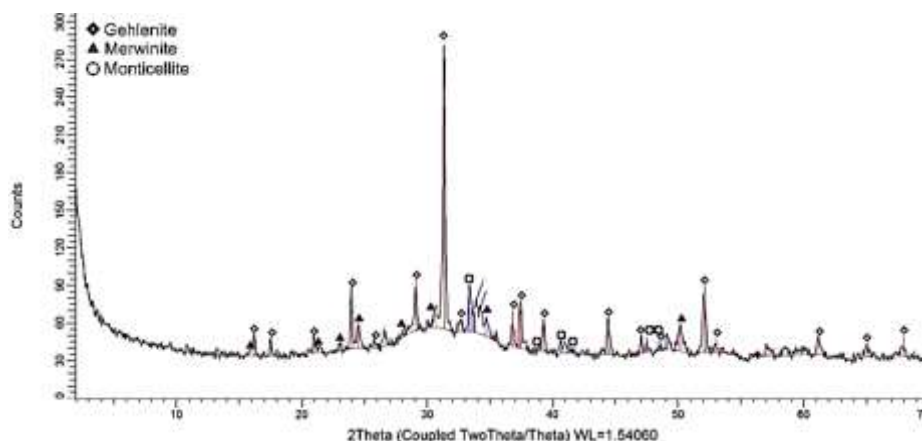


FIGURE 1. X-RAY DIFFRACTOGRAM OF THE FERROMANGANESE SLAG

2.2. Mechanical activation of ferromanganese slag

Prior to its use, slag was sieved below $400 \mu\text{m}$ and this fraction was ground further. The mechanical activation of the ferromanganese slag was carried out in a laboratory stirred media mill with the chamber volume of 530 cm^3 , with ceramic liners, and 0.8-1 mm 'Z' type ceramic ball mainly composed of 67.5 wt.% ZrO_2 and 27.5 wt.% SiO_2 . The grinding parameters are: rotor circumferential speed (v) 5 m/s, (23.04 Hz), grinding media filling ratio 70 V%, material filling ratio 110 V%. The grinding residence times of stirred ball mill experiments were 1, 3, 5, 10 and 20 minutes. The consumed electric power during the experiments was measured by Carlo Gavazzi WM1- DIN digital energy meter. The results of it is expressed in Wh and proportional to the grinding time. The particle size distribution and specific surface area (SSA) possess a great importance of reactivity. The particle size distribution of the raw and ground material was measured by HORIBA LA-950V2 laser particle size analyser in wet mode by using distilled water as dispersing media. The effect of grinding on particle size and shape was investigated by Phenom ProX scanning electron microscopy equipped with EDS detector.

2.3. Geopolymer synthesis

The first series of geopolymer was synthesized in order to investigate the effect of grinding to the development of compressive strength. Geopolymer specimens were made by mixing raw- or ground ferromanganese slag and sodium-hydroxide solution (NaOH). The mass for preparing geopolymer consisted of alkaline liquid and solid material with the alkaline liquid to binder ratio of 0.25 to reach the proper workability. The grinding effect on compressive strength was investigated with the activation of 6 M NaOH. After mechanical mixing, the homogenous slurry was transferred into pre-oiled 20x20x20 mm cubic shaped moulds and it was vibrated for proper compaction. The prepared specimens were sealed at room temperature for 1 day. It is followed by heat curing at 60 °C for 6 h, that accelerate the geopolymerisation process, and higher strength will be achieved. After demoulding the specimens were stored in room temperature for 7 days before they were tested (crushed).

2.4. Mechanical properties of slag based geopolymer

2.4.1. Compressive strength

The mechanical test was carried out by Compression Testing Machine at the age of 7 days. The compression testing machine was used to determine the maximum load of the 20x20x20 mm cubes. The effect of grinding on the strength was measured on specimen with 6 grinding time (0, 1, 3, 5, 10, 20 minutes) with 5 probe specimens (30 pieces). The compressive strength results based on the measurements of geopolymer cube. The maximum forces were used to calculate the compressive strength of the geopolymer cubes.

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

σ =Compressive strength (MPa)
 F =Maximum applied force (N)
 A = Surface area (mm²)-400mm²

(1)

2.4.2. Body density of the geopolymer concrete

The density of various geopolymer concrete specimens was determined before crushing. The density was determined using the equation of:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

ρ = density [g/cm³]
 m =mass of the geopolymer cube [g]
 V =volume of the cube [cm³]

(2)

3. Results and discussions

3.1. Mechanical activation

The *Figure 2*. illustrates the results of the particle size analysis. The particle size distribution shows that the coarser particles above 100 μm can slightly change their size after 10 minutes grinding, and the amount of them not really decrease. The coarsest particle size sharply decrease only after 20 minutes grinding. After 20 minutes there is a strong particle size reduction in the finer fraction too. There is a significant change in the finer fraction even 1 minute grinding, because not only the grinding ceramic balls serve as a grinding media, but the coarser particles too. For 10 minutes grinding the stress intensity was not enough to break coarse particles only to break the smaller ones. Based on the particle size distribution the stirred media mill produced fine fraction (below 1 μm) and coarser particles at the same time, showing wider particle size distribution curve. For better understanding of particle size distribution, the characteristic particle size diameter x_{80} and x_{50} were plotted as a function of grinding time (*Figure 3*). It can be seen that slight changes of the median particle size (x_{50}) and x_{80} till 10 minutes and after 20 minutes grinding sharp decrease

occurred in both x_{50} and x_{80} . The increasing grinding time in stirred media mill resulted in increase in product fineness. Beside the significant increase of submicron particles, coarser particles are presented in the product, in considerable amount even after 10 min grinding time.

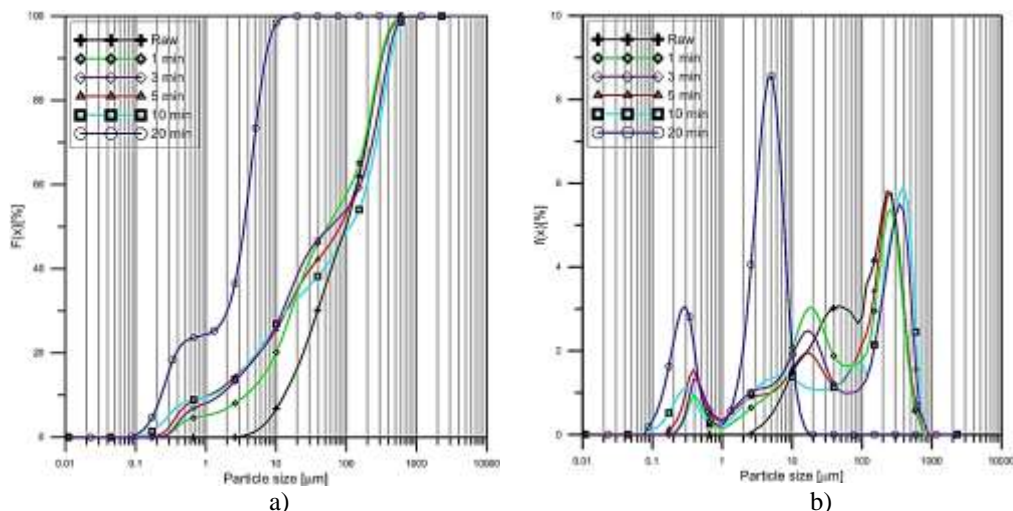


FIGURE 2. PARTICLE SIZE DISTRIBUTION AND VOLUME RATIO OF THE RAW AND GROUND SLAG

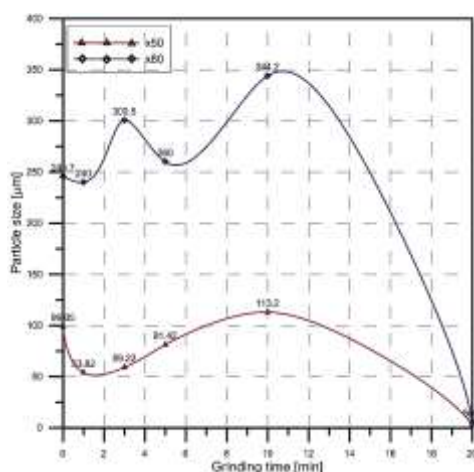


FIGURE 3. CHARACTERISTIC PARTICLE SIZES OF THE GROUND SLAG DEPENDING ON THE GRINDING TIME

The specific surface area generated by grinding of the slag in the stirred media mill is described as a function of specific grinding energy. The higher the grinding energy, the higher the specific surface area. The highest specific surface area can be achieved by stirred media mill with specific surface area of 23489.47 cm^2/g after 20 minutes grinding and using 60 Wh specific energy input. The finest median particle size achieved by the stirred media mill is 3.5 μm after 20 minutes grinding. The particles ground in stirred media mill may be aggregated after 3 minutes grinding time and the aggregates are destroyed only after 20 minutes grinding.

The specific surface area well correlated with the particle size distribution. After 1 minute only a small increase can be observed in the specific surface results from the slightly increasing amount of finer (smaller than 1 μm) fraction. The sharp increase can be seen after 20 minutes grinding due to the large amount of fine fraction. To reach higher specific surface area more specific grinding energy is necessary. Grinding can decrease the particle size and increase the specific surface area.

The results of particle size reduction can be seen on the scanning electron microscopy pictures (*Figure 4*). The original angular grains become more rounded with grinding time, and the particles become finer with 20 minutes grinding with some bigger particles. These investigations well correlate with the results of particle size analyses.

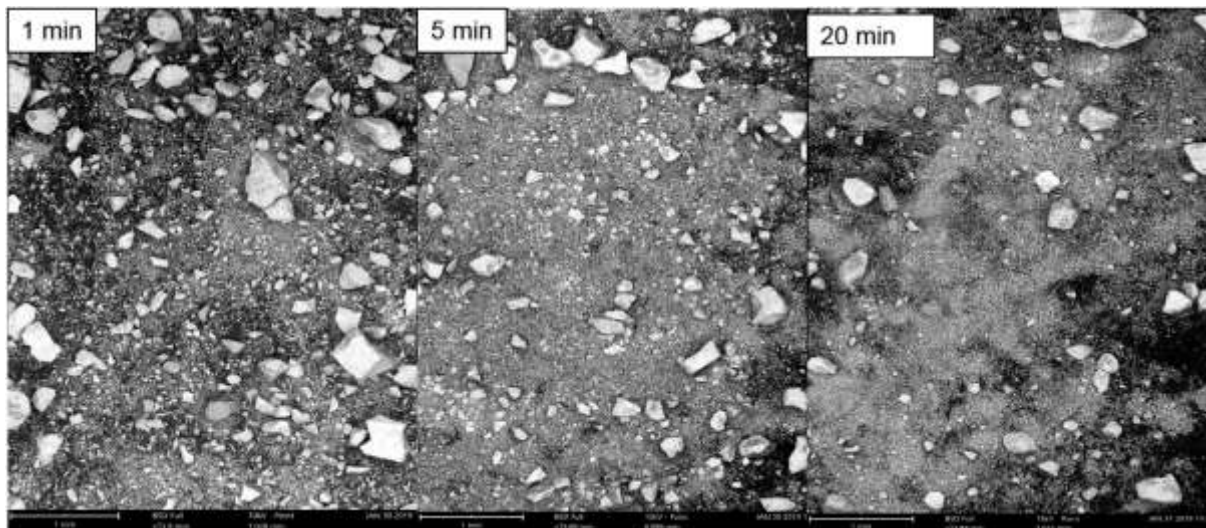


FIGURE 4. THE EFFECT OF GRINDING ON THE PARTICLE SIZE AND SHAPE

3.2. Mechanical properties

To determine the effect of mechanical activation on geopolymer compressive strength the most important parameter is the specific surface area on which the reaction with alkali activating solution can be completed. Silica is a material that dissolves easily in strong alkaline solution at high pH, and play an important role in the condensation process (Lingard et al. 2012). Based on that fact, the mechanical activation effect improved the dissolution of SiO_2 and Al_2O_3 as grinding can increase the amount of fine particles that can be easily dissolved, and transforms to hard geopolymer. In this investigation 6M NaOH was used for alkali solution and mixed with the ground material. *Figure 5*. shows the relationship between grinding time and compressive strength. The vitrified slag ground for 20 minutes showed the highest specific surface area and compressive strength. The alkali solution can easily reach the finer particles due to the high specific surface, and results in high compressive strength. The effect of grinding on the compressive strength is found to be followed an increasing trend of the power function, with $R^2= 0.9$. The relationship between compressive strength and particle density shows decreasing trend.

The differences in the body density of the geopolymer may be derived from the pores and voids that formed due to the not suitable compaction, caused by the rapid setting time. With increasing grinding time most of the particles possess similar grain size, and the pores between them will be empty.

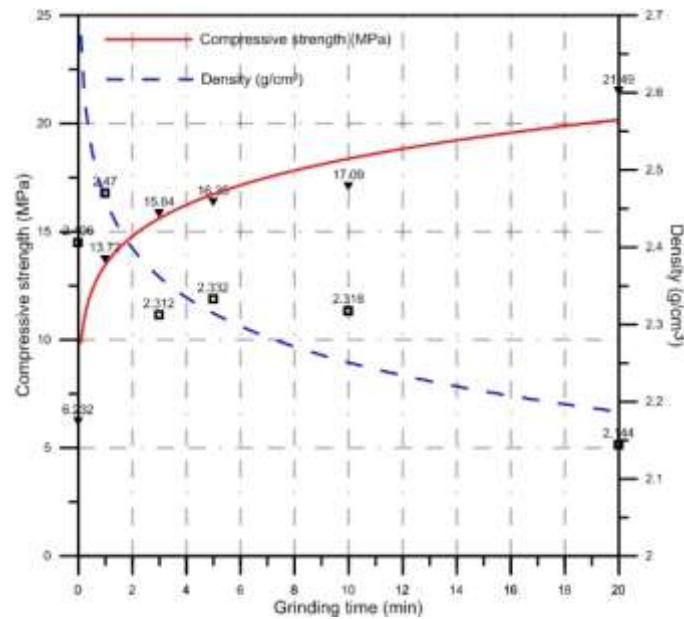


FIGURE 5. THE EFFECT OF GRINDING ON THE COMPRESSIVE STRENGTH AND BODY DENSITY

4. Conclusion

As geopolymer is a relatively new type of binder material in recent years therefore it is important to collect a great amount of knowledge about the topic and ensure the fulfilment of expectations of the geopolymer technology. The slag based geopolymer like other geopolymer require heat curing in order to accelerate the geopolymerisation process. As the alkali activation of the aluminosilicate materials is the first step of the geopolymerisation process, the strength of the geopolymer concrete is highly depend on the concentration of the alkaline solution which determine the rate of dissolution. The compressive strength usually increases with increasing molarity of NaOH, but the high amount of Ca^{2+} ions can react with OH^- to form $\text{Ca}(\text{OH})_2$ and precipitate. This process lower the alkalinity that may inhibit the dissolution of aluminosilicate particles. The amount of sodium hydroxide solution and its concentration is the most important factor in the geopolymerisation process, as the hydroxide ions dissolves the aluminosilicate. The addition of alkali silicate increase the available silica content. The early hardening of the geopolymer concrete can be a problem in the sample preparation stage as there is no time to adequately compact the fresh geopolymer sample into sample holder. The inadequate compaction cause larger pores and voids in the geopolymer concrete. The time of setting in the case of slag was less than 5 minutes. The surface of the geopolymer is covered with white encrusting. It may be sodium bicarbonate which forms when there is in excess amount of NaOH that can react with the slag particles (Davidovits 2011). The sodium hydroxide migrates up to the surface of the geopolymer during drying and reacts with the atmospheric CO_2 . Promising slag based geopolymer concrete compressive strength up to 21.5 MPa were obtained. Further research should be carried out to ensure a longer setting time as the rapid setting of the geopolymer makes difficult the casting of moulds. More knowledge of the mechanical parameters such as flexural strength, elastic modulus should be carried out.

5. Acknowledgement

The described work/article was carried out as part of the „Sustainable Raw Material Management Thematic Network – RING 2017”, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 project in the framework of the Széchenyi 2020

Program. The realization of this project is supported by the European Union, co-financed by the European Social Fund.

6. References

Bondar, D., Lynsdale, C.J., Milestone, N.B., Hassani, N., Ramezaniapour, A.A. (2011), Engineering Properties of Alkali-Activated Natural Pozzolan Concrete. *ACI Materials Journal*, 108(1).

Cheng, T.W., Chiu, J.P., (2003), Fire-resistant geopolymer produced by granulated blast furnace slag, *Minerals Engineering* 16 205–21

Davidovits, J., (2011), *Geopolymer chemistry and applications*. France: Geopolymer Institute

Kumar, S., Kumar, R., Mehrotra, S.P.J (2010), Influence of granulated blast furnace slag on the reaction, structure and properties of fly ash based geopolymer, *Material Science* 45: 607

Kumar S., Mucsi G., Kristály F., Pekker P., Mechanical activation of fly ash and its influence on micro and nano-structural behaviour of resulting geopolymers, *Advanced Powder Technology*, 28 (3), 2017

Lindgård, J., Andiç-Çakır, Ö., Fernandes, I., Rønning, T.F., Thomas, M.D. (2012), Alkali–silica Reactions (ASR): Literature Review on Parameters Influencing Laboratory Performance Testing. *Cement and Concrete Research*, 42(2)

Lloyd, N., and Rangan, B., (2010), Geopolymer Concrete with Fly Ash. Paper presented at Second International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies.

Mucsi, G., Csöke, B., (2012): Power plant fly ash as valuable raw material. *Geosci and Eng* 2012 1, 223-236

Mucsi, G., Szabó, R., Rácz, Á., Kristály, F., Kumar, S., (2019): Combined utilization of red mud and mechanically activated fly ash in geopolymers. *Rudarsko-Geolosko-Naftni Zbornik* 2019 34 (1), 27-36

Palomo, A., Grutzeck, M.W. & Blanco, M.T., (1999), Alkali-Activated Fly Ashes: A Cement for the Future. *Cement and Concrete Research*, 29(8)

Provis, J.L., Van Deventer, J.S.J., (2009), *Geopolymers: Structure, processing, properties and industrial applications*. Woodhead Cambridge, UK

Sakkas, K., Nomikos, P., Sofianos, A., Panias, D., (2013), Slag based geopolymer for passive fire protection of tunnels *World Tunnel Congress 2013 Geneva Underground – the way to the future!* G. Anagnostou & H. Ehrbar 2013 Taylor & Francis Group, London

Xu, H., Van Deventer, J.S.J., (2000), The Geopolymerisation of Alumino-Silicate Minerals. *International Journal of Mineral Processing*, 59(3).

PERFORMANCE/EFFICIENCY-ORIENTED APPROACH IN THE INTEREST OF ECONOMIC GROWTH

Kornfeld Zsuzsanna¹

¹ Soproni Egyetem, Faipari Géptani Intézet

4. Bajcsy Zs. str. Sopron 9400 Hungary
suzanna.kornfeld@gmail.com

Abstract: *Market relations nowadays require reduced price and improved quality of products that is only possible the providers increase their efficiency. A key to achieving this is the adequate process-oriented alignment and control of company processes as well as their co-ordination and execution in order to ensure sustainability. In logistics there are plenty of opportunities for innovation that enable any company to streamline their operation, increase their competitiveness and as a result their ability to generate more profit. With the help of existing and new methods the processes of companies can be examined, and the critical points of operation detected. These sources of error must be revealed in line with the company's overall strategy and then optimized, eliminated or reduced to the lowest possible minimum. However, it is not only sources of error that must be examined and detected but also less efficient activities and the individual elements of the system.*

Key words: sustainability, efficiency, innovation, competitiveness, quality

1. Introduction

Technological development has already affected the economy and the labour market many times over the course of time and there is still a chance of it happening again. Climate change, existing environmental problems, diminishing resources whose availability is scarce, the lack of professionals, and the altered labour market require all economic operators to take a different approach. All the above effects force businesses to introduce a sustainable and more responsible attitude from an environmental point of view. The unpredictability of the market, its increasing dynamism, the available and more and more 'disturbing' product selection, and the complexity of the situations deriving from it, cause businesses to face bigger and bigger challenges. While gaining a competitive edge, a bigger market share, and reducing costs, sustainable operation must be achieved by customer satisfaction without quality being impaired. (Emerson, 1999). Due to the constant demand for development and investment, businesses must make bigger and bigger efforts to achieve a bigger market share and generate more profit long-term and with permanent growth. Profit generation clearly shows that the main goal of companies is to make money (Goldratt E. M. 2004). Therefore, money is obviously the most efficient tool in the world, in the economy and in industry not only as a value measurement but also a means of payment (Antonioni P. 2011). The special characteristics of our financial systems generate environmental and social conflicts within the concept of sustainability (Arnsperger 2015).

This is why due to the complexity of effects arising in the above market conditions, certain individual, economic and ecological goals must be taken into consideration so that businesses can react to the complex challenges of our century in time, fast, and in a flexible way, through innovative strategies and a sustainable corporate governance approach. These challenges constantly make it difficult for companies to stay competitive and successful and make it harder for them to adjust with minimum effort. The avoidance of negative effects and the achievement of economic gains motivate companies to implement chang-

es, but the ever-increasing customer demand also poses significant impact forcing companies to introduce changes.

In order to achieve competitiveness, companies have limited room and specific possibilities at their disposal (social, environmental, quality regimes) (Chikán 2009). Therefore, it is flexibility and rapidity that are the most needed factors to achieve and retain this advantage. The environmental effects, the constant changes of the market and the increasing customer demand require faster and more complex reactions without significant cost increase. The achievement of a competitive advantage is unimaginable in our world without innovation and the ability to change (Chikán 2013). The corporate model of competitiveness is demonstrated in Figure 1.

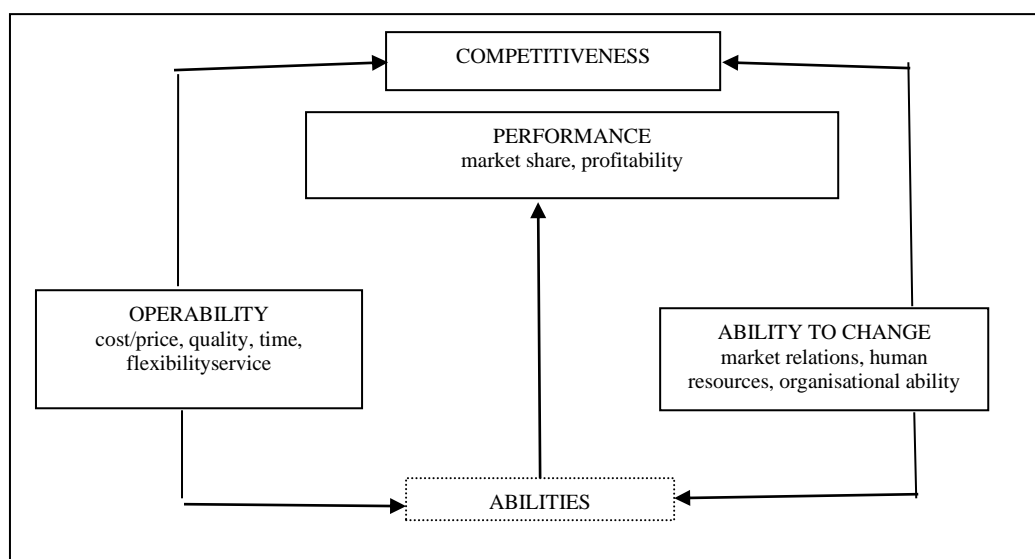


FIGURE 1. THE CORPORATE MODEL OF COMPETITIVENESS¹

2. Tools for Improving Efficiency

Efficiency is the most important element of competitiveness as by increasing its efficiency businesses can enhance their profitability. Efficiency, therefore, in terms of economics refers to the effectiveness of management. Its measurement can be done by comparing costs and results (Czékus 2004). Czékus combines efficiency with effectiveness, while others only refer to efficiency as part of effectiveness. In foreign sources Smith approaches the notion of efficiency from a different aspect, namely how we can achieve better results at unit costs and how we can do this at the lowest possible costs. (Smith 1984).

To achieve efficiency, we need an integrated but transparent value chain with optimized processes where higher accuracy and well-founded decisions are of key importance. The goal of the value creation processes is cost-reduction and higher availability. The key element in achieving cost efficiency is a comprehensive process approach running through each line of business accompanied by easy operation and swift implementation, customizable to meet current expectations. By shortening the time needed and by reducing costs we can achieve excellent results, which lead to an increased return on investment. In order to increase customer satisfaction, it is vital to increase the level of quality. Quality has a much bigger role than we think as it is the main source of competitive advantage. Furthermore, the importance of quality is

¹ Source: Chikán A. (2013) What makes a company competitive? Competitive company=competitive economy World Economics Conference on 25 September, 2013 in Budapest

not only increasing due to technological advances and digitalization but also by gaining a new role as quality affects each activity at the company and thus determines the operation of companies.

In order to increase efficiency, we have different tools available. First, risks must be determined then reduced and at the same time processes must be optimized so that the principle of 'more out of little and in better quality' can be realized, which linearly increases satisfaction and standards. Companies with a systems approach have a chance to achieve higher service standards and increased satisfaction, which processes can be realized through logistics.

Within logistics, the priority of the systems approach is paramount as procurement, production, distribution and waste management cannot be handled as separate units but only as a complex system. If we want to deal with the strategy of increasing efficiency, we must deal with every area of logistics. In this process it is not only the comprehensive examination of the bigger subsystems that is important, but we must also conduct a detailed study of each element of the technology.

We must get to the analysis of instruments, materials, energy, resources, so we must go back to square one, to basic operations, to the most fundamental parts and activities to be able to handle the system as a whole and examine the implications. We must get to the most elementary steps to determine the sequences within the system. For example, if we start at the ready product and we go backwards, we get to packaging and assembling and to the production line operations, to the processing and preparation of raw materials and to the analysis of tools and smaller machines. This way we can assess and study what human resource capacity should be assigned to each step from the very beginning. A further analysis shows how much time is needed to carry out the task, how frequently work processes are repeated, whether the replacement of the tool is necessary, whether there is continuous product flow, how far the next process is, and what impact it has on the first and the previous process. Here we must consider elementary activities and measurements such as electronic measuring devices that when installed on electric motors we can measure permeability as well as we can determine different performance and capacity norms in order to increase efficiency. Let us take an example from the automotive industry. We can analyse an electronic key and determine the engine power, its efficiency, energy, rotational speed and time. We can go on examining the other machines and thus summarize how much time is available, what activities are realized there, whether these activities are linked to each other or independent of each other and what the sequencing during assembly is. Based on this, by measuring the performance and operation of all machines used at the different workstations we can get a more transparent picture of our losses should it be time, material, excess work or idle periods.

In order to get a comprehensive picture, during our examination we must take into consideration the whole environment including the sequential logic, the definition of machines, the different set of rules, the materials, the energy supply, as well as the use and exploitation of resources so that they can all be properly implemented into the system. It is of significance at what distance the material handling machines are located, whether the proper utilization of the machines in the group can be ensured, whether there are any obstacles in the work processes, whether the layout of the objects is suitable, whether the work pieces are moving between the work stations in the order of the technological requirements or in another way. Furthermore, we must examine whether the current situation is favourable for us or we need to introduce modifications; what reorganization must be carried out in order to save time, handling processes and/or resource utilisation. To modify and correct, there are different possibilities to optimize and oftentimes these are simple solutions with the potential of saving a lot of money. If we did not go back to the elementary operations, we would not even think of examining these questions and observations. To sum it up and going back to our initial example of the examination of the electronic key, based on measurements we came to the modifications directed at the machines but also at human activity or at the energy systems. Following this stage, we examined the related work processes, product flow, work environment and the adjustment of the different plant units to get a comprehensive picture of our system. For this holistic approach we must not forget to investigate the different and yet interrelated units as without these a company cannot be complete. Such units include research and development, a marketing department, suppliers, finance, HR. The system approach has significance because the most common mistake businesses make is that they concentrate on one area or segment only – for example by initiating outsourcing in order to cut costs – and as a result the extra cost arises somewhere else later, only because the business failed to examine the whole system. It is not enough to understand the strategies and the way leading to optimisation, because if improperly and inefficiently used, the development technologies such as Lean

or Six sigma² will have very little effect or the processes of development will be very slow (George 2002). Lean is a company governance system whose main goal is to produce goods in an economical way. The aim of Lean and Six sigma is to maximise profit and satisfaction as well as cost reduction while quality, the speed of processes and the ratio of investment and profit is increasing (George, 2002). Improperly used technologies burden companies with further extra costs as the optimisation of costs threatens and thus reduces the optimal functioning of the whole system. This situation causes quality problems and wastage as the company concentrates only on the reduction of lead-time. Therefore it is necessary to return to the basics and start from there by building up and broadening our horizons along the way. Lean provides an effective tool in this process as it shows that there is always something we can change and correct if we evaluate all the steps, if we conduct a complex analysis, if we highlight wastage and concentrate on its elimination (Bilsback 2011).

After we have examined and analysed the work processes, and conducted the assessment of risk and profit in the name of value creation, the individual work processes can be digitalized, to save a lot of time, mistakes and wastage as a result of the elimination of human operation, continuous product flow, shortened material handling distances, reduced retooling and unit implementation costs, based on the proper and complex analysis of processes. Therefore, with the help of digitalization efficiency can be brought in throughout the process saving possible flaws, unnecessary human work processes, increasing time efficiency, distributing resources better, and thus increasing overall efficiency. How? By reorganising or eliminating an activity, an unnecessary activity in order to make a more optimal use of our resources and to save time and reduce costs that resulted in increasing efficiency at the company. At the same time our production losses are decreasing, our productivity is increasing until we achieve an overall improvement of quality. In order to exploit the advantages related to the technology we also need a well-qualified staff. Besides digitalization, Lean principles can be coupled with the bases of systems approach.

The systems approach enables logistics to reach the goal of a company being run with favourable efficiency, which is important because in business it is only CHANGE that is constant. Therefore, it is of great significance for a company to choose proper management strategies and a logistics systems approach in everyday contexts because they heavily influence the company's competition policy situation. Logistics directly affects service quality standards and the customer satisfaction accompanying it has a direct effect on the performance of enterprises (Dresner-Xu 1955). All this is realized through the value creation process as logistics is part of our everyday lives now and its role is more and more significant. It has earned its current importance in the global business market by its efforts for economical operation and its ambition to stay in competition. It is important to define what logistics means for an enterprise as it is the level of development of this system that determines the competition policy significance, the concept of control and the visions for development of companies. Logistics is based on a principle that it adjusts to the buyers' needs, it handles problems with a systems approach, it strives towards optimisation and thinks in a process-oriented way, constantly seeking cost-minimizing solutions and options and is driven by the general principle of cost efficiency. It is not always complexity and novelty that helps companies; we can also go back to simple principles and the foundations, what is more, it is sometimes inevitable to go back to square one and find solutions such as LEAN that can also help to select processes that should and must be digitalized and developed. Logistics builds its operations based on the values created for the buyers. A solid strategy, thorough market research, good planning and the 'just-in-time' principle are good foundations for business operation (Ries 2011). In order to implement this into practice we need to look at the five principles of LEAN (Womack, Jones 2003)

- to define VALUE for the company
- to identify and map the VALUE STREAM
- to carry out the value creation without interruptions and CREATE FLOW
- establish PULL and act upon demand
- to pursue PERFECTION and introduce constant development that gives a chance for processes to improve (kaizen). Kaizen has two main functions: maintenance and development as maintenance is directed at sustaining functions, while development is directed at the improvement of current norms (Imai 2012)

² Problem-solving process-developing system

By the avoidance of wastage and muda³, mura⁴ and muri⁵ waste, the elimination of losses, time reduction (market access, reaction time, time of service), proactivity, process approach, constant learning, the respect for a human being a high level of efficiency can be achieved. LEAN puts an emphasis on value that the customer is willing to pay for and it means the added value activity that makes a product or service be closer to the buyer. The value-based approach provides the foundation of the business strategy (Porter 1985).

3. SWOT Analyses

Lean management and digitalization are a perfect combination and through their principles they can transform the value chain. Through automation and digitalization, processes will be more transparent thus enabling businesses to react faster and more flexibly reducing costs, increasing turnover, gaining a competitive edge and providing an overall higher standard of service. In the meantime, businesses can optimise time, can keep deadlines and execute orders more quickly. It can also contribute to reducing investment costs and costs deriving from economic risks. The potential provided by digitalization and automation make it possible for businesses to think and integrate within the framework of a stronger systems and process approach and explore new areas (Porter-Heppelman 2015). Transparency is helped by the fact that data created in one area become available for other areas, which increases efficiency. The brief SWOT analysis that I am going to outline below shows how efficiency works through automation and digitalization.

Strengths

Through automation, performance and efficiency increase as the speed of customising processes accelerates. This helps to eliminate a lot of time-consuming activities and work processes, which generally enable processes to speed up and flaws to disappear.

Weaknesses

In today's Internet-based and mechanised world people do not even think about the consequences of a power cut or Internet being inaccessible. Yet, these situations can occur, and they make the system vulnerable. In the area of procurement such disturbance would cause problems in obtaining materials, in the survey and ordering of missing items. The disturbance would further affect production as due to the lack of information currently available, there would be wastage of time and additional costs generated. Smart inventory monitoring and procurement systems would be able to obtain the missing articles at a click of the mouse. As a result, workers might lose their controlling and co-ordinating role and work in teams would decrease. Through mechanisation everything will be available, all data will be processed in a fast and efficient way, but will there be anybody to evaluate this information? Can the possibility of losing the know-how occur? Is it certain that people are prepared to handle electronic and IT processes mechanised to such extent? Who will teach them? How long will their training take? Besides the values gained by experience, financial analyses, risk factors and the high investment costs all this involves time and money. Machines and the available technology can support us, but can they replace us humans in the long run?

Opportunities

There is potential to integrate knowledge and thanks to the constantly flowing data there is a higher potential to make more accurate predictions, permanent tracking and feedback. Interconnection can be achieved. With the help of the information collected we can determine what should or can be changed and also what principles should changes be introduced on.

Threats

IT security, whose biggest challengers are the users themselves, is of key importance. A technological environment can be a source of considerable stress all over the world. Security is essential in the field of procurement and production too. Security involves the security of the system and its reliability. Let us only think about the fact that cloud-based services can be accessed and managed from anywhere thus

³ useless inventory, waiting, over-processing, unused know-how

⁴ unevenness, irregularity, lack of planning

⁵ overburden

making them available for other people as well. The application of industrial firewalls is highly recommended to be protected against cyber attacks.

Every company must find the critical points and processes in their activities that should be constantly analysed and additionally there must be several control points in the system. Every system must understand that their own business methods must be constantly developed (Liker 2004). When determining the critical points, it is not only logistics but both mathematics and development that offer a wide range of opportunities for businesses. They only need to find the most suitable for their business that relates to their system enabling them to utilise them in practice (for example algorithms, network planning, simplex method, game theory, Six Sigma, Kaizen, Soft skills⁶, MES⁷, Gemba walk⁸, ICT strategy⁹). The 'think differently' principle is important, which means the implementation of changes at a lower level and slowly extend it to the top as in order to keep stability it is very important to be able to take small steps and make use of every element of the process the way it should be used. (Workflow).

I can clearly state that process systems, basic and standard processes are necessary, and they must be analysed, corrected and shaped as need be. It is an essential task to recognize our losses because only when we are aware of them can we judge the type of changes we need to face. As a philosophy, it is recommended to find solutions based on the losses through value creation. Test results, surveys, analyses must be handled as a central problem because it is not only production data, but the REAL data generated through the tests that help us recognize the situation, reduce costs, change and implement the missing corrective steps. Through data analysis productivity can be enhanced. The solution is not always innovation and digitalization and investment in these because our circumstances must be considered in relation to value creation, and our decisions must be customized and made considering the given company. The aim is to define processes at the company and evaluate changes based on the opportunities and threats as the prerequisites for successful implementation. Furthermore, in order to get feedback, it is vital to measure the profitability of our investments with the help of ROI¹⁰ that measures the amount of return on a given investment. (Bariska M., Pásztor Z. 2015). The collection, processing of data and the business decisions made based on them reflect the principle of sustainability. Corporate governance systems must be connected to the other elements (CAL¹¹, CAD¹², CAM¹³, CAE¹⁴, CIM, CAP¹⁵, CAQ¹⁶) therefore it is essential for them to be customisable. Success and the competitive edge gained are easily comprehensible from the optimal operation of companies if we contrast revenues and costs incurred. Obviously, this competitive advantage heavily depends on the business environment. The fact whether a company has a competitive edge shows the kind of business system, strategy, production-procurement efficiency it has, which make it possible to create high value for its customers. We must also consider that companies must provide and offer such services that better fit customer expectations as that of their competitors', but their environmental stability is also important. Customer satisfaction is an important factor of economic success. In fact, if a company is profitable, the profit does not only show the effectiveness of the company but also the properly chosen strategy, which is the source of competitive advantage. It is profit that ensures financial flexibility for companies enabling them to improve their competitive position and fulfil their aspirations.

⁶ Filtering of soft-weak factors

⁷ Manufacturing Execution System – vertical connection of process information

⁸ Where value creation takes places, the observation and analysis of the value process or its part

⁹ Information and Communication Technology

¹⁰ Return on Investment – => profitability

¹¹ Computer Aided Logistics

¹² Computer Aided Design

¹³ Computer Aided Manufacturing

¹⁴ Computer Aided Engineering

¹⁵, Computer Aided Planning

¹⁶ Computer Aided Quality Assurance

Reflecting on the importance of correlations I would like to quote Peter Drucker according to which

„The business enterprise has two—and only two—basic functions: marketing and innovation. Marketing and innovation produce results: all the rest are costs. Marketing is the distinguishing, unique function of the business.”¹⁷

4. Acknowledgements

This study/research was carried out as part of the EFOP-3.6.2-16-2017-00010 project „Sustainable Material-Management Thematic Network – RING 2017”, as part of the Széchenyi 2020 program with European Union support and co-financed by the European Social Fund.

5. References

- Antonioni P., Flynn S.M. (2011) Economics for dummies, John Wiley & Sons Ltd., West Sussex
- Arnsperger C., Brunnhuber S., Goerner S., Lietaer B. (2015) Pénz és fenntarthatóság – A hiányzó láncszem, Image Kft.
- Bariska M., Pásztor Z. (2015) Hatékonyság vizsgálat és önköltségszámítás fűrészüzemekben, Palatina Nyomda és Kiadó Kft., Sopron
- Chikán A., Czakó E. (2009) Versenyben a világgal, Akadémiai Kiadó, Budapest
- Chikán A. (2013) Mitől versenyképes a vállalat? Versenyképes vállalat = versenyképes gazdaság című Világgazdaság konferencia, 2013. Szeptember 25., Budapest
- Czékus M. (2004) Tőzsde lexikon, Szukits Könyvkiadó és Könyvker, Budapest
- Dresner M. – Xu K. (1995): Customer Service, Customer Satisfaction, and Corporate Performance in the Service Sector, Journal of Business Logistics, Vol. 16. No. 1
- Drucker P. F. (2004) The effective executive, Harvard Business Review
- Drucker P. F. (2013) Managing for the Future, Taylor & Francis
- Drucker P. F. (2015) Innovation and Entrepreneurship, Routledge Classic
- Emerson C. J. – Grimm C. M. (1999) Buyer-seller customer satisfaction: the influence of the environment and customer service, Journal of Business and Industrial Marketing
- George L. M. (2002) LEAN SIX SIGMA, McGraw-Hill, Spring
- Goldratt E. M. (2004) The Goal – A process of ongoing improvement. 3. edition, North River Press, Great Barrington, 384 p.
- Imai M. (2012) Gemba Kaizen, Second edition, McGraw-Hill
- Koller T. – Goedhart M. – Wessels D. (2005) Valuation: Measuring and Managing the Value of Companies, 4th edition. Wiley, Cheltenham
- Liker K. J. (2004) The TOYOTA way, McGraw-Hill
- Porter M. E. (1985) Competitive advantage. Free Press, New York

¹⁷ Source: Drucker P.,
https://www.forbes.com/2006/06/30/jack-trout-on-marketingcx_jt_0703drucker.html#23c43951555c

Porter M. E. – Heppelmann J. E. (2015) How smart, connected products are transforming companies. Harvard Business Review,

Ries E. (2011) The LEAN startup, The New York Times Bestseller – The Crown Publishing Group

Shook J. (2008) Managing to Learn. The Lean Enterprise Institute, Cambridge

Smith W. (1984) Economics and management of food processing. AVI Pub. Co., Westport, Conn

Womack J. P, Jones D. T. (2003) Lean Thinking, Simon & Schuster Australia, Sydney

Mobiltelefonokból származó lítium-ion akkumulátorok felépítésének és apríthatóságának a vizsgálata

Szerzők:

***Orosz Kinga Andrea, Romenda Roland Róbert, Mádainé Üveges Valéria, Nagy Sándor**

Intézet:

Nyersanyagelőkészítési és Környezettechnikai Eljárástani

Egyetem:

Miskolci Egyetem

Postacím:

3515 Miskolc-Egyetemváros

E-mail:

*kingaandrea@citromail.hu

roland.romenda@uni-miskolc.hu

ejtmuva@uni-miskolc.hu

ejtnagys@uni-miskolc.hu

Absztrakt: *A technológia fejlődésével egyre több igény van a hordozható eszközök gyártására. Az akkumulátor meghatározó szerepet tölt be az életmódunk megkönnyítésében, többek közt hordozhatóvá téve az elektronikai eszközöket. A lítium-ion akkumulátorok legtöbbször ezekben a hordozható készülékekben található. Elterjedésük az igényeknek megfelelően folyamatosan növekszik, ennek megfelelően a hulladék anyagáramok közt is megjelennek egyre nagyobb mennyiségben. Ezek a hulladékká vált akkumulátorok jelentős mennyiségben tartalmaznak értékes fémeket (pl. kobalt, lítium), amiket másodlagos nyersanyagok formájában kinyerhetünk.*

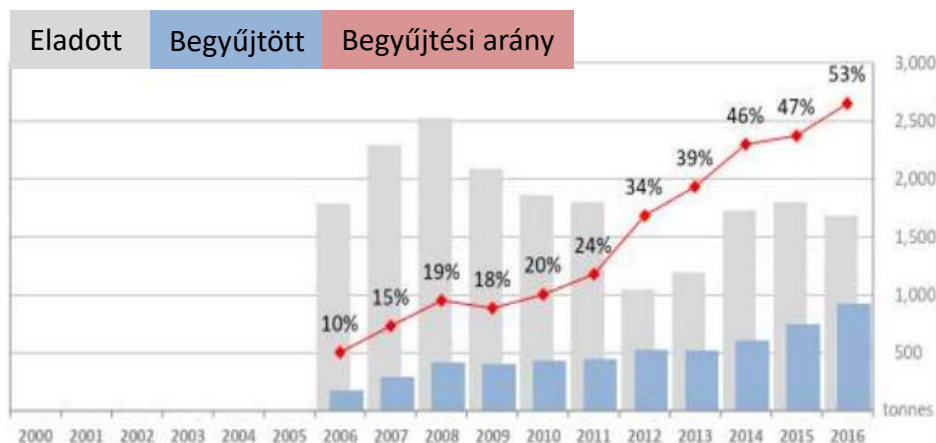
A lítium-ion akkumulátorok összetett rendszerrel bírnak, feldolgozásukra különböző eljárásokat vizsgáltak a lehető leggazdaságosabb megoldás érdekében. Jelen publikáció keretén belül mobiltelefonokból származó, élettartamuk végére ért lítium-ion akkumulátorok mechanikai előkészítésének lehetőségeinek vizsgálati kerülnek ismertetésre, fókuszálva az akkumulátorok feltárását célzó aprításra.

Kulcsszavak: *Li-ion akkumulátor, lítium, aprítás, másodnyersanyag, mobiltelefon*

1. Bevezetés

A lítium-ion akkumulátorok az 1990-es években jelentek meg először, főleg elektronikai eszközökben, mobiltelefonokban, laptopokban terjedtek el a rövid töltési idejüknek és a nagy energiataroló kapacitásuknak köszönhetően.

Az elektronikai eszközökben lévő akkumulátorok és a háztartási elemek eloszlása Magyarországon a begyűjtési arányokkal érzékelhető. Az 1. ábrán látható, hogy 2006-ban kezdődött meg az elemek/akkumulátorok mennyiségeinek rögzítése (eladott mennyiség, begyűjtött mennyiség) Magyarországon.



1. ÁBRA: HÁZTARTÁSI ELEMEK/AKKUMULÁTOROK ELADOTT ÉS BEGYŰJTÖTT MENNYISÉGE MAGYARORSZÁGON (EPBA, 2013)

A Li-ion akkumulátorok eladott mennyiségének a gyors növekedése, a hordozható elektronikai eszközökben és az elektromos autókban, megnövelte a kimerült, elhasznált, és hulladékká vált akkumulátoroknak a mennyiségét. Statisztikák szerint a digitális eszközökben lévő akkumulátorok élettartama 1-3 évig, míg az elektromos járművekben 5-8 évig terjedhet. Ezek a kimerült akkumulátorok különböző értékes fémeket tartalmaznak, ezért egyrészt fontos a hulladékká vált akkumulátorok megfelelő újrahasznosítása, hogy ezek a fémek a körforgásos gazdaság irányelvei szerint hasznosuljanak. Másrészt feldolgozással csökken a nehézfémek által okozott kockázat az emberi szervezetet és a környezeti elemeket illetően.

A lítium-ion akkumulátorok a Li-ion vándorlása miatt kapták a nevüket. A cellákban található alumínium fólia, melynek elektrongyűjtő funkciója van. Az alumínium fóliát egy úgynevezett lítium- kobalt-oxid (LiCoO₂) katód porral vonják be mobiltelefon esetén. A kobaltot más fémekkel is lehet kombinálni pl. mangánnal és/vagy nikkellel. Ezután egy elektrolitba mártott szeparátor fólia választja külön a katódot az anódtól. Az elektrolit különböző szerves oldószerekben oldott lítium vegyületek. A szeparátor megakadályozza, hogy az elektronok közvetlen módon vándoroljanak a katód és az anód közt. Az anód réteges szerkezetű grafitból áll, ami tárolja a lítium-ionokat (az akkumulátor feltöltött állapotában). A grafit egy rézfólia felületére van rápréselve, a rézfóliának szintén elektrongyűjtő funkciója van.

A 1. táblázatban látható kémiai összetétel szerint az alumínium és a rézfólia mennyiségének aránya nagyjából megegyezik, ezen kívül az alumínium még néhány borításban is megtalálható. Az említett alkotókon felül sok veszélyes anyag is található az ilyen típusú akkumulátorokban pl. dietil-karbonát (DEC).

