

Nyugat – magyarországi Egyetem
Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi és Művészeti Kar
Faanyagtudományi Intézet

Faanyagok hamutartalmának változékonysága

Témavezető:

Dr. Komán Szabolcs
egyetemi adjunktus

A szakdolgozat készítője:

Jahola Etelka
IV. évf. faipari mérnök hallgató

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	3
2. Modifikációs eljárások bemutatása.....	5
2.1 Acetilezési eljárás	6
2.2 Termikus eljárás	9
3. Faenergetikai ismeretek, a hamutartalom.....	16
4. A hamutartalom vizsgálatok során alkalmazott fafajok ismertetése.....	17
4.1 Erdeifenyő (<i>Pinus silvestris</i> L.).....	17
4.2 Nyárfa (<i>Populus</i> sp.).....	20
4.3 Fehér akác (<i>Robinia pseudoacacia</i> L.).....	23
4.4 Nemes tölgy (<i>Quercus</i> L.)	26
4.5 Közönséges gyertyán (<i>Carpinus betulus</i> L.)	30
5. A hamutartalom mérési módszerek ismertetése	33
5.1 Elvi háttér bemutatása	33
5.2 Gyakorlati bemutatás.....	34
6. A mérési eredmények bemutatása.....	37
7. Összefoglalás.....	42
8. Köszönetnyilvánítás	43
9. Mellékletek	44
10. Ábra- és táblázatjegyzék:.....	47
11. Irodalomjegyzék.....	49

1. Bevezetés

Magyarországon az energiaigény rohamosan növekszik, ezzel ellentétben a fosszilis energiahordozók (kőszén, földgáz, kőolaj) mennyisége folyamatosan csökken, egyre inkább a kimerülés felé halad, ezért helyettesítésük különösen fontos feladat (Füzesi I.2014). Sajnos nemcsak fontos, de nehéz is, mivel a társadalom nagy részének kézenfekvőbb az egyszerűbb módszert alkalmazni, nem gondolva arra, hogy a fosszilis energiahordozók importálásra elköltött összeg jelentős részét itthon lehetne tartani.

A megnövekedett biomassa, ezen belül is a dendromassa (fa alapú szervesanyag) energetikai felhasználásnak fontos szerepe van a fenntartható fejlődésben, mivel eltüzelésekor nem növekszik az atmoszféra szén-dioxid terhelése. Elégetése során nagyjából annyi szén-dioxid szabadul fel, mint amennyit a légkörből lekötni képes, így például a lignocellulózok energetikai felhasználása környezetkímélő energiatermelést tesz lehetővé.

Az elégetett fa mennyiségével együtt, a keletkező hamu mennyisége is folyamatosan növekszik. Magyarországon ez az érték megközelítőleg 30-40 ezer tonna. A benne található nehézfémek miatt (cink, mangán) leginkább hulladékként kezelik. A magas hulladéklerakási költségek, és az újabb hulladéklerakók megnyitásának hatásai (légszennyezés, talajszennyezés, vízszennyezés, metán kibocsátás okozta éghajlatváltozás) felhívta a figyelmet a fahamu hasznosításra, valamint mennyiségének minimalizálására. (Füzesi I.2014)

Szilárd tüzelőanyagok (fa és biomassa, valamint szén) égetésekor jelentős mennyiségű éghetetlen melléktermék (hamu, salak, ásványi anyag) keletkezik. Ha a keletkező hamurészecskék megolvadnak és lerakódnak megakadályozzák az optimális hőcserét és áramlást. Emiatt a hamu eltávolítása és a keletkező hamu mértékének csökkentése fontos szerepet játszanak a tüzelő berendezések megfelelő működésében (Palotás Á. B. 2011).

Az előzőekben felsorolt környezetvédelmi, valamint műszaki, tüzeléstechnikai szempontok miatt tartom fontosnak a különböző fafajok hamutartalmának vizsgálatát, mind kezeletlen, mind kezelt formában. Lényeges lenne megtalálni azokat a módszereket, eljárásokat, amelyekkel csökkenthető az égetésükkor keletkező hamu mennyisége.

Dolgozatom készítése során a következő fafajokkal végeztem hamutartalom mérési vizsgálatokat: erdeifenyő (*Pinus sylvestris* L.), nyárfa (*Populus* sp.), fehér akác (*Robinia*

Pseudoacacia L.), nemes tölgy (*Quercus* L.) fajok kezeletlen, és hőkezelt formában. A faanyagok hőkezelése során a hőmérséklet és az időtartalom egyaránt változott (180°C, 200°C, 3 óra, 6 óra). Ezeken kívül natúr és acetilezési eljárással kezelt gyertyán (*Carpinus betulus* L.) mintákat, valamint korhadt faanyagot használtam.

2. Modifikációs eljárások bemutatása

A faanyag modifikálás azzal a céllal jött létre, hogy javítani tudjuk az anyag műszaki, mechanikai, esztétika tulajdonságait. „Olyan módosító eljárás, mely megváltoztatja a faanyag struktúráját azzal a céllal, hogy a felhasználás szempontjából a faanyag előnyös, új tulajdonságokra tegyen szert és ezzel alkalmazási területét szélesítse, új termékek előállítását biztosítsa.” (Bosshard 1984) Fontos, hogy a módosított termék nem lehet mérgező, nem jelenthet veszélyt a környezetre se a felhasználáskor se a megsemmisítéskor. Lényeges szempont még, hogy a modifikált és a természetes faanyag ára között nem lehet lényeges különbség, máskülönben nem tudja felvenni a versenyt a piacon a hasonló termékekkel. A módosítás általában kémiai, biológia, fizikai úton, vagy ezek kombinációjával történik.

Az eljárásokat alapvetően két fő csoportba sorolhatjuk: aktív és passzív modifikáció. Az aktív azt jelenti, hogy az anyag kémiai szerkezetében történik változás, miközben a passzív eljárás során kémiai módosítás nélkül változtatjuk meg az anyag tulajdonságait.

Az ismert és alkalmazott modifikálási eljárások:

- termikus modifikáció
- felületi modifikáció
- impregnálás
- kémiai modifikáció.

A felsorolt módszereket, azok elterjedését valamint elvi működését az 1. és 2. ábra szemlélteti.

Módszer	Iparban használt	Elv
Hőkezelés	X	
Acetilezés	X	
Melamin	(X)	
DMDHEU	X	
Furfurilezés	X	
Szilikon/ szilán	(x)	
Olaj, viasz, paraffin	X	
Kitozán		

1. ábra. A faalapú modifikációs eljárások (Militz)

Sejtüreg kitöltése	Sejtfal ki(fel)töltése	Reakció a faanyag polimerjeivel	Kereszt- kapcsolat	Sejtfal degradációja (roncsolódás)
				

2. ábra. A faalapú modifikációs eljárások hatásmechanizmusai (Militz)

A termikus módosítás során hőközlés alkalmazásával változtatjuk meg az anyag kémiai szerkezetét, a jobb tulajdonságok elérésének érdekében. Az iparban ez az egyik legkedveltebb és legelterjedtebb módszer.

Használhatunk olyan eljárásokat is, amik az anyag felszínének kémiai, fizikai vagy biológia kezelésével okoznak változást, mint például a festés és a ragasztás. Célja a ragasztási szilárdság és a vízlepergető hatás növelése, továbbá a felületkezelő anyagok tapadásának elősegítése.

Az impregnálás célja az épületszerkezeti anyagok védelme. Különböző inert anyagokkal (olajokkal, olaj származékokkal), impregnálószerrel kezelve, feltöltve a fa sejtüregeit, egy vízzáró, úgynevezett vízlepergető bevonatot kapunk, ezzel javítva a faanyag tulajdonságait.

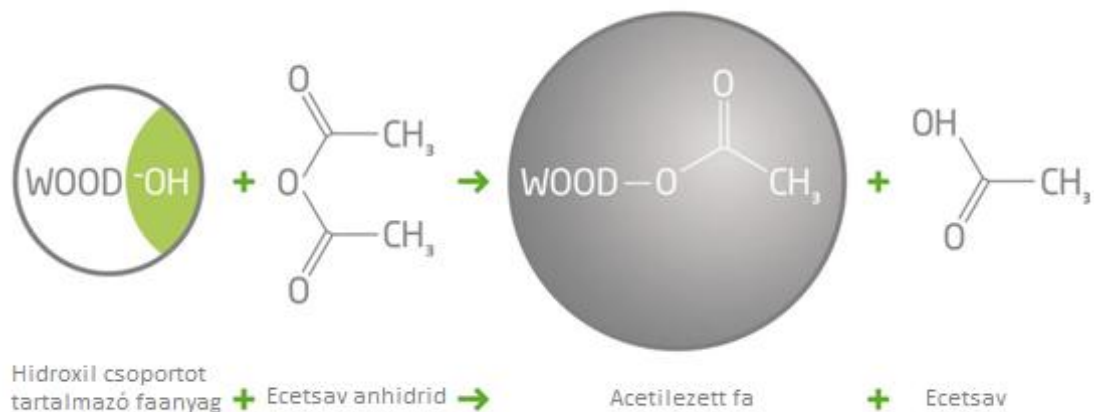
A kémiai modifikáció célja, hogy hidroxil csoportok és a kémiai modifikáló anyag közti reakcióival javítsa az anyag méretstabilitását, vízzel szembeni rezisztenciáját, valamint a gombaállóságát. (Pozsgayné Fodor F. 2014)

A hamutartalom mérési vizsgálatok során kezeletlen, acetilezett és hőkezelt fafajokat vizsgáltam, ezért ezen eljárások részletes bemutatása következik.

2.1 Acetilezési eljárás

Az acetilezés egyike a faanyag kémia modifikációinak, amellyel a tudósok 1928 óta foglalkoznak. Az első kereskedelmi kísérletek az 1980-as évek elején indultak meg, de az eljárás magas költségei, a nagyszámú trópusi fafajok bőséges kínálata és az optimalizálás hiányosságai miatt kudarcba fulladt. Majdnem negyed évszázaddal később, 2004-ben épült Hollandiában egy kísérleti üzem, majd 3 évvel később, 2007-ben megkezdődött az acetilezett faanyag előállítása, termelése. 2009-től világszerte használják lakossági és kereskedelmi szinten egyaránt.

A faanyag nagy mennyiségben tartalmaz kémiai szabad hidroxil csoportokat (OH). Ezek miatt a szabad hidroxil csoportok miatt lép fel a zsugorodás-dagadás jelensége, ezek felelősek a vízfelvételért és leadásért, így a gombaállóságot is befolyásolják. A kezelés közben (3. ábra) a faanyag hidroxil csoportjait, meghatározott hőmérsékleten és nyomáson ecetsav anhidriddel reagáltatják, aminek következtében a hidroxil csoportok acetil csoportokká cserélődnek. Így ecetsavat és acetilezett faanyagot kapunk, mely egy sokkal stabilabb szöveti felépítésű fatestet eredményez. (Pozsgayné Fodor F. 2015)



3. ábra. Az acetilezés kémiai háttere (Pozsgayné Fodor F. 2015)

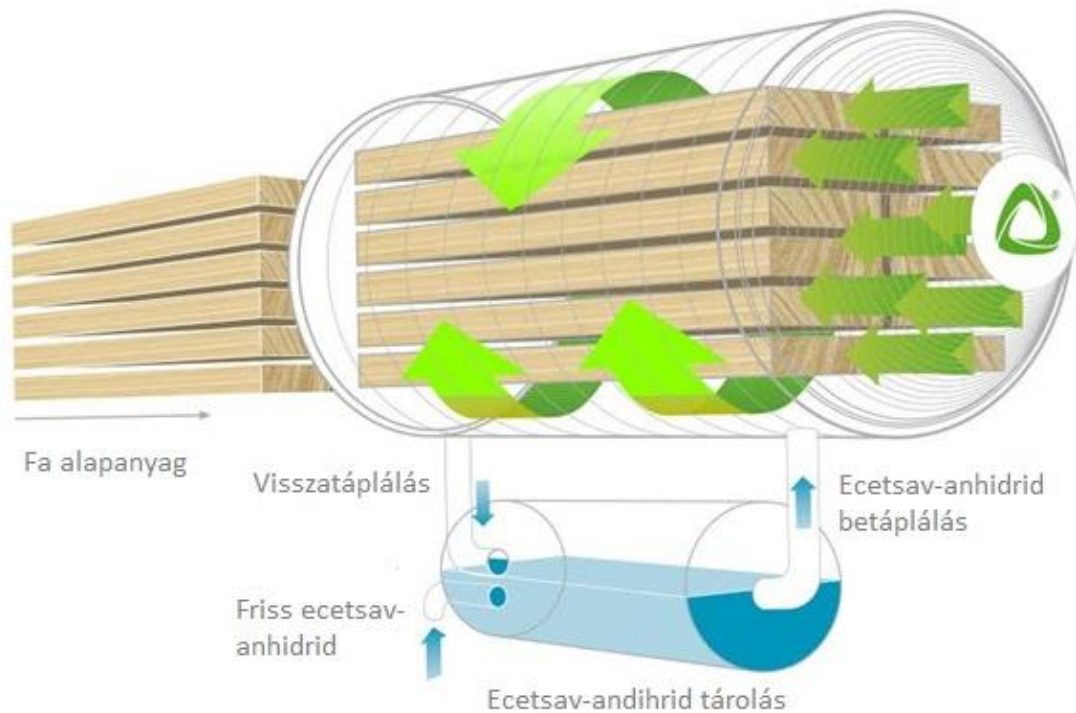
Az ecetsav-anhidrid színtelen, szúrós szagú folyadék, képlete $C_4H_6O_3$. Vízen kevésbé oldódik, éterrel azonban korlátlanul elegyedik. Víz hatására hidrolizál és ecetsavra bomlik. (<https://hu.wikipedia.org/wiki/Ecetsav-anhidrid> 2015.12.04.

A kezelés függ:

- a fafajtól
 - a nedvességtartalomtól,
 - a járulékos anyagok fajtájától és mennyiségétől,
 - a reakció paramétereitől (például méret, reakció hőmérséklet, reakció ideje, előzetes impregnálás, nyomás),
 - a reakció közegétől (anhidrid tiszta vagy oldat formájában van jelen, gőzfázisú vagy folyadékfázisú reakció),
 - valamint az utókezelés módjától (vízbe merítés, kioldás vagy kigőzölés).
- (Csordós D. 2013)

Mivel a kezelés (4. ábra) sikeressége, ezáltal a fa tulajdonságai nagymértékben függenek a nyomástól és a hőmérséklettől, ezért a vegyi anyagot nyomás alatti tartályban,

reaktorban juttatják az anyagba. Ezután a fixálás magas hőmérsékletű, gőzös szárítással történik.



4. ábra Az acetilezési eljárás (Pozsgayné Fodor F. 2015)

Az acetyl sejtfalakba jutása térhálósodáshoz vezet, a faszemek megduzzadnak. Ennek köszönhetően a kezelt faanyag számos tulajdonsága pozitív irányba módosul:

- emelkedik a méretstabilitása,
- a mechanikai tulajdonságai (nyomószilárdság, hajlítószilárdság, rugalmassági modulus) javulnak,
- sűrűsége és a keménysége nő,
- javul az ellenálló képessége a gombákkal, rovarokkal, nedvességgel és az időjárás viszontagságaival szemben, így a legmagasabb 1. tartóssági osztályba sorolható
- zsugorodási-dagadási tényezője 75%-kal csökken,
- a felületkezelés háromszor, négyszer tartósabb, így jelentősen csökkennek a karbantartási költségek,
- könnyebben felületkezelhető, kevesebb előkészítést igényel,
- könnyedén megmunkálható, nincs szükség speciális eszközökre,
- a teljes életciklus során CO₂ semleges. (Pozsgayné Fodor F. 2015)

2.2 Termikus eljárás

Az ismert modifikációs eljárások közül az iparban a hőkezelési eljárás a legkedveltebb. Az 1900-as évek elején foglalkoztak először a faanyag magas hőmérsékleten történő kezelésével. Megállapították, hogy hő hatására növelhető az anyag dimenzióstabilitása, valamint tartóssága, és ez a változás nagyban függ a kezelt anyag nedvességtartalmától. Napjainkig nagyon sok vizsgálat, kísérlet zajlott le a téma kiaknázása végett. A faanyagban hő hatására rendkívül bonyolult kémiai és fizikai-kémiai változások mennek végbe. (Csordós D. 2013)

Befolyásoló tényezők:

- a faanyag felépítése, fajlagos felülete, szemcsemérete,
- a kezelés hőmérséklete, és időtartama,
- az eljárás során alkalmazott nyomás és közeg,
- a rendszer milyensége:
 - nyitott vagy zárt;
 - száraz vagy nedves eljárás,
- és az anyag összetétele.

