

Mohácsiné Ronyecz Ildikó

# Természetes fakéreg anyagok hőszigetelési tulajdonságainak vizsgálata és fejlesztése

Doktori (PhD) értekezés

Témavezetők:  
Dr. Pásztory Zoltán  
Dr. Alpár Tibor

Nyugat- magyarországi Egyetem  
Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi és Művészeti Kar  
Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák Doktori Iskola

Sopron  
2015

**TERMÉSZETES FAKÉREG ANYAGOK HŐSZIGETELÉSI  
TULAJDONSÁGAINAK VIZSGÁLATA ÉS FEJLESZTÉSE**

Értekezés doktori (PhD) fokozat elnyerése érdekében  
\*a Nyugat-Magyarországi Egyetem Cziráki József Faanyagtudomány és  
Technológiák Doktori Iskola

Faanyagtudomány (F1) programja keretében

Írta:  
Mohácsiné Ronyecz Ildikó

\*\*Készült a Nyugat-Magyarországi Egyetem Cziráki József Faanyagtudomány és  
Technológiák Doktori Iskola programja keretében

Témavezető: Dr. Pásztory Zoltán  
Dr. Alpár Tibor

Elfogadásra javaslom (igen / nem)  
(aláírás)

A jelölt a doktori szigorlaton ..... % -ot ért el,

Sopron, .....

.....  
a Szigorlati Bizottság elnöke

Az értekezést bírálóként elfogadásra javaslom (igen /nem)

Első bíráló (Dr. ....) igen /nem  
(aláírás)

Második bíráló (Dr. ....) igen /nem  
(aláírás)

(Esetleg harmadik bíráló (Dr. ....) igen /nem  
(aláírás)

A jelölt az értekezés nyilvános vitáján.....% - ot ért el  
Sopron/Mosonmagyaróvár,

.....  
elnöke

a Bírálóbizottság

A doktori (PhD) oklevél minősítése.....

.....  
Az EDT elnöke

# Természetes fakéreg anyagok hőszigetelési tulajdonságainak vizsgálata és fejlesztése

## **Kivonat**

A doktori disszertáció Magyarországon nagy mennyiségben rendelkezésre álló, ugyanakkor szűk felhasználási területtel rendelkező fakéreg anyagok hőszigetelési tulajdonságaira irányuló vizsgálatokat és fejlesztését mutatja be. Az általános hőszigetelési és anatómiai ismeretek bemutatása után a dolgozatban egy nagyobb részt szenteltem a fakéreg irodalmi áttekintésére, mivel a kéreg eddigi felhasználásának rendszerezése a szakirodalomban hiányzik. Így dolgozatommal ezt az űrt is igyekeztem pótolni. A hővezetési tulajdonságok vizsgálata során lombos- és a tűlevelű fafajokat egyaránt vizsgáltuk. A kapott eredmények alapján pedig tovább szűkítettük a vizsgált fajokat, míg eljutottunk a legjobb eredményeket mutató fehér akácig. A kéregaprítékkal vizsgáltuk a tömörítés hatására végbemenő hőszigetelő változást, különböző frakciókat készítettünk az aprítékból, illetve a kéreglapok hőszigetelő tulajdonságait is vizsgáltuk szűkítve az alapanyagokat, míg eljutottunk a legjobb eredményt mutató anyagkombinációig. Megvizsgáltunk a kéreglapok formaldehid kibocsátást. Három lombos fafaj páraáteresztő képességét is meghatároztuk.

## Investigation and development of thermal insulation properties of natural tree bark

### **Abstract**

The doctoral thesis summarize the studies on the thermal insulation capacity of bark and development of a new insulation substance. Barks are available in Hungary in large quantities, but they are not widely used as insulation material. After the presentation of general heat insulation and anatomical knowledge, the thesis devoted a large part on the literary review of the bark, since so far the demonstration of the systematic use of the bark is missing in the literature. So my thesis is trying to make up for this gap.

Thermal conductivity properties of both broadleaved and coniferous tree species were studied during the examination. Based on the results, the tested species were further narrowed, while we got the best results showing black locust. The effect of compression on the thermal insulation capacity of grained bark was examined, and the different fractions were produced made of grained bark. Furthermore, the heat insulation capacity of bark sheets were investigated until we reached the best result for material combinations. We examined the bark sheets formaldehyde emissions and three broadleaved trees vapor permeability was also determined.

