

TDK DOLGOZAT

HANZSÉROS OLIVÉR
SOPRON, 2023

Soproni Egyetem

Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar

Faipari és Műszaki Intézet

Átlátszó fa készítése UV segített delignifikációval hazai lombos faanyagokból

Témavezető:

Dr. Bak Miklós

tudományos munkatárs

Konzulens:

Takács Dávid

PHD hallgató

Szakdolgozat készítője:

Hanzséros Olivér

IV.évf. faipari mérnök

BSC hallgató

Tartalomjegyzék

Hallgatói nyilatkozat	5
1. BEVEZETÉS	6
2. Átlátszó fa előállításának szakirodalmi háttere és gyártásának rövid elmélete	8
2.1. Faanyag kémiai az UV sugárzás hatására	9
2.2. UV sugárzás	10
2.3. UV által segített delignifikálás	10
2.4. PLA	11
2.5. Epoxigyanta	12
2.6. UV segített delignifikálát mintáinak telítése	13
3. ESZKÖZÖK/ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK	14
3.1. UV kamra, UV fénycsövek	14
3.2. Kémiai anyagok	14
3.3. Minták	15
3.4. UV segített delignifikáció leírása	15
3.4.1. Elvégzett kísérletek	16
3.4.2. Kísérletek a megfelelő magasság kiválasztására	16
3.4.3. Kísérlet a hidrogén-peroxid és a nátrium-hidroxid felszívódására	17
3.4.4. Kísérlet a teljes delignifikálásra.	18
3.4.5. Kísérlet a hidrogén-peroxid (H ₂ O ₂) és a nátrium-hidroxid (NaOH) 1/5 elegyével történő delignifikálásra.	19
3.4.6. Kísérlet a hidrogén-peroxidban áztatás utáni delignifikálásra	20
3.4.7. Kísérlet a delignifikáció gyorsítására	21
3.5. Polimerekkel való telítés leírása	21
3.5.1. Epoxi előkészítése	21
3.5.2. PLA előkészítés	21
3.5.3. Telítés leírása, és in situ polimerizáció	22

3.6.	Furnér minták vizsgálatai	23
3.6.1.	Tömeg és vastagság változása	23
3.6.2.	SEM képalkotás	23
4.	Eredmények	24
4.1.	UV segített delignifikált eredményi	24
4.2.	Polimerekkel való telítés eredményi	25
4.2.1.	PLA-val történő telítés eredményi	25
4.2.2.	Epoxigyantával történő telítés eredményi	25
4.3.	Furnér minták vizsgálatai eredményi	26
4.3.1.	Tömegváltozás	26
4.3.2.	Vastagság változás	27
4.4.	SEM képalkotás eredményi	28
4.4.1.	Delignifikált minták	28
4.4.2.	Epoxigyantával telítés eredményi	29
4.4.3.	PLA-val telítés eredményi	30
5.	ÖSSZEFOGLALÁS	31
	Köszönetnyilvánítás	32
	Ábraj és melléklet jegyzék	33
	FELHASZNÁLT IRODALOM	39
	Mellékletek	43
	UV segített delignifikációs minták mellékletei	43
	Polimerrel való telítés mellékletei	53
	SEM képalkotás mellékletei	56



SOPRONI EGYETEM
Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar
H-9401 Sopron, Bajcsy-Zs. u. 4. Pf.: 132.
Tel: +36 (99) 518-101 Fax: +36 (99) 518-259

NYILATKOZAT

Alulírott **(név) Hanzséros Olivér** (neptun kód: **FH796B**) jelen nyilatkozat aláírásával kijelentem, hogy a **Átlátszó fa készítése UV segített delignifikációval hazai lombos faanyagokból** című (alábbi megfelelő rész aláhúzendő)

TDK dolgozat

MDK dolgozat

(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:

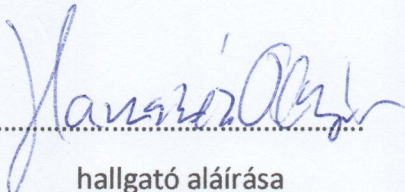
Az 1999. évi LXXVI. tv. a szerzői jogról 34. § (1) és 36. § (1) első két mondata.

Kijelentem továbbá, hogy a dolgozat készítése során az önálló munka kitétel tekintetében a konzulens, ill. 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 Soproni 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.

Dátum: Sopron, **2023.11.20.**



hallgató aláírása

1. BEVEZETÉS

Az emberiség folyamatosan keresi az innovatív és fenntartható megoldásokat, hogy kielégítse növekvő igényeit, miközben megőrzi a természetet. A Soproni Egyetem "Természetesen veled" mottója ennek a hagyománynak a hű tükre, mely a természettel való harmónia és az emberi fejlődés összehangolására ösztönöz bennünket. Az egyetem hallgatójaként és faipari mérnökként én is elkötelezett híve vagyok ennek az eszmének. Ezért választottam témámmá az "Átlátszó fa készítése UV segített delignifikációval Hazai lombos faanyagokból", melynek célja az innováció és a fenntarthatóság összehangolása a faiparban. A fa mindig is az ember életének alapvető része volt. Azonban az erdők pusztulása és a faanyagok kimerülése aggasztó kihívás elé állítja az emberiséget. Kulcsfontosságú a környezetbarát és fenntartható alternatívák megtalálása. Az "átlátszó fa" egy olyan elképzelés, mely nemcsak a faanyagok fenntartható hasznosítására törekszik, hanem azok kreatív újrahasznosítására is. Az átlátszó fa készítésének alapja a delignifikáció, vagyis a lignin eltávolítása a farostokból. A lignin egy vörösesbarna színű anyag, amely a farostokat összeköti és erőt ad nekik, de akadályozza a fény áthaladását. A delignifikáció után a farostok elvesztik a vöröses árnyalatukat és elveszítik a szilárdságukat és vízfelvétele hajlamosak lesznek, ez egy cellulózváz, amelyet polimerrel telítünk annak érdekében, hogy átlátszóvá tegyünk. A dolgozat első részében szakirodalmi áttekintést nyújtok az átlátszó fa készítésének elméleti háttéréről, bemutatva az eddigi kutatásokat és eredményeket ezen a területen. A második részben részletesen ismerjük a kísérleteket, melyek során UV segített delignifikációt alkalmaztunk. Megvizsgálom a faanyagok szerkezetét és azok delignifikációs folyamatának szükségességét, különös tekintettel a bükk és tölgy fajtákra. Ezen kísérletek során mérjük a delignifikáció hatékonyságát és vizsgáljuk, hogyan változik a faanyag szerkezete és tulajdonságai. A harmadik részben az in-situ polimerizálás elvét mutatom be, ennek során a delignifikált faanyagokat különböző polimerekkel telítem. Megvizsgáljuk az optimális feltételeket a polimerizációhoz, és elemzünk különböző polimer-fa kompozitakat. A negyedik részben elektronmikroszkópos vizsgálatok segítségével bemutatom a delignifikált faanyagok és a fa-polimer kompozitok szerkezetét, megjelenésüket és tulajdonságaikat. Az ötödik és záró részben összefoglalom az eredményeket, és következtetéseket vonok le a kísérletek során nyert adatok alapján.

A TDK dolgozat célja,

1. Szakirodalom-kutatás

- Cél: Átfogó áttekintés a jelenlegi állapotról és fejlesztésekről az átlátszó faanyagok területén.
- Kihívások és lehetőségek azonosítása.

2. UV segített delignifikációs kísérletek:

- Cél: Az átlátszó faanyagok előállításához szükséges delignifikációs folyamat optimalizálása.
- Kísérletek bükk és tölgy faanyagokon.

3. Faanyagok telítése polimerekkel:

- Cél: A delignifikált faanyagok különböző polimerekkel történő telítése.
- Meghatározni az in-situ polimerizálás optimális feltételeit a kívánt tulajdonságok eléréséhez.

4. Elektronmikroszkópos (SEM) vizsgálatok:

- Cél: A delignifikált és polimerrel telített faanyagok szerkezeti változásainak és anyagok közötti kapcsolatok dokumentálása.

2. ÁTLÁTSZÓ FA ELŐÁLLÍTÁSÁNAK SZAKIRODALMI HÁTTERE ÉS GYÁRTÁSÁNAK RÖVID ELMÉLETE

Az átlátszó fa előállítása 2 szakaszból áll. Elsőszakaszban történik lignin és egyéb extraktanyagok eltávolítása. A lignin tartalmaz olyan kromofór (színképző) csoportokat, amelyek a fénnel való kölcsönhatás révén színváltozást okoznak. Ezek a csoportok az ultraibolya és látható fény tartományában abszorbeálnak, aminek eredményeként a faanyag színe változik. A fénnel való interakció során a ligninben található konjugált kettős kötések felszakadása, színváltozást idézhetnek elő. Az extraktív anyagok, mint például flavonoidok és tanninok, további színképző anyagokat is hozzáadhatnak a faanyaghoz. Ezek az anyagok gyakran vörös, sárga színt eredményezhetnek (Tolvaj L. , 2013.). A lignin kivonása azért szükséges mert az átlátszó polimernek és a fa sejtfalainak törésmutatóját összehangolva lehet elérni, hogy a fény ne törjön meg, minél nagyobb a diffrakciós szögek közötti különbség annál kisebb lesz a fényáteresztés ezzel együtt a fényszóródás nagyobb. Az alábbi 1. táblázatban összegyűjtöttem, az átlátszó fa készítése során leggyakrabban alkalmazott delignifikációs eljárásokat.

1. táblázat Delignifikációs eljárások

Használt módszerek	Felhasznált anyagok	Minták	Időtartam (h)	Forrás
Oldaltban történő delignifikálás	NaClO ₂	Balsa 50 x 50 0,7-8 mm	6 (3 mm alatt) 12 (5-8 mm)	(LI Y, et al., 2016)
	NaClO ₂	Balsa 100 x 100 x 1,5 mm	6	(LI Y, et al., 2018)
	NaClO ₂	Bükk vastagság: 0,1-0,7 mm	12	(Yaddanapudi, et al. 2017)
	H ₂ O ₂ + HAc	Lucfenyő 100 x 20 x 10 mm	6	(Frey, et al., 2018)
Gőzölés	H ₂ O ₂	Hárs 210 x 190 x 0,8 mm	4	(LI, H et al. 2019)
UV sugárzás	NaClO ₂	balsa	8	(Qinqin et al., 2021)

Második szakaszban történik a delignifikált minták telítése polimerekkel. Előzőekben említett törésmutatók fontos szerepet játszanak az átlátszó fa előállítása során, a lignin törésmutatója 1.61 ami magasabb mint a cellulózé és hemicellulózé (törésmutatói ≈ 1.53). 2. táblázatban összegyűjtöttem a telítéshez a törésmutatók alapján használt polimereket.

2. táblázat Polimerek törésmutatói

Polimer	törésmutató	Forrás
PMMA	1,49	(LI Y, et al., 2016)
PVA	1.47	(Schnepf, et al., 2017)
PLA	1,45-1,50	(Hutchinson M et al.: , 2006)
Epoxigyanta	1,50–1,56	(Su, Fu, & Pan, 2002)
PDMS	1,52	(Yoon, et al., 2011)

A PLA egy olyan anyag, amely alkalmas lehet az átlátszó fa előállítására, mivel a fénytörési mutatója közel áll a cellulóz fénytörési mutatójához. A PLA egy biológiailag lebomló polimer, Használata előnyös lehet a környezet szempontjából, mivel csökkenti a fosszilis alapú műanyagok használatát és kibocsátását. A PLA-t még nem használták átlátszó fa előállítására (Soproni Egyetemen kívül), ezért ez egy új és innovatív kutatási terület lehet, amely új lehetőségeket nyithat meg a faanyagok felhasználásában.