A belső tényezők közül a leglényegesebb a fő komponensek, szerves anyagok (cellulóz, hemicellulóz, lignin) mennyisége, szerkezeti felépítése, azaz az összetétel. A járulékos anyagok szerepe (gyanták, gesztanyagok, zsírok, olajok viaszok) kis mennyiségüktől függetlenül kiemelkedő, mivel közvetlenül akadályozhatják vagy elősegíthetik a folyamatokat. Hasonlóan döntő szerepet játszanak a fában megtalálható szervesetlen anyagok. (Bak M. 2012)

Különösen fontos, hogy a kezelés során különböző vízgőztartalmú légköri levegőt, nitrogént, vákuumot, fémolvadékot vagy forró növényi olajokat (len-, napraforgóolaj) használunk fel közegként. (Csordós D. 2013)

A nevéből is adódóan a hőkezelés függ a leadott hő mennyiségétől, ezért fontos megemlíteni azokat a hőmérséklet tartományokat, amelyekhez más és más folyamatok társíthatók.

- 100°C hőmérsékleti értékig a faanyagban található vízzel kapcsolatos folyamatok mennek végbe. Ilyenek az olvadás, a párolgás, különböző szorpciós folyamatok és a fagyás. Ennek a hőmérsékleti tartománynak nagy szerepe van a hidrogénhidas kötésekkel kapcsolatos átalakulásokban, módosulásokban.

- 100-200°C között a gyengébb kémiai kötések hasadása játszódik le. Gyengébb kémiai kötés van a lignin és a hemicellulóz, valamint a járulékos anyagok és szénhidrátok között. Kis mennyiségben gázképződés is fellép ebben a szakaszban. 160°C és 180°C között a színváltozást tekintve erőteljes ugrás jelentkezik.
- 230-400°C közötti tartományban játszódhatnak le a legerőteljesebb átalakulások, ezért ebben a szakaszban, jelentkezik tömegcsökkenés, amely két lépésben megy végbe. Első lépésként megtörténik a hemicellulózok bomlása, majd második lépésben a szabad gyökök polimerizációja. A stabil gyökök szerepe nagy a termikus bomlásfolyamatok esetén, mivel gátolják a termikus bomlást, ellentétben az instabil gyökökkel, amik gyorsítják. Ebből a szempontból is nagyon fontos a faanyagok összetétele. A kémiai reakciók gyakorlatilag a fatest minden komponensét érintik ebben a tartományban.
- 400°C felett a faanyag kémiai szerkezete teljesen elbomlik, lezajlanak a szenesedési folyamatok. (Csordós D. 2013; Horváth N. 2008)

A kezelés hőmérséklete szorosan összefügg az eljárás hosszával. Általában a magasabb hőmérséklethez rövidebb idő, az alacsonyabb hőmérséklethez hosszabb idő tartozik. A nagyobb hőfok sötétebb színt, magasabb gombaállóságot, de csökkenő szilárdságot eredményez. (Csordós D. 2013)

A faminták mérete is mérvadó, egyrészt azért, mert a faanyag heterogenitása az eredmények különbözőségét okozhatja. Másrészt a különösen nagy keresztmetszetű anyagok középrétegének átmelegítése nehézkes, mert a száraz fa hővezető képessége alacsony.

A hőkezelés történhet nyitott vagy zárt rendszerben, más néven autoklávban. A vízgőz jelenléte nagy hatást gyakorol az eljárás kimenetelére. Száraz anyag esetén a faanyagot kiszáritják a hőkezelés előtt, nedves eljárásakor pedig a faanyag nedvességtartalma a reaktorban gőzzé alakul ezzel védőréteget képezve. (http://www.nyime.hu/fileadmin/dokumentumok/fmk/faanyag/segedanyag/faanyagok_modifikalasa/faanyagok_modifikalasa_06.pdf 2015.12.04.)

A növényi anyagok három fő alkotórésze a lignin, a cellulóz és a hemicellulóz, melyek a hő hatására eltérő módon viselkednek, ezért fontos ezek részletes bemutatása.

A lignin mennyiségének növelésével a fa hővel szembeni ellenálló képessége nő. Mivel a lignin nagyszámú szénhozammal szenesül, csökken a hővezető képessége, ezzel pedig nő a faanyag hőstabilitása. A hődegradáció során a lignint tartják a legstabilabb

komponensnek, ennek ellenére már a folyamat elején, 200 °C alatt is észlelhető változás. A degradációs folyamat nagyban függ attól, hogy mennyire bonyolult a felépítése, valamint az izolálási módtól. Ha az izolálás kímélő, a lignin bomlása már 150-160°C környékén megindul, míg egy erőteljesebb izolálás után csak 200°C felett kezdődik meg a bomlás. A lignin bomlása egyaránt lehet homolitikus (gyökös) vagy heterolitikus (ionos) attól függően, hogy a kötések felhasadásakor szimmetrikusan vagy asszimmetrikusan oszlanak meg kötő elektronpárok a keletkező két rész között. A bomlást polimerizációs folyamatok kísérik. Alacsony hőmérsékleten az alkoholcsoportok dehidratációja történik, 150-270°C között az éterkötések hasadnak. Legnagyobb energiára az aromás gyűrű megbontásához van szükség. A hidrolízis miatt magas hőmérsékleten a lignin és szénhidrát kötések felbomlanak, ennek következtében változik a fa formálható képessége.

A cellulóz hőbomlása több részfolyamatból áll. Tulajdonságainak, azaz a tisztaságának, a kristályosság mértékének, valamint a polimerizációs fokának nagy befolyása van ezekre az összetett párhuzamosan zajló reakciókra. A cellulóz degradációja a ligninhez hasonlóan lehet homolitikus vagy heterolitikus, azonban a kristályos szerkezete miatt kevésbé érzékeny a hőre. A kristályosság megváltoztatását legnagyobb mértékben az alkalmazott közeg, az idő és a hőmérséklet befolyásolja. A különböző cellulózkristályok bomlásának teljes megvalósulása más és más hőmérsékleten, differens időkben történik. Két nagy részre osztható fel a bomlása. Az első lépésben 300°C alatt megtörténik a depolimerizáció, majd második lépésben a degradáció. Utóbbi 300°C-ig lassan, 310-320°C körül gyorsan és végezetül nagyjából 390°C-ig teljes mértékben lezajlik.

A faanyag az óriásmolekulák mellett vízben vagy szerves oldószerben könnyen oldódó vegyületeket, úgynevezett járulékos anyagokat (extraktanyagokat) is tartalmaz. A főkomponensekkel ellentétben szerepük a szín, az illat és a tartósság befolyásolása, a mechanika tulajdonságokra nem gyakorolnak hatást. Kémiai felépítésük alapján lehetnek:

- gyanták, terpének,
- fenolos gesztanyagok (fenolok, tanninok, sztilbének),
- és egyéb extraktanyagok (viaszok, cukrok, zsírok).

A járulékos anyagokban megtalálhatók inhibitorok és iniciátorok egyaránt. Az aromás szerkezetű alkotók viszonylag alacsony hőmérsékleten, 140-190°C körül a stabil gyökképződés hatására stabilizálják a fát. Az ilyen anyagokat nevezzük inhibitoroknak. Vele ellentétesen viselkedő anyagok az iniciátorok, amik a fa gyulladáspontját 30-40%-

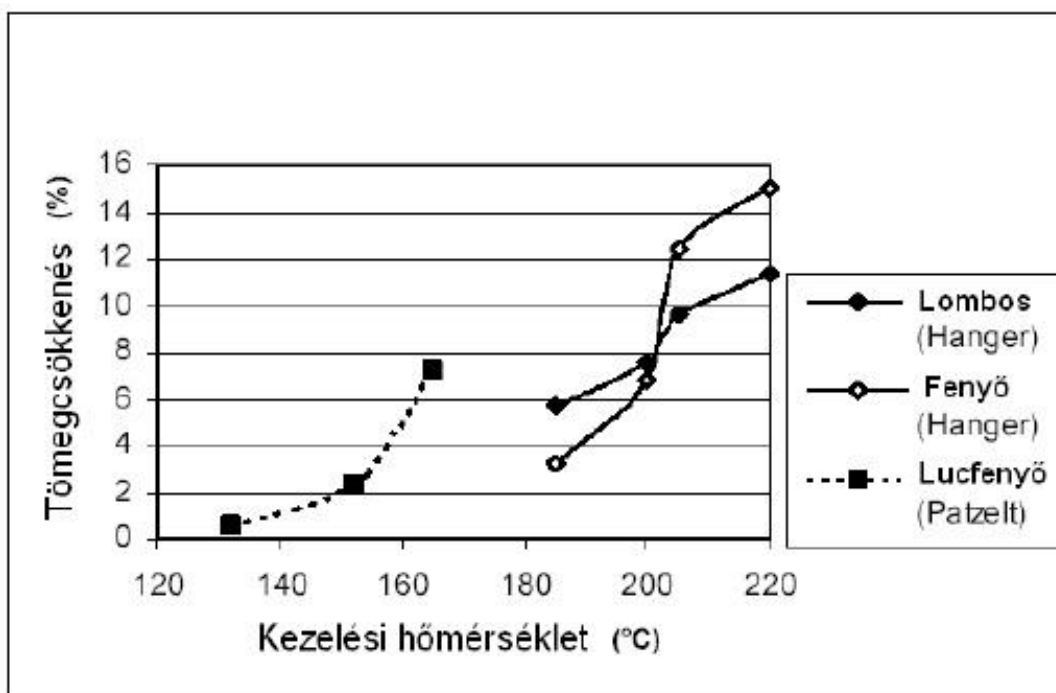
kal is képesek csökkenteni. Ilyenek például a gyanták és az olajok. (Horváth N. 2008; Bak M. 2012; <http://cheminst.emk.nyme.hu/kemia2/02Fakemia.pdf> 2015.12.04.)

Hő hatására a faanyagban kémiai változások mennek végbe, ami a következő fizikai és biológiai jellemzőkben okoz változás:

- tömeg és térfogat,
- dimenzióstabilitás,
- higroszkóposság, egyensúlyi fanedvesség,
- hőtechnikai tulajdonságok,
- szín,
- szilárdsági értékek,
- gombaállóság,
- tartósság,
- kémiai tulajdonságok (pH érték, emissziós érték).

Tömegcsökkenés:

A hőkezelés során a faanyag szerkezete zsugorodik, tömege csökken. Ennek mértéke függ a fafajtól, a kezelés hőmérsékletétől és idejétől, valamint a hőátadó közegtől.



5. ábra. Tömegcsökkenés módosulása a hőmérséklet változtatásával

(Horváth N. 2008)

Az 5. ábrán jól látható, hogy a kezelés során a lombos fák tömegcsökkenése 5-11%, míg a fenyőké 3-11% közé tehető. A 230°C feletti folyamatok már nincsenek jó hatással a végtermék tulajdonságaira; az oxigén jelenléte és a száraz levegős kezelés nagyobb tömegcsökkenéshez vezet. A kezdeti, elsődleges tömegcsökkenés a kötött víz távozásának tudható be. (Horváth N. 2008)

Dimenzióstabilitás:

A dimenzióstabilitás (ASE - Anti Swelling Efficiency) nagymértékben függ a fafajtól és az anatómiai iránytól. Ha növeljük a kezelés időtartamát és a hőmérsékletet, akkor növekedni fog a dimenzióstabilitás is, de utóbbinak nagyobb befolyása van. A kezelés során a poliészterből új, kevésbé higroszkópos polimerek jönnek létre, így a vízfelvétel csökken, ami méretstabilitás növekedését vonja maga után. (Bak M. 2012)

Egyensúlyi fánedvesség:

Ahogy a dimenzióstabilitás és a tömegcsökkenés, úgy az egyensúlyi fánedvesség is függ a fafajtól, a kezelés időtartamától és hőmérsékletétől, valamint az eljárástól. A nedvességfelvétel csökkenésének oka lehet, hogy a hidroxil csoportok száma csökken, így kevésbé elérhető a vízmolekulák számára. Az eljárásnak köszönhetően nemcsak kevesebb nedvességet képes felvenni a hőkezelt anyag, de lassabban is reagál a környezetre, így több időbe telik a vízfelvétel.

Hővezető-képesség:

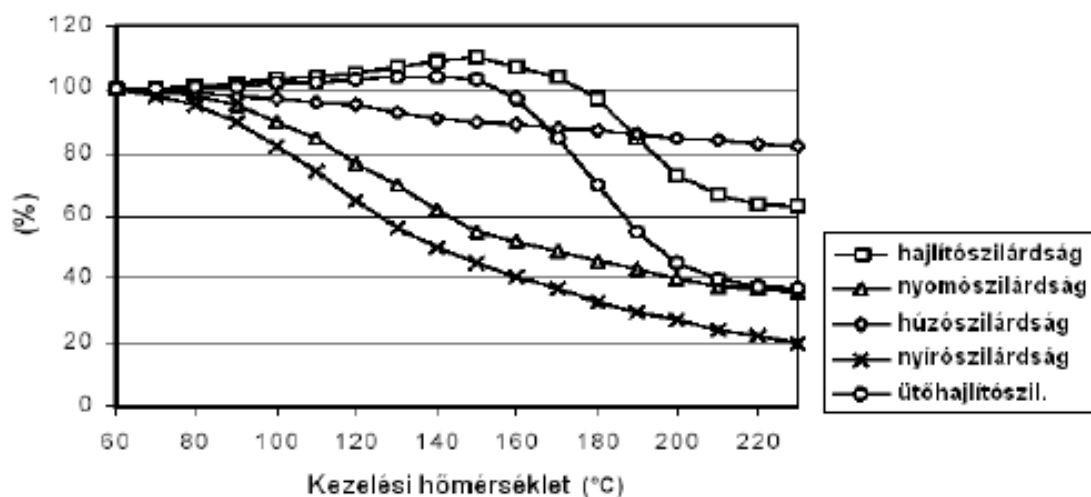
Horváth N. (2008) doktori disszertációjában leírtak alapján megállapítható, hogy a faanyag modifikációja során a kezelési hőmérséklet növelésével a sűrűség is változik, ami szoros összefüggésben van a hővezető képességgel, aminek jellemzésére a hővezetési tényező (λ) szolgál. „A hővezetési tényező azt a hőmennyiséget mutatja, mely egységnyi idő alatt, az anyag egymástól egy méterre levő egy négyzetméteres felületein áramlik át, egy Kelvin hőmérséklet-különbség hatására.” Elmondható, hogy a sűrűség növekedése és a pórusosság csökkenése a hővezető-képesség növekedéséhez vezet.

