



Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

SZÉCHENYI  2020

SOPRONI EGYETEM
ERDŐMÉRNÖKI KAR

TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK

2020. NOVEMBER 30.

SOPRONI EGYETEM
ERDŐMÉRNÖKI KAR





Soproni Egyetem
Erdőmérnöki Kar

TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK

Szerkesztette: Facskó Ferenc, Király Gergely



Soproni Egyetem
Kiadó

Sopron – 2020

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

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

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

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

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

Szerkesztette: Facskó Ferenc
Király Gergely

Ajánlott hivatkozás:

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

Tartalomjegyzék

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

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

IR SPEKTROMETRIA A FAANYAG HŐKEZELÉSÉNEK MONITOROZÁSÁRA

RÁKOSA RITA¹, PÁSZTORY ZOLTÁN², BÖRCsök ZOLTÁN², NÉMETH ZSOLT ISTVÁN¹

¹Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Kémiai Intézet

²Soproni Egyetem, Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi és Művészeti Kar,
Természeti Erőforrások Kutató Központ
rakosa.rita@uni-sopron.hu

Bevezetés

A faanyag kivételes helyet foglal el az ipari nyersanyagok között. Tervszerű és irányított természetessé megújítható nyersanyagot képez. Vannak azonban olyan felhasználási területek, melyek különleges faanyagjellemzőket igényelnek, valamint olyan fafajok, melyek valamely fizikai vagy mechanikai tulajdonsága az adott alkalmazási célnak nem, vagy csak bizonyos változtatások után felel meg. A felhasználás szempontjából előnyös tulajdonságok kialakítására különböző modifikációs eljárásokat alkalmaznak, melyek közül az iparban leggyakrabban alkalmazott eljárás a faanyagok hőkezelése.

A faanyag, mint komplex, makromolekulás rendszer hőkezelés hatására összetett kémiai változásokon megy keresztül. A lejátszódó folyamatokat az alkalmazott hőmérséklet, a hőhatás ideje, a faanyagot körülvevő atmoszféra és a nedvességtartalom is befolyásolja (FENGEL AND WEGENER 1989, GERARDIN 2016). A termikus degradációs folyamatokat csak az egyes komponensekre jellemző, és a komplex rendszerrel lejátszódó átalakulások együttes ismeretében lehet helyesen értelmezni.

A Fourier-transzformációs infravörös (FT-IR) spektrometriát széles körben alkalmazzák faanyagok vizsgálatára is (FENGEL AND WEGENER 1989, FAIX 1992, CHEN ET AL. 2010, ESTEVES ET AL. 2013, ÖZGENC ET AL. 2017, GONULTAS AND CANDAN 2018). A faanyag kémiai összetevőinek az anyagi minőségei és mennyiségei leképződnek az FT-IR spektrumban. A fényelnyelési csúcsokat a jellegzetes funkciócsoportok, az aromás és telítetlen molekulareszkek vegyérték- és deformációs rezgési átmenetei szolgáltatják. A faanyag összetettsége miatt azonban a karakteres elnyelési csúcsok jelentősen átfednek egymással.

A faanyag termikus kezelésének monitorozására FT-ATR-IR spektrometriás módszert dolgoztunk ki. Az FT-IR spektrometria bázisú kemometriai értékelési stratégiánk a faanyagok különböző ideig tartó hőkezelése során bekövetkező kémiai változások finomszerkezetének detektálására irányult.

