



- Analysis of mechanical properties. *Bioresource Technology* 101(7): 2525-2528.
- Szántó D., Winkler A., Nagy J. (2003) Farostlemezek óriásfűből. *Faipar* 51(3):18-20.
- Takáts P. (1977) Lenpozdorja-faforgácslapok. *Faipar* 27(5):147-150
- Takáts P. (1980) Lenpozdorja alaki jellemzőinek meghatározása számítógépes adatfeldolgozással. *Faipar* 30(12):377-379
- Takáts P. (1982) Fonófüz (*Salix americana*) mint az agglomerált lapgyártás alapanyaga. *Faipar* 32(5):152-155.
- Yang H. S., D. J. Kim, H. J. Kim (2003) Rice straw-wood particle composite for sound absorbing wooden construction materials. *Bioresource Technology* 86(2):117-121.
- Yao F., QL Wu, Y. Lei, YJ Xu (2008) Rice straw fiber-reinforced high-density polyethylene composite: Effect of fiber type and loading. *Industrial Crops and Products* 28(1):63-72.
- Yousef I. S. (2005) A study on performance improvement of the local manufactured hammer mill used in polity forms. *J. Agric., Sci. Mansoura Univ.*, 2(11):6827-6840.

A faanyag felületi nedvességtartalmának meghatározása spektroszkópai módszerrel*

PALKOVICS Márta¹, TOLVAJ László¹

¹ NymE FMK Fizika és Elektrotechnika Intézet

Kivonat

A kutatómunka célja volt annak kiderítése, hogy a faanyag felületének nedvességtartalma hogyan határozható meg a közeli infravörös (NIR) spektroszkópia segítségével. A vizsgálatokhoz két, egymástól szerkezetében és kémiai felépítésében jelentősen eltérő fafajt, nyárat és akácot választottunk. A próbatesteket sóoldatok felett klimatizáltuk, és állítottuk be a kívánt nedvességtartalmat. A mérési eredmények szerint egy széles hullámhossz-tartomány (1300–2200 nm) jelentős része alkalmas a felületi nedvességtartalom meghatározására. A két abszorpciós csúcs (1462 és 1928 nm) körüli hullámhosszak a legérzékenyebbek a nedvességtartalom változására. Lineáris kapcsolatot találtunk a faanyag nedvessége és az abszorpció mértéke között. A korrelációs függvényt kis mértékben fafajfüggőnek találtuk.

Kulcsszavak: faanyag, nedvességtartalom, NIR-spektrum, elnyelési sáv

Moisture content determination of wood surface using spectroscopic method

Abstract

The aim of this research was to determine the moisture content of wood surface by near infrared (NIR) spectroscopy. Poplar and black locust species were chosen for the test. The structure and the chemical composition of these two species are significantly different. Samples were stored above salt

*A kutatás a Talentum – Hallgatói tehetséggondozás feltételrendszerének fejlesztése a Nyugat-magyarországi Egyetemen c. TÁMOP 4.2.2.B-10/1-2010-0018 számú projekt keretében, az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

This research - as a part of the Development of Student Talent Fostering at WHU, TAMOP 4.2.2. B-10/1-2010-0018 project - was sponsored by the EU/European Social Foundation. The financial support is gratefully acknowledged.

solution to set the proper moisture content. The results show that a remarkable part of a wide range of wavelengths (1300–2200 nm) is suitable for determining the moisture content of the surface. The most sensitive wavelengths for moisture content change are around the two peaks at 1462 and 1928 nm. Linear correlation was found between the absorption intensity and moisture content of wood. The correlation function was found slightly species-dependent.