Szín:

A járulékos anyagok kémiai átalakulása miatt a faanyag színe hő hatására megváltozik. Ez a tulajdonság a végfelhasználás szempontjából kimondottan jelentős. A szín sötétedésének mértéke a kezelés hosszának, és hőmérsékletének növelésével arányosan nő. A legmeghatározóbb növekedés 160-180°C között jelentkezik, de 220°C feletti hőmérséklet esetén már nem figyelhető meg színváltozás. (Horváth N. 2008; Bak M. 2012)

Mechanikai tulajdonságok:

A legnagyobb negatívum, amely a hőkezelés ellen felhozható, hogy nem használhatók a végtermékek szerkezeti célokra, mivel a kezelés során a degradáció növekedésével a mechanikai jellemzői romlanak. Ezért elsősorban a sejtfalalkotók roncsolódása, a hemicellulózok és cellulózok bomlása a felelősek. A hajlító- és húzószilárdsági értékek csökkenésért a hemicellulózok bomlása, a ridegség növekedéséért pedig az amorf cellulózzrészek a felelőse. A hőmérséklet növelése és a szilárdsági értékek csökkenése szoros összefüggésben vannak. Minél magasabb a hőmérséklet, annál nagyobb mértékben romlik a faanyag szilárdsága.



6. ábra. A főbb meghatározó szilárdsági értékek változása hőmérséklet növelésének hatására (Horváth N. 2008)

Az 6. ábrán jól látható, hogy a nyíró- és nyomószilárdsági értékek nagymértékben romlanak a hőfok növelésével. 60°C és 220°C között 80%-os értékcsökkenés lép fel. A hajlító- és ütőhajlító-szilárdság 140-150°C-ig növekszik, de ezt követően az értékek drasztikusan esnek, főleg az utóbbi. A rostirányú keménység levegőben, vákuumban és repceolajban kezelve egyaránt növekszik.

Gombakárosítókkal szembeni ellenálló-képesség:

Fenyő és lombos fafajok egyaránt hajlamosak a korhadásra, de a biolitikus károsítókkal szembeni ellenálló-képesség hőkezeléssel növelhető. Ha a pincegomba (*Coniophora puteana*) károsító hatását vizsgáljuk, azt tapasztaljuk, hogy a kezeletlen anyagok esetén 30-50% helyett, akár 3-10%-os tömegcsökkenés is elérhető, 200-220°C-os hőkezelés mellett. A fehérkorhadást okozta károsítás mértékét 200-260°C-os hőkezeléssel 20%-ról

2%-ra lehet csökkenteni. Ez a redukálás barnakorhadás esetén 40%-ról 2% alatti értékre történik legjobb esetben.

Tartósság:

A hőkezelt faanyagokat legtöbbször kültéri felhasználásra szánják, ezért a gomba- és rovarállóság mellett a tartósság szerepe is kiemelkedő. A leggyakrabban, kültérben előforduló hiba a repedezettség. A kezeletlen és kezelt faanyag esetén, a megfelelő kültéri felületkezelő bevonat nélkül ugyanolyan mértékben jelennek meg repedések. Az optimális felületkezeléssel a hőkezelt faanyag kevésbé repedezik. Az UV sugárzásnak kitett minták közül a natúr faanyag színe, rajzolata sokkal nagyobb mértékben változik, mint a hőkezelt felület. Ennek az lehet az oka, hogy a kezelt fából jóval nehezebben mosódnak ki a lignin bomlástermékei. (Horváth N. 2008; Bak M. 2012)

3. Faenergetikai ismeretek, a hamutartalom

Hamu: „Szerves anyagok teljes elégetés után visszamaradó (többnyire por alakú, esetleg nagyobb darabokká összeolvadt) anyag, amely az oxidáció nem illékony termékeiből, szervesetlen sókból, oxidokból áll.” (<http://hulladekonline.hu/files/167/> 2015.12.04.)

A biomassa tüzelés során keletkező hamu tulajdonságai nagyon változatosak, mivel számos tényezőtől függnnek. Ilyenek például a növény fajtája, a termőtalaj milyensége, az éghajlat, a tüzelőanyag tárolása, valamint a felhasznált növényi részt fajtája (kéreg, fa, levelek). A fahamu sűrűségi tulajdonságait leginkább az alapanyag befolyásolja. A magasabb, 0,51 g/cm³-es érték a tiszta fára, az alacsonyabb 0,24 g/cm³-es pedig a papírhulladékra vonatkozik. Az elégetett nyersanyag meghatározza a fahamu elemi összetételét. A kezeletlen faanyag legnagyobb részben oxigénből (43,4-44,5%) és szénből (48,5-50,4%) tevődik össze. Hidrogéntartalma 5,8-6,3%, nitrogéntartalma 0,04-0,26% közötti. A szervesetlen alkotók mennyisége 0,1-0,55 % között mozog, aminek 80%-át az alkáli- és alkáliföldfémek (kálium, magnézium, kalcium) teszik ki. Összehasonlítva kemény- és puhafákat, megállapítható, hogy a puhább fafajok több kalciumot és szilíciumot, kevesebb káliumot és foszfort tartalmaznak. Jelentős különbség mutatkozik az égési hőmérséklet módosítása során. Nem mindegy, hogy mekkora teljesítményű tüzelőberendezésben megy végbe az égési folyamat, mivel a kisebb méretű házi kályhák nem érik el a 700°C-ot, ellentétben a nagy teljesítményű, ipari kazánokkal, amik meghaladják azt. Ha a hőmérsékletet 1300°C-ig emeljük, a hamu tömege 22,9%-47,8%-kal csökkenhet, valamint elemi összetevői is nagymértékben megváltoznak. Szerkezetileg három hamuformát különböztetünk meg: laza, stabilizált és granulált. A laza, ömlesztett szerkezetű hamu a környezetre és az egészségre is fölöttébb káros, mivel a finomszemcsés por könnyen bekerülhet a légutakba, ami számos súlyos betegség kiváltó oka lehet. A stabilizált változat előállítása során a hamut 30-40%-os nedvességtartalmi határig nedvesítik, majd néhány hét elteltével megkeményedik. A keletkező hamu portartalma azonban nem szűnik meg, ezért a por kijutása szintén problémákat okoz. A granulált hamu esetén is nedvesítés és természetes karbonizáció történik, majd a víztartalmat szárítással 5% alá csökkentik. Utóbbi a legkedvezőbb hamuforma, viszont előállítása a legbonyolultabb és legköltségesebb. (Füzesi I. 2014)

4. A hamutartalom vizsgálatok során alkalmazott fafajok ismertetése

4.1 Erdeifenyő (*Pinus sylvestris* L.)

Rend: fenyőalakúak (*Pinales*)

Család: fenyőfélék (*Pinaceae*)

Nemzettség: *Pinus*

Elterjedése:

A közönséges erdeifenyő – közismertebb nevén „borovi fenyő” - Magyarország egyik őshonos és legelterjedtebb fafaja, valamint kiváló alkalmazkodóképessége miatt kiemelkedő szerepe van Euráziában. Hazánkban ez a fafaj rendelkezik az egyik legnagyobb területállománnyal (erdőterületeink 9%-át foglalja el), az éves fakitermelés ebből a fafajból körülbelül 400.000 m³.

Megjelenése:

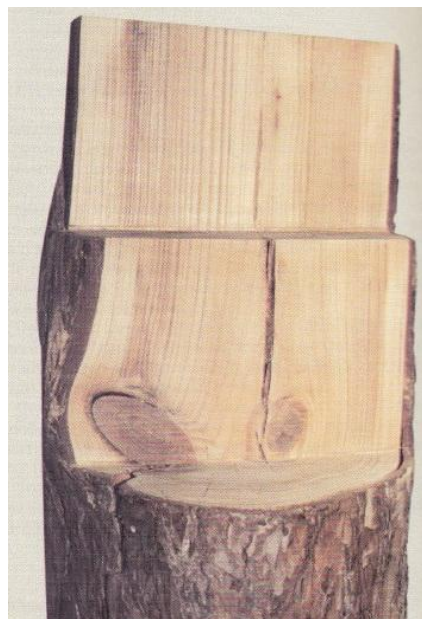
A 7. ábrán látható az erdeifenyő megjelenése természetes élőhelyén. Egyenes törzsű, nagy termetű fája van, amely kedvező körülmények között akár a 20-35 méteres magasságot is eléri, 18 méteres ágtisztasággal. Kérge a törzs felső részén vöröses-barnás, vékony, sima, a talajhoz közel szürkésbarna, vastag és mélyen barázdált.



7. ábra. Erdeifenyő (*Pinus sylvestris* L.)
(Molnár S. – Bariska M. 2002)

Makroszkópos jellemzői:

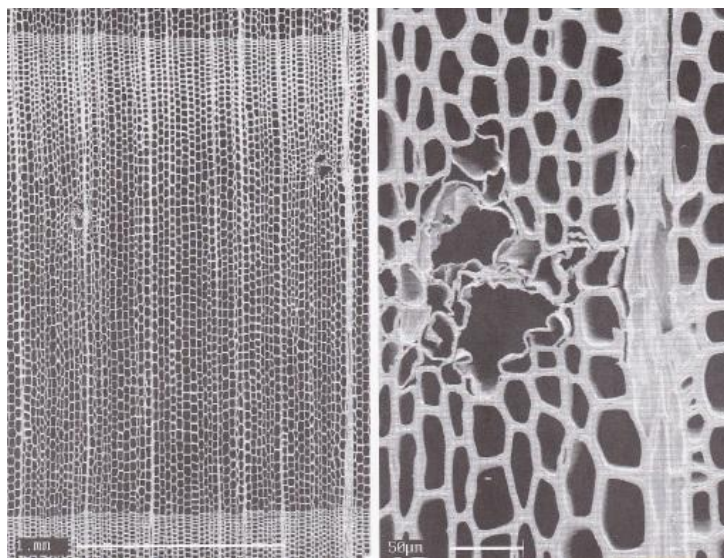
Gesztje és szijácsa élesen elkülönülnek egymástól, ahogy a bélközeli, 13-15 évgyűrűt magába foglaló „juvenilisfa” is. A 8. ábrán jól látható, hogy az átmerő 1/3 részét kitevő szijács széles és sárgás, a geszt pedig vörösbarna színű. A korai (tavaszi) és a késői (nyári) pászta könnyen elkülöníthetők egymástól szabad szemmel is. A nagyobb sűrűségű késői pászta aránya nagyjából 30%. Az évgyűrűk szélessége a vegyes éghajlati viszonyok miatt az évgyűrűk szélessége igen változó. A kereszt- és hosszmetseten egyaránt jól látható a nagyszámú gyantajarat.



8. ábra. Az erdeifenyő (*Pinus sylvestris* L.) makroszkópos képe (Molnár S. - Bariska M. 2002)

Mikroszkópos jellemzői:

A fenyőfélék alapállományát a tracheidák biztosítják, melyek sugárirányban helyezkednek el és részarányuk 92-94%. Az erdeifenyő fatestében gyakoriak a gyantajaratok, amik a 9. ábrán jól láthatóak.



9. ábra. Az erdeifenyő (*Pinus sylvestris* L.) mikroszkóposan (Molnár S. - Bariska M. 2002)

A kora pászta tracheidái 1,8-3,1 mm hosszúak, míg a késői pásztában a terjedelmük nagyobb, 3,1-4,5 mm, mivel itt fontos szilárdító szerepet töltenek be. Az egy sejtsor széles, heterogén felépítésű bélsugarak részaránya 4,4-6,7%, magasságuk 1-12 sejtsor.

Az erdei fenyő jellegzetessége a hossztracheidák és a parenchimák kereszteződési mezőiben található ablakos áttörések.

Fahibái és károsodásai:

Az erdeifenyő állomány egészségesebbnek mondható, mint a gyors pusztulásnak kitett luc fenyvesek. Nagy károkat okoz a téli hótörés és az avartűzzel kezdődő erdőtűz, mivel a nagy gyantatartalmú fenyvesek könnyen tüzet fognak. Az erdeifenyő leggyakoribb és legjelentősebb fahibája a göcsös fatest, ami az ipari felhasználás szempontjából rendkívül kedvezőtlen. Felhasználására előnytelenül hat, hogy hajlamos a vaserességre, mivel megnehezíti a szárítást, a telítést, valamint a megmunkálást. A gombakárosítók közül a kékülést okozó kékfestő (*Ceratostomella*) gomba támadja leginkább az erdeifenyő szijácsát, ami a szilárdság tulajdonságait nem, de az esztétikai megjelenést annál jobban befolyásolja. Kültéri használata (oszlopok, kerti bútorok) csak megfelelő védőszeres kezelés mellett javasolt. Ezek miatt az erdeifenyő csak a 3-4. tartóssági osztályba sorolható.

Műszaki jellemzői:

Szilárdsági tulajdonságai és sűrűségi értékei nagyobbak, mint a luc-, jegenye és simafenyőé, azonban jellemzői erős változékonyságot mutatnak a sokféle termőhely miatt. Különböző sűrűségi adatok:

- abszolút szárazon: 300-490-860 kg/m³;
- légszárazon: 330-520-890 kg/m³;
- élőnedvesen: 750-800-850 kg/m³.

Vetemedésre kevésbé hajlamos, mint a lucfenyő, de a vaseresség, mint gyakran előforduló fahiba nagy problémákat okozhat. Fűtőértéke 16.745 kJ/kg.

Kémiai tulajdonságok:

Az erdeifenyő elemi összetételének átlagértékei a következők:

- C: 50,1%;
- H: 6,1%;
- O: 43,45%;
- N: 0,2%;
- egyéb elemek, hamualkotók: 0,2%.

Vegyi összetétele:

- cellulóz: 41,9%;
- lignin: 29,5%;

- pentozán: 8,7%;
- hexozán: 12,8%;
- hamu: 1,3%;
- kivonatanyagok: 2,2%
- pH érték: 5,1%.

Magas gyantatartalom a tartósságban nagy szerepet játszik, de a felületkezelési és ragasztási eljárásoknál, valamint a papírgyártásnál kimondottan előnytelen.

Megmunkálás és felhasználás:

Az erdeifenyő jól szárítható, de intenzív szárításkor fennáll finom repedések megjelenésének esélye. Jól megmunkálható, ragasztható, csavarozható, viszont a gyantatartalom a feldolgozás során nehézségeket okozhat. Remekül alkalmazható a forgács- farost- és fagyapotlemez gyártás során, viszont a papírgyártás területén a gyantássága miatt csak vegyszeres kezeléssel használható fel. Fontos bányafa, oszlop, láda és raklap alapanyag. Szép, dekoratív rajzolata miatt a bútoriparban tömörfaként és színfurnérként egyaránt felhasználják. Nagy jelentősége van az ajtó- és ablakgyártásban keretfaként, valamint a faházak gyártásában is. (Molnár S. – Bariska M. 2002; Molnár S. 1999)

4.2 Nyárfa (*Populus sp.*)

Rend: *Mapighiales*

Család: fűzfafélék (*Salicaceae*)

Nemzettség: *Populus*

Elterjedése:

A populus nemzettség északi mérsékelt öv fái. Nagy szerepe van ennek a fafajnak az ültetvényes fatermesztésben, ami a 10. ábrán is látható. Értékes, jól termeszthető, gyorsan növekvő tulajdonságainak köszönhetően világviszonylatban nagy jelentőségű fafaj. Általában két csoportja osztják őket: hazai nyár fajok (fekete, fehér, rezgő nyár), valamint nemes nyár fajok.



10. ábra. Nyárfa (*Populus sp.*)
(Molnár S. - Bariska M. 2002)

Ez a felosztás manapság nem helytálló a nagyszámú fajta eltérő sűrűségű értékei és mechanikai tulajdonságai miatt. Az erdei fenyőhöz hasonlóan szintén nagy jelentősége

van hazánkban. Az összes erdőterület 9,6 %-át foglalja el a maga 1,5 millió hektár erdőterületével és az éves kitermelés elérheti a 1,5 millió m³-t, ami az összes fakitermelés körülbelül 25%-a.

Megjelenése:

Kedvező körülmények között magassága a 30-50 métert, átmérője pedig a 2 métert is elérheti. Kérge fiatal korban sima, később enyhén barázdált, színe a fehértől a zöldesig, sötétszürkéig változik.

