

Nyugat- Magyarországi Egyetem

Faipari Mérnöki Kar

Hőkezelt és natúr nyár faanyagok tartósságának összehasonlítása talajban

Konzulens: Dr. Habil Németh Róbert

Készítette: Jakopánecz Márk

Sopron, 2012.04.14.

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

Bevezetés

A faiparban a modifikáció csak pár éve ütötte fel a fejét, de továbbra is töretlenül fejlődik. Ennek okai, hogy szigorodnak a törvényi előírások, a veszélyes hulladékok megsemmisítése körülményes és drága, illetve a régieket leváltó szerves védőszerek fejlesztése drága és lassú. A védőszerek visszaszorulásával kerülnek előtérbe a modifikációs eljárások. A modifikáció során a faanyag tulajdonságai úgy javulnak, hogy a semlegesítése se nem drágább, se nem veszélyesebb, mint a természetes faanyagé. Köztük leginkább a hőkezeléses eljárások terjedtek el az iparban. A hőkezelés során a faanyag kémiai szerkezete megváltozik, s körütekintő alkalmazásával bizonyos tulajdonságai kedvezően változnak. Ezt kihasználva a gyengébb ellenálló képességű fafajok új felhasználási területekre tehetnek szert. A nyárfa a nem tartós faanyagok közé van sorolva, ezért védelem nélkül, csak beltéri száraz körülmények között nyerhet felhasználást. Hazánkban a nyárak kiemelkedő jelentőséggel bírnak, az éves fakitermelés 25%-át fedezik. Jelen dolgozatomban témájával, az Önálló labor 1-2 tárgy keretein belül kezdtem el foglalkozni. Mely Dr. Habil Németh Róbert vezetésével a Faanyagtudományi Intézet berkein belül, immár egy éve vette kezdetét. A választott témám a hőkezelt nyár faanyag tartósságát hasonlítja össze a natúr nyár faanyagéval, talajjal való érintkezés esetében. Effajta érintkezéskor a legintenzívebb a biotikus tényezők károsítása. A kutatás célja, megvizsgálni mennyivel válik ellenállóbbá hőkezelés hatására a nyár faanyag, egy ilyen számára kedvezőtlen környezetben. A hőkezelt faanyag tartósságának javulása olyan felhasználási lehetőségeket vonhat maga után, melyeknél a natúr faanyag nem lenne megfelelő. Munkámat reményekkel telin kezdem el, bízva a pozitív eredményekben.

Tartalomjegyzék

Bevezető	2
1. A nyárfa	4
2. A faanyag károsodását okozó tényezők.....	5
2.1. Abiotikus tényezők	5
2.2. Biotikus tényezők.....	6
3. A faanyag modifikációja.....	7
3.1. A modifikáció célja.....	7
3.2. A modifikált faanyag mechanikai tulajdonságai.....	7
3.3. A modifikált tananyag tulajdonságainak változása.....	7
3.4. Thermomodifikáció.....	8
3.4.1. Fa komponensek bomlása hő hatására	9
3.4.2. Termikus kezelés hatása a faanyag színére.....	9
4. A mérés	10
4.1. A mérés menete.....	10
4.2. A mérés elmélete.....	11
4.2.1. A hajlító rugalmassági modulusz	12
4.3. A méréshez használt eszközök.....	14
4.4. A mért adatok.....	15
4.5. A mért adatok összehasonlítása	23
5. Elektronmikroszkópos felvételek	25
6. Kiértékelés	29
6.1. Megjegyzések.....	29
6.2. Összegzés	29
6.3. Felhasználási javaslatok.....	30
7. Irodalom jegyzék	30

1. A nyárfa

A fűzfafélék családjába tartozó nyár nemzetségnek 35 faja ismert. Az északi mérsékelt égöv fái, de ma már telepítik Dél-Amerikában is. A hazai fafeldolgozási gyakorlatban általában a nyárákat két csoportra osztják: hazai nyárák (fehér, szürke, fekete, rezgő nyár) és nemes nyárák (nemesített fajták). Ez az egyszerű besorolás még 20 - 30 évvel ezelőtt - amikor csak három hasonló nemesített fajta (korai, késői és óriás nyár) adta a nyárfakitermelés 80%-át - elfogadható volt.



1. ábra Nyárfa

Ma már nem helytálló a köztermesztésbe vont nagyszámú (16) nyárfajta anyagának eltérő sűrűsége és mechanikai tulajdonságai miatt. A mai magyar fagazdaságban a nyárák kiemelkedő szerepét mutatja, hogy az, általuk elfoglalt 150 ezer ha erdőterületről (az összes erdőterület 9,6%-a) évente 1,3 - 1,5 millió m³ (az összes fakitermelés 23 - 25%-a) faanyag kerül kitermelésre. Az alábbiakban bemutatjuk a fafeldolgozásban fontosabb fajokat, fajtákat elterjedését, jelentőségét.

Szöveti jellemzőik: A geszten belül a bél közeli juvenilis fa csak néhány évgyűrűt foglal magában, gyakorlatilag nem különül el. Az olasz, francia furnérhámozási tapasztalatok azt bizonyítják, hogy a nyárfajtáknál nagy jelentősége van a gesztenben lejátszódó utólagos elváltozásoknak. Általában a 15 évnél idősebb törzseket már nehezebb hámozni, és gyakoribbak a repedések (ez összefügg a gesztenesedéssel, álgesztenesedéssel). A "geszten-szijács" néhány fajnál, fajtánál szintén határozottan elválik (pl. fehér, szürke nyár, óriás nyár), másoknál nem (pl. rezgő nyár, I-214). Mindemellett a 30 - 40%-nyi szijács rész nedvessége lényegesen kisebb, mint a gesztené. Vizsgálataink szerint a frissen döntött törzseknél a gesztenrész 180 - 200%, a szijácsrész 110 - 130% nettó nedvességtartalmú. Ez gondot okozhat a vastagabb anyagok szárításakor. Egyebekben a geszten, álgeszten és szijács fizikai jellemzői között jelentős különbséget nem tapasztaltunk. A fehér nyár hibrideknél tapasztalható "szurkos" álgeszten azonban lényegesen csökkenti a felhasználásai lehetőségeket. A nyárák tipikus szórt likacsú fafajok, de az edények átmérője az évgyűrűi szélessége mentén némileg csökken. Az egyes nyárfajták mikroszkóposan sem különíthetők el egymástól. Tilliszesedés (különösen álgesztenesedés) a nyáráknál is előfordul. A

homogén bélsugarak egy sejtsor szélesek és 3 - 30 sejtnyi magasak. A libriform rostok bő üregűek, vékonyfalúak, átlagos hosszuk 1,0 - 1,3 mm.

Felhasználásuk: Minden forgácsoló és forgácsmentes eljárással a nyárok könnyen megmunkálhatók. Gyaluláskor azonban gyakran bolyhosodnak, szálkásodnak. A frissen termelt nyarat 2 - 3 hónapig hidrotermikus kezelés (főzés, gőzölés) nélkül is jól lehet hámozni. A külföldi tapasztalatok szerint az igen alacsony sűrűségű fajták (pl. I-214) hámozása előnyösebb, különösen fiatalabb korban (15 évig). Mesterséges szárításnál a vastagabb áru (pl. rakodólap tuskó anyag) esetében a geszt és a szijács nedvessége közötti különbség gondot okoz (kérgesedés). Így csak lassan lehet szárítani. A nyárok ragasztása és felületkezelése problémamentes. A "szurkos" álgesztű szürke nyáraknál azonban gyakoriak a ragasztási elválások. Aminőségi hengeres fából rétegelt lemezeket, furnérbetétes bútorlapokat gyártanak. A hámozási technológia eredményesen használható a vékonyfalú gyümölcsös ládák gyártására is. A fűrésziparban a nyárakból elsősorban rakodólapot és mezőgazdasági ládákat készítenek. A nyárok a hazai gyufagyártás legfontosabb alapanyagai. A bútoriparban kárpitos-kereteket, bútorlapokat és egyéb nem látható elemeket készítenek belőle. A nyárfából különböző fatömegcikkék, facipők, teknők is készíthetők. A hazai farostlemez- és forgács lap-gyártás legfontosabb alapanyagai.

2. A faanyag károsodását okozó tényezők

2.1. Abiotikus tényezők

Az abiotikus lebontó tényezők hatásának a kitermelt, feldolgozott és beépített faanyag folyamatosan kitett. Ezek hatásának az erőssége a faanyag felhasználási helye és módja szerint változik. Elsősorban a szabadban beépített, természetes állapotban alkalmazott faanyagon jelentkeznek olyan elváltozások, amelyek a rendeltetésszerű felhasználást akadályozzák, vagy pedig elősegítik az élő lebontó tényezők fellépését. Az abiotikus tényezők a hőmérséklet változásának, a nedvességviszonyok alakulásának, a vegyi terhelések és a különböző sugárzások hatásának eredményeként vesznek részt a faanyag lebontásában. Összességükben a faanyag természetes "öregedését" okozzák. A tűz hatása minden egyéb károsító tényezőt felülmúl, mert a faanyag gyors és teljes megsemmisülését eredményezi.