Az epoxigyanta egy másik anyag, amelyet már használnak átlátszó fa előállítására. Az epoxigyanta előnye, hogy könnyen elérhető és használható. Az epoxigyanta hátránya, hogy nem újrahasznosítható és nem biológiailag lebomló, ezért környezeti problémákat okozhat. Az epoxigyanta alkalmas lehet a kontroll csoport számára, mivel összehasonlítható a PLA-val a fénytörési mutató és az átlátszóság tekintetében.

2.1. Faanyag kémiaja az UV sugárzás hatására

A különböző hullámhosszú UV sugárzások fotodegradációt okozhatnak, azaz a szín- és a makromolekuláris komponensek módosítását. A fotodegradáció mértéke a teljesítményintenzitástól is függ. (Krishna , 2005). A fa főként cellulózból áll, amely egy poliszacharid, amelyet a növényi életformák állítanak elő, valamint más természetes polimerekből, mint például a lignin (15-28%), a hemicellulóz (26–35%) és más szerves összetevőkből, mint például a gyanták (Molnár, Peszlen, & Paukó, 2007). A faanyag fotodegradációja főként a lignin bomlásával kapcsolatos, amely lépésről lépésre történik, fenoxil szabadgyökök képződésével és további reakciójukkal az oxigénnel, karbonil-

tartalmú kromofór csoportokat képezve. (Maria et al., 2016). A fotodegradáció lényegében egy felületi jelenség, ami gyakorlati szempontból nincs hatással a szilárdsági tulajdonságokra. (Derbyshire & Miller, 1981).

2.2. UV sugárzás

Az UV fény az ultraibolya fény rövidítése, amely az elektromágneses spektrum egy része. Az UV fénynek három fő típusa van: UV-A (315-400 nm), UV-B (280-315nm) és UV-C (280-100nm). Az UV-A fény energiája a legalacsonyabb és a legkevésbé káros az emberi bőrre. Az UV-B fény közepes energiájú és képes bőrkárosodást okozni. Az UV-C fény a legnagyobb energiájú és a legkárosabb az emberi bőrre, de a Föld légköre általában elnyeli azt (Tauchi, 2021). Az UV-látható fény hatását vizsgálták a chir fenyő (*Pinus roxburghii*) és a gumifa (*Hevea brasiliensis*) felületeinek színére és kémiai összetételére. A sugárzás gyors színváltozást, a lignin lebomlását és a kromofór csoportok koncentrációjának növekedését eredményezte. A színváltozások összefüggenek a lignin lebomlásával. (Krishna, 2005). A nátrium-hidroxid (NaOH) körülbelül 320 nm-es UV hullámhosszon bomlik, ami az UV-A spektrumba esik (Wubin et al., 2018) Míg a hidrogén-peroxid (H_2O_2) 257 nm-es UV hullámhosszon bomlik, ami UV-C spektrumba esik. (Karpel et al., 1996). A minták hőkezelése nem gyorsítja a folyamatot lignin lebontást lassítja. (Tolvaj, Nemeth, Pasztory, Bejo, & Takats, 2014)

2.3. UV által segített delignifikálás

A delignifikálás a lignin eltávolítását jelenti. A lignin egy olyan anyag, amely a növényi sejtfalokban található és a cellulózzrostokat összekapcsolja. Az UV-asszisztált delignifikálás felgyorsítja a lignin és a színképző csoportok eltávolítását, ami javítja az átlátszó fa optikai tulajdonságait. Az UV-A -sugárzás segítségével a lignin és a színképző csoportok eltávolítása gyorsabbá válik, ami javítja a fa optikai tulajdonságait. (Xiaoli, és mtsai., 2022). A lignin a fa sejtfalainak erős mátrixait képező kötőanyagként szolgál. A barnás színt okozó fotolabilis kromoforcsoportok lebomlanak az UV hatására A cikkben bemutatott új stratégia a lignin in situ, gyors és skálázható módosítását jelenti, amely a fa natív ligninjének H_2O_2 és UV fény általi fotokatalitikus oxidációjával történik. A reakció szelektíven megszünteti a lignin kromofórait, miközben az aromás vázat érintetlenül hagyja, így módosítva a fa optikai tulajdonságait. Az így létrejövő “fotonikus fa” megőrzi

eredeti lignintartalmának kb. 80%-át, amely továbbra is erős kötőanyagként és vízálló anyagként szolgál. (Qinqin, és mtsai., 2021).

2.4. PLA

A PLA, a politejsav (polylactic acid) rövidítése, ami egy biológiailag lebomló polimer, amelyet megújuló erőforrásokból, például kukoricakeményítőből vagy cukornádból állítanak elő. A PLA-t széles körben használják csomagolóanyagokban, élelmiszer-tároló edényekben és biológiailag lebomló műanyagokban. A PLA-t a keményítő fermentálásával és a tejsav polimerizációjával állítják elő. Mechanikai tulajdonságai közé tartozik a 60-65 MPa húzószilárdság és a 3-5% szakadási nyúlás. A PLA és a faanyagok kombinációja már évtizedek óta aktív kutatási területként van jelen, beleértve a kereskedelmi alkalmazásokat is, mint például a fa-műanyag kompozit anyagok. Ezek olyan kompozitok, amelyek termoplasztikus anyagokat, mint például a PLA-t vagy a PP-t keverik fával, Ezeket az anyagokat széles körben használják építőipari és dekorációs alkalmazásokban, például padlóburkolatokban, kerítésekben és kültéri bútorokban. (Warren et al., 2020) Egy kutatás arra összpontosított, hogy az akácfa megerősítette a PLA/PHA keverék kompozitokat. A PHA (polihidroxialkanoát) egy baktériumok által termelt bioműanyag, hátránya, hogy nem lehet átlátszó. Az akácfa apró forgácsokra volt feldolgozva, amelyeket tiszta PLA-val, tiszta PHA-val és PLA/PHA keverékkel keverték össze. Az akácfa ecetsavval és szódabikarbónával volt kezelve. Ezután lapfilmmé tömörítették. Az eredmények azt mutatták, hogy az akácfa megerősítette a PLA/PHA keveréket. A kutatók azt is megállapították, hogy az akácfa tartalmú PLA/PHA keveréknek jobb volt a mechanikai tulajdonsága, mint a tiszta PLA-nak vagy PHA-nak. (Muhamad et al, 2018) Továbbá még egy kutatás arra összpontosított, hogy polilaktid (PLA) alapú fa-műanyag fázisváltó kompozitokat hozzanak létre hőtárolásra, amelyek kedvező újra feldolgozhatósággal és mechanikai tulajdonságokkal rendelkeznek. A kutatók azt is megállapították, hogy a PLA és a fa közötti kölcsönhatások javítják a kompozitok mechanikai tulajdonságait. Az újra feldolgozható PLA-fa kompozitok jobb hőtárolási tulajdonságokkal rendelkeznek, mint a tiszta PLA (Mengjie , és mtsai., 2023). A PLA-hoz szükség van katalizátorokra, a kikeményedését elősegítő katalizátor az ón(II) klorid, a beburnulását gátló katalizátor a TSA (Ildikó, 2002)

2.5. Epoxigyanta

A műgyanták világa nagyon sokszínű és az utóbbi időkben a hobbi felhasználók számára is elérhetővé vált, mivel sokféle színben léteznek, és egyre több hobbi alkotó használja őket saját készítésű tárgyakhoz. A műgyanta egy olyan műanyag, ami hő hatására keményebbé válik, és nem olvad meg újra. A műanyagok között vannak olyanok, amik melegebben puhulnak, és vannak olyanok, amik összekötődnek. A műgyanta az utóbbi típusba tartozik, és molekulái egy bonyolult rendszert alkotnak. A műgyanta erőssége, hő- és vegyszerállósága, tapadóképessége, kis zsugorodása és sokoldalú felhasználhatósága miatt nagyon népszerű. A műgyanta leggyakoribb felhasználási területei: műanyag keverékek készítése, építőipar, alkatrészek öntése, felületek bevonása, ragasztás, öntőforma gyártás és ékszerkészítés. A műgyanta sok ipari alkalmazásban is fontos szerepet tölt be. (Gu, és mtsai., 2016) Az epoxi gyanta két fő komponensből áll: epoxi gyantából (gyanta) és egy térhálósító anyagból, amely gyakran aminok (aminok) vagy hasonló vegyületekből származik. Az epoxi gyanta polimer hosszú láncokból áll, amelyeket epoxi csoportok (oxirán gyűrűk) alkotnak. Az, amin vagy hasonló keményítő komponens segít az epoxi csoportok keresztül-kötésében és a gyanta kötésében. A reakció mechanizmusa a két komponenst összekeverik, keverés közben reakció indul meg. Az epoxi csoportok (oxirán gyűrűk) megnyílnak, és a kémiai kötések kialakulnak az aminok vagy hasonló vegyületekkel. Ez a reakció a polimerizációt eredményezi, és az epoxi gyanta megszilárdul, ahogy a kötések kialakulnak (Mika et al, 2019). Az epoxi gyanták olyan anyagok, melyek számos kiváló fizikai és mechanikai tulajdonsággal rendelkeznek, ami széles körű alkalmazást tesz lehetővé számukra. Ezen tulajdonságok között kiemelkedik a nagy szilárdság és ellenállás, amelyek lehetővé teszik számukra a külső mechanikai és kémiai hatásokkal szembeni hatékony védelmet. Emellett rendkívül vízállóak, ami további lehetőségeket teremt vízrelációkhoz kapcsolódó felhasználásokra. Az epoxi gyanták szintén kitűnnek dielektromos tulajdonságaikban, így kiváló elektromos szigetelő anyagokként funkcionálnak. Magas hőállóságuk is, hiszen akár 400 °F (204 °C) hőmérsékletig is ellenállnak, ami számos magas hőmérsékleten működő alkalmazás számára ideálissá teszi őket. (Peng, W et al., 2021) Az epoxi gyanták alacsony zsugorodással is büszkélkedhetnek, amely azt jelenti, hogy minimális mértékben változnak térfogatukban a térhálósodás során. Ezenkívül kiemelkedő tapadási tulajdonságokkal rendelkeznek, ami azt jelenti, hogy kiválóan képesek rögzíteni és kapcsolódni más anyagokhoz. Ezen tulajdonságok együttesen teszik az epoxi gyantákat

ideális választássá számos alkalmazás számára. Használhatók nagy szilárdságú ragasztóanyagokként, bevonó anyagokként, elektromos szerkezetek szigetelőanyagaként, valamint rendkívül erős kompozit anyagokhoz is. Az epoxi gyanták sokoldalúsága és megbízhatósága széles körű ipari és műszaki alkalmazásokban teszi őket elengedhetetlen anyaggá. (Fan-Long et al., 2015)

2.6. UV segített delignifikálát mintáinak telítése

A faanyagok telítése, más néven impregnálása a fa tulajdonságainak javítására szolgáló kémiai anyagok bevezetését jelenti a fába. A telítés stabilizálhatja a méreteket, növeli az erősséget és az ellenállást a víz, a nedvesség és a vegyszerekkel szemben, és csökkenti a repedések kialakulását. A faanyagok telítésére számos különböző módszert használnak. Az egyik leggyakoribb módszer a vákuum-nyomásos impregnálás, amely során a faanyagokat először vákuum alá helyezik, hogy eltávolítsák a levegőt a pórusokból, majd nyomás alatt bejuttatják a telítőanyagot a fa belsejébe. Az impregnálás során használt anyagok közé tartoznak a hőre keményedő műanyag tömítőanyagok, amelyek a legelterjedtebbek manapság. (Locs et al, 2009). Egy másik gyakori módszer a telítőoldatba merítés, amely során a faanyagokat egyszerűen belemártják a telítőoldatba és ott hagyják egy ideig, hogy az oldat beszívárogjon a fa belsejébe (Musa, 2008).