Makroszkópos jellemzői:

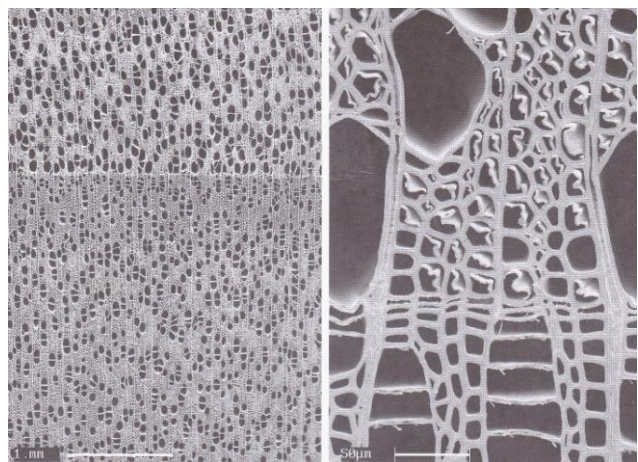


A geszt az átmérő 60-70 %-át teszi ki, és nedvességtartalma lényegesen nagyobb, mint a szíjácsé. Csak néhány fajnál különül el egymástól a geszt és a szíjács. Ilyen például a fehér és a szürke, valamint az óriás nyár. A geszten belüli „juvenilisfa” csak néhány évgűrű széles. Szórt likacsú fafaj, évgűrűi szélesek, akár az 1 cm-t is meghaladják. A korai és a késői pászta nem különül le egymástól határozottan, szélességük 2-30 mm közötti. A nedvességtartalom tekintetében nagy, majdnem kétszeres eltérés, van a geszt (180-200%) és a szíjács (110-130%) között.

11. ábra. Nyárfa (*Populus* sp.) makroszkóposan
(Molnár S. - Bariska M. 2002)

Mikroszkópos jellemzői:

A különböző nyárfajokat mikroszkóp segítségével is nehéz elkülöníteni. Homogén bélsugarai egy sejtsor szélesek, magasságuk 3-30 sejtnyi. A 12. ábrán is látható bőüregű, vékony falú libriform rostjai (farostjai) vannak, de ezek között különösen hosszú rost nem található. Az alkotók részarány: edények 24-44%; bélsugarak 10-14%; farostok 56-63%.



12. ábra. Nyárfa (*Populus* sp.) mikroszkópos képe
(Molnár S. - Bariska M. 2002)

Fahibái és károsodásai:

Legnagyobb gondot a göcsösség okozza, de ezen kívül hajlamos még a vaserességre is. Gyakran előforduló hibája a fagyrepedés, ami kizáró ok a fűrész- és furnéripárban. A furnérgyártás során kizáró, vagy minőség rontó hiba lehet még az álgesztesedés, melynek mértéke a kitermelési kortól függ. Jellemző még a nyárfa fajokra a kártyásodás és a gyűrűs repedés is. Ha a fakitermelés idejét 25-30 évre csökkentik, csökkenthető az előbbieken felsorolt fahibák gyakorisága. Minden nyárfajtánál előfordul rovarrágás, hiszen mind a rovar-, mind a gombaállósága igen alacsony. Kültéri felhasználása nem javasolt, de védőszerrel jól telíthető.

Műszaki jellemzői:

A fizikai ismérvek közül a sűrűségnek van kiemelkedő szerepe, mivel ebből vonhatunk le következtetéseket a további fizikai (szilárdsági, rugalmassági) jellemzőkre. Nagy nedvességtartalmi tulajdonságai miatt, a fafaj élőnedves sűrűsége relatív nagy értéket vesz fel ($700-800 \text{ kg/m}^3$). Az alacsonyabb sűrűségű fafajoknak nagy jelentősége van a láda- és rekeszgyártásban, mivel pozitívan befolyásolja a göngyöleg súlyát. Épület- és bútóripárban a viszonylag nagyobb, 400 kg/m^3 sűrűségi értéket meghaladó fajták használhatók fel. Papírgyártáskor a lazább szövetű fajokat használják fel.

Kémiai tulajdonságok:

Vegy összetétele:

- cellulóz: 52,4-54%;
- lignin: 23,2-25,2%;
- pentozán: 17,8%;
- hamu: 0,41-0,89%;
- extrakt tartalom: 2,3-3,2%
- pH érték: 5,8%.

Megmunkálás és felhasználás:

A nyárfa majdnem minden forgácsoló és forgácsolásmentes eljárással könnyedén megmunkálható. Egy esetben, gyaluláskor tapasztalható nehézség, mégpedig a szálkásodás és a bolyhosodás. A frissen kitermelt nyárfa 2-3 hónapig kezelés nélkül is hámozható állapotban marad. Az előzőekben említett nagymértékű geszt-szijács nedvességtartalmi különbség nagy gondot okoz a szárításnál, így csak lassan szabad szárítani. A „szurkos” álgesztű szürkenyarak ragasztásánál gyakran megfigyelhetőek rétegeltválások, de ettől eltekintve problémamentesnek nevezhető a többi nyárfajta

ragasztása és felületkezelése. Jól szegezhető és csavarozható. Felhasználást tekintve a faipari tömegtermelés (mezőgazdasági láda-, rakodólap-, gyufagyártás), továbbá a farost és furnérgyártás legfontosabb alapanyagai. Minőségi hengeres fájából rétegelt lemezt, furnérbetétes bútorlapot gyártanak. A bútoriparban a nem látszó elemeket készítik belőle. Hámozott formában kiválóan alkalmas LVL (rétegelt furnér) gerendák gyártására. A dunaújvárosi cellulózzgyárban felhasználják a félcellulóz és cellulóz gyártásához. (Molnár S. – Bariska M. 2002; Molnár S. 1999)

4.3 Fehér akác (*Robinia pseudoacacia* L.)

Rend: hüvelyesek (*Fabales*)

Család: pillangósvirágúak (*Fabaceae*)

Nemzetség: *Robinia*

Elterjedése:

Az Egyesült Államokból származó fafajt a mérsékelt öv számos területére telepítették, így Európába is. Magyarországra Mária Terézia rendeletére telepítették a 18. században a futóhomok megkötésére. Európában hazánk rendelkezik a legnagyobb területű akácerdővel, ami nagyjából 320.000 hektár. Ez a magyar erdők körülbelül 22 %-át jelenti. Fellelhető még Romániában, Olaszországban, Bulgáriába, Franciaországban és Szerbiában. Manapság különösen gyorsan terjed Kínában és Dél-Koreában. Sokan egyszerűen akácfnak nevezik, ami tévedésre ad okot, hiszen így összetéveszthető a szubtrópusi, trópusi övezetben élő akácfaikkal (*Acacia* nemzetség).

Megjelenése:

Az élőfa magassága 20-25 méter, törzsmérője 0,3-0,6 méter. 25 éves kor után gyarapodása nagymértékben alábbhagy, így 25-30 éves korban célszerű kitermelni. Törzse zárt állományban egyenes és hengeres, kérge fiatal korban világosbarna, idősebb korban mélyen, durván, kötegesen repedezett és szürkésbarna.



13. ábra. Fehér akác élő fája(*Robinia Pseudoacacia* L.)
(Molnár S. - Bariska M. 2002)

Makroszkópos jellemzői:

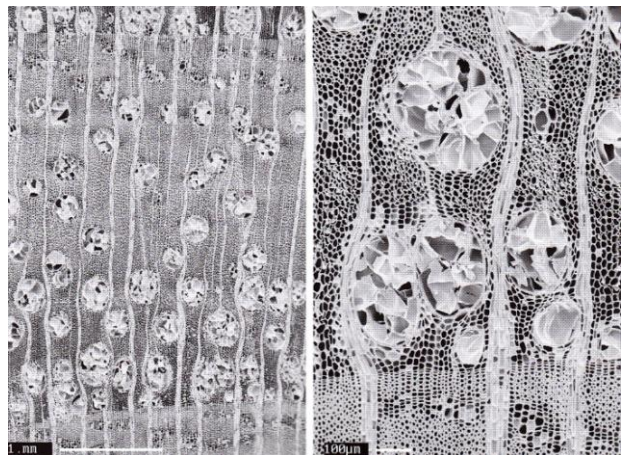
Szövetszerkezete szerint a gyűrűs likacsú fafajok közé tartozik, évgyűrűi, azon belül a korai és a késői pászta jól elkülönülnek egymástól. A korai pászta aránya körülbelül $\frac{1}{4}$ rész, az átlagos évgyűrűs szélesség pedig 3-3,5 mm. Szijácsa igen keskeny, 2-6 évgyűrű széles, világossárga. Gesztje a világos sárgászöldtől a sötét zöldesbarnáig változik. Gesztjében gesztesítő anyagok találhatók, melyek közül a cserzőanyagok, a gyanták, a fagumi és a színezőanyagok a leglényegesebbek. Ezeknek köszönhetően a fehér akác gesztje sokkal tartósabb, mechanikai tulajdonságai magasabbak, mint a szijács anyaga. A szijács részben magasabb a víztartalom és sok egyszerű szerves anyagot tartalmaz, ezért nagymértékben kitett a rovarok és gombák károsításának.



14. ábra. Fehér akác makroszkópos felvétel (*Robinia Pseudoacacia* L.)
(Molnár S. - Bariska M. 2002)

Mikroszkópos jellemzői:

A fenyőkkel ellentétben a lombos fák alapállományát 58%-ban a libriform rostok teszik ki, amik átlagosan 1 mm hosszúak. A bélsugarak keskenyek, 1-3 sejtsor szélesek, mennyiségük körülbelül 21%. A korai pászta edényei nagy átmérőjűek, a geszt részben sűrűn tiliszekkel tömítettek. A késői pásztában kisebb keresztmetszetűek és alacsony darabszámú csoportokat alkotva helyezkednek el. Az edények részaránya nagyjából 15%. A hossz- és bélsugár parenchimák gyakran kristályos berakodást tartalmaznak. A különböző tömítőanyagoknak köszönhetően a fehér akác faanyaga semmilyen folyadékot nem enged át, tehát hordógyártásnál nagy előny, hogy nem követelmény a tükrösvágás.



15. ábra. Fehér akác (*Robinia Pseudoacacia* L.)

Fahibái és károsodásai:

Farontó gombáknak és rovaroknak jól ellenáll kémia összetételének és szöveti szerkezetének köszönhetően. Gyakori szöveti hibái az egyenetlen évgyűrűszélesség, a külpontosság, a bélkorhadás, az álévgyűrűk, a kéregbenövés, továbbá a göcsösség. Görbesége és kis átmérője gondot okoz az ipari felhasználás során. A fűrészüzemekben feldolgozott rönkök 15-20%-a síkgörbe. Fűrészpora bőrrrel érintkezve irritatív. Rendkívül környezetbarát anyag, mivel vegyszeres kezelés nélkül is kimagasló a tartóssága. Különleges fafaj, mert az európai fajok közül csak a fehér akác sorolható az 1-2. rezisztenciaosztályba. Az akácfa gyakorlati tartóssága a következő értékeket veszi fel: szabadban talajjal érintkezve 25-40 év; szabadban talajjal nem érintkezve 80-100 év; épületben száraz helyen és víz alatt 500 év felett.

Műszaki jellemzői:

Igen kemény és kopásálló fafaj, melynek sűrűsége és törésállósága a hazai fafajok közül kiemelkedően nagy. A sűrűségi értékek:

- abszolút szárazon: 540-740.870 kg/m³
- légszárazon: 580-770-990 kg/m³
- élőnedvesen: 800-900-955 kg/m³.

A frissen kitermelt fa nettó nedvességtartalma 35-45%, ezért frissen vágva is jól ég.

Rugalmassága és hajlítószilárdsága kiugró, de vetemedésre és repedésre hajlamos a gyors növekedés miatti belső feszültség végett. Kristályos zárványai miatt szerszámkoptató hatása nagy, ahogy a kopásállósága is kiemelkedő Európában. A magas sűrűségi érték miatt fája nehezen gyullad. Fűtőértéki adatai abszolút száraz állapotban a következők:

- kéregmentes faanyag: 17.777 kJ/kg
- kéreg: 19.145 kJ/kg
- törzsfa (kéreggel): 18.047 kJ/kg
- vastag gyökér: 17.223 kJ/kg.

Kémiai tulajdonságok:

Elemi összetétele:

- C: 49,2%;
- H: 5,91%;
- O (+ N): 43,1%;

- egyéb elemek, hamualkotók: 0,79%.

A kéreg hamutartalma (4,76%) a magas ásványi anyag tartalom miatt sokszorosa a szijács (0,98%) és a geszt (0,26%) hamutartalmának. Tüzeléskor a hamutartalom 80-85%-a a kéregből származik.

Vegyi összetétele:

- cellulóz: 40-50%;
- lignin: 25-30%;
- hemicellulóz: 15-22%
- csersavak: 2-6%.

Megmunkálás és felhasználás:

Megmunkálása nehézkes a nagy szilárdsági és keménységi tulajdonságok, valamint az élkoptató hatása miatt. Gözölés hatására könnyebben forgácsolható, ritkábban jelennek meg repedések a megmunkálás során és kiválóan hajlítható. Jól és könnyen szárítható az alacsony kiinduló nedvességnek köszönhetően. Jól felületkezelhető és ragasztható, de ügyelni kell a pórusok tömítettségére. Rönttéri tároláskor nem igényel különösebb védelmet. Dekoratív megjelenése, színbeli tarkasága miatt szívesen használják beltéri bútorok készítésekor. Forgács- és farostlemezgyártásban is felhasználják. Hazánkban a kertibútor gyártás legfontosabb alapanyag, mivel kimagasló a tartóssága, rovar- és gombaállósága felületkezelés nélkül is. Fontos szerepe van a ragasztott tartó, parketta, kerítéselem, lépcső, korlátgyártásban egyaránt. Fája bármilyen vágásirány mellett sem engedi át a folyadékot, ezért kiváló hordóipari alapanyag. Említést érdemel a fehér akác energetikai hasznosítása. Hazánkban évente 600-700 ezer m³ tűzifát dolgoznak fel jó tüzeléstechnikai tulajdonságai miatt. (Molnár S. – Bariska M. 2002; Molnár S. 1999)

4.4 Nemes tölgy (*Quercus* L.)

Rend: Bükkfavirágúak (*Fagales*)

Család: Bükkfafélék (*Fagaceae*)

Nemzettség: *Quercus*

Elterjedése:

Jellemzően a hegyvidékek fái és az európai erdők királyainak nevezik őket. 450 fajt tartanak számon, ebből Magyarország területén négy őshonos (kocsányos, kocsánytalan, cser- valamint molyhos tölgy) és egy exota (vöröstölgy) faj terjedt el. Hazai gyakorlatban két csoportba sorolják őket: nemes tölgyek (tölgyek) és a csertölgy. A nemzetközi csoportosítás szerint megkülönböztetünk fehér tölgyeket (európai

kocsányos és kocsánytalan tölgy, észak-amerikai fehér tölgy), valamint vörös tölgyeket (amerikai vörös tölgy, csertölgy).