2.2. Biotikus tényezők

A biotikus tényezők hatása az élettelenekénél sokkal szembetűnőbb és meghatározó jelegű, így a gyakorlati faanyagvédelem, a tűz elleni védekezést leszámítva, jórészt ezek kártétele ellen irányul. A biotikus károsítók a baktériumok, a gombák és egyéb növények, valamint az állatok világából kerülnek ki.

A baktériumok, mint farontó szervezetek a talajjal érintkező és az erősen nedves környezetben levő faanyagon léphetnek fel. Az általuk termelt enzimek a sejtfalak degradációját okozzák. A kártétel a sejtfalon keletkező kisebb üregek formájában jelentkezik, amelyek egybefolyva a sejtfalak "csövesedését" eredményezik. Elsősorban a cellulóz bontják, a sejtfalak lignin tartalmát nem képesek lebontani. A vizsgálatok az udvaros gödörkék membránján, a gyantájáratok epithél sejtjei sejtfalában mutatták ki telepeiket és kártételüket. A védőszerrel kezelt faanyag sejtfalainak a baktériumok által történő lebontásáról is van szakirodalmi adat. A faanyagon élő baktériumok a lebontó tevékenységük során az aljzat savanyodását is kiváltják, ezzel a magasabb rendű farontó gombák megtelepedéséhez is kedvező feltételeket biztosítanak. Elsősorban a talajlakó Actinomycetales fajok, valamint a kimondottan faanyagon előforduló Bacillus és Cellulomonas fajok okoznak elváltozást a sejtfalakat felépítő cellulóz állományban.

A gombák a faanyagon való megtelepedésük és élettevékenységük során elváltozásokat okoznak. Ezek lehetnek színbeli és mechanikai, fizikai tulajdonságbeli eltérések. Közép-európai viszonylatban legalább 150 - 200-ra tehető a gyakrabban előforduló, faanyagon élő gomba fajok száma. Ezek, mint a természetes életközösségek tagjai fontos szerepet töltenek be az elpusztult faanyag lebontásában. Közülük legfeljebb 15 - 20 olyan, amely az emberi célokat szolgáló, kitermelt, feldolgozott és beépített faanyagon léphet fel, és ebből mindössze 6-8, amely lakott környezetünkben gyakorinak, és így súlyos kártevőnek minősíthető. Korhadásnak nevezzük a faanyag farontó gombák által történő, a sejtfalak fő összetevőit is érintő károsítását. A farontó gombák fejlett enzimrendszerük segítségével a faanyag valamennyi összetevőjét képesek lebontani. Élő és elhalt fán, kitermelt, beépített faanyagban egyaránt fellépő jelenség.

3. A faanyag modifikációja

A faanyag tulajdonságainak javítása úgy, hogy az életciklusa végén a termék semlegesítése nem hordoz több veszélyt és nem drágább, mint a természetes faanyag esetén. Maga a modifikált faanyag használata során és az életciklusa végén elvégzett ártalmatlanítás (vagy tárolás) során toxikus, mérgező anyagokat környezetébe nem bocsát ki. Ha a modifikálás célja a biológiai károsítókkal szembeni védelem növelése, akkor az eljárásban nem használhatók biocid anyagok.

3.1. A modifikáció célja

Faanyag biotikus károsítókkal szembeni tartósságának javítása

- Vízadszorpció (higroszkópikusság) csökkentése
- Méretstabilitás (dagadás, zsugorodás) javítása.
- Szín, színtartósság javítása, stabilizálása
- UV degradáció visszaszorítása

A modifikációs eljárás során jelentős változások mennek végbe a fa kémiai összetételében, fizikai szerkezetében. Ez alapján a kívánt tulajdonság kialakítható.

3.2. Modifikált faanyag mechanikai tulajdonságai

Függnek a nedvességtől. Rosttelítettség alatt változik, ha a nedvesség csökken, akkor nőnek a szilárdsági értékek. A modifikációs eljárások csökkentik az egyensúlyi fanedvességet, tehát nő a szilárdság adott relatív páratartalom mellett. A sejtfal degradálódik.

3.3. Modifikált faanyag tulajdonságainak változásai

Hőkezelés hatására a makromolekuláris rendszer kémiai változásokon megy át, ami a faanyag fizikai és biológiai jellemzőit módosítja.

- Dimenzióstabilitás, (dagadási, zsugorodási értékek javulnak)
- Csökkenő higroszkóposág, egyensúlyi fanedvesség csökkenése és nedvesíthetőség csökkenése

- Mikrobiológiai támadásokkal szembeni ellenálló képesség növekedése
- Rugalmassági modulusz kezdeti növekedése (alacsonyabb hőmérsékleti kezeléseknél merevebbé válik az anyag)
- Hajlítószilárdság és ütő-törő munka csökkenése
- Csökkenő kopásállóság
- Repedések gyakorisága nő, göcsök kiesnek
- Szín sötétedik
- Hőkezelés hatására a szilárdságok és a kopásállóság általában csökken
- Sűrűség változása, két egymással ellentétes irányú hatás:

Egyrészt tömegvesztés lép fel (5-10%), másrészt magas hőmérsékleten az anyag zsugorodik (tömörödik).

- Szeg és csavarállóság jelentősen nem változik, de előfűréssel jobb eredmények érhetők el
- Hasítási szilárdság 30-40%-os csökkenése
- Nyírószilárdság maximum 40%-os csökkenése
- Gombaállóság javulása

3.4. Thermomodifikáció

A hő hatása a faanyagra a következőképpen alakul:

100°C alatt: főleg vízzel összefüggő folyamatok. A fa mint egységes rendszer reagál. Főleg színváltozás.

160-180°C: főleg a járulékos anyagok átalakulása, mind oxidatív mind inert atmoszférában. Világosság csökken, a színezet a pirosas tartomány felé tolódik el. Hemicellulózok bomlása megkezdődik. Kompaktabb, hidrofób szerkezet.

200-400°C: Oxidatív atmoszférában intenzív termikus bomlás 280°C felett, 350°C-nál maximális sebességgel megy a bomlás. Jelentős mennyiségű gáz képződik. Nem kondenzálódó, illékony anyagok, gázok, gyökök keletkeznek.

Gyökös láncreakció kialakulása után égés következik be.



2. ábra Hőkezelő kamra

3.4.1. Fakomponensek bomlása hő hatására

A **cellulóz** hőbomlása két lépésben játszódik le:

1. cellulóz depolimerizációja 300°C alatt
2. cellulóz degradációja 300°C alatt lassú, majd 390°C-ig játszódik le teljes mértékben.

A **hemicellulózok** hőbomlása kisebb részarányú, mégis jelentős a szerepe. Termikusan instabilabb, mint a cellulóz. Két bomlási szakaszra osztható:

190-227°C: lassú bomlás.

220-270°C gyors bomlás.

290°C-tól bomlástermékek polimerizációja megy végbe. Fajától függően a bomlás kezdete más és más.

A **lignin** hőbomlás bonyolult felépítése miatt függ a lignin izolálási módjától. Savlignin: savas kioldással kapott lignin

MWL: dioxános kioldással kapott lignin.

Termostabilabb, mint a cellulóz, vagy a hemicellulóz, mivel bomlása során stabil gyökök képződnek, melyek gátolják a fa további bomlási (depolimerizációs) folyamatait.

A **járvékos anyagok** szerepe, befolyásoló hatásuk a gyökképződés fokozásán vagy gátlásán alapszik. Aromás szerkezetűek (polifenolok) mérsékelt hőmérsékleten (140-190°C) stabilizálják a fát a hőhatás ellen mind oxidatív, mind inert atmoszférában.

3.4.2. A termikus kezelés hatása a faanyag színére

A fák színe jelentős mértékben 100 – 200°C között változik.

Termikus kezelés hatására a faanyagok világosságcsökkenése mellett a színezet a vöröses árnyalatok felé tolódik el.

Az oxidatív atmoszféra a kezdeti színeltolódás sebességét csökkenti, mert az oxigén jelenlétében

stabil gyökök keletkeznek. Az inert atmoszférában a kezdeti színeltolódás sebessége nagyobb, mert több kromofór csoport keletkezik.