3. ESZKÖZÖK/ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

3.1. UV kamra, UV fénycsővek

Az UV-val történő bevilágítást 3 darab PHILIPS TUV 30W/030 T8 UV-C fénycsővel végeztem. Későbbiekben át tértem az UV-A 30W-os fénycsővekre

3.2. Kémiai anyagok

Hidrogén-peroxid (H₂O₂) CAS No. 7722-84-1

A hidrogén-peroxid egy színtelen folyadék, amelyet általában különböző erősségű vizes oldatokban állítanak elő. Főként pamut és más textíliák, valamint a faipari cellulóz fehéritésére, más vegyszerek előállítására, rakétahajtóanyagként és kozmetikai és gyógyászati célokra használják. A 8%-nál nagyobb hidrogén-peroxid tartalmú oldatok bőrmaró hatásúak. A kísérletemhez 30 %-os koncentrációban használtam.

Nátrium-hidroxid (NaOH) Cas No. 1310-73-2

A nátrium-hidroxid egy szervesetlen vegyület, amely a szervesetlen vegyületek csoportjába tartozó fémes bázis. Vízen oldva erősen lúgos oldatot képez. A nátrium-hidroxidot gyakran használják vegyi laboratóriumokban és a száraztisztításban. A kísérletemhez 10 tömeg%-os oldatot használtam a hidrogén-peroxid katalizálására

Epoxigyanta (EC 141 gyanta rendszer, W 241 térhálósító)

Az epoxik olyan műgyanták, amelyeket két komponens, a gyanta és az edző keverékéből állítanak elő. Az epoxigyanta komponense (EC 141 gyanta rendszer) egy viszkozus folyadék, amelyek olyan csoportokat tartalmaz, amik képesek kémiai reakcióba lépni az edzővel. Az edző egy (W 241 térhálósító) katalizátor, ami képes az epoxicsoportok között kötések képezni és így térhálósítani az epoxi gyantánkat.

Toluol-4-szulfonsav-monohidrát (TSA) Cas No. 6192-52-5

A PLA katalizátoraként használjuk, be barnásodást gátolja.

ón(II)-klorid Cas No. 10025-69-1

A PLA katalizátoraként használjuk, in situ polimerizációt gyorsítva funkcionál

PLA (L(+)) tejsav 90% vizes oldata, Cas No. 79-33-4

Ez egy biológiailag lebomló és komposztálható műanyag, amelyet tejsavból állítanak elő. Magát a tejsavat cukor vagy keményítő erjesztésével nyerik ki, és polimerizációval alakítják át polilaktiddá. A szakdolgozatomhoz L(+) tejsav 90% vizes oldatát használtunk, melyhez TSA-t és ón(II)–kloridot katalizátort adtunk.

3.3. Minták

Mintáknak 40x40 mm-es és 100x100 mm-es, 0,6 mm vastag furnér lapokat használtunk közönséges bükkből (*Fagus sylvatica*), ezen kívül nemes tölgyből (*Quercus* spp.). A bükk és a tölgy fafajokat azért választottuk az átlátszó fa kompozitok készítésére, mert ezek az őshonos fafajok Magyarországon. De ezen két fafaj különbségeit is figyelembe vettük kiválasztásuk során. A bükk szórtlikacsú fa, amelynek az edényiben nincsenek tiliszek. Ez azt jelenti, hogy a bükk faanyag várhatóan jól telíthető lesz a polimerekkel. A tölgy gyűrűslikacsú fafaj, amelynek az edényiben tiliszek vannak, ezért a tölgy faanyag nem jól telíthető. A 3. táblázatban látható, hogy a kiválasztott fafajok lignin tartalma közel azonos.

3. táblázat kiválasztott fafajok lignin tartalma

	Lignin tartalom	Forrás
Közönséges bükk (<i>Fagus sylvatica</i>)	23.8 %	(Fengel & Wegener,, 1989)
Tölgy (<i>Quercus</i> spp.)	22.2 %	(Fengel & Wegener,, 1989)

3.4. UV segített delignifikáció leírása

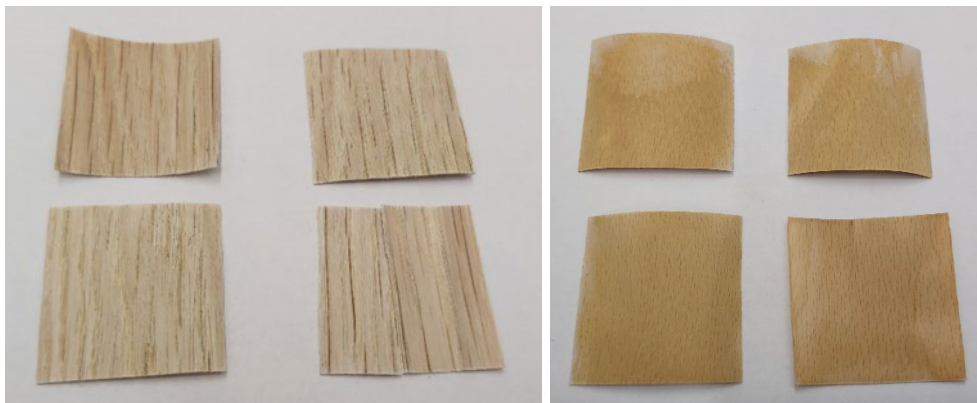
A hidrogén-peroxid (H_2O_2) és a nátrium-hidroxid (NaOH) oldatokat 75 ml-es főzőpoharakba töltöttem. Ezután különböző ecsetekkel felvittem a két oldatot a különböző mintákra. Először a nátrium-hidroxidot használtam, majd a hidrogén-peroxidot. Végül az UV lámpák alá helyeztem a mintákat.

3.4.1. Elvégzett kísérletek

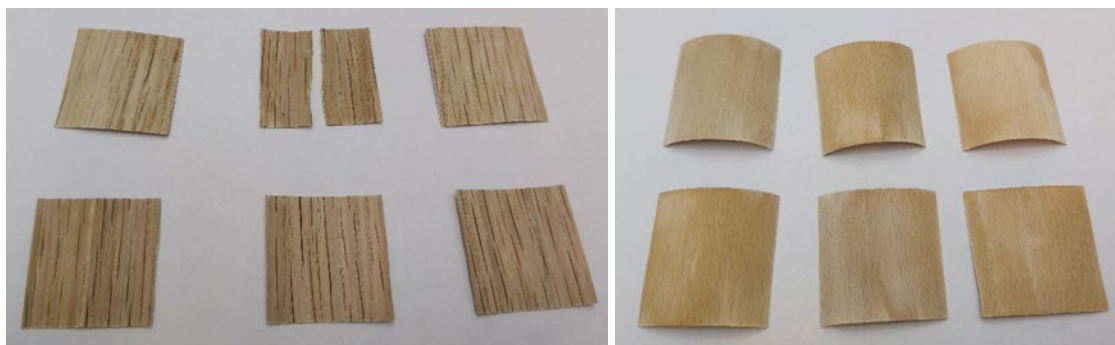
- Kísérletek a megfelelő magasság kiválasztására
 - o 10 cm-re az UV lámpától, levegő keringgetéssel
 - o 10 cm-re az UV lámpától, levegő keringgetés nélkül
 - o 15 cm-re az UV lámpától, levegő keringgetéssel
 - o 15 cm-re az UV lámpától, levegő keringgetés nélkül
- Kísérlet a hidrogén-peroxid és a nátrium-hidroxid felszívódására
- Kísérlet a teljes delignifikálásra.
- Kísérlet a hidrogén-peroxidban áztatás utáni delignifikálásra
- Kísérlet a delignifikáció gyorsítására

3.4.2. Kísérletek a megfelelő magasság kiválasztására

A kísérlet során azt akartuk meghatározni, hogy milyen magasságban történik a legjobban a delignifikáció, azaz a lignin eltávolítása a rostokból. Azt is vizsgáltuk, hogy szükséges-e a levegő áramoltatása a folyamat során. Két különböző magasságot használtunk: 10 cm-t és 15 cm-t. A delignifikációs folyamat hossza ezekben a kísérletekben 60 perc volt.



1. ábra A tölgy és a bükk minták 60 perces UV sugárzás után, 10 cm távolságra a lámpától, levegő keringgetés nélkül. A bal oldali minták a tölgyeket, a jobb oldali minták a bükköket mutatják.



2. ábra A tölgy és a bükk minták 60 perces UV sugárzás után, 15 cm távolságra a lámpától, levegő keringtetés nélkül. A bal oldali minták a tölgyeket, a jobb oldali minták a bükköket mutatják.

Konklúzió:

A kísérlet eredményei alapján a legjobb delignifikációt akkor értem el, amikor a mintákat 10 cm-re helyeztem el az UV-C lámpától, és nem használtam levegő keringtetést (1. ábra). Ennek az az oka, hogy a levegő áramlása miatt a hidrogén-peroxid (H_2O_2) és a nátrium-hidroxid (NaOH) oldatok gyorsabban elpárolgottak a minták felületéről, így kevesebb ideig hatottak rájuk. A 15 cm-es távolság esetén pedig lassabb volt a reakció sebessége, mert kevesebb UV-C sugárzás érte a mintákat (1. - 4. melléklet). Ezért a további kísérletek során 10 cm-es távolságot és levegő keringtetés nélküli körülményeket alkalmaztam.

3.4.3. Kísérlet a hidrogén-peroxid és a nátrium-hidroxid felszívódására

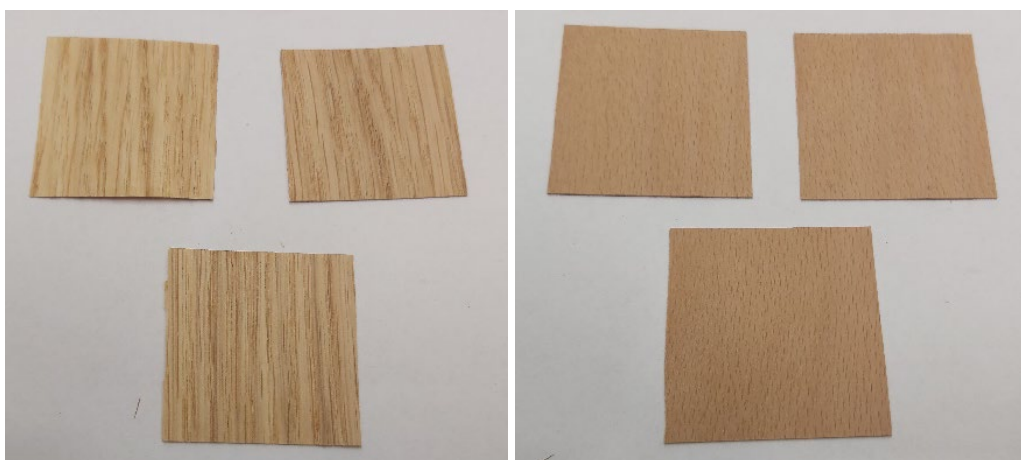
A kísérlet célja az volt, hogy megmérjem, hogy mennyi időbe telik, amíg a hidrogén-peroxid (H_2O_2) és a nátrium-hidroxid (NaOH) oldatok teljesen felszívódnak a tölgy és bükk anyagokból készült mintákban. A mintákat 10 cm-re helyeztem el az UV-C lámpától, és levegő keringtetés nélkül végeztem, hogy ne befolyásoljam az oldatok elpárolgását. A mintákat 5 percenként ellenőriztem, hogy mennyire maradtak nedvesek.

