

SZAKDOLGOZAT

ÁBRAHÁM ZSÓFIA

SOPRON

2017

SOPRONI EGYETEM

Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi és Művészeti Kar

SZAKDOLGOZAT

Furnérok nedvességtartalmának mérése infravörös lézerekkel

Ábrahám Zsófia

Faipari mérnöki BSc szak

Belső konzulens:

Joóbné Dr. Preklet Edina

Fizika és Elektrotechnika Intézet

Sopron, 2017



SOPRONI EGYETEM
Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi
és Művészeti Kar
H-9401 Sopron, Bajcsy-Zs. u. 4. Pf.: 132.
Tel: +36 (99) 518-101 Fax: +36 (99) 518-259

NYILATKOZAT

Alulírott **Ábrahám Zsófia** (neptun kód: **JR4VG2**) jelen nyilatkozat aláírásával kijelentem, hogy a **Furnérok nedvességtartalmának mérése infravörös lézerekkel** című (megfelelő rész aláhúzendő)

házi dolgozat;

diplomadolgozat;

szakdolgozat/diplomamunka

(a továbbiakban: dolgozat) **önálló munkám**, a dolgozat készítése során betartottam a szerzői jogról szóló 1999. évi LXXVI. tv. szabályait, különösen a hivatkozások és idézések tekintetében.

Hivatkozások és idézések szabályai:

Az 1999. évi LXXVI. tv. a szerzői jogról 34. § (1) és 36. § (1) első két mondata.)

Kijelentem továbbá, hogy a dolgozat készítése során az önálló munka kitétel tekintetében a konzulenszt illetve a feladatot kiadó oktatót **nem tévesztettem meg.**

Jelen nyilatkozat aláírásával tudomásul veszem, hogy amennyiben bizonyítható, hogy a dolgozatot **nem magam készítettem**, vagy a dolgozattal kapcsolatban szerzői jogsértés ténye merül fel, a Nyugat-magyarországi Egyetem **megtagadja a dolgozat befogadását és ellenem fegyelmi eljárást indíthat.**

A dolgozat befogadásának megtagadása és a fegyelmi eljárás indítása nem érinti a szerzői jogsértés miatti egyéb (polgári jogi, szabálysértési jogi, büntetőjogi) jogkövetkezményeket.

Sopron, 20

.....
hallgató

Köszönetnyilvánítás

Szeretném megköszönni konzulensemnek Joóbné Dr Preklet Edinának, hogy segített a szakdolgozatom elkészítésében, valamint Dr. Barta Editnek és Dr. Divós Ferencnek, akik az önálló labor munkáimmal voltak konzulenseim.

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	6
2. Faanyag nedvességtartalma.....	8
2.1. Nedvességtartalom meghatározása	8
2.1.1. Nettó nedvességtartalom	8
2.1.2. A fanedvesség mérése:.....	8
2.2. Faanyag nedvességtartalmának mérésére alkalmazott fontosabb módszerek:.....	9
2.2.1. Szárításos eljárás:.....	9
2.2.2. Kivonásos és extrakciós eljárás:.....	9
2.2.3. Ellenállás típusú elektromos nedvességmérés:	9
2.2.4. Dielektromos elven működő nedvességmérők:.....	9
2.2.5. A légnedvesség mérésén alapuló készülékek:.....	10
2.2.6. Mikrohullámú eljárás:	10
2.2.7. Spektrométeres eljárás:	10
2.2.8. Sugárzásos módszerek:	10
2.2.9. Faanyag felületi nedvességtartalmának meghatározási módszerei	10
2.3. Infravörös fény alkalmazásán alapuló mérések	11
2.3.1. Infravörös sugárzás	11
2.3.2. Közeleli infravörös spektrum (NIR)	12
2.3.3. Infravörös és közeleli infravörös sugárzás alkalmazása élőfától a faanyagig.....	13
2.3.3.1. A fák is alszanak	13
2.3.3.2. Közeleli infravörös fény alkalmazása az erdőszetben.....	14
2.3.3.3. Fapellet nedvességtartalmának meghatározása	15
3. Műszer ismertetése	16
3.1. Elvi alap	16
3.2. Műszer felépítése és működése.....	16
4. Mérések	18
4.1. Optimális mérési távolság meghatározása	18
4.1.1. Mérési elrendezés és a mérés menete	20
4.1.2. Eredmény	22
4.2. Visszavert fény paramétereinek kiértékelése a relatív nedvességtartalom függvényében.....	23
4.2.1. Mérési elrendezés és a mérés menete.....	23
4.2.1.1. Nedvességtartalom változtatása exikátorok segítségével.....	23
4.2.1.2. Nedvességtartalom változtatása vizes szivacs segítségével	25
5. Eredmények	29
6. Összegzés	35

1. Bevezetés

A nedvességtartalom mérése nagyon fontos a faiparban, hiszen számos eljárást befolyásol a fafeldolgozás minden területén.

A mérés típusát tekintve két fő csoportra oszthatjuk az eljárásokat:

Az egyik csoport a térfogati nedvességtartalom mérés, amely a faanyag teljes vastagságáról ad információt.

A másik pedig az anyag felületét vizsgáló módszerek.

Az előbbit főként a nagyobb vastagságú anyagok esetében, illetve a szárítási módszereknél alkalmazzák.

Sok esetben azonban nem szükséges a faanyag tényleges nedvességtartalmának ismerete, elegendő csupán a felületet vizsgálni, mint például a felület előkészítésénél.

Mindkét típus esetében többféle mérési módszer létezik, azonban a felületi nedvességtartalom meghatározására lényegesen kevesebb eljárást ismerünk, mint a térfogatira.

Ebből adódóan ebben a témában írtam meg szakdolgozatom.

A feladatom egy a Fizika és Elektrotechnika Intézet által kifejlesztett mérőműszerrel méréseket végezni.

A mérések megkezdése előtt:

- Irodalomkutatást végeztem a fellelhető szakirodalmakban.
- Ismertettem a különböző nedvességmérési módszereket
- Bemutattam az általam alkalmazott műszeréhez hasonló elven működő mérőműszerekkel.

Szakdolgozatomban ismertetem:

- A faanyag nedvességtartalmának fogalmát
- Mérési módszereit

- A közeli infravörös fény és faanyag kölcsönhatásán alapuló nedvességmérés elvi alapjait.

Az általam alkalmazott mérőműszer infravörös reflexió segítségével határozza meg a faanyag pillanatnyi felületi nedvességtartalmát. Ezáltal a gyártósoron a nedvességtartalom folyamatosan ellenőrizhető és kontrollálható lesz.

A mérések során az adatokat a putty nevű programmal digitalizáltam és naplóztam egy fájlba, majd excel táblázatokban feldolgoztam és diagramok segítségével kiértékeltem.

2. Faanyag nedvességtartalma

A természetes fa egy inhomogén, anizotróp, kapillár-porózus, szilárd test, ennek következtében képes a levegőből vizet adszorbeálni, valamint folyékony vizet és oldatokat szállítani. A víz a fatestben két formában van jelen: kötött vízként a sejtfalakban, és szabad vízként a sejtek kapillárisaiban.

2.1. Nedvességtartalom meghatározása

2.1.1. Nettó nedvességtartalom

A száraz tömeghez viszonyított nedvességtartalom.

$$u = \frac{m_n - m_0}{m_0} \cdot 100 = \frac{m_v}{m_0} \cdot 100$$

$$[u] = \%$$

ahol: m_n – a nedves faanyag tömege

m_0 – abszolút száraz faanyag tömege

m_v – a fában található víz tömege

Bruttó fanedvesség: A nedves tömeghez viszonyított nedvességtartalom

$$u_{br} = \frac{m_n - m_0}{m_n} \cdot 100 = \frac{m_v}{m_v + m_0} \cdot 100$$

$$[u_{br}] = \%$$

A két nedvesség kapcsolata:

$$u = \frac{u_{br}}{1 - 0,01 \cdot u_{br}}$$

$$u_{br} = \frac{u}{1 + 0,01 \cdot u}$$

(Molnár S, 2004)

2.1.2. A fanedvesség mérése:

A faiparban a felhasználandó faanyagok nedvességtartalmának ismerete számos eljárás során nélkülözhetetlen.

A nedvességmérést több okból is végezhetik, például a faanyag száraz tömegének meghatározására, minőségellenőrzési céllal, szárítási folyamatok automatikus szabályozásánál, stb.

2.2. Faanyag nedvességtartalmának mérésére alkalmazott fontosabb módszerek:

2.2.1. Szárítási eljárás:

Ez a legfontosabb nedvesség meghatározási eljárás. Az eljárás lényege, hogy a faanyag tömegét szárítás előtt megméri, majd szárítószekrényben súlyállandóságig szárítják. Ezt követően ismét megméri a tömegét és a két tömeg közötti különbség megadja, hogy mennyi volt a faanyagban a víz tömege.

2.2.2. Kivonásos és extrakciós eljárás:

A nagy mennyiségben gyantát, latexet, éterikus olajokat és más extrakt anyagokat tartalmazó faanyagok esetében alkalmazzák. Az eljárás során a pontosan lemért faforgácsot oldószerrel együtt desztilláló készülékbe tesszük, majd melegítjük. Ennek hatására egy csőrendszeren keresztül eltávozik a vízgőz, az oldószer, valamint a járulékos anyagok. A kondenzált víz és az extrakt anyagok elkülönítése által meghatározható a pontos víztartalom.

2.2.3. Ellenállás típusú elektromos nedvességmérés:

Az ilyen típusú mérőműszerek azon elv alapján kerültek kialakításra, hogy az egyenáramú fajlagos elektromos ellenállás a kötött víz adszorpciós zónájában 10^6 nagyságrendben változik.

Kézi nedvességmérők mérési pontossága:

$$u = 5 - 15\% \text{ értéknél } \pm 1\%, u = 15 - 30\% \text{ értéknél } \pm 2\%.$$

A hőmérséklet növekedésével csökken az ellenállás, ezért kézi készüléknél a mérési eredményt korrigálni kell a külső hőmérséklet függvényében.