Összetétel	
Alumínium	15-25%
Réz	5-15
Dietil-karbonát (DEC)	1-10%
Etilén-karbonát (EC)	1-10%
Metil- etil-karbonát	1-10%
LiPF ₆	1-5%
Grafit	10-30%
LiCoO ₂	25-45%
PVDF	0,5-2%

1. TÁBLÁZAT: LÍTIUM-ION AKKUMULÁTOROK ÖSSZETÉTELE (EPBA, 2016)

A kutatómunka célja, hogy információt kapjunk ezeknek a mobiltelefonokból származó lítium-ion akkumulátorok alkatrészeiknek tulajdonságaikról, összetételeikről, hogy később egy feldolgozási technológiát javasoljunk.

2. Anyagok és módszerek

Ebben a fejezetben a vizsgálatokhoz használt akkumulátorokat és a vizsgálatok során végzett módszerek kerülnek bemutatásra.

24 db mobiltelefonokból származó lítium-ion akkumulátort szereztünk be, melyeknek a főbb jellemzői a 2. táblázatban láthatók. Az akkumulátorok átlagos kapacitása 1337,5 mAh, teljesítményük 5Wh és az átlagos tömegük pedig 25,6g volt.

Gyártó	Típus	Gyártási év	Feszültség (V)	Kapacitás mAh	Teljesítmény Wh	Tömeg (g)
Motorola	BC50	2007	3,7	n.a.	n.a.	16,49
Samsung	AB463651B4	n.a.	3,7	1000	3,7	19,66
Samsung	EB-F1M7FLU	n.a.	3,8	1500	5,7	29,24
Samsung	EB-L1G6LLU	2015	3,8	2100	7,98	39,05
Samsung	AB043446BE	n.a.	3,7	n.a.	n.a.	17,1
Samsung 1	AB463651B4	n.a.	3,7	960	3,55	20,04
Sony	BA900	2013	3,7	1700	6,3	35,48
Nokia 1.	BL-5C	n.a.	3,7	1020	3,8	21,22
GHOO	BLC-2	n.a.	3,7	1300	n.a.	24,09
Nokia	BL-5CB	n.a.	3,7	800	3	20,5
Nokia	BL-4U	n.a.	3,7	1110	4,1	23,18
Sony Ericsson	E-P500	2011	3,7	1200	4,5	25,11
Nokia	BLD-3	n.a.	3,7	n.a.	n.a.	19,67
Sony	BA700	2013	4,2	1500	5,6	30,79
Samsung 2.	AB463651B4	n.a.	3,7	1000	3,7	19,67
Samsung	AB463651B4	n.a.	3,7	960	3,55	20,02
Nokia 2.	BL-5C	n.a.	3,7	n.a.	n.a.	20,96
Nokia	BP-4L	2009	3,7	1500	5,6	30,96
Cameron Sino	BLC-2	n.a.	3,7	950	n.a.	25,91
Microsoft	BV-5J	2015	3,7	1560	5,8	28,92
Nokia 3.	BL-5C	n.a.	3,7	1020	3,8	20,46
Dodgee	B-DG2014	n.a.	3,7	1750	n.a.	30,67
Qilive	Q4122	n.a.	3,7	2800	10,36	55,88
Nokia	BL-5C	n.a.	3,7	1020	3,8	20,26

2. TÁBLÁZAT: VIZSGÁLATHOZ HASZNÁLT AKKUMULÁTOROK ADATAI

A mobiltelefon akkumulátorok főbb jellemzőinek rögzítése után 10db akkumulátort került feladásra az intézeti kalapácsos törőre. A gép fő paraméterei a 3. táblázatban látható.

Garat	400×400 mm
Rotor hossza	280mm
Rotor átmérő	140mm
Maximális fordulatszám	1450 1/min
motor teljesítmény	5,5kW

3. TÁBLÁZAT: INTÉZETI KALAPÁCSOS TÖRŐ FŐ PARAMÉTEREI

A kalapácsos törők lágy és közép kemény anyagok durva-, közép- és finomaprítására alkalmasak. A feladónyílás után a rotortérbe esnek az anyagok, ahol a rotoron lévő lengő ütőtestekkel, kalapácsokkal találkoznak. A feladott anyag a nagy kerületi sebességgel forgó ütőtestekkel ütközik, majd a falnak ütközve tovább aprózódik. A berendezés alján szitabetétek helyezhetők el, így a termék maximális szemcsemérete szabályozhatóvá válik. (Faitli et al. 2017)

Aprítást követően a szemcséket kézi osztályozáshoz 250mm átmérőjű négyzetes nyílású szitákat alkalmaztunk

Szítással előállított finom (por) frakciókat kémiai elemzésnek vetettük alá. A kémiai elemzés alapja savas közeges ICP elemzés volt.

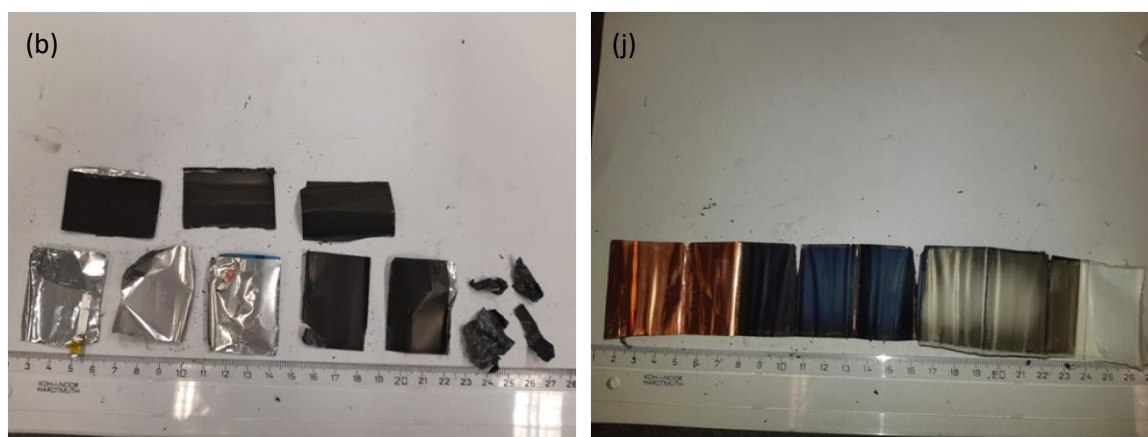
A finom frakciókat Phenom Prox SEM asztali pásztázó elektronmikroszkóppal is megvizsgáltuk elemtérképezés szempontjából.

4. Eredmények

A hulladékká vált lítium-ion akkumulátorok hasznosításához előbb meg kell ismernünk a felépítését, és az alkatrészeinek tömeghányadát.

4.1. Bontási vizsgálat

A 2. táblázatban leírt 24 db akkumulátorból kiválasztottunk 2db akkumulátort, amit kézi bontással feltártunk. Ennek a célja az akkumulátorok felépítésének megismerése és összehasonlítása volt. A két akkumulátor felépítése nagyjából megegyezett. A 2. ábra bal oldali képén a Nokia BL-5C típusú akkumulátor alumínium fóliája és a rajta elhelyezkedő katód található. A jobb oldali képen 2.(j) a Samsung AB463651B4 típusú akkumulátor rézfóliája látható, majd a rajta elhelyezkedő anód és végül kiterítve a szeparátor fólia.

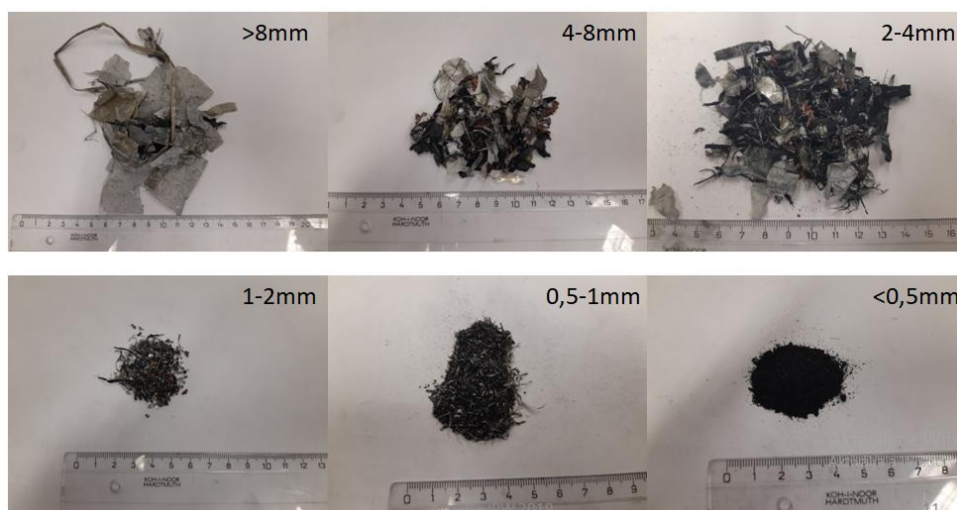


**2. ÁBRA: (B) NOKIA BL-5C TÍPUSÚ AKKUMULÁTOR ALUMÍNIUM FÓLIÁJA
(J) SAMSUNG AB463651B4 TÍPUSÚ AKKUMULÁTOR RÉZ FÓLIÁJA ÉS SZEPARÁTOR FÓLIÁJA**

4.2. Aprítási vizsgálat

Az akkumulátorokat a feltárájuk előtt 10 m/m%-os NaCl oldatba helyeztük, hogy a működőképes akkumulátorok lemerítésre kerüljenek. Az oldatban 24 órán keresztül vizsgáltuk a feszültség változásokat, végeredményként a legtöbb akkumulátornak 0,5 V alá csökkent a feszültsége.

Ezután biztonságosan feladásra kerültek a 3. pontban leírt kalapácsos törőre. A kalapácsos törő töretét síkszítával osztályoztuk 8 mm, 4 mm, 2 mm, 1 mm, és 0,5 mm lyukbőségű szitákkal. A 3. ábrán látható a szítálás során keletkezett frakciókat.



3. ÁBRA: AZ AKKUMULÁTOR TÖRETÉNEK SZEMCSEMÉRET FRAKCIÓI

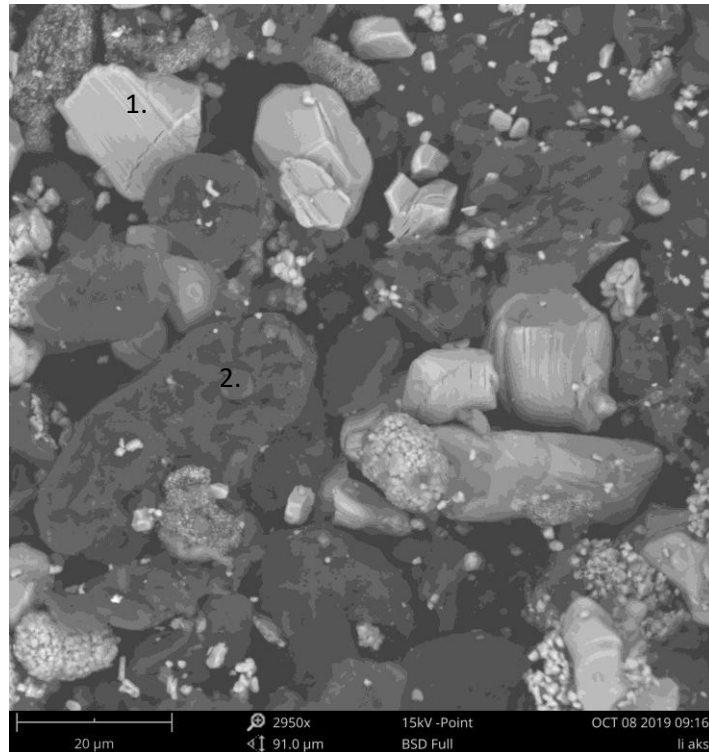
A durva frakciókat (0,5-8 mm) anyagfajták szerint szétválogatásra kerültek, így frakciók szerint látható, mely anyagok dúsulnak egy adott frakcióban (4. táblázat). A 8-20 mm közötti frakciókban főleg szeparátor fólia és a műanyag dúsult. A 1-8 mm közötti frakciókban jelentős az alumínium és rézfólia tartalom.

Frakció [mm]		Anyagok kategóriánkénti eloszlása [%]				
x_{max}	x_{min}	szeparátor-fólia	alumínium-fólia	rézfólia	műanyag és egyéb	Összesen
20	8	34,52	17,82	5,25	42,40	100,00
8	4	14,48	55,24	14,10	16,18	100,00
4	2	10,20	48,80	29,20	11,80	100,00
2	1	14,66	47,41	26,72	11,21	100,00
1	0,5	9,68	64,52	13,98	11,83	100,00

4. TÁBLÁZAT: ANYAG SZERINTI ELOSZLÁS EGYES FRAKCIÓKBAN

4.3. SEM vizsgálat

A 0,5 mm alatti frakciót a SEM vizsgálathoz 0,125 mm lyukbőségű szitát alkalmazva tovább osztályoztuk. Elektronmikroszkóppal megvizsgáltuk a szemcsék helyzetét néhány szemcsét megelemezve összetételüket is meghatároztunk (5. és 6. táblázat). Az alábbi ábrán (4. ábra) a 0,125-0,5mm közötti frakcióból két szemcsét vizsgáltunk. Az 1-es számmal jelölt (világosabb) szemcsén kobaltot és oxigént mértünk. Minimálisan szént-tartalom a szénragasztóból származhat. A 2. számmal jelölt (sötétebb) szemcse közel 90%-ban szén, és elhanyagolható mennyiségben kobaltot és oxigént tartalmaz, ezen felül fluort, foszfátot, rezet, ként és kalciumot is tartalmaz. A 0,125mm alatti frakcióban további szemcséket vizsgálva is ilyen alkotókat tapasztaltunk további vegyületek (pl. nikkel, szilícium, mangán) jelenléte mellett.



4. ÁBRA: A 0,125-0,5 MM KÖZTI SZEMCSÉK SEM VIZSGÁLATA

Elem szám	Vegyjel	Elem név	Atom koncentráció	Tömeg koncentráció
27	Co	kobalt	28,85	61,42
8	O	Oxigén	51,78	29,93
6	C	Szén	18,87	8,19
12	Mg	Magnézium	0,32	0,29
13	Al	Alumínium	0,18	0,18

5. TÁBLÁZAT: AZ 1-ES JELŰ SZEMCSÉ TÖMEG ÉS ATOM KONCENTRÁCIÓJA (SEM)

Elem szám	Vegyjel	Elem név	Atom koncentráció	Tömeg koncentráció
6	C	Szén	91,34	86,84
8	O	Oxigén	7,09	8,98
27	Co	Kobalt	0,36	1,67
9	F	Fluor	0,78	1,17
15	P	Foszfor	0,22	0,53
29	Cu	Réz	0,09	0,46
16	S	Kén	0,09	0,23
20	Ca	Kalcium	0,03	0,11

6. TÁBLÁZAT: A 2-ES JELŰ SZEMCSÉ TÖMEG ÉS ATOM KONCENTRÁCIÓJA (SEM)

4.5 Kémiai összetétel elemzés

Kémiai összetétel vizsgálatnak vetettük alá a 0-0,125 mm és 0,125-0,5 mm-es frakciókat Al, Co, Cu, Fe, Li, Mn, Ni tartalom vonatkozásában. A 7. táblázat alapján látható, hogy nincs jelentős eltérés a két frakció kémiai összetételében, a vizsgált elemek vonatkozásában. A 0-0,125 mm-es frakcióban vas, mangán és nikkel koncentrációja jelentősebb, mint a 0,125-0,5 mm-es frakciókban, a kobalt és a lítium aránya nagyjából megegyezik a két frakcióban.

Szemcseméret frakció	Al	Co	Cu	Fe	Li	Mn	Ni
	m/m%						
<0,125mm	0,52	24,8	0,2	1,1	4,97	0,55	0,76
0,125-0,5mm	1,42	24,6	0,33	0,66	4,46	0,26	0,43

7. TÁBLÁZAT: KÉMIAI ELEMZÉS

5. Összefoglaló

A lítium-ion akkumulátorok rengeteg értékes anyagot tartalmaznak. Az anyagok kinyeréséhez és a körforgásos gazdaságba való behelyezésükhöz fel kell tárni az akkumulátorokat.

A feltáráshoz a kalapácsos törő megfelelőnek bizonyult, az akkumulátorok egyes alkatrészei gyakorlatilag teljesen szétváltak egymástól. A kapott töretet 0,5mm-nél elválasztva a finom frakcióba került a katód (LiCoO₂) és az anód (grafit). A szitálás során a durva frakciókba (0,5-20 mm) kerültek a különböző fóliák (alumínium, réz, szeparátor) és az akkumulátor háza (műanyag és egyéb összetevők), míg a szitán áteső (0,5 mm alatti) részek, amik várhatóan mechanikai úton szétválaszthatóak. A két legfinomabb frakciót vizsgálva kémiai összetétel elemzés alapján megállapítható, hogy nincs jelentős eltérés a két frakció kapcsán, az alumínium és a réz tartalom a durvább, 0,125-0,5 mm-es frakcióban volt nagyobb. Megállapítható, hogy ez a két frakció a későbbiekben akár egyben is kezelhető.

6. Köszönetnyilvánítás

A cikkben ismertetett 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. Köszönettel tartozunk Papné Halyag Nórának a SEM vizsgálatok elvégzéséért.

7. Hivatkozások

EPBA (2013), The collection of waste portable batteries in Europe in view of the achievability of the collection targets set by Batteries Directive 2006/66/EC

https://www.epbaeurope.net/wp-content/uploads/2016/12/Perchards_Sagis-EPBA_collection_target_report_-_Final.pdf

EPBA (2016): Product information primary and rechargeable batteries, The authoritative Voice of the Portable Battery Industry

https://www.epbaeurope.net/wp-content/uploads/2016/12/EPBA_Product-Information_10112015.pdf

Faitli, J., Gömbkötő, .I., Mucsi, G., Nagy, S., Antal, G., (2017), Mechanikai eljárás-technikai praktikum, Miskolci Egyetemi Kiadó

ELECTRICAL AND ELECTRONIC PARTS IN END OF LIFE BUSES

Tamás Oláh¹, Sándor Nagy¹, Barnabás Csóke¹, Péter Chrabák², Zsolt István², Pál Lukács³

¹ Institute of Raw Material Preparation and Environmental Processing
University of Miskolc, H-3515 Miskolc Egyetemváros

² Bay Zoltán Nonprofit Ltd. for Applied Research H-3519 Miskolc, Iglói Street 2.

³ John von Neumann University H-6000 Kecskemét, Izsáki Street 10.

e-mail: shirtomi@hotmail.com

Abstract: End of Life Commercial Vehicles (EoLCVs) contain metal alloys, plastic parts, composite materials and electrical and electronic parts. The number and ratio of electric and electronic parts in vehicles are increasing, displays, batteries (hybrid drive), dashboard, driver assistance systems, control modules are built in, which results in generation of a large quantity of electronic waste (e-waste) in EoLCVs. Proper handling of this waste requires good recycling designs and improved machineries. If the individual countries are not intended on the ever growing material recycling of complex technical product wastes (End of Life Vehicles, Waste Electrical and Electronic Equipment), than the material bases runs out much faster. To take this aspects into consideration, there is very important to concentrate on the sustainable development steps. There is little literature available on the composition of vehicles (M1 M2) and the quantity of electronic components. It generate a problem of formulation to demolition plans of commercial vehicles. One task of the research work is to determinate the material composition of EoLCVs. In this paper the composition data of bus types IKARUS-SCANIA 395, IKARUS c56 and IKARUS 260 are introduced, focusing on electric and electronic parts.

Keywords: End of Life Vehicle, commercial vehicle, bus, recycling, residue

1. Introduction

The EU Directive about the End of Life Vehicles (53/2000/EC, ELV-Directive, 18.09.2000) has extended the responsibility of vehicles reached the end their life-cycle on the vehicle manufacturer, this is called as for an —Extended Product Manufacturer’s Responsibility. Regulation covers fundamentally the personal cars and smaller commercial vehicles (up to 3,5 t) – the official categories of M1 and N1 – and at an early stage it has forecasted, that they will be only a half-way measures, when the sustainability aspects will also be calculated in. Very simplified the situation, manufacturing, actuation and recycling of commercial vehicles differentiates not much from personal car ones, but the risks originated out of their not proper handling represent much higher level. It is enough to think on the fact, that a part not properly dismantled out of a 40-tons-truck how big risk for the other traffic participants – especially for the vulnerable ones – means... According to the all-time economic grow the developing countries need in growing number of buses, commercial vehicles, material movement machines relating to their rising internal demands and graduation of personal and material flows. This increasing basic material need can be satisfied with the enlarged amount of recycling of end of life commercial vehicles. The ELV-Directive prescribes the recycling ratio at the level of 95%, 85% can be material recycling and 10% energetic usage. Although there are higher metal content in commercial vehicles, but here there are also represent – especially in buses – in significant amount the plastics-, elastomer products and parts, vehicle glasses, and in growing quantity the electronic and electric components. In the WEEE products there are concentrated the non-ferrous metals, precious metals and also the rear earth metals too. Taking this issues into consideration there is a logic expectation and also a step towards direction for sustainability, traffic safety and environment-protection to extend the ELVDirective for further commercial vehicle categories (N2, N3..., O1, O2, ...) too (Gombkötő, 2017).

A new EoLCV dismantling plant was built in Szeged in 2018 in the frame of OPTISOL research project. During dismantling of first busses and railway cars mass balance of main parts are determined, focusing on electronic parts.

2. Material composition of ELCV's, and utilisation paths for non-ferrous components according to literature and preliminary measurements

Utilisation of spare parts and materials from end of life vehicles (ELV's) is a widely used industrial practice. The relatively high rate of base and precious metals in end of life personal vehicles makes ELV utilisation to economically feasible process. Despite of the fact, based on practice and several authors, that shredder light fraction could reach up to 15-20% on each vehicle (Simic, 2013). Based on this widespread industrial practice, the composition of the material flows and the rate of each material type to others are well established. Material flows, well described composition and the rates of each components to others and the weight of the vehicle itself for commercial vehicles like buses, long transports or railway vehicles are not completely discussed in the literature, even dough service and dismantling manuals are available at wide variety.

Material composition of vehicles with internal combustion are generally described by material wise and main unit wise. Frame, the engine, gear, covers and outer parts (wheels and doors) are representing the heaviest part of the vehicle reaching the level of approx. 70% of total weight. In addition, parts under the hood, steering system, cables and internal elements are representing another ~20% of the vehicle weight. Liquids and hazardous parts removed during dismantling are approx. 3% and the rest is 7% according to (Tian, 2016). According to them, ~60% of ferrous metal, 12% non-ferrous metal, 20% of plastic, 4-5% of liquids, 0.2% WEEE and 3% of other materials can be recycled from an average 10-year-old car.

Sooka and his co-authors (Sooka, 2017) got similar results. Based on their results, well widely used plastics representing the highest rates of plastics as PMMA, ABS, PET, EPP, PP and PU can be found in the non-ferrous fraction among glass, rubber and textile. recycling rate of the non-ferrous fraction especially plastics could be very high. The recycling rate of PP, PA and ABS could exceed 80-90% in Belgium. Recycling rate of other plastics however, like PMMA, PET, EPP, PP-EPDM and PU barely reach 0.7% (Figure 1.) (Sooka, 2017).

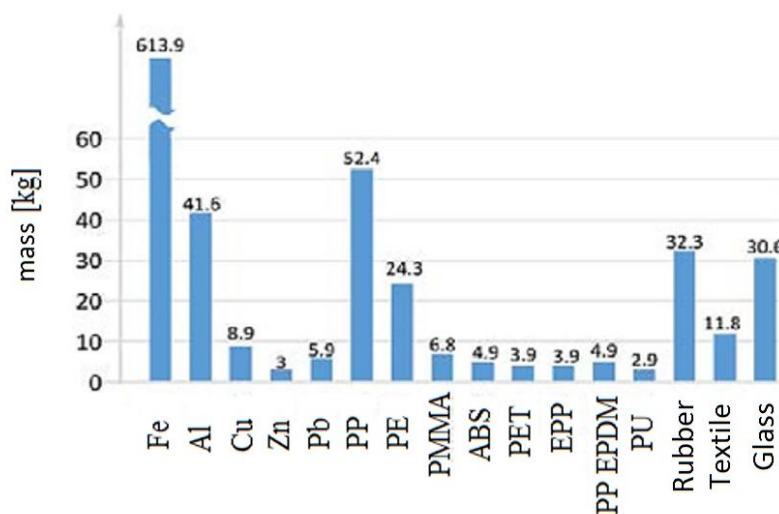


Figure 1. Compositon of dismantled ELV (Sooka, 2017)

Dismantling and recycling (utilisation of spare parts and material processing) of end of life railway vehicles are very similar. After removing the hazardous components, dismantling of the vehicle results removing of large metal components and parts can still be used. The body of the vehicle is generally compacting and shredding, metal components are separated by using magnetic and eddy current separators. Recycling rate of the material of end of life railway vehicles could reach 90% (Delogu, 2016), which is a result of the fact that railway vehicles contain more metal compared to road vehicles. These results were achieved in Italy where electric metro, an electric motor car and a diesel engine were tested and analysed. Interesting, that the three-different configuration showed similar composition regardless of the drive chain. The skeleton were approx. 3-4%, internal elements 17-20%, bogies and undercarriages 32-43%, engine and electric parts 16-18% while the rest is 20-26%. The material composition of all the three-railway type were also very similar.

An investigation for buses was carried out in cooperation with Volánbusz Zrt. Generally used types of solo and long vehicles were involved to the investigation determining their composition by main parts and material wise. Based in our measurements, both for solo and long vehicles, the results were similar,

engine was approx. 6% of the vehicle mass, gearboxes 1-2%, bridges 10-13%, wheels (with tyres) 4-5%, windshields 11-12%, liquids 2-2,5%, rubber and plastics in other (like metallic parts as electronics and pipelines) 20-30%, spare parts 2-3% while skeleton and bogies covers up to 20-35% of the vehicle. A solo bus is usually 10-12 t in average while a long vehicle is 12-14,5 t in general (Table I.) (Gombkötő, 2017).

3. Logistic questions

Determination of the amount of end of life buses (ELB) are crucial for the development of recycling system. This is however not a catalogue, but a forecasting as well for the future trends. Next very important data along the number of available ELB's are the distribution of their type, since it is important to determine the dismantling technology and the possibility of the spare part utilisation. Geographical distribution is also another important factor. The operational costs of such recycling system could significantly elevate based on transportation costs if not all vehicles can drive to the recycling site by themselves.

Table I. Composition of railway vehicles (M. Delogu 2016)

	Railway Vehicle [%]	Personal vehicle [%]	Buses [%]
Ferrous metals	45,4	64	35
Non-ferrous metals	32,5	9	6
Plastics	2,6	8,5	14
Ruber	3,1	7,5	15
Glass	2	3,5	12
Liquid	1,8	2,5	2,5
Electronic.	1,20	0,1	1
Other	11,4	4,9	14,5
Σ	100,0	100,0	100,0

Based on the Central Statistical Office of Hungary (KSH), the operational number of buses in Hungary were growing between 2008 and 2016. Among these buses the number of older than 16 year old vehicles are also growing and gave a significant rate of the total number operating. The rate of younger than 5 year old buses are only 15%, therefore the bus fleet in Hungary is significantly aging (Figure 2.) (Gombkötő, 2017).

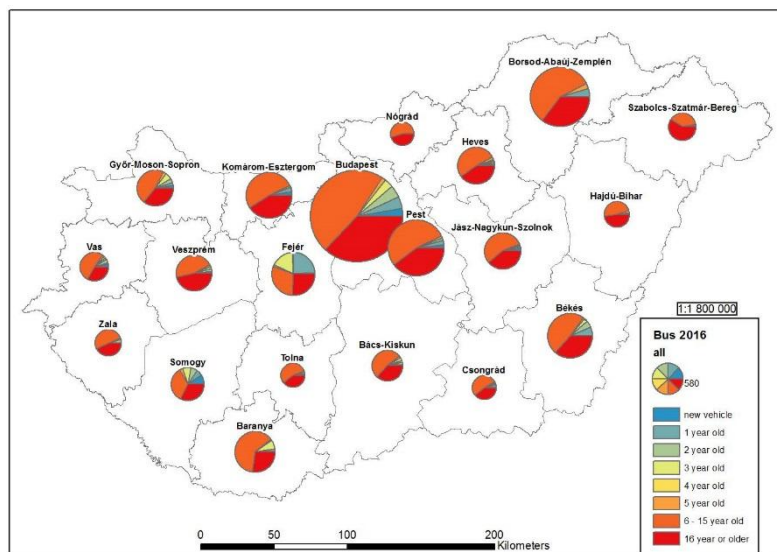


Figure 2. Busfleet in Hungary by age in topographical allocation (KSH)

Geographical distribution is correlating with the demographic data, largest number of buses are operating in Budapest and the average age of the buses are the highest here as well. BorsodAbaúj-Zemplén and Pest

County are the second and third largest fleet user, while the age distribution is the best (youngest) in Fejér County and worst in Szabolcs-Szatmár-Bereg and Hajdú-Bihar County. The age distribution is however not homogenous within one county as well (Table II.).

Table II. Bus fleet in Hungary between 2008 – 2016

Date	All vehicle	new vehicle	1 year old	2 year old	3 year old	4 year old	5 year old	6 - 15 year old	16 year or older
2008	17995	643	720	829	607	648	578	7489	6481
2009	17720	547	745	728	840	620	685	7616	5939
2010	17641	224	584	770	736	850	640	7725	6112
2011	17366	165	254	590	771	726	863	7825	6172
2012	17301	58	189	265	596	770	736	8390	6297
2013	17569	398	96	218	282	612	800	8555	6608
2014	17923	325	521	108	235	296	666	8972	6800
2015	18135	574	386	558	121	264	317	9096	6819
2016	18482	340	773	464	575	135	299	9005	6891

According to KSH, at least 174 different types of buses were operational in 2016 in Hungary. Within the framework of OPTISOL project, the consortium is planned to dismantle and analyse at least 10 bus types. The selection process were based on largest numbers, average mass, number of people able to transport and average age. Based on our comparison, there are 21 type of buses can be found on the first 10 in at least 2 of the examined category of which 21 types are covering the 89.85% of the total amount of buses. The most used type is IKARUS, Man and Mercedes.

4. Results and discussion

Vehicles (busses) that have been disassembled within the project so far: Ikarus 260 (BKV), Ikarus 412 (BKV), Ikarus-SCANIA 395 (Volán) (Figure 3.), Ikarus C56 (Volán), SteyerVOLVO NL 205 M12 (Vienna), Steyer-VOLVO NG 235 M18 (articulated bus, Vienna).



Figure 3. Vehicle used for the experiment in dismantling plant in Szeged (Ikarus-SCANIA 395)

Material composition of the busses is generally frame, engine, gearbox, covers and outer parts (wheels and doors) are representing the heaviest part of the vehicle (Table III.). Liquids and hazardous parts removed during first step dismantling.

Table III. Composition of the busses

		IKARUS C56		IKARUS 260		IKARUS 395	
Main group		Mass [kg]	Massrate [%]	Mass [kg]	Massrate [%]	Mass [kg]	Massrate [%]
External Components	glass (glass)	323	2,97%	200	1,84%	276	2,53%
	glass (frame)	34	0,31%	40	0,37%		0,00%

	glass (rubber seal)	100	0,92%	90	0,83%	64	0,59%
	windscreen (front, rear)		0,00%	87	0,80%	59	0,54%
	headlamps, direction indicators, rear lights	1,3	0,01%		0,00%	3	0,03%
	Bumpers (front, rear)	26	0,24%	47,6	0,44%		0,00%
	decorative lattice and moldings		0,00%	9,8	0,09%		0,00%
	rear-view mirrors		0,00%	6,6	0,06%		0,00%
	roof vents	14,3	0,13%	35	0,32%		0,00%
Total		498,6	4,58%	516	4,74%	402	3,69%
External body elements	side plates	126	1,16%	99	0,91%	218	2,00%
	door actuators	44	0,40%	102,2	0,94%	42	0,39%
	door body (rubber, glass, metal)	43	0,39%	126	1,16%	81,1	0,74%
	crate doors	115	1,06%	37	0,34%	210	1,93%
	front door		0,00%	16	0,15%		0,00%
	engine compartment door	57	0,52%		0,00%		0,00%
	mounting hole caps	25	0,23%	53	0,49%	30	0,28%
Total		410	3,77%	433,2	3,98%	581,1	5,34%
Internal Components	seats	1206,8	11,08%	271	2,49%	1320	12,12%
	Electronic components (eg printed circuits, connectors, wiring harnesses, speakers, lighting fixtures)	191,2	1,76%	96,5	0,89%	270	2,48%
	handrails, railings		0,00%	75,3	0,69%		0,00%
	relay boxes		0,00%		0,00%	41	0,38%
	internal partition	21,5	0,20%	138,6	1,27%	190	1,74%
	side wall decor		0,00%	113	1,04%	28	0,26%
	side wall insulation	56	0,51%		0,00%	202	1,86%
	ceiling insulation	33	0,30%		0,00%	340	3,12%
	floor plates	197	1,81%	155	1,42%	59	0,54%
	floor insulation	115	1,06%		0,00%	185	1,70%
	flooring	71	0,65%	75	0,69%	59	0,54%
	interior heating ducts	17	0,16%	8	0,07%	100	0,92%
	air conditioner	162	1,49%	11,6	0,11%		0,00%
Total		2070,5	19,01%	944	8,67%	1474	13,54%

Engine, gearbox, camshaft, radiator, fuel tank	radiator, coolant pipe, air, hydraulic, fuel and exhaust system	660	6,06%	489,3	4,49%	723	6,64%
	gearbox	336	3,09%	320	2,94%	360	3,31%
	universal joints and differentials		0,00%	34,8	0,32%		0,00%
	motor	984	9,04%	986	9,05%	884	8,12%
	fuel tank	80	0,73%	46	0,42%	49	0,45%
Total		2060	18,92%	1876,1	17,23%	2016	18,51%
Suspension and steering	rubber wheels		0,00%	576	5,29%		0,00%
	Steel rims and wheel bolts		0,00%	11	0,10%		0,00%
	A axis	584	5,36%	600	5,51%	612	5,62%
	B axis	880	8,08%	922	8,47%	1020	9,37%
	steering		0,00%	58	0,53%		0,00%
Chassis, bodywork		3930	36,09%	3060	28,10%	3640	33,43%
Total		5394	49,54%	5227	48,00%	5272	48,42%
Other residues	Other steel materials	132	1,21%		0,00%	142	1,30%
	Other aluminium materials	90	0,83%		0,00%	148	1,36%
	Other plastic materials	123	1,13%	31,15	0,29%	6	0,06%
	Other: (Battery)	111	1,02%		0,00%	118	1,08%
Total		456	4,19%	31,15	0,29%	414	3,80%
Total bus		10889,1	100,00%	9027,45	82,90%	10159,1	93,30%

It can be determined that for Ikarus-SCANIA 395 the mass rate for electric and electronic parts cover approximately 4,83%, for Ikarus 260 approximately 1% and for Ikarus c56 3,97% (Table IV. and Figure 4-7.). These components are: external components (front and backlights), internal components (printed circuits, connectors, wires, speakers, lamps and air conditioner) and other residues (battery).

Table IV. Electric and electronic parts (mass, mass rate for total mass of bus)

Main group		Ikarus 395		Ikarus 260		Ikarus c56	
		Mass [kg]	Massrate [%]	Mass [kg]	Massrate [%]	Mass [kg]	Massrate [%]
External Components	headlamps, direction indicators, taillights	1,3	0,01%	n.a.	0,00%	3	0,03%
Internal Components	Electronic components (e.g.: connectors, electrical wiring, speakers, lighting fixtures, printed circuits)	191,2	1,76%	108,1	1,00%	270	2,48%
	Relay boxes	n.a.	0,00%	n.a.	0,00%	41	0,38%
	Air conditioner	162	1,49%	0,0	0,00%	n.a.	0,00%
	Other: (Battery)	111	1,02%	n.a.	0,00%	118	1,08%
Total		465,5	4,28%	108,1	1,00%	432	3,97%



Figure 4. Air conditioner of Ikarus 395



Figure 5. Electronic components (e.g.: printed circuits, connectors, speakers, display, ventilation) of Ikarus 260



Figure 6. Electronic components (e.g.: printed circuits, connectors, speakers, display, ventilation) of Ikarus c56



Figure 7. Main electronic control unit

5. Conclusion

Based on the statistical data, the most relevant bus types were selected for dismantling test. Based on the preliminary study done at the vicinity of Volánbusz Zrt., the material composition has been made for buses. According to this study, it can be determined that for buses, the mass rate for electric and electronic parts are cover approximately 4-5% for the newer types and 1% for the older type.

A further task is to dismantle the main parts into elements and determine the material composition of them. These tests are running now. Next step is demolition and weighing of additional vehicles, in the case of railway vehicles a diesel electric shunter locomotive (type: MÁV M44/448, producer: Ganz-MÁVAG), and carriage (type: Bzx, producer: Tatra, Studenka).

The increasing proportion of electric and electronic components in commercial vehicles (displays, driver support systems, etc.), and large amount of composite fractions (plastic covers, flooring, seats, etc.) require development of processing technology.

Acknowledgements

The described article was carried out as part of the —Sustainable Raw Material Management Thematic Network – RING 2017I, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 project in the framework of the Széchenyi 2020 program. The realization of these projects is supported by the European Union, co-financed by the European Social Fund.

References

- Delogu, M., Del Pero, F., Berzi, L., Pierini, M., Bonaffini, D.: End-of-Life in the railway sector: Analysis of recyclability and recoverability for different vehicle case studies, *Waste Management*, 2016
- Sooka, V. K., Peetersb, J., Compstona, P., Doolana, M., Dufloub, J. R.: Comparative Study of End-of-Life Vehicle Recycling in Australia and Belgium, *The 24th CIRP Conference on Life Cycle Engineering*, 2017
- Faitli, J., Gombkötő, I. and Magyar, T.: The examination of Hungarian gangue materials processing for the recovery of some critical elements. In: Nishkov I., Grigorova I. and Mochev M. (eds.) *Proceedings of XV Balkan Mineral Processing Congress Sofia, Bulgária, University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski"*, (2013) pp. 486-488.
- Gombkötő, I., Nagy, S., Szutorcsik, L., Magyar, T., Csóke, B., Eke, Z., Chrabák, P., István, Zs., Lukács, P.: Dismantling and Recycling of End of Life Large Commercial Vehicles. In: Dominika, Behunová; Lucia, Ivaničová (szerk.) *XX. International Conference on Waste Recycling Koňice, Szlovákia, Institute of Geotechnics SAS*, (2017) pp. 5-8. , 4 p.
- Simic, V., Dimitrijevic, B.: Modelling of automobile shredder residue recycling in the Japanese legislative context *Expert Systems with Applications* 40 (2013) p7159–7167
- Tian, J., Chen, M.: Assessing the economics of processing end-of-life vehicles through manual dismantling, *Waste Management*, 2016

S05 Szekció 5

TÉLI IDŐSZAKBÓL SZÁRMAZÓ HÁZTARTÁSI BIOHULLADÉKOK ANAEROB FERMENTÁCIÓJA

Barasits Péter, Köles Péter, Rétfalvi-Szabó Piroska, Rétfalvi Tamás

Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Kémiai Intézet

LIGNOCELLULÓZ HIDROLIZÁTUMOK MEMBRÁNSZEPARÁCIÓJA

Lemmer Balázs^{1,2}, Jákói Zoltán¹, Beszédes Sándor^{1,2}, Czupy Imre³, Somfai Dávid⁴, Hodúr Cecília^{1,2}

¹ Szegedi Tudományegyetem, Mérnöki Kar, Folyamatmérnöki Intézet; ² Szegedi Tudományegyetem, Környezettudományi és Műszaki Intézet; ³ Soproni Egyetem, Erdészeti-műszaki és Környezettudományi Intézet; ⁴ Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar, Környezetmérnöki Tanszék

NYÁRI IDŐSZAKBÓL SZÁRMAZÓ HÁZTARTÁSI BIOHULLADÉKOK ANAEROB FERMENTÁCIÓJA

Barasits Péter, Köles Péter, Rétfalvi-Szabó Piroska, Rétfalvi Tamás

Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Kémiai Intézet

PARADICSOM NÖVÉNYI MARADVÁNY ALKALMAZÁSA BIOGÁZ ELŐÁLLÍTÁSÁRA

Szilágyi Árpád¹, Szepesi Ágnes², Bodor Attila^{1,3}, Rákhely Gábor^{1,3,4}

¹ Biotechnológiai Tanszék, Szegedi Tudományegyetem, Szeged; ² Növénybiológiai Tanszék, Szegedi Tudományegyetem, Szeged; ³ Biofizika Intézet, Szegedi Biológiai Kutatóközpont, Szeged; ⁴ Környezettudományi és Műszaki Intézet, Szegedi Tudományegyetem, Szeged

LIGNOCELLULÓZ ALAPANYAGOK SÁRGA GÉVAGOMBÁVAL (LAETIPORUS SULPHUREUS) TÖRTÉNŐ ELŐKEZELÉSÉNEK VIZSGÁLATA ANAEROB FERMENTÁCIÓBAN

Pálya István, Takács Krisztián, Dominkó Emese, Rétfalvi-Szabó Piroska, Rétfalvi Tamás

Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Kémiai Intézet

SZENNYVÍZISZAP SZUBSZTRÁTTAL ÜZEMELŐ BIOGÁZ ÜZEM FERMENTÁCIÓS FOLYAMATAINAK JELLEMZÉSE DEHIDROGENÁZ ENZIM AKTIVITÁS ALAPJÁN.

Somfai Dávid¹, Bicsák László², Czakó-Vér Klára¹, Suhajda Erzsébet¹, Kósa Dániel¹, Lemmer Balázs³, Dolgosné Kovács Anita¹, Dittrich Ernő¹

¹ Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar, Környezetmérnöki Tanszék, Pécs; ² Tettye Forrásház Zrt., Pécs; ³ SZTE Folyamatmérnöki Intézet, Szeged

LIGNOCELLULÓZ ALAPANYAGOK BIOLÓGIAI ELŐKEZELÉSÉNEK VIZSGÁLATA ANAEROB FERMENTÁCIÓ HATÉKONYSÁGÁNAK NÖVELÉSE CÉLJÁBÓL

Takács Krisztián, Pálya István, Dominkó Emese, Rétfalvi-Szabó Piroska, Rétfalvi Tamás

Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Kémiai Intézet

SZENNYVÍZISZAP ÉS ÉLELMISZERIPARI HULLADÉK BIOGÁZ SZUBSZTRÁTKÉNT VALÓ HASZNOSÍTÁSÁNAK TESZTELÉSE OXITOP REAKTORBAN

Czakó-Vér Klára*, Szőrös Csilla Zsuzsanna*, Suhajda Erzsébet*, Somfai Dávid*, Lemmer Balázs**, Dolgosné Kovács Anita*, Dittrich Ernő*

**Környezetmérnöki Tanszék Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar, H-7624 Pécs, Boszorkány út 2. e-mail: somfai.david@mik.pte.hu **Folyamatmérnöki Intézet Szegedi Tudományegyetem, Mérnöki Kar 6725 Szeged, Moszkva krt. 9.*

TÉLI IDŐSZAKBÓL SZÁRMAZÓ HÁZTARTÁSI BIOHULLADÉKOK ANAEROB FERMENTÁCIÓJA

Barasits Péter, Köles Péter, Rétfalvi-Szabó Piroska, Rétfalvi Tamás

Kémiai Intézet
Soproni Egyetem
9400 Sopron, Bajcsy-Zs. utca 4.
retfalvi.tamas@uni-sopron.hu

Absztrakt: *Kutatásunk célja az volt, hogy megvizsgáljuk egy átlagos magyar család, téli időszakban, egy héten át termelődő háztartási biohulladékának anaerob fermentációs lehetőségét, valamint vizsgálni kívántuk az iszap kémiai tulajdonságait. A laborméterű félfolyamatos anaerob fermentációs vizsgálatokat a VDI 4630 német szabvány alapján hajtottuk végre mezofil tartományon.*

Keywords: anaerob fermentáció, konyhai hulladék

1. Bevezetés

A modern társadalmak egyik máig megoldatlan kihívását a keletkező hulladékok kezelése, ártalmatlanítása jelenti. A hulladékgyűjtés témakörében a technológiai fejlődés révén még inkább előtérbe kerül a szelektív kezelés, ezen belül pedig a szerves anyagok, biohulladékok kérdése.

A településekről származó kommunális hulladékok egy része biológiailag lebontható szerves anyagokból áll. Ennek döntő többségét azonban szeméttelpeken helyezük el (Bai, 2002).

A háztartásokban jelentős, másodnyersanyagként felhasználható szerves hulladék keletkezik, amely potenciális alapanyag lehet például biogáz termelésre. Részai a szerves - a szervesetlen, valamint a környezetre veszélyes hulladékok. A szétválogatott háztartási hulladékokból az ipar új terméket állít elő. A háztartási hulladék közel fele lebomló hulladék, mely komposztálható (Nagy, 2011).

A felhasználhatóság, stabil fermentáció elérésének módja és további gyakorlati válaszok azonban kevés helyen érhetőek el. Ezért kutatásunk célja az volt, hogy megvizsgáljuk egy átlagos magyar család, téli időszakban, egy héten át termelődő háztartási biohulladékának anaerob fermentációs lehetőségét, valamint vizsgálni kívántuk az iszap kémiai tulajdonságait

2. 2. Anyag és módszer

2.1 Szubsztrát

A biohulladékot egy négy főből álló család által a háztartásukban keletkezett konyhai szerves hulladék összegyűjtése biztosította. A gyűjtési idő hét napig tartott. A keletkezett biohulladékot több nagyméretű, jól zárható befűtött üvegben vegyítve 5 °C-on tároltuk. A gyűjtés végeztével a biohulladékot szabadlevegőn, húsdarálón kétszeri „darálással” aprítottuk fel. A massa egyneművé válása után alapos összekeverést követően készen állt az anyag a vizsgálatra.

2.3 Anaerob fermentáció

A laborméterű anaerob fermentációs vizsgálatokat a VDI 4630 német szabvány alapján hajtottuk végre. Az állandó mezofil tartományt (38 °C – iszap maghőmérséklete) vízfűdők (Memmert WNB 14 Basic, Memmert GmbH. & Co.) segítségével biztosítottuk. Az alkalmazott aktív oltóiszap a kaposvári biogáz

üzemből származott. Az oltóiszap terhelését 2500 mL névleges térfogatú sötétített fermentorüvegekben, (Merck & Co., Germany) 1000 mL térfogatú iszappal hajtottuk végre. A fermentorok keverését manuálisan, naponta 3 alkalommal végeztük el. A termelődött biogázt Tedlar® teflonzacskókban gyűjtöttük, mennyiségét naponta mértük gáztömör Hamilton fecskendővel (Sigma Aldrich Co.).