Key words: wood, moisture content, NIR spectrum, absorption band

Bevezetés

A biológiai anyagok közös sajátossága, hogy normál állapotban vizet tartalmaznak. A jelenlevő víz mennyisége és kötési formája lényegesen befolyásolja az anyag fizikai, mechanikai tulajdonságait. A víz jelenléte fizikai, mechanikai és kémiai szempontból is jelentős. Faanyag esetében a mechanikai tulajdonságok a nedvességtartalom növekedésével a rosttelítettségi határig romlanak, utána nem változnak, a zsugorodási-dagadási jelenségek pedig csak a rosttelítettség és az abszolút száraz állapot között jelentkeznek. Mivel a faanyag szinte valamennyi tulajdonságát befolyásolja a nedvességtartalom, értékének ismerete elengedhetetlen a feldolgozáshoz. Az infravörös (IR) spektroszkópia segítségével rövid idő alatt kimutatható vagy meghatározható egy vegyületben vagy elegyben a funkciós csoportok nagy része. Ehhez kis mennyiségű minta elegendő. Az anyagok azonosítására, szennyezések kimutatására, reakciók és kötés-felszakadások ellenőrzésére, mennyiségi elemzésre és szerkezet-meghatározásra egyaránt alkalmas az IR-spektroszkópia. Az infravörös spektroszkópia mennyiségi analízisre is felhasználható, mivel az elnyelt sugárzás mennyisége függ az abszorbeáló anyag mennyiségétől és koncentrációjától is.

A víz infravörös spektrumában a jellegzetes csúcsok 970, 1450 és 1930 nanométeres hullámhosszak környékén jelentkeznek. Az 1930-as sáv változása alkalmas leginkább a víztartalom változásának követésére (Tsuchikawa et al. 1991, Tsuchikawa and Tsutsumi 1998, Tsuchikawa 2007). A gyakorlatban is használják ezt a sávot a víztartalom meghatározására. Az 1450 nm körüli széles sáv a víz mellett a cellulózban lévő OH-csoportok abszorpcióját is magában foglalja. Ezért ezt a sávot a cellulóz szerkezeti változásainak követésére használják a szakirodalomban (Hinterstoisser et al. 2003, Tsuchikawa 2007, Mitsui et al. 2008, Bachle et al. 2010, Tolvaj és Palkovics 2011). Az OH-csoport környezete kis mértékben eltolhatja az abszorpció sáv csúcsát. Nem találtunk adatokat a szakirodalomban ennek a széles sávnak a felhasználására a nedvességtartalom

méréséhez. A lézer fényforrást alkalmazó mérőműszer kifejlesztéséhez fontos, hogy széles hullámhossz-tartomány álljon rendelkezésre, mert nem lehet tetszőleges hullámhosszon működő kisméretű lézert készíteni. Ebben a széles hullámhossz-tartományban már van esély megfelelő lézer építésére.

Anyagok és módszerek

A vizsgálat célja két, egymástól szerkezetében és kémiai felépítésében jelentős mértékben eltérő fajfaj nedvességtartalmának vizsgálata volt közeli infravörös spektroszkópiával (NIR). A minták méretét (30x20x5 mm, LTR) a spektrofotométer mintatartója határozta meg. Célul tűztük ki, hogy a gyakorlatban már használt 1930 nanométeres abszorpciós sáv mellett további sávok alkalmazhatóságát megvizsgáljuk. A vizsgálatokat fehér akác (robinia pseudoacacia L) és nyár (populus euramericana I-214) próbateteken végeztük el. A nedvességtartalom meghatározásának legpontosabb és legmegbízhatóbb módja a szárítási eljárás. Ezért ezt a módszert használtuk a minták pontos nedvességtartalmának meghatározására. A faanyag intenzíven elnyeli a fényt, ezért nem átvilágítható. Az abszorpcióját a diffúz reflexió mérésével lehet meghatározni.

Az abszorpciós színek meghatározásához a Kubelka–Munk-elméletet (K–M) alkalmaztuk. Ezen elmélet szerint a diffúz módon visszavert fény intenzitásából meghatározható az abszorpciós és a szórási együtthatók hányadosa. Mivel a fényszórási együttható csak kisméretű hullámhosszfüggő, ezért a számított K–M-függvény az abszorpciós színek adja. A jelenlevő víz mennyiségét pedig éppen az abszorpció mértékével lehet arányba állítani.