2.2.4. Dielektromos elven működő nedvességmérők:

A nedvességtartalom és a dielektromos állapot közti összefüggést használjuk fel ezeknél a méréseknél. A mérőműszerrel beállított frekvencia illetve az adott faanyag sűrűsége függvényében kapjuk a mérési eredményeket. Ez a mérési elv nem alkalmazható $0\text{ }^\circ\text{C}$ alatt.

2.2.5. A légnedvesség mérésén alapuló készülékek:

Ezen mérés során azt használják ki, hogy a fa pórusaiban lévő belső légnedvesség egyensúlyban van az azt körülvevő faanyag nedvességtartalmával. A fa nedvességére a belső párányomás meghatározása után következtetünk.

Két elterjedt megoldás:

fa higrométerek

indikátorpapíros eljárás

2.2.6. Mikrohullámú eljárás:

1-10 GHz frekvenciájú mikrohullámokat közlünk a faanyaggal, amelyek energiáját az eltérő dielektromos állandók miatt a víz molekulák könnyebben nyelik el.

2.2.7. Spektrométeres eljárás:

A víz a fénynek csak adott hullámhossz tartományát képes elnyelni (1930 nm és 1450 nm között). A víztartalomra a nedves fa spektrumából következtethetünk.

2.2.8. Sugárzásos módszerek:

Léteznek γ -sugaras eljárások, amelyek eredményét a sűrűség változása nagymértékben befolyásolja.

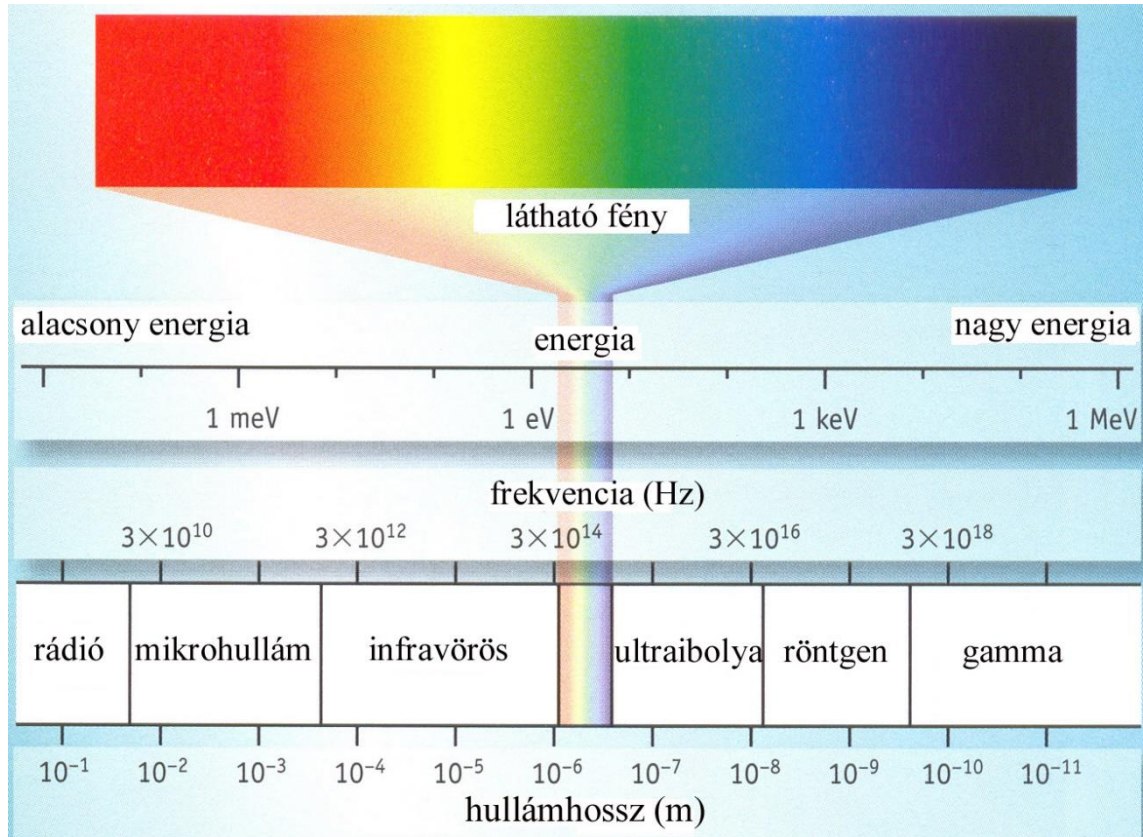
(Molnár S, 2004)

2.2.9. Faanyag felületi nedvességtartalmának meghatározási módszerei

A faanyag felületi nedvességtartalmának meghatározására is létezik már több műszer, például rezisztív műszerek, melyek a faanyag elektromos ellenállása alapján képesek meghatározni a nedvességtartalmat.

2.3. Infravörös fény alkalmazásán alapuló mérések

2.3.1. Infravörös sugárzás



1. ábra Elektromágneses színekép

Az infravörös sugárzás szabad szemmel nem látható, hullámhossza nagyobb, mint a látható fényé, de kisebb, mint a mikrohullámnak vagy a rádióhullámnak, a frekvenciája pedig alacsonyabb a látható fényénél, és a mikrohulláménál magasabb. Ez egy olyan elektromágneses sugárzás, amelyet 780 nm és 1 mm között mérünk. Elsődleges forrása a hőszugárzás, minden objektum infravörös sugárzást bocsát ki magából, aminek hőmérséklete abszolút nulla fok fölött van. A hullámok hosszának megfelelően az alábbi spektrumtartományokba csoportosítják:

- Közeleli infravörös sugárzás /NIR/ (0,7 μm - 1,4 μm hullámhossz): Ebben a tartományban a képi intenzitás erős, és üvegen keresztül csak enyhén gyengül, ezért az optikai kommunikációban használják.
- Rövid hullámhosszú infravörös sugárzás /SWIR/ (1,4 μm - 3 μm hullámhossz): A telekommunikációban hasznosítják.

- Közepes infravörös sugárzás /MWIR/ (3 μm - 8 μm hullámhossz): Az infravörös önirányítású rakétáknál használják.
- Hosszú hullámhosszú infravörös sugárzás /LWIR/ (8 μm - 15 μm hullámhossz): Hőérzékelőként is szokták emlegetni.
- Távoli infravörös sugárzás /FIR/ (15 μm - 1000 μm hullámhossz)

A NIR-t valamint a SWIR-t gyakran tükröződő infravörösként, a MWIR-t és a LWIR-t pedig hő-infravörösként emlegetik.

Az infravörös sugárzás felhasználása igen sokoldalú, többek között alkalmazzák az infravörös spektroszkópiában, infravörös fényképezésnél, csillagászatban, valamint a haditechnika és az orvostudomány is használja.

2.3.2. Közeli infravörös spektrum (NIR)

A közeli infravörös spektroszkópia egy az elektromágneses spektrum közeli infravörös tartományát használó eljárás, amelyet számos területen alkalmaznak, többek között az orvosi diagnosztikában, a gyógyszergyártásban, valamint az élelmiszerek minőségellenőrzésénél.

Az infravörös spektroszkópia azon az elven működik, hogy amikor egy molekulát egy megfelelő hullámhosszú sugárzás éri, az anyag összetételéből adódóan a sugárzás szóródik vagy elnyelődik. Az egyes anyagok egyéni jellemzője az, hogy milyen hullámhosszok nyelődnek el.

A közeli infravörös tartomány nagyobb energiájú, mint a közép infravörös, ezért a NIR-spektroszkópiának rosszabb az érzékenysége, de mélyebbre hatol az anyagban. Ipari alkalmazása 1950-es években kezdődött meg, kezdetben azonban csak más spektrométerek mellett használták kiegészítő mérésekhez, majd az 1990-es évekre mind a tudományos kutatások, mind pedig az orvostudomány hasznos eszközévé vált. Alkalmazása manapság már rendkívül széleskörű. Az erdészetben is alkalmazzák például kárfelmérésnél, viharkár és állománybecslésnél, talajtani és vízügyi térképezésnél, és egyéb területeken is. Az asztronómiában a kevésbé forró csillagok légkörét tanulmányozzák NIR-spektroszkópia segítségével. Valamint az orvostudomány számos területén is alkalmazzák, például a vérellátással, vérösszetétellel kapcsolatos vizsgálatokhoz, mert képes kimutatni a hemoglobin koncentrációját, valamint az agykutatásban az agyi aktivitás jelzésére is használják.

2.3.3. Infravörös és közeli infravörös sugárzás alkalmazása élőfától a faanyagig

2.3.3.1. A fák is alszanak

Magyar-finn-osztrák kutatócsoport (a kutatás vezetője: Eetu Puttonen, a Finn Geodézia Kutatóintézet munkatársa) vizsgálatokat végzett infravörös lézerszkennel segítségével. A vizsgálat célja az volt, hogy kiderítsék és az emberek tudtára adják, hogy éjszaka mi történik a fák lombjával. A méréseket óránként végezték éjszaka, amikor modellezték is a műszer alapján látott fa formáit. A lézerszkennel lehetővé tette hogy meglássák a különböző elváltozásokat a vizsgált fákon. az eredmény erőteljesen látványos volt. Egyes fák ágai és levelei akár 10 cm-t is lejjebb ereszkedtek az éjszaka folyamán. Ahhoz, hogy a mérések hitelesebbek legyenek, Ausztriában és Finnországban a méréseket egyszerre végezték. Azért csak ezen a két helyen végezték egyszerre a méréseket, mert itt hasonlítanak egymásra a legjobban az éghajlatok és annak változásai, ezért hitelesebbek a mért adatok.

A növényi mozgások mindig soros összefüggésben vannak a sejtek és azok közötti víztartalommal, így az egész fa vízháztartásával, mert ha alacsonyabb a fa víztartalma, akkor alacsonyabb a térfogata, mint magas víztartalomnál, hiszen akkor, ha vizes a fa, akkor megdagad, tehát növekszik a térfogat a víztartalom mértékétől függő arányaiban. Ez a méretváltozás száradásnál, tehát csökkenő víztartalomnál is megfigyelhető, csak a visszájára fordítva. a fa térfogata száradás közben folyamatosan csökken, hiszen távozik belőle a víz, ami eddig lehetővé tette annak a térfogatának az elérését.