Megjelenése:

A 16. ábrán látható élő fája, amelynek magassága a 30-50 métert is eléri, törzsátmérője 2-2,5 méter, koronája szabálytalan. A kéreg (17. ábra) fiatal korban sima, ezüstszürke, idősebb korban sötétbarna, szürkésbarnás-fekete árnyalatú, függőleges irányban barázdált. Számtalan gomba- és rovarfajjal, valamint kis állatokkal alkotnak ökológiai rendszert. A tölgy nélkül valószínűleg a szarvasbogár nem tudna létezni. Kitermelésük általában 80-150 éves kor körül történik, de ezt nagyban befolyásolja fa egészségi állapota és a



16. ábra. Tölgyek élő fái (*Quercus* L.)
(Molnár S. - Bariska M. 2002)

Területi megoszlásuk Magyarországon (csökkenő sorrendben):

- kocsánytalan tölgy: 186.000 ha; 12,0%
- kocsányos tölgy: 143.000 ha; 9,2%
- molyhos tölgy: 15.600 ha; 1%
- vöröstölgy: 11.500 ha; 0,7%

Makroszkópos jellemzői:

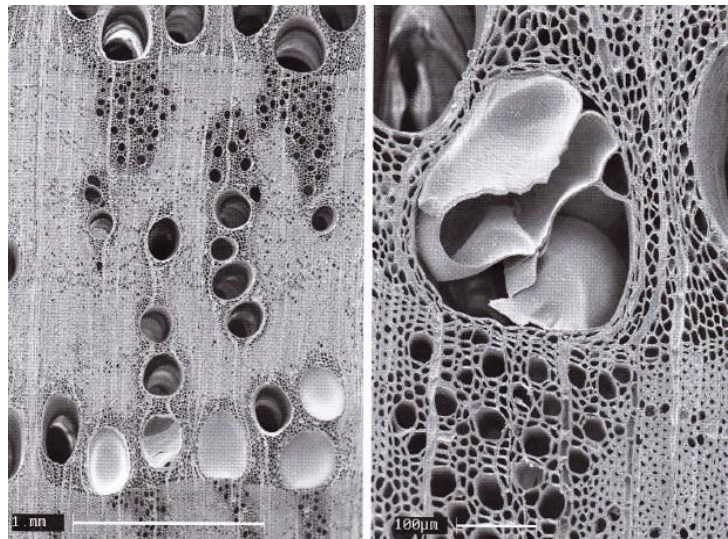


17. ábra. Tölgyek (*Quercus* L.)
(Molnár S. - Bariska M. 2002)

A 17. ábrán jól látható, hogy a tölgyek szíjácsa keskeny sárgásfehér, gesztje sárgásbarna. Szabad szemmel is jól látható, nagy átmérőjű edényeiről felismerhető. A korai és a késői pászta jól elkülöníthetők, „juvenilisfája” nagyszámú (20-25) évgyűrűt foglal magába. Bélsugarai szélesek, a sugármetszeten bélsugár tükröként jelennek meg, amik megadják a tölgyfa jellegzetes rajzolatát.

Mikroszkópos jellemzői:

Az edények részaránya a nemestölgyek fájában körülbelül 25%, amelyekben előfordulhat tiliszesedés. Átmérőjük a korai pásztában 0,15-0,30 mm. Mindez a 18. ábrán tökéletesen látható. A hosszparenchimák vékonyfalúak, méretük kicsi, arányuk 5%. A bélsugarak nagyjából 25 sejtsor szélesek, magasságuk 1-3 cm is lehet.



18. ábra Tölgyek mikroszkópos felvételen (*Quercus* L.) (Molnár S. - Bariska M. 2002)

A nagy és széles bélsugaraknak nagy esztétikai és technológiai szerepe van. A hordógyártás során nagy szerepe van a „tükrös vágásnak”, hogy ezzel megakadályozzák a folyadék kiszivárgását a bélsugarak mentén. A szilárdító szerepért felelős libriform rostok (farostok) rövid, de vastag falúak és a szerkezet több mint felét (58%) teszik ki.

Fahibái és károsodásai:

A nemestölgyek legnagyobb hibája a görbeség, göcsösség és a gyűrűs elválások. A vastag bélsugarak miatt igen sokszor előfordul a bélrepedés. A gesztnek a nagy cstersavtartalom miatt kevés a gombakárosítója, az élő fát azonban többféle korhadást okozó gomba támadja. Ilyenek a fehérkorhadást okozó vastagtapló (*Phellinus robustus*), a vörös korhadást eredményező sárga géva gomba (*Laetiporus sulphureus*) és a barnakorhadásért felelős labirintustapló (*Dedalea quercina*). Jellegzetes növényi károsítója sárga fagyöngy (*Loranthus europaeus*). Az élő fa rovarkárosítói a nagy hőscincér (*Cerambyx cerdo*), a nagy farontó lepke (*Cossus sossus*), rönkfájának legnagyobb ellensége fafűrőbogár (*Hylecotus dermestoides*). A beépített faanyagokat a szíjácsbogár (*Lyctus linearis*) és a nagy kopogóbogár (*Xestobium rufovillosum*) támadja leginkább. A beteg, de még élő fáknál nagymértékű gesztésedés és tiliszesedés lép fel, ami a rajzolatában változást, színbeli tarkaságot okoz. A tölgyfa a következő kitettségeknek megfelelően az alábbi értékekkel bír: védőkezelés nélkül, földdel érintkezve 10-20 év; külső térben, védőkezelés nélkül 70-80-120 év; tető alatt 100-200 év; víz alatt 300-500-800 év; belsőtérben, állandó száraz állapotban pedig 600-1000 év.

Műszaki jellemzői:

A következőkben egyenként bemutatásra kerül a három nemestölgy fafaj (kocsányos tölgy, kocsánytalan tölgy és vöröstölgy) adatai.

1. táblázat. A kocsányos tölgy műszaki jellemzői
(Molnár S. – Bariska M. 2002; Molnár S. 1999)

kocsányos tölgy:	• abszolút száraz sűrűség: 640 kg/m^3
	• légszáraz sűrűség: 697 kg/m^3
	• élőnedves sűrűség: 1000 kg/m^3
	• nedvességtartalom (friss anyag esetén): 55-60%
	• fűtőérték (száraz): 14.486 kJ/kg

2. táblázat. A kocsánytalan tölgy műszaki jellemzői
(Molnár S. – Bariska M. 2002; Molnár S. 1999)

kocsánytalan tölgy:	• abszolút száraz sűrűség: 690 kg/m^3
	• légszáraz sűrűség: 746 kg/m^3
	• élőnedves sűrűség: 1100 kg/m^3
	• nedvességtartalom (friss anyag esetén): 58-65%
	• fűtőérték (száraz): 14.486 kJ/kg

3. táblázat. A vöröstölgy műszaki jellemzői
(Molnár S. – Bariska M. 2002; Molnár S. 1999)

vöröstölgy:	• abszolút száraz sűrűség: 660 kg/m^3
	• légszáraz sűrűség: 712 kg/m^3
	• élőnedves sűrűség: 1100 kg/m^3
	• nedvességtartalom (friss anyag esetén): 65-70%
	• fűtőérték (száraz): 14.486 kJ/kg

Megmunkálás és felhasználás:

A mechanikai megmunkálások a tölgy esetében nem jelentenek gondot a kemény és durva rostú szerkezet ellenére sem. A feldolgozás során ügyelni kell a „juvenilisfa” eltávolítására, hogy elkerüljük a későbbi repedéseket. Nehezen szegezhető és

csavarozható, ezért célszerű előfűrní. Körültekintő és kíméletes szárítást igényel, ezért hosszabb ideig tart, mint az akác és a bükk fafaj esetén. Pácolása, lakkozása nem okoz gondot, ragasztása azonban nagy körültekintést igényel. Fája a kiváló tartósság, az optimális esztétika és műszaki jellemzői világviszonylatban az egyik legértékesebb. A mélyépítés, vasúti talpfák, oszlopok, cölöpök és a hordógyártás legfontosabb és nélkülözhetetlen alapanyaga. Gyakran szobrokat, esztergályos termékeket, kerti és játszótéri bútorokat készítenek belőle. A belsőépítészetben szintén elengedhetetlen, mivel a lépcső- és parkettagyártás kedvelt és kiemelkedő anyaga. (Molnár S. – Bariska M. 2002; Molnár S. 1999)

4.5 Közönséges gyertyán (*Carpinus betulus* L.)

Rend: Bükkfavirágúak (*Fagales*)

Család: Nyírfafélék (*Betulaceae*)

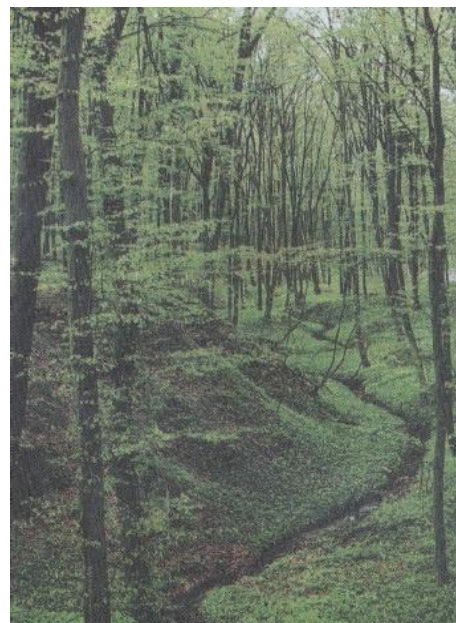
Nemzettség: Gyertyán (*Carpinus*)

Elterjedése:

A gyertyánok 45 faja ismert, ezek közül a közönséges gyertyánnak van fahasznosítás szempontjából a legnagyobb jelentősége. Az északi mérsékelt öv domb- és hegyvidékeinek fái. Hazánkban a közönséges gyertyán erdőterületeink 9,2%-át foglalja el (nagyjából 95.000 ha), és az éves kitermelt mennyiség körülbelül 400-500 ezer m³. Természetes előfordulása és élőhelye részben a tölgy, részben a bükk fafajra hasonlít.

Megjelenése:

Ideális körülmények között 20-25 méter magasra is megnőhet, melyből az ágtiszta rész maximálisan 10 méter, mellmagassági átmérője 50-60 cm. A gyertyán ágai magasak, de koronája széles és magas, a hazai fafajok közül a legnagyobb talajárnyalást ez a fafaj nyújtja. A kéreg vékony, vastagsága 1-2 cm (7%), hosszú ideig sima, szennyeszürke színű. Törzse sokszor csavarodott, néha bordás, de előfordulnak egyenes növéssűek is egyaránt.



19. ábra. Gyertyán (*Carpinus betulus* L.)
(Molnár S. - Bariska M. 2002)

Makroszkópos jellemzői:

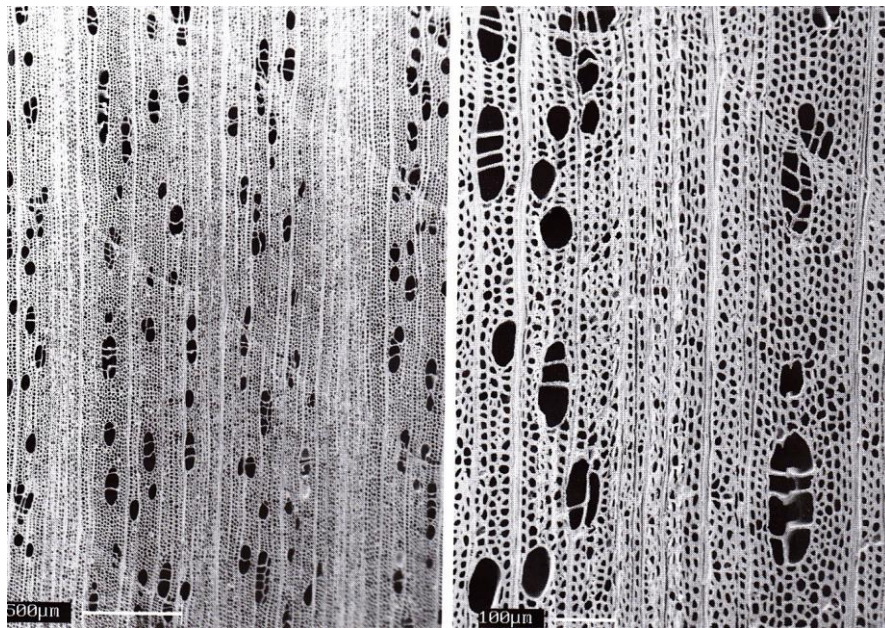
Ahogy a 20. ábrán is látható, a gyertyán szíjácsa és gesztje színben megegyező, szürkésbarna színű, de hosszú időn át levegőn szárítva sötétedik. Erősen hullámos évgyűrűkkel rendelkezik, ez adja törzsének az ormos, bordás megjelenését. Szórt elrendezésű edényei szabad szemmel nem láthatóak, ellentétben a jól látható, libriform rostokkal keveredő bélsugarai, amik 3-4 sejtsor szélesek.



20. ábra. Gyertyán makroszkópos képe
(*Carpinus betulus* L.)
(Molnár S. - Bariska M. 2002)

Mikroszkópos jellemzői:

A fajfa kimagasló keménységi is szilárdsági tulajdonságaiért felelős nagy mennyiségű és vastag falú libriform rostok részaránya 66%. A kimondottan hosszúnak mondható farostok a gyertyán papíripari felhasználása jelentős. A további építőelemek részaránya: edények 10%, bélsugarak 22%, hosszparenchimák 2%.



21. ábra. Gyertyán makroszkópos megjelenése (*Carpinus betulus* L.)
(Molnár S. - Bariska M. 2002)

Fahibái és károsodásai:

A gyertyánra jellemző fahibái közül az ipari felhasználás szempontjából legnagyobb jelentőséggel a törzs alaki hibái bírnak. A sudarlósság, görbeség, csavarosság és bordás növés rendkívül nehézkessé teszi a feldolgozást, különösen a hámozást. Kimondottan fülledékeny fafaj. A biotikus (rovar, gomba) károsítók könnyű célpontja. Ilyen, az élő fát támadó élőködő tömlősgomba (*Nectoria galligena*), valamint a beépített faanyagot támadó könnyező házigomba (*Serpula lacrymans*), a púpus szú (*Xyleborus dispar*) és a kis kéregszú (*Scolytus rugulosus*). Tartóssága talajjal érintkezve kifejezetten rövid (2-3 év), szabadban, de talajjal nem érintkezve 35 év, állandó vízhatásnak kitéve körülbelül 500 év, belső térben pedig nagyjából 800 év.

Műszaki jellemzői:

A gyertyán a hazai fafajok közül az egyik legnehezebb és legsűrűbb fafaj. Sűrűségi értékei a következők (kg/m³):

- abszolút száraz: 500-790-820,
- légszáraz: 540-830-860,
- élőnedvesen: 660-970-1200.

Sűrű szerkezetének köszönhetően nagy kopásállóságú, keménységű és szilárdságú fafaj. A hullámos évgyűrűszerkezet és a bordás növés miatt szárításkor hajlamos a vetemedésre és egyéb deformációkra. Fűtőértéke: 14.467 kJ/kg.

Kémiai tulajdonságok:

Vegyi összetétele:

- cellulóz: 43%;
- lignin: 19,3-22,5%;
- hemicellulóz: 32-34,5%
- extrakt anyagok: 2,4%
- hamu: 0,5%.

Megmunkálás és felhasználás:

Ha van lehetőség a gyors feldolgozásra, akkor jó eséllyel fülledés nélkül dolgozható fel a fűrésziparban. Kihozatala azonban alacsony, mindösszesen 60%-os. Célszerű naptól elzárva tárolni, így elkerülhető a repedés és a szürkülés. Lassú szárítást igényel. Mechanikai megmunkálása energiaigényes, nehezen szegezhető és csavarozható. Ragasztása, pácolás és lakkozása nem ütközik nehézségekbe.

Bútoripari felhasználása nem jelentős, esztergályozásban viszont annál nagyobb szerepe van. Előszeretettel készítenek belőle sakkfigurákat, fatálmakat, fagombok és ecsetnyeleket, valamint kéziszerszámokat (fászeg, fakalapács, mérőlécs). Ezen kívül a furfurolgyártás és a papírgyártás kulcsfontosságú alapanyaga, viszont épületszerkezeti célú felhasználása nem javasolt. (Molnár S. – Bariska M. 2002; Molnár S. 1999)

5. A hamutartalom mérési módszerek ismertetése

5.1 Elvi háttér bemutatása

A hamutartalom mérési vizsgálatok során az EN 14775:2009 (E) szabványban leírtak szerint jártam el. Címe: „Solid biofuels – Determination of ash content”, azaz a szilárd bio – tüzelőanyagok hamutartalmának meghatározása. A folyamat szigorúan szabályozott és ellenőrzött körülmények között zajlik. Ügyelni kell az idő és a hőmérséklet megfelelő beállítására, a tömeg pontos meghatározására, valamint mindezek mellett a méréshez használt berendezések, eszközök kifogástalan műszaki állapotára.