# Tartalomjegyzék

<b>1. Bevezetés, a tudományos munka célkitűzése .....</b>	<b>5</b>
<b>2. Általános ismeretek a hőszigetelésről .....</b>	<b>6</b>
<b>3. Kéreg jellemzése, struktúrája, alaptulajdonságai .....</b>	<b>7</b>
3.1 Általános ismeretek .....	7
3.1.1 A háncs .....	10
3.1.2. A héjkéreg .....	10
3.1.3. A kéreg néhány fizikai és kémiai jellemzője .....	11
3.2. Mikroszkópos vizsgálat .....	12
3.2.1. Pásztázó elektronmikroszkópia és a karakterisztikus röntgensugárzás .....	12
3.2.2. Vizsgált fajok jellemzése .....	13
<b>4. A kéreg szakirodalmánakáttekintése .....</b>	<b>16</b>
4. 1. A kéreg jellemzői .....	16
4.2. A kéreg felhasználásának lehetőségei .....	17
4.2.1. Energetikai hasznosítás .....	17
4.2.2. Mezőgazdaság .....	19
4.2.3. Lapgyártás kéreg felhasználásával .....	21
4.2.4. Orvostudomány .....	23
4.2.5. A kéreg egyéb felhasználás .....	24
4.2.6. Parafatermelés .....	26
4.3. A kéreg létjogosultsága a természetes hőszigetelő anyagok között .....	27
<b>5. Vizsgálati anyagok és módszerek kidolgozása .....</b>	<b>29</b>
5.1. Kéreg páraáteresztésének vizsgálata .....	30
5.2. Kéreg hővezetésének vizsgálata .....	36
5.2.1. Mérőműszer .....	36
5.2.2. Mérés leírása .....	37
5.2.3. Tömörítés vizsgálat .....	40
5.3. Különböző vastagságú akácfa kéreglapok készítése, hővezetési tulajdonságainak vizsgálata .....	41
5.3.1. A próbatetek anyaga, készítésének módja .....	41
5.3.2. Kéreglapok készítése .....	41
5.3.3. Testsűrűség meghatározása .....	46
5.4 Akác kéreg frakcionálása, további vizsgálatok elvégzése .....	46
5.4.1. A próbatetek anyaga, készítésének módja, frakcióanalízis .....	46
5.4.2. Tömörítés vizsgálat .....	47
5.4.3. Kéreglapok ragasztása .....	47
5.5. Formaldehid kibocsátás vizsgálata .....	48
5.5.1. A vizsgálat leírása .....	49
<b>6. A vizsgálatok eredményei és értékelésük .....</b>	<b>54</b>
6. 1. Páraáteresztés .....	54
6.2 Öt fajú kéregének hővezetési tényező értékei .....	57
6.3 Három fajú kéregének tömörítés hatására végbemenő hővezetési tényező változása .....	59
<i>Eredmények értékelése .....</i>	60
6.4. Hővezetési tényező meghatározása akác kéreglapoknál .....	61
6.5 Frakcionált akác kéreg hővezetési tényezőjének meghatározása .....	62
6.6 Hővezetési tényező meghatározása frakcionált, ragasztott akácfa kéreglapoknál .....	64
6.7 Formaldehid kibocsátás meghatározásának eredménye .....	65
<b>7. Összefoglalás .....</b>	<b>68</b>
<b>Felhasznált irodalom .....</b>	<b>74</b>
<b>Köszönetnyilvánítás .....</b>	<b>82</b>

## 1. Bevezetés, a tudományos munka célkitűzése

Napjaink egyik fő problémája az energia szűkössége. A XXI. század lényeges célkitűzése a tiszta ivóvíz és az egészséges ételmiszer mellett a fenntartható energia ellátás biztosítása.

Sajnos az emberek nagy többsége még napjainkban is az olcsó és végtelen mennyiségben rendelkezésre álló fosszilis energiahordozók tévhitében él, azonban az eddigi fogyasztási szokások a jövőben nem lesznek tarthatók (NFM, 2012). A gazdaságosság és a fenntarthatóság érdekében célszerű törekedni az energiafelhasználásunk csökkentésére.

Hazánkban már több rendelet is született az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról. Nem csak a jogi szabályozások miatt érdemes épületeink energia fogyasztásának minimalizálására törekednünk, hanem a pénztárcánk mellett érdemes még megjegyezni, hogy a környezetvédelmi kérdések megoldása egyre fontosabbá válik, melyek rámutatnak a fenntarthatóság szükségességére az élet minden területén. Egyre nagyobb hangsúlyt fektetnek a termék előállításánál- és életciklusa végén a megsemmisítésnél a környezeti terhelés csökkentésére. Az utóbbi években a szén-dioxid, mint üvegházhatású gáz, egyre inkább a közérdeklődés középpontjába került. A CO<sub>2</sub>-kibocsátás egyharmadáért világszerte az épületek a felelősek. Magyarország teljes energiafogyasztásának felét a közösségi- és lakóépületek üzemeltetése (fűtés, főzés, melegvíz-használat, világítás stb.) emészt fel (1. ábra). Tehát a lakóépületek fűtésére és melegvíz előállítására ugyanannyi energiát használnak fel, mint a hazai gyárépületek energiafogyasztása együttvéve (Energia Klub, 2011/a, 2011/b).