Újabb kísérletet szerveznek, abból a célból, hogy köztudatra hozzák a fák vízfelvételét, illetve leadását, ezzel is növelve az érdeklődés szintjét a fák vagy bármilyen növény iránt, hiszen minden növény sejteinek van víztartalma különben megszűnne létezni (Konecsny Á. P., 2016)

2.3.3.2. Közeli infravörös fény alkalmazása az erdőszetben

A közeli infravörös fény tartománya 780-1440nm-ig terjed. A különböző spektrális tulajdonságú felvételek más és más jelenségek, felszíni objektumok detektálását, különböző folyamatok vizsgálatát teszik lehetővé. a növényi betegségek felismerése és a fertőzött területek felmérése szintén lehetséges ezzel a műszerrel. Sok esetben úgy akadályozhatóak meg a különböző növénybetegségek elterjedése, hogy kiszelektálják a beteg állományt, ilyen esetekben a károk minimalizálása nagyon fontos, ezért is jó, hogy a közeli infravörös tartományban olyan növénybetegségek is detektálhatóak, amelyeket a hagyományos felbontású valószínűs ortofotókon szabad szemmel nem lehet látni.

A környezet kímélése elősegíthető. A növényeknél kialakuló számos különböző betegségek csökkentése is lehetséges ilyen típusú műszerrel. Ebből kifolyólag alapos térképezéssel a növényvédő szerek alkalmazása koordinálható. nagyon sokféle vegyszert kitaláltak már a növények védelme érdekében, de ezek közül sok nem hatásos a kellő mértékben vagy egyáltalán nem. Erre a problémára is segítséget nyújt a műszer. A megfelelő mennyiségű tápanyag, melynek nagy részét a nedvességgel együtt a talajból nyerik a növények nagyon fontos a szervezetük számára, ebből adódóan problémát jelent számukra annak hiánya. Ezeknek a tápanyagoknak a visszapótlásának a mértéke tervezhető, amennyiben a felszín közeli talajréteg tápanyag tartalma ismert.

Amikor eljön a nyár végi, őszi eleji időszak, akkor a növények anyagcseréje lelassul, a vegetációs időszak hatására, ez pedig az infravörös elektromágneses sugárzás reflexiójának csökkenését okozza.

A növények egészsége színüket tekintve is meghatározható

Az egészséges növények árnyalata nagyjából egyforma, egészséges árnyalatú. A beteg növények egyes részeinél észlelhető, hogy a beteg részeken, foltokon árnyalata halványabb, rózsaszínesebb a többi egészséges rész és növény árnyalatánál. Vannak a súlyos, akár gyógyíthatatlan állapotban lévő növények, amelyeknek színe kékes, vagy barna árnyalatú.

Magyarországon az 1950-es évektől kezdve vizsgálják a légi felmérés előnyeit, ezzel hamarabb észlelhető egy vihar pusztításának a mértéke.

Viharkár és állománybecslés mértékének pontos megállapításában is segítséget nyújt ez a módszer. A lekaszált növényi részek a vízvezetés következményeképp két órán belül megkülönböztethetőek az ép növényzettől infravörös légi felvételen.

2.3.3.3. Fapellet nedvességtartalmának meghatározása

Méréseket végeztek annak érdekében, hogy bizonyítsák, hogy NIR technológiával gyorsan és roncsolás mentesen ellenőrizhető a fapellet nedvességtartalmának megfelelése. Ezen mérések során két egymástól függetlenül előállított, különböző hőmérsékletű pelletet vizsgáltak, így csökkentve a mérési hibalehetőséget. Végül arra a következtetésre jutottak, hogy nagyon elfogadható pontosságú becslést tudnak csinálni ezzel a technológiával. (Mantanus J. et. al., 2009)

3. Műszer ismertetése

3.1. Elvi alap

Közeli infravörös tartományban a folyékony víz a következő hullámhosszokat nyeli el: 1950 nm, 1450 nm, 1200 nm, 970 nm.

3 NIR lézerdíoda szűk tartományból elektromos jeleket generálnak, és különböző értékeket adnak meg annak a függvényében, hogy milyen mértékű a vizsgált faanyag víztartalma. A mért érték növekszik, ha a víztartalom csökken.

Jelenleg három ilyen elven működő, faanyagok nedvességtartalmának mérésére használt műszerről van tudomásunk:

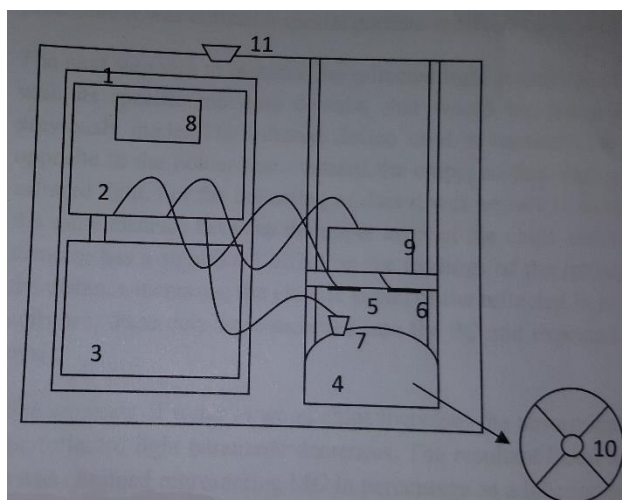
-JWII (Ausztrália)

-M.C. TEC (Hollandia)

-NDC Technologies (USA)

Ezek a berendezések NIR lámpákkal és szűrőkkel rendelkeznek, melyek képesek visszaverni a fényt különböző hullámhosszokon, ezeket a visszavert fényeket mérjük.

3.2. Műszer felépítése és működése



2. ábra A lézeres mérőműszer belső felépítése

1. Áramkör
2. Tápegység
3. Processzor
4. Parabola tükör
5. A dióda (1450 nm)
6. B dióda (1310 nm)
7. C dióda (980 nm)
8. Tápegység hűtőrácsa
9. Diódák hűtőrácsa
10. Visszaverődő fény érzékelő
11. Soros csatlapozó számítógéphez

Az eszközben három közeli infravörös lézerdíoda van a következő hullámhosszokon: 1450 nm (A dióda), 1310 nm (B dióda), 980 nm (C dióda). Ezek közül az 1450 nm a

folyékony víznek abszorpciós sávja, az 1310 nm és a 980 nm nem tartozik a víz elnyelési sávjai közé, azonban a 980 nm nagyon közeli az egyik ilyen sávhoz (970 nm).

A három lézerdíoda infravörös fényt bocsát ki. ezáltal abszorbeálják az anyagban lévő vizet, és a visszavert fény fordítottan arányos a folyékony víz koncentrációjával.

A műszer a visszavert fényt gyűjti össze, melyet a diódáknál elhelyezett parabola tükör megnövel.

A készüléket soros USB átalakító kábellel csatlakoztatni lehet számítógéphez, és a Putty nevű programon keresztül láthatjuk a visszavert fény intenzitását. A Putty az egyes diódákhoz 3-3 adatsort mutat A (1450 nm), B (1310 nm), C (980 nm):

- 1. oszlop az adott lézerdíoda áramerőssége mA-ben
- 2. oszlop a kibocsátott fény
- 3. oszlop a visszavert fény intenzitása

Számunkra a visszavert fény intenzitás a lényeges információ, tehát a 3. oszlopot kell vizsgálnunk. (Bradley M.)

4. Mérések

4.1. Optimális mérési távolság meghatározása

A feladataim közé tartozott, hogy méréseket végezzek az optimális mérési elrendezés megkereséséhez, különös tekintettel a minta és a diódák távolságára. Tölgy és kőris faanyagokat vizsgáltunk légszáraz állapotban, akkor beszélhetünk légszáraz állapotról, ha a légnedvesség 65%-os és a hőmérséklet 20°C.

A minták felszíne és a diódák közötti távolságot mm-ben adtam meg.

10 darab próbatestet vizsgáltunk, 5 db kőris és 5 db tölgy parkett fríz darabot, ezeket a táblázatban K1-5, illetve T1-5 jelöltem, ahol K a kőrist jelöli, T a tölgyet, a számok pedig az egyes próbatestek sorszámait. A az A (1450 nm) diódához tartozó visszavert fény paramétereinek átlaga, B a B (1310 nm) dióda ugyanazon paramétereinek átlaga, C a C (980 nm) dióda átlaga luxban kifejezve.

	távolság [mm]	A [lux]	B [lux]	C [lux]	A/B [lux/lux]	A/C [lux/lux]	B/C [lux/lux]
K1	34	12860,05	8623,167	854,5833	1,491337	15,04833	10,09049
	30	15427,5	11272,58	1081,333	1,368586	14,26711	10,42471
	26	15654,98	13752,23	1202,146	1,138359	13,02253	11,43973
	22	17422,16	17282,17	1421,845	1,0081	12,2532	12,15475
	18	20274,4	23012,19	1771,19	0,881029	11,44677	12,9925
	11	24384	97412,85	3081,038	0,250316	7,914215	31,61689
K2	34	10432,7	7715,453	774,7925	1,352182	13,46515	9,95809
	30	11300,94	9434,941	905,0588	1,197775	12,48642	10,42467
	26	12615,74	12313,23	1076,279	1,024568	11,72163	11,44056
	22	14039,3	15591,42	1300,263	0,90045	10,79727	11,99097
	18	16249,36	20189,28	1665,06	0,804851	9,759024	12,12526
	11	21204	31028,46	2877,179	0,683373	7,369717	10,78433
K3	34	9438,881	7017,857	676,1667	1,34498	13,9594	10,37889
	30	10116,63	8581,911	799,6964	1,178831	12,65058	10,73146
	26	11326,6	11197,34	935,4255	1,011543	12,1085	11,97032