A méréshez használt berendezések:

- **Edény**

Olyan méretű tál, csésze, amelyben a betöltött minta mennyisége nem haladja meg a $0,1 \text{ g/cm}^2$ -t az edény alsó felületére vonatkoztatva. Anyaga egy semleges, közömbös anyag, mint például a porcelán, a szilikát vagy a platina.

- **Kemence**

A kemence képes folyamatos, egyenletes hőmérséklet előállítására, valamint olyan tulajdonsággal bír, hogy meghatározott időpontokban emeli vagy csökkenti a hőfokot egy bizonyos értékig, majd ezen a szinten tartja a megadott ideig.

- **Mérleg**

A vizsgálatok elvégzéséhez olyan mérleg szükséges, amellyel legalább $0,1 \text{ mg}$ pontossággal mérhetünk.

- **Exszikkátor**

A minta szárítását tudjuk benne elvégezni, valamint a kemencéből kivett, mintával töltött csészéket ebben a laboratóriumi edényben tudjuk a szobahőmérsékletre visszahűteni.

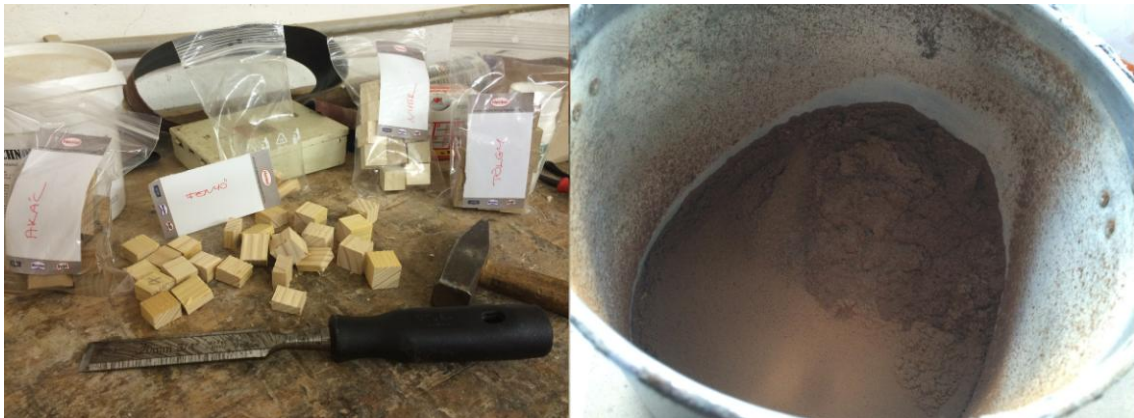
5.2 Gyakorlati bemutatás

A mérések megkezdése előtt, elő kellett készíteni a mintákat. A mintadarabok előállítása során fontos, hogy minél jobban ki tudjuk küszöbölni a faanyag inhomogenitását. Ennek okán 4-4 darab, a fatest különböző részeiből származó, 30 cm hosszú, közel azonos keresztmetszetű (2 x 2 cm) anyagot 4 felé daraboltam, hogy mindegyik darab más-más hőkezelést kaphasson, valamint egy kezeletlenül mardjon.

A minták a következő hőkezelési eljárások egyikén estek át:

- 180°C-on 3 óra
- 180°C-on 6 óra, vagy
- 200°C-on 3 óra.

A faanyagot apró darabokra vágtam, hasítottam géppel vagy kézi szerszámokkal, majd az aprító gépbe helyeztem, ahol finom faport kapunk. Ez a fázis a 22. és 23. ábrán látható.



22. ábra. Előkészítés (Saját kép, 2015.05.06.)



23. ábra. Előkészítés során használt daráló (Saját kép, 2015.05.06.)

A darálás, aprítás során az előbb említett, 4 féle különböző darab elegyét kevertem össze, így próbáltam kiküszöbölni az inhomogenitást. A vizsgálatok elvégzésekor 1mm, vagy annál kisebb méretű fapor használható. Az aprításból nyert faporból egy Kern típusú analitikai mérleg (24. ábra) segítségével minden mintából nagyjából 10 grammot.



24. ábra. Kimért anyagok petri-csészékben
(Saját kép, 2015.09.10.)

mértem ki petri-csészékbe. A kimért mintákat 24 órára egy Memmert típusú szárító szekrénybe helyeztem (25. ábra), ahol 103,5°C-on szárítottam.

Míg a faanyag száradt, a későbbiekben használni kívánt csészéket a Nabertherm típusú kemencébe helyeztem és $550 \pm 10^\circ\text{C}$ -on 60 percig égettem. Amint elkészült, eltávolítottam az edényeket a kemencéből és egy hőálló lemezre helyeztem. A megfelelő hőmérséklet elérése után exsikkátorba pakoltam őket, hogy átvehessék a labor hőmérsékletét. Miután kihültek lemértem őket 0,1 mg pontossággal.



25. ábra. Kern típusú analitikai mérleg és a Memmert típusú szárító szekrény a kimért mintákkal (Saját kép, 2015.09.21.)

A következő lépésben a mintákat egyesével a csészékbe adagoltam, majd lemértem a faporról töltött csészék tömegét. Miután feljegyeztem, a szárított faporból kimértem legalább 1 grammot, majd egyenletesen eloszlattam a csésze alján. A szabvány előírja, hogyha a hamutartalom nagyon alacsony értéket mutat, akkor nagyobb edényt és több faport kell használni. Erre a méréseim során nem került sor, mivel minden alkalommal nagyjából 2 gramm faport helyeztem az edényekbe.

Harmadik lépésként, ahogy a 26. ábrán is látható, a csészéket betettem a hideg kemencébe, ezután következett a felfűtés:



26. ábra. Nabertherm típusú kemence a csészékkel
(Saját kép, 2015.09.21.)

I.szakasz: 250°C-ra melegítettem 50 perc alatt a kemencét és 60 percig tartotta ezen a hőmérsékleten azért, hogy az illékony anyagok távozzanak a faanyagból.

II.szakasz: Folytattam a melegítést, ezúttal úgy állítottam be a gépet, hogy $550 \pm 10^\circ\text{C}$ -ra 30 perc alatt fűtse fel, tartsa ezen a hőmérsékleten 120 percig.

120 perc elteltével kivettem az edényeket a kemencéből, és a hőálló lemezen 5-10 percig hagytam őket hűlni, majd ezt követően szárítószer nélküli exsikkátorba helyeztem.



27. ábra. Hamuval teli csészék a hűtő lemezen és az exsikkátorban
(Saját kép, 2015.09.21.)

Miután szobahőmérsékletre hűlt 0,1 mg pontossággal visszamértem a csészéket hamuval együtt.

Ha esetleg nem sikerült a teljes égetés (korom jelenléte utalhat erre) két lehetőséget ír elő a szabvány:

- a) A csészét 30 percre visszatesszük a forró (500°C-os) kemencébe, amíg a tömeg változása kevesebb, mint 0,5 mg.
- b) Desztillált vizet vagy ammónium-nitrátot cseppentünk a mintához mielőtt visszatennénk a szobahőmérsékletre hűtött kemencébe. Újra felfűtjük a kemencét $550 \pm 10^\circ\text{C}$ -ra és ezen a hőmérsékleten tartjuk további 30 percig, amíg tömegének változása nem haladja meg a 0,5 mg-ot.

A hamutartalom százalékban kifejezve a következő képlet segítségével számítható ki:

$$A_d = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \times 100, \text{ ahol}$$

m_1 : az üres csésze tömege grammban kifejezve

m_2 : a csésze és a minta együttes tömege grammban kifejezve

m_3 : a csésze és a hamu együttes tömege grammban kifejezve

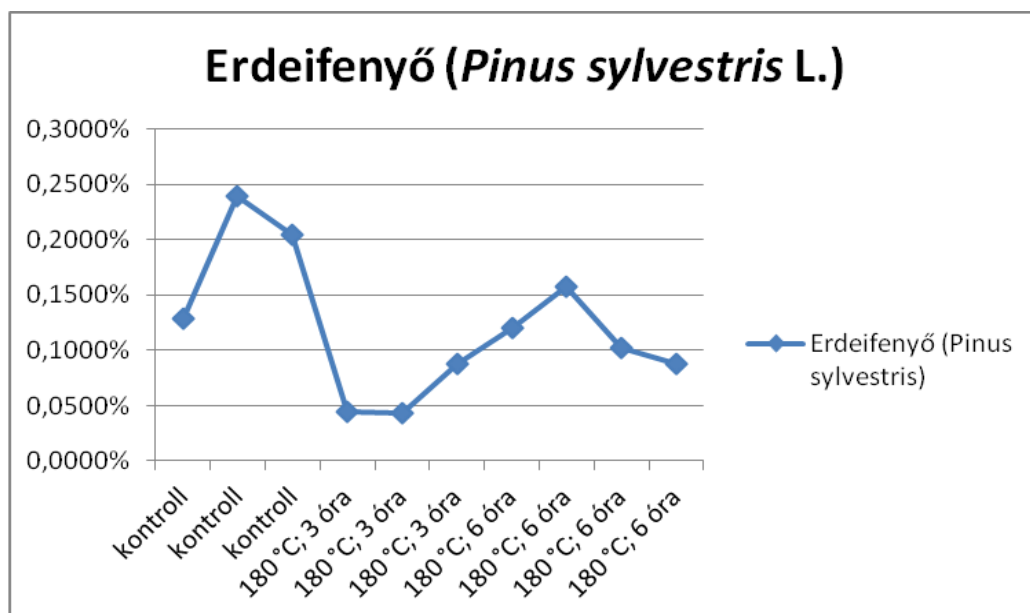
10 %-os hamutartalom alatt a mérések közötti maximális eltérés 0,2 %.

A vizsgálat során azonos mintákból legalább kettő, de inkább három mérést kell végezni, ezért is szárítottam az elején nagyjából 10 gramm faport.

6. A mérési eredmények bemutatása

A mérések befejeztével az adatokat táblázatokba gyűjtöttem, és különböző diagramokat készítettem, melyek megkönnyítik az elemzést.

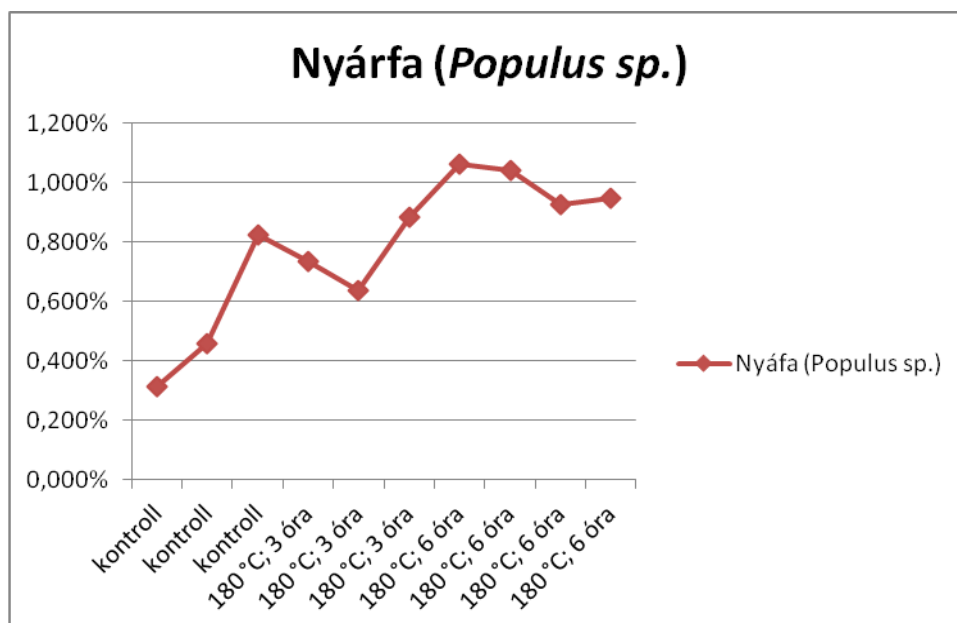
Első lépésben külön-külön szeretném bemutatni a fafajok, majd egy összesítő diagramon szemléltetem a hamutartalom mennyiségének változását.



28. ábra. Az erdeifenyő (*Pinus sylvestris* L.) minták hamutartalmi értékei (saját diagram, 2015.12.04.)

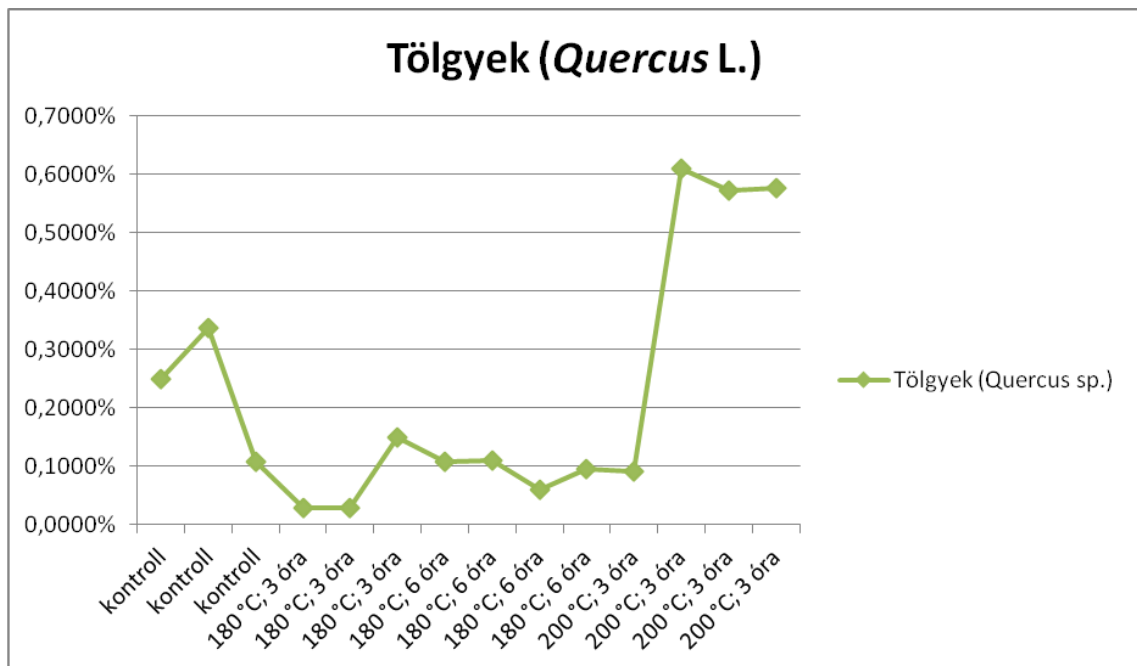
Az erdeifenyő (*Pinus sylvestris* L.) mérési eredményeinek esetében nehéz összefüggést találni a változó kezelések (hőmérséklet és az idő is változó) valamint a hamutartalom között. Annyi elmondható, hogy a legalacsonyabb eredményt, 0,0438%-ot, 180°C-os, 3 órás kezelés esetén értük el. Az átlagértékeket nézve is ez a kezelés eredményezte a legminimálisabb értéket, ami 0,0587%.

A 29. ábrán a nyár (*Populus sp.*) fafaj hamutartalmi értékeit ábrázoló diagramot látjuk.



29. ábra. A nyár (*Populus sp.*) minták hamutartalmi értékei (saját diagram, 2015.12.04.)