1. ábra Lakóépületek energiafelhasználása Magyarországon (Barótfi, 2009)

A klímaváltozás legfőbb okozója ugyanis energiatermelésünk és - felhasználásunk eddigi növekedése, hiszen az összes szén-dioxid kibocsátás meghatározó része valamilyen energiafogyasztás eredménye. Számos tanulmány és vizsgálat igazolja, hogy a fa építési felhasználása kevesebb CO<sub>2</sub>-kibocsátással jár, alacsonyabb energiafelhasználású, újrahasznosítható, ezáltal sokkal környezetkímélőbb, mint egyéb, általánosan elterjedt építőanyagok. Ha a fa és fa vázszerkezetű épületek részaránya egy százalékkal növekedne a téglaházak rovására az 190 ezer tonna CO<sub>2</sub>-emisszió megtakarítást jelentene (Bozsaky, 2011; Fehér, 2013; Paládi, 2011; Patkó et al., 2013/a; Márkus, 2002).

A szigetelőanyagok körében is fontos a környezetvédelem és a természetesség, egy-egy mesterséges, rosszul megválasztott anyag akár élettani problémákat is eredményezhet. Egyre többen választják az öko- anyagokat, melyek amellet, hogy jóval kevesebb az előállítási energiaszükségletük, természetes voltuknál fogva segítik az élettér egészségesebbé tételét is. Nem okoznak allergiás reakciókat, légáteresztő voltuk miatt lehetővé teszik a falak természetes szellőzését, ráadásul elhasználódásuk esetén újrafelhasználhatók.

A doktori kutatás célja a kéregből készített szigetelő anyagok új lehetőségeinek feltárása a tudomány jelen állására építve. Az előkísérletek elvégzése után három fafajra koncentrálódik a kutatás, majd a legjobb eredményeket adó fafaj vizsgálatát bővítjük ki.

A disszertációban a szakirodalom áttanulmányozása fontos szerepet tölt be, hiszen az elméleti háttér pontos ismerete alapján rajzolható ki a kutatások fő irányvonala.

Az áttanulmányozott szakirodalomból a kéreg eddigi felhasználásának rendszerezése teljes mértékben hiányzik, így kutatómunka egyik célkitűzése e hiány pótlása, a felhasználási lehetőségek áttekintése. Szeretnék egy külön fejezetet szentelni a fakéreg eddigi felhasználásainak, a kéreggel történt úttörő kutatásoknak és próbálkozásoknak. Majd a dolgozat fő irányvonalaira koncentrálok, a hővezetési vizsgálatokra, melyekben tágabb fafaj kéreg kísérletektől indulva (lombos és tűlevelű fajok) szűkítjük a vizsgált fafajokat, mígnem a legjobb eredményt mutató fehér akácra koncentrálnak. A hővezetési méréseken túl a kéreg aprítékot tömörítve vizsgáljuk, majd frakciók szerint is. A kéregaprítékból lapok gyártására is sor került, melyeket nem csak hővezetés vizsgálatoknak vetettük alá, hanem megvizsgáltuk a formaldehid kibocsátásukat is. Lehetőségünk nyílt három fafaj természetes fakéregének a páraáteresztését is kutatni. A vizsgálatokat kiértékeljük és további kutatási lehetőségeket határozzunk meg.

## ***2. Általános ismeretek a hőszigetelésről***

Az épületfizikában három hőközlési formát különítünk el (hővezetés, hőáramlás, hősugárzás) vannak szerkezetek, ahol e három fizikai jelenség együttes hatása eredményezi az anyagon keresztül fellépő hőáramot.

- A hővezetés vagy más néven (*kondukciónak*) során a test egymással közvetlenül érintkező elemi részecskéi hőmozgásuk következtében adják egymásnak a „hőt” azaz rezgési energiájukat. A hővezetéssel történő átadásnak elengedhetetlen feltétele, a hőmérsékletnek egy adott test vagy térfogat különböző pontjaiban fennálló különbsége.
- Hőáramlás (*konvekcionak*) során, a gáz vagy folyadék közegeken belül, a hőmennyiség a részecskék kollektív helyzetváltoztató mozgása során terjed.

- Hősugárzás (*radiáció*) az energia térbeli terjedésének elektromágneses hullámok formájában megvalósuló folyamata, ami közvetítő közeg nélküli mechanizmus. (Osztrólczy, 2009; Hodúr et al., 2007; Gróf, 1999).

Az anyagokban és szerkezetekben hővezetési tényező értéke több jellemzőtől függ, melyek közül a legfontosabbak az anyag milyensége a testsűrűség, a levegőtartalom, a pórusméret, a póruselrendezés, a nedvességtartalom, a rostszerkezet és a rostirány.