A vizsgálatoknál nedvesített minták reflektanciáját mértük a 850–2500 nm hullámhosszúságú infravörös tartományban. A számítógép által kirajzolt görbék alapján vizsgáltuk a víznek a faanyag spektrumában való kimutathatóságát. Több nedvesítési módot is kipróbáltunk. Méréstechnikailag a legmegfelelőbbnek bizonyult, amikor vizet cseppen-

tettünk a felszínre, majd a felületről a megmaradt vizet eltávolítottuk, és megmértük a NIR-színképet. A mérést megismételtük 5, 30 és 60 perc elteltével. A minta a mérések során a spektrofotómeterben maradt, így a színképek változását kizárólag a felszín nedvességtartalmának változása befolyásolta. Az 1. ábrán az egy próbatesten mért adatokat mutatjuk be. A száraz faanyagban a víz a felszínről befelé vándorol. Ennek hatására a felszín csökkenő nedvességtartalma láthatóvá válik a színképeken. Csak azoknak a sávoknak az intenzitása csökken, melyek a vízhez tartoznak. Intenzív változásokat 1300 és 2200 nm közötti tartományban találtunk. A 970 nanométernél lévő sáv alig volt észlelhető, ezért ennek a vizsgálatával nem foglalkoztunk.

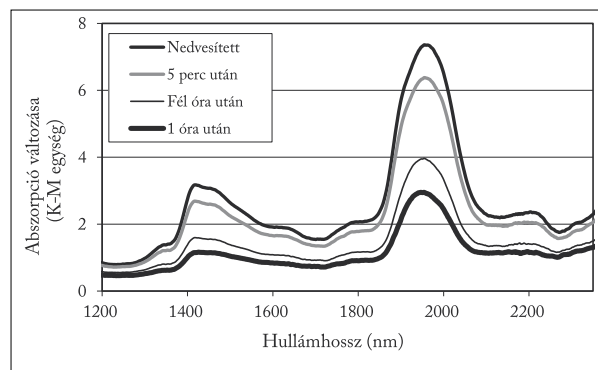
Második lépésben telített sóoldatok felett klimatizált minták segítségével vizsgáltuk a nedvességtartalom és NIR-spektrum közötti összefüggést. Fajonként 4-4 próbatestet készítettünk. A próbatesteket egy hét időtartamra tettük be telített sóoldatok fölé, zárt térbe. Mindkét faj esetében több nedvességtartalmi fokozat kialakítása és vizsgálata történt meg, melyek pontos értéke a szárítószekrényben tömegállandóságig történő szárítás módszerével került meghatározásra. A két faj nedvességtartalma nem azonos értékre állt be az egyes sóoldatok fölötti klimatizálás során. A faanyag erősen elnyeli az infravörös sugárzást, ezért csak a diffúz módon visszavert sugárzás vizsgálatával kaphatunk képet az abszorpciós tulajdonságokról. Ezért az eredmények csak a faanyag felszínének nedvességtartalmáról adnak képet. Az infravörös reflexiós színképeket egy Simadzu típusú spektrofotómeterrel mértük meg. Meghatároztuk a K–M-függvényeket, melyeken alapvonal korrekciót hajtottunk végre az 1278, 1860 és 2180 nanométeres hullámhosszaknál. A grafikonokon egy-egy próbatesten mért adatokat ábrázoltuk (nem képeztük a színképek átlagát).

Eredmények és értékelés

Az azonos próbatestben kialakuló többféle nedvességtartalomhoz tartozó spektrumok sokkal inkább összehasonlíthatók, mint a különböző mintáké. Az előbbi esetén csak a felszín nedvességtartalmának változása jelenik meg a spektrumban. A felületén megnedvesített mintát egyórás időtartamra a spektrofotómeterben hagytuk, ezzel elértük, hogy az egyes mérések-nél a mintának pontosan ugyanazt a felületdarabját mértük. A felület megnedvesítése után a víz a felületről párolog, vagy a faanyag belsejébe jut diffúzióval, tehát az idő múlásával változik a nedvességtartalma.