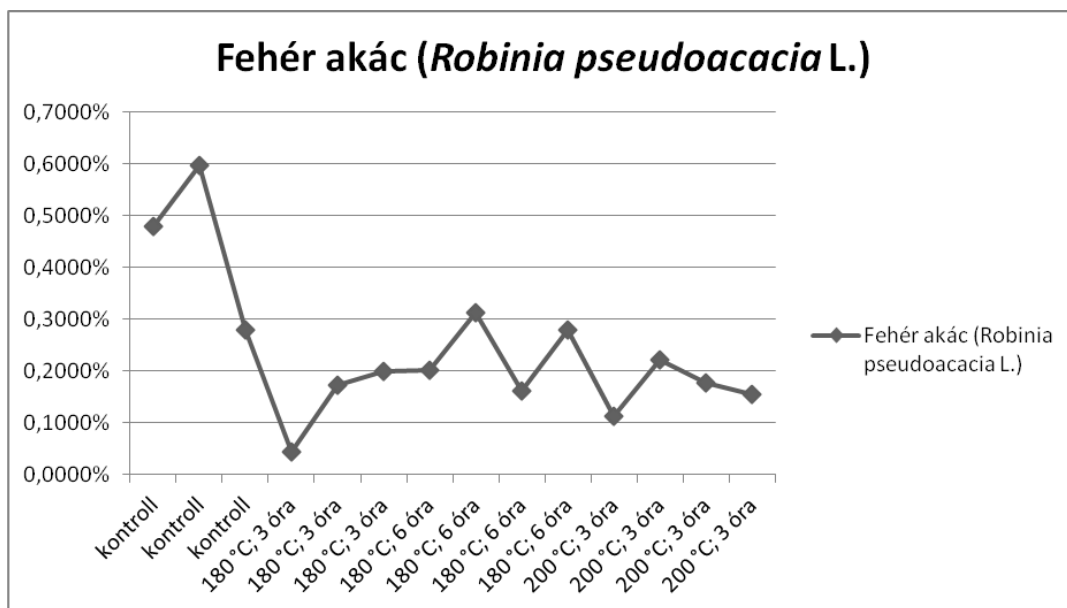
Ez alapján elmondható, hogy ebben az esetben, egy kiugró értéktől eltekintve a kezeletlen, kontroll minták égetése során keletkezett a legkevesebb hamu. A három fajta átlagát nézve az első helyen, legkevesebb hamutartalommal (0,5325%) a kezeletlen minta áll, második 180°C-on, 3 órán keresztül kezelt minta (0,7519%), végül a legtöbb hamu (0,9943%) a 180°C-on 6 órán át kezelt minta égetése után maradt vissza. A 30. ábra a különböző kezelésen átesett tölgyek (*Quercus* L.) elégetéséből visszamaradt hamu mennyiségét mutatja.



30. ábra. A tölgy (*Quercus* L.) minták hamutartalmi értékei (saját diagram, 2015.12.04.)

Ahogy az előző két faj esetében, itt is a hőkezelés hőmérsékletének és időtartamának változtatásával a hamutartalmi értékek is változtak. A tölgy minták kiegészültek egy új, magasabb hőfokú (200°C, 3 óra) kezelés során előállított alapanyaggal. Az erdeifenyőhöz hasonlóan ebben az esetben is a 180°C, 3 órás kezelés után maradt vissza a legkevesebb hamu (0,0296%), valamint az átlagérték (0,0696%) is e módszer esetén a legalacsonyabb. A diagramon jól látható, hogy az első két kezelés mérési eredményei nagyon hasonló értéket mutatnak, majd egy ugrásszerű növekedés következik. A 200°C-os eljárás mintáinak hamutartalma nagymértékben, majdnem hatszorosára nőtt az előző értékekhez képest (0,081%-ról, 46%-ra).

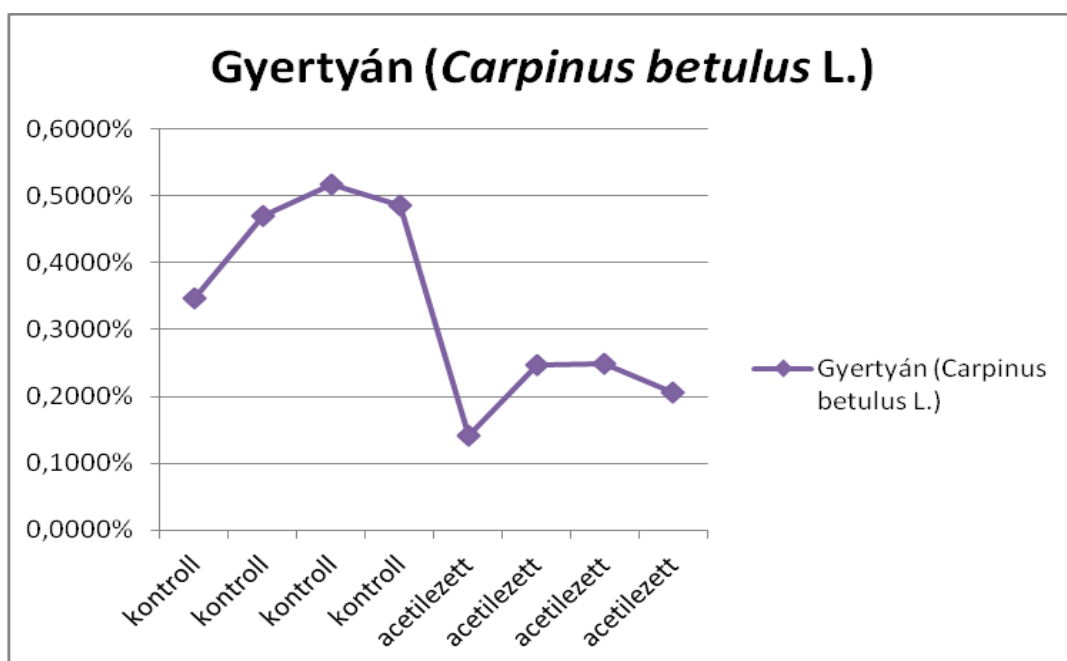
A fehér akác (*Robinia Pseudoacacia* L.) minták égetése során, azt láthatjuk a 31. ábrán, hogy a kezeletlen minta kezdeti, kiugró értékei után a hamutartalom mennyiségek szűk intervallumon belül változnak.



31. ábra. A fehér akác (*Robinia Pseudoacacia* L.) minták hamutartalmi értékei (saját diagram, 2015.12.04.)

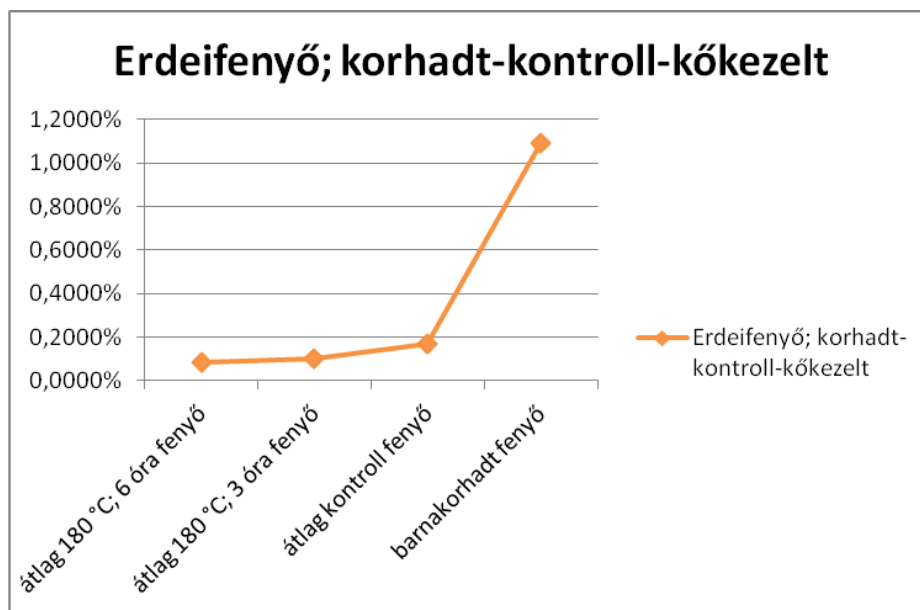
A legalacsonyabb érték (0,0441%), valamint legalacsonyabb átlagérték (0,1387%) itt is a 180°C, 3 órás kezelésből származik. Legtöbb hamu a kontroll minták esetén marad vissza, átlagban 0,4571%.

A gyertyán (*Carpinus betulus* L.) minták acetilezett és kezeletlen formában kerültek kemencébe. A 32. ábrán könnyen megfigyelhető a két típus közti különbség.

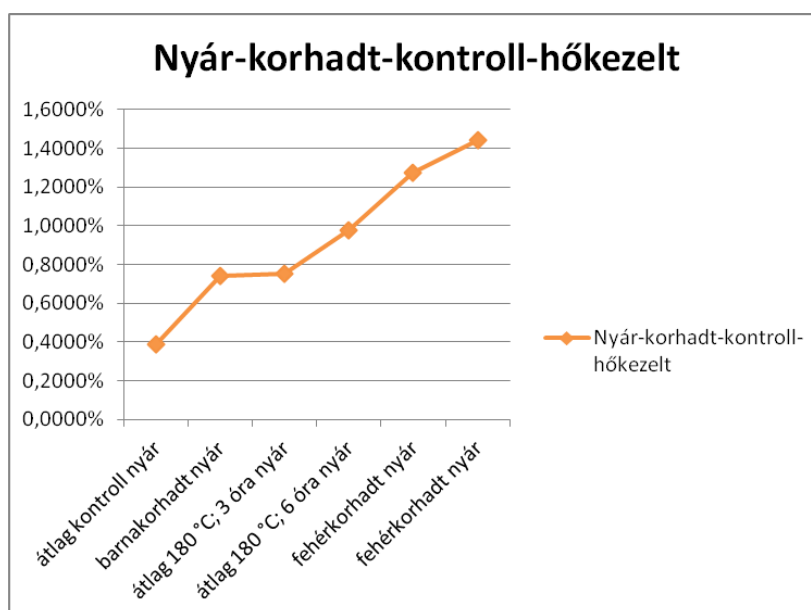


32. ábra. A gyertyán (*Carpinus betulus* L.) minták hamutartalmi értékei (saját diagram, 2015.12.04.)

A kezeletlen minták hamutartalmának átlaga 0,4555%, míg az acetilezettek átlaga csak 0,2105%, így a két típus közötti eltérés majdnem kétszeres.



33. ábra. A különböző erdeifenyő (*Pinus sylvestris* L.) minták hamutartalmi értékeinek összehasonlítás (saját diagram, 2015.12.04.)



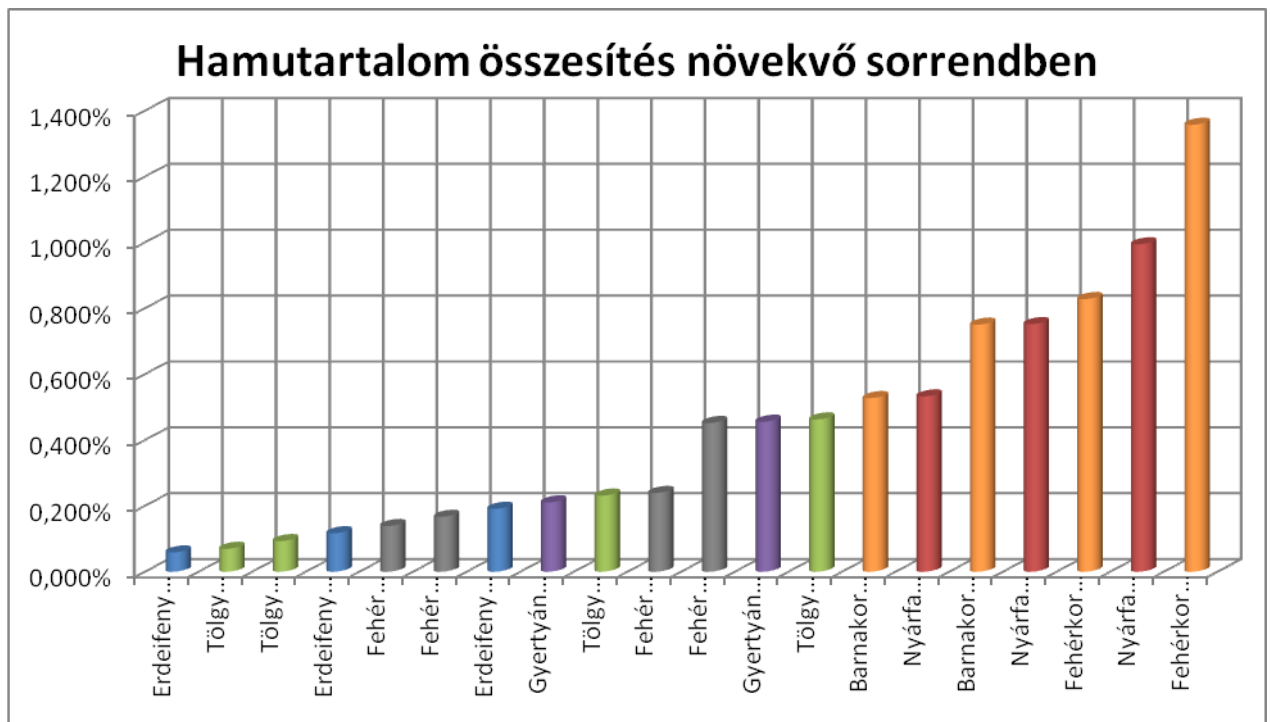
34. ábra. A különböző nyárfák (*Populus* sp.) minták hamutartalmi értékeinek összehasonlítás (saját diagram, 2015.12.04.)

A 33. és 34. ábra alapján kijelenthető, hogy a vizsgált korhadat minták hamutartalma ugrásszerűen megnő. Az egészséges erdeifenyő esetében 0,1-0,2%-os hamutartalmi értéket olvashatunk le, míg a barnakorhadat erdeifenyő hamutartalma meghaladja az 1%-ot. A nyárfánál ezek az értékek a következőképpen alakulnak: egészséges minták: 0,4%-1%; fehérkorhadat minták 1,3-1,45%.

7. Összefoglalás

Szakdolgozatomban részletesen bemutatásra került a méréseim során felhasznált öt fafaj, melynek hazai viszonylatban nagy szerepe van, valamint azok a modifikációs eljárások, amikkel megváltoztattuk a faanyagok szerkezetét. A téma jelentőségét alátámasztja, hogy a környezetvédelem várható fejlődése miatt, a dendromassza, mint megújuló energiaforrás felhasználása remélhetőleg növekedni fog. Ha nőni a felhasználás, nőni fog a keletkező hamu mennyisége is, ezért az anyagválasztásnak kiemelkedően fontos szerepe van. Ezért is tartom kulcsfontosságúnak részletesen bemutatni a faanyagokat.

Az elvégzett hamutartalom vizsgálatok hűen tükrözik a különböző faanyagok összetételének, ezzel összefüggésben a hamutartalom mennyiségének változékonyságát és sokféleségét.



A hamutartalom összesítő diagramon jól látható, hogy a korhadt faanyagok hamutartalma lényegesen nagyobb, mint az egészségeseké. Emiatt meghatározó szerepe van a kitermelés idejének, kulcsfontosságú lenne elkerülni a gomba- és rovarkárosítást. Kijelenthető, hogy a gyertyán (*Carpinus betulus* L.) hamutartalma nagyjából felére csökkenthető az acetilezési eljárásnak köszönhetően.

8. Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozom a Nyugat-magyarországi Egyetem Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi és Művészeti Kar dolgozóinak, hogy munkájukkal hozzájárultak a mérések megvalósulásához és szakdolgozatom elkészüléséhez.

Külön köszönettel tartozom konzulensemnek, Dr. Komán Szabolcsnak, valamint a Fa- és Papíripari Technológiák Intézet doktoranduszának Ott Ágotának, hogy tanácsaikkal, értékes javaslataikkal, segítő munkájukkal támogattak dolgozatom elkészítésében.

Végül, de nem utolsó sorban, köszönöm a hozzátartozóimnak, hogy tanulmányaim során segítettek és végig mellettem álltak.