2.4 Analitikai vizsgálatok

A gázösszetétel analízisét egy hővezetőképesség mérő (TCD-Thermal Conductivity Detektor) detektorral ellátott gázkromatográfval végeztük el. Főbb műszaki paraméterei: Shimadzu GC-14B típusú gázkromatográf, kolonna termosztát belső térfogat: 12 liter, TCD detektor: differenciális típusú cellák, 4 rénium-wolfram filament, hőmérséklet tartomány: szobahőmérséklet + 3 C° - 399 C°.

A savösszetétel meghatározása UV detektorral ellátott HPLC készülékkel történt. A műszer paraméterei: Gynkotek M 480 pumpa, a TOSOH 6040 UV detektor (210nm), a Rheodyne 8125 injektor, Aminex HPX-87H oszlop (300x7.8mm; 5mm) (BioRad Co.,USA), eluens: 0,005 M H₂SO₄.

Az iszap titrált savtartalmának meghatározását saját módszer alapján hajtottuk végre (Rétfalvi et al., 2011).

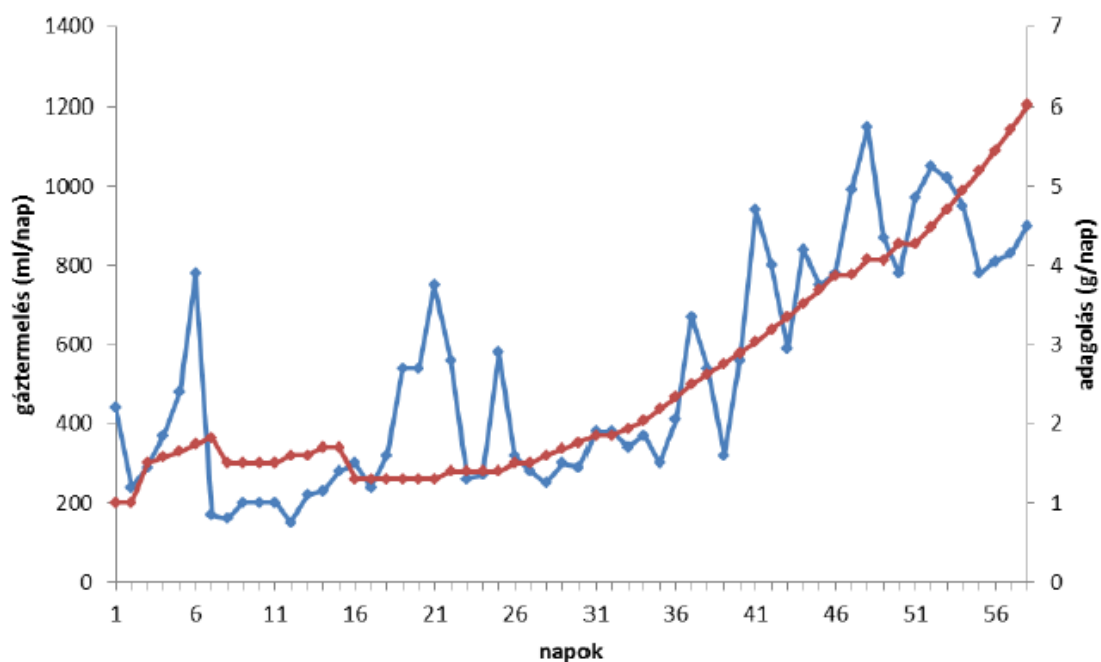
A pH mérést követően az iszapot centrifugáltuk 3420 RCF sebességgel (EBA 21, A. Hettich, Germany) 10 percen keresztül, majd az így nyert felülúszó 5 mL-ét 45 mL desztillált vízzel hígítottuk. A titrálat folyamatos pH mérés mellett 0,1 M HCl oldattal végeztük 2,0-es pH szint eléréséig. Ezt követően 15 percig mágneses keverővel kevertettük az oldatot a felszabaduló CO₂ kiűzése érdekében, majd 0,1 M NaOH oldattal 4,0-es, majd 5,0-ös pH-ra titráltuk. A mg ecetsav egyenérték/L mértékegységben meghatározott titrált savtartalmat az alábbi képlet segítségével számítottuk.

$$c = \frac{f(\text{NaOH}) \times 60 \times 200 \times \text{NaOH fogyasztás (pH 5.0 - pH 4.0)}}{5 (\text{minta térfogata})}$$

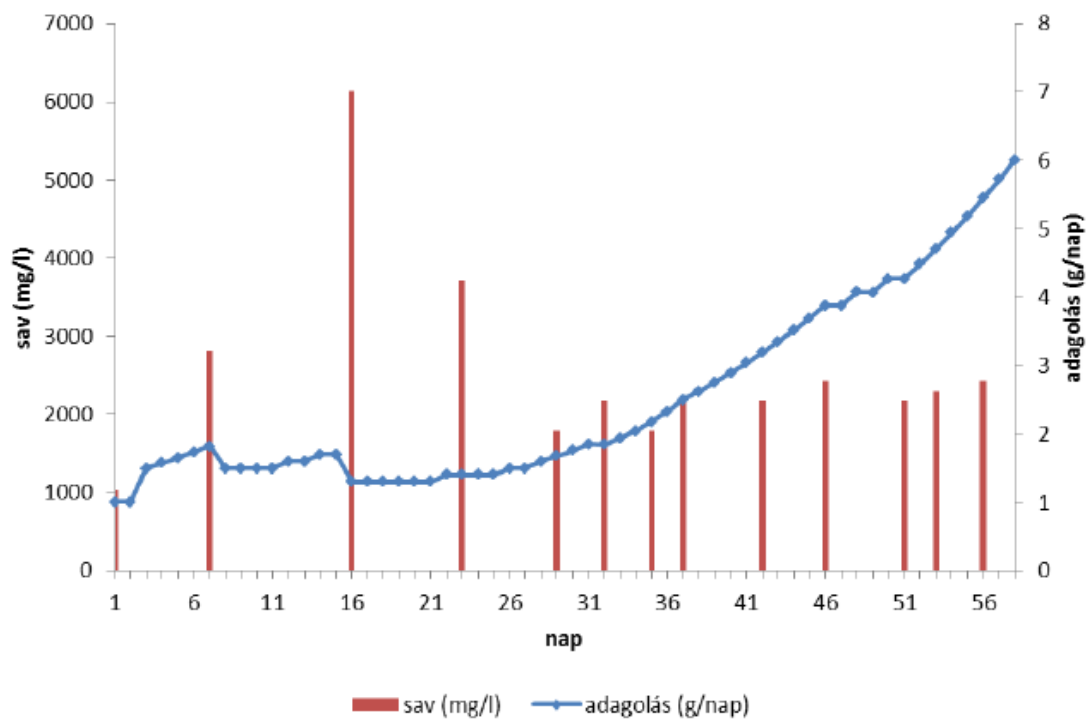
A minták NH₄⁺ tartalmának vizsgálatát az MSZ ISO 7150-1 szabvány alapján, az összes foszfor tartalmat az MSZ 488/18-77 szabvány szerint, a KOI tartalmat az MSZ ISO 6060 szabvány alapján határoztuk meg. A mennyiségi meghatározás esetben ötpontos kalibrációs módszerrel történt.

3. Eredmények

Az 1. ábrán a szervesanyag adagolás és a gázkihozatali adatok jelennek meg. A 7. napon a savtartalom jelentős emelkedését (2. ábra) és a gáztermelés csökkenését tapasztaltuk, ezért a terhelést a 8. napon visszavettük, 1,5 g-ra csökkentettük. Ezt követően a 11. napig nem változtattunk a terhelésen. A rendszert a 16. naptól egészen a 21. napig egy állandó 1,3 g szubsztrát/nap adagolással stabilizáltuk, ennek következtében a gáztermelés ismét növekedett (1. ábra). Miután javult a rendszer állapota, fokozatosan emelni kezdtük a szervesanyag terhelést.



1. ábra A téli időszakban gyűjtött minta gázkihozatali vizsgálata a szervesanyag adagolás függvényében



2. ábra A téli minta tvFA koncentrációjának alakulása a szervesanyag adagolás függvényében

Az ecetsav-propionsav aránya a 2. táblázat alapján a rendszer optimális működését jelezte számunkra. Az izovajsav és izovaleriánsav mennyisége kimutatható volt a téli iszapmintánkban, azonban csak minimális koncentrációban (2. táblázat).

2. táblázat A téli minta savösszetételei eredményei

	Téli minta						
	ecetsav (mg/l)	propionsav (mg/l)	izovajsav (mg/l)	vajsav (mg/l)	izovalerián sav (mg/l)	valerián sav (mg/l)	krezol (mg/l)
7. nap	895	98	99	nd	36	nd	nd
35. nap	240	nd	nd	nd	nd	nd	nd
53. nap	486	kha	nd	nd	nd	nd	nd

nd: nem detektálható; kha: kimutatási határ alatti

Az iszap NH₃ tartalma a szubsztrát beadagolásával megegyezően növekedett (3. táblázat). Az összes foszfor (ÖP) tartalom az iszapban a 35. napig folyamatosan csökkenő tendenciát mutatott és ennek következtében az ammónia-foszfor arány romlott. Ezért a 35. naptól foszforsavat adagoltunk, ami javított az arányon. Az adatok alapján arra következtetünk, hogy 2-3 héten belül elértük volna az ideális arányt.

3. táblázat Fermentiszap kémiai analizisének eredményei

Téli minta			
Napok	KOI [mg/l]	ÖP [mg/l]	NH ₃ [mg/l]
7.	11881	109,3	2335
35.	8080	83,7	2219
56.	9052	119,1	2454

4. Összefoglalás

A szervesanyag terhelési vizsgálatunk a téli mintával folytatott kísérlet eredményei alapján sikeresnek mondható, a gázkihozatalokat összevetve megközelítőleg a silókukorica gázprodukciónak sikerült elérni. A termelődött biogáz metántartalma a tapasztalatok szerint jónak számító 55%-ot meghaladta. A fermentiszap legnagyobb titrált savtartalmi értékét a 16. napon mértük, ez 6144 mg/l volt. Az ecetsav-propionsav arányából adódóan az feltételezhető, hogy a rendszerünk optimálisan működött.

Köszönetnyilvánítás

A publikáció elkészítését az EFOP-3.6.2-16-2017-00010 „Fenntartható Nyersanyag-gazdálkodási Tematikus Hálózat – RING 2017” támogatta.

Hivatkozások

Bai Attila, Lakner Zoltán, Marosvölgyi Béla, Nábrádi András (2002) - A biomassza felhasználása, Szaktudás Kiadó Ház Rt., Budapest

Nagy Géza, Kovács Barnabás, Buruzs Adrienn, Torma András, Vagdalt László, Horváth László (2011) - Hulladékgazdálkodás, Pannon Egyetem - Környezetmérnöki Intézet

Lignocellulóz hidrolizátumok membránszeparációja

Lemmer Balázs^{1,2}; Jákói Zoltán¹; Beszédes Sándor^{1,2}; Czupy Imre³; Somfai Dávid⁴;
Hodúr Cecilia^{1,2}

¹Folyamatmérnöki Intézet
Szegedi Tudományegyetem, Mérnöki Kar
6725 Szeged, Moszkvai krt. 9.
lemmer@mk.u-szeged.hu

²Környezettudományi és Műszaki Intézet
Szegedi Tudományegyetem
6726 Szeged, Közép fasor 52
hudur@mk.u-szeged.hu

³Erdészeti-műszaki és Környezettechnikai Intézet
Soproni Egyetem

⁴Környezetmérnöki Tanszék
Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar

Absztrakt: *Napjainkban egyre nagyobb szerepet kap a megújuló energiaforrások, mint például a biomassza felhasználása. A biomassza belül különös figyelmet érdemelnek a különböző lignocellulóz alapú energiahordozók, melyek a hagyományos elégetéses módszeren túl, folyékony hajtóanyagok pl. bioetanol előállításának alapanyagául is szolgálhatnak. Az eljárás során kulcsfontosságú lépés az alapanyagok hidrolízise, mely során egyszerű cukrokat nyerhetünk. A hidrolizátumok cukortartalmát a hatékony alkoholos erjedés érdekében koncentrálni érdemes. Ennek érdekében nanoszűrést alkalmazva kívántuk a fermentlevek cukortartalmát besűríteni. Habár a membránok specifikációi alapján mindkét alkalmazott membrán alkalmas cukortartalmú fermentlevek besűrítésére, jelentős különbség volt tapasztalható a visszatartási értékeiben.*

Kulcsszavak: lignocellulóz, iszap, nanoszűrés, membrán

1. Bevezetés

A Föld energiaforrásainak esetleges kimerülése többeket foglalkoztat napjainkban. Az energiafelhasználás egyre nő, hiszen a mai mezőgazdasági és ipari egységek, valamint a növekvő népesség felhasználása (pl. háztartások, közlekedés) is egyre több energiát igényel. Az energiafelhasználás növekedésének egyik fő oka, hogy a fejlődő országok a világ energiárészesedéséből mindössze 20-25%-ot birtokolnak, viszont ide tartozik a világ népességének 75-80%-a (Halász et al., 2012). Másfelől a Föld demográfiai előrejelzései alapján 50 éven belül a lakosság száma megduplázódik. A legnagyobb mértékű népességnövekedés a fejlődő országokban megy végbe és ezen növekedés fenntartásának természetes velejárója az energiaigények növekedése is.

A Föld tartalékai fosszilis energiahordozókból végesek. Számos kutatás folyik már ezen energiahordozók kiváltása érdekében, ilyen például a motorhajtóanyagok valamilyen módon történő lecserélése, kiegészítése. Ilyen hajtóanyag lehet többek között a bioetanol.

A bioetanol előállításának két típusa terjedt el. Az elsőgenerációs etanoltermelés a cukortartalmú mezőgazdasági termékek, illetve a keményítő tartalmú termények keményítőjéből hagyományos

alkoholgyártási folyamaton keresztül állítják elő a bioetanol. A másodgenerációs bioetanol gyártása lignocellulóz tartalmú növényi eredetű hulladékokból és melléktermékekből történik. Az alapanyagok olcsón és egyszerűen beszerezhetők, a módszer nem vesz el értékes területeket az élelmiszertermeléstől sem, viszont felmerültek olyan nehézségek, mint a cellulóz bontása, valamint az ez után keletkező hidrolizátumok relatíve alacsony cukorkoncentrációja.

Munkánk folyamán egy olyan membránszeparációs eljárást kívántunk tanulmányozni, mellyel a hidrolizátumok redukáló cukortartalma az alkoholfélesztés szempontjából optimális szintre vihető fel.

2. Irodalmi áttekintés

Napjainkban egyre nagyobb szerepet kapnak a megújuló energiaforrások, mint például a biomassza, széleskörű alkalmazása. Erre kitűnő példa a cellulóz/hemicellulóz/lignocellulóz alapú hajtóanyag gyártás vagy bioetanol előállítása. A lignocellulózt szolgáltató alapanyagok lehetnek: cukorcirok, energiafű, de gyakorlatilag bármilyen fás szárú növény. A második generációs bioetanol előállításának gazdaságosságát és létjogosultságát növeli, hogy nem csak olyan anyagokból tudjuk előállítani, amit élelmiszerként is tudnánk hasznosítani, hanem olyan anyagokból is, mint például búzaszalma vagy kukoricaszár, amelyek felhasználása ezelőtt legfeljebb állattartásban volt elképzelhető (Saini et al. 2015). A környezettudatosságra való törekvés egyre nagyobb teret enged az efféle új motorhajtóanyagok alkalmazásának, bár napjainkban még inkább, mint benzin adalékanyagként, oktánszámjavítóként történő felhasználása a gyakoribb, amely kitűnő lehetőség (Szendrei, 2005).

A bioetanol gyártási lépései a biomassza aprításával kezdődnek, majd vagy a száraz őrleményt vetik alá azonnal enzimes kezelésnek, vagy fiziko-kémiai módszerekkel előkezelik, melynek lényege, hogy szétroncsolja a szöveteket, és a cellulóz hozzáférhetővé válik ez enzimeknek (Beszédes et al. 2012). Ezt követően az enzimes hidrolízis következik, mely során a cellulóz, amely egy β -glükóz egységekből felépülő cukor polimer, monomerjeire bomlik. Ez történhet tömény savas, kétfokozatú savas, és enzimes hidrolízissel, melyek során a hosszú szénhidrát láncok glükózzá alakulnak. Majd fermentáció következik, amelynek fontos paramétere a megfelelő minőségű és mennyiségű élesztő megválasztása a lehető legnagyobb mennyiségű cukor átalakítás érdekében (Beszédes et al, 2011, Ábel et al, 2015).

A membránműveleteket sokféle szempont alapján lehet különböző csoportokba sorolni. Jelen munkánk szempontjából a hidrosztatikai nyomáskülönbségen alapuló eljárások jelentősek. Ezek a szűrési műveletek a mikroszűrés, ultraszűrés, nanoszűrés és a reverz ozmózis (Fonyó és Fábry, 2004).

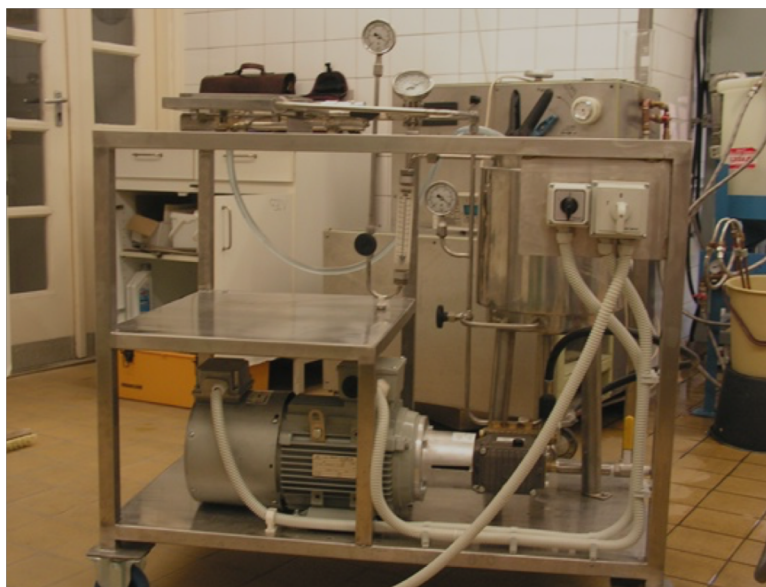
A nanoszűrés az 1980-as évek végén és az 1990-es évek elején lett népszerű az iparban. A nanoszűrés jobban megvizsgálva egy nagyon finom ultraszűrés, de tág értelemben vehető fordított ozmózisnak is, ha másfelől közelítjük, így a nanoszűrés nem csak az elválasztható molekulák mérete miatt áll a „sorban” az ultraszűrés és a reverz ozmózis között (Schaefer, 2005).

A nanoszűrő membránok átlagos vágási értéke 200 Da és 500 Da tartományban mozog. Azaz nem csak a baktériumokat, fehérjéket, hanem akár cukrokat és több vegyértékű ionokat is képes visszatartani, a permeátumba víz, illetve egy vegyértékű ionok juthatnak bele (Lou et al, 2018).

3. Anyag és módszer

A kísérletek első részében 10kgm^{-3} koncentrációjú glükóz oldatot használtunk a kiválasztott membránok visszatartásának tesztelésére. Vizsgálataink valós alapanyagául kukoricacsutka őrlemény enzimes hidrolízise során keletkezett fermentlevet alkalmaztunk. A fermentlé előzetesen mikro- és ultraszűrési eljárásokon esett át, ezzel altávolítva a megmaradt szilárd alkotóelemeket és nagyobb peptideket.

A nanoszűrési kísérleteket egy RO/NF-N2 típusú berendezésen (1. ábra) végeztük, melybe két darab A5 méretű síkmembrán helyezhető be. A berendezést 3MPa nyomáson, 40°C hőmérsékleten, intenzív recirkuláció mellett üzemeltettük. A kísérletekhez két különböző membránt használtunk fel, az egyik TriSep gyártmányú TS80 jelű membrán volt, mely megközelítőleg 150 Da vágási értékkel rendelkező 99%-os MgSO_4 és $75\pm 5\%$ NaCl visszatartás jellemezte. A másik a GE Osmonics által gyártott DL jelű membrán volt, mely vágási értékét a gyártó 150-300 Da tartományban adta meg, 98% MgSO_4 visszatartás mellett.



1. ábra. RO/NF-N2 típusú berendezés

A membránszeparációs műveletet jellemző egyik fontos jellemző a permeátum fluxusa (J), azaz az egységnyi membránfelületen egységnyi idő alatt átáramlott permeátum térfogata (1. összefüggés):

$$J = \frac{1}{A} \cdot \frac{dV}{dt} \quad (1)$$

Ahol A a membrán felülete [m^2], V a permeátum térfogata [m^3], t az idő [s].

A fluxus ismeretében a soros ellenállások modellje segítségével a membrán ellenállása (R_m), az irreverzibilis ellenállás (R_{irr}), a reverzibilis ellenállás (R_{rev}), valamint a teljes ellenállás (R_t) meghatározható (Arora et al. 2008).

A betáplált modelloldat és fermentlé térfogata ($V_{betáp}$) 10 000 cm^3 volt, a szűrés 7200 cm^3 permeátum és 2800 cm^3 koncentrátum (V_{konc}) szétválasztásáig folyt, ami VRR=3 sűrítési arányt jelent, melyet az alábbi (2.) képlet segítségével határoztunk meg:

$$VRR = \frac{V_{betáp}}{V_{konc}} \quad 2.$$

Minden 1000 cm^3 permeátum átjutását követően a permeátumból és a koncentrátumból is 2-2 cm^3 mintát vettünk a későbbi cukorkoncentráció meghatározása érdekében.

A redukáló cukorkoncentrációt DNSA reagens segítségével spektrofotometriás módszer segítségével határoztuk meg. A cukorkoncentráció ismeretében a membránszeparáció egy jelentős értéke, a visszatartás (retenció) meghatározható a 3. összefüggés segítségével.

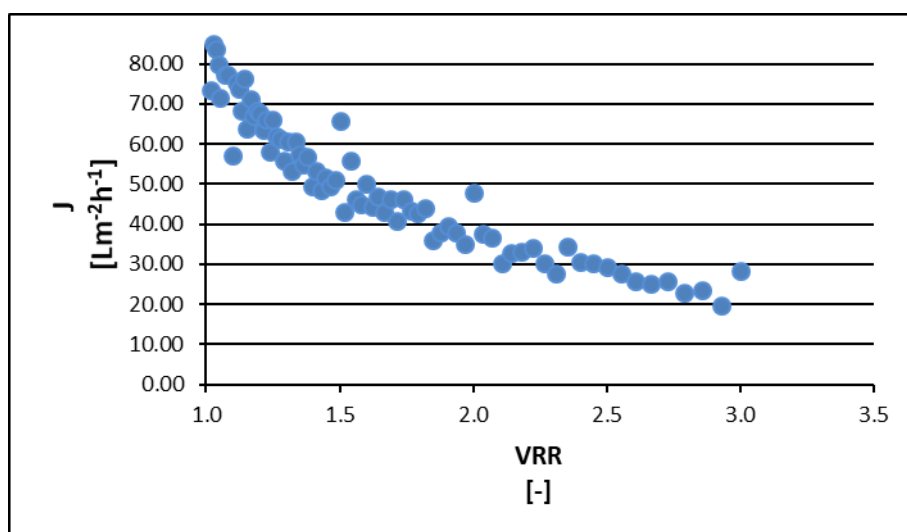
$$R = 1 - \frac{c_p}{c_b} \quad (3)$$

ahol, R a visszatartás, c_p a permeátum koncentrációja, c_b a betáplálás koncentrációja.

4. Eredmények és értékelésük

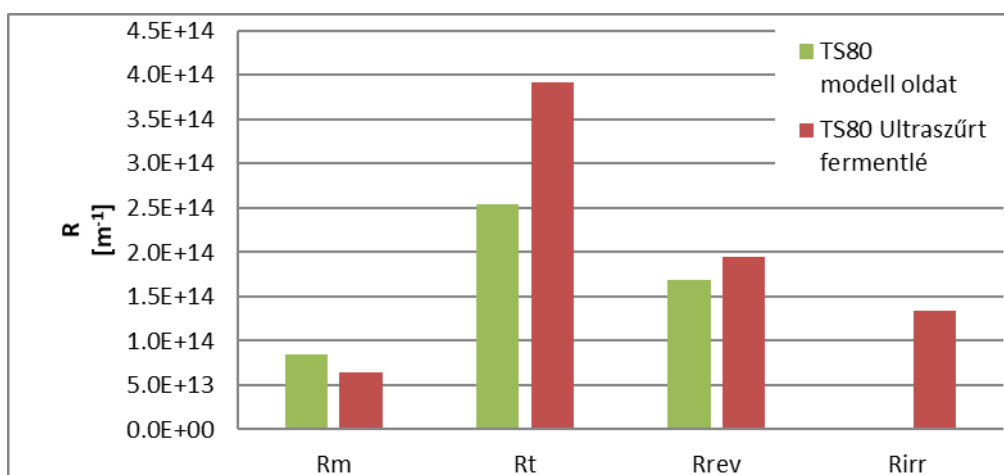
Először mindkét nanoszűrő membránnak meghatároztuk a glükózvisszatartó képességét modelloldat alkalmazása mellett. A Ge Osmonics DL membránnál tapasztalt visszatartás 0,1-nek adódott, míg a TS80 membránnál ez az érték közel 1-nek adódott. Ezen eredmények miatt a továbbiakban csak a TS80 jelű membránt használtuk valós fermentlé nanoszűrésénél.

A valós hidrolizátum szűrése közbeni fluxus értékek kezdetben relatíve magasak, de közel lineárisan csökkennek VRR=2 értékig, ahol közel a felére csökken a fluxus a kezdeti értékekhez viszonyítva. Noha a 2-es és 3-as sűrítési arány között tapasztalt fluxusértékek között szimiláris csökkenés figyelhető meg, a folyamat egészét tekintve ez a csökkenés már kisebb jelentőségű (2. ábra).



2. ábra. Valós hidrolizátum nanoszűrése során mért fluxusértékek a besűrítési arány függvényében

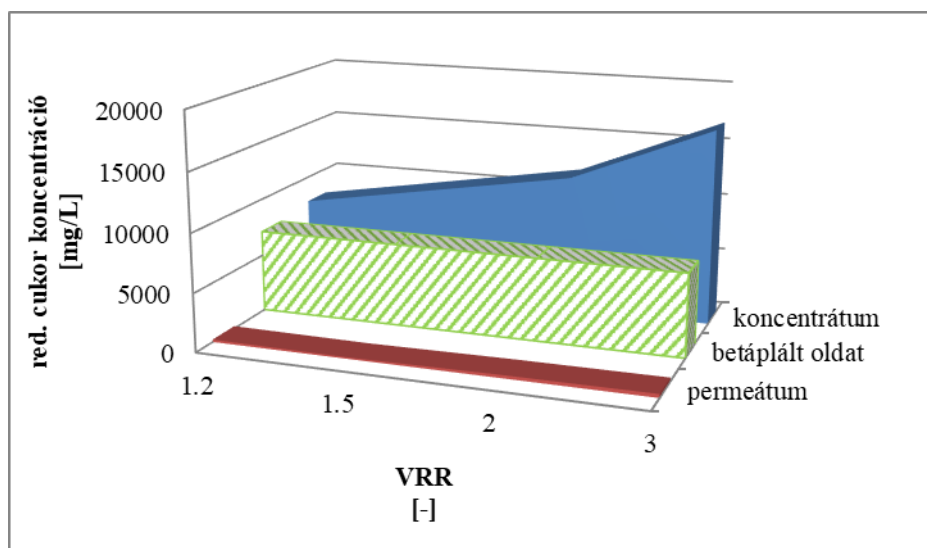
A 3. ábrán látható, hogy modell oldat szűrésénél a teljes ellenállás értékének túlnyomó részét a reverzibilis tag teszi ki, azaz ezt a szennyeződést le lehetett mosni a modelloldat szűrése után, míg az irreverzibilis, azaz eltávolíthatatlan ellenállás, értéke szinte elhanyagolható volt ennél a kísérletnél.



3. ábra. TS80 membránnal végzett modell oldat és valós hidrolizátum besűrítések során tapasztalt ellenállások összehasonlítása

A teljes ellenállás sokkal nagyobb valós fermentlé esetében, mint a modelloldattal végzett szűrésnél. A különbséget az irreverzibilis ellenállás adja, amely, a fermentlé esetében, nagyobb, mint a membrán ellenállása, és nem sokkal kevesebb, mint a reverzibilis ellenállás. Ez a modelloldat esetében nem így volt, mivel ott az irreverzibilis ellenállás mértéke szinte elhanyagolható volt. Ez azt jelenti, hogy a fluxusértékek drasztikus csökkenését az irreverzibilis ellenállás növekedése okozza, összehasonlítva a modelloldat irreverzibilis ellenállásával. Abból adódhat ez a nagyobb mértékű irreverzibilis ellenállás a fermentlé esetében, hogy a fermentlé a cukron és a vízen kívül olyan molekulákat, kisebb fehérjéket is tartalmazhatott, amelyek vagy lemoshatatlanul a membrán felületén maradtak, vagy a membrán belsejében, a pórusokban ragadtak.

A fermentlé besűrítése előtt a betáplált hidrolizátumból, és a szűrés közben a koncentrátum és a permeátum oldalról vett minták redukáló cukortartalmának mérési eredményeit szemlélteti a 4. ábra.



4. ábra. A valós hidrolizátum membránszeparációja alatt vett minták redukáló cukorkoncentrációja a besűrítési arány függvényében

A membrán visszatartotta a cukrot a valós hidrolizátumból, hiszen a szeparáció során a permeátum cukortartalma végig minimálisnak adódott, ugyanakkor a koncentrátumban a redukáló cukrok koncentrációja rendre növekszik a besűrítési arány növekedésével. A 3. összefüggés segítségével megkaptuk, hogy a TS80 membrán redukáló cukor visszatartása 95 %-os volt.

5. Összefoglalás

A Föld népességének növekedésével egyidőben növekvő energiaigény olyan alternatív energiaforrások kifejlesztésére ösztökéli a kutatókat, amelyek képesek helyettesíteni a fosszilis energiaforrásokat. Ilyen alternatív energiaforrás például a bioetanol, amit cellulóz tartalmú hulladékokból is előállíthatunk. A folyamat első részében a lignocellulóz enzimes hidrolízisére kerül sor, mely során (a felhasznált alapanyagtól és a felhasznált enzimtől függően) különféle cukrok szabadulnak fel, mely(ek)ből mikroorganizmusok segítségével etanol állítható elő.

Munkánk során az enzimes hidrolízisből származó fermentlevet sűrítettük nanoszűrővel, hogy a fermentlé nagyobb koncentrációban tartalmazzon cukrot az alkoholos erjesztéshez. A kísérletek első részében két különböző membránt alkalmaztunk, melyek a gyártói leírások (pl. sóvisszatartó képesség) alapján mindkét membrán alkalmas lehet cukros oldatok besűrítésére, de csak az egyik bizonyult alkalmasnak. A kísérleteink során 95%-os értünk el redukáló cukortartalomra nézve.

Munkánk során kiderült, hogy egy adott membrán leírásában szereplő sóvisszatartás nem feltétlen garancia a cukorbesűrítési eljárásokban való sikeres alkalmazhatóságra. A modelloldatokkal végzett előkísérletek jelentős anyagi és munkaidő megtakarítást eredményezhet. Megfelelő membrán alkalmazása esetén magas visszatartás mellett sűríthetők be valós hidrolizátumok, így biztosítva a hatékonyabb alkoholos erjesztés egyik fontos paraméterét.

Köszönetnyilvánítás

A kutatócsoport köszönetet mond a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal – NKFIH, K115691, és Az EFOP-3.6.2-16-2017-00010 azonosító számú „Fenntartható nyersanyag-gazdálkodás tematikus hálózat fejlesztése – RING 2017 által nyújtott anyagi támogatásért.

Hivatkozások

Ábel M.–Drenda K.–Lemmer B.–Beszedes S.–Keszthelyi-Szabó G.–Hodúr C.: 2015. Combined pre-treatment for saccharification. Acta Technica Corviniensis – Bulletin Of Engineering 8. 111-114

Beszédes S.–Ábel M.–Szabó G.–Hodúr C.–László Zs.: 2011. Enhanced enzymatic saccharification of agri-food solid wastes by microwave pre-treatment. *Annals Of Faculty Of Engineering Hunedoara - International Journal Of Engineering* 9.3. 453-458

Beszédes S.–Tachon A.–Lemmer B.–Ábel M.–Szabó G.–Hodúr C.: 2012. Bio-Fuels From Cellulose By Microwave Irradiation. *Annals Of Faculty Of Engineering Hunedoara - International Journal Of Engineering* 10: 2 43-48

Fonyó Zs.–Fábry Gy.:2004 Vegyipari művelettani alapismeretek. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1042

Halász J, Kiricsi I, Hannus I. (2012): Környezetvédelmi technológia, JatePress, Szeged, 452.

Lou J. – Gou S.–Wu Y.–Wan Y.: 2018 Separation of Sucrose and Reducing Sugar in Cane Molasses by Nanofiltration *Food and Bioprocess Technology* 11:5 913-925

Saini JK. – Saini R.–Tewari L.: Lignocellulosic Agriculture wastes as Biomass feedstocks for second generation bioethanol production: Concepts and recent developments. *3Biotech* 5 (4), 337-353

Schaefer A.–Fane A.–Waite T.: Nanofiltration 1st. edition Principles and Applications, Elsevier Science, Oxford, Egyesült Királyság 2004

Szendrei J.: 2005 A biomassza energetikai hasznosítása. *Agrártudomány Közlemények*, 16, 264-272

Arora A.–Dien B.S.–Belyea R.L.–Wang P.–Singh V.–Tumbleson M.E.: 2008. Thin stillage fractionation using ultrafiltration: resistance in series model. *Bioprocess and Biosystems Engineering* 32:2 225-233

Donegan, H. A., Dodd, F. J. and McMaster, T. B. (1992), “A New Approach to AHP Decision Making,” *The Statistician*, 41, 295-302.

Barzilai, J. and Golani, B (1991) “An Axiomatic Framework for Aggregating Weights and Weight-Ratio Matrices,” *Proceedings of the Second International Symposium on the Analytic Hierarchy Process*, Pittsburgh, PA, 59-70.

NYÁRI IDŐSZAKBÓL SZÁRMAZÓ HÁZTARTÁSI BIOHULLADÉKOK ANAEROB FERMENTÁCIÓJA

Barasits Péter, Köles Péter, Rétfalvi-Szabó Piroska, Rétfalvi Tamás

Kémiai Intézet
Soproni Egyetem
9400 Sopron, Bajcsy-Zs. utca 4.
retfalvi.tamas@uni-sopron.hu

Absztrakt: *Kutatásunk célja az volt, hogy megvizsgáljuk egy átlagos magyar család, nyári időszakban, egy héten át termelődő háztartási biohulladékának anaerob fermentációs lehetőségét, valamint vizsgálni kívántuk az iszap kémiai tulajdonságait*

Keywords: anaerob fermentáció, konyhai hulladék

1. Bevezetés

A történelem során - az emberiség fejlődésével - a világ energiaszükséglete folyamatosan növekedett. Ez azzal magyarázható, hogy a fejlődő országok gazdasági, illetve a Föld – főként a „harmadik világ” - népességének rohamos növekedése és az életszínvonal emeléséhez szükséges iparosodási folyamatok még fokozottabb energiafelhasználást igényelnek.

Napjainkban világszintű problémát jelent a nem megújuló, fosszilis energiahordozók kimerülésének veszélye, amelyek a különböző földtörténeti korokban, több millió évvel ezelőtt képződtek. Mivel ez a probléma a fejlett és a fejletlen országokat is egyaránt érinti, ezért a kutatások mind inkább a megújuló energiaforrások irányába tevődnek át (Bárány, 2009). Hazánk kedvező adottságaiból adódóan különösen jó helyzetben van a biotechnológiai

eljárások terén, ezért fontos, hogy a rendelkezésünkre álló forrásokat kellően kihasználjuk.

A társadalom velejárója, hogy az ember a tevékenységei során hulladékot termel. Ennek egy részét a vásárlási szokásainkkal visszük a háztartásba. A keletkezett hulladék a termékek elhasználódásakor, illetve a csomagolás feleslegessé válásával keletkezik. Anyag fajtánként szelektíven gyűjtve új termék nyersanyaga lehet (Barótfi, 2000). A háztartásokban keletkező hulladékok az elosztási és fogyasztási tevékenységekből származnak, melynek összetétele és mennyisége függ az ember életszínvonalától, életmódjától, fogyasztási szokásaitól (Nagy, 2011).

Kutatásunk célja az volt, hogy megvizsgáljuk egy átlagos magyar család, nyári évszakban, egy héten át termelődő háztartási biohulladékának anaerob fermentációs lehetőségét, valamint vizsgálni kívántuk az iszap kémiai tulajdonságait.

2. 2. Anyag és módszer

2.1 Szubsztrát

A biohulladékot egy négy főből álló család által a háztartásukban keletkezett konyhai szerves hulladék összegyűjtése biztosította. A gyűjtési idő hét napig tartott. A keletkezett biohulladékot több nagyméretű, jól zárható befőttes üvegben vegyítve 5 °C-on tároltuk. A gyűjtés végeztével a biohulladékot szabadlevegőn, húsdarálón kétszeri „darálással” aprítottuk fel. A massa egyneművé válása után alapos összekeverést követően készen állt az anyag a vizsgálatra.

2.3 Anaerob fermentáció

A laborméterű anaerob fermentációs vizsgálatokat a VDI 4630 német szabvány alapján hajtottuk végre. Az állandó mezofil tartományt (38 °C – iszap maghőmérséklete) vízfürdők (M Emmert WNB 14 Basic, Memmert GmbH. & Co.) segítségével biztosítottuk. Az alkalmazott aktív oltóiszap a kaposvári biogáz üzemből származott. Az oltóiszap terhelését 2500 mL névleges térfogatú sötétített fermentorüvegekben, (Merck & Co., Germany) 1000 mL térfogatú iszappal hajtottuk végre. A fermentorok keverését manuálisan, naponta 3 alkalommal végeztük el. A termelődött biogázt Tedlar® teflonzacskókban gyűjtöttük, mennyiségét naponta mértük gáztömör Hamilton fecskendővel (Sigma Aldrich Co.).

2.4 Analitikai vizsgálatok

A gázösszetétel analizését egy hővezetőképesség mérő (TCD-Thermal Conductivity Detektor) detektorral ellátott gázkromatográfjal végeztük el. Főbb műszaki paraméterei: Shimadzu GC-14B típusú gázkromatográf, kolonna termosztát belső térfogat: 12 liter, TCD detektor: differenciális típusú cellák, 4 réz-niobium-wolfram filament, hőmérséklet tartomány: szobahőmérséklet + 3 °C - 399 °C.

A savösszetétel meghatározása UV detektorral ellátott HPLC készülékkel történt. A műszer paraméterei: Gynkotek M 480 pumpa, a TOSOH 6040 UV detektor (210nm), a Rheodyne 8125 injektor, Aminex HPX-87H oszlop (300x7.8mm; 5mm) (BioRad Co.,USA), eluens: 0,005 M H₂SO₄.

Az iszap titrált savtartalmának meghatározását saját módszer alapján hajtottuk végre (Rétfalvi et al., 2011).

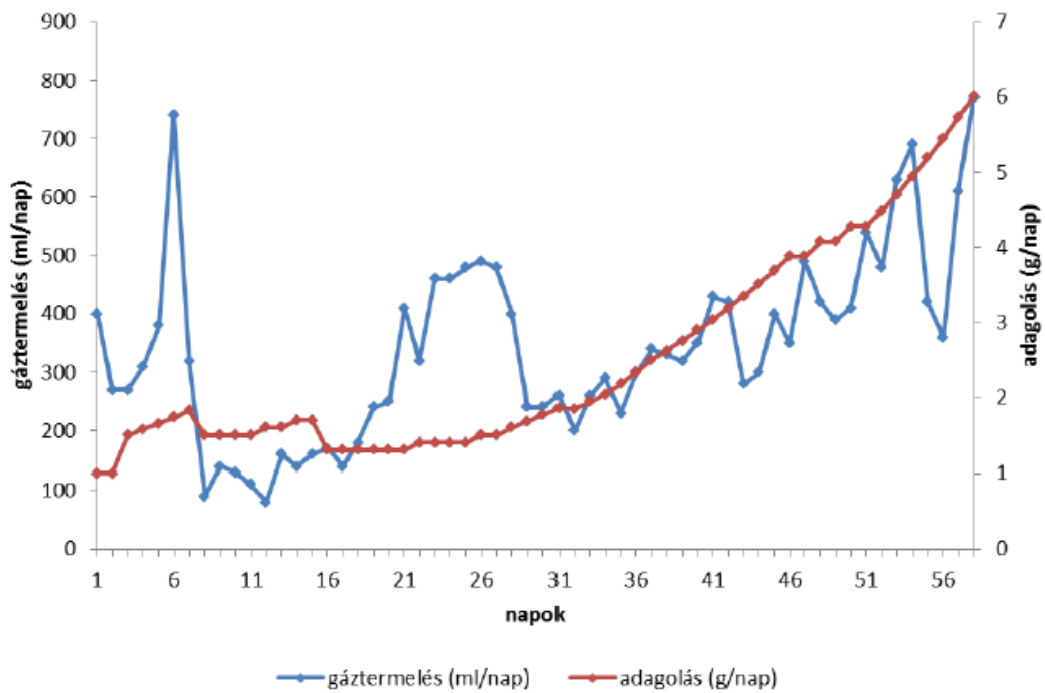
A pH mérést követően az iszapot centrifugáltuk 3420 RCF sebességgel (EBA 21, A. Hettich, Germany) 10 percen keresztül, majd az így nyert felülúszó 5 mL-ét 45 mL desztillált vízzel hígítottuk. A titrálat folyamatos pH mérés mellett 0,1 M HCl oldattal végeztük 2,0-es pH szint eléréséig. Ezt követően 15 percig mágneses keverővel kevertettük az oldatot a felszabaduló CO₂ kiűzése érdekében, majd 0,1 M NaOH oldattal 4,0-es, majd 5,0-ös pH-ra titráltuk. A mg ecetsav egyenérték/L mértékegységben meghatározott titrált savtartalmat az alábbi képlet segítségével számítottuk.

$$c = \frac{f(\text{NaOH}) \times 60 \times 200 \times \text{NaOH fogyasztás (pH 5.0 - pH 4.0)}}{5 (\text{minta térfogata})}$$

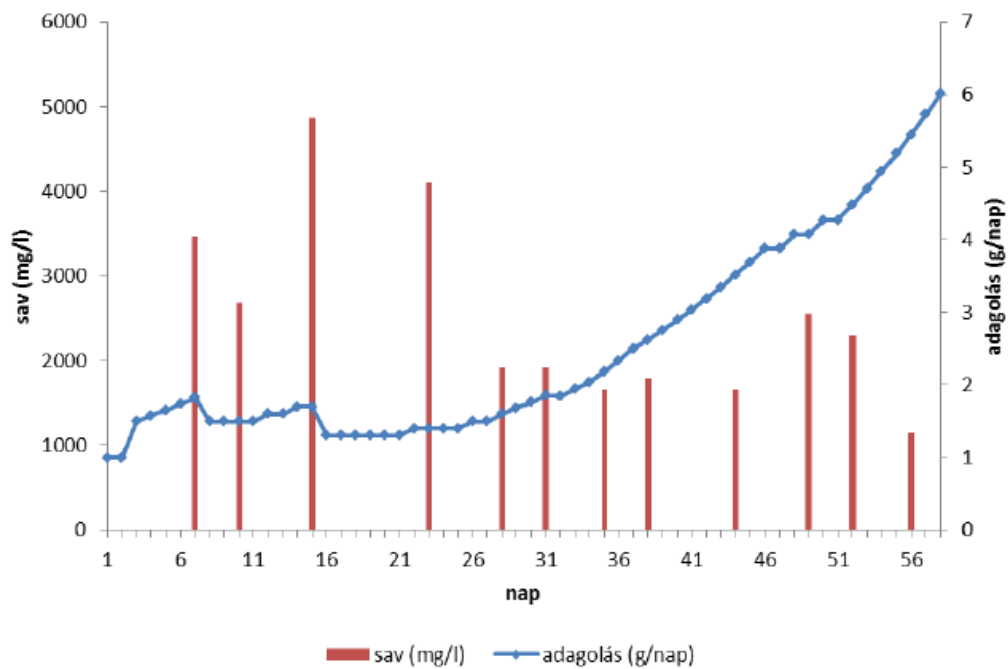
A minták NH₄⁺ tartalmának vizsgálatát az MSZ ISO 7150-1 szabvány alapján, az összes foszfor tartalmat az MSZ 488/18-77 szabvány szerint, a KOI tartalmat az MSZ ISO 6060 szabvány alapján határoztuk meg. A mennyiségi meghatározás esetben ötponos kalibrációs módszerrel történt.

3. Eredmények

Az 1. ábrán a szervesanyag adagolás és a gáztermelési adatok jelennek meg. A kísérlet 7. napján a titrált savtartalom jelentős emelkedését (2. ábra), és a gáztermelés csökkenését tapasztaltuk (1. ábra), emiatt a szervesanyag terhelést csökkentettük. Egy állandó 1,3 g-os adagolással próbáltuk stabilizálni a rendszert a 16. naptól egészen a 21. napig. Ezt követően fokozatosan, 0,1 g-onként emeltük a terhelést és a rendszer lassan stabilizálódott, a gáztermelés pedig ismét növekedett.



1. ábra A nyári időszakban gyűjtött minta gázkihozatali vizsgálata a szervesanyag adagolás függvényében



2. ábra A nyári minta tvFA koncentrációjának alakulása a szervesanyag adagolás függvényében

Az ecetsav-propionsav aránya a 2. táblázat alapján a rendszer optimális működését jelezte számunkra.