Konklúzió:

A kísérlet során azt tapasztaltam, hogy a minták felületéről 40 perc alatt teljesen elillantak a hidrogén-peroxid (H_2O_2) és a nátrium-hidroxid (NaOH) oldatok. Ez hátráltatta a delignifikációs folyamatot. Ezért úgy döntöttem, hogy a további kísérletekben 30 percenként ismételen felviszem az oldatokat a mintákra, hogy folyamatosan fenntartsam a reakció sebességét.

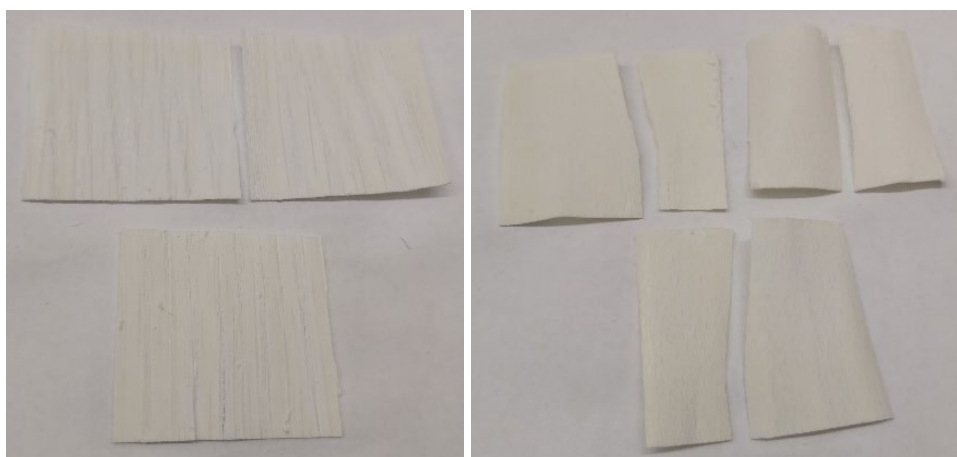
3.4.4. Kísérlet a teljes delignifikálásra.

A kísérlet során azt vizsgáltam, hogy a hidrogén-peroxid (H_2O_2) és a nátrium-hidroxid (NaOH) oldatok milyen gyorsan távolítják el a lignint a tölgyből és bükkből készült minták rostjaiból. A kísérletben az előző kísérletekben meghatározott optimális feltételeket használtam. A mintákat 10 cm-re helyeztem el az UV-C lámpáktól, és nem használtam levegőkeringtetést, hogy ne befolyásoljam az oldatok elpárolgását. A mintákra 30 percenként ismételten felvittem az oldatokat, hogy folyamatosan fenntartsam a delignifikációs folyamatot (5. - 10. melléklet). A 3. ábrán látható delignifikálás előtt és a 4. ábrán delignifikáció után.



3. ábra Tölgy és bükk minták kiinduló állapota a teljes UV segített delignifikációs kísérletben.

A bal oldali minták a tölgyeket, a jobb oldali minták a bükköket mutatják.



4. ábra Tölgy és bükk minták változása a teljes UV segített delignifikációs kísérletében, 420 perc (7 óra)

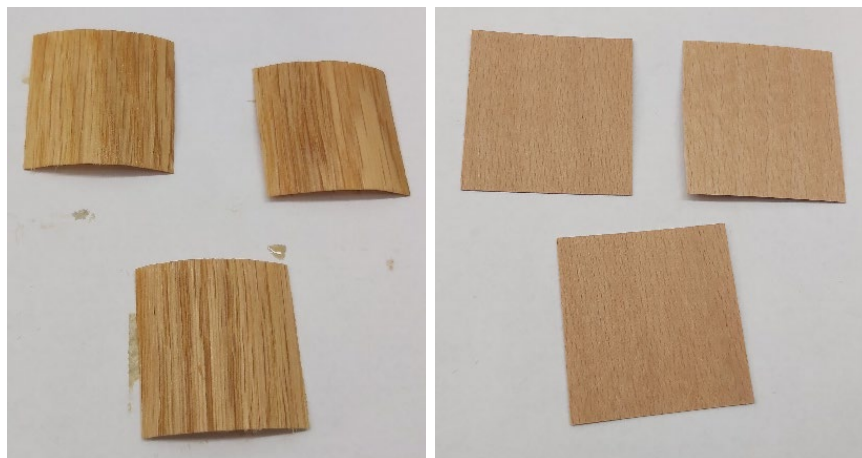
UV sugárzás után. A bal oldali minták a tölgyeket, a jobb oldali minták a bükköket mutatják.

Konklúzió:

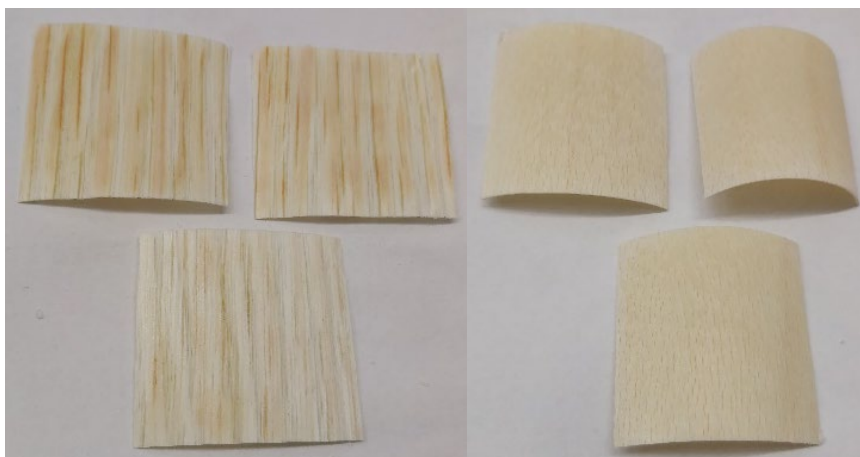
A kísérlet célja az volt, hogy megmérjem, hogy a hidrogén-peroxid (H_2O_2) és a nátrium-hidroxid (NaOH) oldatok mennyi idő alatt távolítják el a lignint a faanyagok rostjaiból, és hogy a hőkezelés hogyan befolyásolja ezt a folyamatot. A delignifikáció 7 órán keresztül tartott, és azt tapasztaltam, hogy a hőkezelés rontja az UV-C sugárzás hatékonyságát. A bükk minták összepöndörödtek és eltörtek az oldatok felvitele során. 4 óra után már nem láttam szabad szemmel észrevehető változást a minták színében, ezért arra következtettem, hogy a delignifikációs folyamat sebessége csökken az idő előrehaladtával. (5. - 10. melléklet).

3.4.5. Kísérlet a hidrogén-peroxid (H_2O_2) és a nátrium-hidroxid (NaOH) 1/5 elegyével történő delignifikálásra.

A kísérlet során azt vizsgáltam, hogy a hidrogén-peroxid (H_2O_2) és a nátrium-hidroxid (NaOH) oldatok 1/5 elegye mennyire képes a delignifikálásra. A kísérletben az előző kísérletekben meghatározott optimális feltételeket használtam. A mintákat 10 cm-re helyeztem el az UV-C lámpáktól, és nem használtam levegő keringtetést, hogy ne befolyásoljam az oldatok elpárolgását. A mintákra 30 percenként ismételten felvittem az oldatokat, hogy folyamatosan fenntartsam a delignifikációs folyamatot. Az 1/5 elegyek mellett indítottam egy kontroll csoportot. Ebben a kísérletben is kíváncsi voltam, hogy a hőkezelés milyen hatással van a delignifikációra ezért a kezeletlen tölgy minták mellett hőkezelt minták delignifikálását is elvégeztem.



5. ábra Tölgy és bükk minták a H_2O_2 és a NaOH 1/5 elegyével történő UV segített delignifikációs kísérletében, kiinduló állapotban. A bal oldali minták a tölgyeket, a jobb oldali minták a bükköket mutatják.



6. ábra Tölgy és bükk minták a H_2O_2 és a $NaOH$ 1/5 elegyével történő UV segített delignifikációs kísérletében, 180 perc (3 óra) UV sugárzás után. A bal oldali minták a tölgyeket, a jobb oldali minták a bükköket mutatják.

Konklúzió:

A kísérlet eredményei alapján megállapítható, hogy az 1/5 arányú oldat nem volt hatékonyabb a delignifikációban, mint a kontroll csoport. Az 1/5 arányú oldattal kezelt tölgy minták nem fehéredtek ki jobban, mint a kontroll csoporté, de úgy tűnik, hogy a bükk minták jobban kifehéredtek (11. - 18. melléklet). Ez azt jelentheti, hogy az 1/5 arányú oldat hatékonysága függ a fajtától.

3.4.6. Kísérlet a hidrogén-peroxidban áztatás utáni delignifikálásra

A kísérlet során azt akartuk meghatározni, hogy a hidrogén-peroxid (H_2O_2) oldatban való áztatás milyen hatással van. A mintákat különböző időtartamokra áztattuk a hidrogén-peroxid oldatban: 30 percig, 1 óráig, 1,5 óráig és 18 óráig. Aztán megfigyeltük, hogy mennyire fehéredtek ki a minták az áztatás után, és megfigyeltük, hogy mennyi idő alatt száradnak ki az UV-A lámpák alatt.

Konklúzió:

A mintáim kiszáradási ideje a hidrogén-peroxid oldatban töltött idő függvénye volt. A legtovább, 18 órán át áztatott mintáimnak 2,5 órára volt szükségük a kiszáradáshoz, míg a rövidebb ideig, 30 perc, 1 óra és 1,5 óra alatt áztatott mintáimnak csak 1,5 órára. A kiszáradás során nem tapasztaltam jelentős fehéredést a mintákon, hasonlóan a fél óránként újra kenéssel kezelt mintákhoz.

3.4.7. Kísérlet a delignifikáció gyorsítására

A kísérlet során gyorsítani próbáltuk a delignifikációs folyamatot, ezért a már eddig elvégzett kísérleteket és eredményeiket figyelembe véve a mintákat közelebb raktuk az UV-A csövekhez, 5 cm-re kerültek a minták. A NaOH-ot óránként míg a H₂O₂-t félóránként vittük fel ecsettel a mintákra. Erre feltehetőleg azért van szükség mivel a NaOH- 1 óra után elreagál a H₂O₂-al az UV sugárzás miatt.

Konkluzió:

A mintáink 3 óra alatt sikeresen delignifikálódtak. A folyamat gyorsasága miatt ezt a módszert használok a későbbiekben az összes mintám delignifikálására.

3.5. Polimerekkel való telítés leírása

3.5.1. Epoxi előkészítése

A gyanta rendszerek és térhálósítók megfelelő arányban történő összekeverése kulcsfontosságú a kívánt tulajdonságok és teljesítmény eléréséhez. Az EC 141 gyanta rendszert és a W 241 térhálósítót 100:45 arányban kell kombinálni. Ez azt jelenti, hogy minden 100 egységnyi EC 141 gyantához 45 egységnyi W 241 térhálósítót kell adni. Az egyenletes keverés kiemelten fontos ebben a folyamatban, mivel ez biztosítja a két komponens homogén eloszlását, és lehetővé teszi, hogy a végső keverék egységes szerkezetű és tulajdonságú legyen. Az egyenletes keverés elérése érdekében alaposan és megfelelő időtartamon keresztül kell keverni a két komponenst. Ezt általában mechanikai keverők, keverőlapátok vagy más megfelelő berendezések segítségével lehet elérni. A 100:45 keverési arány különösen kritikus, mivel ez meghatározza a kész keverék összetételét és tulajdonságait. A helyes arányok betartása nélkül a végső anyag nem felel meg a tervezett technológiai követelményeknek, és nem érhető el a kívánt teljesítmény vagy a végtermék tulajdonságai.