3. ábra Natúr és hőkezelt nyárfa

4. A Mérés

4.1. A mérés menete

- 40 hőkezelt és 40 natúr, 300*20*20mm –es méretű nyár próbatestet készítettem.
- A 40-40 próbatestből, 10-10 –et kiemeltem kontroll testnek.
- A 30-30 próbatest le lettek szárítva abszolút száraz nedvességtartalmúra, majd megmértem a tömegüket.
- A 30 hőkezelt és 30 natúr próbatestet egy ládába helyeztem. Amit nedves, biológiailag aktív, humuszos földdel fedtem be. A láda fóliával be lett fedve, hogy a nedvesség ne párologjon el és így még intenzívebb legyen a gombák károsítása.
- A 10-10 kontroll testet exikátorba helyeztem egy hétre.
- A kontroll testeket miután kivettem az exikátorból hajlító vizsgálatnak vetettem alá.
- A földben tartott 30-30 próbatestet 4 hónap elteltével hajlító vizsgálatnak vetettem alá és tömegmérést hajtottam végre egyes próbatesteken, majd visszahelyeztem a földbe őket.
- Újabb 4 hónap elteltével ismét hajlításnak és tömegmérésnek vetettem alá a próbatesteket, majd ismét visszahelyeztem őket a ládába.
- Újabb 4 hónap elteltével, az földbe helyezéstől immár egy évre a próbatesteket abszolút szárazra szárítottam, majd tömegmérést hajtottam végre.
- A próbatesteket ezután elektronmikroszkópos (SEM) vizsgálatnak vetettük alá, 4 különböző sorozat készült:
 - o egészséges natúr nyár
 - o egészséges hőkezelt nyár
 - o földből kivett natúr nyár
 - o földből kivett hőkezelt nyár

4.2. A mérés elmélete

A talajban való kitettség vizsgálata az MSZ ENV 807:2002-es szabvány alapján történt annyi kiegészítéssel, hogy az előírt időtartamot 32 hétről 52 hétre növeltük és vizsgáltuk a hajlító rugalmassági modulusz változását is. A nyár faanyag az EN 350-2 szerint nem tartós (5. kategória), így védelem nélkül az EN 335 szerint csak száraz beltéri körülmények között nyerhet felhasználást (1. igénybevételési fokozat). A védettség akkor biztosított, ha a kezelt faanyagok tömegcsökkenése talajban 32 hét alatt nem éri el az 5%-ot.

A méréshez szükséges hőkezelt próbatesteket zárt rendszerben, vákuum és nitrogén hozzáadása mellett kezeltük. A következő hőkezelési menetrend alapján:

Menetrend	Idő [h]	Hőfokok [°C]
Indulás időpontja	0	20
Felfűtés 40°C-ra	2	30
Felfűtés 40°C-ra	6	40
Temperálás hőfokát eléri	8	105
Temperálás hőfokát tartja	12	105
Hőkezelé hőfokát eléri	14	190
Hőkezelés hőfokát tartja	16	190
Lehűl, 20°C-ra	20	20

4. ábra Hőkezelési menetrend

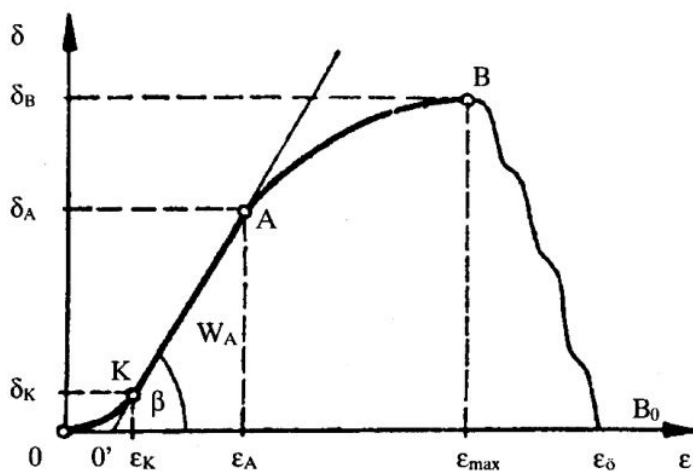
A faanyagot károsító biotikus tényezők károsítása nedves földdel érintkezve a legintenzívebb. Ezért a próbatestek ott töltött idejük alatt várhatóan degradálódni fognak. A degradáció mértékére a próbatestek rugalmassági moduluszának csökkenéséből illetve a tömegvesztésükből következtethetünk. A tömegvesztés a próbatestek kezdeti, illetve a földből kivett abszolút száraz tömegük különbségéből adódik. A mechanikai tulajdonságok függenek a faanyag nedvességtartalmától. Ezért, hogy hitelesen összehasonlítható legyen a

földből kivett próbatestek rugalmassági modulusza, a kontroll testek rugalmassági moduluszával, a kontroll testeket exikátorba kellett helyezni, mielőtt hajlításnak vetettük volna alá. Az exikátorban réz-szulfát (CuSO_4) vizes oldata van, ami szobahőmérsékleten intenzíven párolog, így a relatív páratartalom bene 98% körüli. Így biztos, hogy a benne tartott kontroll testek rost telítettségi határ felett vannak. A földben tárolt testek közül 10-nek a hajlító vizsgálatukkor mindig megmértem a nedves tömegüket. A próbatestek nedvesség tartalmát a következő képlettel határoztam meg: $U = \frac{m_n - m_0}{m_0} * 100$. Miután a kontroll testek és a földben elhelyezett testek nedvességtartalma is rosttelítettség feletti, hitelesen összehasonlítható a rugalmassági moduluszuk. A rugalmassági moduluszt egyponthas hajlítási módszerrel határoztuk meg. A hajlítás 200N –os terheléssel végeztük. Miután véglegesen kivettük a próbatesteket a földből elektronmikroszkópos (SEM) vizsgálatnak vetettük alá. Itt az egészséges és a degradált faanyag metszeti képeit vetjük össze. A gombafonalak jó tanúságot adnak a károsítók jelenlétére, s azok intenzitására. Ezen vizsgálatok eredményeiből következtetést vonhatunk le a natúr és hőkezelt nyár faanyag tartósságának különbségéről.

4.2.1. A hajlító rugalmassági modulusz

A természetes faanyag rugalmasságának megismeréséhez célszerű a fa jelleggörbéjéből kiindulni. Ennek jellemző szakaszai és pontjai a következők:

$$\tan \beta = E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad E: \text{hajlító rugalmassági modulusz}$$



5. ábra rugalmassági jelleggörbe

O-K: a kezdeti nem lineáris jellegű görbületi szakasz, melynek hosszát a vizsgált mintadarab felületi egyenetlensége, a teherátadó nyomófej, illetve az alátámasztásnak a mintadarabbal érintkező felülete és ez által a felületi nyomása befolyásolja.

K-A: a lineárisan rugalmas szakasz, amely az arányossági határig tart. Ezen belül az alakváltozás-feszültség kapcsolata lineáris, a Hooke-törvény értelmében valamely „F” tengelyirányú terhelés esetén.

A-B: az arányossági és a törési közötti képlékeny szakasz.

B-B₀: a törést követő szakasz.

A mechanikai tulajdonságok jellemzői között leglényegesebb a hajlítószilárdság, mivel meghatározása egyszerű, és a hajlító igénybevétel igen sokszor előfordul a gyakorlatban. A vizsgálatok során a legegyszerűbb terhelési sémát kell alkalmazni. Két végén alátámasztott és a terhelőerő a próbatest közepén hat, így az erőátadás csak egy helyen, koncentráltan történik. Hajlító rugalmassági modulusz meghatározását az MSZ 6786-15: 1984 szabvány alapján kell elvégezni, amikor a rugalmassági modulusz nagyságát a vizsgálatoknál egyöntetűen a lineáris tartományon belül a terhelőerők különbsége és a hozzájuk tartozó valóságos behajlások különbsége alapján határozzuk meg. Az arányossági határon belül ugyanis a behajlás arányosan növekszik a terhelőerővel. A hajlítás összetett igénybevétel. Itt az E modulusz meghatározását elvégezhetjük egy pontos terhelés esetén az alábbi összefüggéssel:

$$E = \frac{\Delta F * l^3}{4 * a * b^3 * \Delta y}$$

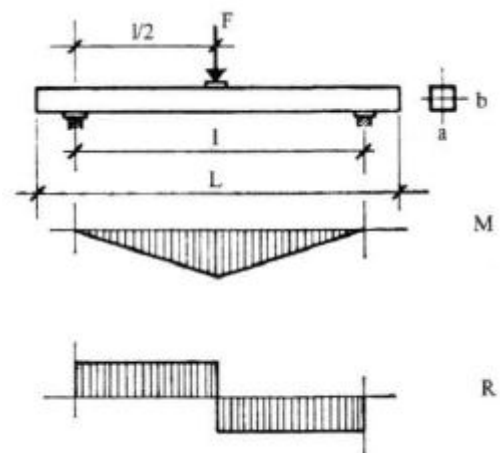
ΔF - a lineáris tartományon belül a terhelőerők különbsége

l - az alátámasztási köz

Δy - a F terheléshez tartozó valóságos behajlás nagysága

a - a próbatest szélessége

b - a próbatest magassága



6. ábra Egy pontos hajlítás

4.3. A méréshez használt eszközök

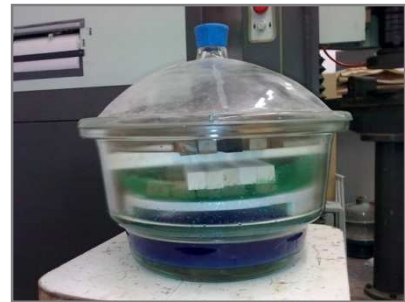
- Egy légmentesen, fóliával lezárt, nedves, humuszos földdel feltöltött láda