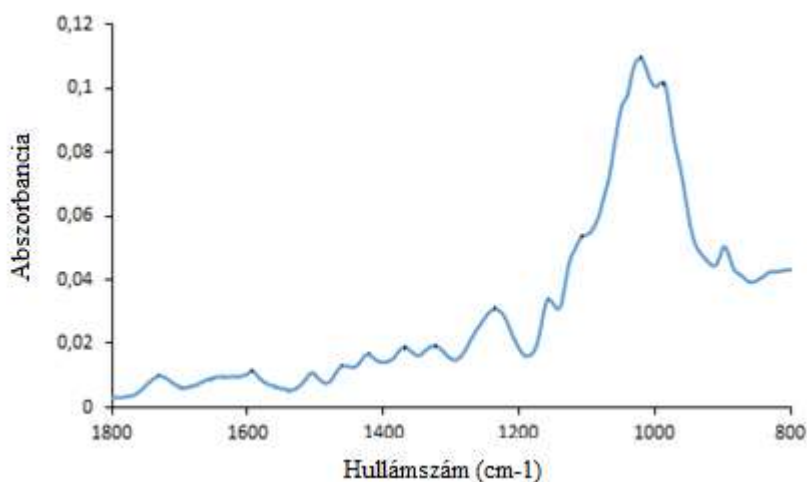
Vizsgálati anyag és módszer

Vizsgálatainkhoz $100 \times 17 \times 3 \text{ mm}^3$ méretű fafurnér (*Hevea brasiliensis*) próbatesteket használtunk. A felület minőségét csiszolással és portalanítással javítottuk. A hőkezelést 180°C -on, különböző kezelési idők mellett (15, 25 és 35 óra) végeztük. A faanyag mintákról a hőkezelés előtt és a kezelést követően készítettünk spektrumokat.

A spektrometriás vizsgálatokhoz Shimadzu gyártmányú, IRAffinity-1 típusú, HATR-10 totálreflexiós kiegészítőegységgel felszerelt FT-IR spektrométert alkalmaztunk. A spektrumokat $4000\text{-}670 \text{ cm}^{-1}$ hullámszám tartományban, 1 cm^{-1} felbontással vettünk fel. A jel/zaj viszony növeléséhez az időbeli átlagolás módszerével 49 egymást követően felvett spektrumnak az átlagát képeztük. A spektrumokon atmoszféra korrekciót, átlagképzésen alapuló simítást, és normalizálási eljárásként SNV transzformációt hajtottunk végre. Az adatkiértékelést az ujjlenyomat tartományra szűkítettük, mivel ez a tartomány gazdag az anyagminőséget visszatükröző abszorpciós csúcsokban.

Vizsgálati eredmények

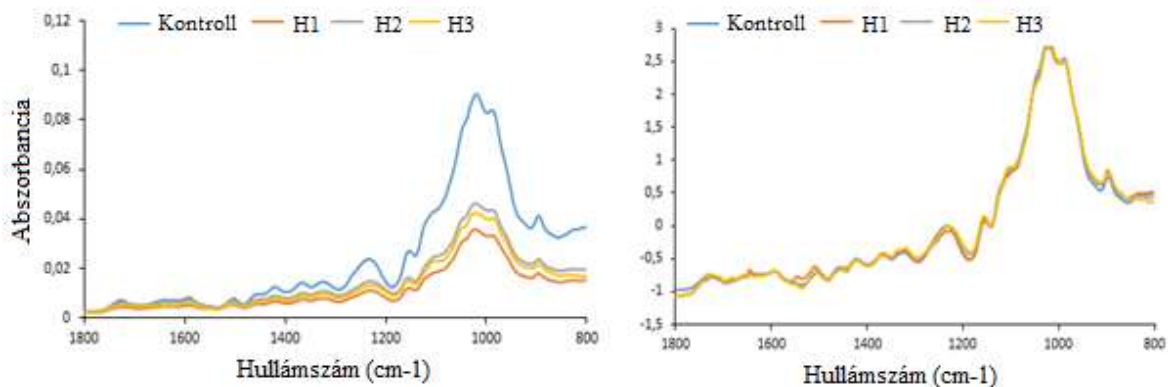
A faanyag eredő spektruma az infravörös aktív molekularészek fényelnyeléseinek a mennyiségi részarányok által súlyozott és összegzett kombinációja. A kezeletlen gumifa FT-IR spektruma látható az 1. ábrán. A karakterisztikus, adott hullámszámú fényelnyelési csúcsok a faanyag kémiai összetevőitől: cellulóztól, lignintől, hemicellulóztól és a járulékos anyagoktól erednek. A spektrumon 1730 cm^{-1} -nél megjelenő csúcs a hemicellulózból levő C=O kötés vegyértékrezgéséhez rendelhető. A lignin aromás vázrezgésének jellegzetes abszorpciós sávjai 1592 és 1503 cm^{-1} -nél láthatók. Az 1368 , 1422 és 1458 cm^{-1} -nél a csúcsok a cellulózban, a ligninben és poliózokban levő C-H deformációs rezgéseknek köszönhető. A 900 - 1200 cm^{-1} hullámszám tartományban megfigyelhető csúcsok a szénhidrátok C-O-C vegyértékrezgési és C-H, C-O deformációs rezgési átmeneteinek az eredménye (PANDAY AND PITMAN 2003, NAZARPOUR ET AL. 2013, ÖZGENC ET AL. 2017).