3.5.2. PLA előkészítés

Az L-tejsav monomerei 90%-os vizes oldatban találhatók, aminek következtében az oligomerizáció előtt háromlépcsős folyamatot alkalmaztam. Az első szakaszban a víztelenítésre fókuszáltam. Ebben a folyamatban 150 mbar nyomáson, 75°C hőmérsékleten és 175 RPM keverési sebességgel 75 percig tartó kezelést alkalmaztam.

Ennek a lépésnek a célja a környezeti feltételek optimalizálása volt a víz kivonásához, elősegítve ezzel a következő oligomerizációs szakasz hatékonyságát.

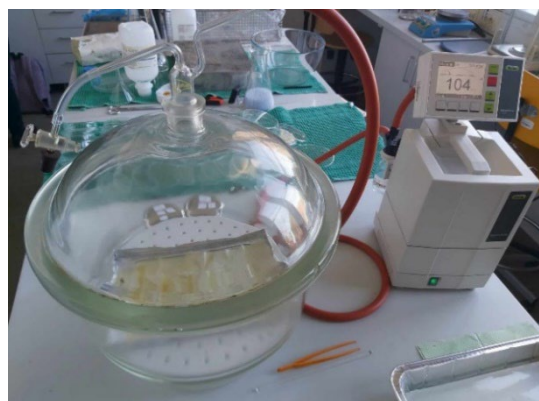
A második ciklusban megkezdtem az oligomerizációt. Ebben a fázisban a minták 150 mbar nyomáson, 100°C hőmérsékleten és 175 RPM keverési sebességgel 100 percig voltak kitéve a kezelésnek. Az oligomerizáció során a monomerek polimer láncokba rendeződtek, előkészítve a következő fázist a kívánt oligomer termékek kialakítására.

A harmadik szakaszban folytattam az oligomerizációt, de most már magasabb hőmérsékleten. A minták 150 mbar nyomáson, 130°C hőmérsékleten és 175 RPM keverési sebességgel további 160 percig voltak kitéve. Ennek az időtartamnak és a megfelelő hőmérsékleti körülményeknek köszönhetően további polimerizációs reakciók következtek be, optimalizálva a kívánt oligomer hosszúságát és tulajdonságait.

Az L-tejsav oligomerek kialakítása előtt a töltés során katalizátorként 0,2 m/m% TSA-t és 0,2 m/m% ón(II) kloridot adtam hozzá. Ezek a katalizátorok elősegítik és szabályozzák az oligomerizációs folyamatot, lehetővé téve a kívánt termékek precíz kialakítását és tulajdonságait. Ezen lépések összessége egy hatékony és kontrollált folyamatot eredményez, amely során az L-tejsav monomerei magasabb rendű oligomerekké alakulnak át a tervezett katalitikus reakciók során.

3.5.3. Telítés leírása, és in situ polimerizáció

Egy vákuumpumpát csatlakoztattam az exsikkátorhoz, amit a telítési eljárásnál használtam. A telített mintákat 100 mbar nyomáson hagytam 30 percig, majd fokozatosan visszaállítottam a légköri nyomást. Ezután újra 100 mbar nyomásra csökkentettem a minták nyomását 30 percre. Az epoxi polimer esetében a telítést követően az eljárás folyamatát további lépések követik. A telített anyagot 2 üveglap közé helyezzük, és ezt követően szükséges várni a kikötési időt, amely 2 napot vesz igénybe. Ezt követően a készítményt egy szárítókamrába helyezzük, ahol 30°C-on 60 percig melegítjük. Ezt követően fokozatosan emeljük a hőmérsékletet, fél óránként 5°C fokkal, egészen 60°C-ig.



7. ábra Az epoxigyanta és PLA telítéséhez alkalmazott exsikkátor és vákuumpumpa. Bükk és tölgy minták epoxigyantával való telítése közben.

Amikor a PLA anyaggal dolgozunk, a telítés után a folyamat hasonlóan részletes. A telített PLA-t 2 üveglap közé helyezzük, és alufóliával becsomagoljuk. Ezt követően a becsomagolt anyagot 120°C-on 360 percig sütjük. Ez a folyamat segít a kívánt tulajdonságok kialakításában. A sütés után eltávolítjuk az alufóliát, és további szárításra van szükség. Alufólia nélkül, 103°C-on további 2 napig szárítjuk az anyagot, hogy elérjük a kívánt végeredményt. Ezek a gondosan kidolgozott lépések biztosítják, hogy mind az epoxi, mind a PLA esetében optimális és kívánt tulajdonságokkal rendelkező anyagokat kapjunk.

3.6. Furnér minták vizsgálatai

3.6.1. Tömeg és vastagság változása

A delignifikáció tömeg és vastagság veszteségét vizsgáltuk, hogy megállapítsuk, mennyire hatékony ez a módszer. Az irodalmakban a tömeg és a vastagság változásáról adatokat nem tettek közzé, így nem tudtuk összevetni őket. Azonban ezek az adatok nélkülözhetetlenek az átlátszó fa gyártásának technológiai paramétereinek meghatározásához. A tömegmérést egy három tizedes pontosságú mérlegen végeztem mind a kiinduló tömeg mérésénél mind a delignifikált tömeg mérésénél. A vastagság mérésénél egy mintadarabot háromszor mértem. A bal felső saroktól 5 mm-re, jobb felső saroktól 5 mm-re, valamint a minta alján középen, 5 mm-re a minta aljától. Ez a három vastagsági méretet átlagoltam. Mivel az UV hatására csak a lignin kromofor csoportjait degradáljuk ezért a tömegváltozás nem lesz arányaiban akkora mértékű, mint az oldatban vagy gőzben történt delignifikáció esetén (LI Y, et al., 2016) (LI Y, et al., 2018), (Yaddanapudi, et al. 2017), (Frey, et al., 2018), (LI, H et al. 2019).

3.6.2. SEM képalkotás

A Hitachi S3400N típusú Pásztázó Elektronmikroszkóp (SEM) segítségével elemeztem a mintáimat. A delignifikált mintákon az eljárások során tapasztalt sejtfal degradáció jeleit kerestem, különösen a sejtfal vastagságának csökkenését és a sejtfalak változásait. A kész kompozitok esetében a telítés hatékonyságának bemutatása volt a cél.

A vizsgálathoz borotvapengével metszettem meg a felületeket. A képalkotás előtt a mintatesteket nem láttam el semmilyen bevonattal.

4. EREDMÉNYEK

4.1. UV segített delignifikált eredményi

A 3.4.7-es bekezdésben leírt módszerrel végeztem a delignifikációt, mert ez bizonyult a leggyorsabbnak és leghatékonyabbnak. Ezzel a módszerrel három óra alatt el tudtam érni a kívánt delignifikált állapotot. A 8. ábra látható, hogy a bükk minták szélei nem mindig lettek egyenletesen delignifikálva. Aminek egy lehetséges oka, a minták vetemedése, így feltehetően az UV sugarak nem tudták bevilágítani a mintadarabok teljes felületét. A 3. ábrán a tölgy minták esetében nem volt ilyen probléma, mert a tölgy minták nem vetemedtek annyira, mint a bükk minták a delignifikációs folyamat során. A 20. - 23. mellékletekben további mintákat mutatok be, különböző időtartamokra lebontva. A delignifikáció után az etanolba tárolt mintákat a 19. mellékletben láthatók.



8. ábra Bükk minták 3.4.7. UV segített delignifikációs folyamat előtt és után. A bal oldali minták a kiinduló állapotot, a jobb oldali minták a delignifikált állapotot mutatják.



9. ábra Tölgy minták 3.4.7. UV segített delignifikációs folyamat előtt és után. A bal oldali minták a kiinduló állapotot, a jobb oldali minták a delignifikált állapotot mutatják.

4.2. Polimerekkel való telítés eredményi

4.2.1. PLA-val történő telítés eredményi

A 10. ábrán bemutatott bükk és tölgy faanyagok mintái, amelyek PLA-s in situ polimerizáció közben, sötétbarnára vagy feketére színeződtek el. Ez arra utalhat, hogy a 3.5.3-be kezdésben említett katalizátor (0,2 m/m% TSA), amelyeket az elszíneződés meggátlása érdekében adtunk hozzá, nem volt hatékony, illetve a polimerizáció sem ment végbe teljes mértékben, mert a minták ragadósak maradtak. A telítés első szakaszában is elszíneződtek a minta testek, először csak a minták széle mentén halvány barnásodással indult meg. A 120°C-on 360 percig tartó sütés után a mintáink teljesen bebarapultak, puhák maradtak. A 2 napig 103°C-os kezelés után teljesen elfeketedtek, nem maradtak annyira puhák, mint az első sütési szakasz után.



10. ábra PLA-val telített faanyag minták bal oldalon tölgy, jobb oldalon bükk.

4.2.2. Epoxigyantával történő telítés eredményi

Az 11. ábra látható bükk és tölgy faanyagok mintáit epoxigyantával telítve. Ezek a minták nem mutattak olyan elszíneződést, mint a PLA-val kezelt minták, amelyek sötétbarnáká, feketéké váltak. Az epoxigyantával való telítés egyszerű és gyors eljárás volt, amelyhez nem kellett különleges berendezés vagy vegyszer. A 3.5.3 bekezdésben leírt 60 °C-os hőkezelés után az epoxigyanta megkötött és a minták kemények és simák lettek, ez üveglapról egyszerűen el lehetett távolítani. Az epoxigyanta stabil maradt a hőkezelés alatt, de a UV segített delignifikált minták már a telítés után besárgultak. A hőkezelés alatt ez a sárgaság nem változott.



11. ábra Epoxigyantával telített faanyag minták bal oldalon tölgy, jobb oldalon bükk.

4.3. Furnér minták vizsgálatai eredményi

4.3.1. Tömegváltozás

A 4. táblázatban szereplő eredmények alapján a vizsgált faanyagok közül a tölgy minták szenvedték el a legkisebb tömegvesztést (20%) a delignifikáció hatására, míg a közönséges bükk minták a legnagyobb tömegvesztést (23%). A tömegvesztés nem csak a lignin lebomlását jelenti, hanem a faanyag egyéb összetevőinek, az extrakt anyagokat. A vizsgálat arra irányult, hogy megállapítsa, hogy az UV segített delignifikáció milyen hatékony módszer a delignifikációra, azaz a lignin eltávolítására a faanyagból. A vizsgálatban használt UV segített delignifikáció csak a lignin kromofór csoportjait bontja le, amelyek elnyelik a fényt, de nem távolítja el teljesen a lignint a faanyagból. Ezért a tömegvesztés nem lesz olyan nagy, mint más módszerek esetében, amelyek teljesen eltávolítják a lignint. A vizsgálatban hivatkozott cikkekben oldatokban, illetve gőzben történt a delignifikáció, amelyek hatékonyabbak, de drágábbak és környezetszennyezőbbek is lehetnek. Ezek a cikkek nem szolgáltatott adatokat a tömeg és a vastagság változásáról, így nem tudtuk összevetni őket. Azonban ezek az adatok nélkülözhetetlenek az átlátszó fa, későbbi gyártásának technológiai paramétereinek meghatározásához. Az UV segített delignifikáció a legegyszerűbb és legolcsóbb módszer az átlátszó faanyag előállítására, de nem a legjobb a lignin eltávolítására.