### **3. Kéreg jellemzése, struktúrája, alaptulajdonságai**

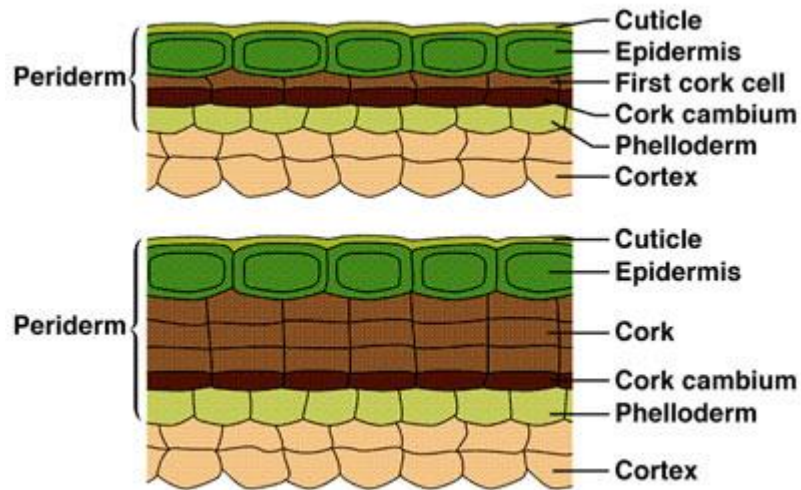
#### **3.1 Általános ismeretek**

Kéreg alatt általában a fatestet védő külső szövetrendszert értjük. A kéreg valójában elhalt szövetrészt, mely már nem vesz részt a fa anyagcseréjében, de védi a törzs élő szöveteit a kiszáradás, a fagy, a sérülések és a betegségek ellen. Létrejön a fatörzs vastagodásával függ össze, amikor a törzsben működő osztódó szövet, a kambium folyamatosan új sejteket hoz létre az elsődleges kéregben. Ilyenkor a fiatal fa szárát borító bőrszövet (epidermisz) sejtjei egy ideig nyúlásos növekedéssel ellenállnak a belülről jövő nyomásnak, de végül felszakadnak (Fodor, 2004).

Az elsődleges növényi szárát, hajtást a (elsődleges) bőrszövet borítja, melynek sejtjei viszonylag vékony falúak, egymáshoz szorosan illeszkednek, a külső oldalon pedig jelentős mennyiségű viasz védi. A fás növényekre jellemző, hogy több évig élnek, és az élettartamuk alatt folyamatosan növekednek. Ez a növekedés együtt jár a hajtások vastagodásával is. A hajtás vastagodásával az elsődleges bőrszövet csak egy rövid ideig tud lépést tartani, általában felszakad. Ha keresztmetszetben nézünk egy kétszikű szárát, akkor a szállítóyaláb rendszer és az epidermisz között elhelyezkedő parenchimatikus szövetet tekintik elsődleges kéregnek) része (cortex) is felreped (Gyurján, 1996).

Az epidermisz és az elsődleges kéreg ilyen sérülése káros, mert a fertőzések számára a mélyebben fekvő szövetek elérhetővé válnak, valamint megszűnik a párolgás elleni védelem is, így könnyebben kiszáradhat a fatest.

Ezért általában az elsődleges kéreg belső részeiben egy sejtsor újra osztódóvá válik és új bőrszövetet hoz létre. Erről a másodlagos merisztémáról (osztódó szövetről) akkor beszélünk, ha egy, már állandósult szövet sejtjei újra visszanyerik osztódó képességüket. Ilyen pl. sérüléskor jöhet létre ezt hívjuk parakambiumnak vagy más néven fellogénnek. Ezek a sejtek vékony falúak, nagyméretűek. Nagyrészt a felszínnel párhuzamos falakkal osztódnak, és kifelé parabórt (fellom), befelé paraalapszövetet, vagy másodlagos „kérget” (cortex), más néven fellodermat hoznak létre ( 2. ábra).



2. ábra Kéreg keletkezése

A fellom sejtjei a kialakulásuk után gyorsan elhalnak, miközben a sejtfalba szuberin rakódik. Ezt a folyamatot nevezzük elparásodásnak. A berakódás hatására a sejtfaalak víz számára teljesen, gázok számára majdnem teljesen átjárhatatlanok lesznek. A felloderma sejtjei az elsődleges kéreghez hasonlóak, plazma tartalmúak, viszonylag vékony falúak, parenchimatikusak.

A több évig élő fás növények szárában a parakambium évről-évre egyre mélyebben alakul ki. Bár a fellogén befelé létrehoz felloderma sejtet is, kifelé több sejtsort növeszt. Ennek következtében a kéreg (cortex) parenchimatikus sejtjei egy idő után elfognak.