1. ábra: Kontroll gumifa FT-IR spektruma

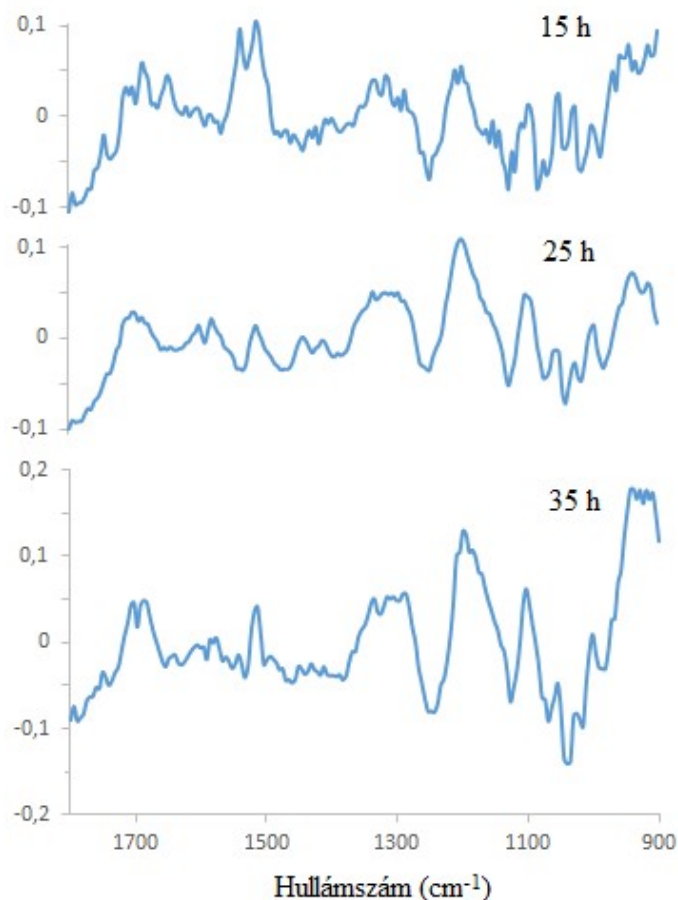
Az ATR reflexiós spektrometria lehetővé teszi a faanyag gyors és roncsolásmentes vizsgálatát. A fényelnyelési információ a minta felszínéről ered, így a felületi inhomogenitás, nedvesség, a próbatest felszínének egyenetlensége befolyásolja a spektrális csúcsintenzitásokat. A referencia és a különböző ideig hőkezelt minták primér spektrumai közötti csúcsintenzitás eltéréseket, amelyeket a famintáknak az ATR egykristályra való eltérő illeszkedése idéz elő, szóródás korrekciós eljárással (SNV transzformáció) kiszűrtük ki. Az SNV transzformáció kiiktatja a spektrumból a mérés során az abszorbancia skála mentén jelentkező sztochasztikus eltolódásokat is (2. ábra). Az SNV transzformáció eredményeként a transzformált spektrumok megközeleltőleg átfedésbe kerülnek egymással. Azonos anyagminőség esetén elméletileg az SNV spektrumok egymással tökéletesen átfednek. A kezeletlen és hőkezelt faminták SNV spektrumai közötti kismértékű eltérések információt szolgáltatnak a lignocellulóz rendszerben hőhatására bekövetkező kémiai változásokról.