A nedvesítés hatására a spektrumok jelentős eltérést mutatnak a nedvesítés előtt felvett spektrumhoz képest. Az idő múlásával a próbatest felületi nedvességtartalma csökken, és spektruma közeledik a kezeletlen állapotéhoz. A különböző időtartamok után felvett spektrumok tehát mind a nedvesítés utáni és az alap-helyzethez tartozó spektrumok közé esnek. Az 1. ábra a nedvesített nyár próbatest adott idő elteltével mért és a kezeletlen spektrum különbségeit mutatja (különbségi színkép), melyekből látható, hogy a spektrum változásai hogyan követik a száradás folyamatát, amely az idő múlásával folyamatosan lassul. Ezt bizonyítja az ábrán az is, hogy az első félórás intervallumban bekövetkezett változás láthatóan nagyobb mértékű, mint a második félórás intervallumban.

A próbatestek nedvességtartalmának pontosabb meghatározása érdekében, a nedvességtartalmak különböző sók vizes oldataival beállított relatív páratartalom melletti klimatizálással kerültek kialakításra. Nyár minták esetében a kialakult nedvességtartalmakat és a hatásukra bekövetkező abszorpció változásait a 2. ábra mutatja. A sóoldatokkal sikerült közel azonos nedvességtartalom-távolságokat létrehozni. Megfigyelhetők az 1462 és 1928 nm hullámhossz környezetében jelentkező, a vízhez tartozó csúcsok. A két sáv intenzitása szemmel láthatóan a nedvességtartalommal arányosan változott. Jól mérhető eltérések az 1400–1550 és az 1880–2050 nanométeres hullámhossz-tartományokban találhatóak. Akác esetében a nyáréhoz hasonló eredményeket mértünk (3. ábra). A sóoldatok fölött az akácnál alacsonyabb nedvességtartalmak álltak be, mint a nyárnál. Csupán a legalacsonyabb érték volt közel azonos a két fajnál. Az akác faanyaga sokkal nehezebben nedvesíthető vissza, mint a nyáráké. Ezért nem biztos, hogy az akácminták

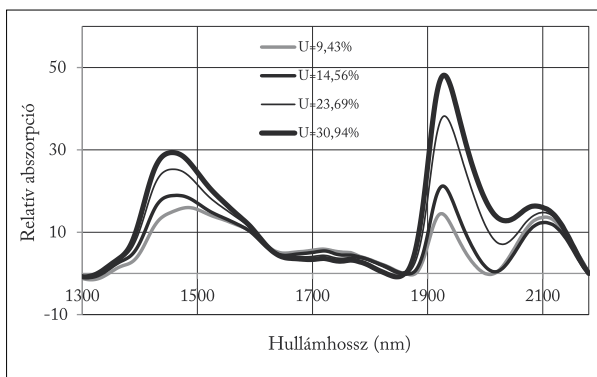


1. ábra Nyár próbatest abszorpciós, különbségi spektrumában történt változások a felszín száradása során

Figure 1 The changes of difference absorption spectra of poplar samples during the drying of the surface.

teljes keresztmetszetükben azonos nedvességtartalmat értek el. A leszárításos mérésrel egy átlagos nedvességtartalmat lehet meghatározni, ami akác esetében nem feltétlenül azonos a felszín nedvességtartalmával. Az elnyelési sávok akácnál is ugyanott jelentkeztek, mint nyár esetében. A relatív intenzitásokban sem volt lényeges eltérés. Itt is az 1400–1550 és az 1880–2050 nanométeres hullámhossz-tartományokban található a nedvességtartalom által okozott eltérések.

Mindkét fafajra és a két hullámhossz-tartományban található abszorpciós maximumokra meghatároztuk a nedvességtartalom és az abszorpció mértéke közötti matematikai kapcsolatot. A mérési eredmények lineáris kapcsolatot mutattak ki a faanyag nedvességtartalma és a két fent említett hullámhossz-tartomány abszorpciója között. A 4. ábra az 1462 nanométeres hullámhosszhoz tartozó kalibrációs egyeneseket mutatja a két vizsgált faanyag esetében. A nyár faanyag mérési pontjai nagyon jól illeszkednek a trendvonalra. A szoros korrelációt igazolja a 0,99-es determinációs koefficiens is. Ugyanez a tényező akác esetében 0,96, ami szintén nagyon jó korrelációt mutat. Az akác kisebb korrelációs együtthatójának oka valószínűleg a nedvességtartalmi adatok pontatlanságában keresendő. A két egyenes meredeksége közel azonos. Az 5. ábra az 1928 nanométeres maximumhoz tartozó trendvonalakat mutatja. Itt is elmondható, hogy a nyár faanyag mérési adatai nagyon jól illeszkednek a kalibrációs egyenesre, míg az akác esetében a legalacsonyabb nedvességtartalomhoz tartozó pont kis mértékben eltér a kalibrációs egyenestől. A determinációs koefficiens akác esetében is jó (0,95). A két egyenes nem teljesen párhuzamos, a meredekségekben közel 18%-os eltérés mutatkozik. A kalibrációs