2. táblázat A nyári minta savösszetételi eredményei

	Nyári minta						
	ecetsav (mg/l)	propionsav (mg/l)	izovajsav (mg/l)	vajsav (mg/l)	izovalerián sav (mg/l)	valerián sav (mg/l)	krezol (mg/l)
7. nap	813	89	100	nd	35	nd	nd
35. nap	88	nd	nd	nd	nd	nd	nd
44. nap	63	kha	nd	nd	nd	nd	nd

nd: nem detektálható; kha: kimutatási határ alatti

A iszap kémiai analizisének eredményeiből megállapítható, hogy az NH₃ tartalom a szubsztrát beadagolásával növekedett. Az összes foszfor (ÖP) tartalom az iszapban a 35. napig folyamatosan csökkent, az ammónia-foszfor arány leromlott. A 35. naptól ezért foszforsavat adagoltunk, ami javított az arányon. A KOI értékéről elmondható, hogy a kísérlet közepétől javulást tapasztaltunk a kezdeti értékhez képest (3. táblázat).

3. táblázat Fermentiszap kémiai analizisének eredményei

Nyári minta			
Napok	KOI [mg/l]	ÖP [mg/l]	NH ₃ [mg/l]
7.	8986	80,2	2075
35.	8442	95,3	2499
56.	8576	231,8	2775

4. Összefoglalás

A szervesanyag terhelési vizsgálatunk a nyári mintával folytatott kísérlet eredményei alapján sikeresnek mondható, a gázkihozatalokat összevetve megközelítőleg a silókukorica gázprodukciónál sikerült elérni. A fermentiszap legmagasabb titrált savértéke a 15. napon, 4864 mg/l volt, valamint sikerült elérni az ideális ammónia-foszfor arányt. Az ecetsav-propionsav arányából adódóan az feltételezhető, hogy a rendszerünk optimálisan működött. A metánkihozatali vizsgálatok esetében a szignifikáns különbségek elérése érdekében a lignin tartalom csökkentése, a lebontó konzorcium számára könnyebben hozzáférhető formába történő konverziója kulcsfontosságú. Ezt további, lignin-bontó gombafajok alkalmazásával, egy összetett előkezelés során tartjuk megvalósíthatónak.

Köszönetnyilvánítás

A publikáció elkészítését az EFOP-3.6.2-16-2017-00010 „Fenntartható Nyersanyag-gazdálkodási Tematikus Hálózat – RING 2017” támogatta

Hivatkozások

Barótfi István (2000) – Környezettechnika, Mezőgazda kiadó, Budapest

Bárány Zoltán (2009) - A Fenntartható Fejlődés Napja – Soproni7.hu

Nagy Géza, Kovács Barnabás, Buruzs Adrienn, Torma András, Vagdalt László, Horváth László (2011) - Hulladékgazdálkodás, Pannon Egyetem - Környezetmérnöki Intézet

PARADICSOM NÖVÉNYI MARADVÁNY ALKALMAZÁSA BIOGÁZ ELŐÁLLÍTÁSÁRA

Szilágyi Árpád¹, Szepesi Ágnes², Bodor Attila^{1,3}, Rákhely Gábor^{1,3,4}

¹ Biotechnológiai Tanszék, Szegedi Tudományegyetem, Szeged; ² Növénybiológiai Tanszék, Szegedi Tudományegyetem, Szeged; ³ Biofizika Intézet, Szegedi Biológiai Kutatóközpont, Szeged; ⁴ Környezettudományi és Műszaki Intézet, Szegedi Tudományegyetem, Szeged
rakhely@brc.hu

Abstract: *Napjaink kutatói számára az egyik legnagyobb kihívás, hogy új-, megújuló energiahordozókat állítsanak elő a fosszilis tüzelőanyagok helyett. A nem megújuló energiahordozók használata számos veszélyt hordoz magában. Amellett, hogy tartalékaink végesek, használatuk súlyos levegő-, talaj és vízszennyezést is okoz. Számos megoldás van formálódóban, hogy használatukat kiváltsuk olyan technológiákkal, melyek hosszútávon, környezetkímélő módon képesek energiaszükségleteink kielégítésére. Ilyen technológia például a minden évben nagy mennyiségben, hulladékként keletkező növényi biomassza energia hordozókká (pl.: biogáz, biodízel, bioetanol) történő átalakítása. A növényi biomassza nagyobb részt ún. lignocellulóz biomassza, melynek a túlnyomó többségét egy homopolimer molekula adja, a cellulóz adja. Emellett megtalálható benne hemicellulóz (főként xilán) és lignin is, mely a mikrobák cellulózhoz való hozzáférhetőségét nehezíti. Ezen polimer molekulákból mikroorganizmusok az anaerob fermentáció folyamatában képesek például biogázt előállítani.*

Ezen tanulmányban szerettük volna meghatározni, hogy a paradicsomtermesztés következtében visszamaradó paradicsom növényi maradvány, mint hulladék (szár és levél) alkalmas-e biogáz előállításra, valamint milyen hatással van a biogáz képződés folyamatára. Ennek érdekében első lépésként többféle paradicsomfajta biometán potenciálját határoztuk meg batch fermentációs kísérletekben. A vizsgált hulladék BMP értéke alapján megállapítást nyert, hogy alkalmas biogáz előállítás céljára. Ezzel párhuzamosan elvégeztük a szubsztrátként alkalmazott hulladék rostanalízisét, TS, oTS, valamint szén és nitrogén tartalmának meghatározását is. Megvizsgáltuk a hulladék kukoricaszárral történő kofermentációs lehetőségét is. Szakaszos fermentációs kísérleteinkre támaszkodva folyamatos üzemű fermentációt is végeztünk a tiszta paradicsom növényi maradvánnyal, valamint kukoricaszárral történt keverékével. Kísérleteinkben nyomon követtük a termelő biogáz mennyiségét, annak metán tartalmát, továbbá a legfontosabb fermentációs paramétereket (FOS/TAC, elektrokonduktivitás, HPLC analízis, pH). A szakaszos fermentációs kísérletekkel ellentétben a folyamatos üzemű fermentációs kísérleteink során megállapítást nyert, hogy a paradicsom növényi maradvány alkalmazása (kofermentációs szubsztrátként alkalmazva is) negatív hatással van a biogáz képződés folyamatára. Annak kiderítése érdekében, hogy meghatározzuk ennek okát, metagenom elemzést hajtottunk végre. Az analízis következtében megállapítást nyert, hogy a vizsgált növényi hulladék jelentősen átalakítja a mikrobiális közösséget, minek következtében olyan mikroorganizmus törzsek tűnnek el a közösségből, melyek kulcsszereplői az optimálisan működő, hatékony biogáz képződésnek.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetüket fejezik ki az EFOP-3.6.2-16-2017-00010 „Fenntartható nyersanyag-gazdálkodás tematikus hálózat fejlesztése – RING 2017 pályázat anyagi támogatásáért.

LIGNOCELLULÓZ ALAPANYAGOK SÁRGA GÉVAGOMBÁVAL (*LAETIPORUS SULPHUREUS*) TÖRTÉNŐ ELŐKEZELÉSÉNEK VIZSGÁLATA ANAEROB FERMENTÁCIÓBAN

Pálya István, Takács Krisztián, Dominkó Emese, Rétfalvi-Szabó Piroska, Rétfalvi Tamás

Kémiai Intézet
Soproni Egyetem
9400 Sopron, Bajcsy-Zs. utca 4.
retfalvi.tamas@uni-sopron.hu

Absztrakt: *Munkánk során a NAIK ERTI Sárvári Kísérleti állomás energetikai ültetvényeiből származó faanyagok biológiai előkezelését, és anaerob fermentációban történő hasznosítását vizsgáltuk. A sárga gévagombával (*Laetiporus sulphureus*) történő biológiai előkezeléstől a fermentáció metántermelésének fokozását vártuk.*

Keywords: anaerob fermentáció, lignocellulóz, biológiai előkezelés

1. Bevezetés

Az Európai Unió jelenlegi törekvései az irányba mutatnak, hogy a takarmányozási célra is alkalmas alapanyagok biogáz célú hasznosítását háttérbe szorítsák és a lignocellulóz, illetve biohulladékok energetikai alkalmazását támogassák (Brémond et al, 2018). A támogatásnak köszönhetően egyre nagyobb igény mutatkozik az alternatív alapanyagok felhasználásának vizsgálatára, többek között a papíripari hulladék, erdészeti fahulladék, mezőgazdasági termények hulladékai (Shirkavand et al, 2016).

A biomassza alapú hulladékok hasznosításának egyik lehetséges módja az anaerob fermentáció során nyert biometán előállítás. A lignocellulóz eredetű alapanyagok gazdaságos felhasználásának egyik meghatározó feltétele a komplex mátrix hatékony enzimatikus lebontása, amely a fermentációt végző mikrobiális konzorcium által kontrollált (Makk, 2017).

Munkánk során a NAIK ERTI Sárvári Kísérleti állomás energetikai ültetvényeiből származó faanyagok biológiai előkezelését, és anaerob fermentációban történő hasznosítását vizsgáltuk. A sárga gévagombával (*Laetiporus sulphureus*) történő biológiai előkezeléstől a fermentáció metántermelésének fokozását vártuk.

2. 2. Anyag és módszer

2.1 Alapanyagok származása

Kísérleteink során a bajti kísérleti ültetvényről származó faanyagokat használtuk. Az alapanyag megválasztásnál fontos volt a rendelkezésre állás, az esetleges későbbi ipari hasznosítás miatt. A kémiai intézet az alapanyagokat aprítva kapta (1cm), az adott darálék vegyesen tartalmazott szár, lombrészeket is.

Alkalmazott fajok:

- I-214 nemesnyár klón
- Fűz

2.3 Analitikai vizsgálatok

A kísérletünk során követtük a faminták cellulóz, lignin illetve szárazanyag (VS%), szárazanyagra vonatkoztatott szervesanyag (TS%) értékének változását a gombával történő kezelések hatására. A cellulóz és lignin mérés során a faanyagokat daráltuk, ezt követően szitasoron átszitáltuk, a méréshez a 0,63-0,2 mm közötti mérettartományt használtuk. A mérés előtt a mintákat szárító szekrényben 105 °C-os tömegállandóságig szárítottuk

2.4 Cellulóz meghatározás menete

Vizsgálataink során a Kürschner-Hoffer féle eljárást alkalmaztuk. Az eljárás lényege, hogy a vizsgálandó faanyagot salétromsav-alkohol elegyével kezeljük. A lignin így nitrálódik, továbbá részben oxidálódik és az egyidejűleg lehidrolizált hemicellulózzal együtt oldatba kerül.

2.5 Lignin meghatározás menete

A lignin meghatározását a T 222 om-98 (Klasson) szabvány alapján hajtottuk végre.

2.6 Faanyagok biológiai előkezelése

A laska gombás előkezelést követően a faanyagokat ismételtelen autoklávokkal sterilizáltuk. Ezt követően oltottuk a mintára a steril körülmények között, maláta agaron nevelt sárga gévagombát (*Laetiporus sulphureus*). Az oltás során itt is egy tároló edénybe egy Petri csészényi oltóanyagot osztottunk szét egyenletesen. A gévagombával leoltott famintákat 14-15 napos átszövési idő után kaptuk meg.

2.7 Anaerob fermentációs kísérlet

Az anaerob fermentációban történő felhasználást termofil (55 °C) hőmérsékleti tartományon indítottuk, a következő elrendezésben: 2-2 db kontroll fermentor a kezeletlen alapanyagokkal és 3-3 db fermentor a laskagombával előkezelt fűz és I-214 nyár klónnal. A fermentáció a VDI 4630-as német szabvány alapján történt, az állandó hőmérsékletet vízfürdők biztosították (Mettler WNB 14 Basic, Mettler GmbH. & Co). Az oltóiszap terhelését 2500 mL névleges térfogatú sötétített fermentorüvegekben, (Merck & Co., Germany) 1000 mL térfogatú iszappal hajtottuk végre. A szervesanyag beadagolás naponta történt, a termelt biogáz Tedlar® teflonzacskókban gyűjtöttük, mennyiségét is napi rendszerességgel mértük Hamilton fecskendővel (Sigma Aldrich Co.).

3. Eredmények

3.1 Gázkihozatali eredmények

A kísérlet előzményeként laskagombával történt előkezelés vizsgálata történt, ezután egy pihentetési szakasz következett, mely során kezeletlen faanyaggal történt a szerves anyag adagolás. A kísérlet így 218. naptól a 252. napig tartott.

- 1. rész

Az első rész a 218-237. nap között tartott. Az első részben a rendszerek terhelését emeltük HRT=500 napról HRT=167 napra. Ez átlagosan HRT=220 napot jelentett. Az első részre vonatkozó fajlagos gázkihozatali értékek az 1. táblázatban láthatók.

1. táblázat A fajlagos gázkihozatali értékek az1. részben

Fajlagos gázkihozatal	Nyár		Fűz	
	Kontroll	Kezelt	Kontroll	Kezelt
ml/gVS	364	457	364	518

Az eredmények alapján elmondható, hogy az 1. részben a nyárfajunk esetén a fajlagos gázkihozatal a kezelt fermentorok esetén 25,5% emelkedett a kontroll fermentorokhoz képest. A fűz faj esetében a kezelt fermentorok fajlagos gázkihozatala 43,5%-kal volt jobb a kontrollhoz képest.

- 2. rész

A 2. részében, ami a 237-252. nap között volt, tovább növeltük a kezelt fermentorok terhelését, azt vizsgálva, hogy mi a terhelhetőség maximuma. A HRT=125 napra állítottuk be. Ennek hatására a rendszerben túlterhelés lépett fel. A kontroll minták esetében a HRT=225 napra állítottuk be. Így ezeknél a fajlagos gázkihozatal nem változott az előző részhez képest. A fajlagos gázkihozatali értékeinket a 2. táblázatban láthatjuk.

2. táblázat: A fajlagos gázkihozatali értékek a 2. részben

Fajlagos gázkihozatal	Nyár		Fűz	
	Kontroll	Kezelt	Kontroll	Kezelt
ml/gVS	372	161	353	211

3.2 Cellulóz tartalom változása

A 3. táblázatból jól látszik, hogy a nyár és fűz minta esetében is a laska és gévagombás kezelés a cellulóz tartalom csökkenését okozta. A cellulóz tartalom a kiindulási cellulóz tartalom közelébe esett vissza.

3. táblázat: A cellulóz tartalom változása laska és gévagombás kezelés hatására

I-214 nyár	
Napok	Cellulóz tartalom (%)
3	58,35±4,96
116	47,01±3,14
Fűz	
Napok	Cellulóz tartalom (%)
12	49,60
25	45,06±0,77
118	44,88±2,17

3.3 Lignin tartalom változása

A fűz minta esetében a laska és gévagombával kezelés hatására a faanyag lignin tartalma kis mértékben emelkedett, majd a későbbiekben nem mutatott változást, míg az I-214 nyár klón kísérletben a faanyag lignin tartalma jelentős csökkenést mutatott (4. táblázat)..

4. táblázat: A lignin tartalom változása a laska és gévagombás kezelés hatására

I-214 nyár	
Napok	Lignin tartalom (%)
Kezeletlen minta	29,89
11	27,42±0,44
121	23,41±0,99
Fűz	
Napok	Lignin tartalom (%)
Kezeletlen minta	33,04
7	35,46±0,53
123	35,19±3,31

4. Összefoglalás

Munkánk során laboratóriumi körülmények között vizsgáltuk nemes nyár (I-214) és fűz fajok biológiai, gévagombával (*Laetiporus sulphureus*) előkezelésének hatását az anaerob fermentáció gázkihozatalára. Kísérletünk során provokatívan változtattuk a szervesanyag adagolás mértékét azt vizsgálva, hogy a rendszereink mennyire terhelhetők. A gévagombával történő biológiai előkezelés hatására a minták biogáz összetétele nem változott, átlagosan 53,1% (51,55-54,44%) metánt tartalmazott.

A gévagombás előkezelés hatására a faminták fajlagos gázkihozatala javult a kezeletlen famintákhoz képest. A nyár esetén a kezelt fermentorok gázkihozatala 25,5%-kal volt magasabb a kontroll fermentorokhoz képest. A fűz faj esetén a kezelt fermentoroknak 43,5 %-kal jobban teljesítettek a kontroll fermentorokhoz képest. A kísérlet egészére elmondható, hogy a rendszerek terhelhetősége nőtt, így intenzívebb terhelés érhető el. A kísérletünk során figyelemmel kísértük a cellulóz és lignin tartalom változását. Eredményeink alapján igazolható, a gombafaj lignin lebontó képessége.

Köszönetnyilvánítás

A publikáció elkészítését az EFOP-3.6.2-16-2017-00010 „Fenntartható Nyersanyag-gazdálkodási Tematikus Hálózat – RING 2017” támogatta.

Hivatkozások

Brémond, U., de Buyer, R., Steyer, J-Ph., Bernet, N., Carrere, H. (2018) Biological pretreatments of biomass for improving biogas production: an overview from lab scale to full-scale. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 90. 583–604.

Makk Á. (2017) Lignocellulóz rendszerek anaerob fermentációs vizsgálata PhD disszertáció Soproni Egyetem

Shirkavand, E., Baroutian, S., Gapes, D.J., Young, B.R. (2016) Combination of fungal and physico chemical processes for lignocellulosic biomass pretreatment – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 54. 217–234.

SZENNYVÍZISZAP SZUBSZTRÁTTAL ÜZEMELŐ BIOGÁZ ÜZEM FERMENTÁCIÓS FOLYAMATAINAK JELLEMZÉSE DEHIDROGENÁZ ENZIM AKTIVITÁS ALAPJÁN

Somfai Dávid*, **Bicsák László****, **Czakó-Vér Klára***, **Suhajda Erzsébet***, **Kósa Dániel***, **Lemmer Balázs****, **Dolgosné Kovács Anita***, **Dittrich Ernő***

*Környezetmérnöki Tanszék
Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar,

H-7624 Pécs, Boszorkány út 2.

e-mail: somfai.david@mik.pte.hu

** Tetye Forrásház Zrt. Pellérdi Biogáz Üzem

H-7634 Pécs, Nyugati Ipari út 8.

***Folyamatmérnöki Intézet

Szegedi Tudományegyetem, Mérnöki Kar

H-6725 Szeged, Moszkva krt. 9.

Absztrakt: *A biogáz termelés biokémiai folyamatai egy tökéletesen kevert reaktorban egymással egyidőben, párhuzamosan mennek végbe, ezért nincs olyan paraméter, amely egymagában alkalmas lenne a teljes folyamat nyomonkövetésére. A klasszikus ellenőrző paraméterek, a hőmérséklet, pH, lúgosság, illósav tartalom, fajlagos szervesanyag terhelés és a biogáz k hozatal (Öllös és mtsai 2010). A Tetye Forrásház Zrt. Pellérdi Biogáz üzemében új utakat kerestünk az üzemellenőrzés bővítésére. A lebontási folyamatok jellemzésére az enzimaktivitás mérések alkalmazhatók. Munkánk során először a sejtek összes aktivitását jellemző dehidrogenáz aktivitás(DHA) meghatározásának lehetőségét vizsgáltuk. A Magyar Szabvány talajok és szennyvíziszap enzimaktivitásának jellemzésére írja le a DHA meghatározását 2,3,5-trifenil-tetrazólium-klorid mint szubsztrát alkalmazásával, a redukált forma, a keletkező trifenilformazán fotometriásan mérhető. Anaerob fermentált iszap minták DHA mérésére Kardos és mtsai (2011) módosították a módszert, ezt alkalmaztuk. Megállapítottuk, hogy a vizsgált időszakban a minták átlagos DHA értéke 1,085 mg formazán /g iszap/24 óra. Kofermentációs üzemelés esetén a hidrolízis folyamatok intenzitásának követésére jól alkalmazható, egyszerű módszer.*

Kulcsszavak: szennyvíziszap, biogáz, fermentáció, dehidrogenáz, enzimaktivitás

1. Bevezetés

A rothasztók üzemellenőrzésében és szabályozásában a kezdetekhez képest nagy előrelépés történt (Rajameena és Velayutham, 2018). Az anaerob folyamatoknál az üzemelést befolyásoló fontosabb

tényezők: a szubsztrát összetétele, a biomassza tartalom, az oltóanyag, a szubsztrát-terhelés, a hőmérséklet, a rothasztók keverése és üzemelési módjai, a toxikus anyagok hatása (Esteves és mtsi 2013).

Az anaerob biogáz termelés biológiai tevékenység eredménye. A fermentorokban jelenlevő biomassza mérésére többféle módszer ismeretes, ma legkorszerűbb a DNS-tartalom meghatározása. A mikroorganizmusok által katalizált biológiai változások enzimek hatására mennek végbe.

Speciális körülmények között bizonyos enzimek aktivitása a szubsztrát terhelés mértékéül szolgálhat. A rendszer terhelhetősége viszont függ a baktériumok mennyiségétől és ezért a helyesen megválasztott enzimreakciókból (enzim aktivitásból) közelítőleg következtetni lehet a biomassza tartalomra. A monoszubsztrátként szennyvíziszappal működő szennyvíztelep kofermentációra történő átállításánál fontos szempont, hogy a fermentorban jelenlevő mikroba közösség egyensúlya megmaradjon. A szubsztrátok változékonysága jelentősen függ a szubsztrátok anyagi minőségétől, hiszen az anaerob erjedés sebességét is ez határozza meg. A szubsztrátok kiválasztásánál fontos figyelembe venni a rendelkezésre álló baktériumkultúra összetételét, különösen a növényi alapanyagoknál és a települési szilárd hulladékok felhasználásánál (Korres és Nizami, 2013).

Az anaerob erjesztés során sok esetben szükséges az anyagok előkezelése. Az előkezelések lehetnek fizikai (mechanikai, termikus), kémiai és biológiai eljárások, vagy ezek kombinációi. A biológiai előkezelés történhet baktérium tartalmú inokulumok, mikrogomba tartalmú oltóanyagok vagy enzimes előkezelés alkalmazásával.

Az üzemi körülmények változásának megfelelően előfordul, hogy alkalmanként az egyensúly megbomlik és ennek következtében a fermentációs savtermelés vagy a metántermelés kerül előtérbe. A szerves vegyületek aránya sohasem állandó a szennyvízben, így a szennyvíziszapban sem, ez megnehezíti üzemi körülmények között a fermentációs folyamatok kézben tartását. Az üzemeltetés feladata, hogy a két baktériumpopuláció kényes egyensúlyát biztosítsa. A lebontási folyamatok nyomom követésére enzimaktivitás mérések is alkalmazhatók. Néhány korai közlést kivéve (Thiel és Hattingh 1967) az anaerob fermentációra vonatkozó enzimaktivitás mérési adatot alig találunk a szakirodalomban. A fermentáléban jelenlevő sejtek összes oxidációs aktivitását a dehidrogenáz enzim aktivitásával jellemezhetjük.

Az anaerob fermentáció klasszikus üzemellenőrzési paraméterei a hőmérséklet, pH, lúgosság, illó szerves sav tartalom, fajlagos szervesanyag terhelés és a biogáz kihozatal. A szervesanyag lebontás egy meghatározott mennyiségű metán termelést eredményez, a lebontott szervesanyag egységnyi mennyiségére számítva, függetlenül a lebontott szilárdanyag mennyiségétől. Ez minden esetre fennáll addig, amíg a szervesanyagok összetétele nem változik. Az anaerob rothasztás gáz alakú végterméke a metán két féle úton képződik: a.) szén-dioxidot lebontó metántermelő baktériumok, b.) ecetsav hasznosító metántermelő baktériumok által (hiv: szeged)

2. Anyag és módszer

2.1 Dehidrogenáz enzim aktivitásának meghatározása, szükséges anyagok

Tris-puffer oldat: 12,11 g tris- (hidroximetil)- aminometano-klórhidrátot ($M_r=157,60$) oldottunk fel 600 cm³ desztillált vízben, majd az iszap kémhatásnak megfelelően 1 mol/l-es koncentrációjú NaOH oldattal 7,4-re állítottuk be a pH-át. A pH beállítás után 1000 cm³-re desztillált vízzel kiegészítettük.

TTC oldat: 1,0 g TTC –t (2,3,5-Trifenil-tetrazólium-klorid, $M_r=334,8$, Merck) oldunk fel 100 cm³ Tris-puffer oldatban.

Trifenil-formazán (TPF) kalibráló oldatsor: 1000 mg trifenil-formazánt oldunk fel analitikai tisztaságú etanolban, majd 100 cm³ egészítettük ki. Ez a törzsoldatunk. A munka-oldatot úgy kaptuk meg, hogy 1cm³ kipipettáztunk a törzsoldatból és 100 cm³-re egészítettük ki. A kalibráló oldatsorozathoz a munkaoldatból

0; 1; 2; 5; és 10 cm³ kipipettáztunk 5 kémcsőbe és 25 cm³-ig etanollal egészítettük ki. A trifenil-formazán koncentrációja a kapott oldatoknak a következők: 0 µg/cm³, 3,330 µg/cm³, 6,670 µg/cm³, 16,70 µg/cm³ és 33,30 µg/cm³.

Spektrofotométer: Az elkészült mintáinkat 485 nm a VWR UV-6300PC típusú fotométerrel mértük meg, 1 cm-es küvettában. A dehidrogenáz-enzim aktuális aktivitásának meghatározását a talajokra alkalmazott német ISO 23753-1:2005(E) szabványa alapján végeztem. A meghatározás a következő elven alapszik: az alkalmazott mesterséges hidrogén akceptor a 2,3,5 Trifenil-tetrazólium-klorid az enzim által katalizált folyamat eredményeként vörös színű vízben oldhatatlan 1,3,5 Trifenil-formazánná redukálódik, melynek intenzitása spektrofotometriásan mérhető. Az abszorbancia értékekből kalibráló oldatsor és egy képlet segítségével megadható az aktuális enzimaktivitás nemzetközi egységben, [mg formazán/ 1 g iszap/24 óra] értékben.

2.2 Vizsgálat menete

Először főzőpohárba bemérünk az iszapból 1, 1,5, 3 vagy 5 ml-t. Az első 3 a kontrol, melyhez az iszapnak megfelelő pH-jú 5 cm³ tris-puffert, a másik háromhoz pedig a 1,0%-os TTC oldatból szintén 1 cm³-t teszünk. Ezután (37 °C) 1 óráig sötét helyen állni hagyjuk. 25 cm³ etanolt adunk hozzá. A szuszpenziót redős szűrőpapíron keresztül leszűrjük, majd fotométeren 485 nm-es hullámhosszon lemérjük a keletkezett mintaoldatok és az elkészített Trifenil-formazán kalibráló oldatsor abszorbanciáit.

2.3 Számolás menete

A Trifenil-formazán kalibráló oldatsor abszorbanciáit ábrázolva megkapjuk a kalibráló egyenest, melynek egyenes egyenletével kiszámolhatjuk a vakok és a minták Trifenil-formazán koncentrációját. Ezután a következő képletet alkalmazva megkapjuk a dehidrogenáz-enzim aktivitását µg formazán/1 g iszap/ óra értékben, amit át kell számolni mg formazán/ 1 g iszap/24 óra értékre.

$$a = \frac{(p_{cs} - p_{bs}) * V * 100}{m * DM * t} \quad (1)$$

Ahol:

- a = a dehidrogenáz-enzim aktuális aktivitása µg formazán/1 g iszap/ óra értékben
- p_{cs} = a kalibrációs egyenes alapján számolt minta TPF koncentrációja µg/cm³-ben
- p_{bs} = a kalibrációs egyenes alapján számolt kontrol TPF koncentrációja µg/cm³-ben
- V = az oldat térfogata (a szubsztrát / puffer oldat térfogata + extraháló szer térfogata)
- m = a bemért iszap tömege g-ban
- DM = a minta szárazanyag tartalma százalékos értékkel
- t = az inkubáció ideje órában.

3. Eredmények és megvitatásuk

3.1. A vizsgált biogáz üzem fermentlévének jellemzése

A Tettye Forrásház Zrt. Pellérdi Biogáz Üzemének üzemellenőrzési adatait kigyűjtöttük. A klasszikus ellenőrző paramétereket hőmérséklet, pH, lúgosság, illósav tartalom, betáplált szubsztrát mennyiség, a fermentlé szárazanyag és szervesanyag tartalma és a termelt biogáz mennyiségének adatait átlagoltuk. A 2019. szeptemberében, a keleti toronyból naponta vett fermentlé minták mért adatainak átlagát mutatja az első táblázat.

Fermentlé üzemellenőrzési adatai	2019. szept.
Hőmérséklet	37,9
pH	7,32
Lúgosság(mg CaCO ₃)/dm ³	3238
Illó szerves sav (VOA)(mg/dm ³) Degremont	193±21
Betáplált iszap (m ³ /nap)	169±46
Fermentor iszap sz.a. (g/dm ³)	25,6
Fermentor iszap szerves a. (g/dm ³)	9,11
Keletkezett biogáz(m ³ /nap)	3402±691

1. TÁBLÁZAT: PELLÉRDI BIOGÁZ ÜZEM KELETI FERMENTORÁNAK ÜZEMELLENŐRZÉSI ÁTLAG ÉRTÉKEI

A szennyvíziszappal mint fő szubsztráttal üzemelő biogáz üzem változó mennyiségű beszállított hulladékot is fogad. Ennek mennyiségétől és összetételétől függően jelentősen változhat a fermentorban levő aktuális fermentlé összetétele. Ezt mutatják az üzemellenőrzés adatainak szórás értékei is.

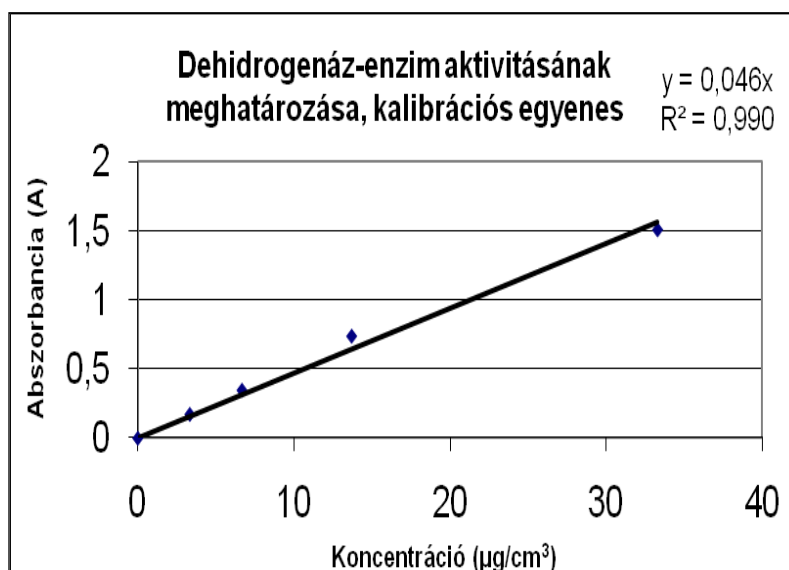
A kofermentációba befogadott szubsztrátok szárazanyag tartalmától és szervesanyag tartalmától függően a biogáz képződési folyamat első szakasza, a hidrolízis változhat leginkább. A fermentorban levő mikroba konzorcium sejtjeinek összenzimaktivitását legjobban a dehidrogenáz enzim aktuális aktivitásának meghatározásával jellemezhetjük.

3.2. Dehidrogenáz enzimaktivitás meghatározása

3.2.1. Trifenil formazán kalibrációs egyenes meghatározása

Kalibráló oldatsor		
Összetétel: munkaoldat+etanol	Koncentráció (µg/cm ³)	Abszorbancia (485 nm)
0 cm ³ + 30 cm ³	0	0
1 cm ³ + 29 cm ³	3,330	0,173
2 cm ³ + 28 cm ³	6,670	0,348
5 cm ³ + 25 cm ³	13,700	0,739
10 cm ³ + 20 cm ³	33,300	1,509

2. TÁBLÁZAT: TRIFENIL FORMAZÁN KALIBRÁCIÓS OLDATSOR ABSZORBANCIA ÉRTÉKEI



1. ÁBRA. KALIBRÁCIÓS EGYENES, VWR UV-6300PC SPEKTROFOTOMETER , 485 NM, 1 CM-ES KÜVETTA

Az egyenes egyenlete $y=0,046x$

3.2.2. Kontroll és minta abszorbancia értékei és trifenil formazán koncentráció meghatározása

A mért minták abszorbancia értékeit és az egyenes egyenlete alapján meghatározott trifenil formazán tartalmukat a 4. táblázat mutatja.

Kontrollok, minták			
Megnevezés	Hozzáadott TTC konc.	Abszorbancia (485 nm)	Trifenil formazán koncentrációja $\mu\text{g}/\text{cm}^3$
Kontrol 1	-	0,010	0,239
Kontrol 2	-	0,011	0,239
Kontrol 3	-	0,012	0,239
Minta 1	1,0%	0,275	5,978
Minta 2	1,0%	0,194	4,217
Minta 3	1,0%	0,215	4,674

4. TÁBLÁZAT: A KAPOTT ABSZORBANCIA ÉRTÉKEK TRIFENIL FORMAZÁN KONCENTRÁCIÓK

A 3 kontrol értékének átlaga: 0,011.

Az egyenes egyenlete $y=0,046x$

$$0,046x=0,011$$

$$x=0,239$$

A kontrol Trifenil-formazán átlag koncentrációja 0,239 $\mu\text{g/ml}$.

A 3 azonos minta koncentrációjának kiszámítása az egyenes egyenlete alapján történik.

3.2.3. Dehidrogenáz enzim aktuáli aktivitásának kiszámítása nemzetközi egységben

Az (1) képletbe behelyettesítve megkapjuk a minták dehidrogenáz-enzim aktivitását $\mu\text{g formazán/g iszap/óra}$ értékben.

	1.Minta	2. Minta	3.Minta
$\rho_{\text{es}} (\mu\text{g/cm}^3)$	5,978	4,217	4,674
$\rho_{\text{bs}} (\mu\text{g/cm}^3)$	0,239	0,239	0,239
V (cm^3)	25	25	25
m (g)	1	1	1
DM (sz.a. %)	5,71	5,71	5,71
t (h)	1	1	1

5. TÁBLÁZAT: FERMENTÁCIÓS ISZAP TRIFENIL FORMAZÁN TARTALMA

Az 1. minta dehidrogenáz-enzim aktivitása 65,216 $\mu\text{g formazán/ g iszap/ óra}$, ha átszámoljuk, akkor 1,565 $\text{mg formazán/ g iszap/24 óra}$ értéket kapunk.

A 2. minta dehidrogenáz-enzim aktivitása 45,205 $\mu\text{g formazán/ g iszap/ óra}$, ha átszámoljuk akkor 1,085 $\text{mg formazán/ g iszap/24 óra}$ értéket kapunk.

A 3. minta dehidrogenáz-enzim aktivitása 50,398 $\mu\text{g formazán/ g iszap/ óra}$, ha átszámoljuk, akkor 1,210 $\text{mg formazán/ g iszap/24 óra}$ értéket kapunk.

A vizsgált iszap dehidrogenáz-enzim aktivitása, 3 mérési eredmény átlaga alapján, $1,287 \pm 15\%$ $\text{mg formazán/ g iszap/24 óra}$, mely a hidrolízis szakaszára ad információt.

4. Következtetések

Gyakorlati alkalmazás előnyei

- A hidrolitikus enzimaktivitás mérésekkel kiegészült ellenőrző paraméterek segítségével komplexebb képet kaphatunk az reaktorban bekövetkező változásokról
- Alkalmazásuk hozzájárulhat a fermentorok optimális üzemeltetéséhez
- Gyakori szubsztrát változásnál, jóval gyorsabban kapunk választ a reaktorban lejátszódó folyamatokról
- Az enzimaktivitás mérések viszonylag gyorsan és olcsón elvégezhetőek.

5. Köszönetnyilvánítás:

Munkánk a „Fenntartható Nyersanyag-gazdálkodási Tematikus Hálózat – RING 2017” című, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 jelű projekt részeként a Széchenyi2020 program keretében az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.



6. Hivatkozások

- Öllős, G., Oláh J., Palkó Gy. (2010) Rothasztás. Magyar Víziközmű Szövetség, Budapest. 799-822.
- Thiel, P.G., and Hattingh, W.H.J. (1967) „Determination of hydrolytic enzyme activities in anaerobic digestion,” Water Research, 1, 191-196.
- Kardos, L., Juhász, Á., Palkó, Gy., Oláh, J., Barkács, K., Záray, Gy. (2011) „Enzyme activity analyses of anaerobic fermented sewage sludges,” Appl. Ecol. and Environm Research 9, 333-339.
- Esteves, S, Miltner, M., Fletch, S. (2013) Promotion of bio-methane and its development through local and regional partnerships. Intelligens Energy-Europe program.
- Korres, N.E., and Nizami, S. (2013) „Variation in anaerobic digestion” In: Bioenergy production by anaerobic digestion. (Szerk.: Korres-O’Kiely-Benzie-West) Routledge Taylor and Francis Group, London.
- Rajameena, S. and Velayutham, T. (2018) „A critical review on biochemical process of anaerobic digestion” Int J of Science Techn and Eng. 4, 1-4.

LIGNOCELLULÓZ ALAPANYAGOK BIOLÓGIAI ELŐKEZELÉSÉNEK VIZSGÁLATA ANAEROB FERMENTÁCIÓ HATÉKONYSÁGÁNAK NÖVELESE CÉLJÁBÓL

Takács Krisztián, Pálya István, Dominkó Emese, Rétfalvi-Szabó Piroska, Rétfalvi Tamás

Kémiai Intézet
Soproni Egyetem
9400 Sopron, Bajcsy-Zs. utca 4.
retfalvi.tamas@uni-sopron.hu

Absztrakt: *Munkánk során a NAIK ERTI Sárvári Kísérleti állomás energetikai ültetvényeiből származó faanyagok biológiai előkezelését, és anaerob fermentációban történő hasznosítását vizsgáltuk. A laskagombával (*Pleurotus sp.*) történő biológiai előkezeléstől a fermentáció metántermelésének fokozását vártuk..*

Keywords: anaerob fermentáció, lignocellulóz, biológiai előkezelés

1. Bevezetés

Hazánk összes biomassza készlete megközelítőleg 350-360 millió tonnára tehető. Ebből a mennyiségből 105-110 millió tonna elsődleges, tehát növényi biomassza, ez évről évre újratermelődik. Az összes bruttó növényi biomassza energiatartalma évi 1,185 PJ. Ez a mennyiség meghaladja Magyarország éves felhasználását (Bai, 2007). A biomassza alapú hulladékok hasznosításának egyik lehetséges módja az anaerob fermentáció során nyert biometán előállítás (Chandra és mtsai, 2012)

A lignocellulóz eredetű alapanyagok gazdaságos felhasználásának egyik meghatározó feltétele a komplex mátrix hatékony enzimatikus lebontása, amely a fermentációt végző mikrobiális konzorcium által kontrollált (Brémond és mtsai, 2018). Az enzimatikus lebontás számos előnnyel jár, ugyanakkor a lebontás időigénye és a környezeti feltételek biztosítása a nagyüzemi technológiai folyamatba történő beintegrálást jelentős mértékben nehezíti. A lignocellulóz alapanyagok különböző gombafajokkal történő biológiai előkezelésének hatásossága a lignin és a cellulóz lebontás mértékével arányos (Mustafa és mtsai, 2017).

Munkánk során a NAIK ERTI Sárvári Kísérleti állomás energetikai ültetvényeiből származó faanyagok biológiai előkezelését, és anaerob fermentációban történő hasznosítását vizsgáltuk. A laskagombával (*Pleurotus sp.*) történő biológiai előkezeléstől a fermentáció metántermelésének fokozását vártuk.

2. 2. Anyag és módszer

2.1 Alapanyagok származása

Kísérleteink során a bajti kísérleti ültetvényről származó faanyagokat használtuk. Az alapanyag megválasztásnál fontos volt a rendelkezésre állás, az esetleges későbbi ipari hasznosítás miatt. A kémiai intézet az alapanyagokat aprítva kapta (1cm), az adott darálék vegyesen tartalmazott szár, lombrészeket is.

Alkalmazott fajok:

- I-214 nemesnyár klón
- Fűz

2.3 Analitikai vizsgálatok

A kísérletünk során követtük a faminták cellulóz, lignin illetve szárazanyag (VS%), szárazanyagra vonatkoztatott szervesanyag (TS%) értékének változását a gombával történő kezelések hatására. A cellulóz és lignin mérés során a faanyagokat daráltuk, ezt követően szitasoron átszitáltuk, a méréshez a 0,63-0,2 mm közötti mérettartományt használtuk. A mérés előtt a mintákat szárító szekrényben 105 °C-os tömegállandóságig szárítottuk

2.4 Cellulóz meghatározás menete

Vizsgálataink során a Kürschner-Hoffer féle eljárást alkalmaztuk. Az eljárás lényege, hogy a vizsgálandó faanyagot salétromsav-alkohol elegyével kezeljük. A lignin így nitrálódik, továbbá részben oxidálódik és az egyidejűleg lehidrolizált hemicellulózzal együtt oldatba kerül.

2.5 Lignin meghatározás menete

A lignin meghatározását a T 222 om-98 (Klasson) szabvány alapján hajtottuk végre.

2.6 Faanyagok biológiai előkezelése

A laska gombás előkezelést követően a faanyagokat ismételtelen autoklávokkal sterilizáltuk. Ezt követően oltottuk a mintára a steril körülmények között, maláta agaron nevelt sárga gévagombát (*Laetiporus sulphureus*). Az oltás során itt is egy tároló edénybe egy Petri csészényi oltóanyagot osztottunk szét egyenletesen. A gévagombával leoltott famintákat 14-15 napos átszövési idő után kaptuk meg.

2.7 Anaerob fermentációs kísérlet

Az anaerob fermentációban történő felhasználást termofil (55 °C) hőmérsékleti tartományon indítottuk, a következő elrendezésben: 2-2 db kontroll fermentor a kezeletlen alapanyagokkal és 3-3 db fermentor a laskagombával előkezelt fűz és I-214 nyár klónnal. A fermentáció a VDI 4630-as német szabvány alapján történt, az állandó hőmérsékletet vízfürdők biztosították (Mettler WNB 14 Basic, Mettler GmbH. & Co). Az oltóiszap terhelését 2500 mL névleges térfogatú sötétített fermentorüvegekben, (Merck & Co., Germany) 1000 mL térfogatú iszappal hajtottuk végre. A szervesanyag beadagolás naponta történt, a termelt biogáz Tedlar® teflonzacskókban gyűjtöttük, mennyiségét is napi rendszerességgel mértük Hamilton fecskendővel (Sigma Aldrich Co.).

3. Eredmények

3.1 Gázkihozatali eredmények

Az első szakasz (adaptáció) az 1-94.-napig tartott, mind a kezelt, mind pedig a kontroll fermentorok terhelése kezeletlen famintákkal történt. Az összes fermentor esetében a bevitt faanyag 0,5g volt, továbbá mindegyik fermentorba bejuttattunk 1,5 ml vizet is a tápanyag megfelelő nedvesség tartalma miatt. A

fajlagos gázkihozatalunk a két fafaj esetén lényegében megegyező volt, a nyár esetében 650, a fűz esetében 664 ml/gVS.

A második szakaszunkban a laska gombával előkezelt alapanyagok terhelése történt, a kezelt fermentorok esetében, a kontroll fermentorok továbbra is a kezeletlen faanyagokat kapták. Ezt a szakaszt két részre oszthatjuk.

- 1. rész

A szakasz első része a 95-128. napig tartott. Ebben a részben a HRT=333 nap, emeltük a rendszerek terhelését mind a kezelt, mind pedig a kontroll fermentorok esetében. A szakasz első részéhez tartozó fajlagos gázkihozatali értékek az 1. táblázatban láthatók

1. táblázat: A fajlagos gázkihozatali értékek a II. szakasz 1. részében

Fajlagos gázkihozatal	Nyár		Fűz	
	Kontroll	Kezelt	Kontroll	Kezelt
ml/gVS	592	437	604	474

A fajlagos gázkihozatali értékek alapján megfigyelhető, hogy a laskagombás előkezelés hatására a nyár fajlagos gázkihozatala 26%-kal rosszabb volt, mint a kontroll minták gázkihozatala. A fűz faj esetén az előkezelés hatására a fajlagos gázkihozatal 21,5%-kal csökkent a kontroll mintákhoz képest.

- 2. rész

A szakasz 2. részében a 129-154. nap között folytattuk a laska gombával előkezelt anyagok adagolását. Viszont a rendszerek terhelését tovább fokoztuk. A HRT= 333napról levittük HRT=200 napra. Majd a 2. rész végén a HRT= 500napra állítottuk be. A 2. táblázat mutatja a fajlagos gázkihozatali értékek változását.

2. táblázat: A fajlagos gázkihozatali értékek a II szakasz 2. részében

Fajlagos gázkihozatal	Nyár		Fűz	
	Kontroll	Kezelt	Kontroll	Kezelt
ml/gVS	356	225	411	308

A szakasz második részében megfigyelhető, hogy a fokozott terhelés hatására mind a kezelt, mind pedig a kontroll minták fajlagos gázkihozatala csökkent a II. szakasz 1. részéhez képest. A nyár klónunk esetén a fajlagos gáz kihozatala a szakasz első részéhez képest a kezelt fermentorok esetén 51%-kal, míg a kontroll fermentoroknál 40%-kal csökkent. A fűz fajunk esetében az előző részhez viszonyítva a fajlagos gázkihozatal a kezelt fermentoroknál 65%-kal, míg a kontroll fermentoroknál 32 %-kal csökkent

3.2 Cellulóz tartalom változása

Mindkét fafaj esetén látható, hogy a kezeletlen faanyaghoz képest, a laskával kezelt faanyagoknál a cellulóz tartalom folyamatosan nőtt egészen az utolsó két mintavételig, ahol is a cellulóz tartalom növekedés már elhanyagolható (3. táblázat).

3. táblázat: Cellulóz tartalom változása a laskagombával történő kezelés hatására

I-214 nyár	
Napok	Cellulóz tartalom (%)
Kezeletlen minta	46,47±3,62
14	53,01±4,27
34	60,73±0,52
67	60,78±2,33
Fűz	
Napok	Cellulóz tartalom (%)
Kezeletlen minta	43,31±0,92
14	43,87±2,11
15	45,16±0,27
35	51,07±0,88
99	53,87±3,30

3.3 Lignin tartalom változása

A 4. táblázat alapján megállapítható, hogy a kezelés hatására az I-214 nyár minta lignin tartalma kis mértékben megnőtt, majd ezt követően csökkent, ugyanez a tendencia figyelhető meg a fűz esetében is.