4. táblázat; A tölgy és a bükk faanyagok tömegének változása a delignifikáció során. Az m_0 a delignifikáció előtti, a m_d a delignifikáció utáni tömeg. A Δm % a delignifikáció előtti tömeghez képesti tömeg változás.

Tölgy	m_0 (g)	m_d (g)	Δm %	Bükk	m_0 (g)	m_d (g)	Δm %
26.	0,547	0,435	-20,48%	26.	0,564	0,440	-21,99%
27.	0,561	0,455	-18,89%	27.	0,520	0,398	-23,46%
28.	0,599	0,486	-18,86%	28.	0,524	0,408	-22,14%
29.	0,507	0,406	-19,92%	29.	0,545	0,430	-21,10%
31.	0,553	0,447	-19,17%	30.	0,508	0,407	-19,88%
32.	0,529	0,425	-19,66%	31.	0,534	0,427	-20,04%
33.	0,498	0,397	-20,28%	32.	0,564	0,455	-19,33%
34.	0,559	0,451	-19,32%	33.	0,532	0,416	-21,80%
35.	0,527	0,423	-19,73%	34.	0,566	0,438	-22,61%
36.	0,460	0,366	-20,43%	35.	0,686	0,425	-38,05%
Átlag	0,534	0,429	-20%	Átlag	0,554	0,424	-23%

4.3.2. Vastagság változás

Az 5. táblázat tartalmazza a vastagságmérési eredményeket. A delignifikáció miatt bekövetkező tömegveszteség vastagságváltozás is társulhat. A kiinduló vastagság (leszáritás utáni) a bükk-nél 0,450 mm, a tölgy-nél 0,495 mm volt. A vizsgálat célja az volt, hogy a tömegveszteség vastagságára vett hatását vizsgáljuk. Az eredmény az volt, hogy a bükk 20%-kal, a tölgy 17%-kal lett vastagabb, mint a delignifikáció előtti vastagság.

5. táblázat; A delignifikáció hatása a tölgy és a bükk faanyagok vastagságára. A v_0 a delignifikáció előtti, a v_d a delignifikáció utáni vastagság. A Δv % a delignifikáció előtti vastagsághoz képesti vastagság változás

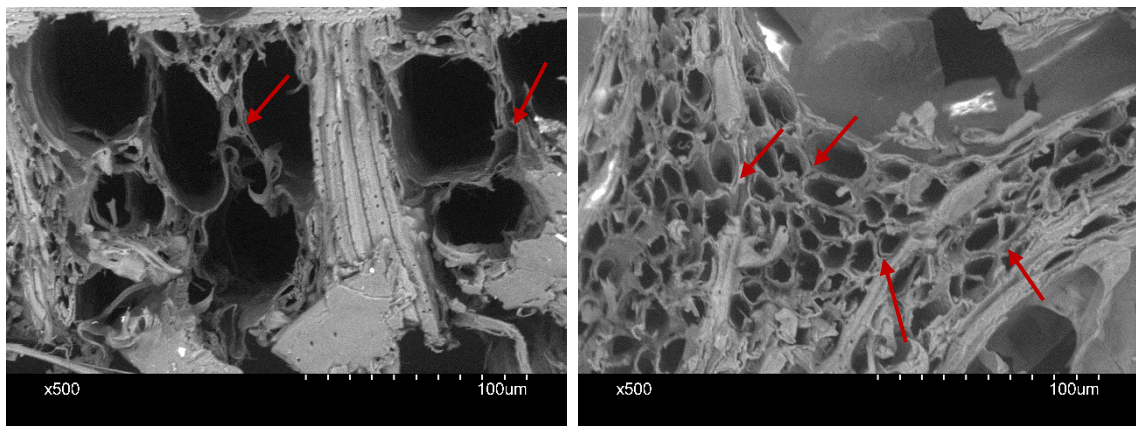
Tölgy	v_0 (mm)	v_d (mm)	Δv %	Bükk	v_0 (mm)	v_d (mm)	Δv %
26.	0,526	0,576	+9,50%	26.	0,468	0,545	+16,38%
27.	0,506	0,580	+14,62%	27.	0,437	0,555	+27,10%
28.	0,499	0,576	+15,44%	28.	0,432	0,527	+22,01%
29.	0,500	0,600	+19,93%	29.	0,440	0,523	+19,03%
31.	0,495	0,598	+20,82%	30.	0,443	0,532	+20,11%
32.	0,498	0,569	+14,19%	31.	0,455	0,530	+16,40%
33.	0,481	0,582	+20,98%	32.	0,449	0,536	+19,36%
34.	0,512	0,561	+9,71%	33.	0,455	0,536	+17,82%
35.	0,503	0,618	+22,88%	34.	0,466	0,547	+17,31%
36.	0,432	0,527	+22,01%	35.	0,458	0,578	+26,11%
Átlag	0,495	0,579	+17%	Átlag	0,450	0,541	+20%

4.4. SEM képképzés eredményei

4.4.1. Delignifikált minták

A delignifikációs eljárás után a minták sejtfalai olyan gyengék és törékenyek lettek, hogy a vágás során nagy részük elszakadt vagy megfolyt. A 12. ábra jobb oldalán és 32. - 36. mellékletig láthatók, a delignifikált tölgy minták bütömszetében a sejtfalak szétesése és elválása jól figyelhető meg. A 6. ábra másik oldalán és 37. - 39. mellékletig delignifikált bükk minták bütömszetében hasonló jelenség figyelhető meg. A 30. mellékletben és 31. mellékletben. kontroll csoportok mintái láthatók, amelyek nem estek át a delignifikációs folyamaton.

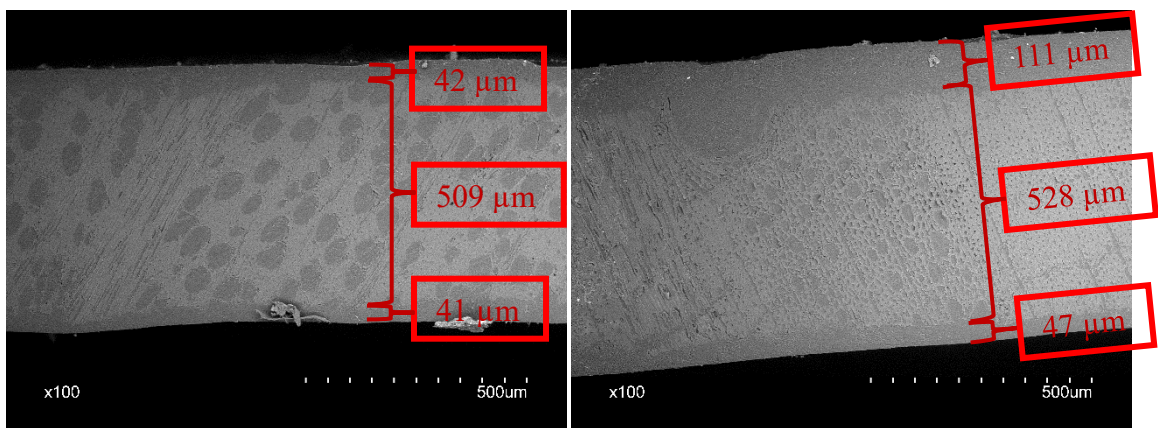
A delignifikációs folyamat hatására a delignifikált minták sejtfalai szétesésnek indultak, és az elsődleges és másodlagos sejtfalak közötti kapcsolat megszakadt (Piros nyilak). Ez arra utal, hogy a középső réteg, amely nagy mennyiségű lignint tartalmaz, részben vagy teljesen feloldódott, vagy lebomlott az UV és felhasznált kémiai anyagok miatt. A sejtfalak közötti elválás mértékét és jellegét a 36. mellékletben található mikroszkópos felvételeken jól láthatjuk.



12. ábra Delignifikált faanyagok felületi szerkezetének SEM-es vizsgálata 500x nagyításban. A bal oldalon a közönséges bükk, a jobb oldalon a tölgy minta látható.

4.4.2. Epoxigyantával telítés eredményi

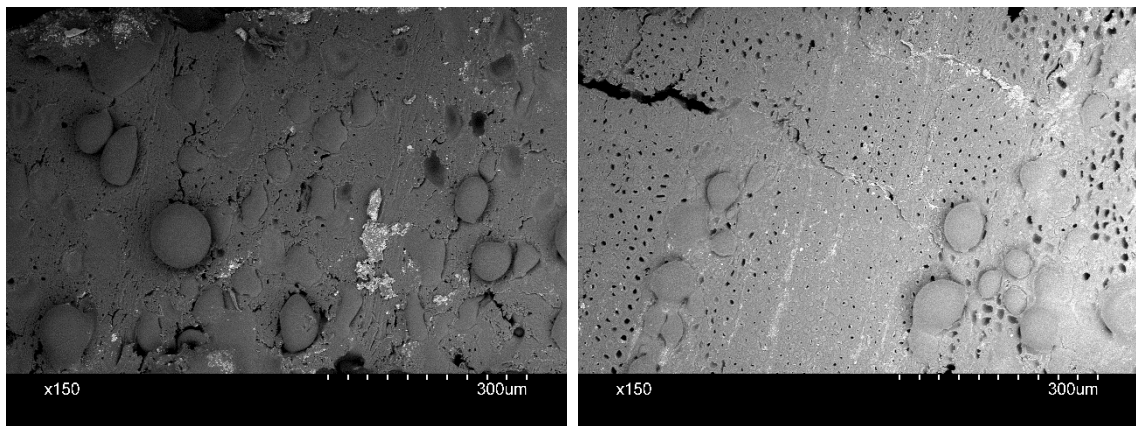
A SEM-es felvételeken jól látható, hogy az epoxigyanta teljesen kitöltötte a sejtfalak közötti üregeket és az edényeket, és így növelte a faanyagok sűrűségét és merevségét. A kettő üveglap révén az epoxigyanta egyenletesen került a mintáink felületére, és nem képződött buborék vagy repedés. A 13. ábrán feltüntettem az epoxigyanta rétegek vastagságát. Bükk esetében az epoxi fedés átlagosan $41,5\text{ }\mu\text{m}$ volt, míg a tölgy esetében $79\text{ }\mu\text{m}$. (a méreteket AutoCAD segítségével mértem le). Az epoxigyantával való telítés után a minták jól vághatóak voltak a jó telítésnek és az epoxigyanta megfelelő kikeményedése miatt. A 13. ábra és a 40. - 45. mellékletig láthatóak az epoxival telített minták.



13. ábra Epoxigyanta telítése utáni minták 100x SEM-es nagyításban bal oldalon közönséges bükk; jobb oldalon tölgy

4.4.3. PLA-val telítés eredményi

A 8. ábrán bemutatott SEM-es felvételek alapján látható, hogy az PLA behatolt a fa sejtfalak közötti résekbe és az edényekbe, és ezeket teljesen vagy nagyrészt kitöltötte polimerrel. A polimerizáció azonban nem ért véget teljesen, mivel az PLA-val telített minták még mindig tapadások maradtak, habár jól vághatóak voltak kés segítségével. továbbá az edényekből ki nyomódott a PLA. A PLA-val impregnált minták SEM-es képeinek további részletei a 46. - 47. mellékletben tekinthetők meg.



14. ábra PLA telítése utáni minták 150x SEM-es nagyításban bal oldalon közönséges bükk; jobb oldalon tölgy

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Dolgozatom a lignin eltávolításának és faanyagok kezelésének különböző módszereit vizsgálja, amelyek célja az átlátszó faanyag előállítása.

A dolgozat négy fő részből áll: szakirodalmi kutatásból, az UV-A segített delignifikáció által okozott delignifikációs eljárás, a PLA-val történő in situ polimerizáció és az epoxigyantával történő telítés.