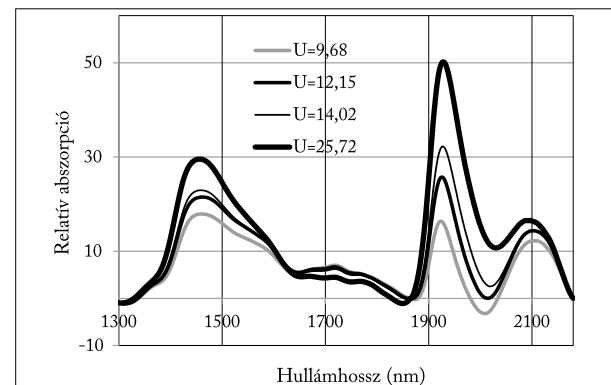
2. ábra A nyár faanyag abszorpciójának változása a nedvességtartalom függvényében

Figure 2 The absorption change of poplar samples depending on the moisture content.

egyenesek közötti eltérés azt mutatja, hogy mindkét vizsgált hullámhossz-tartományban megjelenik a fafajfüggőség. Az a tény, hogy a trendvonalak közel párhuzamosak, azt vetíti előre, hogy a fafajfüggőség egy additív konstans segítségével meghatározható lesz. A fafajfüggő konstans meghatározásához további részletes vizsgálatok szükségesek.

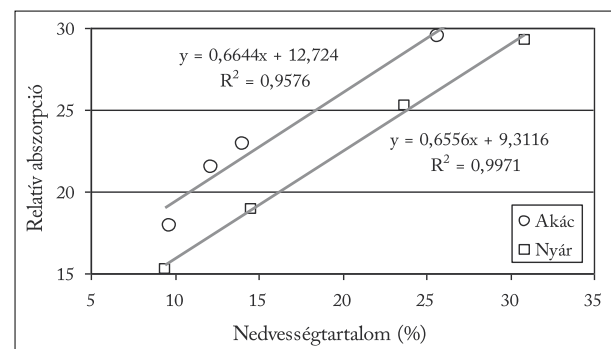
Következtetések

Mindkét vizsgált hullámhossz-tartomány (1400–1550 és 1880–2050 nanométeres) alkalmas a faanyag felületi rétege nedvességtartalmának meghatározására. Lineáris kapcsolatot találtunk az abszorpció mértéke és a nedvességtartalom között. Megállapítottuk, hogy a nedvességtartalom és a NIR-technikával mért abszorpciós értékek közötti összefüggés fafajfüggő, azaz egyetlen, minden fafajra érvényes képlettel a faanyag nedvességtartalma nem határozható meg. További vizsgálati lehetőségként adódik, hogy a felírt matematikai összefüggések megadhatók-e olyan formában, hogy a fafajra jellemző tulajdonságokat egyetlen állandóba sűrítve egy általános összefüggéshez jussunk.



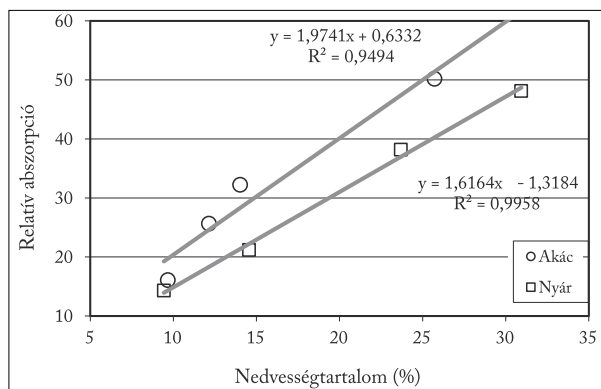
3. ábra Az akác faanyag abszorpciójának változása a nedvességtartalom függvényében

Figure 3 The absorption change of black locust samples depending on the moisture content.