4. táblázat: A lignin tartalom változása a laskával történő kezelés hatására

I-214 nyár	
Napok	Lignin tartalom (%)
Kezeletlen minta	29,89
4	30,23
13	25,96±0,69
167	28,26±0,70
Fűz	
Napok	Lignin tartalom (%)
Kezeletlen minta	33,04
13	27,11±1,60
104	29,19±1,49

4. Összefoglalás

Munkánk során laboratóriumi körülmények között vizsgáltuk nemes nyár (I-214) és fűz fafajok biológiai előkezelésének hatását az anaerob fermentáció gázkihozatalára. Biológiai előkezelésünk során laska gombát használtunk a darált (1 cm) faanyagokon.

Kísérletünk során provokatívan változtattuk a szervesanyag adagolásának mértékét, azt vizsgálva, hogy a rendszereink mennyire terhelhetők. A legnagyobb terhelésünk, amin a rendszer működőképes volt HRT=167. A kísérlet egészére elmondható, hogy bár a fajlagos gázkihozatal csökkent a kezelés hatására, de a rendszerek terhelhetősége viszont nőtt, így intenzívebb terhelés érhető el. A kísérletünk során figyelemmel kísértük a cellulóz és lignin tartalom változását. Eredményeink alapján igazolható, a gombafajok cellulóz illetve lignin lebontó képessége. A biológiai előkezelés hatására bekövetkező cellulóz tartalom növekedés vélhetően a könnyen bontható levél és egyéb részek lebontásából származik

A metánkihozatali vizsgálatok esetében a szignifikáns különbségek elérése érdekében a lignin tartalom csökkentése, a lebontó konzorcium számára könnyebben hozzáférhető formába történő konverziója kulcsfontosságú. Ezt további, lignin-bontó gombafajok alkalmazásával, egy összetett előkezelés során tartjuk megvalósíthatónak.

Köszönetnyilvánítás

A publikáció elkészítését az EFOP-3.6.2-16-2017-00010 „Fenntartható Nyersanyag-gazdálkodási Tematikus Hálózat – RING 2017” támogatta.

Hivatkozások

Bai, A. (2007). A biogáz, Budapest, Complex Kiadó

Brémond, U., de Buyer, R., Steyer, J-Ph., Bernet, N., Carrere, H. (2018). Biological pretreatments of biomass for biogas production: an overview from lab-scale to full-scale. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 90, 583-604.

Chandra, R., Takeuchi, H., Hasegawa, T. (2012). Methane production from lignocellulosic agricultural crop wastes: A review in context to second generation of biofuel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 1462-1476.

Mustafa, A.M., Poulsen, T.G., Xia, Y., Sheng, K. (2017). Combinations of fungal and milling pretreatments for enhancing rice straw biogas production during solid-state anaerobic digestion. *Bioresource Technology*, 224, 174-182.

SZENNYVÍZISZAP ÉS ÉLELMISZERIPARI HULLADÉK BIOGÁZ SZUBSZTRÁTKÉNT VALÓ HASZNOSÍTÁSÁNAK TESZTELÉSE OXITOP REAKTORBAN

Czakó-Vér Klára*, Szőrös Csilla Zsuzsanna*, Suhajda Erzsébet*, Somfai
Dávid*, Lemmer Balázs**, Dolgosné Kovács Anita*, Dittrich Ernő*

*Környezetmérnöki Tanszék
Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar,
H-7624 Pécs, Boszorkány út 2.
e-mail: somfai.david@mik.pte.hu

**Folyamatmérnöki Intézet
Szegedi Tudományegyetem, Mérnöki Kar
6725 Szeged, Moszkva krt. 9.

Absztrakt: A kofermentációs biogáz előállítás kettő vagy több szubsztrátból készült homogén keverék közös rothasztását jelenti: az alap-szubsztráthoz (pl. szennyvíziszap) egyéb kiegészítő anyagokat (pl. tejipari hulladék, települési szilárd hulladék szerves frakciója(HBif)) adagolnak és közösen rothasztják. Munkánk során először települési szilárd hulladék biológiai frakciója, tejipari hulladék és sűrített szennyvíziszap önálló biogáz szubsztrátként való felhasználhatóságát vizsgáltuk. A kofermentációs vizsgálatok különböző arányú szubsztrátkeverékekkel történtek. A kísérleteket laboratóriumi körülmények között, 37 °C-os termosztátban egy literes, zárt batch fermentorokban végeztük. A gázképződés kimutatására WTW OXITOP mérőfejeket használtunk, melyek a légköri nyomáshoz viszonyított nyomásváltozást regisztrálják. Míg a sűrített szennyvíziszap önmagában is észlelhető biogázkihozattal rendelkezett, az élelmiszeripari hulladéknál oltóiszap használatára volt szükség, amelyet szennyvízalapú biogázüzem kigázosított fermentációs iszapja szolgáltatott a kísérletünkhöz. A biometán-termelés megállapítására a zárt reaktorokba helyezett NaOH-dal kötöttük meg a keletkezett CO₂-t.

1. Bevezetés

1.1 Kofermentáció fogalma

Különböző keverék anyagok (például a települési szennyvíziszap, mezőgazdasági, élelmiszeripari) közös rothasztásakor a biogáz képződés lényegesen javul, a nagyobb szervesanyag koncentrációjú szubsztrát sokféleség hatására a rothasztó térfogata is jobban kihasználható. Ha a rothasztóba nehezen lebontható anyagokat és könnyebben lebontható anyagokat közösen adagolnak valamennyi anyag lebontódása javul (Appels és mtsai 2011). A társított vagy ko-szubsztrát rothasztás kettő vagy több szubsztrátból készült homogén keverék közös rothasztását jelenti: az alap-szubsztráthoz (pl. állati trágya, szennyvíziszap) egyéb kiegészítő anyagokat (pl. konyhai hulladék, kerti hulladék stb.) adagolnak és közösen rothasztják. Az alap-szubsztrát biztosítja az alapvető tápanyagokat (N, P) és mikroelemeket (Ca, Fe, Mg, Mn, Co stb.). A jó makro és mikro tápanyag ellátás következtében a ko-szubsztrát rothasztás sokkal hatékonyabb, mint a mono-szubsztrátok rothasztása. Behmel és munkatársai (1996-ban) a biogáz üzemekben hasznosítható szerves hulladékok ko-fermentációjának kockázatával és a folyamat alapjaival foglalkozik. A felhasználható szubsztrátokat két nagy csoportra lehet bontani: könnyen bontható szubsztrátok (fehérje, zsír) és nehezen bontható szubsztrátok (lignin, cellulóz, hemicellulóz).

Az ideális ko-szubsztrát (élelmiszer-ipari és mezőgazdasági hulladék) könnyen beszerezhető és olcsó. Sokszor a biogáz üzemek közvetlen a hulladékot termelő ipari vagy mezőgazdasági egység mellé épülnek. Hátránya, hogy nem lehet megjósolni hosszú távra a hulladék mennyiségét és minőségét

Az anaerob fermentációnál nagyon sokféle hulladékanyag felhasználható, mint ko-szubsztrát. Mezőgazdasági hulladékok (kukoricaszár, lomb, trágyák) és különböző ipari hulladékok (sör, tej, szeszipar) egyaránt jól hasznosítható anyagok az anaerob rothasztásban (Öllös és mtsai 2010). Nagymennyiségű könnyen bontható szubsztrát a reaktor elsavanyodásához vezethet, különösen egylépcsős folyamat során. Nagy cukor- és keményítő tartalmú hulladékból nagyon könnyen képződik tejsav és propionsav. Az ezzel együtt járó pH csökkenés és a magas propionsav koncentráció toxikus lehet egyes mikroorganizmusok számára.

A ko-szubsztrát rothasztás tipikus példája, amikor a háztartási szemét szerves frakcióját szennyvíziszappal vagy szerves trágyával vagy ipari szerves anyagokkal egészítik ki. A szétválogatást és osztályozást követően a háztartási szemét szerves frakcióját mindenképpen ko-szubsztrát rothasztással lehet kezelni, mert a szerves frakció tartalmaz nehezen bontható anyagokat (pl.: papír, fa-cellulóz) is. Kiegészítő szubsztrátnak ideális hozzá a szennyvíz iszap és a szerves trágya.

A Tettye Forrásház Zrt. Pellérdi szennyvíztisztító telepe mellett működő szennyvíziszap alapú biogázüzem alkalmas egyéb szubsztrátok fogadására is. Így kofermentációs hasznosításra élelmiszer feldolgozásból származó hulladékokat is képes fogadni.

Munkánk során először két tejipari hulladék, tejsavó és tejsír tartalmú szennyvíz önálló biogáz szubsztrátként történő felhasználását vizsgáltuk laboratóriumi batch fermentorban, oltóiszapként szennyvíziszap alapú biogáz üzem kigázósított fermentációs iszapját alkalmazva.

Az élelmiszeripari gyártási melléktermékek és élelmiszerként már nem felhasználható hulladékok (pl. lejárt szavatosságú élelmiszerek) ártalmatlanítása jelentős problémát jelent, magas szervesanyag-tartalmuk miatt.

Ugyanakkor a magas oldott szervesanyag-tartalom a bennük levő szénhidrátok, fehérjék, zsírok megfelelő alapanyagok lehetnek anaerob kezelés során a biogáz termelésben.

A biogáz termelés hatékonysága függ a szárazanyag-tartalomtól, szervesanyag tartalomtól, C/N aránytól, az NH₄-N-től és bizonyos nyomelemek előfordulásától.

A biogáz képződés folyamatának katalizisét végző mikroorganizmusok szerepét és jelentőségét már korábban sokoldalúan tanulmányozták (Kovács és Bagi 2010). A biogáz képződés a hidrolízis, az acetogén szakasz és a metanogén fázisban 80 meghatározó fajból álló konzorcium együttes működése során valósul meg. A biogáz szubsztrátok összetételétől függően a degradáció eltérő kinetikával jellemezhető. Fontos szerepe van a hidrogéntermelő mikroorganizmusoknak, melyeket hozzáadva az eredeti mikroflórához, nagyobb metántartalom érhető el.

Ma már rendelkezésre állnak olyan molekuláris módszerek, melyek lehetővé teszik, hogy a különböző szubsztrátokat feldolgozó biogázüzemek mikroba- közösségeit összehasonlítsuk.

2. Anyagok és módszerek

2.1 Fermentációs gázkihozatali vizsgálatok

OxiTop® készülék: A WTW által gyártott OxiTop® OC110 típusú készüléket (Wissenschaftlich-Technische Werkstätten GmbH, Weilheim, Németország) alkalmaztuk a gázkihozatali vizsgálatokhoz, mely nem csak erre, de talajlégzés vizsgálatára és BOI₅ mérésére is alkalmas.(1. felvétel) Az OxiTop® készülék egy zárt „Batch” fermentor, amivel maximális gáztermelést lehet vizsgálni álló kultúrában. A reaktorok térfogata 1 liter, anyaga üveg. Mérési mód beállításánál a nyomásváltozás mérését választottuk, mely a programozásnak megfelelően beállított időközönként automatikusan végzi a mérést a beállított időtartamig, mely nálam 3 nap volt. Az adatokat infrán keresztül a kontrollerrel olvashatjuk le, melyből közvetlenül kinyomtathatjuk vagy számítógépre vihetjük az adatokat. Az OxiTop® készülék fő jellemzői:

- higanymentes,
- nagy méretű LED- kijelző a kontrolleren,
- széles méréstartományra képes,
- Auto Temp adaptáció utáni automatikus lenullázás és mérésindulás,
- hétvégi mérés is lehetséges,
- 2 év üzemidő elemcsere nélkül.

Szoftver használat: Az Achat OC nevű program segítségével lehet feldolgozni az OxiTop® OC110 típusú készülék által gyűjtött adatokat. Az adatok kiértékelését és az ábrák szerkesztését Excel táblázatkezelővel végeztük.

2.2. Fermentációs gázkihozatali vizsgálatok menete

Az OxiTop® rendszert használva a fermentációs folyamat alatti gázkihozatalt vizsgáltuk, a települési szilárd hulladék magas szervesanyag tartalmú frakcióját alkalmazva szubsztrátként (HBif01) és tejipari hulladékokat, tejsavót, (P2) és tejsír tartalmú szennyvizet (P1).

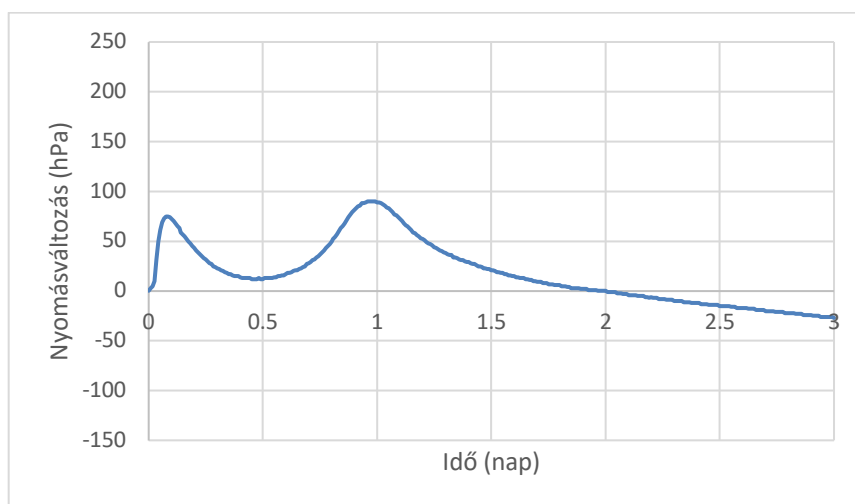
Mezofil körülmények között a biogáz képződés kinetikáját vizsgáltuk úgy, hogy az azonos tartalmú edények egyikébe NaOH pasztillákat mértünk be a CO₂ elnyelésére. A másik edénybe nem használtunk NaOH-t. Így az utóbbi nyomásadataiból kivonva a NaOH-ot tartalmazó OxiTop® rendszer adatait, megkaphatjuk a CO₂ termelés nyomásváltozásának mértékét, melyet ábrázolva elemezhetünk.

Az OxiTop® OC110 típusú készülék üvegreaktorába helyeztük a kimért különböző mennyiségű szubsztrátot és iszapot, majd keveréssel homogenizáltuk azt. A 2 g NaOH pasztillát bemértük az OxiTop-hoz tartozó műanyag főzőpohárba. Ezután összeszereltük az OxiTop-ot készüléket, a mérőfejet rácsavartuk az edényekre és légmentesen lezártuk. A megfelelő mérési utasítások beállítása (nyomásváltozás mérés, a mérés időtartalma) után elindítottuk a mérést és a 37 °C hőmérsékletű termosztátba helyeztük a reaktorokat.

A kapott eredményeket a controller segítségével leolvastuk, az adatokat számítógépre vittük, Excel segítségével kinetikai görbéken ábrázoltuk, majd elemeztük azokat.

3. Eredmények és értékelésük

3.1 Települési szilárd hulladék szerves frakciójának gáztermelése laboratóriumi körülmények között



1. ÁBRA: 1:1 ARÁNYÚ HBIF01 ÉS DESZTILLÁLT VÍZ KEVERÉKÉNEK 3 NAP ALATT MÉRT GÁZKIHUZATALI GÖRBÉJE 37 °C TERMOSZTÁTBAN

Települési szilárd hulladék magas szervesanyag tartalmú biológiai frakciójából származó mintát (HBif01) desztillált vízzel kevertünk össze, majd a leírt módon vizsgáltuk a gázképződés kinetikáját.

Megállapítottuk, hogy a hulladék minta saját mikroflórája jelenlétében is elindult a gázképződés, a könnyen hidrolizálódó szerves frakció jó tápanyagot jelentett a mikroorganizmusok szaporodásához és az anyagcsere termékeként jelentős nyomásváltozást eredményezett a 3 napos kísérlet során.

A HBif01 mintával korábban végzett kísérleteink során megállapítottuk, hogy a kiejedt oltóiszappal beoltott kezelés során az 1:1 arányú szubsztrát:oltóiszap összeállításához képest jelentősebb gázképződés tapasztalható a reaktorban már 1 nap után is. Az oltóiszap arányának növekedésével 1:2 esetén a nyomásnövekedés jelentősebb lesz, 140hPa (Somfai és mtársai2018).

Irodalmi adatok alapján a szennyvíziszapból egyedüli szubsztrátként alkalmazva 0,44- 0,60 m³ /kg sz. szervesanyag biogáz kihozatal érhető el. Az anaerob lebontás határfoka fizikai, kémiai és biokémiai előkezelési eljárásokkal javítható.

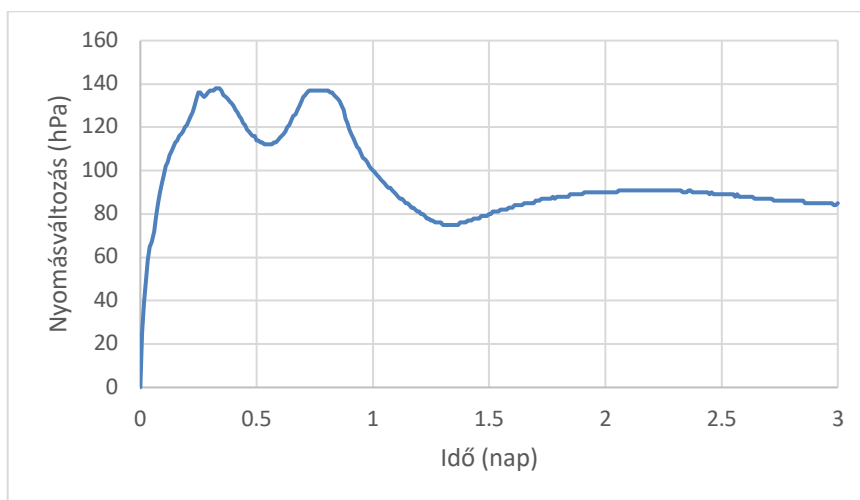
A sűrített szennyvíziszappal végzett kísérleteinkben OXITOP reaktorban 4 nap elteltével 162 hPa nyomásváltozást mértünk.

A szennyvíziszappal működő biogázüzemek biogáz kihozatalára az élelmiszeripari melléktermékek koszubsztrátként való alkalmazása kedvező hatással lehet.

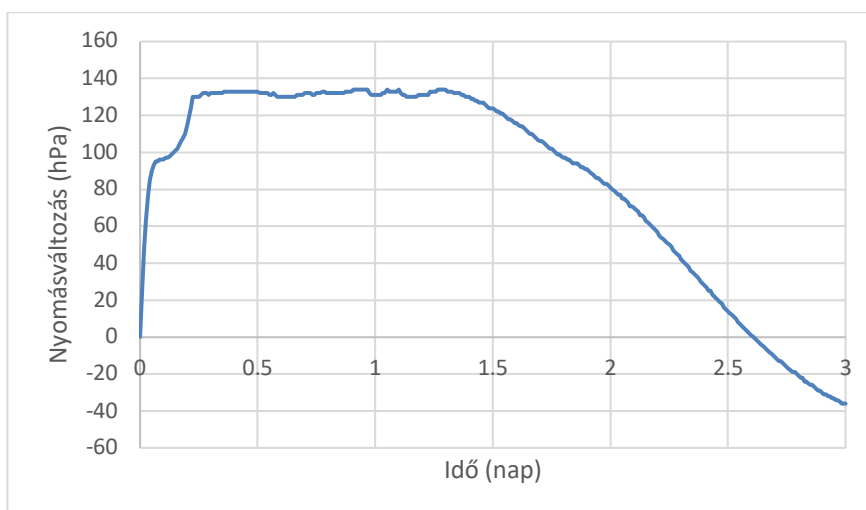
Ezek az anyagok önmagukban nem, vagy nagyon lassan bomlanak le, ám ha oltóiszappal kezeljük azokat, önmagukban is képesek biogázt termelni.

A tejipari melléktermékek esetén fontos a pH előzetes ellenőrzése és beállítása.

3.2 Élelmiszer ipari hulladékok, tejsavó oltóiszappal kezelt biogáz képződésének vizsgálata mezofil körülmények között

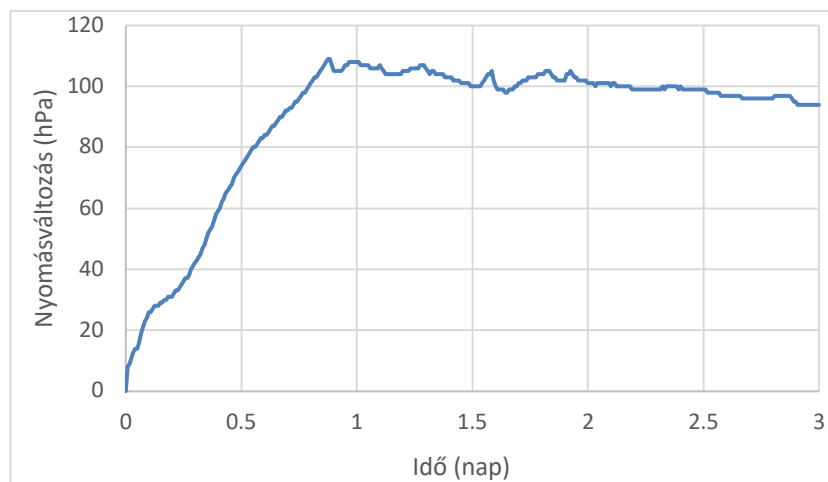


2. ÁBRA: 3 NAPIG TARTÓ P2 TEJSAVÓ –OLTÓISZAP 1:1 ARÁNYÚ MÉRÉS BIOGÁZ KINETIKAI GÖRBÉJE.

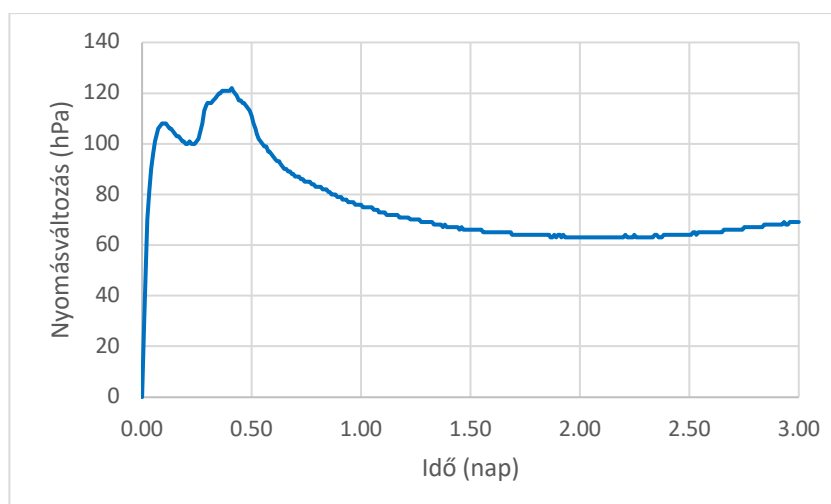


3. ÁBRA: TEJSAVÓ BIOMETÁN KINETIKAI GÖRBÉJE

3.3 Tejsír gázképződésének kinetikája



5. ÁBRA: P1 TEJZSÍR OLTÓISZAP 1:1 ARÁNYÚ KEVERÉK BIOGÁZ KINETIKAI GÖRBE



6. ÁBRA: TEJSAVÓ-TEJZSÍR-OLTÓISZAP 1:1 ARÁNYÚ KEVERÉK +OLTÓISZAP BIOGÁZ KINETIKAI GÖRBÉJE

4. Következtetés

A biogáz szubsztrátok degradációjának első szakaszában a hidrolízis során képződő széndioxid jelentős nyomásnövekedést eredményez a reaktorban.

Összehasonlítva az oltóiszappal kezelt szubsztrátok, a települési szilárd hulladék biológiai frakciója és a vizsgált tejipari melléktermékek esetén mért adatokat, azt tapasztaltuk, hogy 3 nap után a gázképződés mértéke mindhárom minta esetén jelentős.

A laboratóriumi reaktorokban NaOH jelenlétében mért nyomásváltozás jelzi, hogy a biogáz képződésben várhatóan kosubsztrátként a vizsgált anyagok közül a tejsír, a települési szilárd hulladék lehet eredményes.

A tejsavó hozzáadása a szennyvíziszaphoz várhatóan nem hoz kiemelkedő javulást a biogáz kihozatalban és csak előzetes pH korrekció, vagy megfelelő pufferolás után adható be a fermentációs rendszerbe.

5. Köszönetnyilvánítás

Munkánk 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.



6. Hivatkozások

Appels, L., Lauwers, J., Degreève, J., Helsen L., Lievens, L, B., Willems, K., Dewil, R. (2011) „Anaerobic digestion in global bio-energy production: potential and research challenges.” *Renew. Sustain. Energy Rev.* 15, 4295–4301.

Öllös G., Oláh J., Palkó G. (2010) *Rothasztás*. Magyar Víziközmű Szövetség, Budapest. 799-838.

Sivakumar, P., Bhagiyalakshmi, M., Anbarasu, K. (2012) „Anaerobic treatment of spoiled milk from milk processing industry for energy recovery- A laboratory to pilot scale study.” *Fuel* 96, 482-486.

Kovács, K. és Bagi, Z (2010) „A biogáz keletkezés mikrobiológiai összefüggései.” In.: *A biogáz előállítás. Jelen és a jövő* (Szerk.: Bai, A.) Szaktudás Kiadó Ház, Budapest.

Somfai, D., Pécsi IPW 2019

S06 Szekció 6

A SCIENCE METRIC ANALYSIS OF PUBLICATIONS ABOUT SUSTAINABLE WOOD

Novotni Adrienn

Soproni Egyetem, Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi és Művészeti Kar, Innovációs Központ

HULLADÉKBÓL SZÁRMAZTATOTT TÜZELŐANYAG SZEMCSEMÉRETÉNEK FŰTŐÉRTÉKÉNEK, NEDVESSÉG- ÉS HAMUTARTALMÁNAK ÖSSZEFÜGGÉSEI

Leitol Csaba¹, Kiss Tibor¹, Györfi Alexandra²

¹ Pécsi Tudományegyetem, MIK Mérnöki és Smart Technológiák Intézet, Környezetmérnök Tanszék; ² Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar

A SHORT REVIEW ON WOOD LIQUEFACTION AND BIO DERIVED FOAMS FROM LIQUEFIED WOOD

Hodgyai Zsolt, Pásztory Zoltán

Soproni Egyetem, Simonyi Károly Kar, Innovációs Központ

CHEMICAL COMPOSITION ANALYSIS OF ALKALINE-HYDRODYNAMIC CAVITATION DELIGNIFIED MISCANTHUS X GIGANTEUS GRASS

Horváth Dánie, Tsalagkas Dimitrios, Börcsök Zoltán, Pásztory Zoltán

Soproni Egyetem, Simonyi Károly Kar, Innovációs Központ

RESEARCH ACTIVITIES AT INNOVATION CENTER AND PULP AND PAPER INSTITUTE RELATED TO BIOMASS UTILIZATION

Pásztory Zoltán¹, Börcsök Zoltán¹, Tsalagkas Dimitrios¹, Halász Katalin², Csóka Levente²

¹ Soproni Egyetem, Simonyi Károly Kar, Innovációs Központ; ² Soproni Egyetem, Simonyi Károly Kar, Papíripari Kutató

HULLADÉKBÓL SZÁRMAZTATOTT TÜZELŐANYAG SZEMCSEMÉRET-ELOSZLÁSA ÉS NEHÉZFÉMTARTALMA KÖZÖTTI ÖSSZEFÜGGÉS VIZSGÁLATA

Györfi Alexandra¹, Leitol Csaba², Kiss Tibor²

¹ Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar; ² Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar, Mérnöki és Smart Technológiák Intézet, Környezetmérnök Tanszék

GREEN SYNTHESIS OF CELLULOSE-BASED NANOCOMPOSITES USING PHYTOEXTRACTS

Charu Agarwal¹, Pásztory Zoltán², Csóka Levente³

¹ Institute of Wood Based Products and Technologies, University of Sopron, Sopron, Hungary; ² Innovation Center, University of Sopron, Sopron, Hungary; ³ Institute of Cellulose and Paper Technology, Sopron, Hungary

A SCIENCE METRIC ANALYSIS OF PUBLICATIONS ABOUT SUSTAINABLE WOOD

Adrienn Novotni

Innovation Center, Simonyi Karoly Faculty of Engineering, Wood Sciences and Applied Arts
University of Sopron
H-9400 Sopron, Agyag u. 10.
novadrienn@gmail.com

Abstract: *Sustainable Wood for a Sustainable World is an initiative by FAO and supported by several international organizations. Sustainable life cycle of harvested wood products has a key role in strategies for transitioning to low-carbon economies. However, sustainable manufacture and consumption of wood products have got little attention on the international development programs, partly due to the frequent unsustainable practices. Life cycle of wood products has been linked to environmental degradation. Fortunately, the situation is starting to change in the international development agenda and public speaking. Sustainable wood is also increasingly becoming a vital factor in science. This paper is an overview of the growing importance of sustainable wood in the light of the data of an abstract and citation database (Scopus). The positive change in the frequency of the various keywords associated with the concept of sustainable wood is a clear indication of the importance of the issue in internationally recognized scientific research. However, looking at keyword frequency is far from enough and can lead to misleading results. The yearly change in overall number of published abstracts and papers, as well as in the number of publications in the broader scientific field, deserves attention. According to the data of several databases the topic is playing an increasingly important role in science. However, growth rates tend to follow the trends of keywords and phrases related to sustainability.*

Keywords: sustainable wood, science metrics, abstract and citation database

1. Introduction

The following topics are covered in this article:

Firstly, I will analyse the Sustainable Wood for a Sustainable World initiative of FAO.

Secondly, I will study the role of sustainable wood in scientific publications with statistical tools. During the analysis I will write down trends of publications related to sustainable wood compared to the trends of publications related to environmental protection and sustainable material. Later, I will draw conclusions (based on trends).

Finally, I will draw conclusions.

2. Sustainable Wood for a Sustainable World Initiative

2.1 Origin of phrase

Sustainable Wood for a Sustainable World (SW4SW) was adopted in 2018. It is a Joint Initiative of the Collaborative Partnership on Forests (CPF), as a result of the SW4SW Global Meeting held in 2017. This initiative is cooperatively directed by FAO, with backing from its Advisory Committee on Sustainable Forest-based Industries (ACFSI), the Center for International Forestry Research (CIFOR), the International Tropical Timber Organization (ITTO), the World Bank and the World Wildlife Fund (WWF). (FAO, 2019)

2.2 Main topics of SW4SW

The sustainable usage of natural resources, as well as forests, is a main principle of the 2030 Agenda for Sustainable Development and the 2015 Paris Agreement.

Overall developments have led to better control over the life cycle of harvested timber products. (Tóth and Bátori, 2008) This plays a crucial role in the transition strategies to low-carbon economies. (Pásztor, Heinzmann and Barbu, 2018) At the same time, the impact of sustainable forest management on improving livelihoods, contributing to landscapes and cities and reducing the world's carbon and material footprint is increasing.

Regardless of these positive effects, little attention has been paid to the sustainable production and consumption of timber products in the international development agenda, in part because of persistently unsustainable practices. This has contributed to low funding levels and poor marketing of sustainable wood value chains. It is important to increase the visibility of the benefits of sustainable wood production and use by changing the mindset to encourage a more positive and responsive attitude to develop and strengthen sustainable wood value chains.

What are the main tasks of SW4SW? Firstly, increase the visibility of the benefits of sustainable wood. Secondly, development of sustainable wood value chains. (Kohlmaier, Weber and Houghton, 2008)

3. Empirical research

3.1 Outcomes and methods

The main question of research is: What role does sustainable wood play in scientific publications? To answer the question, I have analysed the frequency of some keyphrases (keywords) in Scopus. I have chosen the following keyphrases: 'sustainable wood', 'environmental protection', and 'sustainable materials'. The time when the database was downloaded from Scopus is 3rd October 2019.

Then I have written down trends in some methods.

Finally, I have compared the trends and drawn conclusions.

3.2 Frequency of chosen keyphrases

In the first round, I have analysed publications with 'sustainable wood' keyphrase. Articles with such keyphrase are available from 1975 to 2020 in the Scopus. The number of occurrences is not too high, the maximum value was 664 in 2018. (Fig. 1.)

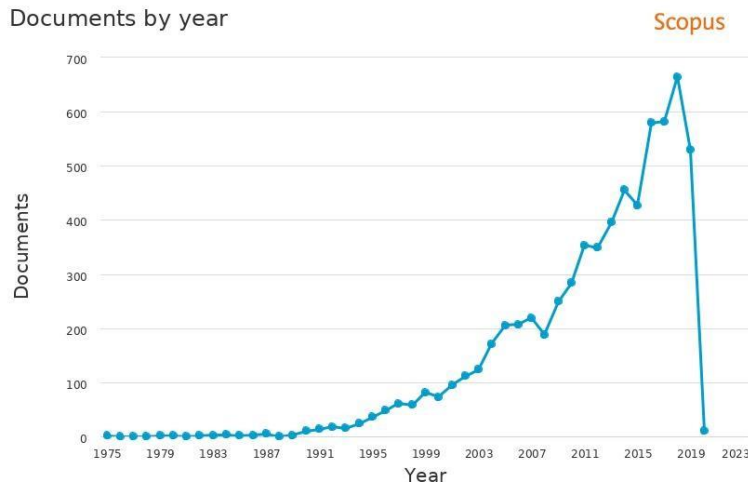


Fig. 1. Frequency of articles with keyphrase 'sustainable wood' in Scopus

At first, growth is spectacular and polynomial or exponential trend seems most likely. But of course, the trend needs to be quantified. This would also be unintelligible without comparisons.

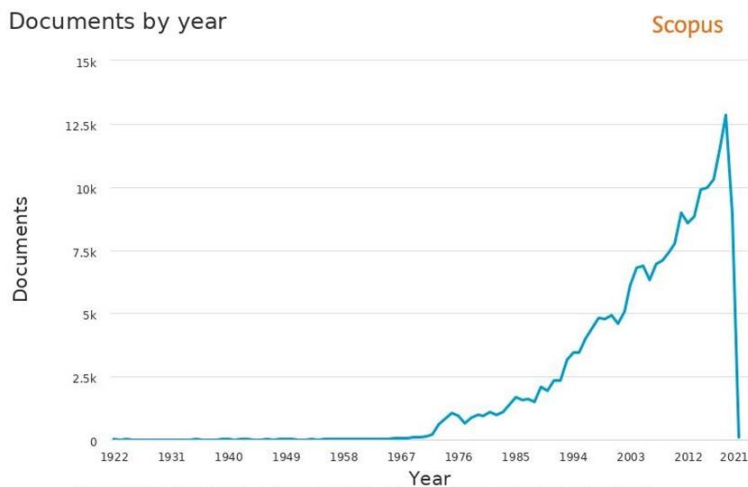


Fig. 2. Frequency of articles with keyphrase 'environmental protection' in Scopus

Regarding the frequency of second examined keyphrase ('environmental protection') it's visible that there is a difference in magnitude compared to the frequency of keyphrase 'sustainable wood'. (Fig. 2.) For example, the

maximum value of ‘environmental protection’ was 12 850. It’s much higher than the frequency of former keyphrase. At a first sight, the type of trend is like that we saw earlier. (Polynomial or exponential trend.) But without quantification and comparisons this is also incomprehensible.

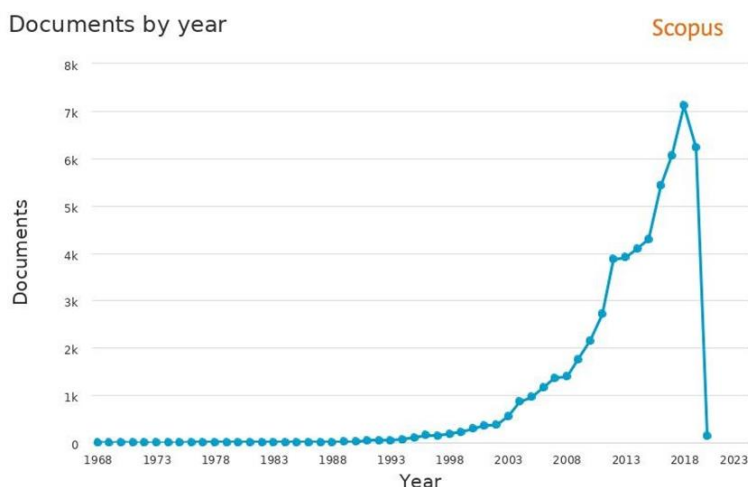


Fig. 3. Frequency of articles with keyphrase ‘sustainable material’ in Scopus

Thirdly, I have analysed publications with ‘sustainable material’ keyphrase. (Fig. 3.) Time interval and magnitude are between the former two ones. (Max value in 2018: 7112.) It can be seen polynomial or exponential trend; this is a spectacular growth too. But without comparisons this is also unintelligible. It is not enough that all three data series show an increase. It is also worth calculating and comparing their trend functions.

3.3 Trends of frequencies

Basically, two types of trend equations can be drawn for the first series (‘sustainable wood’). A polynomial one (Fig. 4.) and an exponential one (Fig. 5.).

For comparison purposes (see other keywords), we look at the period from 1975 to 2018.

In addition to the equations, it is also worth examining how accurately the resulting equations describe the empirical values. For this, R-squared seems like a good indicator.

If the value of the R-squared index is greater than 0.85, the trend equation largely describes our empirical values. (Welc and Esquerdo, 2018)

R-squared in both cases is very high, close to 1, therefore it can be concluded that trend is growing at an increasing pace.

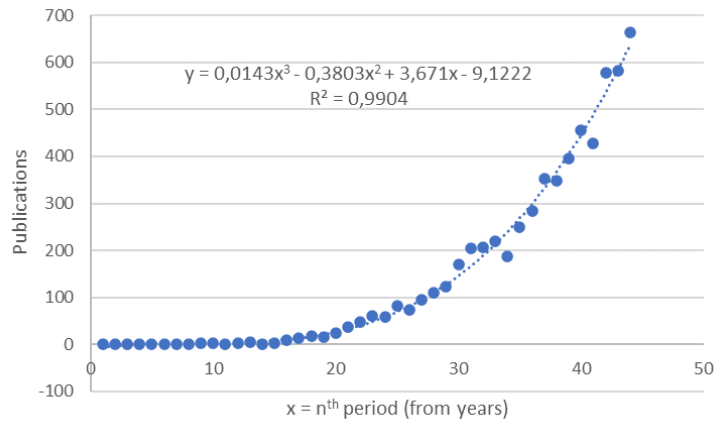


Fig. 4. Polynomial trend equation of publications related to 'sustainable wood'

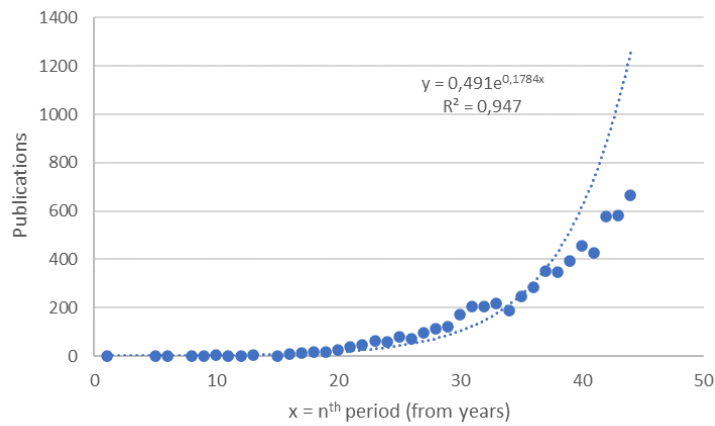


Fig. 5. Exponential trend equation of publications related to 'sustainable wood' (without zero values)

Regarding the publications with 'environmental protection' keyphrase, we must say that the situation and the factors of equations are very similar to the former ones. (Fig. 6-7.)

The R-squared index is very high in both cases.

There is no change, if we examine the trends of publications with 'sustainable material' keyphrase. (Fig 8-9.)

It's clear, that trend analysis is not enough. The trends are almost the same in all three cases.

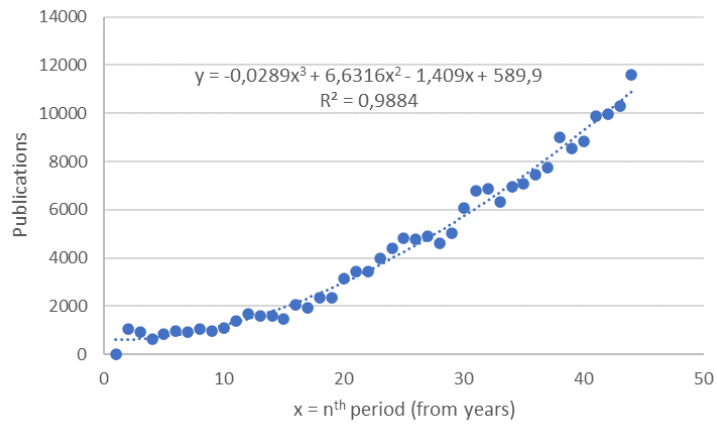


Fig. 6. Polynomial trend equation of publications related to 'environmental protection'

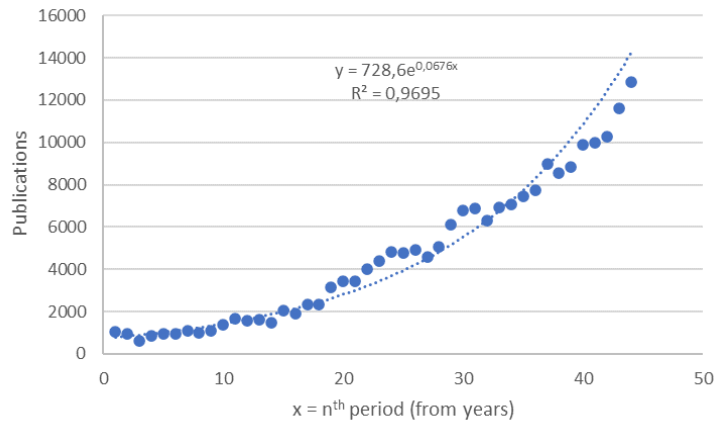


Fig. 7. Exponential trend equation of publications related to 'environmental protection'

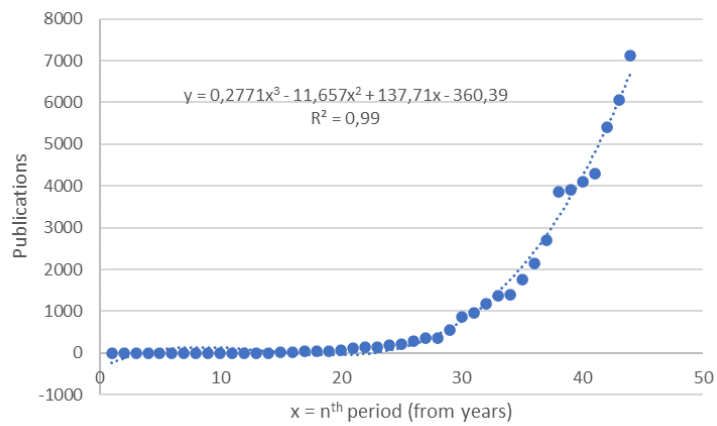


Fig. 8. Polynomial trend equation of publications related to 'sustainable material'

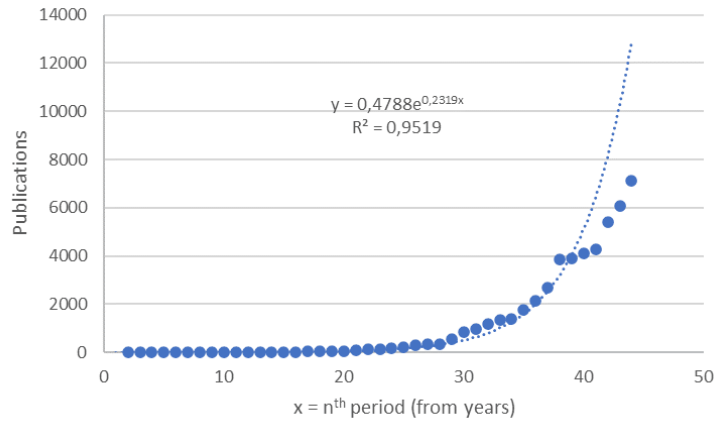


Fig. 9. Exponential trend equation of publications related to 'sustainable material' (without zero values)

3.4 Trends of frequencies

Based on the results so far, it seems worth examining the relationship between the data sets. Therefore, we form the fractions of frequencies to 'environmental protection' and 'sustainable wood' (EP/SW), and 'sustainable material' and 'sustainable wood' (SM/SW) within each year.

Regarding the trends of fractions EP/SW, we can draw an exponential trend (Fig. 10.), and an exponential trend without outliers (Fig. 11.). R-squared is high in both cases.

The evolution of the data shows that 'environmental protection' keyphrase becomes less important compared to 'sustainable wood' keyphrase in this period.

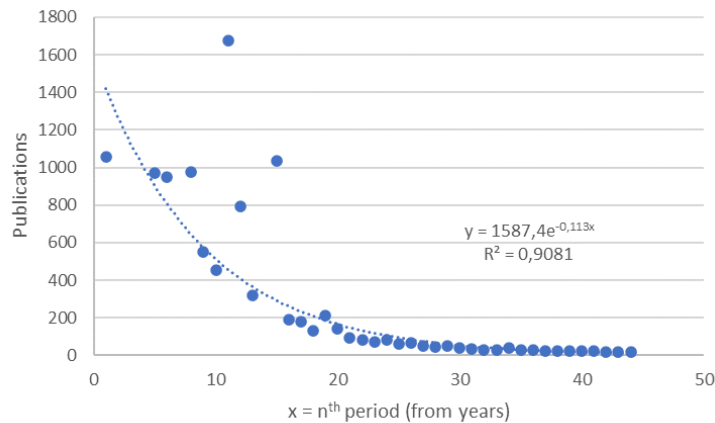


Fig. 10. Trend of EP/SW proportion without zero values and with outliers

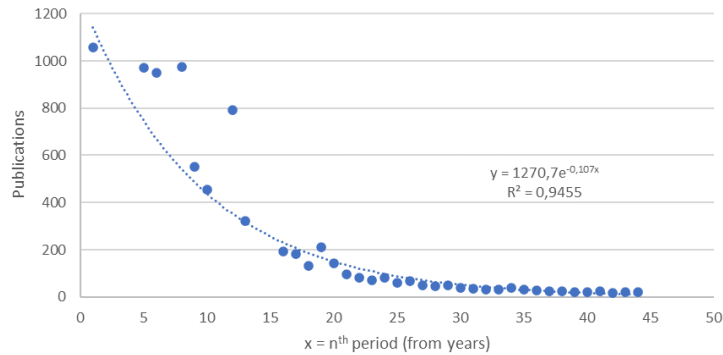


Fig. 11. Trend of EP/SW proportion without zero values and two outliers

The second situation is completely different. Similarly to the former proportion, an SM/SW proportion and trend without zero value and with outliers (Fig 12.), and an SM/SW proportion and trend without three outliers (Fig. 13.) can be drawn.