A delignifikáció során az UV-A segített delignifikáció hatására a lignin részben vagy teljesen feloldódik a faanyagokból, ami megváltoztatja a faanyagok szerkezetét, vastagságát és tömegét. A delignifikáció hatékonyságát a tömegveszteség és a SEM-es felvételek alapján értékeltem. A tölgy mintáinkon a tömegveszteség átlagosan **20 %** volt, míg a bükk mintáinkon átlagosan **23 %**. Ez azt jelenti, hogy a bükk minták nagyobb mértékben veszítették el a tömegüket az UV segített delignifikáció során, mint a tölgy minták. A tömegveszteség nagysága függ a fafaj lignin tartamától, ami a tölgy esetében **22.2%**; bükk esetében **23.8 %**. Ezeket az adatokat dokumentálva elősegítettük a technológiai kutatásokat, fejlesztéseket. Sikeresen kidolgoztunk a tölgy és bükk fafajok UV segített delignifikációs módszerét, ami 3 óra alatt végbe tud menni.

A PLA-val történő in situ polimerizáció során a PLA-t és a katalizátorokat vákuum impregnálással juttattam a delignifikált faanyagokba. A PLA-val kezelt faanyagok sötétbarnára vagy feketére színeződtek el, ami a TSA katalizátor nem megfelelő arányát mutatja. A PLA a két napos hőkezelés hatására jobban kikeménykedett.

Az epoxigyantával történő telítés során az epoxigyantát a delignifikált faanyagokba vákuum impregnálással juttattam a delignifikált faanyagokba. Az epoxigyantával telített faanyagok halványsárgán elszíneződtek, és a gyanta kitöltötte a sejtfalak közötti üregeket és az edényeket.

A dolgozatom eredményei alapján az epoxigyantával történő kezelés látszik a legígéretesebbnek az átlátszó faanyag létrehozására, mivel egyszerű, gyors és hatékony eljárás, de nem környezet barát. Az UV delignifikáció hatékony, de nem teljesen eltávolítja a lignint. A PLA-val történő kezelés esetén további optimalizációra van szükség a színeződés és a katalizátor hatékonyságának javítása érdekében.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Az elmúlt hónapokban számtalan segítséget kaptam azoktól, akik hozzájárultak a dolgozatom létrehozásához, és ezen az úton szeretném kifejezni mély hálámat mindazoknak, akik támogattak. Külön köszönetet szeretnék mondani témavezetőimnek, Dr. Bak Miklósnak és Takács Dávidnak, akik szakmai iránításukkal és bátorításukkal inspiráltak a kutatás folyamán. Nagy köszönet jár családomnak és barátaimnak is, akik végig mellettem álltak, és biztattak ezen az intenzív időszakon. Az értékes támogatásuk nélkül nem érhettem volna el ezt a mérföldkövet. Az említett szaktársamnak külön köszönettel tartozom, aki a nehéz körülmények között is mellettem volt, amikor az alagsorban internetkapcsolat nélkül végeztem vizsgálatokat. Az együtt töltött idő alatt sikerült némi könnyedséget és jó hangulatot csempészni a mindennapokba, például a selmeci diáknóták közös éneklésével, amelyek felidéztek számunkra a tanszékezési időszakot.

Végül, de nem utolsósorban, külön köszönettel tartozom Takács Dávidnak, aki lehetővé tette számomra a szükséges eszközök és források elérését. Ez az egész tapasztalat nemcsak szakmailag, de személyesen is gazdagító volt számomra, és ezeknek az embereknek a támogatása nélkül nem érhettem volna el ezt a sikert.

Köszönöm mindenkinek, aki részt vett ezen az úton velem, és segített megvalósítani ezt a fontos projektet az életemben.

ÁBRAJ ÉS MELLÉKLET JEGYZÉK

1. ábra A tölgy és a bükk minták 60 perces UV sugárzás után, 10 cm távolságra a lámpáktól, levegő keringtetés nélkül. A bal oldali minták a tölgyeket, a jobb oldali minták a bükköket mutatják.....	16
2. ábra A tölgy és a bükk minták 60 perces UV sugárzás után, 15 cm távolságra a lámpáktól, levegő keringtetés nélkül. A bal oldali minták a tölgyeket, a jobb oldali minták a bükköket mutatják.....	17
3. ábra Tölgy és bükk minták kiinduló állapota a teljes UV segített delignifikációs kísérletben. A bal oldali minták a tölgyeket, a jobb oldali minták a bükköket mutatják.	18
4. ábra Tölgy és bükk minták változása a teljes UV segített delignifikációs kísérletében, 420 perc (7 óra) UV sugárzás után. A bal oldali minták a tölgyeket, a jobb oldali minták a bükköket mutatják.....	18
5. ábra Tölgy és bükk minták a H ₂ O ₂ és a NaOH 1/5 elegyével történő UV segített delignifikációs kísérletében, kiinduló állapotban. A bal oldali minták a tölgyeket, a jobb oldali minták a bükköket mutatják.....	19
6. ábra Tölgy és bükk minták a H ₂ O ₂ és a NaOH 1/5 elegyével történő UV segített delignifikációs kísérletében, 180 perc (3 óra) UV sugárzás után. A bal oldali minták a tölgyeket, a jobb oldali minták a bükköket mutatják.....	20
7. ábra Az epoxigyanta és PLA telítéséhez alkalmazott exszikkátor és vákuumpumpa. Bükk és tölgy minták epoxigyantával való telítése közben.....	22
8. ábra Bükk minták 3.4.7. UV segített delignifikációs folyamat előtt és után. A bal oldali minták a kiinduló állapotot, a jobb oldali minták a delignifikált állapotot mutatják.	24

9. ábra Tölgy minták 3.4.7. UV segített delignifikációs folyamat előtt és után. A bal oldali minták a kiinduló állapotot, a jobb oldali minták a delignifikált állapotot mutatják.	24
10. ábra PLA-val telített faanyag minták bal oldalon tölgy, jobb oldalon bükk.....	25
11. ábra Epoxigyantával telített faanyag minták bal oldalon tölgy, jobb oldalon bükk..	26
12. ábra Delignifikált faanyagok felületi szerkezetének SEM-es vizsgálata 500x nagyításban. A bal oldalon a közönséges bükk, a jobb oldalon a tölgy minta látható....	28
13. ábra Epoxigyanta telítése utáni minták 100x SEM-es nagyításban bal oldalon közönséges bükk; jobb oldalon tölgy.....	29
14. ábra PLA telítése utáni minták 150x SEM-es nagyításban bal oldalon közönséges bükk; jobb oldalon tölgy.....	30
1. melléklet; Tölgy, bükk; 15 cm-re az UV lámpáktól, levegő keringgetéssel	43
2. melléklet; Tölgy, bükk; 15 cm-re az UV lámpáktól, levegő keringgetés nélkül	43
3. melléklet; Tölgy, bükk; 10 cm-re az UV lámpáktól, levegő keringgetéssel	43
4. melléklet; Tölgy, bükk; 10 cm-re az UV lámpáktól, levegő keringgetés nélkül	44
5. melléklet; Kísérlet a teljes delignifikálásra; kiinduló állapot, bal: kezeletlen tölgy, középső: hőkezet tölgy; jobb: bükk	44
6. melléklet ; Kísérlet a teljes delignifikálásra; 60 perc (1 óra) UV-zás után, bal: kezeletlen tölgy, középső: hőkezet tölgy; jobb: bükk	44
7. melléklet; Kísérlet a teljes delignifikálásra; 120 perc (2 óra) UV-zás után, bal: kezeletlen tölgy, középső: hőkezet tölgy; jobb: bükk	45
8. melléklet; Kísérlet a teljes delignifikálásra; 180 perc (3 óra) UV-zás után, bal: kezeletlen tölgy, középső: hőkezet tölgy; jobb: bükk	45

9. melléklet; Kísérlet a teljes delignifikálásra; 240 perc (4 óra) UV-zás után, bal: kezeletlen tölgy, középső: hőkezet tölgy; jobb: bükk	45
10. melléklet; Kísérlet a teljes delignifikálásra; 420 perc (7 óra) UV-zás után, bal: kezeletlen tölgy, középső: hőkezet tölgy; jobb: bükk	46
11. melléklet; Kísérlet a H ₂ O ₂ és a NaOH 1/5 elegyével történő delignifikálásra. kiinduló állapot kontrol; bal: kezeletlen tölgy, középső: hőkezet tölgy; jobb: bükk	46
12. melléklet ; Kísérlet a H ₂ O ₂ és a NaOH 1/5 elegyével történő delignifikálásra. kiinduló állapot; bal: kezeletlen tölgy, középső: hőkezet tölgy; jobb: bükk.....	46
13. melléklet; Kísérlet a H ₂ O ₂ és a NaOH 1/5 elegyével történő delignifikálásra. 60 perc (1óra) UV-zás után kontrol; bal: kezeletlen tölgy, középső: hőkezet tölgy; jobb: bükk	47
14. melléklet; Kísérlet a H ₂ O ₂ és a NaOH 1/5 elegyével történő delignifikálásra. 60 perc (1óra) UV-zás után; bal: kezeletlen tölgy, középső: hőkezet tölgy; jobb: bükk.....	47
15. melléklet; Kísérlet a H ₂ O ₂ és a NaOH 1/5 elegyével történő delignifikálásra. 120 perc (2óra) UV-zás után kontrol; bal: kezeletlen tölgy, középső: hőkezet tölgy; jobb: bükk	47
16. melléklet; Kísérlet a H ₂ O ₂ és a NaOH 1/5 elegyével történő delignifikálásra. 120 perc (2óra) UV-zás után; bal: kezeletlen tölgy, középső: hőkezet tölgy; jobb: bükk.....	48
17. melléklet; Kísérlet a H ₂ O ₂ és a NaOH 1/5 elegyével történő delignifikálásra. 180 perc (3óra) UV-zás után kontrol; bal: kezeletlen tölgy, középső: hőkezet tölgy; jobb: bükk	48
18. melléklet; Kísérlet a H ₂ O ₂ és a NaOH 1/5 elegyével történő delignifikálásra. 180 perc (3óra) UV-zás után; bal: kezeletlen tölgy, középső: hőkezet tölgy; jobb: bükk.....	48
19. melléklet delignifikált minták desztillált vizes átmosás és etanolos tárolás alatt felső kettő minta tölgy; alsó kettő közönséges bükk	49
20. melléklet; Közönséges bükk a delignifikáció előtt	49

21. melléklet Közönséges bükk a delignifikáció után	50
22. melléklet tölgy a delignifikáció előtt	51
23. melléklet tölgy a delignifikáció után	52
24. melléklet epoxigyantával telített tölgy minták.....	53
25. melléklet epoxigyantával telített bükk minták.....	53
26. melléklet epoxigyantával telített minták fényfelé tartva bal oldalon a bükk minta; jobb oldalon a tölgy minta	54
27. melléklet PLA-val telített tölgy minták	54
28. melléklet PLA-val telített bükk minták	55
29. melléklet PLA-val telített minták fényfelé tartva bal oldalon a bükk minta; jobb oldalon a tölgy minta	55
30. melléklet SEM kép a kontrol tölgy faanyagról,500x.....	56
31. melléklet SEM kép a kontrol tölgy faanyagról,500x.....	56
32. melléklet SEM kép a delignifikált tölgy faanyagról, 250x.....	57
33. melléklet SEM kép a delignifikált tölgy faanyagról, 500x.....	57
34. melléklet SEM kép a delignifikált tölgy faanyagról, 500x.....	58
35. melléklet; SEM kép a delignifikált tölgy faanyagról, 1000x.....	58
36. melléklet SEM kép a delignifikált tölgy faanyagról, 1000x.....	59
37. melléklet SEM kép a delignifikált bükk faanyagról, 250x	59
38. melléklet SEM kép a delignifikált bükk faanyagról,750x	60
39. melléklet SEM kép a delignifikált bükk faanyagról, 1000x	60