7. ábra Földdel teli láda

- Instron hajlító rendszer

- (SEM) Elektronmikroszkóp



8. ábra Exikátor

- Tolómérő ($\pm 0,01mm$)

- Mérleg ($\pm 0,01g$)



9. ábra Elektronmikroszkóp



10. ábra Instron hajlító rendszer

4.4. Mért adatok:

1. táblázat Kezeletlen nyár kontroll próbatestek hajlítás (0. hónap)

Próbatest címke	y1 [mm]	y2 [mm]	dy [mm]	dF [N]	E-modulusz [MPa]
1	0,72	2,06	1,35	343,08	4963,70
2	1,04	2,14	1,10	384,15	6945,17
3	1,33	2,48	1,15	304,42	5370,50
4	1,30	2,44	1,13	391,40	6812,18
5	0,52	1,91	1,39	338,25	4688,80
6	1,24	2,39	1,15	381,74	6400,96
7	1,09	2,30	1,21	352,74	5635,37
8	1,02	2,16	1,14	343,08	5864,45
9	0,96	2,09	1,13	381,74	6558,65
10	0,85	2,04	1,19	357,58	5799,98
Átlagérték	1,01	2,20	1,19	357,82	5903,98
Szórás (SD)	0,26	0,19	0,10	27,20	768,43
Min.	0,52	1,91	1,10	304,42	4688,80
Max.	1,33	2,48	1,39	391,40	6945,17

2. táblázat Kezelt nyár kontroll próbatestek hajlítás (0. hónap)

Próbatest címke	y1 [mm]	y2 [mm]	dy [mm]	dF [N]	E-modulusz [MPa]
1h	0,84	2,31	1,47	210,20	3001,92
2h	1,55	2,67	1,12	231,94	4470,60
3h	0,04	1,27	1,22	19,33	338,47
4h	1,37	2,52	1,15	217,45	4009,26
5h	0,90	1,41	0,51	84,56	3511,15
6h	1,27	2,23	0,96	195,70	4366,52
7h	0,00	1,13	1,13	31,41	581,28
8h	1,22	2,03	0,81	210,20	5409,19
9h	1,15	1,93	0,78	164,29	4468,53
10h	1,05	1,88	0,83	91,81	2378,30
Átlagérték	0,94	1,94	1,00	145,69	3253,52
Szórás (SD)	0,53	0,53	0,27	81,26	1697,99
Min.	0,00	1,13	0,51	19,33	338,47
Max.	1,55	2,67	1,47	231,94	5409,19

3. táblázat Natúr nyár próbatestek I. hajlítás (4. hónap)

Próbatest címke	y1 [mm]	y2 [mm]	dy [mm]	dF [N]	E-modulusz [MPa]
12	1,18	1,80	0,62	200,00	3104,09
13	0,96	1,46	0,50	200,00	3846,51
14	1,18	1,69	0,51	200,00	3865,76
15	1,22	1,87	0,65	200,00	3029,57
16	1,00	2,22	1,22	200,00	1513,98
17	1,17	1,82	0,65	200,00	2973,29
18	0,92	1,83	0,91	200,00	1921,11
19	1,51	2,53	1,02	200,00	1859,92
20	1,26	1,79	0,53	200,00	3722,24
21	0,73	1,65	0,91	200,00	1992,45
22	0,55	1,20	0,65	200,00	2881,78
23	1,24	1,81	0,57	200,00	3264,53
24	1,70	2,13	0,43	200,00	4297,17
25	1,24	1,97	0,73	200,00	2596,03
26	1,37	1,85	0,47	200,00	4161,89
27	1,38	2,11	0,73	200,00	2700,36
28	1,30	2,59	1,29	200,00	1441,87
29	1,38	1,94	0,56	200,00	3504,61
30	0,67	1,27	0,59	200,00	3097,23
31	1,82	3,69	1,87	200,00	1040,73
32	1,65	3,44	1,79	200,00	1041,69
33	1,33	2,07	0,73	200,00	2656,67
34	0,77	1,41	0,64	200,00	2833,84
35	0,81	1,49	0,67	200,00	2692,10
36	0,53	1,08	0,55	200,00	3365,72
37	0,78	1,90	1,12	200,00	1665,91
38	0,34	1,09	0,75	200,00	2364,58
39	2,03	2,81	0,79	200,00	2446,96
40	0,88	1,70	0,82	200,00	2209,27
Átlagérték	1,14	1,94	0,80	200,00	2692,82
Szórás (SD)	0,40	0,61	0,36	0,00	889,92
Min.	0,34	1,08	0,43	200,00	1040,73
Max.	2,03	3,69	1,87	200,00	4297,17

4. táblázat Hőkezelt nyár próbatestek I. hajlítás (4. hónap)

Próbatest címke	y1 [mm]	y2 [mm]	dy [mm]	dF [N]	E-modulusz [MPa]
11H	1,39	2,58	1,19	300,00	3480,73
12h	1,22	2,47	1,25	300,00	3316,59
13h	1,33	2,83	1,49	300,00	2730,58
14h	1,21	2,64	1,43	300,00	2831,77
16h	1,41	2,48	1,07	300,00	3891,89
17h	1,03	2,47	1,43	300,00	2811,46
18h	1,17	1,47	0,29	300,00	3465,34
19h	1,57	2,20	0,63	300,00	3158,94
20h	1,35	2,43	1,08	300,00	3905,76
21h	1,19	1,72	0,53	300,00	3732,17
22h	0,96	1,62	0,66	300,00	3032,37
23h	1,25	1,87	0,62	200,00	3296,25
24h	1,21	1,89	0,68	200,00	3001,66
25h	1,14	1,74	0,60	200,00	3409,58
26h	1,49	1,99	0,49	200,00	4241,73
28h	1,66	2,09	0,44	200,00	4734,36
30h	1,39	1,96	0,57	200,00	3609,96
31h	1,20	1,75	0,55	200,00	3639,29
32h	1,34	1,96	0,62	200,00	3224,60
33h	1,42	2,12	0,70	200,00	2909,50
34h	1,17	1,74	0,57	200,00	3605,69
35h	1,45	2,18	0,73	200,00	2800,39
36h	1,53	2,06	0,54	200,00	3858,02
37h	1,37	2,18	0,80	200,00	2587,37
38h	1,59	2,22	0,63	200,00	3298,50
39h	1,55	2,07	0,51	200,00	4122,38
40h	1,73	2,41	0,68	200,00	3132,09
Átlagérték	1,34	2,12	0,77	240,74	3401,07
Szórás (SD)	0,19	0,34	0,33	50,07	513,05
Min.	0,96	1,47	0,29	200,00	2587,37
Max.	1,73	2,83	1,49	300,00	4734,36

5. táblázat Natúr nyár próbatestek II. hajlítás (8. hónap)

Próbatest címké	y1 [mm]	y2 [mm]	dy [mm]	dF [N]	E-modulusz [MPa]
11	3,60	6,35	2,74	200,00	756,65
12	3,06	5,28	2,22	200,00	859,48
13	2,30	3,57	1,26	200,00	1574,69
14	2,35	3,49	1,14	200,00	1668,44
15	2,28	3,73	1,45	200,00	1353,81
16	2,26	4,29	2,03	200,00	388,10
17	2,05	4,46	2,41	200,00	648,21
19	1,31	3,05	1,74	200,00	573,22
20	1,67	2,72	1,05	200,00	1784,88
21	2,18	4,03	1,85	200,00	1135,26
22	1,32	2,41	1,08	200,00	1050,37
23	2,71	4,62	1,91	200,00	1019,78
24	2,29	3,00	0,71	200,00	2779,46
25	2,41	3,59	1,18	200,00	1693,42
26	1,95	2,99	1,04	200,00	1960,62
27	3,56	6,65	3,08	200,00	644,48
28	2,76	4,60	1,83	200,00	318,54
29	2,74	3,79	1,05	200,00	1911,57
30	1,81	2,88	1,07	200,00	1946,16
32	3,42	5,88	2,46	200,00	483,82
33	2,60	4,82	2,23	200,00	873,00
34	1,68	2,52	0,84	200,00	2335,47
35	2,37	3,54	1,17	200,00	1713,09
36	1,63	2,70	1,07	200,00	1845,81
37	2,64	5,32	2,68	200,00	383,80
38	1,97	4,02	2,05	200,00	999,56
39	3,08	5,17	2,08	200,00	565,80
40	2,57	3,97	1,40	200,00	1396,29
Átlagérték	2,38	4,05	1,67	200,00	1237,99
Szórás (SD)	0,61	1,15	0,65	0,00	655,89
Min.	1,31	2,41	0,71	200,00	318,54
Max.	3,60	6,65	3,08	200,00	2779,46