But the trend is linear and increasing. R-squared is high only in the second case (without outliers).

Conclusion is clear. 'Sustainable material' keyphrase becomes more and more important compared to 'sustainable wood' keyphrase.

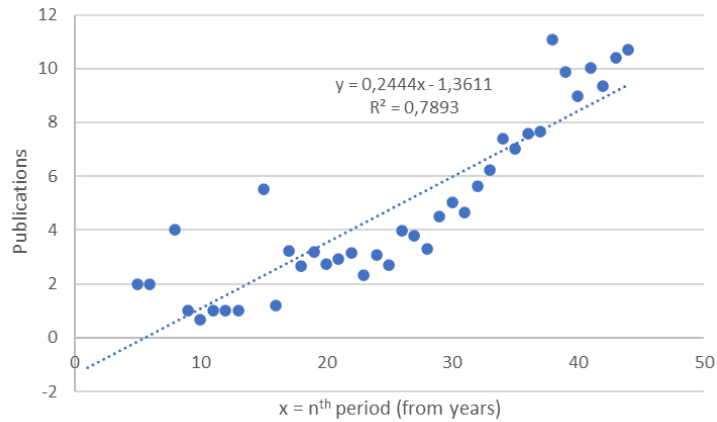


Fig. 12. Trend of SM/SW proportion without zero values and with outliers

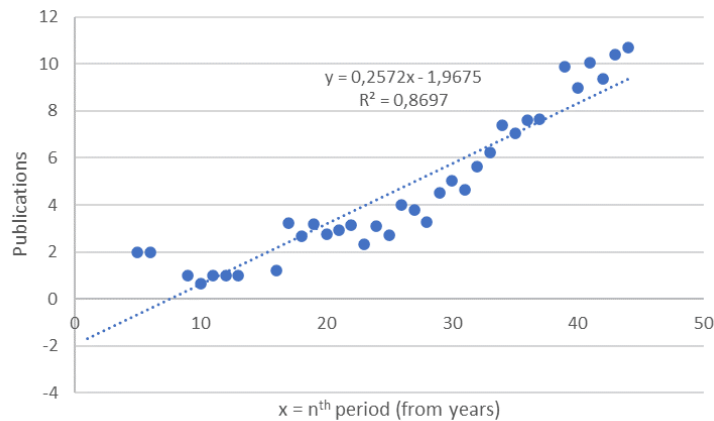


Fig. 13. SM/SW proportion without zero values and without three outliers

3.5 Final conclusions

The main conclusion is that publications with keyphrase 'sustainable wood' has improved his position relative to publications with keyphrase 'environmental protection'. However, it loses positions within the appreciating 'sustainable material'. 'Sustainable wood' is a secondary topic in 'sustainable material'. Much remains to be done to promote the discipline.

4. Acknowledgements

The work was carried out as part of the „Sustainable Raw Material Management Thematic Network – RING 2017”, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 project in the framework of the Széchenyi 2020 Program. This project is supported by the European Union, co-financed by the European Social Fund.

5. Reference

FAO (2019) Concept Note, Sustainable Wood for a Sustainable World (SW4SW), Regional dialogue in Africa, Johannesburg, South Africa.

Kohlmaier, G. H., Weber, M. and Houghton, R. A. (2008) Carbon Dioxide Mitigation in Forestry and Wood Industry

Pásztory Z, Heinzmann B, Barbu M-C. (2018) “Manual and Automatic Volume Measuring Methods for Industrial Timber,” IOP Conference Series: Earth And Environmental Science, 159.

Tóth, Z. and Bátori, Z. (2008) “Trends that affect global trade and supply chains,” 4th Annual International Bata Conference for Ph.D. Students and Young Researchers, Zlin, Czech Republic: Tomas Bata University in Zlin, 44-49.

Welc, J. and Esquerdo, P.J.R. (2018) Common Pitfalls in Regression Analysis. In: Applied Regression Analysis for Business, Springer, Cham.

HULLADÉKBÓL SZÁRMAZTATOTT TÜZELŐANYAG SZEMCSEMÉRETÉNEK, FÜTŐÉRTÉKÉNEK, NEDVESSÉG- ÉS HAMUTARTALMÁNAK ÖSSZEFÜGGÉSEI

Leitol Csaba, Kiss Tibor, Györfi Alexandra

Mérnöki és Smart Technológiák Intézet, Környezetmérnök Tanszék,
Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar

7624 Pécs, Boszorkány út 2.

leitol.csaba@mik.pte.hu

Absztrakt: *A mechanikai-biológiai kezelőkben előállított hulladékból származtatott tüzelőanyag felhasználhatóságát az határozza meg, hogy milyen minőségű anyagkeveréket sikerül előállítani. Az energetikai hasznosítók számára a legfontosabb tulajdonságok a fűtőérték, a klór és higany, valamint nedvesség-, hamu- és szennyezőanyag-tartalom. A korábbi kutatások főként a mechanikai-biológiai kezelés bemenő anyagáramaira, a biológiai kezelés módszereire és eredményeire, valamint a tüzelőanyagok energetikai hasznosítására fókuszáltak. Jelen kutatás egy másik területre, a már előállított tüzelőanyag minőségének javítására irányul. Vizsgálataink szoros kapcsolatot mutattak ki a tüzelőanyag szemcsemérete, fűtőértéke és hamutartalma között. A méréseink szerint átlagosan a tüzelőanyag 41 m/m %-át kitevő kisméretű, <10 mm és 10-20 mm közötti részek nedves fűtőértéke mintegy fele, a 30-40 mm és a 40-60 mm szemcseméretű hányadának. A hamutartalom vizsgálata szintén hasonló trendet mutatott. A kisméretű, <10 mm és 10-20 mm közötti részek átlagos hamutartalma 25,1 és 15,1 m/m % volt, szemben a nagyobb 30-40 mm és a 40-60mm szemcseméretű 10,6 és 8,9 m/m %-ával.*

Keywords: mechanikai-biológiai hulladékkezelő, hulladékból származtatott tüzelőanyag, RDF, SRF, szemcseméret, nedvességtartalom, fűtőérték, hamutartalom

1. Bevezetés

A szelektív hulladékgyűjtés után visszamaradó vegyes hulladékok feldolgozása újabb hasznosítási lehetőségeket teremtett, a mechanikai-biológiai hulladékkezelési technológiák (MBH) alkalmazásával. A mechanikai-biológiai hulladékkezelés kimenő anyagáramai az anyagában hasznosítható hulladékok, az energetikailag hasznosítható tüzelőanyag, a kezelt biológiailag lebomló hulladék, és a nem hasznosítható, lerakásra kerülő frakció. (Cook et al., 2015; Soyez, 2003; Thiel et al., 2010; Kalnacs et al., 2013; Saleem et al., 2016)

Az EU-tagállamaiban a települési szilárd hulladékból (TSZH) előállított tüzelőanyag mennyisége dinamikusan növekszik. Ez a növekedés az Ecoprog kutatási jelentése szerint még tovább folytatódik és 2025-re a becslült mechanikai-biológiai kezelési kapacitás 65 millió tonna lesz, amelyet 690 üzemben fognak feldolgozni. (Ecoprog, 2017)

Magyarországon az MBH beruházások száma 2008-2015 évben nagymértékben megemelkedett, a rendelkezésre álló kapacitások több mint 90%-a ebben az időszakban létesült és még további jelentős fejlesztések vannak tervbe véve. 2017-ben 24 telepített, valamint 7 mobil MBH és mechanikai hulladékkezelő (MH) működött, amelyek együttes bemenő kapacitása mintegy 1,65 millió tonna. (OKHT, 2017)

A tüzelőanyag minőségére irányuló korábbi kutatások elsősorban a kezelésre beszállított hulladékáramok minőségére, összetételére és az összetételt befolyásoló tényezőkre (pl. szelektív gyűjtés, hulladék forrása, évszakok, életszínvonal), illetve a feldolgozási technológiára fókuszáltak. Az eredmények alapján a tüzelőanyag minősége és mennyisége függ a beszállított hulladékáram minőségétől, összetételétől, valamint az alkalmazott visszanyerési folyamat technológiai fejlettségétől, sorrendjétől és a zavaró anyagok (pl. PVC) előzetes, vagy folyamat közbeni eltávolításától (Hasanbeigi et al., 2012; Kokalj – Samec, 2013; Leitol 2016; Nasrullah et al., 2015; Nasrullah, 2015; Rada – Ragazzi, 2014; Rotter et al., 2004; Sarc – Lorber, 2013).

A hulladékból származtatott tüzelőanyagok minőségét általában a homogenitás, összetétel, energiahatékonyság, fűtőérték, nedvesség-, hamu-, kén- és klórtartalom és a nehézfémek jellemzik. (Hasanbeigi et al., 2012; Nasrullah, 2015)

Magyarországon az elmúlt évek során több kutatás is volt a jobb minőségű tüzelőanyag kihozatal biztosítására. Nagy és társa Miskolcon végeztek a nagy fűtőértékű frakció nemesítésére irányuló kísérleteket a fémek hatékonyabb leválasztására és a tüzelőanyag pelletálására. (Nagy – Cseppely, 2010) Vizsgálták a bemenő hulladék összetételét, a szemcseméret-eloszlást, súlyeloszlást, összetétel arányokat és fűtőértéket. (Faitli – Romenda, 2019, Sarkady et al., 2014). Kidolgozásra került egy kísérleti vizsgálatokkal megalapozott szelektív aprítási eljárást is. (Csőke et al., 2007) Emellett kombinált leválasztó berendezések fejlesztése és tesztelése is folyamatban van. (Faitli et al., (2018)

A hazai kutatások megállapították azt is, hogy a kihozatali arányokat és az anyagáramok minőségét a bemeneti hulladék tulajdonságain túl a leválasztási határok megállapítása is befolyásolja. Ugyanakkor eltérő összetételű, vagy tulajdonságú bemenő anyagokból azonos leválasztási határok mellett eltérő kihozatali arányokat és minőséget kapunk. (Leitol, 2017)

Az előző kutatásokkal szemben vizsgálataink egy más területre, a már előállított tüzelőanyagra irányulnak. Kutatásunk fókuszában az előállított tüzelőanyag minőségi jellemzőinek javítása áll az egyes tüzeléstechnológiailag fontos paraméterek és a szemcseméret összefüggéseinek feltárásával.

2. Módszertan

A kutatást a Pécs-Kökényi Regionális Hulladékkezelő Központban található mechanikai-biológiai hulladékkezelő műben, az ott előállított tüzelőanyag (SRF) vizsgálatával végeztük.

2.1. Szemcseméret eloszlás

A pont mintákat az MBH technológiai sor végén, a tüzelőanyag tároló csarnokban vettük. A pontmintákból képezett átlagmintát MST-VC-801-L típusú lapmérlegen mértük le. A szemcseméret analízisre irányuló vizsgálatokat egyedi építésű síkszita soron (1. ábra) végeztük, amellyel négy különböző szemcseméret tartományú frakciót különítettünk el: <20 mm, 20 mm – 30 mm, 30 mm – 40 mm, >40 mm. (2. ábra) A <20 mm-es részt laborban Endecotts Octagon Digital típusú rázószita sossal tovább osztályozva, 20,00 mm-es és 10,00 mm-es Endecotts szitával átszitálva elkülönítettük a <10 mm-es és a 10 mm - 20 mm-es frakciókat.



**1. ÁBRA: SZEMCSEMÉRET OSZTÁLYOZÁSA (<20 MM, 30 MM, 40 MM, >40 MM)
FOTÓ: SAJÁT KÉSZÍTÉS**



**2. ÁBRA: SZEMCSEMÉRET FRAKCIÓK (>40 MM, 30-40 MM, 20-30 MM, <20 MM) MINTÁI
FOTÓ: SAJÁT KÉSZÍTÉS**

2.2. Nedvességtartalom

A nedvességtartalom-mérésekhez az eredeti, szitálás nélküli (<60 mm) mintából és a szemcseméret frakciókból reprezentatív mintát vettünk és a telephelyen lévő minta-előkészítő laborban analitikai mérlegen lemértük őket. A vizsgálatot összesen hat szemcseméret frakcióra <10 mm, 10 mm - 20 mm, 20 mm - 30 mm, 30 mm - 40 mm, >40 mm, és a <60 mm (szitálatlan) végeztük el. A mintákat szárítószekrényben (3. ábra) 24 óra alatt 105°C-on súlyállandóságig szárítottuk. A 24 óra elteltével a szekrényből kivett mintákat visszamértük.



**3. ÁBRA: A SZÁRÍTÓSEKRENY A BENNE LÉVŐ MINTÁKKAL
FOTÓ: SAJÁT KÉSZÍTÉS**

2.3. Fűtőérték

A fűtőérték-mérésekhez az előkészített mintasorozatokat minden szemcseméret tartományban <10 mm-re aprítottuk, majd az aprítékból 1-1,5 g közötti átlagmintákat pelletáltunk. A pelletált mintát a 4. ábra mutatja be.



**4. ÁBRA: PELLETÁLT MINTÁK
FOTÓ: SAJÁT KÉSZÍTÉS**

A pelletált mintákat bombakaloriméterben elégettük, majd a száraz és nedves fűtőértéket az MSZ EN 15400:2011 szabvány előírásai szerint számoltuk ki.

2.4. Hamutartalom

A hamutartalom meghatározása az MSZ EN 15403:2011 szabvány szerint izzítókemencés módszerrel történt. A mérések elvégzéséhez a szárított mintákat <1 mm átlag szemcseméretűre aprítottuk a homogenitás biztosítása érdekében, és 1 grammot mértünk be belőlük hőálló kerámia csészékbe. Az összeállított mintákat az 5. ábra szemlélteti.



**5. ÁBRA: <1 MM-RE APRÍTOTT MINTÁK A KERÁMIA CSÉSZÉKBEN
FOTÓ: SAJÁT KÉSZÍTÉS**

A mintákat a 6. ábrán bemutatott izzítókemencébe helyeztük. A minták hamvasztása a szabványban előírt paraméterekkel két lépcsőben történt, először 60 percig 250 °C-on, utána 120 percig 550 °C-on. A kemence belső hőmérsékletének 60 °C-ra csökkenése után a mintákat kivettük, majd a teljes lehülés eléréseig exszikkátorba tettük. A hamutartalmat a teljesen lehült minták visszamérésével határoztuk meg.

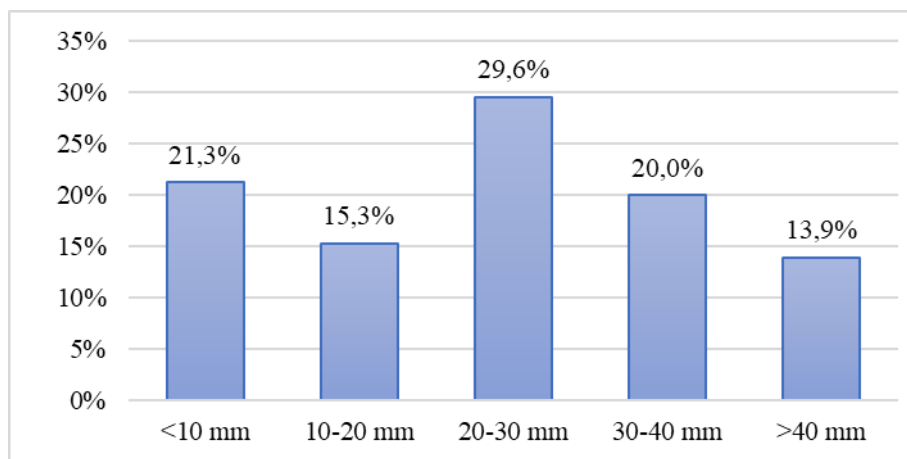


**6. ÁBRA: MINTÁK AZ IZZÍTÓKEMENCÉBEN
FOTÓ: SAJÁT KÉSZÍTÉS**

3. Eredmények és kiértékelés

3.1. Szemcseméret eloszlás

A vizsgált tüzelőanyag átlagos szemcseméret eloszlását a 7. ábra mutatja be. A diagram alapján egyértelműen megállapítható, hogy legnagyobb tömegszázalékban a 20-30 mm frakció van jelen (29,6%), míg a 20 mm alatti frakciók (<10 mm, és 10-20 mm) a tüzelőanyag 36,6%-át adják.



7. ÁBRA: TÜZELŐANYAG SZEMCSEMÉRETE A NEDVESSÉGTARTALOM FÜGGVÉNYÉBEN [M/M%]

3.2. Nedvességtartalom

A nedves minta nettó tömegét és a száraz minta nettó tömegét egymásból kivonva, százalékos formára átszámolva kaptuk meg a nedvességtartalmat. Az egyes szemcseméret kategóriákhoz tartozó átlagos, minimális és maximális nedvességtartalmat az 1. táblázat tartalmazza.

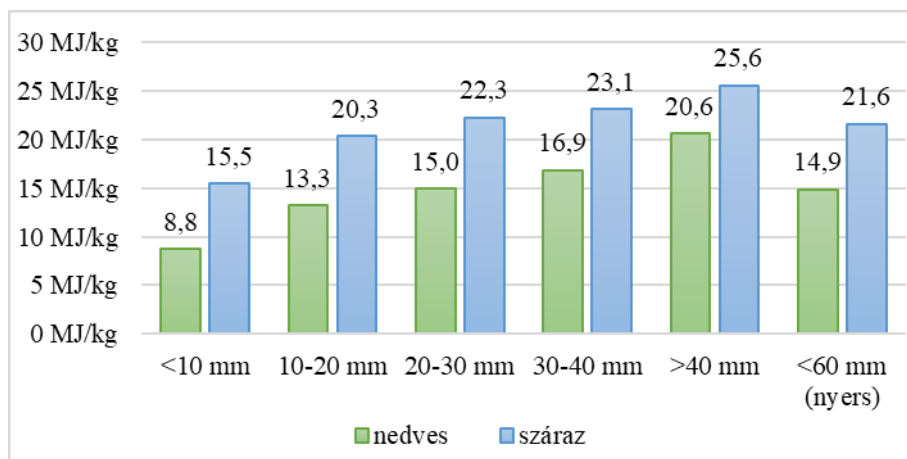
1. TÁBLÁZAT: EGYES SZEMCSEMÉRET KATEGÓRIÁK ÁTLAGOS, MINIMÁLIS ÉS MAXIMÁLIS NEDVESSÉGTARTALMA [M/M%]

Szemcseméret	Minimum	Átlag	Maximum
<10 mm	30,9%	39,5%	45,4%
10-20 mm	23,7%	33,6%	40,2%
20-30 mm	23,0%	30,2%	40,3%
30-40 mm	14,3%	24,7%	36,3%
>40 mm	6,3%	18,5%	29,4%
<60 mm (nyers)	23,0%	28,8%	37,5%

A táblázat értékeiből jól látható, hogy a kisebb szemcseméretű frakciók nedvességtartalma meghaladja a nyersminta értékét, míg a >30 mm frakcióké az alatt marad.

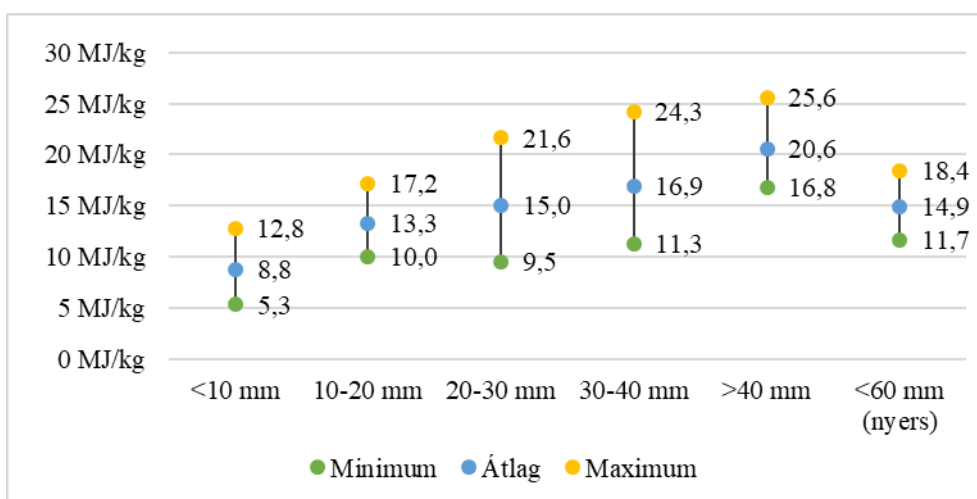
3.3. Fűtőérték

A fűtőérték mérések eredményét a 8. ábra mutatja be. A táblázat értékeiből jól látható, hogy a kisebb szemcseméretű frakciók nedves fűtőértéke az eredeti (osztályozatlan) minta értéke alatt marad, míg a közepes 20-30 mm közötti frakcióé hasonlóan alakul. A száraz fűtőértéknél már a kisebb 10-20 mm közötti frakció is közelíti, a 20-30 mm közötti frakcióé pedig meghaladta a nyersminta értékét. A >30 mm szemcseméretű frakciók pedig mindkét esetben meghaladják az eredeti minta értékét.

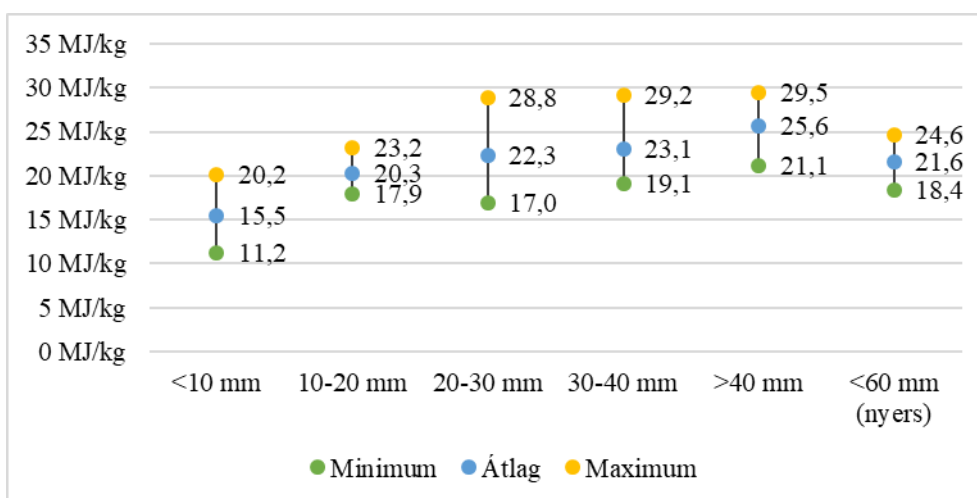


8. ÁBRA NEDVES ÉS SZÁR AZ ÉRTÉK ÁTLAGÉRTÉKEI [MJ/KG]

A nedves és a száraz fűtőérték esetében is jól látható, hogy az átlagértékek a szemcseméret növekedésével együtt emelkednek.



9. ÁBRA NEDVES FŰTŐÉRTÉK SZEMCSEMÉRETEENKÉNTI ALAKULÁSA AZ ÁTLAG, A MINIMUM ÉS A MAXIMUM ÉRTÉKEKKEL [MJ/KG]

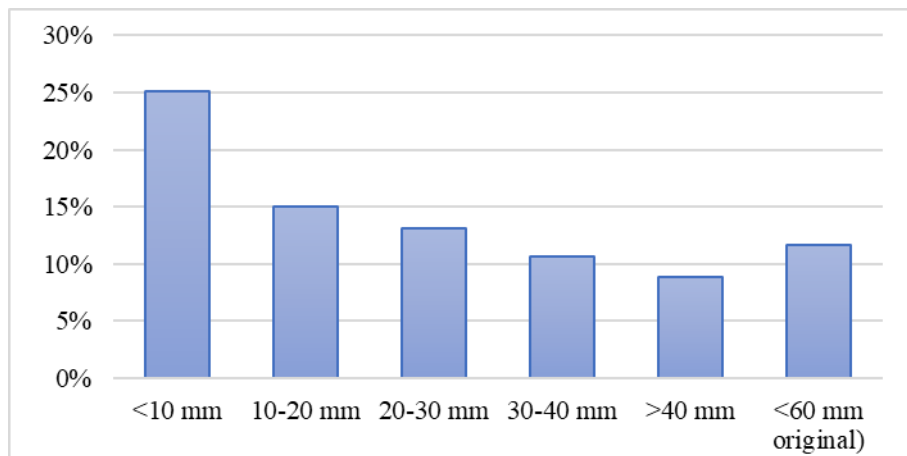


10. ÁBRA NEDVES FŰTŐÉRTÉK SZEMCSEMÉRETEENKÉNTI ALAKULÁSA AZ ÁTLAG, A MINIMUM ÉS A MAXIMUM ÉRTÉKEKKEL [MJ/KG]

Az átlagtól való eltéréseket a 9. és 10. ábra alapján vizsgálva megállapítható, hogy a minimum és maximum értékek átlagtól való eltérése az eredeti, osztályozatlan <60 mm-es mintákban a legkisebb. A legnagyobb eltérések mind a mind a nedves, mind pedig a száraz mintáknál a 20-30 mm és a 30-40 mm-es frakcióknál fordulnak elő.

3.4. Hamutartalom

A hamutartalom mérések frakciónkénti átlageredményét a 11. ábra mutatja be. A táblázat értékeiből jól látható, hogy a <10 mm szemcseméretű frakció hamutartalma kétszerese az eredeti értékének. Ez a különbség a >30 mm-es szemcseméretű frakcióknál még jelentősebb, míg a közepes 20-30 mm közötti frakcióé a nyersminta értéke körül alakul.



11. ÁBRA: HAMUTARTALOM SZEMCSEMÉRETENKÉNTI ALAKULÁSA [M/M%]

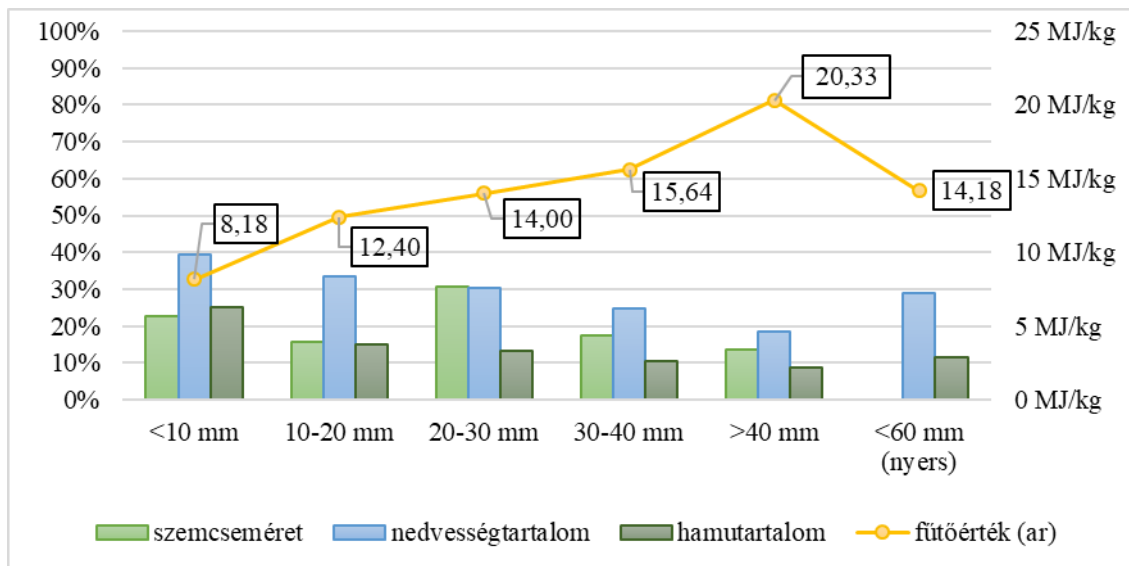
2. TÁBLÁZAT: HAMUTARTALOM SZEMCSEMÉRETENKÉNTI ÁTLAGA, ÉS ELTÉRÉSEI

Szemcseméret	Átlag	Átlag eltérés	Medián	Szórás
<10 mm	25,1%	4,7%	24,5%	5,5%
10-20 mm	15,1%	3,3%	14,9%	4,2%
20-30 mm	13,1%	2,8%	13,0%	3,5%
30-40 mm	10,6%	2,8%	11,0%	3,6%
>40 mm	8,9%	2,5%	9,6%	3,3%
<60 mm (nyers)	11,7%	3,5%	12,9%	3,8%

A 2 táblázat adatai alapján az egyes mérések eredményeinek átlagtól való eltérését és szórását vizsgálva megállapíthatjuk, hogy a szemcseméret növekedésével az eltérés csökken.

3.5. Eredmények összevetése

A szemcseméret, a nedvességtartalom, a nedves fűtőérték és a hamutartalom változását összehasonlítva megállapíthatjuk, hogy a szemcseméret növekedésével a nedvesség- és hamutartalom csökken, a fűtőérték pedig nő. Ezt az összefüggést a 11. ábra mutatja be.



11. ÁBRA: AZ SRF FIZIKAI JELLEMZŐINEK ALAKULÁSA

4. Következtetések

A mérési eredmények alapján megállapítható, hogy a tüzelőanyag fizikai tulajdonságai és a szemcseméret kategóriái között egyértelmű összefüggés található. A szemcseméret növekedésével a fűtőérték emelkedik. A méréseink szerint átlagosan a tüzelőanyag 36,5 m/m %-át kitevő kisméretű, <10 mm és 10-20 mm közötti részek nedves fűtőértéke mintegy fele, a 30-40 mm és a 40-60 mm szemcseméretű hányadának. A száraz anyagra vonatkoztatott fűtőérték esetében a trend iránya hasonló, de az eltérés a két csoport között jelentősen csökkent.

A hamutartalom vizsgálata szintén hasonló trendet mutatott. A kisméretű, <10 mm és 10-20 mm közötti részek átlagos hamutartalma 25,1 és 15,1 m/m % volt, szemben a nagyobb 30-40 mm és a >40 mm szemcseméretű 10,6 és 8,9 m/m %-ával.

A kisebb szemcseméretű frakciók kiválasztása ugyanakkor a tüzelőanyag kihozatal csökkenésével jár. A kökényi központban az átlagos SRF kihozatal 36,5 m/m%, ami a <10 mm alatti rész leválasztásával 28,8 m/m%-ra, a <10mm és a 10-20 mm közötti frakciók együttes leválasztásával pedig 23,2 m/m%-ra csökken. Ezen kis szemcseméretű részek leválasztásával ugyanakkor a nedves fűtőérték 8,3%-al, valamint 12,9%-al nő, hamutartalma pedig 18,5, illetve 23,3 % csökken.

A mérési eredményeink alapján tehát megállapítható, hogy kis szemcseméretű tartományok utólagos eltávolításával a hulladékból származtatott tüzelőanyag minősége jelentősen növelhető.

5. Köszönetnyilvánítás

A publikáció az EFOP-3.6.2.-16-2017-00010 „Fenntartható nyersanyag gazdálkodás tematikus hálózat fejlesztése -RING 2017” projekt részeként valósul meg.

6. Hivatkozások

Cook, E. et al. (2015) Investigation into the non-biological outputs of mechanical–biological treatment facilities, Waste Management, 46, 212–226.

Csöke B. et al. (2007) Szilárd települési hulladékból előállított másodlagos tüzelőanyag nemesítése

Ecoprog (2017) The Market for Mechanical Biological Waste Treatment in Europe 2017
https://www.ecoprog.com/fileadmin/user_upload/leseproben/extract_MBT_Europe_2017_ecoprog.pdf
 (2019.09.17.)

Faitli J. et al. (2018) Developing the combined magnetic, electric and air flow (KLME) separator for RMSW processing, *Waste Management & Research*, 36:9, 779-787

Faitli J. és Romenda R. (2019) Detailed Sampling Protocol for the Analysis of Residual Municipal Solid Wastes, Moustakas K., Loizidou M. (eds.) *Proceedings of the 7th International Conference on Sustainable Solid Waste Management*. Herakleion, Greek: Hellenic Mediterranean University, Session XXIII. paper 10, 1-10.

Hasanbeigi, A. et al. (2012) International Best Practices for Pre- Processing and Co-Processing Municipal Solid Waste and Sewage Sludge in the Cement Industry Berkely National Laboratory

Kalnacs, J. et al. (2013) Content and Properties of Mechanically Sorted Municipal Wastes and Their Suitability for Production of Alternative Fuel International, Conference on Renewable Energies and Power Quality Bilbao (Spain), 20th to 22th March, *Renewable Energies and Power Quality Journal*, 11.

Kokalj, F. és Samec, N. (2013) Combustion of Municipal Solid Waste for Power Production, *Advances in Internal Combustion Engines and Fuel Technologies*

<https://www.intechopen.com/books/advances-in-internal-combustion-engines-and-fuel-technologies/combustion-of-municipal-solid-waste-for-power-production>

(2019.09.16.)

Leitol Cs. (2016) Multi criteria option analysis in the technology design of mechanical-biological treatment of waste, *Pollack Periodica An International Journal for Engineering and Information Sciences*, 11:2, 75-86.

Leitol Cs. (2017) Visszacsatoláson alapuló több szempontú műszaki, környezeti és közgazdasági elemzés alkalmazása a mechanikai-biológiai hulladékkezelő művek technológiai tervezésében, Doktori értekezés, Pécsi Tudományegyetem Breuer Marcell Doktori Iskola

Nagy S. és Cseppely V. (2012) A nagy fűtőértékű MBH termék további nemesítésének kísérleti vizsgálata, *Hulladék Online*,

http://epa.oszk.hu/02000/02099/00003/pdf/EPA02099_Hulladek_Online_2012_01.pdf

(2019.09.16.)

Nasrullah, M (2015) Material and energy balance of solid recovered fuel production, Aalto Universitychool of Chemical Technology doctoral dissertation

<http://www.vtt.fi/inf/pdf/science/2015/S115.pdf>

(2019.09.16.)

Nasrullah, M. et al. (2015) Elemental balance of SRF production process: Solid recovered fuel produced from municipal solid waste, *Fuel*, 145, 1-11

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236114012800>

(2019.11.01.)

Országos Közszolgáltatási Hulladékgazdálkodási Terv OKHT (2017) Nemzeti Hulladékgazdálkodási Koordináló és Vagyonkezelő Zrt.

<https://nhkv.hu/ohkt-2017/>

(2019.11.01.)

Rada, E.C. és Ragazzi, M. (2014) Selective collection as a pretreatment for indirect solid recovered fuel generation, *Waste Management*, 34, 291–297

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X13005667>

(2019.11.01.)

Rotter, V.S. et al. (2004) Material flow analysis of RDF-production processes, *Waste Management*, 24, 1005–1021

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X04001394>

(2019.11.01.)

Saleem, W. et al. (2016) Latest technologies of municipal solid waste management in developed and developing countries: A review, *International Journal of Advanced Science and Research*, 1:10, 22-29.
<https://www.researchgate.net/publication/327780787>
(2019.11.01.)

Sarc, R. és Lorber, K.E. (2013) Production, quality and quality assurance of Refuse Derived Fuels (RDFs), *Waste Management*, 33, 1825–1834.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X13002134>
(2019.11.01.)

Sarkady A. et al. (2014) RDF, Refuse Derived Fuel, Possibilities in the North-Balaton Regional waste management system, *Pollack Periodica An International Journal for Engineering and Information Sciences*, 9, 23–30.

Soyez, K. (2003) Material flux management of waste by mechanical-biological pre-treatment, Ninth International Waste Management and Landfill Symposium S Margherita di Pula, Cagliari Italy, 6-10 October

Thiel, S. és Thomé-Kozmiensky, J.K. (2010) Mechanical-biological pretreatment of waste, Hope and reality, *Papers and Proceedings of the ISWA World Congress 2010 – Urban Development and Sustainability – a Major Challenge for Waste Management in the 21th Century*, Hamburg, Germany 15.-18. November, 1-16.

A short review on wood liquefaction and bio derived foams from liquefied wood

Zsolt Hodgyai^{1*}, Zoltán Pásztory¹

¹ Innovation Center, University of Sopron, 4. Bajcsy Zs. str. Sopron 9400 Hungary

* Corresponding author zsolt.hodgyai@gmail.com

Abstract: *The use of sustainable and renewable biomass can solve the problem of material shortages and reduce concerns about non-renewable energy resource. Wood can be chemically, thermally or with a thermochemical combination converted to liquid, and in this form can be utilized in bioenergy, chemical and other industries. For instance, liquefied wood can be used for heating, electricity, fuels, resins, polyurethane foams. In this review we attempt to introduce a short history, as well as the current research related to wood liquefaction. Furthermore, this paper discusses the potential application of polyurethane foams made from liquefied wood, as a bio-based material for insulation panels and bio plastics.*

Keywords: wood waste utilization, wood liquefaction, polyurethane, organic polymers, polyols

1. Overview history of liquefaction

The researchers began study the liquefactions in the 1920s. For the first time Fierz reported the liquefaction of wood and coal (Fierz, 1925). By the middle of the last century, it have been already known that the fossil fuels are finite. For the first time in 1944 Berl described how to convert plant materials into oils (Berl, 1944). The first significant results have been achieved in the 1970s during the first oil crises (Appell et al., 1971). The crisis rudely awakened the industrial world to the dependence on cheap fossil energy (Campbell and Laherrère, 1998). Therefore the search for alternatives has begun vigorously. The researches were continuing, because the depletion of the world's fossil energy source and environmental pollution are even more significant problem nowadays. Therefore those researches are about the conversion of lignocellulosic biomass is extremely significant (Limayem and Ricke, 2012). The lignocellulosic biomass includes residues from agro-plantations, forests, agro-industrial processes, and other plant resources. These wastes can be used by direct combustion, burning fuel to generate steam and electricity or by fermentation for bioethanol product or it can be liquefied for intermediate chemical products utilized by, for example the chemical industry, the food industry and many cases other industries (Pawelzik et al., 2013). Researches on the utilization of biomass as chemical raw material have begun in parallel with biomass oil research in 1970s. The polymers of wood could serve as a raw material for most plastics (Goldstein, 1975). In the early 1990s considerable effort was made in Japan to find an effective method. The researchers found solvolysis method proper, that's why they used many different solvents. In general, organic solvents have been used primarily, for example methanol, ethanol, ethylene glycol, propylene glycol and phenols (Yamada et al., 2007). Hesse and Jung (1980) patented a simple wood liquefaction process using phenol in the presence of H₂SO₄. This method was further developed by Ono et al. (Ono and Sudo, 1989; Ono et al., 1996). Shiraishi et al. (2000) used polyhydric alcohols such as polyethylene glycol (PEG) and glycerine such us liquefying reagents in an acidic medium, at 150°C, atmospheric pressure. Today this last method is called wood liquefaction. Yamada and Ono describes the behaviour of cellulose during liquefaction using ethylene glycol and characterized the liquefaction of lignocellulosics with polyhydric alcohol (Yamada and Ono ,2001). So, the use of biomass was developed

two main directions in the course of history: the renewable energy use and the green elementary substance.

2. Current research on wood liquefaction

Nowadays, the liquefaction of biomass is considered an effective method, but some results reveal further questions. The composition of water-insoluble solids from liquefaction of oil palm stem was investigated in several cases. These components had a relatively high average molecular weight and polydispersity. The certain residues of the liquids (lignin and humins) have dissolved into the structure (Choowang et al., 2019). Several studies were investigated the different aspects of liquefaction process. Hemicellulose was the most susceptible component to liquefaction among the three cell wall components, followed by the lignin and cellulose (Xi et al., 2018; Li et al., 2015; Zhang et al., 2014). However, the orderly regions of cellulose remained for a longer time, nevertheless, finally succeeded the highly stable regions of the cellulose partial degradation (Jasiukaityte et al., 2009). Acid catalyst was searched for the most optimal. It was found that, sulphuric acid was the optimal catalyst when glycerol was used as solvent. According to research the water content was a significant factor affecting the liquefaction time when an acid was used as the catalyst (Xi et al., 2018). In other research showed that, the simultaneous conversion of carbohydrates and lignin is feasible. The liquefaction products were separated into fractions according to different molecular weight distributions, so it can be used as high value-added chemicals (Zhai et al., 2018; Yamada et al., 2007; Yamada and Ono, 2001). It was established that, viscosity of liquid is independent of the wood species if the liquid ratios are adequate. However, the effectiveness of liquefaction is strongly dependent on the wood species (Kumar et al., 2018). The efficiency of the liquefaction was studied and the results showed that the mechanical ultra-fine grinding of poplar is an effective pre-treatment that can increase the reactivity during liquefaction. The yield and purity of the obtained target product were much higher (Zhai et al., 2019). Xie et al. (2012) used allylimidazolium ionic liquids for pines as liquefaction agent. The most optimal conditions were 80°C, 30 min, and the ratio of wood to liquor was 7:1. The liquefaction was nearly complete in this case. The liquefaction yield depends on the reaction temperature, the acid concentration and liquid ratio. Applying the optimal conditions is important otherwise the liquid yields will be lower (Zhang et al., 2011; Rezzoug and Capart, 2003). Characterization of the liquefaction residue provide a new approach for understand properties of the liquefaction reaction. The residual crystallinity index was higher than that of untreated wood particles and the phenolic wood ratio also increased slightly. The fibre bundles were reduced to small-sized bundles or even single fibres as the phenolic wood ratio increased from 1/1 to 3/1, which means that in the central lamella lignin was dissolved earlier than the cellulose (Pan et al., 2007). The liquefaction of wood can be characterized by the fractal geometry method. The surface fractal dimensions of the liquefied wood residues were between 2.27 and 2.30 at all liquefaction conditions. The surface fractal dimension was inversely related to liquefaction time, phenol-to-wood ratio, liquefaction temperature and the catalyst content (Zhang et al., 2012).

Polyurethane foams made of bio-polyols

The production of environmental friendly biodegradable plastics from lignocellulosic biomass is a promising solution today. The researches were showed that polyols and polyurethane foam produced from liquefied wood has good properties based on the acid and hydroxyl numbers (Lee and Lee, 2016, 2018; Lee et al., 2001). There was no significant difference in the thermal properties of the synthetic and bio-based polyurethane foams (Šercer et al., 2010), but the thermal stability of bio-based polyurethane foams increased when liquefaction bio-polyol with and without solid residue were used. The solid residue improved the thermal stability but had a negative effect on the number of urethane bonds. With increasing liquefaction temperature, the urethane bond density of biofoams decreased due to the decrease of hydroxyl number (Huang et al., 2018). The mechanical properties of the resulting foams improved when more polyols were added (Gosz et al., 2018). Polyurethane foams with appropriate mechanical properties can be produced with a suitable catalyst, surfactant, blowing agent, polymeric isocyanate and polyols from cork powder. The best-performing results were determined by the following circumstances: 160°C for 1 h; glycerol-to-PEG 400 ratio of 1:9; cork-to-solvent ratio of 1:6; and 3% H₂SO₄ catalyst addition (Esteves et al., 2017). It was found that the reaction temperature plays the most important role, followed

by the reaction time (Budija et al., 2009). Similar results were obtained for liquefied bark foams as for wood-based foams (D'Souza et al., 2014). Foams with the best mechanical properties were found at 120 isocyanate indexes (Zheng et al., 2011). High liquefaction yield (97.47%) can be achieved by microwave heating in a short time (5 min). The higher yield ensures the suitable hydroxyl number, resulting in polyurethane foams with better mechanical properties (Xue et al., 2015; Xu et al., 2013; Pan et al., 2012; Zheng et al., 2011b). The liquefaction polyols of hardwood residue could partially substitute the petroleum polyols for synthesize PU foams and the substitution can reach 12% (Bernardini et al., 2014). The increasing amount of hardwood residue increased the density and compressive strength of foams, but at higher concentration it has a negative effect on them (Xianzhe et al., 2015). The biodegradability of bio-polyols based polyurethane foams was studied by soil burial for a period of 12 months. The results showed that the addition of liquefied wood could accelerate the degradation (Zhang et al., 2013). High viscosity liquefied wood produces a stiffer polyurethane film than low viscosity. Increasing the viscosity also increases the density of the polyurethane crosslinking, which is a method for controlling mechanical properties with constant $[NCO] = [OH]$ ratio (Kurimoto et al., 2001; Kurimoto et al., 2000). Soft polyurethane foams can be used in car interiors and in the packaging industry (Cinelli et al., 2013). The liquefaction of softwood takes less time than hardwoods. Soft wood polyurethane is harder than hardwood, suggesting that lignin is the main influencing factor (Izumo and Fukushima, 2010).

Conclusion

This short overview showed the development of liquefaction from the beginning to the present day. This helped to understand the chemical processes, characteristics, influencing factors. In the early 2000s, it was possible to gather enough knowledge to bring the use of liquefaction to a higher level. Liquefied biomass is suitable for the production of various polyurethanes. Nowadays, the search for renewable alternatives has become more and more valuable, so these studies are important. The results show that the researches are promising; therefore it is worth to carry out further researches and to introduce already effective methods for the industry. Industrial application would facilitate rapid development so that environmentally conscious products can be achieved sooner.

Acknowledgement

The work was carried out as part of the „Sustainable Raw Material Management Thematic Network – RING 2017”, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 project in the framework of the Széchenyi 2020 Program. This project is supported by the European Union, co-financed by the European Social Fund.

References

1. Yamada T. and Ono H. (1999): Rapid liquefaction of lignocellulosic waste by using ethylene carbonate. *Bioresource Technology* (70): 61-67.
2. Fierz-David HE (1925) The liquefaction of wood and some general remarks on the liquefaction of coal. *Chem Ind Rev* (44): 942-944.
3. Berl E. (1944): Production of oil from plant material. *Science* (99): 309-312.
4. Appell H.R., Fu Y.C., Friedman S., Yavorsky P.M., Wender I. (1971): Converting organic wastes to oil. A Replenishable Energy Source. bureau of mines report of investigations.
5. Campbell C.J. and Laherrère J.H. (1998): The end of cheap oil. *Scientific American*: 78-83.
6. Limayem A. and Ricke S.C. (2012): Lignocellulosic biomass for bioethanol production: Current perspectives, potential issues and future prospects. *Progress in Energy and Combustion Science* (38): 449-467.