9. Mellékletek

4. táblázat. Az erdeifenyő (*Pinus sylvestris* L.) fafaj hamutartalmi mérésének adatai
(saját mérések, 2015.12.04.)

1

ERDEIFENYŐ (*Pinus sylvestris* L.)

Csészeszám	m1	m2	m3	Oszlop1	Ad
1	66,8466 g	68,871 g	66,8492 g	kontroll	0,1285%
2	65,5907 g	67,633 g	65,5956 g	kontroll	0,2399%
2	65,5925 g	67,693 g	65,5968 g	kontroll	0,2048%
1	66,8479 g	68,64 g	66,8487 g	180 °C; 3 óra	0,0446%
2	65,5933 g	67,65 g	65,5942 g	180 °C; 3 óra	0,0438%
7	69,2574 g	71,31 g	69,2592 g	180 °C; 3 óra	0,0877%
1	66,8476 g	68,933 g	66,8501 g	180 °C; 6 óra	0,1199%
2	65,5923 g	67,623 g	65,5955 g	180 °C; 6 óra	0,1576%
1	66,847 g	68,903 g	66,8491 g	180 °C; 6 óra	0,1021%
2	65,5928 g	67,629 g	65,5946 g	180 °C; 6 óra	0,0884%

5. táblázat. A nyárfa (*Populus* sp.) fafaj hamutartalmi mérésének adatai
(saját mérések, 2015.12.04.)

2

NYÁRFA (*Populus* sp.)

Csészeszám	m1	m2	m3	Oszlop1	Ad
3	66,6781 g	68,721 g	66,6845 g	kontroll	0,313%
4	72,1168 g	74,12 g	72,126 g	kontroll	0,459%
4	72,1202 g	74,231 g	72,1376 g	kontroll	0,824%
3	66,6774 g	68,747 g	66,6926 g	180 °C; 3 óra	0,735%
4	72,1202 g	74,159 g	72,1332 g	180 °C; 3 óra	0,638%
3	66,6767 g	68,805 g	66,6955 g	180 °C; 3 óra	0,884%
3	66,6766 g	68,731 g	66,6984 g	180 °C; 6 óra	1,061%
4	72,1195 g	74,202 g	72,1412 g	180 °C; 6 óra	1,042%
3	66,6771 g	68,7 g	66,6958 g	180 °C; 6 óra	0,925%
4	72,1206 g	74,185 g	72,1402 g	180 °C; 6 óra	0,950%

6. táblázat. A nemestölgy (*Quercus L.*) fafaj(ok) hamutartalmi mérésének adatai
(saját mérések, 2015.12.04.)

3

NEMESTÖLGY (*Quercus L.*)

Csészeszám	m1	m2	m3	Oszlop1	Ad
5	68,7742 g	70,783 g	68,7792 g	kontroll	0,2489%
6	69,3145 g	71,395 g	69,3215 g	kontroll	0,3365%
6	69,3158 g	71,349 g	69,318 g	kontroll	0,1082%
5	68,7745 g	70,805 g	68,7751 g	180 °C; 3 óra	0,0295%
6	69,3156 g	71,343 g	69,3162 g	180 °C; 3 óra	0,0296%
5	68,7748 g	70,847 g	68,7779 g	180 °C; 3 óra	0,1496%
5	68,775 g	70,818 g	68,7772 g	180 °C; 6 óra	0,1077%
6	69,3156 g	71,408 g	69,3179 g	180 °C; 6 óra	0,1099%
5	68,7751 g	70,793 g	68,7763 g	180 °C; 6 óra	0,0595%
6	69,3154 g	71,417 g	69,3174 g	180 °C; 6 óra	0,0951%
2	65,5936 g	67,773 g	65,5956 g	200 °C; 3 óra	0,0918%
2	65,5966 g	67,645 g	65,6091 g	200 °C; 3 óra	0,6102%
3	66,682 g	68,725 g	66,6937 g	200 °C; 3 óra	0,5726%
4	72,125 g	74,21 g	72,137 g	200 °C; 3 óra	0,5756%

7. táblázat. A fehér akác (*Robinia Pseudoacacia L.*) fafaj hamutartalmi mérésének adatai
(saját mérések, 2015.12.04.)

4

FEHÉR AKÁC (*Robinia Pseudoacacia L.*)

Csészeszám	m1	m2	m3	Oszlop1	Ad
7	69,2526 g	71,318 g	69,2625 g	kontroll	0,4793%
8	64,7202 g	66,8 g	64,7326 g	kontroll	0,5961%
8	64,719 g	66,864 g	64,725 g	kontroll	0,2797%
7	69,2529 g	71,293 g	69,2538 g	180 °C; 3 óra	0,0441%
8	64,7197 g	66,751 g	64,7232 g	180 °C; 3 óra	0,1723%
7	69,2518 g	71,306 g	69,2559 g	180 °C; 3 óra	0,1996%
7	69,2518 g	71,325 g	69,256 g	180 °C; 6 óra	0,2026%
8	64,7188 g	66,797 g	64,7253 g	180 °C; 6 óra	0,3128%
7	69,2511 g	71,357 g	69,2545 g	180 °C; 6 óra	0,1614%
8	64,7188 g	66,828 g	64,7247 g	180 °C; 6 óra	0,2797%
1	66,849 g	68,89 g	66,8513 g	200 °C; 3 óra	0,1127%
1	66,8508 g	68,885 g	66,8553 g	200 °C; 3 óra	0,2212%
1	66,8527 g	68,943 g	66,8564 g	200 °C; 3 óra	0,1770%
2	65,6008 g	67,648 g	65,604 g	200 °C; 3 óra	0,1563%

8. táblázat. A gyertyán (*Carpinus betulus* L.) fafaj hamutartalmi mérésének adatai
(saját mérések, 2015.12.04.)

5

GYERTYÁN (*Carpinus betulus* L.)

Csészeszám	m1	m2	m3	Oszlop1	Ad
3	66,6792 g	68,866 g	66,6868 g	kontroll	0,3475%
4	72,1248 g	74,184 g	72,1345 g	kontroll	0,4712%
8	64,7232 g	66,773 g	64,7338 g	kontroll	0,5172%
9	67,9644 g	70,001 g	67,9743 g	kontroll	0,4860%
4	72,1215 g	74,247 g	72,1245 g	acetilezett	0,1412%
3	66,6813 g	68,75 g	66,6864 g	acetilezett	0,2465%
5	68,7803 g	70,835 g	68,7854 g	acetilezett	0,2482%
6	69,3218 g	71,407 g	69,3261 g	acetilezett	0,2062%

9. táblázat. Különböző korhadt faanyagok hamutartalmi mérésének adatai
(saját mérések, 2015.12.04.)

6

KORHADT FAANYAG

Csészeszám	m1	m2	m3	Oszlop1	Ad
5	68,7763 g	70,9 g	68,7863 g	barnakorhadt fenyő	0,4709%
6	69,3221 g	71,378 g	69,3341 g	barnakorhadt fenyő	0,5837%
6	69,3188 g	71,438 g	69,3348 g	fehérkorhadt bükk	0,7542%
8	64,723 g	66,774 g	64,7415 g	fehérkorhadt bükk	0,9019%
7	69,254 g	71,391 g	69,2812 g	fehérkorhadt nyár	1,2726%
7	69,2563 g	71,303 g	69,2858 g	fehérkorhadt nyár	1,4417%
8	64,7193 g	66,755 g	64,7347 g	barnakorhadt nyár	0,7567%
5	68,78 g	70,044 g	68,7894 g	barnakorhadt nyár	0,7437%

10. Ábra- és táblázatjegyzék:

1. ábra. A faalapú modifikációs eljárások (Militz)	5
2. ábra. A faalapú modifikációs eljárások hatásmechanizmusai (Militz)	6
3. ábra. Az acetilezés kémiai háttere (Pozsgayné Fodor F. 2015)	7
4. ábra. Az acetilezési eljárás (Pozsgayné Fodor F. 2015)	8
5. ábra. Tömegcsökkenés módosulása a hőmérséklet változtatásával (Horváth N. 2008)	12
6. ábra. A főbb meghatározó szilárdsági értékek változása hőmérséklet növelésének hatására (Horváth N. 2008)	14
7. ábra. Erdeifenyő (<i>Pinus sylvestris</i> L.) (Molnár S. – Bariska M. 2002)	17
8. ábra. Az erdeifenyő (<i>Pinus sylvestris</i> L.) makroszkópos képe (Molnár S. - Bariska M. 2002)	18
9. ábra. Az erdeifenyő (<i>Pinus sylvestris</i> L.) mikroszkóposan (Molnár S. - Bariska M. 2002)	18
10. ábra. Nyárfa (<i>Populus sp.</i>) (Molnár S. - Bariska M. 2002)	20
11. ábra. Nyárfa (<i>Populus sp.</i>) makroszkóposan (Molnár S. - Bariska M. 2002)	21
12. ábra. Nyárfa (<i>Populus sp.</i>) mikroszkópos képe (Molnár S. - Bariska M. 2002)	21
13. ábra. Fehér akác élő fája(<i>Robinia Pseudoacacia</i> L.) (Molnár S. - Bariska M. 2002)	23
14. ábra. Fehér akác makroszkópos felvétel (<i>Robinia Pseudoacacia</i> L.) (Molnár S. - Bariska M. 2002)	24
15. ábra. Fehér akác (<i>Robinia Pseudoacacia</i> .L.) (Molnár S. - Bariska M. 2002)	24
16. ábra. Tölgyek élő fái (<i>Quercus</i> L.) (Molnár S. - Bariska M. 2002)	27
17. ábra. Tölgyek (<i>Quercus</i> L.) (Molnár S. - Bariska M. 2002)	27
18. ábra Tölgyek mikroszkópos felvételen (<i>Quercus</i> L.) (Molnár S. - Bariska M. 2002)	28
1. táblázat. A kocsányos tölgy műszaki jellemzői (Molnár S. – Bariska M. 2002; Molnár S. 1999)	29
2. táblázat. A kocsánytalan tölgy műszaki jellemzői (Molnár S. – Bariska M. 2002; Molnár S. 1999)	29
3. táblázat. A vöröstölgy műszaki jellemzői (Molnár S. – Bariska M. 2002; Molnár S. 1999)	29
19. ábra. Gyertyán (<i>Carpinus betulus</i> L.) (Molnár S. - Bariska M. 2002)	30
20. ábra. Gyertyán makroszkópos képe (<i>Carpinus betulus</i> L.) (Molnár S. - Bariska M. 2002)	31
21. ábra. Gyertyán makroszkópos megjelenése (<i>Carpinus betulus</i> L.) (Molnár S. - Bariska M. 2002)	31
22. ábra. Előkészítés (Saját kép, 2015.05.06.)	34
23. ábra. Előkészítés során használt daráló (Saját kép, 2015.05.06.)	34
24. ábra. Kimért anyagok petri-csészékben (Saját kép, 2015.09.10.)	35
25. ábra. Kern típusú analitikai mérleg és a Memmert típusú szárító szekrény a kimért mintákkal (Saját kép, 2015.09.21.)	35
26. ábra. Nabertherm típusú kemence a csészékkel (Saját kép, 2015.09.21.)	36
27. ábra. Hamuval teli csészék a hűtő lemezen és az exsikkátorban (Saját kép, 2015.09.21.)	37
28. ábra. Az erdeifenyő (<i>Pinus sylvestris</i> L.) minták hamutartalmi értékei (saját diagram, 2015.12.04.)	38
29. ábra. A nyár (<i>Populus sp.</i>) minták hamutartalmi értékei (saját diagram, 2015.12.04.)	38

30. ábra. A tölgy (<i>Quercus</i> L.) minták hamutartalmi értékei (saját diagram, 2015.12.04.)	39
31. ábra. A fehér akác (<i>Robinia Pseudoacacia</i> L.) minták hamutartalmi értékei (saját diagram, 2015.12.04.)	40
32. ábra. A gyertyán (<i>Carpinus betulus</i> L.) minták hamutartalmi értékei (saját diagram, 2015.12.04.)	40
33. ábra. A különböző erdeifenyő (<i>Pinus sylvestris</i> L.) minták hamutartalmi értékeinek összehasonlítás (saját diagram, 2015.12.04.)	41
34. ábra. A különböző nyárfa (<i>Populus</i> sp.) minták hamutartalmi értékeinek összehasonlítás (saját diagram, 2015.12.04.)	41
4. táblázat. Az erdeifenyő (<i>Pinus sylvestris</i> L.) fafaj hamutartalmi mérésének adatai (saját mérések, 2015.12.04.)	44
5. táblázat. A nyárfa (<i>Populus</i> sp.) fafaj hamutartalmi mérésének adatai (saját mérések, 2015.12.04.)	44
6. táblázat. A nemes tölgy (<i>Quercus</i> L.) fafaj(ok) hamutartalmi mérésének adatai (saját mérések, 2015.12.04.)	45
7. táblázat. A fehér akác (<i>Robinia Pseudoacacia</i> L.) fafaj hamutartalmi mérésének adatai (saját mérések, 2015.12.04.)	45
8. táblázat. A gyertyán (<i>Carpinus betulus</i> L.) fafaj hamutartalmi mérésének adatai (saját mérések, 2015.12.04.)	46
9. táblázat. Különböző korhadott faanyagok hamutartalmi mérésének adatai (saját mérések, 2015.12.04.)	46

11. Irodalomjegyzék

DR. MOLNÁR S. – DR. BARISKA M (2002): Magyarország ipari fái, Szaktudás Kiadó Ház, Budapest, 18-23 pp., 54-60 pp., 112-117 pp., 142-149 pp., 168-175pp.

MOLNÁR S.(1999): Faanyagismeret, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 329-392 pp.

FÜZESI I. (2014): A fahamu alkalmazási lehetőségei a mezőgazdaságban, Doktori (PhD) értekezés, Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron 8-18 pp.

TODARO L. – RITA A. – CETERA P. – D'AURIA M. (2014): Thermal treatment modifies the calorific value and ash content in some wood species, Short Communication

EN 14775 (2009): European Standard, Solid biofuels – Determination of ash content

POZSGAYNÉ FODOR F. (2015): Modification of hornbeam (*Carpinus betulus* L.) by acetylation, Diplomamunka, Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron, 4-6 pp., 12-19 pp.

HORVÁTH N. (2008): A termikus kezelés hatása a faanyag tulajdonságaira, különös tekintettel a gombaállóságra, Doktori (PhD) értekezés, Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron, 3-4 pp., 10-26 pp.

BAK M. (2012): Növényi olajokban hőkezelt nyár faanyag tulajdonságainak vizsgálata, Doktori (PhD) értekezés, Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron, 12-36 pp.

CSORDÓS D. (2013): A modifikált faanyagok felhasználási területeinek lehetséges bővítési irányainak feltérképezése, Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron, 4-8 pp., 14-16 pp.

PALOTÁS Á. B. (2011): Ipari tüzeléstechnika (adaptáció), e-jegyzet, Miskolci Egyetem, 45 p.

NÉMETH K. (1977): Faanyagkémia. Kémiai szerkezetek, reakciók, Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest

MILITZ H.: Modified wood: processes, products and markets, Wood Biology and Wood Technology Georg-August-University, Göttingen, 9-10 pp.

BOSSHARD H. (1984): Holzkunde Bd.3, Aspekte der Holzbearbeitung und Holzverwertung.

Birkhäuser Verlag, Basel

<https://hu.wikipedia.org/wiki/Ecetsav-anhidrid> (2015.12.04.)

http://www.nyme.hu/fileadmin/dokumentumok/fmk/faanyag/segedanyag/faanyagok_modifikalasa/faanyagok_modifikalasa_06.pdf (2015.12.04.)

<http://cheminst.emk.nyme.hu/kemia2/02Fakemia.pdf> (2015.12.04.)

<http://hulladekonline.hu/files/167/> (2015.12.04.)