Az abszorbancia változás szemléltetéséhez az SNV transzformált spektrumok különbségét alkalmaztuk, amely feltárja a hőkezelt faanyag fényelnyelő képességének kontrollhoz viszonyított megváltozását a hullámhossz függvényében. A különbség SNV spektrumok képzéséhez a kezeletlen faminták SNV spektrumaiból vontuk ki a különböző ideig hőkezelt minták SNV spektrumait (3. ábra).



2. ábra: Hőkezelt és kontroll gumifa minták átlag primer spektrumai (a) és SNV-transzformált spektrumai (b)

A hőhatásra a polióz frakció a legérzékenyebb, a degradáció első lépéseként az észterkötésben levő acetyl-csoportok lehasadása és az O-metil kötés hasadása következik be (TJEERDSMA AND MILITZ 2005, ESTEVES ET AL. 2013, GERARDIN 2016, ALTGEN ET AL. 2018). Ezt igazolja az 1730 cm⁻¹-nél megjelenő csúcs intenzitásának csökkenése. Ezzel párhuzamosan lejátszódó dehidratációs reakciók furfurool ill. további furán származékok képződéséhez vezetnek, ami az 1698 cm⁻¹-nél (aldehidek C=O csoportja) megjelenő fényelnyelési csúcs növekedését idézi elő (FENGEL AND WEGENER 1989, TJEERDSMA AND MILITZ 2005, BROSE ET AL. 2010, GERARDIN 2016). A 15 órás kezelésnél még nem, de a 25 és 35 óráig tartó hőhatásnál már jelentős az eltérés a kezeletlen mintához képest.



3. ábra: Különböző ideig hőkezelt faminták kontrollhoz viszonyított különbség SNV spektrumai

A ligninnek viszonylag nagyobb a termikus stabilitása, azonban a lignin szerkezetében is megfigyelhető változás a hőkezelés hatására. Az aromás vázrezgés intenzitása növekszik 1503 cm^{-1} -nél a 15 órás kezelés során. A hosszabb ideig tartó hőkezelés viszont intenzitáscsökkenést eredményezett, mivel a depolimerizációs folyamatokat kondenzációs reakciók kísérik. A kondenzált szerkezet kialakulását igazolja az 1330 cm^{-1} -nél megjelenő csúcs (C-O rezgés a ligninben) intenzitásának növekedése és az 1234 cm^{-1} -nél található csúcs (C=O rezgés a ligninben és xilánban, fenolos O-H rezgés a ligninben) intenzitásának csökkenése és eltolódása az alacsonyabb hullámszámok felé (FAIX 1992, ESTEVES ET AL. 2013, GERARDIN 2016, GONULTAS AND CANDAN 2018). A cellulóz szerkezetében is érzékelhetők változások a hosszabb ideig tartó hőkezelésnek köszönhetően. Az $1104\text{-}1110\text{ cm}^{-1}$, $1155\text{-}1160\text{ cm}^{-1}$, és az $1200\text{-}1210\text{ cm}^{-1}$ hullámszám tartományban fényintenzitás növekedést, az $1020\text{-}1060\text{ cm}^{-1}$ tartományban pedig csökkenést tapasztaltunk. A hőhatás először az amorf cellulóz szerkezetében okoz változást, a kristályos cellulóz aránya nő. (ÖZGENC ET AL. 2017, CHIEN ET AL. 2018, GONULTAS AND CANDAN 2018).