7. Pawelzik P., Carus M., Hotchkiss J., Narayan R., Selke S., Wellisch M., Weiss M., Wicke B. and Patel M.K. (2013): Critical aspects in the life cycle assessment (LCA) of bio-based materials - Reviewing methodologies and deriving recommendations. *Resources, Conservation and Recycling* (73): 211- 228.
8. Goldstein I.S. (1975): Potential for Converting Wood into Plastics. *Science* (189): 847-852.
9. Yamada T., Aratani M., Kubo S. and Ono H. (2007): Chemical analysis of the product in acid-catalyzed solvolysis of cellulose using polyethylene glycol and ethylene carbonate. *J Wood Sci* (53): 487-493.
10. Hesse, W. and Jung, A. (1980): Hardenable binding agents and their use. *Eur. Pat. Appl. EP43097; Chem. Abstr.* (96): 124804s.
11. Ono, H. and Sudo, K. (1989): *Japanese Pat. Appl.* 217070.
12. Ono, H., Yamada, T., Hatano, Y. and Motohashi, K. (1996): Adhesives from wastepaper by means of phenolation. *J. Adhesion* (59): 135-145.
13. Shiraishi N, Shirakawa K, Kurimoto Y (2000) Japanese patent JP3012296
14. Yamada T. and Ono H. (2001): Characterization of the products resulting from ethylene glycol liquefaction of cellulose. *J Wood Sci* (47): 458-464.
15. Choowang R., Lin J. and Zhao G. (2019): Composition of Water-insoluble Extract from Oil Palm Trunk Liquefaction Using Polyhydric Alcohol. *BioResources* (14): 943-953.
16. Xi D., Jiang C., Zhou R., Fang Z., Zhang X., Liu Y., Luan B., Feng Z., Chen G., Chen Z., Liu Q. and Yang S.Z. (2018): The universality of lignocellulosic biomass liquefaction by plasma electrolysis under acidic conditions. *Bioresource Technology* (268): 531-538.
17. Li G., Hse C. and Qin T. (2015): Wood liquefaction with phenol by microwave heating and FTIR evaluation. *J. For. Res.* 26(4): 1043-1048.
18. Zhang H., Yang H., Guo H., Huang C., Xiong L. and Chen X. (2014): Kinetic study on the liquefaction of wood and its three-cell wall component in polyhydric alcohols. *Applied Energy* (113): 1596-1600.
19. Jasiukaityte E., Kunaver M. and Strlic M. (2009): Cellulose liquefaction in acidified ethylene glycol. *Cellulose* (16): 393-405.
20. Zhai Q., Li f., Wang F., Xu J., Jian J. and Cai Z. (2018): Liquefaction of poplar biomass for value-added platform chemicals. *Cellulose* (25): 4663-4675.
21. Yamada T., Aratani M. and Kubo S. (2007): Chemical analysis of the product in acid-catalyzed solvolysis of cellulose using polyethylene glycol and ethylene carbonate. *J Wood Sci* (53): 487-493.
22. Kumar A., Sethy A. and Chauhan S. (2018): LIQUEFACTION BEHAVIOUR OF TWELVE TROPICAL HARDWOOD SPECIES IN PHENOL. *Maderas. Ciencia y tecnología* 20(2): 211-220.
23. Zhai O., Li F., Wang F., Feng J., Jiang J. and Xu J. (2019): Ultrafine grinding of poplar biomass: effect of particle morphology on the liquefaction of biomass for methyl glycosides and phenolics. *Cellulose* (26): 3685-3701.

24. Xie H.L., Wu Y.L., Huang J.H. and Zheng L.L. (2012): Study on Processing of Plantation Fir Scrap Liquefaction by Ionic Liquids. *Advanced Materials Research* (581-582): 160-163.
25. Zhang H.R., Pang H., Shi J., Fu T. and Liao B. (2011): Investigation of Liquefied Wood Residues Based on Cellulose, Hemicellulose, and Lignin. *Journal of Applied Polymer Science* (123): 850-856.
26. Rezzoug S.A. and Capart R. (2003): Assessment of wood liquefaction in acidified ethylene glycol using experimental design methodology. *Energy Conversion and Management* (44): 781-792.
27. Pan H., Shupe T.F. and Hse C.Y. (2007): Characterization of Liquefied Wood Residues from Different Liquefaction Conditions. *Journal of Applied Polymer Science* (105): 3739-3746.
28. Zhang Q., Ma E., Zhao G., Li Q. and Mao S. (2012): CHARACTERIZING WOOD LIQUEFACTION BY FRACTAL GEOMETRY APPROACH. *WOOD AND FIBER SCIENCE*, 44(4): 440-447.
29. Lee Y. and Lee E.Y. (2018): Thermochemical conversion of red pine wood, *Pinus densiflora* to biopolyol using biobutanediol-mediated solvolysis for biopolyurethane preparation. *Wood Sci Technol* (52): 581-596.
30. (Lee Y. and Lee E.Y. 2016): Liquefaction of Red Pine Wood, *Pinus densiflora*, Biomass Using Peg-400-Blended Crude Glycerol for Biopolyol and Biopolyurethane Production. *Journal of Wood Chemistry and Technology* (36): 353-364.
31. Lee S.H., Teramoto Y. and Shiraishi N. (2001): Biodegradable Polyurethane Foam from Liquefied Waste Paper and Its Thermal Stability, Biodegradability, and Genotoxicity. *Journal of Applied Polymer Science* (83): 1482-1489.
32. Šercer M., Raos P. and Sokele M.R. (2010): THERMAL PROPERTIES OF BIO- AND SYNTHETIC-BASED PUR FOAMS. *Int J Mater Form* 3(1): 535-538.
33. Huang X.Y., Hoop C.F.D., Peng X.P., Xie J.L., Qi J.Q., Jiang Y.Z., Xiao H. and Nie S.X. (2018): Thermal Stability Analysis of Polyurethane Foams Made from Microwave Liquefaction Bio-Polyols with and Without Solid Residue. *BioResources* 13(2): 3346-3361.
34. Gosz K., Kosmela P., Hejna A., Gajowiec G. and Piszczyk L. 2018: Biopolyols obtained via microwave assisted liquefaction of lignin: structure, rheological, physical and thermal properties. *Wood Sci Technol* (52): 599-617.
35. Esteves B., Dulyanska Y., Costa C., Vicente J., Domingos I., Pereira H., Pereira L.T.D. and Lopes L.C. (2017): Cork Liquefaction for Polyurethane Foam Production. *BioResources* 12(2): 2339-2353.
36. Budija F., Tavzes C., Kralj L.Z. and Petric M. (2009): Self-crosslinking and film formation ability of liquefied black poplar. *Bioresource Technology* (100): 3316-3323.
37. D'Souza J., Camargo R. and Yan N. (2014): Polyurethane Foams Made from Liquefied Bark-Based Polyols. *Journal of Applied Polymer Science* (40599): 1-10.
38. Zheng Z., Pan H., Huang Y. and Chung Y.H. (2011a): Bio-Based Rigid Polyurethane Foam from Liquefied Products of Wood in the Presence of Polyhydric Alcohols. *Advanced Materials Research* (168-170): 1281-1284.

39. Xue B.L., Wen J.L. and Sun R.C. (2015): Producing Lignin-Based Polyols through Microwave-Assisted Liquefaction for Rigid Polyurethane Foam Production. *Materials* (8): 586-599.
40. Xu J., Jiang J., Hse C.Y. and Shupe T.F. (2013): Preparation of Polyurethane Foams Using Fractionated Products in Liquefied Wood. *Journal of Applied Polymer Science* (40096): 1-7.
41. Pan H., Zheng Z. and Hse C.Y. (2012): Microwave-assisted liquefaction of wood with polyhydric alcohols and its application in preparation of polyurethane (PU) foams. *Eur. J. Wood Prod.* (70): 461-470.
42. Zheng Z., Pan H., Huang Y., Chung Y.H., Zhang X. and Feng H. (2011b): Rapid Liquefaction of Wood in Polyhydric Alcohols Under Microwave Heating and its Liquefied Products for Preparation of Rigid Polyurethane Foam. *The Open Materials Science Journal*, (5): 1-8.
43. Bernardini J., Anguillesi I., Coltelli M.B., Cinelli P. and Lazzeri A. (2014): Optimizing the lignin-based synthesis of flexible polyurethane foams employing reactive liquefying agents. *PolymInt* (64): 1235-1244.
44. Xianzhe L., Yingchun W., Yizhuan Z., Xiansu C., Yan Y. and Yanqiao J. (2015): Preparation of Biopolyols by Liquefaction of Hardwood Residue and Their Application in the Modification of Polyurethane Foams. *Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed.* 31(4): 918-924.
45. Zhang H., Pang H. and Zhang L. (2013): Biodegradability of Polyurethane Foam from Liquefied Wood Based Polyols. *J Polym Environ* (21): 329-334.
46. Kurimoto Y., Koizumi A., Doi S., Tamura Y. and Ono H. (2001): Wood species effects on the characteristics of liquefied wood and the properties of polyurethane films prepared from the liquefied wood. *Biomass and Bioenergy* (21): 381-390.
47. Kurimoto Y., Takeda M., Koizumi A., Yamauchi S., Doi S. and Tamura Y. (2000): Mechanical properties of polyurethane films prepared from liquefied wood with polymeric MDI. *Bioresource Technology* (74): 151-157.
48. Cinelli P., Anguillesi I. and Lazzeri A. (2013): Green synthesis of flexible polyurethane foams from liquefied lignin. *European Polymer Journal* (49): 1174-1184.
49. Izumo K. and Fukushima M. (2010): Influence of Wood Species on the Properties of Biopolyurethane Prepared from Liquefied Wood with Residue. *Journal of Applied Polymer Science* (118): 2109-2115.

CHEMICAL COMPOSITION ANALYSIS OF ALKALINE-HYDRODYNAMIC CAVITATION DELIGNIFIED *MISCANTHUS X GIGANTEUS* GRASS

Dániel Horváth, Dimitrios Tsalagkas, Zoltán Börcsök, Zoltán Pásztor^{*}
Innovation Center
University of Sopron

4. Bajcsy Zs. str. Sopron 9400 Hungary
pasztor.zoltan@uni-sopron.hu

Abstract: *A potential needful approach of satisfying market demand and simultaneously reducing the environmental impact caused by the pulp and paper industries, is the resource efficiency of fibrous agricultural residues. The objective of this work was to investigate the chemical composition of Miscanthus x giganteus stalks after their delignification treatment with a combined alkaline (potassium hydroxide) – hydrodynamic cavitation process. For comparison purposes, the measured chemical components were contrasted with the proportions of raw miscanthus chemical components obtained from the literature. Findings indicated that the suggested method resulted in a significant removal of lignin, whilst parallel amplifying the α -cellulose content in the treated miscanthus grass.*

Keywords: Agricultural residues, non-wood pulp, potassium hydroxide

1. Introduction

Nowadays, one of the most important topics in the European Commission is how to protect the environment and reduce the carbon emissions. The resource efficiency gain with the usage of renewable biological resources such as the agricultural residues, as a feedstock for bio-based applications could be a significant contribution on this direction. Scarlat et al. (2010) reported that annually between 86 to 133 M tonnes dry matter of sustainable agricultural residues, could be collected in EU27 area during a 10-year period (1998-2007), supplied mainly from the large agricultural countries like France, Germany, Romania, Spain, Italy, Poland and Hungary. These agricultural residuals can be exploited as sources in the fields of bioenergy and biorefinery, but also from traditional industries like papermaking production. Currently, most of pulp and paper production industries in Europe, use wood-based feedstock and the amount of non-wood pulp origin from agricultural residues is still very low (CEPI 2018). In contrast, China and India were leaders in the utilization of over 70% non-woods plants as raw materials for pulp production in terms of volume even from 1990s (Saijonkari-Pahkala 2001).

Several researchers have investigated the suitability of various non-wood pulps made from agricultural waste sources. For example switchgrass (Law et al. 2001), wheat straw (Deniz et al. 2004, Nasser et al. 2015), rice straw (Kaur et al. 2017, Rodríguez et al. 2008), rapeseed straw (Enayati et al. 2009, Hosseinpour et al. 2010, Mousavi et al. 2013, Tofanica et al. 2011), sugarcane bagasse (Khrstova et al. 2006), sunflower (Rudi et al. 2016), hibiscus family species like kenaf, okra and karkadeh (Saeed et al. 2017, Saikia et al. 1997), Johnson grass (Albert et al. 2011) and *Miscanthus x giganteus* (Ververis et al. 2004, Villaverde et al. 2011).

The alkaline pre-treatment is a prerequisite step for the lignin removal. Alkaline pre-treatment methods applying bases as reagents, such as sodium hydroxide (NaOH), calcium hydroxide (Ca(OH)₂) and potassium hydroxide (KOH) interact selectively on lignin removal without degrading carbohydrates and are more effective on the delignification of non-wood species. Although NaOH is the most commonly investigated alkali, some researchers have shown that KOH efficacy was more favourable or could indicate noticeable attention towards NaOH, even though it is more expensive (Paixão et al. 2016, Rodrigues et al. 2016, Sharma et al. 2013).

Hydrodynamic cavitation (HC) occurs in a jet of water flowing through a channel such as venturi tube, orifice plate, or rotor-stator assembly, whose geometries cause the appropriate static pressure variations. It is a dynamic process associated with a range of physicochemical and mechanical effects caused by the generation, growth and finally implosion of cavitated micro-bubbles (Ozonek 2012). The usefulness of HC and principally alkaline assisted HC as pre-treatments of lignocellulosic biomass to enhance delignification (Baxi and Pandit 2012) and improve enzymatic hydrolysis and saccharification has already been demonstrated (Kim et al. 2015, Hilares et al. 2017, Patil et al. 2016).

Briefly, during cavitation, water molecules dissociate into $\text{OH}\cdot$ and $\text{H}\cdot$ radicals and under these alkaline conditions, hydrogen peroxide (H_2O_2) compound is formed. Following, hydroperoxyl anions ($\text{HOO}\cdot$), react with H_2O_2 and dissociate into hydroxyl ($\text{OH}\cdot$) and superoxide ($\text{O}_2\cdot$) radicals. These $\text{OH}\cdot$ radicals' outcomes the degradation of lignin side - chains which are subjected to oxidation reactions and their removal from plant cell walls, due to H_2O_2 . H_2O_2 is a widely used chemical as a bleaching agent in the pulp and paper industry process.

The main target of this study was to analyse the effect of the combined alkaline-hydrodynamic cavitation on the chemical composition of *Miscanthus x giganteus* stalks and to further verify the efficacy of this treatment.

2. Materials and methods

2.1. Fibrous raw materials treatment

The raw material of this research, *Miscanthus x giganteus* stalks, from farms located in parts of Hungary (Energianoveny Ltd). Initially, MGS were air-dried and cut up to 5 mm length using a laboratory wood grinder machine and stored. Aqueous alkaline solution of 0.3 M KOH was prepared by dissolving KOH flakes in tap water, as a first step of lignin removal. 0.5 kg oven dried (o.d.) chopped MGS was added to the alkali solution for 48 h at room temperature, so that the concentration of solids in the slurry was 7% w/w. During the alkaline treatment the slurry was discontinuous disintegrated four times, every twelve hours by using a standard laboratory disintegrator at a speed of 2,500 rpm, for five minutes (12,500 revolutions). The disintegrator process during these two days resulted in further softening and liberation of the raw MGS fibers. After the 48 hours, the alkaline treated slurry was further diluted to 2% and was mechanically disintegrated by using a valley (Hollander) beater continuously for 20 min, prior to cavitation process.

2.2. Hydrodynamic cavitation equipment and parameters

HC was employed as a mechanical means to strengthen the delignification rate and improve the efficiency of the alkaline pre-treated miscanthus stalks. Thus, the alkaline disintegrated miscanthus slurry was further processed with the assistance of a HC device in a similar manner as indicated by Badve et al. (2014) and Patil et al. (2016).

An experimental HC system mainly consists of a holding tank, the cavitation device (or reactor) with the centrifugal pump, valves and a piping circulation system. The cavitation device used for the generation of HC was a rotor and stator assembly. The diameter of the rotor is 19 cm with diameter to height ratio as 1.9; and this rotor is contained in a cylinder with diameter of 21 cm. The gap between the stator and the rotor is 10 mm and it is fixed. On the surface of the rotor, there are a total of 204 indentations, equidistant from each other, which are responsible for the generation of cavitating conditions. Each indentation is 12 mm in diameter and 20 mm deep (Figure 1). Experiments were performed at a rotor rotational speed of 2,200 rpm at a total cavitation time of 20 min. All the experiments were performed with tap water at room temperature. The miscanthus to liquid ratio (consistency) was further diluted to 0.5%. Alkaline solution was passed through the cavitation area in a continuous fashion, under constant stirring.

2.3. Chemical composition analysis

The rejected miscanthus fibers, retained from the Somerville screen were used for the determination of chemical components of the treated MGS after alkaline and HC treatments. For chemical analysis, a portion of MGS fibers was ground in a Wiley mill and screened (Fritsch Analysette 3 Pro, Germany) to obtain a uniform particle size of 40-60 mesh. The 1% sodium hydroxide solubility, water solubility and ash content

were obtained following the TAPPI T212 om-02, TAPPI T207 cm-08 and TAPPI T211 om-02 standards, respectively. Extractives free material was prepared after successive extraction in a Soxhlet apparatus by 100 ml ethanol for 4 h and then a mixture of 100 ml ethanol-cyclohexane (50:50) for another 6 h. Acid-insoluble lignin content was determined according to TAPPI T222 om-02. Holocellulose, α -cellulose and hemicelluloses content measurements were performed according to the analytical procedures reported by Kürschner-Hoffer (1929) and Rowell et al. (2012). At least two replicates were performed for each measurement.



Figure 1 The hydrodynamic cavitation device (left) and Miscanthus raw material (right)

3. Results and discussions

The chemical composition analysis of the alkaline – HC pre-treated MGS unbleached pulp determined in this work is summarized in Table 1. Typical values of raw, untreated *Miscanthus x giganteus*, and corresponding data from other studies, are also presented for sake of comparison. Table 1 shows, the acid-insoluble lignin contents (% based on dry weight) of the raw miscanthus are ranging from 24.1% – 30.9%, the holocellulose from 58.0 – 67.4%, the α -cellulose from 38.2% – 48.4% and hemicelluloses from 17.1% – 19.6%. Apparently in this study, the lignin content of treated MGS as expected was reduced by 34.02% – 48.54% while the holocellulose was increased by 33.24% – 14.66%, owing to the observed raise of α -cellulose content by 59.0% – 25.5%. Therefore, these results verified the efficacy of the suggested potassium hydroxide alkali combined with HC, as pre-treatments for removing lignin from miscanthus without severely interacting with its hemicelluloses. Assuming the 24.3% and 25.0% hemicelluloses contents as relatively extremes value compared to the other data, then the percentage decrease of hemicelluloses due to alkali reagent and cavitation effect was ranging from 7.0% to 17.1%.

Table 1 Chemical composition of alkaline – HC treated miscanthus – comparison with other raw miscanthus data reported in the literature (dry basis weight %).

References	Ash	Lignin	Hol	α -cell	Hem
Present study, treated MGS	5.36 (\pm 0.12)	15.90 (\pm 1.27)	77.28 (\pm 2.09)	60.75 (\pm 1.79)	15.90 (\pm 0.90)
de Vrije et al. 2002	2.0	24.1 (\pm 0.9)	62.5	38.2 (\pm 3.2)	24.3 (\pm 1.4)
Rodrigues et al. 2016	2.9 (\pm 0.56)	30.9 (\pm 0.61)	65.3	45.7 (\pm 4.79)	19.6 (\pm 0.90)
Vanderghem et al. 2012	2.4 (\pm 0.1)	23.0 (\pm 0.7)	67.4	48.4 (\pm 4.8)	19.0
Marín et al. 2009	3.2 (\pm 0.1)	21.7 (\pm 0.8)	75.7 (\pm 0.6)	51.0 (\pm 0.2)	25.2 (\pm 0.9)
Sørensen et al. 2008	5.9	25.0	58.0	40.0	18.0
Kim et al. 2012	n.a.	25.6	58.7	41.6	17.1
Ververis et al. 2004	1.7-2.1	26.7-28.5	n.a.	39.1-43.7	n.a.

Lignin: Acid-insoluble lignin; **Hol:** holocellulose; **α -cell:** α -cellulose; **Hem:** hemicelluloses; **n.a.:** not available

4. Conclusions

Non-wood plants are an important alternative source of fibres in the papermaking production. The proposed method, i.e. two days alkaline pre-treatment rating with potassium hydroxide, followed by 20 min hydrodynamic cavitation process was found to be efficient on the delignification of miscanthus grass. According to the measurements, lignin percentage of unbleached, treated *Miscanthus x giganteus* stalks was significantly reduced, while in contrast α -cellulose content was significantly increased.

5. Acknowledgements

The work was carried out as part of the „Sustainable Raw Material Management Thematic Network – RING 2017”, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 project in the framework of the Széchenyi 2020 Program. This project is supported by the European Union, co-financed by the European Social Fund.

6. References

- Scarlat, N., Martinov, M. & Dallemand, J.F., Assessment of the availability of agricultural crop residues in the European Union: Potential and limitations for bioenergy use. *Waste Management*, 30(10), pp. 1889-1897, 2010.
- CEPI – Confederation of European Paper Industries, Key Statistics Report 2017. Online. www.cepi.org, 2018.
- Sajjonkari-Pahkala, K., Non-wood plants as raw material for pulp and paper. Doctoral Dissertation, 2001. Online. <http://ethesis.helsinki.fi/julkaisut/maa/sbiol/vk/sajjonkari-pahkala/nonwoodp.pdf>
- Law, K.N., Kokta, B.V. & Mao, C.B., Fibre morphology and soda-sulphite pulping of switchgrass. *Bioresource Technology*, 77(1), pp. 1-7, 2001.
- Deniz, I., Kirci, H. & Ates, S., Optimisation of wheat straw Triticum drum kraft pulping. *Industrial Crops and Products*, 19(3), pp. 237-243, 2004.
- Nasser, R.A., Hiziroglu, S., Abdel-Aal, M.A., Al-Mefarrej, H.A., Shetta, N.D. & Aref, I.M., Measurement of some properties of pulp and paper made from date palm midribs and wheat straw by soda-AQ pulping process. *Measurement*, 62, pp. 179-186, 2015.
- Kaur, D., Bhardwaj, N.K. & Lohchab R.K., Prospects of rice straw as a raw material for paper making. *Waste Management*, 60, pp. 127-139, 2017.
- Rodríguez, A., Moral, A., Serrano, L., Labidi, J., & Jiménez, L., Rice straw pulp obtained by using various methods. *Bioresource Technology*, 99(8), pp. 2881-2886, 2008.
- Enayati, A.A., Hamzeh, Y., Mirshokraie, S.A. & Molaii, M., Papermaking potential of canola stalks. *Bioresources*, 4(1), pp. 245-256, 2009.
- Hosseinpour, R., Fatehi, P., Latibari, A.J., Ni, Y.H. & Sepiddehdam, S.J., Canola straw chemimechanical pulping for pulp and paper production. *Bioresource Technology*, 101(11), pp. 4193-4197, 2010.
- Mousavi, S.M.M., Hosseini, S.Z., Resalati, H., Mandavi, S. & Garmaroody, E.R., Papermaking potential of rapeseed straw, a new agricultural-based fiber source. *Journal of Clean Production*, 52, pp. 420-424, 2013.
- Tofanica, B.M., Cappelletto, E., Garvilescu, D. & Mueller, K., Properties of rapeseed (*Brassica napus*) stalks fibers. *Journal of Natural Fibers*, 8(4), pp. 241-262, 2011.
- Khristova, P., Kordsachia, O., Patt, R., Karar, I., & Khider, T., Environmentally friendly pulping and bleaching of bagasse. *Industrial Crops and Products*, 23(2), pp. 131-139, 2006.

- Rudi, H., Resalati, H., Eshkiki, R.B. & Kermanian, H., Sunflower stalk neutral sulphite semi-chemical pulp: an alternative fiber source for production of fluting paper. *Journal of Cleaner Products*, 127, pp. 562-566, 2016.
- Saeed, H.A.M., Liu, Y., Lucia, L.A. & Chen, H.L., Suitable approach using agricultural residues for pulp and paper manufacturing. *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, 32(4), pp. 674-682, 2017.
- Saikia, C.N., Goswami, T. & Ali, F., Evaluation of pulp and paper making characteristics of certain fast growing plants. *Wood Science and Technology*, 31(6), pp. 467-475, 1997.
- Albert, S., Padhiar, A. & Gandhi, D., Fiber properties of Sorghum halepense and its suitability for paper production. *Journal of Natural Fibers*, 8(4), pp. 263-271, 2011.
- Ververis, C., Georghiou, K., Christodoulakis, N., Santas, P. & Santas, R., Fiber dimensions, lignin and cellulose content of various plant materials and their suitability for paper production. *Industrial Crops and Products*, 19 (3), pp. 245-254, 2004.
- Villaverde, J.J., Ligeró, P. & de Vega A., Applicability of short totally chlorine free bleaching sequences to *Miscanthus x giganteus* organosolv pulps. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 50(17), pp. 9847-9851, 2011.
- Paixão SM, Ladeira SA, Silva TP, Arez BF, Roseiro JC, Martins MLL, Alves L (2016) Sugarcane bagasse delignification with potassium hydroxide for enhanced enzymatic hydrolysis. *RSC Advances* 6 (2): 1042-1052
- Rodrigues, C.I.S., Jackson, J.J., & Montross, M.D., A molar basis comparison of calcium hydroxide, sodium hydroxide, and potassium hydroxide on the pretreatment of switchgrass and miscanthus under high solids conditions. *Industrial Crops and Products*, 92, pp. 165-173, 2016.
- Sharma, R., Palled, V., Sharma-Shivappa, R.R. & Osborne, J., Potential of potassium hydroxide pretreatment of switchgrass for fermentable sugar production. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 169(3), pp. 761-772, 2013.
- Ozonek, J., *Application of Hydrodynamic Cavitation in Environmental Engineering*. 1st ed., CRC Press: Taylor and Francis Group, London, pp. 1-7, 2012.
- Baxi, P.B. & Pandit, A.B., Using cavitation for delignification of wood. *Bioresource Technology*, 110, pp. 697-700, 2012.
- Kim, I., Lee, I., Jeon, S.H., Hwang, T. & Han, J.I., Hydrodynamic cavitation as a novel pretreatment approach for bioethanol production from reed. *Bioresource Technology*, 192, pp. 335-339, 2015.
- Hilares, R.T., Ienny, J.V., Marcelino, P.F., Ahmed, M.A., Antunes, F.A.F., da Silva, S.S. & dos Santos, J.C., Ethanol production in a simultaneous saccharification and fermentation process with interconnected reactors employing hydrodynamic cavitation-pretreated sugarcane bagasse as raw material. *Bioresource Technology*, 243, pp. 652-659, 2017.
- Patil, P.N., Gogate, P.R., Csoka, L., Dregelyi-Kiss, A. & Horvath M., Intensification of biogas production using pretreatment based on hydrodynamic cavitation. *Ultrasonics Sonochemistry*, 30, pp. 79-86, 2016.
- Badve, M.P., Gogate, P.R., Pandit, A.B. & Csoka, L., Hydrodynamic cavitation as a novel approach for delignification of wheat straw for paper manufacturing. *Ultrasonics Sonochemistry*, 21(1), pp. 162-168, 2014.
- TAPPI T207 cm-08 Water solubility of wood and pulp. Technical Association of the Pulp and Paper Industry, Norcross, USA.

TAPPI T212 om-02 One percent sodium hydroxide solubility of wood and pulp. Technical Association of the Pulp and Paper Industry, Norcross, USA.

TAPPI T211 om-02 Ash in wood, pulp, paper and paperboard: combustion at 525 °C. Technical Association of the Pulp and Paper Industry, Norcross, USA.

TAPPI T222 om-02 Acid-insoluble lignin in wood and pulp. Technical Association of the Pulp and Paper Industry, Norcross, USA.

Kürschner, K. & Hoffer, A., Ein neues verfahren zur bestimmung der cellulose in hölzern und zellstoffen. *Technologie und Chemie der Papier – und Zellstoff – Fabrikation*, 26, pp. 125-129, 1929.

Rowell, R.M., Pettersen, R. & Tshabalala, M.A., *Cell Wall Chemistry: Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*, CRC Press, New York, pp. 33-74, 2012.

de Vrije, T., de Haas, G.G., Tan, G.B., Keijsers, E.R.P. & Claassen, P.A.M., Pretreatment of *Miscanthus* for hydrogen production by *Thermotoga elfii*. *International Journal of Hydrogen Energy*, 27(11-12), pp. 1381-1390, 2002.

Vanderghem, C., Brostaux, Y., Jacquet, N., Blecker, C. & Paquot, M., Optimization of formic/acetic acid delignification of *Miscanthus x giganteus* for enzymatic hydrolysis using response surface methodology. *Industrial Crops and Products*, 35(1), pp. 280-286, 2012.

Marín, F., Sanchez, J.L., Arauzo, J., Fuertes, R. & Gonzalo, A., Semicheical pulping of *Miscanthus giganteus*. Effect of pulping conditions on some pulp and paper properties. *Bioresource Technology*, 100(17), pp. 3933-3940, 2009.

Sørensen, A., Teller, P.J., Hilstrom, T. & Ahring, B.K., Hydrolysis of *Miscanthus* for bioethanol production using dilute acid pre-soaking combined with wet explosion pre-treatment and enzymatic treatment. *Bioresource Technology*, 99(14), pp. 6602-6607, 2008.

Kim, S.J., Kim, M.Y., Jeong, S.J., Jang, M.S. & Chung, I.M., Analysis of the biomass content of various *Miscanthus* genotypes for biofuel production in Korea. *Industrial Crops and Products*, 38, pp. 46-49, 2012.

RESEARCH ACTIVITIES AT INNOVATION CENTER AND PULP AND PAPER INSTITUTE RELATED TO BIOMASS UTILIZATION

Zoltán Pásztor^{1*}, Zoltán Börcsök¹, Dimitrios Tsalagkas¹, Katalin Halász², Levente Csóka²

¹Innovation Center, ²Institute of Cellulose and Paper Technology
University of Sopron

4. Bajcsy Zs. str. Sopron 9400 Hungary
pasztor.zoltan@uni-sopron.hu

Abstract: *This review provides a short outline of the recent published and unpublished investigations carried out on the bio-based focused research, implemented at the Innovation Center and Institute of Cellulose and Paper Technology at University of Sopron. In this paper we attempted to summarize their methodology, main results and outcomes prompt by our studies. The first part describes the investigation efforts on the utilization of bark residues as a raw material for the manufacturing of thermal insulations panels. The second part is focused on the delignification of agricultural residues through an alkaline-hydrodynamic cavitation and examines their exploitation in pulp and bioenergy production. Finally, the third part presents studies related to the fabrication of nanocellulose films and composites.*

Key words: resource efficiency, bio-based insulation, hydrodynamic cavitation, nanocellulose

1. Introduction

Forests and other wooded lands cover over 40% of the EU's land area, with a great biodiversity. The forest-based industries in Europe provides society with a wide variety of products and services and include: (i) the wood working industries, (ii) pulp and paper industries and (iii) multi-product integrated bio-refineries. The most significant sub-sector is the woodworking sector [sawmilling, planning and wood impregnation (12%), furniture (41%)] and other woodworking industries (47%) which had a turnover of €129 billion in 2015, employed more than one million people in around 170,000 small and medium-enterprise companies. Additionally, 120,000 companies were active in the furniture domain. The second largest sub-sector i.e. the pulp and paper industry, was comprising of around 700 enterprises with an estimated turnover of € 81 billion in 2016, by employing about 175,000 people (Forest-based Sector Technology Platform 2019). The bioeconomy covers all sectors and systems that rely on biological resources (animals, plants, micro-organisms and derived biomass, including organic waste), their functions and principles (EC 2018a). Several EU policies and initiatives have an impact on the bio-based economy. The EU Bioeconomy strategy (Figure 1) and as part of it, forest-based roadmap directions targeted in a bio-based society is built on various pillars, covering numerous approaches and areas such as: sustainable forest management and forest protection; ensuring food security; social, economic and environmental considerations; mitigating and adapting to climate change; investments in research, innovation and skills; education and training; reinforced policy interaction and stakeholder engagement; enhancement of markets and strengthening European competitiveness; rural development, creation of jobs and economic growth; resource efficiency and reduced dependence on non-renewable resources; sustainable production and consumption of forest products; testing, standardization and certification (EC 2013; EC 2018a; Pelli et al. 2017).



Figure 1 Bioeconomy strategy graph (EC, 2018a) and biobased UN sustainable development goals (Biobased Industries Consortium, 2018)

During the past few decades, the concepts of sustainability, bioeconomy, biobased economy, circular economy, green economy have appeared as frameworks for the visions and strategic orientations of the forest-based industries (Hurmekoski et al. 2019; Pelli et al. 2017). In a relatively recent report from the EU (EC 2011), are given the following definitions regarding to bio-based and bioeconomy concepts: ‘... a bio-based economy integrates the full range of natural and renewable biological resources, land and sea resources, biodiversity and biological materials (plant, animal and microbial), through to the processing and the consumption of these bio-resources. The bioeconomy encompasses the agriculture, forestry, fisheries, food and biotechnology sectors, as well as a wide range of industrial sectors, ranging from the production of energy and chemicals to building and transport...’. Mubareka et al. (2016) describe another similar definition related to bio-based economy as stated in one of EC publications, and determine it as one using ‘... production paradigms that rely on biological processes and, as with natural ecosystems, use natural inputs, expend minimum amounts of energy and do not produce waste as all materials discarded by one process are inputs for another process and are reused in the ecosystem.’

The EU’s wood-based industries cover a range of forestry downstream activities, including the traditional woodworking industries, furniture and building construction industries, pulp and paper manufacturing and cellulose based applications and especially multi-product biomass innovative, value-added products such as biorefineries. A key factor in the transition to a bio-based economy is the growth of biorefinery systems. Biorefineries in a general perspective include as examples the production of bio-textiles, bio-chemicals, bio-lubricants, bio-surfactants, bio-pharmaceuticals, bio-adhesives, bio-plastics, 3D printing and flexible electronics etc. products, as well the bio-technology (enzymes etc.) and bioenergy (biofuels, biogas, heat and/or electricity) (Scarlat et al. 2015).

The scope of this review is to present a brief summary of the near past and ongoing research and further to describe a few experimental case studies, conducted from the Innovation Center and Institute of Cellulose and Paper Technology research groups, based on the Simonyi Károly Faculty of Engineering, Wood Sciences and Applied Arts at the University of Sopron.

2. Bark utilization as insulation panels

The circular economy is an economic system in which ‘the valuable products, materials and resources is maintained in the economy for as long as possible, or by enabling the circular economy actions plans with the processing of side-streams, residues and wastes into new value chain products. This can be achieved for instance by minimizing and/or recovering the generation of agricultural and forestry biomass waste and residues, and simultaneously maximizing their resource efficiency, recycling and reuse, i.e. ‘circularity’. Key innovations in the wood working sector among others include the cascading use of wood industries residues (e.g. small diameter roundwood, sawdust and chips, thinnings, bark, tree tops and branches) as feedstocks in the manufacture of wood pulps and biorefineries, wooden packaging, or wood based panels such as thermal, acoustic and vibration insulation boards (EC 2018a; EC 2018b).

Each year, a huge amount in million tons of bark remains as a residual woody biomass in sawmills and wood-based industries. During 1960s, Martin (1963) investigated the bark thermal properties of three pines and seven hardwood specimens, and he was shown that bark specimens indicated lower thermal conductivity values compared to similar density wood specimens. Lately, Kain et al. (2013, 2018) have been investigating the utilization of usually low-density spruce and larch bark particleboards as thermal insulation panels. Likewise, Pásztor et al. (2017) investigated the effect of black locust size particles (fine fraction: 1-8mm; medium fraction: 8-13 mm; and coarse fractions: 13-45 mm) on the thermal conductivity values of 20 mm thickness and 300 kg m⁻³ density particleboards (Figure 2a). As shown by the results, the bark particles sizes had no significant effect on the mean thermal conductivity values (~ 0.065 W/m·K) of the black locust panels and was found to be in consistence with other relevant studies.

One of the main obstacles on the fabrication of bark particleboards, is the weak mechanical properties observed on the manufactured end products of wood-based panels or composites. A potential solution to overcome this issue, could be their reinforcement with synthetic polymer fibres such as glass fibres. Therefore, the objective of a research conducted in our laboratory facilities was to examine the mechanical strength reinforcement of three commercial fibreglass types (GFRP) overlaid on both surface of bark-based boards, and their potential usage as insulation panels in building construction (Figure 2b).



Figure 2 Black locust bark panels (a) and overlaid GFRP panels (b)

The mean modulus of rupture (MOR) values of the control panels was calculated to be 0.54 MPa, while the mean MOR of fibreglass mesh 2.54 MPa, the mean MOR of fibreglass mat 2.82 MPa and the mean MOR of fibreglass woven fabric 4.45 MPa, which represent a percentage raise of 370%, 422% and 724%, respectively. The measured thermal conductivity mean values were ranging from 0.067 to 0.074 W/m·K (Tsalagkas et al. 2019).

3. Agricultural residues as a feedstock for pulp

Alkaline assisted hydrodynamic cavitation has been testified to be an effective process for the delignification and enhancement of enzymatic digestibility of grass agricultural residues biomass for converting it into biofuels such as bioethanol or biogas. Cavitation is the process of the generation, growth and violent collapse of million vapor micro-bubbles within a few microseconds in the bulk of a liquid. This collapse is strong enough to generate high temperature and pressure conditions and induce chemical and physical transformations in the material (Baxi and Pandit 2012; Hilaes et al. 2016; Patil et al. 2016).

Part of current research conducted in our groups, deals with the delignification of agro-waste such as wheat straw (Badve et al. 2014) or *Miscanthus x giganteus* stalks and other agricultural residues, through the combination of an alkaline-hydrodynamic cavitation approach for the production of papermaking pulps (Figure 3).

It was clearly shown from Badve et al. (2014) that as cavitation parameters, i.e. treatment time and rotation speed was increased, tensile index of the wheat origin paper handsheets was linearly increased. Furthermore, as the wheat to 0.3 M KOH aqueous suspension consistency ratio was increased from 5% to 7% the tensile index was increased by 50%, while grass chemical components distribution where altered too. More specifically, lignin content of alkaline-HC treated miscanthus grass was found to be 15.90% (dry basis weight) and holocellulose content 77.28% - comprised of 60.75% α -cellulose and 15.90% hemicelluloses content - at 7% miscanthus to suspension consistency and 20 min cavitation time at a rotation speed of 2,500 rpm. This effect can be attributed to the enhance of surface velocities generation, i.e. the growth of cavitation intensity and the formation of more reactive hydroxyl radicals (OH·) as the cavitation conditions (rotation speed and time) was increased, which in turn resulted to a raise on the overall delignification rate.



Figure 3 Hydrodynamic cavitation device and agro-waste paper handsheets

4. Cellulose and nanocellulose related investigation

The significance and importance of cellulose and cellulose derived materials is depicted by the numerous publications and ongoing research projects due to their environmental, chemical, physical, barrier and mechanical properties. These can be used in heterogeneous shapes and forms as reinforcement fillers, films, aerogels, hydrogels, filaments, hybrid nanocomposites in various fields including biomedicine and cosmetics, electronic/smart material devices, food packaging industries, in pulp and paper industry and even automotive and aerospace industry (Nechyporchuk et al. 2016).

Poly(lactic acid) (PLA) is a commonly used biodegradable, bioplastic which is used extensively in the packaging industry. However, one of its bottlenecks is its unsuitability for storing liquid products due to its high water vapor and gas permeability. Halász et al. (2015) achieved to reduce the water vapor transmission rate of PLA bottles and films, and to extend their shelf-life time by almost 1/3, through a chitosan (CH)-cellulose nanocrystals (CNCs) nanocoating applied by a self-assembly, electrostatic layer-by-layer (LbL) deposition method. The four times bilayer impregnating CH-CNCs coating was found to be more efficient compared to eight times CH-CNCs LbL technique, as it illustrated in Figure 4.

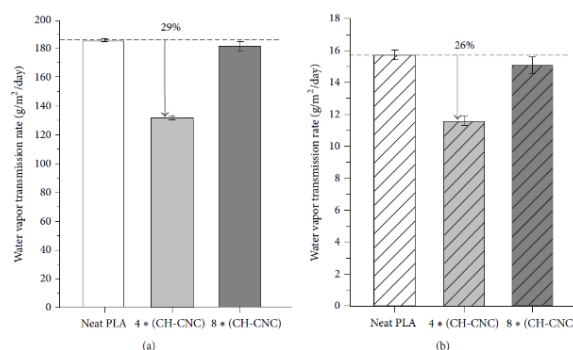


Figure 4 Water vapor transmission rate of neat and CH-CNCs nanocoated poly(lactic) acid films (a) and bottles (b) through a LbL method

Khatri et al. (2014) functionalized bleached pine pulp fibres with previously saccharide (glucose, sucrose, starch and alginic acid) modified ZnO nanoparticles and then tested the suitability of the produced handsheets on the detection of blood types, besides their antibacterial and antifungal resistance (Figure 5). Bradford reagent was used as a media to quantify the degree of blood antibodies immobilization with the ZnO modified cellulose sheets. Results have shown that, especially the alginic acid ZnO impregnated handsheets, could successfully differentiate the retention degree of blood antibodies and identify the blood type at a percentage rate of about 95%.

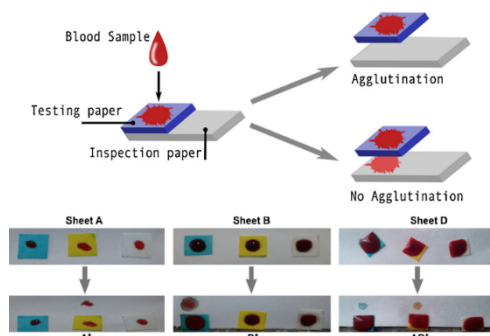


Figure 5 Schematic illustration and images of blood type detection tests with alginic acid ZnO impregnated pulp handsheets

In one of our previous studies, it was shown that sonication with an ultrasound horn is an efficient method of producing smooth, thin and relatively transparent BC films by a simple solvent casting method (Tsalagkas et al. 2016), which potentially could be used as substrates in smart applications such as piezoelectric energy harvesting or electric devices. Based on this study, Hosakun et al. (2018) assessed the potential of BC blend films incorporated with silk fibroin (SF), polyvinyl alcohol (PVA) and silver nanoparticles (Ag) as flexible organic light emitting diode (OLED) substrates (Figure 6). According to their findings, the most favorable films was the BF-SF-PVA-Ag since both PVA and Ag displayed synergistic effect on the final performance of the investigated films.

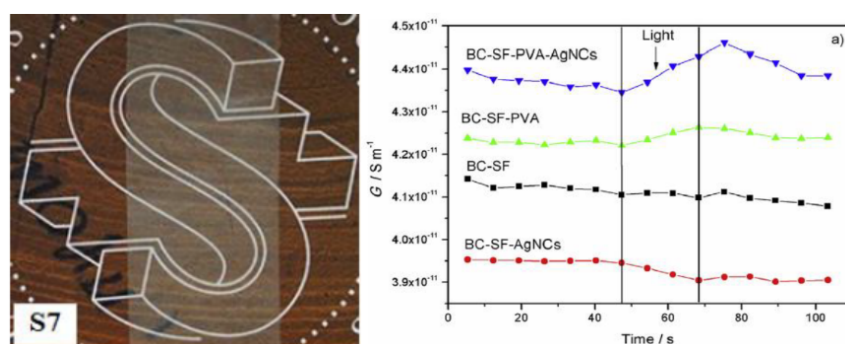


Figure 6 BC-SF-PVA-Ag films (left) and specific conductance (G) measurement of the overall films at 22 kHz as a function of time performed on an Agilent 4284 A (right)

5. Conclusion

The European Commission, through its continuous research funding opportunities, and strategic orientation policies, has already set the foundation for the accomplishment of a green, circular economy-based Europe by 2050. For the successful completion of this long-term targets, and in compliance with the recent results and developments as accomplished through the Horizon 2020 projects and several other funding sources, forest-based sector had an important share.

The transition from a fossil-based industrialization and dramatic climate change to a sustainable, low carbon and environmental impact, resource efficient, profitable and competitive economy with innovative, value added, bio-based products is a major challenge and still demands a lot of research and emergence of new technologies.

This paper reports the current and latest case studies related to the investigation of biomass utilization, within the concepts of bio-based economy and circular economy, implemented at the Innovation Center and Institute of Cellulose and Paper Technology at University of Sopron.

6. Acknowledgements

This work was supported by the ‘Sustainable Raw Material Management Thematic Network – RING 2017’, under grant EFOP-3.6.2-16-2017-00010 project in the framework of the Széchenyi 2020 Program. The realization of this project is supported by the European Union, co-financed by the European Social Fund.

7. References

Forest-based Sector Technology Platform (FTP), Vision 2040 of the European forest based sector. 2019. Online: <http://www.forestplatform.org/#!/pages/1>

European Commission, A sustainable Bioeconomy for Europe: Strengthening the connection between economy, society and the environment. 2018a.

European Commission, A new EU Forest Strategy: for forests and the forest-based sector. 2013.

Pelli, P., Haapala, A. & Pykäläinen, J., Services in the forest-based bioeconomy – analysis of European strategies. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 32(7), pp. 559-567, 2017.

Biobased Industries Consortium, Bioeconomy and the UN sustainable development goals. A view from the Bio-based Industries Consortium. 2018.

Hurmekoski, E., Lovrić, M., Lovrić, N., Hetemäki, L. & Winkel, G., Frontiers of the forest based bioeconomy – A European Delphi study. *Forest Policy and Economics* 102, pp. 86-99, 2019.

European Commission, Bio-based economy in Europe: state of play and future potential. 2011.

Mubareka, S., Jonsson, R., Rinaldi, F., Azevedo, J.C., de Rigo, D. & Sikkema R., Forest biobased economy in Europe. *European Atlas of Forest Tree Species*, EU, Luxemburg, pp. 20-24, 2016.

Scarlat, N., Dallemand, J-F., Monforti-Ferrario, F. & Nita, V., The role of biomass and bioenergy in a future bioeconomy: Policies and facts. *Environmental Development*, 15, pp. 3-34, 2015.

European Commission, Guidance on cascading use of biomass with selected good practices examples on woody biomass. 2018b.

Martin, R.E., Thermal properties of bark. *Forest Products Journal*, 13(10), pp. 419-426, 1963.

Kain, G., Barbu, M-C., Hinterreiter, S., Richter, K. & Petutschnigg, A., Using bark as a heat insulation material. *Bioresources*, 8 (3), pp. 3718-3731, 2013.

Kain, G., Lienbacher, B., Barbu, M-C., Senck, S. & Petutschnigg A., Water vapour diffusion resistance of larch (*Larix decidua*) bark insulation panels and application considerations based on numeric modelling. *Construction and Building Materials*, 164, pp. 308-316, 2018.