40. melléklet SEM kép az epoxigyantával telített tölgy faanyagról,100x	61
41. melléklet SEM kép az epoxigyantával telített tölgy faanyagról,250x	61
42. melléklet SEM kép az epoxigyantával telített tölgy faanyagról,1000x	62
43. melléklet SEM kép az epoxigyantával telített bükk faanyagról,100x	62
44. melléklet SEM kép az epoxigyantával telített bükk faanyagról,250x	63
45. melléklet SEM kép az epoxigyantával telített bükk faanyagról,500x	63
46. melléklet SEM kép a PLA-val telített tölgy faanyagról,100x	64
47. melléklet SEM kép a PLA-val telített tölgy faanyagról,100x	64
48. melléklet SEM kép a PLA-val telített tölgy faanyagról,100x	65
49. melléklet SEM kép a PLA-val telített tölgy faanyagról,150x	65
50. melléklet SEM kép a PLA-val telített tölgy faanyagról,250x	66
51. melléklet SEM kép a PLA-val telített tölgy faanyagról,250x	66
52. melléklet SEM kép a PLA-val telített tölgy faanyagról,500x	67
53. melléklet SEM kép a PLA-val telített tölgy faanyagról,500x	67
54. melléklet SEM kép a PLA-val telített tölgy faanyagról,500x	68
55. melléklet SEM kép a PLA-val telített tölgy faanyagról,500x	68
56. melléklet SEM kép a PLA-val telített tölgy faanyagról,1000x	69
57. melléklet SEM kép a PLA-val telített tölgy faanyagról,1000x	69
58. melléklet SEM kép a PLA-val telített tölgy faanyagról,1000x	70
59. melléklet SEM kép a PLA-val telített bükk faanyagról,100x.....	70
60. melléklet SEM kép a PLA-val telített bükk faanyagról,150x.....	71

61. melléklet SEM kép a PLA-val telített bükk faanyagról,150x.....	71
62. melléklet SEM kép a PLA-val telített bükk faanyagról,250x.....	72
63. melléklet SEM kép a PLA-val telített bükk faanyagról,500x.....	72
64. melléklet SEM kép a PLA-val telített bükk faanyagról,500x.....	73
65. melléklet SEM kép a PLA-val telített bükk faanyagról,500x.....	73
66. melléklet SEM kép a PLA-val telített bükk faanyagról,1000x.....	74

FELHASZNÁLT IRODALOM

- Derbyshire, H., & Miller, E. R. (1981). The photodegradation of wood during solar irradiation. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 341–350.
doi:[https://doi.org/10.1016/0045-6535\(96\)00011-2](https://doi.org/10.1016/0045-6535(96)00011-2)
- Fan-Long, J., Xiang, L., & Soo-Jin, P. (2015). Synthesis and application of epoxy resins: A review. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 1-11.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.jiec.2015.03.026>
- Fengel, D., & Wegener, G. (1989). Wood: chemistry, ultrastructure, reactions. In D. Fengel, & G. Wegener, *Wood: chemistry, ultrastructure, reactions* (old.: 57). De Gruyter. doi:978-3-11-083965-4
- Frey, M., Widner, D., Segmehl, J. S., Casdorff, K., Keplinger, T., & Burgert, I. (2018). Delignified and Densified Cellulose Bulk Materials with Excellent Tensile Properties for Sustainable Engineering. *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 5030-5037.
doi:10.1021/acsami.7b18646
- Geffert, A., Výbohová, E., & Geffertová, J. (2019). Changes in the chemical composition of oak wood due to steaming. *ACTA FACULTATIS XYLOLOGIAE ZVOLEN*, 19–29. doi:10.17423/afx.2019.61.1.02
- Gu, H., Ma, C., Gu, J., Guo, J., Yan, X., Huang, J., . . . Guo, Z. (2016). An overview of multifunctional epoxy nanocomposites. *Journal of Materials Chemistry C*, 5890-5906. doi:10.1039/c6tc01210h
- Gyovai Tamás a. Kaméleon, & Vargovics Máté a. Zala. (2019). *A mi nótáink, Sopron*. Sopron: Egy nyomda.
- Hutchinson, M. H., Dorgan, R. J., Knauss, D. M., & Hait, S. B. (2006). Optical Properties of Polylactides. *Journal of Polymers and the Environment*, 119-124.
doi:10.1007/s10924-006-0001-z
- Ildikó, B. (2002). POTENCIÁLISAN BIODEGRADÁBILIS, POLITEJSÁV BÁZISÚ POLIMEREK SZINTÉZISE ÉS VIZSGÁLATA. *Doktori értekezés*. Debreceni Egyetem, Alkalmazott Kémiai Tanszék.
- Karpel, V. L., Gombert, B., Ben, A. R., & Doré, M. (1996). KINETICS AND MECHANISMS OF THE PHOTOLYTIC AND OH ° RADICAL INDUCED OXIDATION OF FLUORINATED AROMATIC COMPOUNDS IN AQUEOUS

SOLUTIONS. *Chemosphere*, 893-906. doi:[https://doi.org/10.1016/0045-6535\(96\)00011-2](https://doi.org/10.1016/0045-6535(96)00011-2)

- Krishna , K. P. (2005). Comparative study of photodegradation of wood by a UV laser and a xenon light source. *Polymer Degradation and Stability*, 9-20.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2005.02.009>
- Krishna, K. P. (2005). Study of the effect of photo-irradiation on the surface chemistry of wood. *Polymer Degradation and Stability*, 9-20.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2005.02.009>
- Li, H., Guo, X., He, Y., & Zheng, R. (2019). A green steam-modified delignification method to prepare low-lignin delignified wood for thick, large highly transparent wood composites. *Journal of Materials Research*, 932-940.
doi:[10.1557/jmr.2018.466](https://doi.org/10.1557/jmr.2018.466)
- Locs, J., Berzina- Cimdina, L., Zhurinsh, A., & Aivars, D. (2009). Optimized vacuum/pressure sol impregnation processing of wood for the synthesis of porous, biomorphic SiC ceramics. *Journal of the European Ceramic Society*, 1513-1519. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2008.09.013>
- Maria, C. T., Anca , M. V., & Lidia, G. (2016). Comparative study of photodegradation of six wood species after short-time UV exposure. *Wood Science and Technology*, 135–163. doi:<https://doi.org/10.1007/s00226-015-0771-3>
- Mengjie , S., Yongji, S., Hao , W., Zhigang, L., Yi , L., Yang , X., . . . Jinping , Q. (2023). Bio-based poly (lactic acid) shaped wood-plastic phase change composites for thermal energy storage featuring favorable reprocessability and mechanical properties. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 252.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.solmat.2023.112186>
- Mika , A., Atsuomi , S., Riichi, K., Satoru , Y., & Keiji , T. (2019). Mesoscopic Heterogeneity in the Curing Process of an Epoxy–Amine System. *Macromolecules*, 2075–2082. doi:<https://doi.org/10.1021/acs.macromol.8b02416>
- Molnár, S., Peszlen, I., & Paukó, A. (2007). *Faanatómia*. Budapest: Szaktudás Kiadó Ház. doi:[9639736290](https://doi.org/10.1016/j.solmat.2023.112186)
- Muhamad , K. B., Elammaran, J., & Akshay, K. (2018). Analysis of Acacia Wood Reinforced PLA/PHA Blend Composites. *MATERIALE PLASTICE*, 465-468.
doi:<https://doi.org/10.37358/MP.18.4.5054>

- Musa, A. (2008). Effects of impregnation with Imersol-AQUA on the bending strength of some wood materials. *Materials and Design*, 1707–1712.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.matdes.2008.03.019>
- Peng, W., Chen, X., & Wang, J. (2021). Study on the curing behavior of polythiol/phenolic/epoxy resin and the mechanical and thermal properties of the composites. *Materials Research Express*, 8. doi:10.1088/2053-1591/abeb4a
- Qinqin, X., Chaoji, C., Tian, L., Shuaiming, G., Xizheng, W., & Liangbing, H. (2021). In Situ Lignin Modification toward Photonic Wood. *Advanced Materials*, 2001588. doi: <https://doi.org/10.1002/adma.202001588>
- Schnepf, M. J., Mayer, M., Kuttner, C., Tebbe, M., Wolf, D., Dulle, M., . . . Fery, A. (2017). Nanorattles with tailored electric field enhancement. *Nanoscale*, 9376–9385. doi:10.1039/c7nr02952g
- Su, W.-F., Fu, Y.-C., & Pan, W.-P. (2002). Thermal properties of high refractive index epoxy resin system. *Thermochimica Acta*, 385–389. doi:10.1016/S0040-6031(02)00124-7
- Tauchi, A. (2021). Sterilization Technology Using an Ultraviolet-radiation Source. *Journal of Science and Technology in Lighting.*, 12-13.
- Tolvaj, L. (2013,). A faanyag optikai tulajdonságai.
- Tolvaj, L., Nemeth, R., Pasztory, Z., Bejo, L., & Takats, P. (2014). Colour Stability of Thermally Modified Wood during Short-Term Photodegradation. *BioResources*, 6644-6651. Forrás:
https://jstatm.textiles.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes_09_4_6644_Tolvaj_Colour_Stability_Thermally_Modified_Wood
- Warren , J. G., Arpit, P., Marc , G., Jan, L., & Andreas , K. (2020). Bonding Wood Veneer with Biobased Poly(Lactic Acid) Thermoplastic Polyesters: Potential Applications for Consolidated Wood Veneer and Overlay Products. *Fibers*, 1-13. doi: <https://doi.org/10.3390/fib8080050>
- Wubin , W., Tomas, L., Christian, B., Marcus, A., & Zhongshan, L. (2018). Spectrally Resolved UV Absorption Cross-Sections of Alkali Hydroxides and Chlorides Measured in Hot Flue Gases. *Applied Spectroscopy*, 1-8.
doi:<https://doi.org/10.1177/00037028187638>
- Xiaoli, C., Shangjie, G.-Z., Yu, H., Hong, Y., Wenao, O.-Y., Haotong, Z., . . . Jinxin, W. (2022). Ultraviolet-Assisted Modified Delignified Wood with High Transparency. *applied sciences*, 1-11. doi:<https://doi.org/10.3390/app12157406>

- Yaddanapudi, H. S., Hickerson, N., Saini, S., & Tiwari, A. (2017). Fabrication and characterization of transparent wood for next generation smart building applications. *Vacuum*, 649-654. doi:10.1016/j.vacuum.2017.01.016
- Yoon, S. H., Jeong, W. T., Kim, K. C., Kim, K. J., Oh, M. C., & Lee, S. M. (2011). Development of the Biopolymeric Optical Planar Waveguide with Nanopattern. *Journal of Surface Engineered Materials and Advanced Technology*, 56-61. doi:10.4236/jsemat.2011.12009
- Yuanyuan, L., Qiliang, F., Shun, Y., Min, Y., & Lars, B. (2016). Optically Transparent Wood from a Nanoporous Cellulosic Template: Combining Functional and Structural Performance. *Biomacromolecules*, 1358–1364. doi:10.1021/acs.biomac.6b00145
- Yuanyuan, L., Xuan, Y., Qiliang, F., Ramiro, R., Min, Y., & Lars, B. (2018). Towards centimeter thick transparent wood through interface manipulation. *Journal of Materials Chemistry A*, 1094- 1101. doi: 10.1039/c7ta09973h