	távolság [mm]	A [lux]	B [lux]	C [lux]	A/B [lux/lux]	A/C [lux/lux]	B/C [lux/lux]
	22	12734,28	14424,47	1138,783	0,882825	11,18236	12,66656
	18	15210,25	19330,92	1436,062	0,786835	10,59164	13,46107
	11	19806,93	29168,68	2558,617	0,679048	7,741266	11,40018
K4	34	12687,23	9318,865	842,5577	1,361457	15,058	11,06021
	30	13560,1	11035,51	953,4237	1,22877	14,22253	11,57461
	26	15349,46	14611,65	1139,333	1,050494	13,47231	12,82474
	22	16619,92	18432	1348,651	0,901688	12,32337	13,66699
	18	19675,95	24437,46	1692,429	0,805155	11,62587	14,43929
	11	25077,48	99999	2874,308	0,250777	8,724703	34,79064
K5	34	10351,06	7584,722	740,5926	1,364724	13,97672	10,24142
	30	11206,06	9260,843	877,2941	1,210047	12,77343	10,55614
	26	12417,31	11940,9	1038,695	1,039897	11,95472	11,49606
	22	13907,23	15331,33	1280,367	0,907112	10,86191	11,97417
	18	15885,99	20094,64	1596,224	0,790559	9,952233	12,58886
	11	20295,78	30348,43	2805,973	0,668759	7,233065	10,81565
T1	34	10679,8	8072,25	744,7344	1,323026	14,34041	10,8391
	30	11561,64	9799,2	876,6364	1,179855	13,18863	11,17818
	26	12738,15	12559,41	1011,983	1,014232	12,58732	12,41069
	22	14608,25	16302,04	1215,058	0,8961	12,02268	13,41668
	18	16737,67	21012,53	1517	0,796557	11,0334	13,85137
	11	21990,54	32540,76	2655,48	0,675784	8,281192	12,25419
T2	34	12061,63	8373,449	753,3718	1,440461	16,01019	11,11463
	30	13015,45	10027,02	876,098	1,298038	14,85616	11,44509
	26	14207,62	12842,2	1012,41	1,106323	14,03347	12,68478
	22	16168,8	16359,46	1231,541	0,988346	13,12892	13,28373
	18	18562,22	21540,25	1521,265	0,861746	12,20183	14,15944
	11	23899,04	99999	2686,2	0,238993	8,896968	37,22694
T3	34	10295,46	7819,156	735,9333	1,316697	13,98966	10,62482
	30	11231,61	9359,018	869,1579	1,200085	12,92241	10,76791
	26	11977,8	11695,91	1015,337	1,024102	11,79687	11,51923

	A [lux]	B [lux]	C [lux]	A/B [lux/lux]	A/C [lux/lux]	B/C [lux/lux]	távolság [mm]
	22	13463	15339,86	1225,215	0,877648	10,98827	12,52013
	18	15549,93	19939,29	1519,352	0,779864	10,23458	13,12354
	11	19906,34	30260,34	2780,4	0,657836	7,159524	10,88345
T4	34	10200,26	7299,415	731,0923	1,397408	13,95208	9,98426
	30	11078,07	9054,426	873,3889	1,223498	12,68401	10,367
	26	12095,09	11517,84	1013,182	1,050118	11,93773	11,36799
	22	13511,56	14443,95	1256,918	0,935447	10,74975	11,49156
	18	16011,31	19009,37	1589,959	0,842285	10,07026	11,95588
	11	20290,18	29565,05	2954,125	0,686289	6,868421	10,00806
T5	34	10270,43	7338,161	708,7857	1,399592	14,49017	10,35314
	30	11217,62	8883,69	831,7857	1,262721	13,48619	10,68026
	26	12345,81	11410,75	974,2517	1,081945	12,67209	11,71233
	22	13926,16	14558,71	1174,345	0,956552	11,85866	12,3973
	18	16297,61	19176,87	1487,143	0,849858	10,95901	12,89511
	11	20429,67	29279,13	2705,718	0,697755	7,550553	10,8212

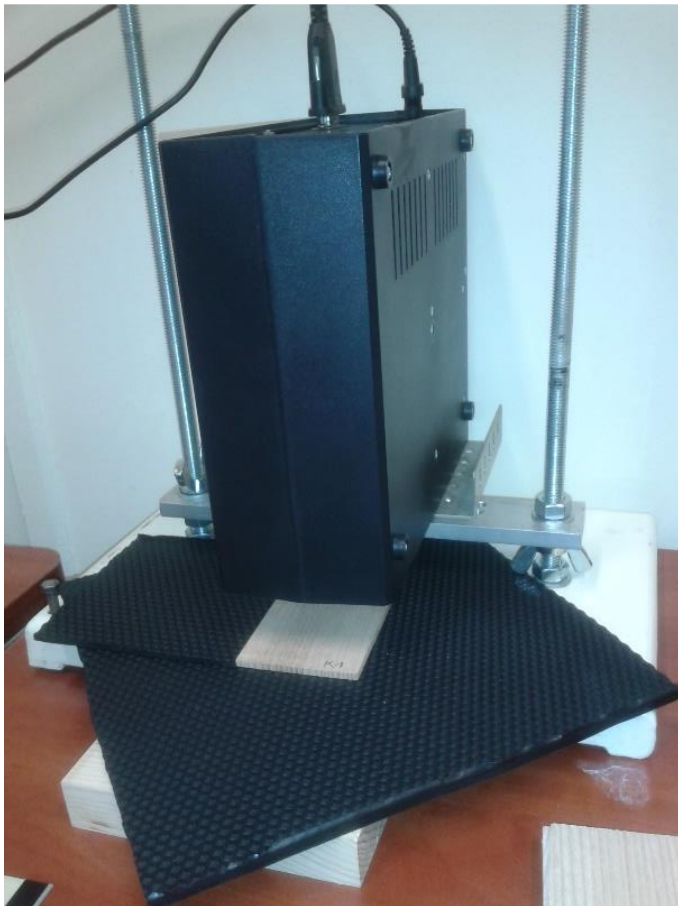
1. táblázat Optimális mérési távolságok keresése

4.1.1. Mérési elrendezés és a mérés menete

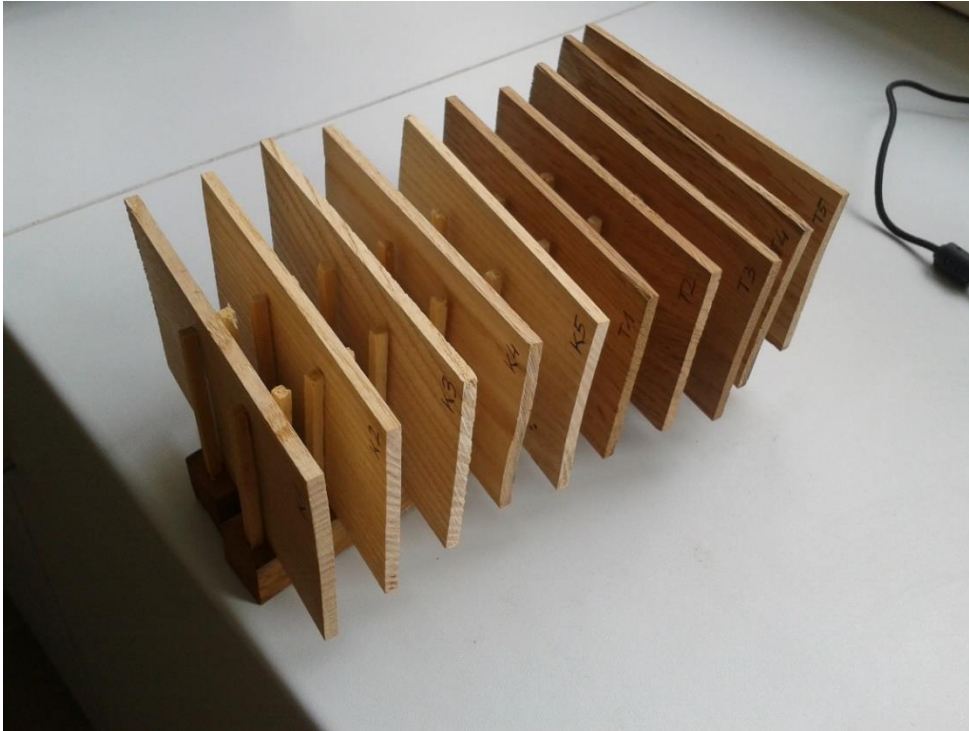
Első lépés a mintakészítés volt, a mintáknál igyekeztünk figyelembe venni, hogy lehetőség szerint olyan fafajokat vizsgáljunk, melyeket a faiparban gyakran alkalmaznak, elvégre a célunk az, hogy előbb utóbb az általunk használt mérőműszer tényleges ipari alkalmazásba kerüljön. Az általunk mért faanyagok tehát 5 db tölgy és 5 db kőris fafajból származó 65 mm széles, 4 mm vastag, és 100-130 mm hosszú parkettafríz darabok voltak. A minták kiválasztásánál azt is figyelembe kellett vennünk, hogy a mért parkettafríz ne tartalmazzanak felületi hibákat, mert azok más tulajdonságokkal rendelkezhetnek, mint a faanyag többi része, így mérési hibákat okozhattak volna. A minták kiválasztása után megmértük a próbatestek pontos befoglaló méreteit, tömegüket.

A mérés során a mérőműszert állítható magasságú állványra tettük, hogy könnyedén változtathassuk a távolságokat. A próbatestek alá fekete gumi lapot tettünk, ezzel csökkentve a környezetből visszavert fényt.

Úgy kellett elhelyezni a próbatesteket, hogy közvetlenül ki legyen téve a kibocsátott infravörös fénynek. Az adatok kigyűjtésénél fontos, hogy egy adott mérés közben azonos távolságot alkalmazzunk a próbatest felszíne és a műszer között. Ez azért fontos, mert a távolság növelésével a visszavert fény veszít az intenzitásából. Tehát nem szabad túl nagy távolságot hagyni, ugyanakkor az optimális mérési elrendezésnél fontos szempont volt az is, hogy a gyakorlatban alkalmazható távolságot állítsunk be. 11 mm-től kezdtük növelni a távolságokat, 34 mm-ig. A 11 mm túl közelinek bizonyult, és nem mellesleg a gyakorlatban sem lenne célszerű ilyen közel tenni a műszert a faanyagokhoz, mert ha esetleg valami kiáll az egyes vizsgálandó anyagokból, akkor az eszköz is, valamint a termék is sérülhet.