Az évek folyamán a fás szár keresztmetszeti növekedésért felelős kambium kifelé évről évre hánccsűrűket hoz létre. A cortex „vékonyodásával” a parakambium egyre közelebb kerül a legkülső (legkorábbi, egy idő után már nem működő) hánccsűrűhöz. Amikor a cortex „elfogy” a parakambium kialakulása a következő évben behatol a hánccsűrűbe, és az ott található élő sejtéből (hánccsparenchimák) alakul ki. Innentől kezdve a felületi szövet már nem csak a parakambium által létrehozott fellom sejtjeiből áll, hanem közé keverednek a hánccsűrűből származó elemek (hánccsrostok, rostasejtek, rostacsövek stb.) is. Az ilyen módon létrejövő, több év alatt megvastagodó, általában jellegzetes módon felrepedező szövetet nevezik harmadlagos kéregnek vagy héjkéregnek (ritidóma). A legkülső rétegek jellegzetes kéregcserepek formájában leválhatnak a felületről. A ritidóma legfontosabb feladata, hogy mechanikai sérüléstől védje a hajtást, megakadályozza a vízvesztést, illetve csökkentse a fagyhatást. Egyes anyagcsere termékek (pl. csersav) felhalmozódhatnak a kéregben (Gracza, 2004; Mihalik et al., 1999; Sárkány et al., 1957; Haraszty, 1988; Biebl et al., 1950).

A héjkéreg igen változatos, egy-egy fafajra jellemző, formákat ölthet (Gencsi, 1980):

- a) **sima kéreg** (pl. bükk, gyertyán, mogyoró stb.) akkor alakul ki, ha a fellogén nem hal el, tehát a ritidóma ez esetben egy folyamatosan vastagodó periderma. A kéreg szilárdságát a hánccsűrűben gazdagon képződő kösejtcsoportok adják;
- b) **sávokban, csikokban leváló kéregtípusok:**



- a vízszintes csíkokban leváló gyűrűs kéreg (pl. cseresznye, nyír)
  - a függőleges sávokban leváló kéreg (pl. tuja, boróka)
- c) **cserepes (repedezett)** kérge van a legtöbb erdei fának. Itt a peridermák nem alkotnak összefüggő gyűrűt, hanem az egyes kéregrészekben (ormók, cserepek pikkelyek) elkülönülten képződnek. E kéregtípus további négy csoportra bontható:
- pikkelyesen leváló (pl. lucfenyő, erdeifenyő törzs felső harmada),
  - táblásan leváló kéreg (tiszafa, platán, hegyi juhar)
  - vastagabb cserepekben leváló (pl. kőris, szil, tölgy, körte stb.)
  - barázdásan repedezett, amely különösen az idős fák alsó törzsszakaszaira jellemző (pl. akác, cser, korai juhar stb.)

A fa korával változik a kéreg morfológiája is. A ritidóma különböző idő alatt fejlődik ki az egyes fafajoknál. Így az akácnál, fűznel 6-10 év, az erdei-, feketefenyőnél, hársnál 8-12 év, az égernél 15-25 év, a nyárnál és a cseresznyénél 20-25 év, a tölgyeknél 25-40 év, míg a jegenyefenyőnél, gyertyánál 50 év alatt. Egyes héjkéreg típusok rostokban gazdagok (pl. tölgyek, akác), mások rostszegények (pl. erdei-, lucfenyő, tiszafa, platán, hegyi juhar).

A kéreg vastagsága függ a fafajtól, a kortól és az ökológiai tényezőktől, sőt a fa egyes részeiben is más és más lehet (Fekete, 1951). A magyarországi erdőkben kitermelt faanyagról eltávolított kéreg mennyisége évente országosan eléri az 5-600 ezer köbmétert, ami összességében óriási mennyiséget képvisel, mely folyamatosan oszlik el az elsődleges fafeldolgozás területein (Börcsök, 2010). A kéreg - a fafeldolgozás során - a legtöbb esetben - jellegéből fakadóan - melléktermék szerepbe szorul. Fő felhasználási területei az energiatermelésre (magas hamutartalma miatt nem megfelelő energiahordozó) és bizonyos fafajok esetében a talajtakarásra korlátozódnak (kémiai összetétele miatt, több hazai fafaj nem alkalmas e célra) (Molnár, 2004).

Fontosabb fafajaink kéregszázalékát elemezve Sopp, Kolozs (2000) és Nyikosov (1985) viszont azt állapították meg, hogy a fatesthez viszonyítva a kéreg mennyisége 5-24% között változik. A magyarországi fakitermelésben döntő szerepet játszó akác, tölgy és nyár különösen nagy kéreghányadúak. Természetesen a kéreg sűrűsége számos tényezőtől függhet, mint pl. életkor, földrajzi elhelyezkedés, nedvességtartalom.

Két fő részre bontható: hánocsra (floem) és héjkéregre (ritidóma). Élettani szempontból a hánocs test igen fontos szerepet tölt be a tápanyagok szállításával, raktározásával. Az elparásodott héjkéreg pedig védi az élő fát a mechanikai sérülések, a vadkár, a tűz és egyéb külső hatásokkal szemben (Oskolski, 2010).