4. ábra Az 1462 nm hullámhosszhoz tartozó kalibrációs egyenesek

Figure 4 The calibration lines for the 1462 nm wavelength



5. ábra Az 1928 nm hullámhosszhoz tartozó kalibrációs egyenesek

Figure 5 The calibration lines for the 1928 nm wavelength

Az eredmények előrevetítik egy gyors, felületi nedvességmérő készülék kifejlesztését. A készüléknek tartalmaznia kell egy olyan lézert, mely az 1400–1550 vagy 1880–2050 nanométeres tartományban sugároz, ideális esetben a két abszorpciós csúc valamelyikének a környékén. Szükség van továbbá egy másik lézerre, amelyik a fenti tartományon kívül bocsát ki elektromágneses hullámokat, olyan helyen, ahol nincs abszorpció. Az utóbbi lézerre a mérési körülmények befolyásoló hatásának kiküszöböléséhez van szükség. A készülék detektora a két hullámhossz abszorpciója közötti különbséget méri, mely csak a nedvességtartalomtól függ. Mivel a közeli infravörös spektroszkópia (NIR) a faanyagok roncsolásmentes nedvességtartalom-meghatározásának gyors módszere lehet, a technológiai sorba való beépítésével pedig lerövidíthető a feldolgozás bevezető szakasza, ezért a módszer további vizsgálatra érdemes.

Irodalomjegyzék

- Bachle H., Zimmer B., Windeisen E., Wegener G. (2010) Evaluation of thermally modified beech and spruce wood and their properties by FT-NIR spectroscopy. *Wood Sci. Technol.* 44: 421-433
- Hinterstoisser B., Schwanninger M., Stefska B., Stingl R., Patzelt M. (2003) Surface Analyses of chemically and thermally modified wood by FT-NIR. *Eur Conf. on Wood Modification* 65-70
- Tsuchikawa S., Hayashi K., Tsutsumi S. (1991) Application of near-infrared spectrophotometry to the determination of fiber orientation and moisture content in wood. *Mokuzai Gakkaishi* 37 (8):758-760
- Tsuchikawa S. and Tsutsumi S. (1998) Adsorptive and capillary condensed water in biological material. *J. Materials Sci. Letters* 17:661-663
- Tsuchikawa S. (2007) A review of recent near infrared research for wood and paper. *Applied Spectroscopy* 42:43-71
- Mitsui K., Inagaki T., Tsuchikawa S. (2008) Monitoring of hydroxyl groups in wood during heat treatment using NIR spectroscopy. *Biomacromolecules* 9:286-288
- Tolvaj L., Palkovics M. (2011) Wood surface monitoring by infrared spectroscopy. *17th Int. Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium (14-16 Sept.) Sopron, Hungary* 729-732

Hagyományos bevonatok teljesítmény mutatói*

CSIHA Csilla¹, VALENT József,¹ PAPP Éva Annamária¹

¹ NymE FMK

Kivonat

Európában a politúrozott fafelületek a XVII. században terjedtek el, virágzásuk az 1930-as évekig tartott, ezután a könnyebben felhordható és a politúrozás munkamenetével ellentétben könnyen, gyorsan vastag bevanatot adó nitro-cellulóz (NC) lakkok folyamatosan kiszorították őket a bútortipicáról.

*A kutatás a Talentum – Hallgatói tehetséggondozás feltételrendszerének fejlesztése a Nyugat-magyarországi Egyetemen c. TÁMOP 4.2.2.B-10/1-2010-0018 számú projekt keretében, az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

This research - as a part of the Development of Student Talent Fostering at WHU, TAMOP 4.2.2. B-10/1-2010-0018 project - was sponsored by the EU/European Social Foundation. The financial support is gratefully acknowledged.