3. ábra A 4.1.1. pontban ismertetett mérési elrendezés



4. ábra A 4.1. pontban ismertetett mérésnél vizsgált próbatestek

4.1.2. Eredmény

A mérési távolságnál tehát oda kellett figyelni arra, hogy az eszköz és a próbatest között a gyakorlatban is alkalmazható távolság legyen illetve arra is, hogy a távolság növelésével a visszavert fény intenzitása csökken. Tehát az ideális mérési távolság sem túl közeli sem pedig nagyon távoli nem lehet. A 11 mm túl közeli volt, az eszköz nem tudott pontosan mérni ennyire közelről, az ettől nagyobb távolságoknál pedig annyira nem volt lényeges eltérés a mért értékek között. Arra a következtetésre jutottam, hogy a mérés távolsága bizonyos mértékig változtatható, de egy adott mérés közben állandó távolság tartása szükséges.

4.2. Visszavert fény paramétereinek kiértékelése a relatív nedvességtartalom függvényében

4.2.1. Mérési elrendezés és a mérés menete

4.2.1.1. Nedvességtartalom változtatása exikátorok segítségével

A méréseket a már fent említett parkett frízekkel és a 34 mm-es távolsággal végeztük. Először légszáraz állapotban mértünk, majd a nedvességtartalmat exikátorok segítségével állítottuk be 33%, 63%, illetve 98%-ra, ezt követően a faanyagokat abszolút száraz állapotig szárítószekrénybe helyeztük, majd így is megmértük.

A mérések során a mért minta alá minden esetben egy fekete gumilapot tettünk, amely csak elhanyagolható mértékben reflektál.

A fafajokat már az elején kiválasztottuk, tölgy és kőris, ezeket vizsgáltuk az összes mérés során.

Az adatokat a putty nevű program segítségével rögzítettük, majd excel táblázatokban dolgoztuk fel, és ábráztuk grafikonon a kapott eredményeket.

Az első mérésnél szobaszáraz állapotú faanyagokkal dolgoztunk, ez a távolságok mérésekor volt, ezt követően rögtön betettük a mintákat exikátorba, 33% páratartalomra. Tömegállandóságig a gőz fölött hagytuk a próbatesteket, majd azonnal mértünk a Fizika- és Elektrotechnika Intézetén kifejlesztett mérőműszerrel, majd ismételt tömegmérés következett, végül a következő exikátorba helyeztük, 63%-os páratartalmú gőz fölé. Ebben az esetben is tömegállandóságig hagytuk a faanyagot a gőzben, és elvégeztük a méréseket úgy, mint az előző esetben, ezt követően 98%-os páratartalmú gőz fölé tettük, végül szárítószekrényben abszolút száraz állapotra szárítottuk. Akkor beszélhetünk abszolút száraz állapotról, ha a faanyag nedvességtartalma 0%. Ez az állapot csak szárítószekrényben érhető el, és nagy jelentősége van a tudományos kutatásokban.

Lényeges, hogy minden esetben az exikátorból kivéve a próbatesteket, azonnal végeztük a méréseket, majd rögtön a következő oldat fölé tettük, annak érdekében, hogy a mért adatok között minimális eltérés legyen csak. A felületi nedvességtartalom nagyon hamar változni kezdett a környezeti páratartalomnak megfelelően.

5. ábra Próbatestek az exikátorban

visszavert fény paramétereinek átlaga luxban, m a próbatestek tömege g-ban megadva, MC a relatív nedvességtartalom %-ban kifejezve, A/B , A/C , B/C pedig az egyes diódákhoz tartozó visszavert fény intenzitások egymáshoz viszonyított aránya. Ezen arányok és a nedvességtartalom között keresünk összefüggést.

mérési távolság						A/B	A/C	B/C
34 mm	A [lux]	B [lux]	C [lux]	m [g]	MC [%]	[lux/lux]	[lux/lux]	[lux/lux]
K1	12860,05	8623,167	854,5833	13,4172	7,413219	1,491337	15,04833	10,09049
	13897,7	9378,681	875,7234	13,4045	7,311547	1,48184	15,86997	10,70964
	13687,13	8965,131	933,4426	13,7293	9,911778	1,526707	14,66307	9,604373
	11075,54	7927,423	869,0962	15,2882	22,39176	1,397117	12,74374	9,121457
	15034,53	7523,823	714,2581	12,4912	0	1,998257	21,04916	10,53376
T1	10679,8	8072,25	744,7344	12,0404	7,960476	1,323026	14,34041	10,8391
	11452,71	8416,695	774,1017	12,0288	7,856464	1,360714	14,79484	10,87285
	11463,67	8738,333	798,3509	12,246	9,803992	1,311883	14,35918	10,94548
	9201,091	7402,364	756,4545	13,321	19,443	1,242994	12,16344	9,785603
	12558,76	6847,109	619,8696	11,1526	0	1,83417	20,26033	11,04605

2. táblázat Kőrös és tölgy faanyag nedvességtartalmának vizsgálata

4.2.1.2. Nedvességtartalom változtatása vizes szivacs segítségével

A következő mérésnél vékonyabb anyagok esetében is igazolni szeretnénk volna a kapott eredményeket, ezért a méréseket 2 db nyár furnérral és egy fixen rögzített állványú mérőműszerrel végeztük. Ebben az esetben a távolság is nagyobb volt. Ezúttal a mérések során egy mérleget helyeztünk a próbatestek alá, hogy az esetleges tömegváltozást azonnal dokumentálni tudjuk. Ezzel is kiküszöbölve azt a hibát, hogy mivel a nedvességtartalom folyamatosan változik, így esetleg a műszerrel már nem ugyanazt az eredményt mérjük, mint amit számítással meghatározunk. A mérések azonban azt az eredményt mutatták, hogy egy mérési ciklus alatt (30 sec) a tömeg nem változik jelentősen, azaz elegendő a nedvességmérő műszeres mérés előtt és után megmérni.

A faanyag egy kapilláris porózus testnek tekinthető, azaz megváltozott ozmótikus nyomás viszonyok és a levegő páratartalmának, hőmérsékletének hatására azonnal nedvességet ad le. Ez azért van, mert a lignocellulóz tartalmú anyagok és a körülöttük lévő levegő nedvességtartalma igyekeznek egyensúlyt kialakítani. A

szabad víz tartományban a nedvességtartalom a felszíni rétegek felé áramlik, ahol gőzállapotban távozik a felületről. A kötött víz tartományban ún. szorpciós izoterma segítségével vizsgálható az adott anyagra és körülményekre jellemző nedvességtartalom változás. (Dr. Takáts P, 2000)

A nedvességtartalom tehát görbe alapján változik, de ez lineáris szakaszokból tevődhet össze, és a mérési ciklusok csupán 30 másodpercesek, ezért az egyes szakaszokat tekinthetjük lineárisnak, így a tömegek esetében tekinthetjük a két mért érték számtani közepét. A táblázatban feltüntetett tömegek tehát a mérés előtti és utáni tömegek átlagai.

Első lépésként itt most is légszáraz állapotban mértük meg a mintákat, majd az egyes mérések között a próbatesteket egy vizes szivacs segítségével nedvesítettük be, majd újabb mérési ciklus következett, végül szárítószekrényben abszolút száraz állapotra szárítottuk. Négyszer nedvesítettük be a próbatesteket, mielőtt szárítottuk volna, minden nedvesítést és a szárítást követően is azonnal végeztük a mérést, hogy minél pontosabb eredményeket tudjunk meghatározni.

A táblázatban szereplő adatok jelölése megegyezik a 2. táblázatban feltüntetett jelölésekkel.

	A [lux]	B [lux]	C [lux]	m [g]	MC [%]	A/B [lux/lux]	A/C [lux/lux]	B/C [lux/lux]
N8	5992,907407	6894,453704	648,9583333	2,245	3,935185	0,869236	9,234657	10,62388
	3464,58427	6451,241573	657,7865169	2,395	10,87963	0,537041	5,267034	9,8075
	2623,917127	6077,801105	626,7458564	2,585	19,67593	0,431721	4,186573	9,697393
	2723,879518	5622,903614	651,4939759	2,77	28,24074	0,484426	4,180974	8,630784
	2473,590278	5680,131944	637,8402778	2,86	32,40741	0,435481	3,878072	8,905258
	5932,401515	6828,045455	652,0454545	2,16	0	0,868829	9,098141	10,47173
N9	5180,582822	6712,079755	782,1042945	3,22	4,885993	0,77183	6,623903	8,582078
	3027,481132	6215,787736	707,1933962	3,385	10,26059	0,487063	4,28098	8,789375
	2574,687117	5916,006135	722,0490798	3,66	19,21824	0,435207	3,565806	8,193357
	2046,183908	5552,448276	723,4597701	3,86	25,7329	0,368519	2,828331	7,674854
	1912,30625	5316,76875	700,3	4,055	32,08469	0,359675	2,730696	7,59213
	5207,084034	6874,789916	787,9747899	3,07	0	0,757417	6,608186	8,724632