### 3.1.1 A háncs

A fenyők a rostacsövek helyett rostasejteket tartalmaznak, továbbá található bennük háncsparenchima, háncsrost és bélsugár. Előfordulnak pótlóháncsrostok és rekeszes háncsrostok is. Sajátos háncselemek a háncsparenchimákból kifejlődő kősejtek (szklereidák) és a prozenchimatikus kambiform rostok. A vékony falú rostacsövek az edényekre hasonlítanak, áttört harántfalúakat rostalemeznek nevezzük. Kísérő sejtekkel együtt jelennek meg, csak a lombos fákra jellemzők. A fenyőknél a rostasejtek falain minden oldalról pórusok találhatóak. A rostacsövek és a rostasejtek elsősorban a nagy molekulájú szerves anyagokat szállítják. A háncsparenchimák a lombos fáknál és fenyőknél egyaránt ellátják a vízben oldódó, kisebb molekulájú tápanyagok szállítását. Gyakran keményítőt, csersavat, gyantát, kristályos és egyéb anyagokat raktároznak. A héjkéreg vastagodása során a háncsparenchimák átalakulhatnak kősejtcsoporttá vagy parakambiummá. A kősejtek általában a simakérgű fafajokra (pl.: bükk, nyír, jegenyefenyő) jellemzők és igen merevvé, keménnyé teszik a háncsot (Butterfield et al., 1997).

### 3.1.2. A héjkéreg

A különböző növényi részeket védő elsődleges bőrszövet, az epidermisz a hajtásképződmények fejlődése során nem tudja a szárvastagodást követni, ezért felrepedezik, tönkremegy. Pótlására belőle, vagy az alatta lévő elsődleges kéregből létrejön a parakambium (fellogén). A fellogén kifelé gyorsan elparásodó, sűrű sejtsorokat, a fellomot alakítja ki. Befelé parenchimatikus sejtekből létrehozza a keskeny felloderlát. E három réteget - fellom, fellogén, felloderma - együttesen másodlagos bőrszövetnek vagy peridermának (parabőrnek) nevezzük. A vastagsági növekedés során a belső nyomás, és a külső, éghajlati korróziós hatások következtében a periderma megreped, lemorzsolódik. Így a fellogén elhal, s pótlására a kéreg belsőbb sejtjeiből, (a háncsparenchimákból) kialakul egy újabb parakambium. Ennek működésével belső peridermák képződnek. Tehát a külső kéreg vastagodásával a fellogén folyamatosan befelé halad, újabb részeket sajátítva ki a vaszkuláris kambium által évente gyarapodó háncsból. A felrepedező peridermarétegek a közjük zárt kéreg- és háncsrészekkel együtt alkotják a harmadlagos bőrszövetet vagy héjkérget (ritidómát). A fa korával változik a kéreg morfológiája is. Egyes héjkéregtípusok rostokban gazdagok (pl. tölgyek, akác), mások rostszegények (pl. erdei-, lucfenyő, tiszafa, platán, hegyi juhar). A héjkéreg jellemző morfológiája elősegíti nemcsak a fafajok azonosítását, hanem a fajon belüli ökotípusok, változatok, fajták elkülönítését is (Molnár et. al., 2007).

### 3.1.3. A kéreg néhány fizikai és kémiai jellemzője

A kéreg elemi összetételét tekintve a fatesttől lényegesen csak a hamualkotókban (egyéb elemek) tér el.

1. táblázat A lucfenyő fateste és kérgének elemi összetétele (%) (Ugolev, 1986)

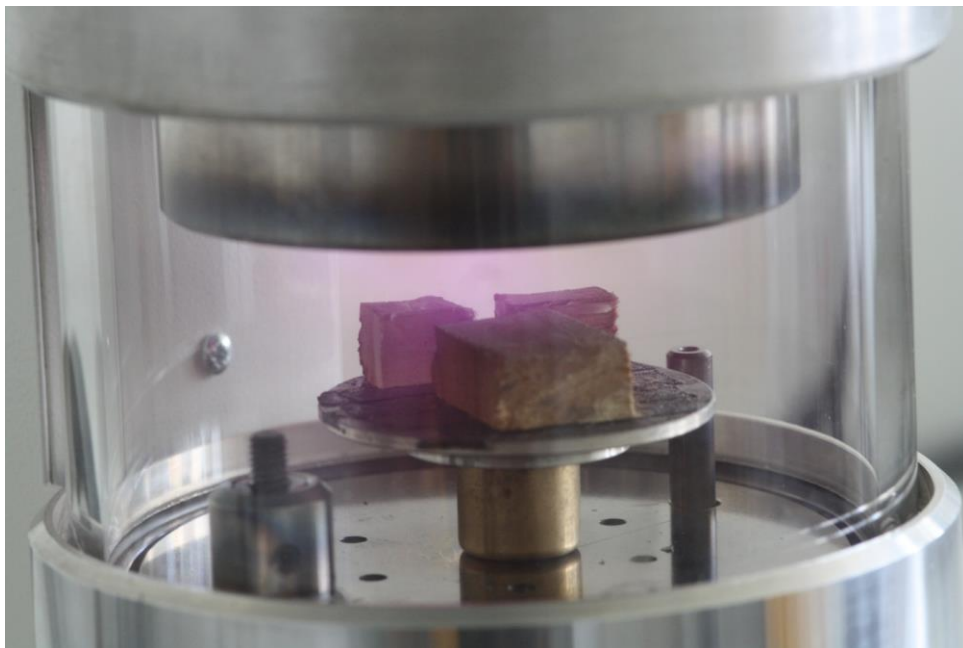
	Szén	Hidrogén	Oxigén	Egyéb elemek
Fatest	50,0	6,0	43,5	0,5
Háncs	51,5	5,7	38,8	4,0
Héjkéreg	44,4	6,4	45,4	3,8