6. táblázat Hőkezelt nyár próbatestek II. hajlítás (8. hónap)

Próbatest címke	y1 [mm]	y2 [mm]	dy [mm]	dF [N]	E-modulusz [MPa]
h30	2,49	3,18	0,69	200,00	2906,15
h31	1,43	2,01	0,58	200,00	3503,57
h31	1,60	2,32	0,72	200,00	2881,33
h33	1,54	2,12	0,58	200,00	3445,50
h34	1,44	2,07	0,63	200,00	3405,30
h35	2,01	2,68	0,67	200,00	3125,75
h36	1,64	2,25	0,61	200,00	3307,88
h37	1,73	2,55	0,83	200,00	2566,09
h38	1,76	2,51	0,74	200,00	2772,90
h39	1,67	2,27	0,60	200,00	3393,63
h20	1,87	2,40	0,54	200,00	3769,66
h22	1,60	2,17	0,57	200,00	3637,33
h23	1,67	2,28	0,61	200,00	3370,05
h24	1,42	2,06	0,64	200,00	3305,25
h25	1,71	2,18	0,47	200,00	4334,61
h26	1,68	2,26	0,57	200,00	3470,88
h28	1,69	2,20	0,52	200,00	3905,10
h11	1,65	2,30	0,65	200,00	4286,23
h12	1,67	2,21	0,53	200,00	3844,19
h13	1,80	2,54	0,74	200,00	2795,08
h14	1,81	2,41	0,60	200,00	3441,18
h16	1,63	2,20	0,57	200,00	3611,12
h17	1,34	2,18	0,83	200,00	2480,46
Átlagérték	1,69	2,32	0,63	200,00	3372,14
Szórás (SD)	0,23	0,25	0,09	0,00	488,84
Min.	1,34	2,01	0,47	200,00	2480,46
Max.	2,49	3,18	0,83	200,00	4334,61

7. táblázat 4 hónap után nedves fa tömege (földből kivett)

Próbatest címke	Kezeletlen tömeg [g]	Próbatest címke	Hőkezelt tömeg [g]
12.	60,90	12.	61,45
14.	65,20	14.	61,72
17.	57,43	17.	60,23
23.	72,22	23.	66,09
25.	67,37	25.	63,62
28.	60,63	28.	58,75
32.	64,70	32.	64,66
34.	71,26	34.	63,45
36.	76,06	36.	62,55
38.	66,98	38.	61,30
Össztömeg:	662,75	Össztömeg:	623,82

8. táblázat 8 hónap után nedves fa tömege (földből kivett)

Próbatest címke	Kezeletlen tömeg [g]	Próbatest címke	Hőkezelt tömeg [g]
12.	66,59	12.	73,01
14.	67,1	14.	73,69
22.	72,64	22.	80,44
24.	89,56	24.	74,32
26.	68,83	26.	77,72
30.	64,21	30.	74,61
33.	68,25	33.	74,17
35.	76,41	35.	70,69
37.	61,69	37.	68,85
39.	69,96	39.	28,69
Össztömeg:	705,24	Össztömeg:	696,19

9. táblázat Egészséges abszolút száraz fa tömege (0. hónap)

Próbatest címke	Kezeletlen tömeg [g]	Próbatest címke	Hőkezelt tömeg [g]
11.	39,90	11.	30,81
12.	39,77	12.	30,74
13.	44,54	13.	29,86
14.	44,69	14.	32,58
15.	42,33	15.	31,66
16.	40,37	16.	33,50
17.	39,37	17.	32,14
18.	40,20	18.	33,61
19.	41,76	19.	32,72
20.	43,96	20.	33,14
21.	42,99	21.	32,42
22.	47,18	22.	34,68
23.	47,22	23.	32,38
24.	50,29	24.	34,47
25.	45,53	25.	34,71
26.	45,65	26.	31,86
27.	42,05	27.	31,91
28.	39,52	28.	31,32
29.	45,56	29.	39,79
30.	44,20	30.	32,26
31.	40,31	31.	36,78
32.	41,38	32.	35,13
33.	39,15	33.	33,36
34.	47,36	34.	35,83
35.	45,19	35.	32,38
36.	47,76	36.	32,42
37.	41,93	37.	32,49
38.	44,43	38.	32,31
39.	43,03	39.	33,20
40.	44,48	40.	30,00
Össztömeg:	1302,10	Össztömeg:	990,46

10. táblázat Degradált abszolút száraz fa tömege (12. hónap)

Próbatest címke	Kezeletlen tömeg [g]	Próbatest címke	Hőkezelt tömeg [g]
11.	18,48	11.	29,61
12.	20,75	12.	29,50
13.	27,22	13.	28,86
14.	29,75	14.	31,22
15.	25,51	15.	31,36
16.	22,59	16.	32,40
17.	18,42	17.	30,38
18.	17,33	18.	33,23
19.	25,42	19.	32,21
20.	26,10	20.	31,94
21.	26,00	21.	32,12
22.	21,18	22.	33,38
23.	23,01	23.	30,94
24.	35,96	24.	33,01
25.	21,92	25.	33,13
26.	29,23	26.	30,63
27.	22,41	27.	31,97
28.	26,10	28.	30,16
29.	28,35	29.	37,80
30.	28,89	30.	30,97
31.	27,73	31.	34,83
32.	22,28	32.	33,15
33.	20,06	33.	31,77
34.	28,39	34.	34,18
35.	27,39	35.	31,03
36.	26,40	36.	30,90
37.	24,20	37.	30,91
38.	25,13	38.	31,04
39.	19,20	39.	31,91
40.	24,33	40.	29,33
Össztömeg:	739,73	Össztömeg:	953,87

4.5. Mért adatok összehasonlítása

11. táblázat Hőkezelt próbatestek hajlítási átlag értékei

HŐKEZELT	E [MPa] (átlag)
Kontroll (0. hónap)	3253,52
I. Mérés (4. hónap)	3401,07
II. Mérés (8. hónap)	3372,14

HŐKEZELT	ΔE
I. Mérés (4. hónap)	+ 4,54 %
II. Mérés (8. hónap)	+ 3,65 %

12. táblázat Natúr próbatestek hajlítási átlag értékei

NATÚR	E [MPa] (átlag)
Kontroll (0. hónap)	5903,98
I. Mérés (4. hónap)	2692,82
II. Mérés (8. hónap)	1237,99