3. táblázat Nyár fűnérok nedvességtartalmának vizsgálata



6. ábra A 4.2.1. pontban ismertetett 2. mérési elrendezés

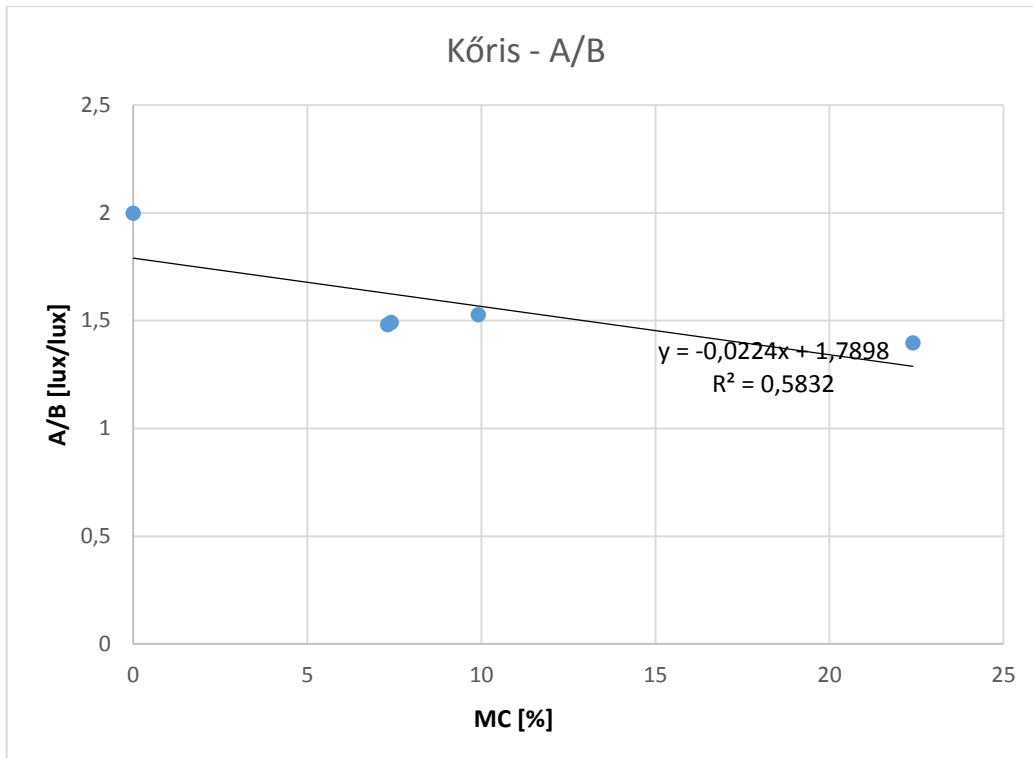


7. ábra Nyár furnér próbatetek

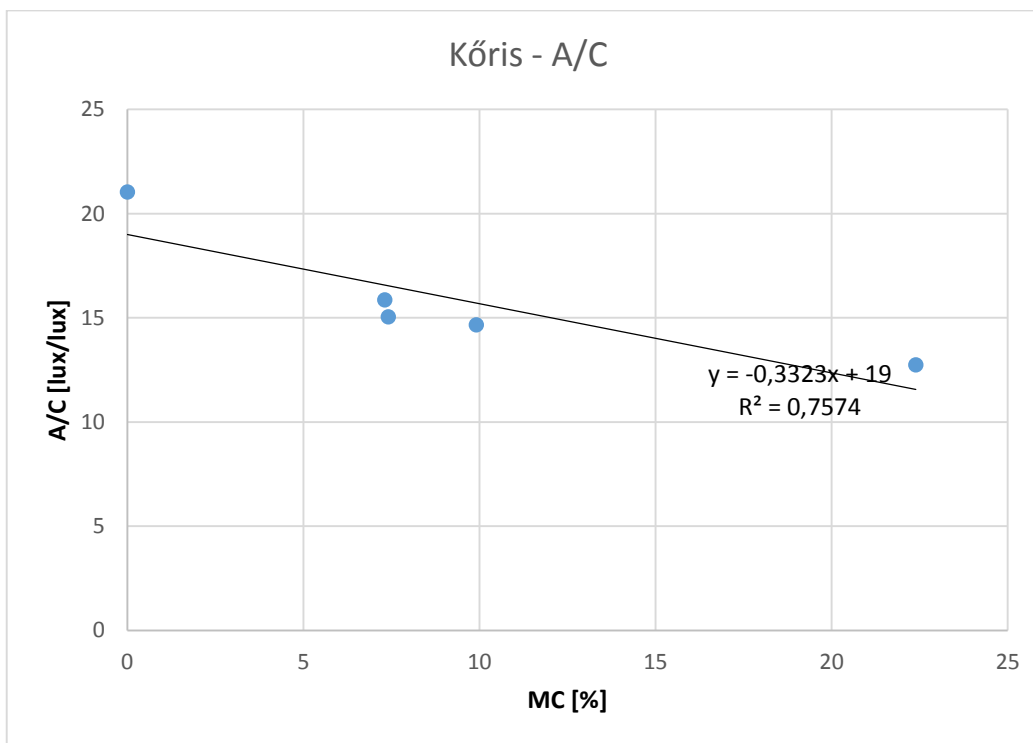
5. Eredmények

A mérések során több hibalehetőséggel is számolnunk kellett, először is a próbatestek nem lehettek túl kicsik, mert így a környezetéből is mérnénk a visszavert fényt, ezáltal hibás adatokat kapnánk. Ha a mérőműszer és a mért faanyagok közötti távolság túl nagy, akkor ugyanez a probléma lép fel, ha viszont túl kicsi a távolság, akkor olyan nagy értékeket kapunk, hogy a mérőműszer nem tudja mérni az adatokat. Végül pedig ott volt az a probléma is, hogy a felületi nedvesség gyorsan alkalmazkodni kezd a környezeti viszonyokhoz, és ez minimális mértékű eltérést okozhat a két mérés között. Azonban mindezen hibák ellenére is a műszer alkalmas lenne ipari felhasználásra, mert nem szükséges a nedvességtartalom pontos ismerete, csak bizonyos határok közötti megfelelés, ezt pedig a műszer segítségével meg tudjuk állapítani.

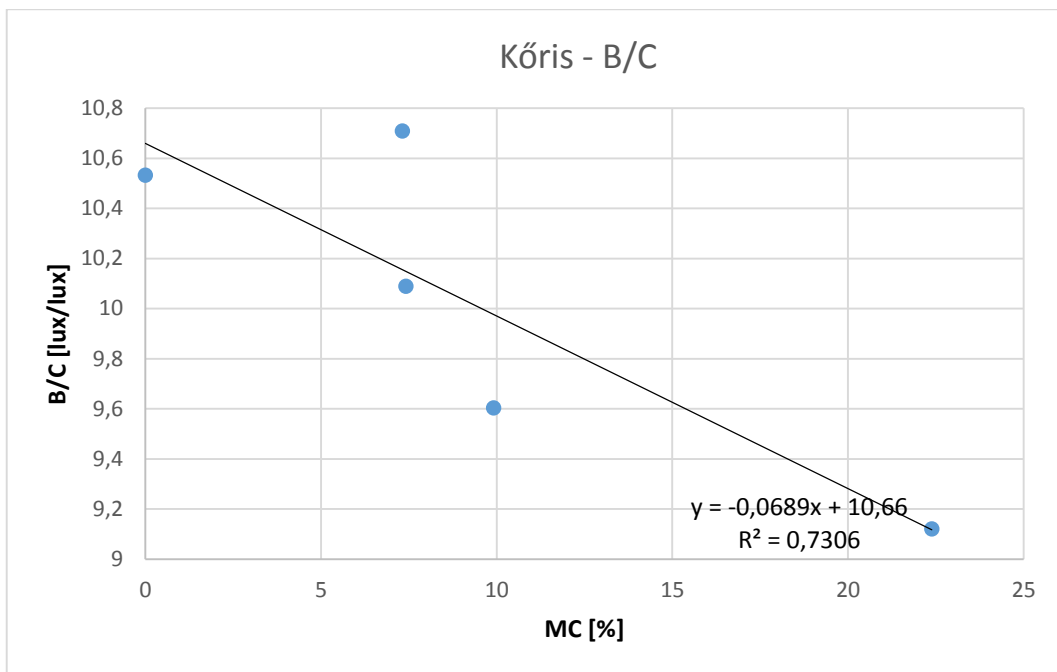
Az alábbi grafikonokon azt mutatjuk meg, hogy a felületről reflektált fény milyen kapcsolatban van a vizsgált faanyagok nedvességtartalmával. Az összehasonlítások során a faanyag tényleges nedvességtartalmának meghatározására a tömeg és a befoglaló méretek segítségével kaptunk értékeket, az $u = \frac{m_n - m_0}{m_0} \cdot 100$ összefüggésből. Ezen értékek függvényében ábrázoltuk a mért intenzitások hányadosait.



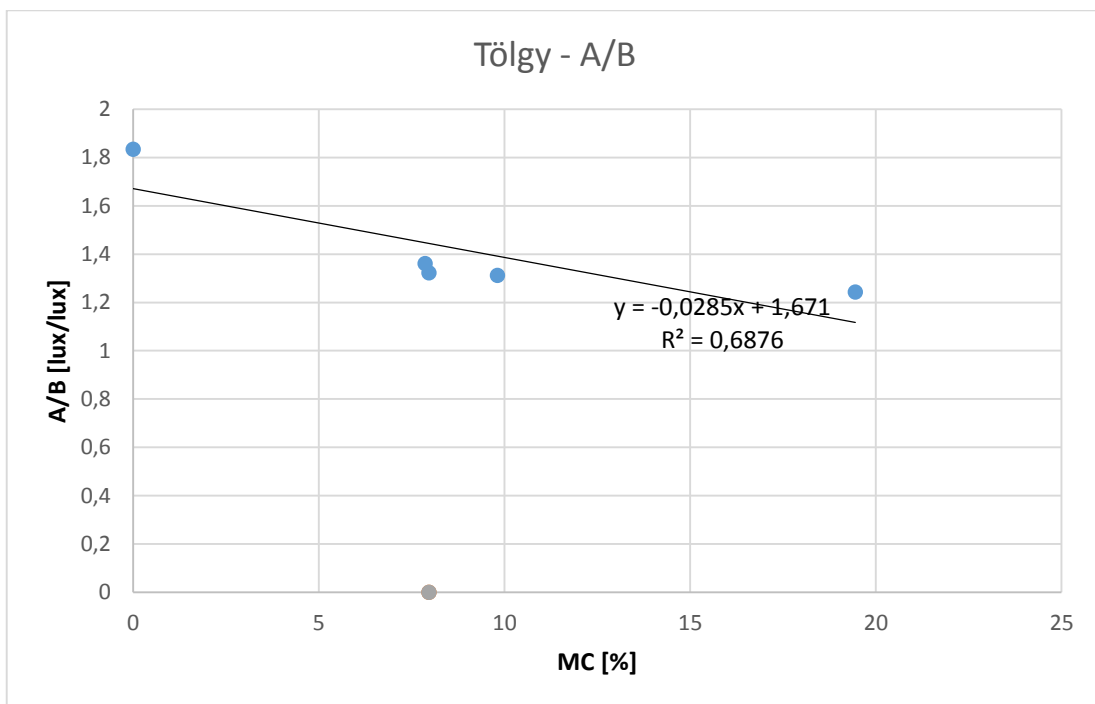
8. ábra A és B diódákhoz tartozó visszavert fény intenzitások egymáshoz viszonyított aránya a relatív nedvességtartalom függvényében kőris faanyag esetében