Jól látható (1. táblázat), hogy a héjkéreg jóval gazdagabb ásványi anyagokban, mint maga a fatest. A háncs és a héjkéreg szervesanyag-összetételére jellemző a kevés cellulóz. Míg a fatestben 40-50% cellulóz található, addig a háncsban 18-25%, a héjkéregben pedig mindössze 3-17% (Ugolev, 1986). Jellemző a kéregre a vízben oldódó járulékos anyagokban való gazdagság és a parásodáshoz nélkülözhetetlen szuberin jelenléte is. A szuberin különböző szerves savak és metil észterek amorf elegye. Kémiai összetétele igen bonyolult. A fatestben csak mechanikai sérülések reakciójaként keletkezik. A járulékos anyagok közül különösen a cserzőanyagok jelenléte a jellemző. A korábbi évtizedekben csersavtermeléshez felhasználták a tölgyek, a lucfenyő, a fűzek és a szelídgesztenye kérgét is, mivel csersavtartalmuk jelentősen meghaladja a fatestét. A frissen leválasztott háncs nedvei 55-60%-ban erjeszhető cukrokat (glukózt, fraktózt, mannózt) tartalmaznak (Szendrey, 1986). A háncs nedvességtartalma általában 7-10-szer nagyobb, mint a héjkéregé. Tehát a kéreg átlagos nedvességét döntően befolyásolja a háncs és a héjkéreg mennyiségi aránya. A fakitermelést követően a kéreg átlagos nedvességtartalma még igen nagy: az erdeifenyőnél átlag 120%, a lucfenyőnél 112%, a bükknél 127%, a nyírnél 58%. A héjkéreg a rönktéri tárolás során a legtöbb fafajnál viszonylag gyorsan veszíti víztartalmát. A fűrészüzemi kérgezésig a pikkelyes kérgű luc- és erdeifenyőnek az átlagos nettó nedvességtartalma 60-70%-ra csökken, míg a gyűrűsen leváló nyíré gyakorlatilag nem változik (Ugolev, 1986). A kéreg tömegre számított fűtőértéke gyakorlatilag megegyezik a fatestével (18-20 MJ/kg). A tüzeléstechnika szempontjából azonban figyelembe kell venni a tüzelőanyag térfogatát is. Németh. (1983) vizsgálatai szerint ilyen szempontból lényegesen kedvezőtlenebbek a kéreg jellemzői: pl. az abszolút száraz akác fatest fűtőértéke 13 526 MJ/m<sup>3</sup>, a kéregé pedig 4 983 MJ/m<sup>3</sup> volt.

## 3.2. Mikroszkópos vizsgálat

### 3.2.1. Pásztázó elektronmikroszkópia és a karakterisztikus röntgensugárzás

A pásztázó elektronmikroszkóp (Scanning Electron Microscope = SEM) a vizsgált mintadarab felületéről úgy alkot képet, hogy nagy energiájú elektronsugárral pásztázza azt. Az elektronok kölcsönhatásba lépnek a mintafelületének atomjaival, jeleket hoznak létre, amely információkat tartalmaz a minta felületi topográfiájáról, összetételéről és más tulajdonságokról, mint például az elektromos vezetőképességről. A jelek annak eredményeként jönnek létre, hogy az elektronsugár kölcsönhatásba lép a minta felületén vagy annak közelében található atomokkal. A leggyakoribb érzékelési üzemmódban szekunder elektronok segítségével alkothatunk nagy felbontású képeket a mintadarab felületéről, feltárva részleteket akár 1-5 nm-es felbontásban. A visszaszórt elektronok (Back-scattered electrons = BSE) a kibocsátott nyaláb elektronjaiból származnak, amelyek rugalmasan tükröztek a minta elektronjaival és szóródtak. BSE vizsgálatokat gyakran együtt használják analitikai vizsgálatokra, a karakterisztikus röntgensugárzás segítségével. Mivel a BSE jel intenzitása szorosan összefügg a minta atomjainak rendszámával ( $Z$ ), a BSE tájékoztatást ad a különböző elemek eloszlásáról a minta felszínén. Karakterisztikus röntgensugárzás akkor alakul ki, ha a minta egy atomjának egy belső elektronhéjáról üt ki egy elektront az elektronsugár, ami hiányt egy magasabb energiaszintű elektron tölt be, miközben energiát bocsát ki. Ezeket a karakterisztikus röntgensugarakat lehet a minta felszínén előforduló elemek azonosítására és mennyiségének mérésére használni. A 3. ábrán láthatjuk a három kéregfaj katódpásztázását és az elkészült bevonatot.