Pásztory, Z., Mohácsiné, I.R. & Börcsök, Z., Investigation of thermal insulation panels made of black locust tree bark. *Construction and Building Materials*, 147, pp.733-735, 2017.

Tsalagkas, D., Börcsök, Z. & Pásztory, Z., Thermal, physical and mechanical properties of surface overlaid bark-based insulation panels. *European Journal of Wood and Wood Products*, 77(5), pp. 721-730, 2019.

Baxi, P.B. & Pandit, A.B., Using cavitation for delignification of wood. *Bioresource Technology*, 110, pp. 697-700, 2012.

Hilares, R.T., dos Santos, J.C., Ahmed, M.A., Jeon, S.H., da Silva, S.S. & Han, J.I., Hydrodynamic cavitation assisted alkaline pretreatment as a new approach for sugarcane bagasse biorefineries. *Bioresource Technology*, 214, pp. 609-614, 2016.

Patil, P.N., Gogate, P.R., Csóka, L., Dregelyi-Kiss, A. & Horvath, M., Intensification of biogas production using pretreatment based on hydrodynamic cavitation. *Ultrasonics Sonochemistry*, 30, pp.79-86, 2016.

Badve, M.P., Gogate, P.R., Pandit, A.B. & Csóka, L., Hydrodynamic cavitation as a novel approach for delignification of wheat straw for paper manufacturing. *Ultrasonics Sonochemistry*, 21, pp. 162-168, 2014.

Nechyporchuk, O., Belgacem, M.N. & Bras, J., Production of cellulose nanofibrils: A review of recent advances. *Industrial Crops and Products*, 93, pp. 2-25, 2016.

Halász, K., Hosakun, Y. & Csóka, L., Reducing water vapor permeability of poly(lactic acid) film and bottle through Layer-by-Layer deposition of green-processed cellulose nanocrystals and chitosan. *International Journal of Polymer Science*, Article ID 954290, 2015.

Khatri, V., Halász, K., Trandafilović, L.V., Dimitrijević-Branković, S., Mohanty, P., Djoković, V. & Csóka, L., ZnO-modified cellulose fiber sheets for antibody immobilization. *Carbohydrate Polymers*, 109, pp. 139-147, 2014.

Tsalagkas, D., Lagaña, R., Poljanšek, I., Primož, O. & Csóka, L., Fabrication of bacterial cellulose thin films self-assemble from sonochemically prepared nanofibrils and its characterization. *Ultrasonics Sonochemistry*, 28, pp. 136-143, 2016.

Hosakun, W., Hosakun, Y., Dudić, D., Djoković, V. & Csóka, L., Dependence of mechanical and electrical properties of silver nanocubes impregnated bacterial cellulose-silk fibroin-polyvinyl alcohol films on light exposure. *Polymer Testing*, 71, pp. 110-114, 2018.

HULLADÉKBÓL SZÁRMAZTATOTT TÜZELŐANYAG SZEMCSEMÉRETE ÉS NEHÉZFÉMTARTALMA KÖZÖTTI ÖSSZEFÜGGÉS VIZSGÁLATA

Gyórfi Alexandra, Leitöl Csaba, Kiss Tibor

Mérnöki és Smart Technológiák Intézet, Környezetmérnök Tanszék,
Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar
7624 Pécs, Boszorkány út 2.
leitol.csaba@mik.pte.hu

Absztrakt: Magyarországon a mechanikai-biológiai hulladékkezelőkben előállított hulladékból származtatott tüzelőanyag piacán a kereslet és kínálat felborult. A kezelőknek érdekükké vált a jelenlegi technológiák fejlesztésével foglalkozni, azért, hogy egy minél jobb minőségű, piacképesebb tüzelőanyagot tudjanak előállítani a hasznosító cementgyárak és erőművek számára. A főbb minőségmeghatározó tulajdonságok között szerepel a hamutartalom, a fűtőérték, a klórtartalom és a nehézfém-tartalom. Kutatásunk során összefüggéseket kerestünk a hulladékból származtatott tüzelőanyag nehézfém-tartalma és a szemcsemérete között. Mérés eredményeink alapján megállapítható, hogy a legtöbb nehézfém esetében szemcseméret fordított arányosságban van a koncentrációval. Amely elemek esetében ez az állítás nem teljesül, ott az előfordulási hulladék fizikai és/vagy kémiai tulajdonságaival magyarázható lehet az eltérés. A kutatási eredményeinkről elmondható, hogy a magasabb szemcsemérettel rendelkező frakciónak körülbelül 75%-kal kevesebb az összes nehézfém-tartalma, mint a kisebb szemcsemérettel rendelkező frakciónak.

Keywords: mechanikai-biológiai hulladékkezelő, hulladékból származtatott tüzelőanyag, RDF, SRF, szemcseméret, nehézfém tartalom

1. Bevezetés

A hulladékból származtatott tüzelőanyagot (SRF) nagy mennyiségben állítják elő hulladékkezelő üzemekben szerte a világon. A mechanikai hulladékkezelés során a települési szilárd hulladékból (TSZH) leválasztásra kerülhetnek fémek, műanyagok, papírok újrahasznosítási céllal, illetve a kis szemcseméretű, magas szervesanyag-tartalommal bíró frakció, amely stabilizálásra kerül, a leválasztás után pedig SRF kerül előállításra. (Gallardo, A. et al., 2014) Az SRF-et különböző együtt-égető művekben használják fel fosszilis üzemanyagok helyettesítésére, a legmegfelelőbb lehetőség a cementgyárakban történő együttégetés, mivel itt az SRF felhasználható anélkül, hogy a végtermék minőségét befolyásolná. A hulladékból nyert tüzelőanyag általában papírból, műanyagból, textilből és egyéb éghető anyagokból tevődik össze. (Kara, M., 2012)

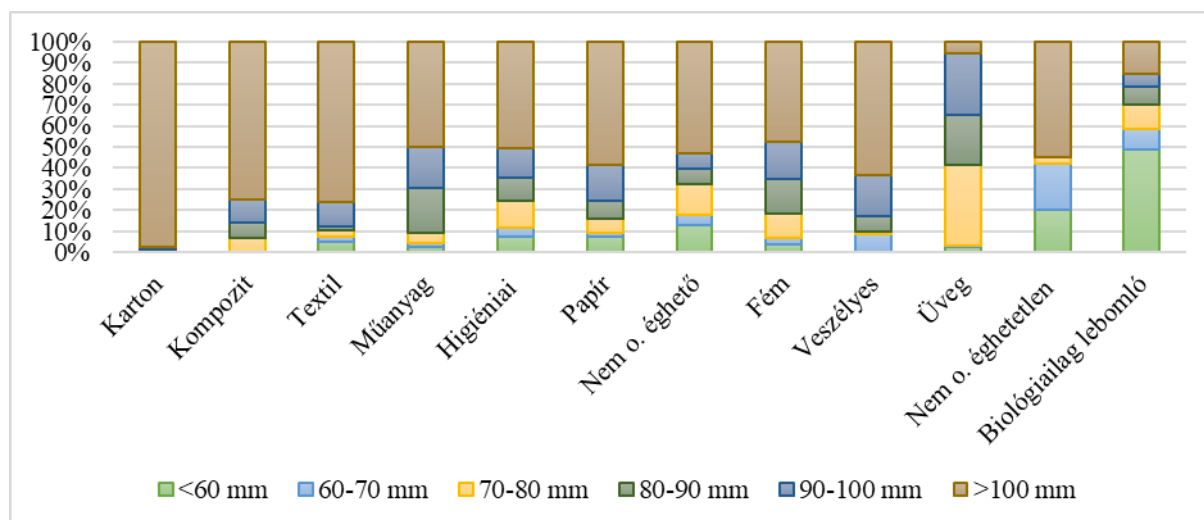
Energetikai hasznosítása számos előnnyel jár a nyers TSZH-hoz képest: magasabb fűtőérték, homogénebb (de homogénnek nem mondható) fizikai-kémiai összetétel, könnyebb tárolás, kezelés és szállítás illetőleg alacsonyabb szennyezőanyag-kibocsátás az égés során. (Zhao, L. et al., 2016) A felhasználásával kapcsolatban azonban még ennek ellenére is problémát jelenthet, hogy az égetés során a tüzelőanyagban található nehézfémek átalakulnak, és az energetikai hasznosítás során a keletkező füstgázba és hamuba kerülnek. Ezek esetében megfelelő ártalmatlanítási és kezelési eljárásokat kell alkalmazni a biztonságos és hatékony felhasználás érdekében, így jelentősen lekorlátozódik azon üzemek listája, ahol hasznosíthatják az SRF-et. (Samolada, M.C. et al., 2014)

Vizsgálataink alapanyaga a Pécs-Kökényi Regionális Hulladékkezelő Központban található mechanikai-biológiai hulladékkezelő műben (MBH) keletkező hulladékból nyert tüzelőanyag volt. A kezelőműben a régió maradék települési szilárd hulladékának kezelése történik. Ennek összetételét az 1. táblázat tartalmazza. A bemenő hulladékaromákat vizsgálva a hulladék összetétele több tényezőtől függ pl. település szerkezettől, életszínvonalától, vásárlói szokások változásaitól, vagy az évszakoktól és az időjárástól is. (Hegedűs A. et al. 2018; Leitöl Cs. 2016)

1. TÁBLÁZAT: A BEÉRKEZŐ MARADÉK TELEPÜLÉSI SZILÁRD HULLADÉK ÖSSZETÉTE 2019-BEN [M/M%]

Biológiailag lebomló	20,00 %
Papír	8,20 %
Karton	5,25 %
Kompozit	4,70 %
Műanyag	24,55 %
Textil	8,95 %
Üveg	2,90 %
Higiéniiai hulladék	3,30 %
Fém	5,05 %
Veszélyes hulladék	2,00 %
Nem osztályozott éghetetlen hulladék	0,45 %
Nem osztályozott éghető hulladék	2,80 %
Kis szemcseméretű hulladék	11,85 %

A beérkező hulladék összetétele, és az ahhoz kapcsolódó szemcseméret-eloszlás nagymértékben meghatározza a hulladék kezelési technológiájának kiválasztását, és ezáltal a kimeneti áramok minőségét és összetételét. (Faitli J. et al., 2019) A telepen található MBH-ba érkező hulladék anyagfajta szemcseméreteloszlását megnézve jól látszik, hogy a 60 mm lyukátmérőjű dobroszta rosta felső frakciójában található anyagok nagy része éghető, azonban jelentős százalékban fém, veszélyes és üveg hulladék is megtalálható. (1. ábra) Ezek a további mechanikai kezelés során nagy részben leválasztásra kerülnek egy légszeparátorral, azonban a technológia természetes hibahatárából fakadóan a tüzelőanyagba is bekerülnek, ahol jelenlétükkel minőségromlást okoznak.



1. ÁBRA: BEÉRKEZŐ HULLADÉK SZEMCSEMÉRET-ELOSZLÁSA ANYAGFAJTA SZERINT 2019-BEN [M/M%]

2. Módszertan

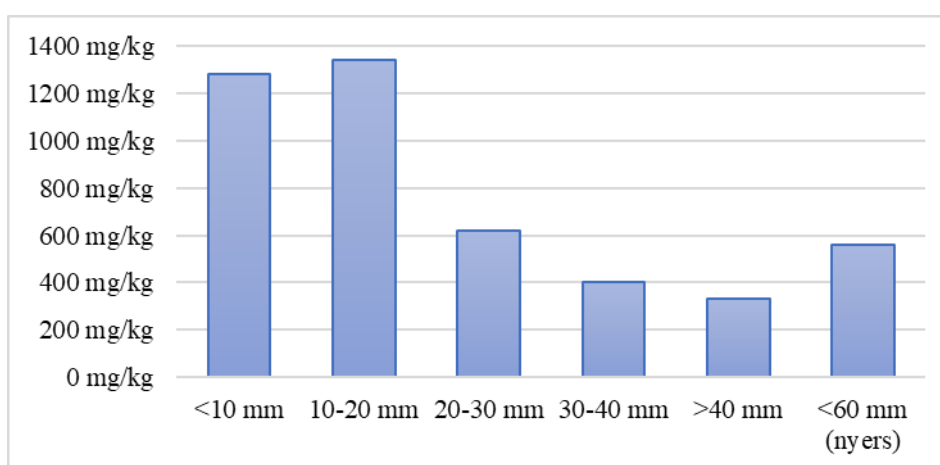
A mintavétel minden esetben az aznap keletkezett friss anyagból történt, a puffertároló ledobószalagja alól. Az SRF-et különböző átlagos szemcseméretekre választottuk szét egy egyedi építésű síkrostán, majd ezeken végeztük el a vizsgálatainkat. A teljes vizsgált szemcseméret-tartományunk a következő: <10 mm, 10-20 mm, 20-30 mm, 30-40 mm és >40 mm.

A mérések során a tüzelőanyag nehézfém-tartalmát induktív csatolású plazma optikai emissziós spektrometriás (ICP-OES) módszerrel határoztuk meg. A hulladékból származtatott tüzelőanyag mintákat először tömegállandóságig szárítottuk és homogenizálás céljából 0,25 mm átlagos szemcseméretűre aprítottuk. Kémiai roncsolással oldatba vittünk 0,25 g mintát ultratiszta vegyszerekkel. A mérések során a szabványtól annyiban

tértünk el, hogy a sósav (HCl) és salétomsav (HNO₃) reagenseken kívül hidrogénperoxidot (H₂O₂) is használtunk, annak érdekében, hogy a szerves anyagok oxidációja is könnyebben megtörténjen. (Mullapudi V. B. K. et al., 2019) A vak mintához is ezeknek a vegyszereknek a keverékét használtuk a minél pontosabb mérési eredmények elérésének érdekében. A roncsolás után a vizes oldatokat hígítottunk, és ezekre végeztük el az ICP-OES méréseket 11 nehézfémre, amik a következők: antimon (Sb), arzén (As), kadmium (Cd), króm (Cr), kobalt (Co), réz (Cu), ólom (Pb), mangán (Mn), nikkel (Ni), tallium (Tl), vanádium (V). A vizes oldatban található koncentrációt utána visszaszámoltuk mg/kg száraz SRF-re vonatkoztatva.

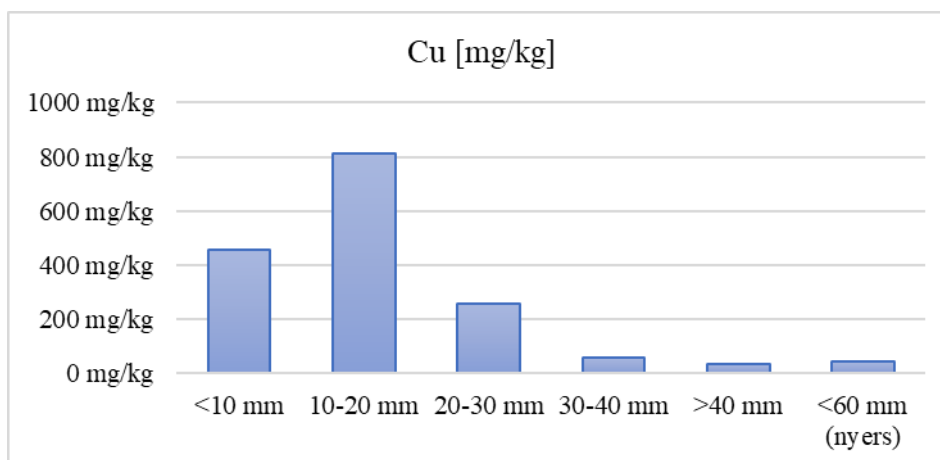
3. Eredmények és kiértékelés

A mérési eredményekből megállapítható, hogy az összes általunk mért nehézfém kb. 75%-kal nagyobb mennyiségben van jelen a legkisebb szemcseméretben, mint a legnagyobbban. A mérési eredményeket a 2. ábra tartalmazza. A nyers minta nehézfém-tartalma a 20-30 mm-es átlagos szemcseméretű frakcióhoz közelít a legjobban ebben az esetben is, úgy, mint a kutatásunk során végzett többi fizikai és kémiai tulajdonság esetében is.



2. ÁBRA: ÁTLAGOS ÖSSZES NEHÉZFÉMTARTALOM SZEMCSEMÉRET SZERINT [M/M%]

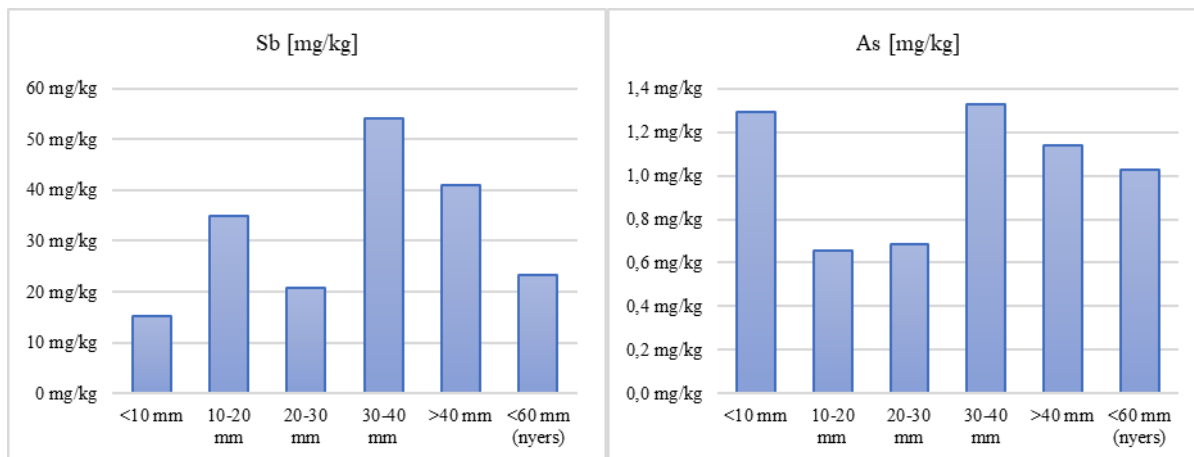
A 10-20 mm szemcseméret nem illeszkedik tökéletesen a sorba, ennek okozója az, hogy a réztartalom 3 mintánk esetében is jelentősen kiugróbb volt ennél a frakciónál. A homogenizálás előtti mintát megvizsgálva mind a 3 esetben jelentős mennyiségű rézvezeték maradványokat találtunk, így ez hitelessítette a mérési eredményeket. A réztartalom mérés eredményeit a 3. ábra tartalmazza.



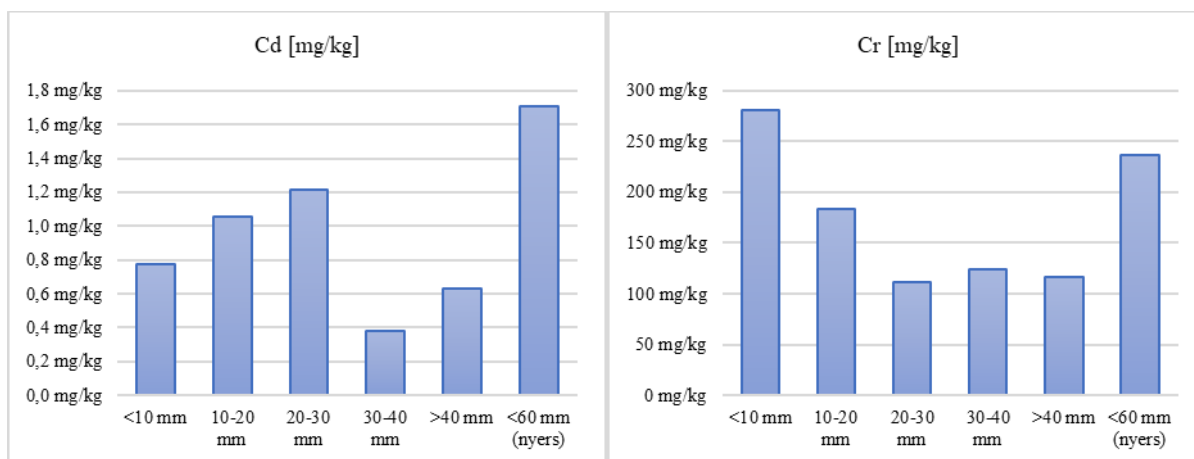
3. ÁBRA: ÁTLAGOS RÉZ (CU) TARTALOM SZEMCSEMÉRET SZERINT [M/M%]

A többi általunk mért fém esetében ugyan ez a trend mutatkozik 3 kivétellel (4. ábra, 5. ábra, 6. ábra, 7. ábra, 8. ábra). A 3 kivétel az antimon, arzén és a kadmium. Antimont általában tűzgátló bevonat készítéséhez használják

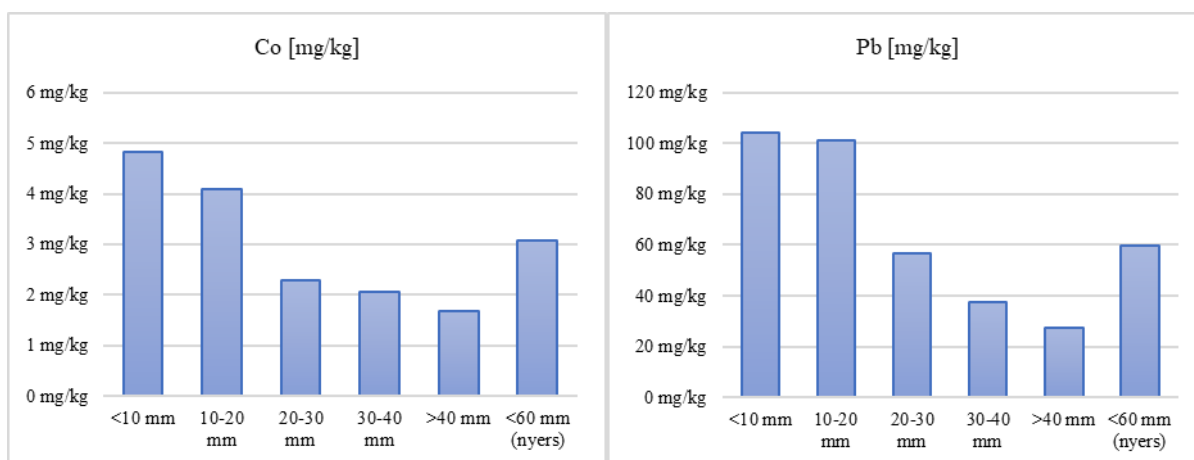
különböző műanyagot és textilt tartalmazó elektronikai eszközökhöz. (Intrakamhaeng V. et al., 2020) Kadmium megtalálható festékekben, elemekben és akkumulátorokban, és különböző fémekben ötvözőanyagként. (Ono, K., 2013) Ezek az adalékanyagok, bevonatok és ötvözőanyagok aprítás után nagyobb százalékban jelennek meg a magasabb szemcseméretű frakciókban, mivel a bejövő hulladékban is nagy méretben vannak jelen. Arzén leggyakrabban a szerves hulladékban van jelen. Ez több formában is előfordul a kommunális hulladékban, lehet talaj és konyhai maradék, de a nagyobb kerti hulladékok is. (Zhang, H. et al., 2008)



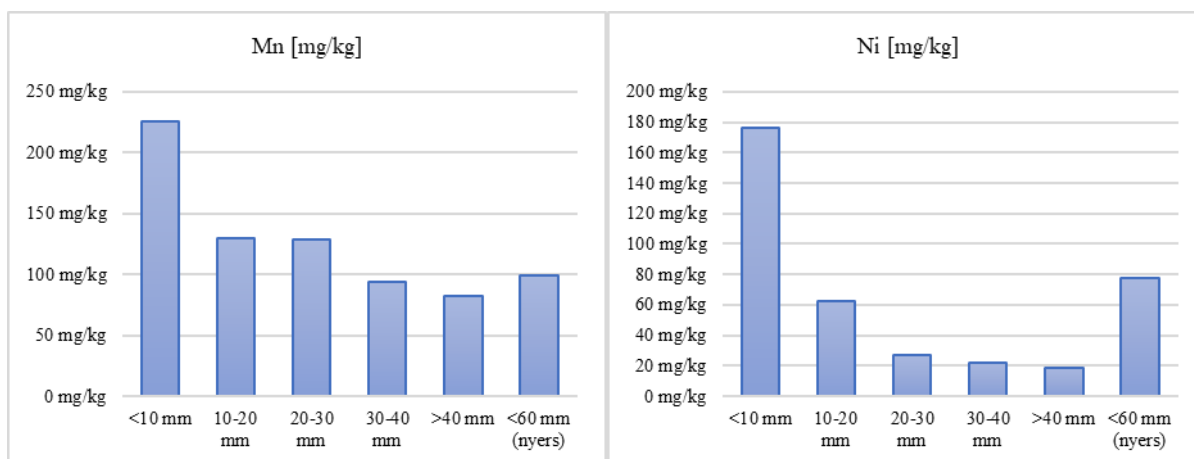
4. ÁBRA: ANTIMON ÉS ARZÉN TARTALOM SZEMCSEMÉRET SZERINT [MG/KG]



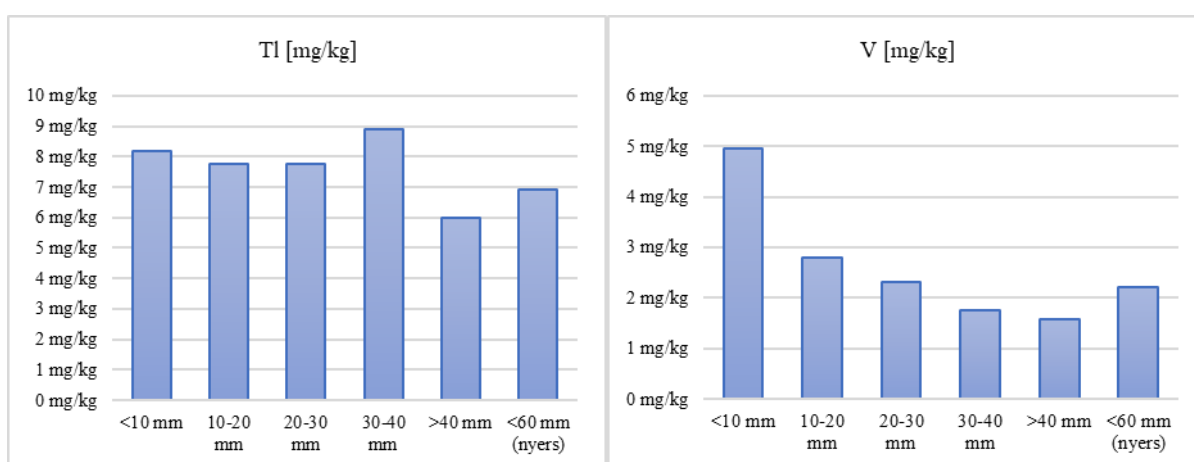
5. ÁBRA: KADMÍUM ÉS KRÓM TARTALOM SZEMCSEMÉRET SZERINT [MG/KG]



6. ÁBRA: KOBALT ÉS ÓLOM TARTALOM SZEMCSEMÉRET SZERINT [MG/KG]



7. ÁBRA: MANGÁN ÉS NIKKEL TARTALOM SZEMCSEMÉRET SZERINT [MG/KG]



8. ÁBRA: TALLIUM ÉS VANÁDIUM TARTALOM SZEMCSEMÉRET SZERINT [MG/KG]

4. Következtetések

A Pécs-Kökényi RHK-ban keletkező hulladékból származtatott tüzelőanyag szemcsemérete és nehézfém tartalma közötti kapcsolatot vizsgáltuk.

A mérési eredményekből megállapítható, hogy a nehézfém tartalom fordítottan arányos a szemcsemérettel. Elmondható, hogy a legkisebb és a legnagyobb szemcseméret között közel 75%-os eltérés mutatkozik.

A nehézfém tartalomra a legnagyobb hatást a csomagolóanyagokban és a veszélyes hulladékokban található adalékanyagok, bevonatok és ötvözőanyagok jelentik. Ezeknek a hulladékoknak egy része külön gyűjtésre és speciális kezelésre szorulna, azonban a lakosság miatt mégis a maradék TSZH áramba kerülnek, és jelentősen befolyásolják a keletkező tüzelőanyag kémiai paramétereit.

A vizsgálat azt a feltételezésünket támasztja alá, miszerint az üzemben keletkező SRF-RDF-et érdemes lenne a minőségjavítás érdekében 10 vagy 20 mm-es rostával átszítálni. Ezzel a rosszabb tüzeléstechnikai tulajdonságú részt le lehetne választani a másodtüzelőanyagból, amivel ugyan kevesebb, de egy jobb minőségű, piacképesebb anyagot lehetne előállítani.

5. Köszönetnyilvánítás

A publikáció az EFOP-3.6.2.-16-2017-00010 „Fenntartható nyersanyag gazdálkodás tematikus hálózat fejlesztése -RING 2017” projekt részeként valósul meg.

6. Hivatkozások

Faitli J. és Romenda R. (2019): Detailed Sampling Protocol for the Analysis of Residual Municipal Solid Wastes, Moustakas K., Loizidou M. (eds.) Proceedings of the 7th International Conference on Sustainable Solid Waste Management, Herakleion, Greek: Hellenic Mediterranean University, 1-10

Gallardo, A. et al. (2014) Analysis of refuse-derived fuel from the municipal solid waste reject fraction and its compliance with quality standards, Journal of Cleaner Production, 83, 118-125.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652614008221>
(2019.10.20)

Hegedűs A. et al. (2018): Települési hulladékok mennyiségi megoszlása az EU térségben a társadalmi-gazdasági mutatók összefüggésében, Fazekas I., Kiss E. és Lázár I. (szerk.) Földrajzi tanulmányok 2018 Debrecen, Magyarország: MTA DAB Földtudományi Szakbizottság, 141-142.

Intrakamhaeng V. et al. (2020): Antimony mobility from E-waste plastic in simulated municipal solid waste landfills, Chemosphere, 241, 125042
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653519322817>
(2019.11.04)

Kara, M. (2012): Environmental and economic advantages associated with the use of RDF in cement kilns, Resources, Conservation and Recycling, 68, 21–28.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344912001097>
(2019.10.20)

Leitol Cs. (2016) Multi criteria option analysis in the technology design of mechanical-biological treatment of waste, Pollack Periodica An International Journal for Engineering and Information Sciences, 11, 75-86.

Mullapudi V. B. K. et al. (2019): Development of a simple and rapid microwave-assisted extraction method using very dilute solutions of perchloric acid and hydrogen peroxide for the multi-elemental analysis of food materials by ICP-OES: A green analytical method, Microchemical Journal, 146, 807-817.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0026265X18318630>
(2019.11.07)

Ono, K. (2013): Past and future cadmium emissions from municipal solid-waste incinerators in Japan for the assessment of cadmium control policy, Journal of Hazardous Materials, 262, 741– 747.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389413006778>
(2019.11.04)

Samolada, M.C. és Zabaniotou, A. A. (2014): Energetic valorization of SRF in dedicated plants and cement kilns and guidelines for application in Greece and Cyprus, Resources, Conservation and Recycling, 83, 34–43.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344913002589>
(2019.11.04)

Zhang, H. et al. (2008): Source Analysis of Heavy Metals and Arsenic in Organic Fractions of Municipal Solid Waste in a Mega-City (Shanghai), Environmental Science & Technology, 42, 1586-1593.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18441807>
(2019.11.04)

Zhao, L. et al. (2016): Characterization of Singapore RDF resources and analysis of their heating value, Sustainable Environment Research, 26, 51-54.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468203916300036>
(2019.10.20)

GREEN SYNTHESIS OF CELLULOSE-BASED NANOCOMPOSITES USING PHYTOEXTRACTS

Charu Agarwal¹, Zoltán Pásztory², Levente Csóka^{3,*}

¹Institute of Wood Based Products and Technologies, University of Sopron, Sopron 9400, Hungary

²Innovation Center, University of Sopron, Sopron 9400, Hungary

³Institute of Cellulose and Paper Technology, **celltech-paper Ltd.**, Sopron 9400, Hungary

*csoka.levente@celltech-paper.hu

Abstract: *There has been an ever-growing interest in the biosynthesis of materials, particularly over the past few decades, in view of the pressing need to develop eco-friendly and sustainable manufacturing processes. The basis for the “green” chemistry approach lies in the use of nontoxic chemicals, renewable materials and environmentally benign solvents. The bioactive constituents present in the phytoextracts have shown an immense potential for the synthesis of various nanomaterials. The phytochemicals not only act as natural reducing agents but also as capping agents for the stabilization of the particles. Cellulose-based nanocomposites have been employed for a number of different applications owing to the many advantages of cellulose. This review presents a brief account of cellulose-based nanocomposites synthesized using phytoextracts in recent times.*

Keywords: Phytoextracts, cellulose nanocomposites, green synthesis

1. Background

Plants are a treasurehouse of chemicals, which not only serve as nutrients, but are also beneficial for other purposes such as in fragrances, flavors, dyes, insecticides, drugs as well as therapeutics [1]. The phytochemicals can broadly be classified into primary and secondary metabolites. The primary metabolites are the building blocks that are essentially involved in the growth and development of the plant, such as sugars, amino acids, lipids and nucleotides. On the other hand, the secondary metabolites are end products of primary metabolic activities in plants and act as defense agents by allowing their interaction with the surrounding environment [2]. The bioactive secondary metabolites may be synthesized by different pathways viz. shikimic acid pathway, malonic acid pathway, mevalonic acid pathway and non-mevalonate pathway [3]. The secondary metabolites can be categorized into three as:

(a) Terpenes and terpenoids

They constitute the largest and most diverse class of bioactive compounds encompassing flavours and fragrances, hormones, antibiotics and membrane lipids. Their chemical structure ranges from linear to polycyclic molecules and they are classified based on the number of isoprene units. They are biosynthesized by mevalonic acid pathway and non-mevalonate pathway.

(b) Phenolic and polyphenolic compounds

They are characterized by the presence of at least one aromatic ring attached to one or more hydroxyl groups. They are further divided into flavonoids and non-flavonoids. Phenolic compounds are produced through shikimic acid pathway and malonic acid pathway.

(c) Alkaloids (nitrogen containing compounds) and glucosinolates (sulfur containing compounds)

They generally occur as salts such as chlorides or sulfates or as N-oxides in the plants with a heterocyclic nitrogenous ring. They are known for their dramatic physiological effects, either therapeutic or detrimental. Alkaloids are derived either from amino acids or by modification of other biomolecules.

2. Extraction of bioactive compounds

Extraction refers to the separation of the chemical constituents from the plant matrix using a suitable solvent. The conventional techniques for extraction of plant constituents like Soxhlet extraction, maceration

and hydrodistillation are energy-intensive, laborious, time-consuming and require large volumes of solvent. These limitations are overcome by modern techniques, which include ultrasound assisted extraction, microwave-assisted extraction, enzyme-assisted extraction, supercritical fluid extraction and pressurized liquid extraction. Some of these comply with standards of the Environmental Protection Agency, USA and hence are considered “green techniques” [3,4]. The modern extraction techniques offer more enhanced selectivity of the constituents as well as improved yield. For instance, ultrasonic extraction uses sound waves to cause cavitation, which leads to increased diffusion and mass transfer of the constituents in the solvent [5]. The time, temperature and solvent are some of the significant factors affecting the extraction efficiency. Solvents such as ethanol, methanol, acetone, chloroform as well as water are commonly employed for extraction depending on the polarity of the targeted constituents [3,6].

3. Phytoextracts in nanomaterial synthesis

The methods for synthesis of nanomaterials may be physical, chemical or biological. Mostly, the physical and chemical methods employ toxic and hazardous chemical agents as well as sophisticated infrastructure, which adds to ecological and economic concerns [7]. On the other hand, the biological methods are based on the principles of “green” chemistry and use materials of natural origin such as plant extracts for the synthesis. Phytoextracts have the advantages of being widely available, low cost and ecofriendly agents for material synthesis. Several metal and metal oxide nanoparticles have been produced by phytoextracts from various plant species. The biomolecules in the extracts such as phenols, flavonoids, terpenoids, alkaloids, tannins and quinines facilitate the biosynthesis of nanomaterials by acting as natural reducing and stabilizing agents (Figure 1) [7,8].

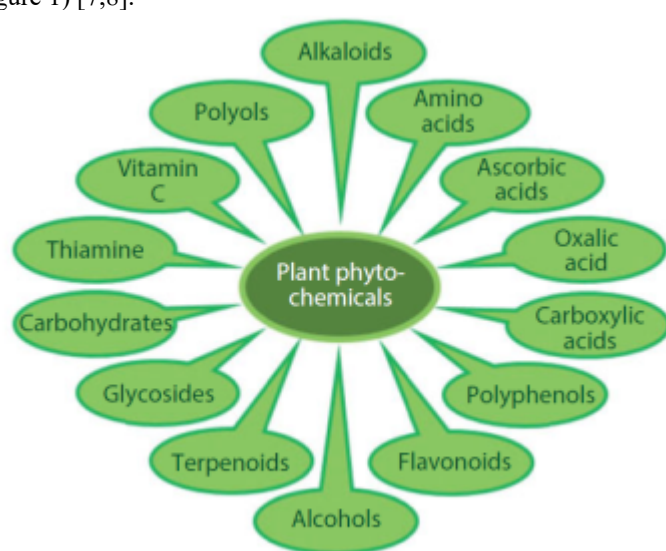


Figure 1 Common metabolites in phytoextracts (Reproduced with permission from ref. [9] © 2018 John Wiley and Sons).

The synthesis is brought about by simply mixing of the extract and the salt precursor in predetermined ratio leading to biochemical reduction at atmospheric pressure, generally accompanied with a color change of the solution. The extract-mediated green synthesis occurs in three stages viz. activation phase, growth phase and termination phase (Figure 2). Factors like precursor concentration, extract concentration, as well as reaction parameter like time, temperature and pH significantly influence the morphology and quality of the synthesized particles [9].

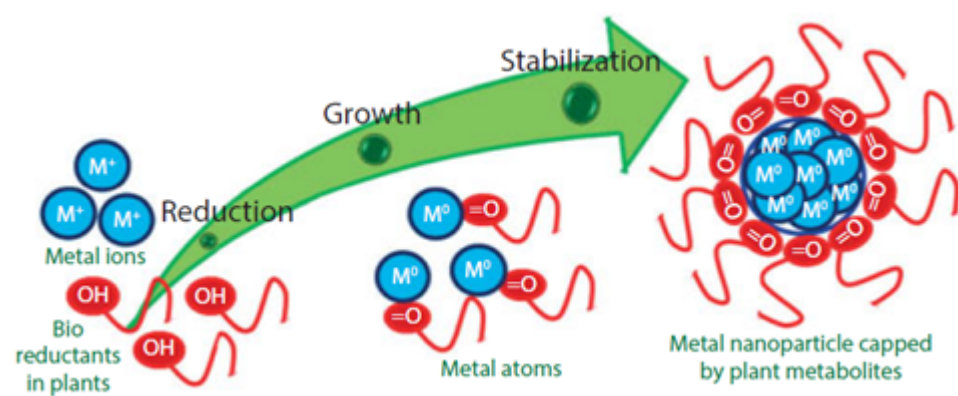


Figure 2. Mechanism of synthesis from phytoextracts (Reproduced with permission from ref. [9] © 2018 John Wiley and Sons)

4. Cellulose-based nanocomposites

Cellulose is one of the most abundant biopolymers on earth. Its surface can be chemically modified by processes such as oxidation and esterification. Cellulose fiber substrates provide an ideal platform for immobilization due to their biodegradability, porosity, flexibility and hydrophilicity [10]. In a recent study, the cellulose fibers in a filter paper were doped with silver nanoparticles (AgNPs) synthesized from the aqueous leaf extract of *Convolvulus cneorum* [11]. The bioactive metabolites in the extract such as phenols, flavonoids, sterols, alkaloids and tannins facilitated the reduction and stabilization of Ag⁺ ions into AgNPs. The formation of the nanoparticles was confirmed by a color change of the solution from yellow to red with the absorbance maxima at 452 nm. Interestingly, the surface plasmon resonance (SPR) band of AgNPs was found to depend on the concentration of the extract, and became sharper with increase in concentration. The particles in the colloidal solution were stabilized by the presence of amino acids or proteins in the phytoextract. The AgNPs were functionalized on cellulose paper by dropping the colloidal silver solution followed by air drying at ambient temperature. The silver/cellulose nanocomposite demonstrated potential for colorimetric detection of mercury and chromium up to 5 ppb and 5 ppm, respectively [11]. In another work, *Terminus cattapa* aqueous leaf extract was used for the in situ generation of AgNPs in regenerated cellulose films [12]. The AgNPs/cellulose composite films exhibited good antibacterial activity against *E. coli* (gram positive) and *Bacillus* sp. (gram negative). A hydrogel based on dialdehyde cellulose crosslinked chitosan was incorporated with zinc oxide nanoparticles synthesized using *Cucumis melo* (musk melon) seed extract [13]. The nanocomposite hydrogel showed a curcumin loading efficiency of almost 90% with 30% increased loading. On similar lines, recently, our group demonstrated the in situ green reduction of graphene oxide on cellulose fibers using the aqueous extract of *Cannabis sativa* [14]. The cellulose fibers acted as a flexible and biodegradable matrix for supporting the reduced graphene oxide. Moreover, the cellulose fiber matrix also assisted the in situ reduction process on the fiber surface. The surface resistivity of the composites could be dramatically reduced by over a 100-fold by incorporation of reduced graphene oxide on the cellulose fibers [14].

5. Summary

Phytoextracts have an immense scope for the rapid and facile synthesis of materials in the nano-age. The natural bioactive metabolites in plant extracts act as green agents for the eco-friendly reduction and efficient stabilization of the particles, thus eliminating the need for synthetic chemicals. Plant extracts are particularly advantageous due to their wide availability, low cost and easy handling. Uncovering the hidden potential underlying the natural biological entities will only accelerate the replacement of toxic materials detrimental to the ecosystem and help in sustainable management.

6. Acknowledgement

The work was carried out as part of the “Sustainable Raw Material Management Thematic Network – RING 2017”, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 project in the framework of the Széchenyi 2020 Program. The realization of this project is supported by the European Union, co-financed by the European Social Fund.

7. References

- [1] A. Aharoni, G. Galili, Metabolic engineering of the plant primary-secondary metabolism interface, *Curr. Opin. Biotechnol.* 22 (2011) 239–244. doi:10.1016/j.copbio.2010.11.004.
- [2] R. Irchhaiya, A. Kumar, A. Yadav, N. Gupta, S. Kumar, N. Gupta, S. Kumar, V. Yadav, A. Prakash, H. Gurjar, Metabolites in Plants and Its Classification, *World J. Pharm. Pharm. Sci.* 4 (2015) 287–305.
- [3] J. Azmir, I.S.M. Zaidul, M.M. Rahman, K.M. Sharif, A. Mohamed, F. Sahena, M.H.A. Jahurul, K. Ghaffoor, N.A.N. Norulaini, A.K.M. Omar, Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: A review, *J. Food Eng.* 117 (2013) 426–436. doi:10.1016/j.jfoodeng.2013.01.014.
- [4] J. Giacometti, D. Bursać Kovačević, P. Putnik, D. Gabrić, T. Bilušić, G. Krešić, V. Stulić, F.J. Barba, F. Chemat, G. Barbosa-Cánovas, A. Režek Jambak, Extraction of bioactive compounds and essential oils from mediterranean herbs by conventional and green innovative techniques: A review, *Food Res. Int.* 113 (2018) 245–262. doi:10.1016/j.foodres.2018.06.036.
- [5] C. Agarwal, K. Máthé, T. Hofmann, L. Csóka, Ultrasound-Assisted Extraction of Cannabinoids from Cannabis Sativa L. Optimized by Response Surface Methodology, *J. Food Sci.* 83 (2018) 700–710. doi:10.1111/1750-3841.14075.
- [6] M.B. Soquetta, L. de M. Terra, C.P. Bastos, Green technologies for the extraction of bioactive compounds in fruits and vegetables, *CYTA - J. Food.* 16 (2018) 400–412. doi:10.1080/19476337.2017.1411978.
- [7] K.S. Kavitha, S. Baker, D. Rakshith, H.U. Kavitha, Y.R.H. C, B.P. Harini, S. Satish, Plants as Green Source towards Synthesis of Nanoparticles, *Int. Res. J. Biol. Sci.* 2 (2013) 66–76.
- [8] P. Raveendran, J. Fu, S.L. Wallen, Completely “green” synthesis and stabilization of metal nanoparticles, *J. Am. Chem. Soc.* 25 (2003) 13940–13941. doi:http://dx.doi.org/10.7149/OPA.46.2.111.
- [9] S. Sajjad, S.A.K. Leghari, N.U.A. Ryma, S.A. Farooqi, Green synthesis of metal-based nanoparticles and their applications, in: *Green Met. Nanoparticles Synth. Charact. Their Appl.*, 2018: pp. 23–77. doi:10.1002/9781119418900.ch2.
- [10] C. Agarwal, L. Csóka, Functionalization of wood/plant-based natural cellulose fibers with nanomaterials: a review, *TAPPI.* 17 (2018) 92–111. http://www.tappi.org/s_tappi/doc.asp?CID=100&DID=552877.
- [11] M. Ismail, M.I. Khan, K. Akhtar, J. Seo, M.A. Khan, A.M. Asiri, S.B. Khan, Phytosynthesis of silver nanoparticles; naked eye cellulose filter paper dual mechanism sensor for mercury ions and ammonia in aqueous solution, *J. Mater. Sci. Mater. Electron.* 30 (2019) 7367–7383. doi:10.1007/s10854-019-01049-x.
- [12] L. Muthulakshmi, N. Rajini, H. Nellaiah, T. Kathiresan, M. Jawaid, A. Varada Rajulu, Experimental Investigation of Cellulose/Silver Nanocomposites Using In Situ Generation Method, *J. Polym. Environ.* 25 (2017) 1021–1032. doi:10.1007/s10924-016-0871-7.
- [13] D. George, P.U. Maheswari, K.M.M. Sheriffa Begum, G. Arthanaresswari, Biomass derived dialdehyde cellulose crosslinked chitosan based nanocomposite hydrogel with phyto-synthesised zinc oxide nanoparticles for enhanced curcumin delivery and bioactivity, *J. Agric. Food Chem.* (2019). doi:10.1021/acs.jafc.9b01933.
- [14] C. Agarwal, M.N. Singh, R.K. Sharma, A. Sagdeo, L. Csóka, In Situ Green Synthesis and Functionalization of Reduced Graphene Oxide on Cellulose Fibers by Cannabis sativa L. Extract, *Mater. Perform. Charact.* 8 (2019) 518–531. doi:10.1520/mpc20180149.