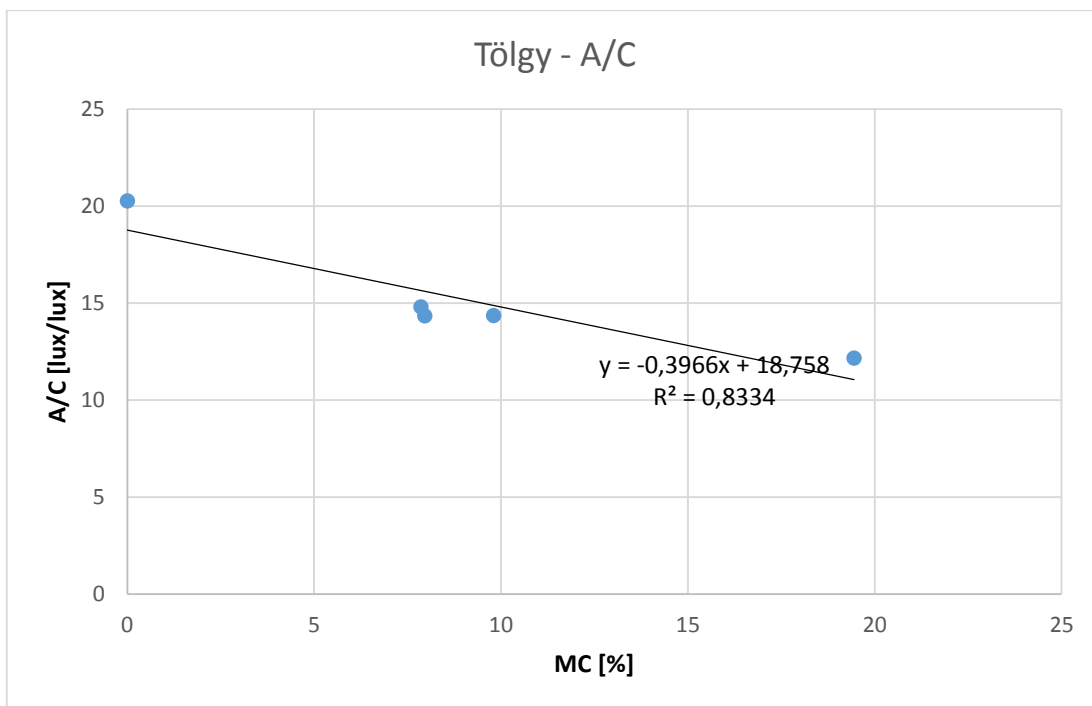
9. ábra A és C diódákhoz tartozó visszavert fény intenzitások egymáshoz viszonyított aránya a relatív nedvességtartalom függvényében kőris faanyag esetében



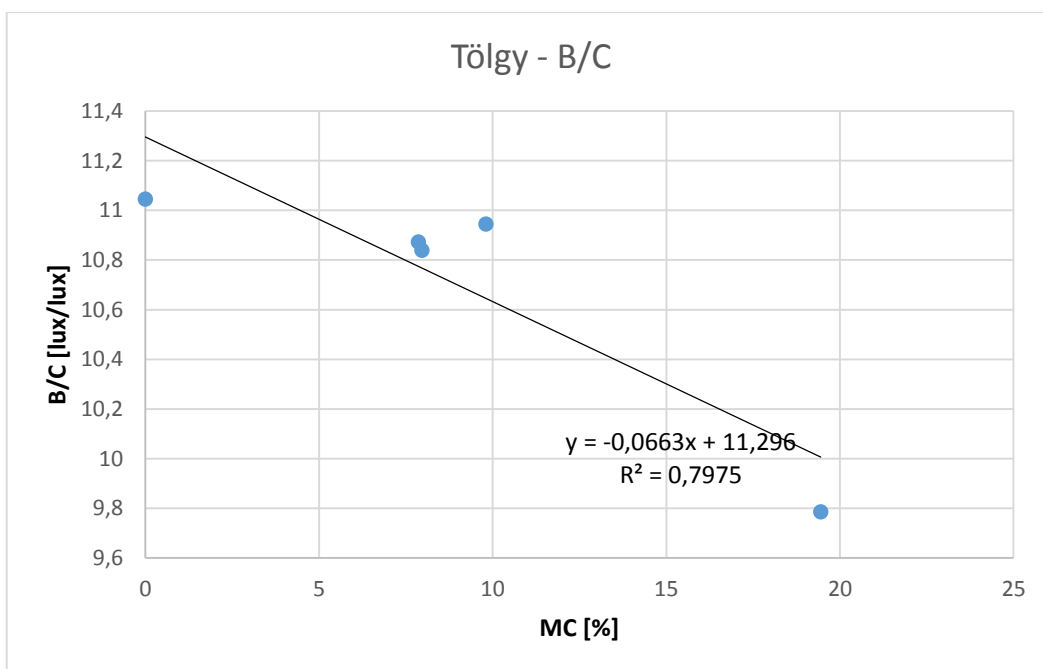
10. ábra B és C diódákhoz tartozó visszavert fény intenzitások egymáshoz viszonyított aránya a relatív nedvességtartalom függvényében kóris faanyag esetében



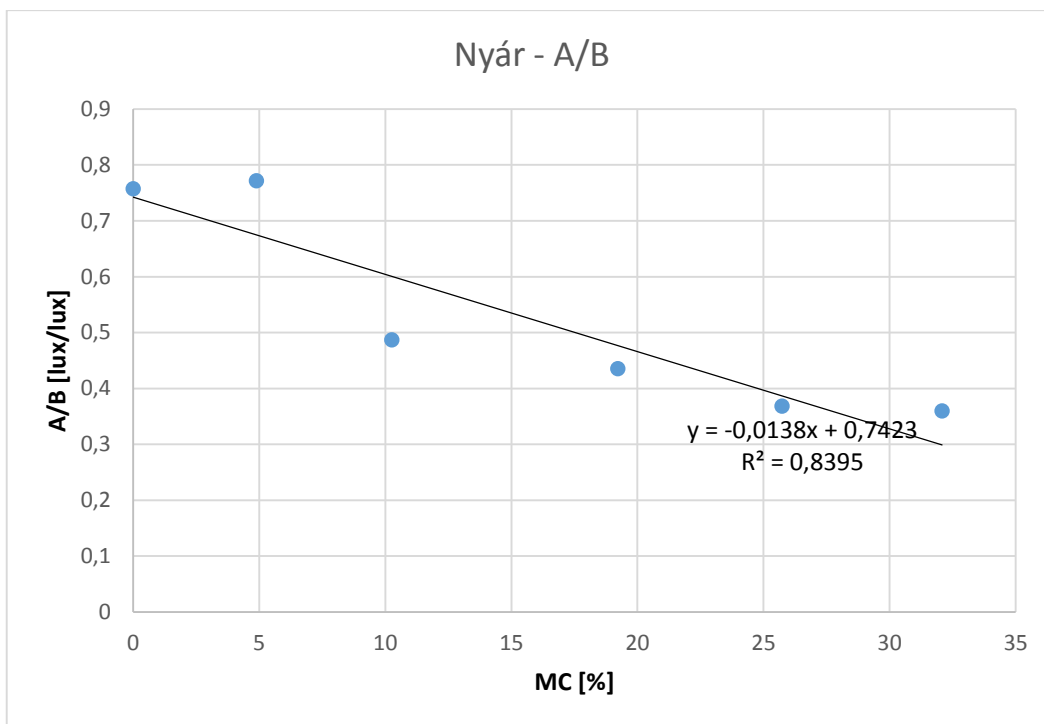
11. ábra A és B diódákhoz tartozó visszavert fény intenzitások egymáshoz viszonyított aránya a relatív nedvességtartalom függvényében tölgy faanyag esetében



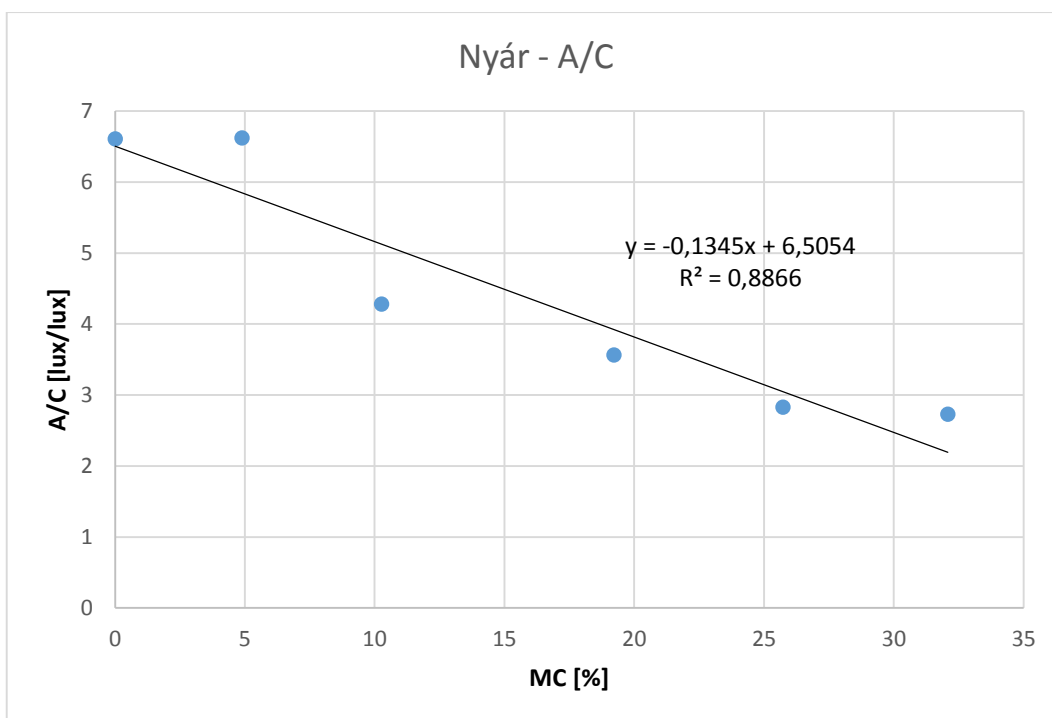
12. ábra A és C diódákhoz tartozó visszavert fény intenzitások egymáshoz viszonyított aránya a relatív nedvességtartalom függvényében tölgy faanyag esetében