NATÚR	ΔE
I. Mérés (4. hónap)	- 54,39 %
II. Mérés (8. hónap)	- 79,03 %

11. táblázat Próbatestek abszolút száraz össztömege

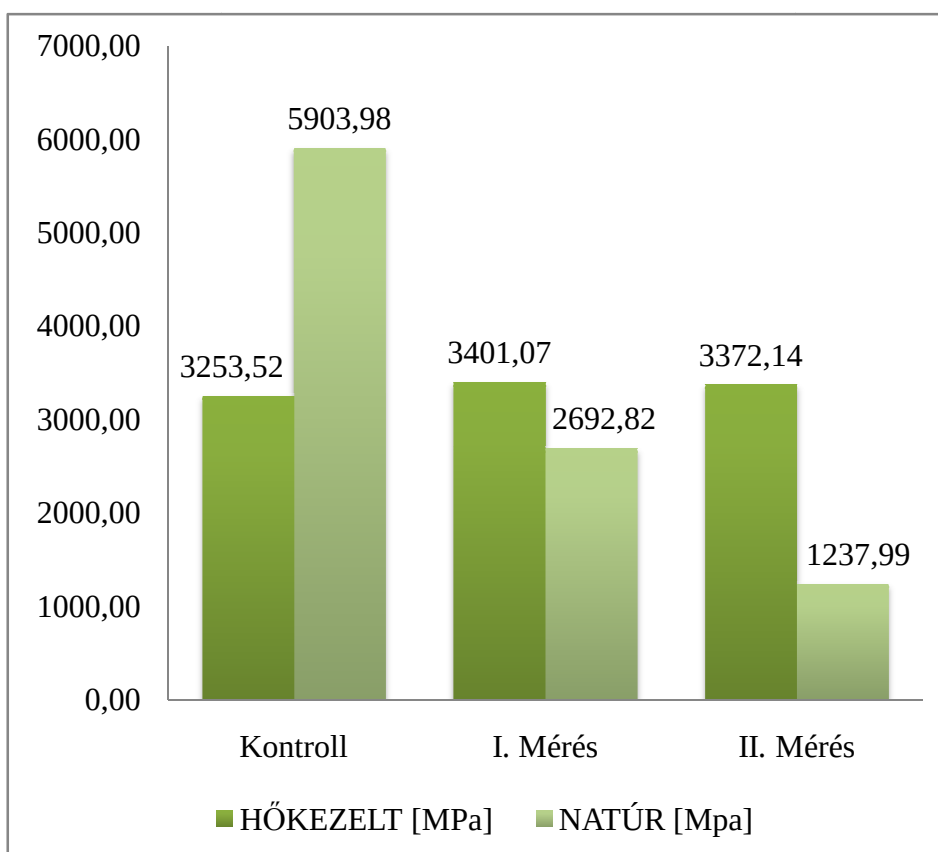
Tömeg	Egészséges (0. hónap)	Degradált (12. hónap)
Natúr [g]	1302,1 g	739,73 g
Hőkezelt [g]	990,46 g	953,87 g

Tömegveszteség	$\Delta Tömeg$
Natúr	- 43,19 %
Hőkezelt	- 3,69 %

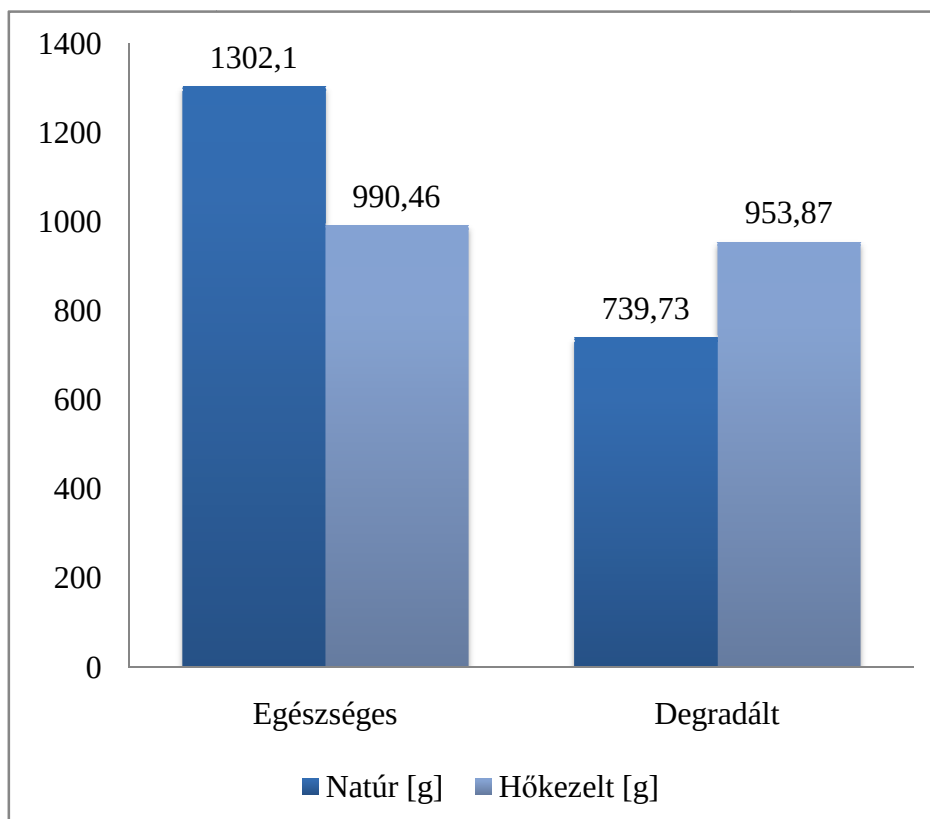
13. táblázat Próbatestek nedvességtartalma

Nedvességtartalom 4 hónap után natúr próbatesteknél	Nedvességtartalom 8 hónap után natúr próbatesteknél
51,64%	61,37%
Nedvességtartalom 4 hónap után hőkezelt próbatesteknél	Nedvességtartalom 8 hónap után hőkezelt próbatesteknél
89,28%	111,24%

1. diagram Hajlítási eredmények összehasonlítása

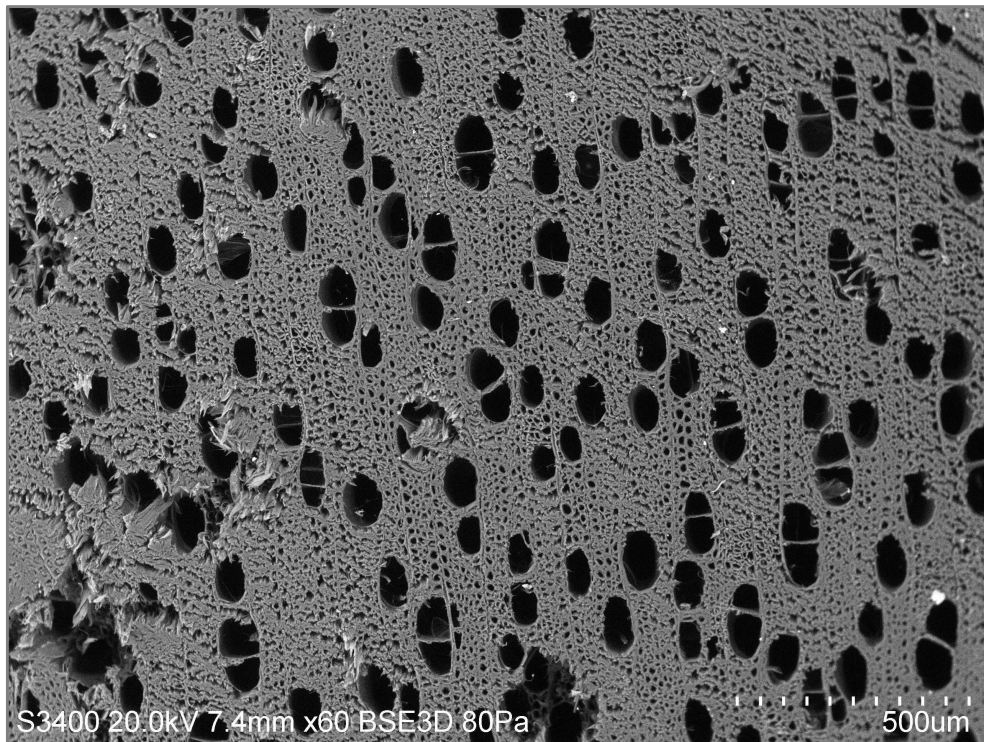


2. diagram Próbatetek abszolút száraz össztömegének változása 12 hónap elteltével

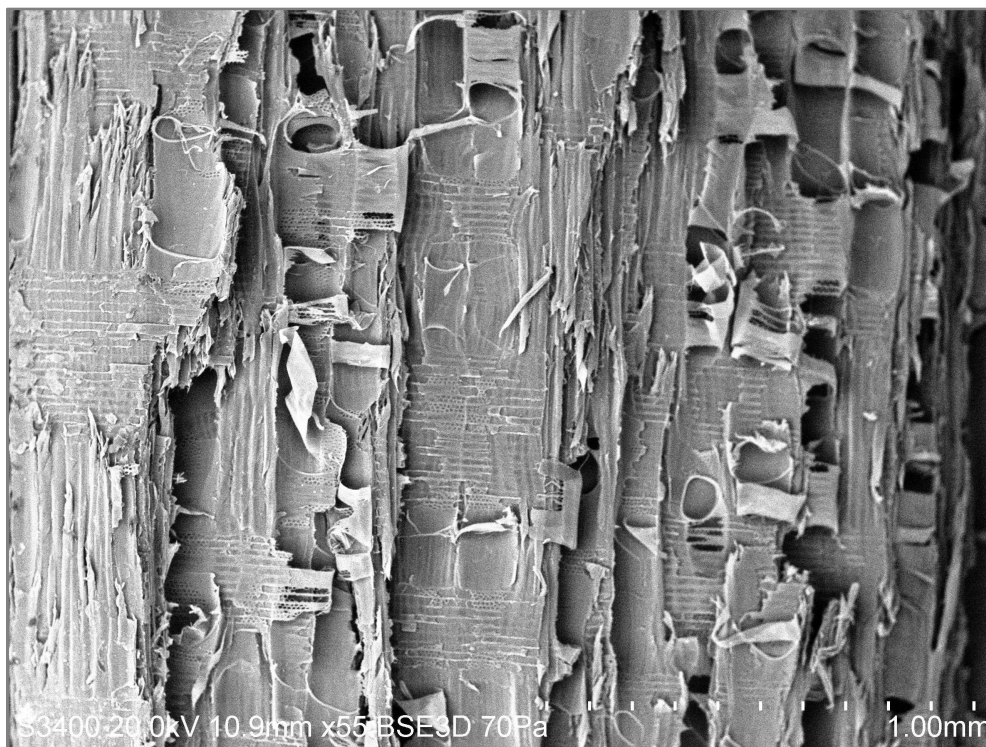


5. Elektronmikroszkópos (SEM) felvételek

Egészséges natúr nyár:

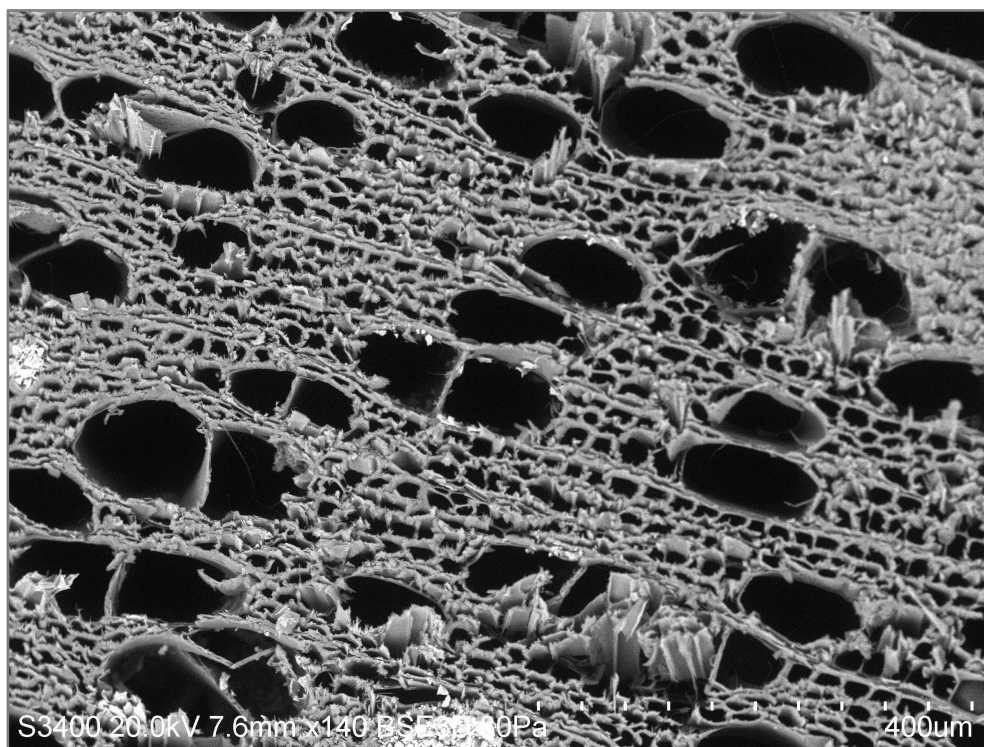


11. ábra Egészséges natúr nyár keresztmetszet



12. ábra Egészséges natúr nyár hosszmetset

Egészséges hőkezelt nyár:

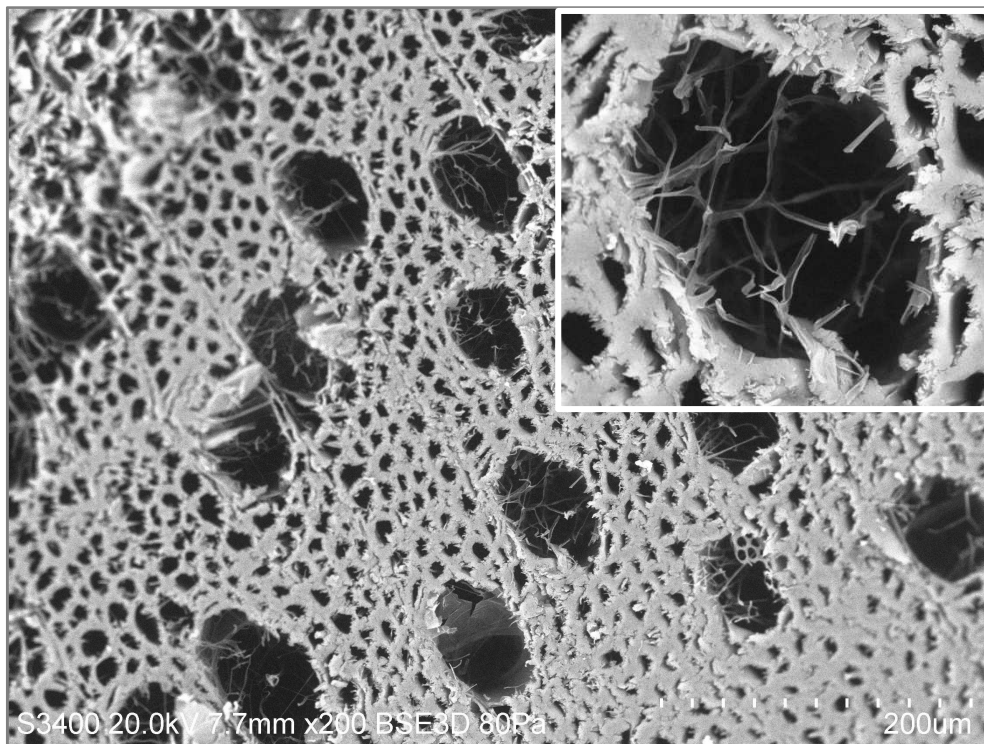


13. ábra Egészséges hőkezelt nyár keresztmetszet

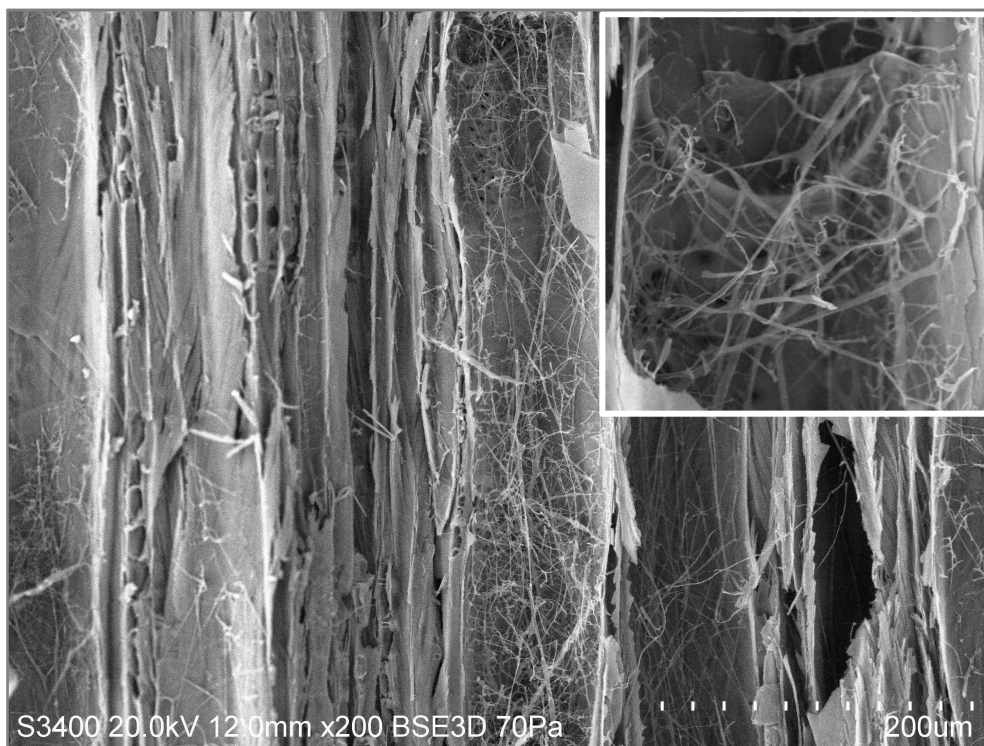


14. ábra Egészséges hőkezelt nyár hosszmetset

Egy évet földben tárolt natúr nyár:

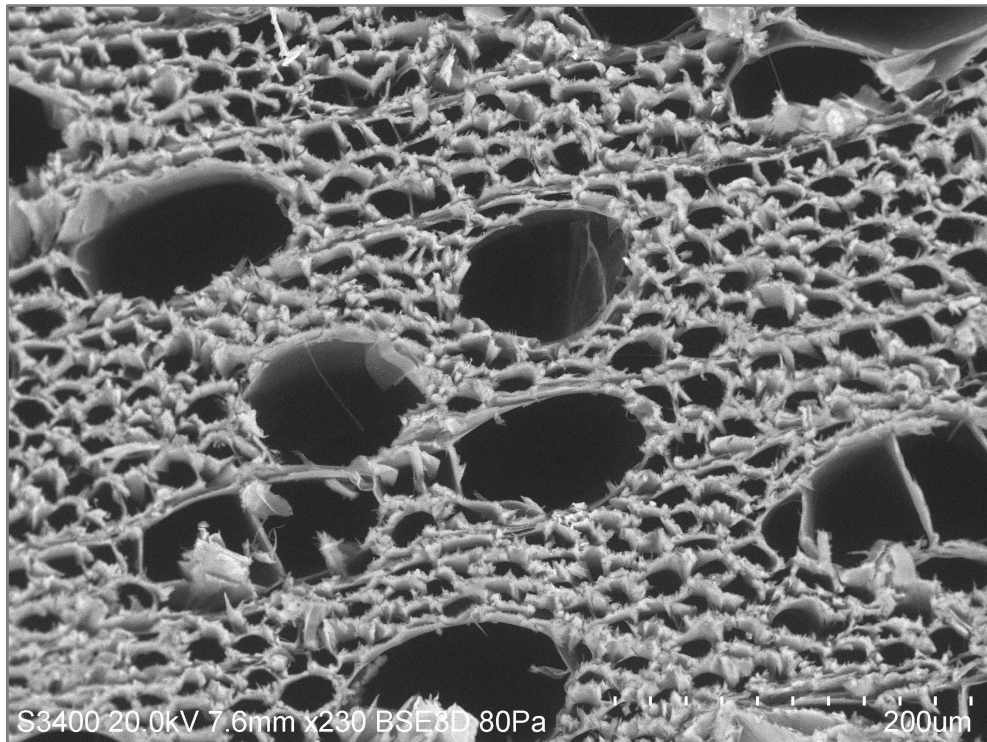


15. ábra Egy évet földben tárolt natúr nyár keresztmetszet (az edényekben jó láthatóak a gombahífák)

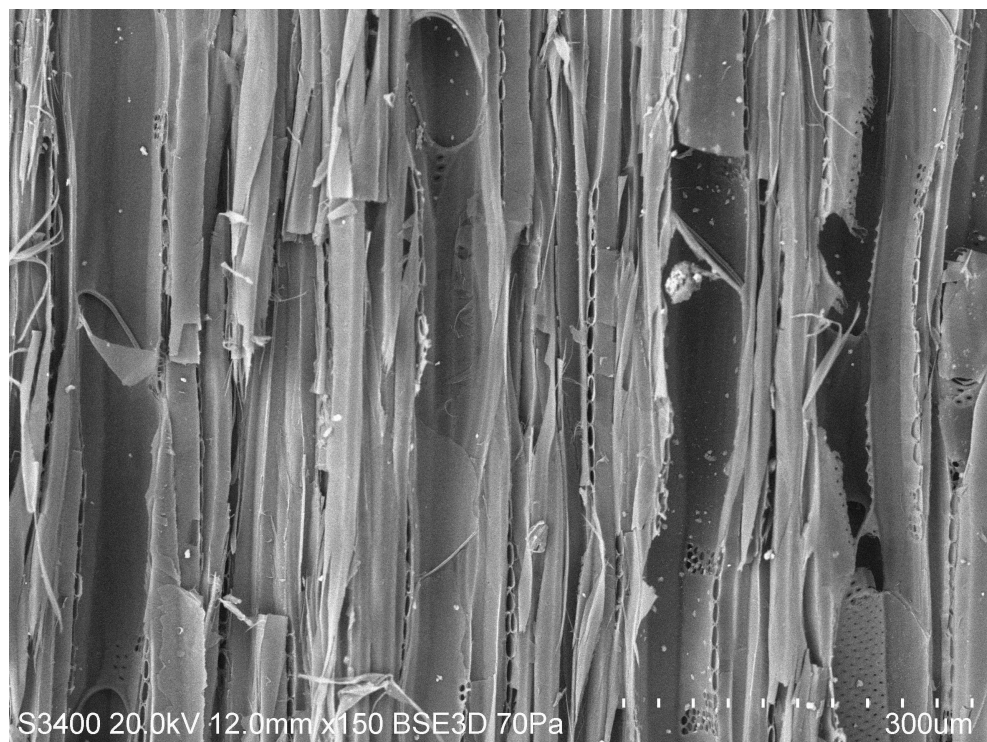


16. ábra Egy évet földben tárolt natúr nyár hosszszelvény (az edényekben jó láthatóak a gombahífák)

Egy évet földben tárolt hőkezelt nyár:



17. ábra Egy évet földben tárolt hőkezelt nyár keresztmetszet



7. ábra Egy évet földben tárolt hőkezelt nyár hosszmetset

6. Kiértékelés

6.1. Megjegyzések

A mérést ponttalanította, hogy egyes próbatestek még a hajlítási vizsgálatuk előtt eltörtek, így nem kapunk képet e testek rugalmassági modulusz értékeiről. Ezek kivétel nélkül a földből történő kivétel közben mentek tönkre. Feltehetően pont a leggyengébb szilárdsági értékekkel rendelkező, vagy a legnagyobb degradációt szenvedő próbatestek voltak ezek.

6.2. Összegzés

Már szabad szemmel is jól érzékelhetőek a kezelt illetve a kezeletlen próbatestek elváltozásai közötti különbségek. A kezelt próbatestek ránézésre alig, vagy egyáltalán, míg a kezeletlenek erősen elszíneződtek. Az utóbbiakon kezdetben a fülledés, majd a korhadás jelei is megfigyelhetők lettek. A mérési eredmények is a hőkezelés eredményességét igazolják. A kezeletlen



19. ábra Hőkezelt és natúr nyárfa 8 hónap földben tárolás után

próbatestek rugalmassági modulusz értékei négy hónap alatt 54%-al, a nyolcadik hónap végére 80%-al romlottak. Míg a hőkezelt próbatestek rugalmassági moduluszai jól láthatóan stagnálnak, nem romlottak. A tömegveszteség terén is jól szerepelt a hőkezelt fa, mindössze 3,7% -os tömegveszteségével. A natúr faanyag viszont 46% -ot veszített egy év alatt eredeti tömegéből. Az elektronmikroszkópos felvételeken a natúr nyárfa edényeiben egy év elteltével burjánzanak a gombafonalak, ellenben a hőkezelt fában nem találhatóak gombatámadásra utaló nyomok. Az eredmények felülmúlták várakozásaimat. A hőkezelés nem hogy lassította a gombák okozta károsodást, hanem a vizsgált időszakban egyenesen kizárta azt.

Az ENV 807:2002-es szabvány szerint a hőkezelés hatásos, ha nyárfának 32 hétig tartó földbe temetés után 5% alatti a tömegvesztesége. Az általam vizsgált hőkezelt nyár próbatestek esetében:

- 52 hét kitettség után, 3,7%-os volt a tömegveszteség.
- A hajlító rugalmassági modulusza 8 hónap alatt nem romlott.
- Az elektronmikroszkópos felvételeken hifák nyomára nem bukkantam.

Kimondható, hogy a hőkezelés megfelelő védelmet nyújt a nyárfának!

6.3. Felhasználási javaslatok

Mivel a hőkezelés hatására a faanyag mechanikai tulajdonságai romlanak, nem ajánlatos teherviselő szerkezeteknél alkalmazni. Jelen esetben a hőkezelés hatására a nyárfa rugalmassági modulusza 45%-al csökkent a natúr fáéhoz képest. Ahol nem a teherbírása mérvadó, viszont a tartósság, elemeknek való ellenállás lényeges, ott megállja a helyét.

Pár felhasználási javaslat, ahol a natúr fánál sikerebben helytállhat:

- Homlokzat
- Zajvédő fal
- Öregített fa
- Falburkolat
- Kerítés
- Kerti bútor

7. Irodalom jegyzék

- Dr. Molnár Sándor (szerk.): Faipari kézikönyv I. (Faipari Tudományos Alapítvány, Sopron 2000)
- Dr. Molnár Sándor: Faanyagismeret (Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó Budapest 2004)
- Dr. Németh Róbert: Faanyagok modifikációja ppt (2009):
<http://faanyag.fmk.nyme.hu/index.php/13557/?&L=1#segedanyag>
- Kémia 2- Fakémia: előadás 2:
<http://cheminst.emk.nyme.hu/kemia2/02Fakemia.pdf>
- www.mszt.hu