Összefoglalás

Faanyag termikus kezelésének monitorozására – a faanyag erezetének változékonysága ellenére – sikerült egy olyan értékelési eljárást kimunkálni, amellyel a mérsékelt magas hőmérsékletű hőkezelés lignocellulóz rendszert módosító hatása érzékelhetővé tehető. A referencia és a különböző ideig hőkezelt minták primér spektrumai közötti csúcsintenzitás eltéréseket, amelyeket a famintáknak az ATR egykristályra való eltérő illeszkedése idéz elő, szóródás korrekciós eljárással (SNV transzformáció) küszöböltük ki. A spektrumok SNV-transzformáltjainak előállításával és különbségeik képzésével közvetlenül képet kaptunk a hőkezelés hatására bekövetkező spektrális változásokról.

Köszönetnyilvánítás: A kutatómunka a „Fenntartható Nyersanyag-gazdálkodási Tematikus Hálózat – RING 2017” című, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 jelű projekt részeként a Széchenyi 2020 program keretében az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- ALTGEN M., UIMONEN T., RAUTKARI L. (2018): The effect of de- and re-polymerization during heat-treatment on the mechanical behavior of Scots pine sapwood under quasi-static load. *Polymer Degradation and Stability* 147. 197-205
- BROSSE N., HAGE R.E., CHAOUCH M., PÉTRISSANS M., DUMARÇAY S., GERARDIN P. (2010): Investigation of the chemical modifications of beech wood lignin during heat treatment. *Polym. Degrad. Stabil.* 95. 1721-1726.
- CHEN H., FERRAI C., ANGIULI M., YAO J., RASPI C., BRAMANTI E. (2010): Qualitative and quantitative analysis of wood samples by Fourier transform infrared spectroscopy and multivariate analysis. *Carbohydr. Polym.* 82. 772-778.
- CHIEN Y.C., YANG T.C., HUNG K.C., LI C.C., XU J.W., WU J.H. (2018): Effects of heat treatment on the chemical compositions and thermal decomposition kinetics of Japanese cedar and beech wood. *Polymer Degradation and Stability* 158. 220-227.
- ESTEVES B., MARQUES A.V., DOMINGOS I., PEREIRA H. (2013): Chemical changes of heat-treated pine and eucalypt wood monitored by FTIR. *Maderas-Cienc. Tecnol.* 15(2). 245-258.
- FAIX O. (1992): Fourier transform infrared spectroscopy. In: Lin S.Y., Dence C.W. (eds.): *Methods in Lignin Chemistry*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 83-109.
- FENGEL D., WEGENER G. (1989): Influence of temperature. In: *Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions*. Walter de Gruyter: Berlin, 319-344.
- GÉRARDIN P. (2016): New alternatives for wood preservation based on thermal and chemical modification of wood. *Annals of Forest Science* 73. 559-570.

- GONULTAS O., CANDAN Z. (2018): Chemical characterization and FTIR spectroscopy of thermally compressed eucalyptus wood panels. *Maderas-Cienc. Tecnol.* 20 (3). 431-442.
- NAZARPOUR F., ABDULLAH D.K., ABDULLAH N., ZAMIRI R. (2013): Evaluation of Biological Pretreatment of Rubberwood with White Rot Fungi for Enzymatic Hydrolysis. *Materials* 6. 2059-2073.
- ÖZGENÇ Ö., DURMAZ S., BOYACI I.H., EKSI-KOCAK H. (2017): Determination of chemical changes in heat-treated wood using ATR-FTIR and FT Raman spectrometry. *Spectrochim Acta A Mol. Biomol. Spectrosc.* 171. 395-400.
- PANDEY K., PITMAN A. (2003): FTIR studies of the changes in wood chemistry following decay by brown-rot and white-rot fungi. *Int. Biodeterior. Biodegrad.* 52. 151-160.
- TJEERDSMA B., MILITZ H. (2005): Chemical changes in hydrothermal treated wood: FTIR analysis of combined hydrothermal and dry heat-treated wood. *Holz als Roh- und Werkst.* 63(2). 102-111.