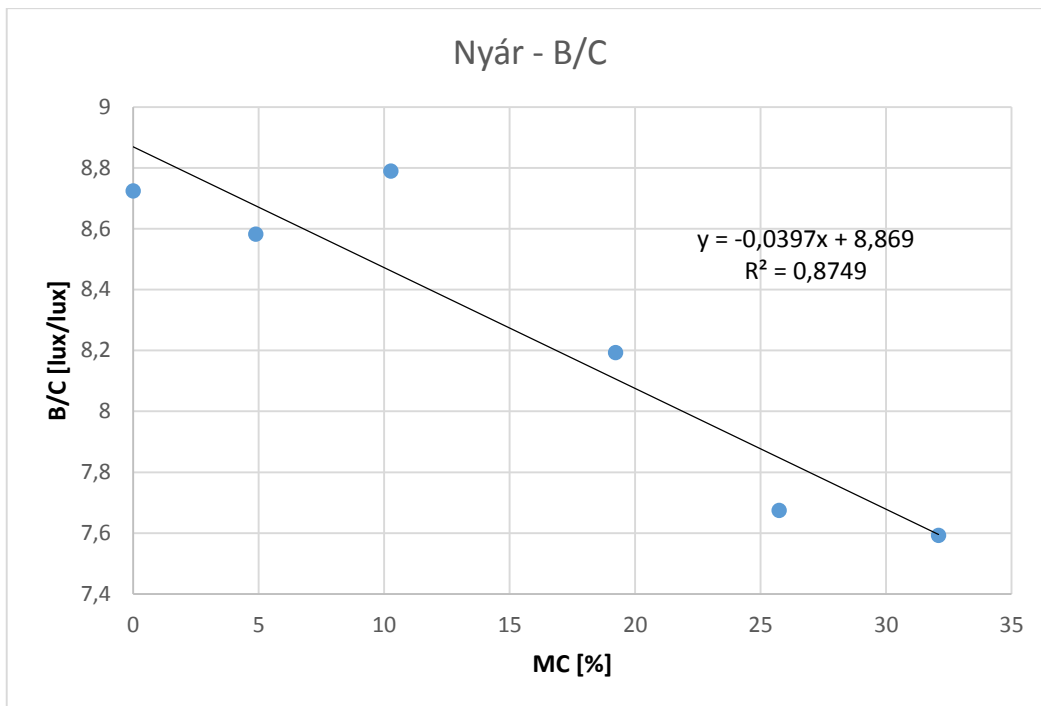
13. ábra B és C diódákhoz tartozó visszavert fény intenzitások egymáshoz viszonyított aránya a relatív nedvességtartalom függvényében tölgy faanyag esetében



14. ábra A és B diódákhoz tartozó visszavert fény intenzitások egymáshoz viszonyított aránya a relatív nedvességtartalom függvényében nyár faanyag esetében



15. ábra A és C diódákhoz tartozó visszavert fény intenzitások egymáshoz viszonyított aránya a relatív nedvességtartalom függvényében nyár faanyag esetében



16. ábra B és C diódákhoz tartozó visszavert fény intenzitások egymáshoz viszonyított aránya a relatív nedvességtartalom függvényében nyár faanyag esetében

A fenti grafikonokon jól látszik tehát, hogy A/B, azaz az A és B diódákhoz tartozó visszavert fény intenzitások aránya, és a relatív nedvességtartalom között a várt összefüggést, vagyis fordított arányosságot láthatunk. A/C esetében is felfedezhető a fordított arányosság a faanyag víztartalmához viszonyítva, de ez esetben nem annyira látványos az eredmény, mint az előzőben. B/C esetében azonban ez a fordított arányosság csak bizonyos esetekben jelentkezik. Arra következtethetünk tehát, hogy a kívánt eredményt, vagyis a faanyag nedvességtartalmának viszonylag pontos, de nagyon gyors meghatározásához az A/B arányt érdemes tovább vizsgálni.

6. Összegzés

Az eredményékek függnek:

- A vizsgált fafajtól
- A távolságtól
- A próbatestek nedvességtartalmától

Ezért első lépésként a távolságot szerettük volna megállapítani. A távolság optimalizálását az állítható állvány segítségével tudtuk kivitelezni. A fafajokat már a vizsgálat elején kiválasztottuk, tölgy és kőris, ezek voltak a próbatestek a későbbi mérések során. Ezek után pedig következett a különböző nedvességtartalmak mérése. Az adatokat a putty nevű program segítségével rögzítettük, majd excel táblázatokban dolgoztuk fel, és ábráztuk grafikonon a kapott eredményeket.

A távolság optimalizálása után a nedvességtartalommal szerettünk volna összefüggést találni, így a mért próbatestek nedvességtartalmait változtattuk, úgy hogy a próbatesteket különböző páratartalmú gőz fölé helyeztük tömegállandóságig, majd ezeknek mértük meg a nedvességtartalmát.

Ez után nyárból készült furnérokon végeztünk méréseket. Ezeknek a nedvességtartalmát egy vizes szivaccsal változtattuk.

A mért adatokat feldolgoztuk táblázatokban, majd grafikonokon ábráztuk, és jól látható lett, hogy van összefüggés a relatív nedvességtartalom és a mért adatok. Különösen A/B, azaz az A (1450 nm) és a B (1310 nm) diódákhoz tartozó visszavert fény intenzitások egymáshoz viszonyított aránya és a relatív nedvesség tartalom között figyelhető meg ez a fordított arányosság. A műszert tehát érdemes tovább fejleszteni, hiszen így egy a gyártósoron rendkívül hasznos mérőműszer kerülhet piacra.

7. Ábrajegyzék

1. ábra Elektromágneses színekép	11
2. ábra A lézeres mérőműszer belső felépítése	16
3. ábra A 4.1.1. pontban ismertetett mérési elrendezés.....	21
4. ábra A 4.1. pontban ismertetett mérésnél vizsgált próbatestek.....	22
5. ábra Próbatestek az exikátorban.....	24
6. ábra A 4.2.1. pontban ismertetett 2. mérési elrendezés.....	27
7. ábra Nyár furnér próbatestek.....	28
8. ábra A és B diódákhoz tartozó visszavert fény intenzitások egymáshoz viszonyított aránya a relatív nedvességtartalom függvényében kőris faanyag esetében.....	30
9. ábra A és C diódákhoz tartozó visszavert fény intenzitások egymáshoz viszonyított aránya a relatív nedvességtartalom függvényében kőris faanyag esetében.....	30
10. ábra B és C diódákhoz tartozó visszavert fény intenzitások egymáshoz viszonyított aránya a relatív nedvességtartalom függvényében kőris faanyag esetében.....	31
11. ábra A és B diódákhoz tartozó visszavert fény intenzitások egymáshoz viszonyított aránya a relatív nedvességtartalom függvényében tölgy faanyag esetében.....	31
12. ábra A és C diódákhoz tartozó visszavert fény intenzitások egymáshoz viszonyított aránya a relatív nedvességtartalom függvényében tölgy faanyag esetében.....	32
13. ábra B és C diódákhoz tartozó visszavert fény intenzitások egymáshoz viszonyított aránya a relatív nedvességtartalom függvényében tölgy faanyag esetében.....	32
14. ábra A és B diódákhoz tartozó visszavert fény intenzitások egymáshoz viszonyított aránya a relatív nedvességtartalom függvényében nyár faanyag esetében.....	33
15. ábra A és C diódákhoz tartozó visszavert fény intenzitások egymáshoz viszonyított aránya a relatív nedvességtartalom függvényében nyár faanyag esetében.....	33
16. ábra B és C diódákhoz tartozó visszavert fény intenzitások egymáshoz viszonyított aránya a relatív nedvességtartalom függvényében nyár faanyag esetében.....	34

8. Táblázatjegyzék

1. táblázat Optimális mérési távolságok keresése	20
2. táblázat Kőris és tölgy faanyag nedvességtartalmának vizsgálata	25
3. táblázat Nyár furnérok nedvességtartalmának vizsgálata	27

9. Irodalom jegyzék

<http://energiapedia.hu/infravoros-sugarzas>

<http://interspect.hu/index.php/legifoto-ortofoto-terkepek/koezeli-infravoeroes-nir-cir.html>

https://hu.wikipedia.org/wiki/K%C3%B6zeli_infrav%C3%B6r%C3%B6s_spektroszk%C3%B3pia

https://hu.wikipedia.org/wiki/Infrav%C3%B6r%C3%B6s_sug%C3%A1rz%C3%A1s

[S](#)

Konecsny Á. P. (2016): A fák is minden éjjel nyugovóra térnek – Egy kutatócsoport láthatóvá tette, hogyan alszanak a fák. Globális Világ online magazin, <https://globalisvilag.com/2016/06/03/a-fak-is-minden-ejjel-nyugovora-ternek-egy-kutato-csoport-lathatova-tette-hogyan-alszanak-a-fak/>

Mantanus J. et. al. (2009): Moisture content determination of pharmaceutical pellets by near infrared spectroscopy: method development and validation. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19427475>

Bradley M.: Near infrared laser reflection based wood moisture content determination. Kézirat. Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron

Dr. Molnár S. (2004): Faanyagismeret. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest. pp:190, 209-212.

Dr. Takáts P. (2000): Szárítás és gőzölés egyetemi jegyzet. Faipari Mérnöki Kar, Sopron. p: 23.