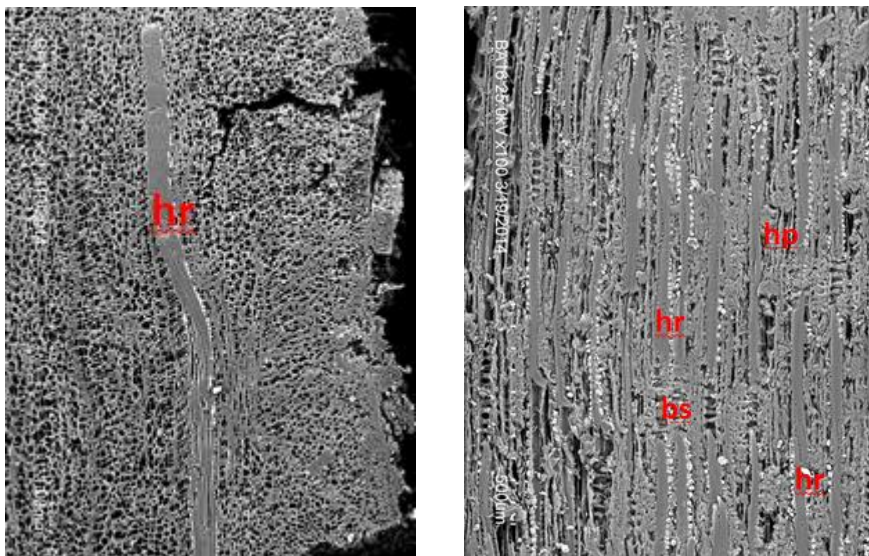
3. ábra Katódpásztázással készülő bevonat, bevonatos kéreg próbatetek

### 3.2.2. Vizsgált fajok jellemzése

#### Nyár

**Háncs.** A korai háncs rostacsövekből, kísérősejtekből és háncsparenchimából áll, háncsrostok nincsenek. A parenchima mezőkben helyezkedik el, nagyobb a mennyisége a késői pásztában. A bélsugarak egy sejt sorosak. Háncsrostok a késői pásztában a pásztahatáron, kissé tangenciálisan megnyúlt csoportokban helyezkednek el.

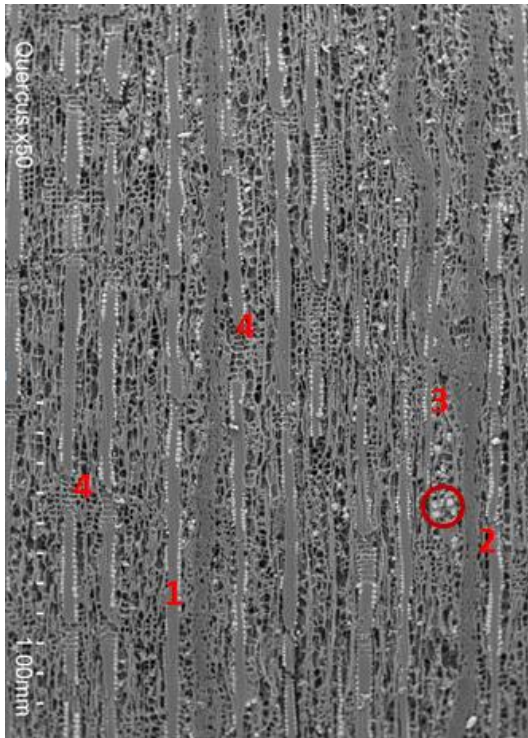
**Héjkéreg.** A kéreg külső részében sok a kősejt, melyek mellett főleg paraszövetet találunk. A bélsugarak kiszélesedhetnek a kéreg széle felé haladva (4. ábra).



4.a-b ábra/a Radiális metszet, kéreg széle. Főleg paraszövetet látunk, melybe beékelődik a háncsrostok egy kötege (hr).



*/b Mélyebb részből származó kép, szintén radiális metszet. Háncrost kötegek jól kivehetők, közöttük rostacsövek, kísérősejtek, és háncsparenchima tömege látható, melyeknek vékonyabb a fala, ezért metszéskor jobban elmosódtak (hp). Helyenként egy-egy sejtsor széles bélsugar futásának egy részlete látható (bs).*



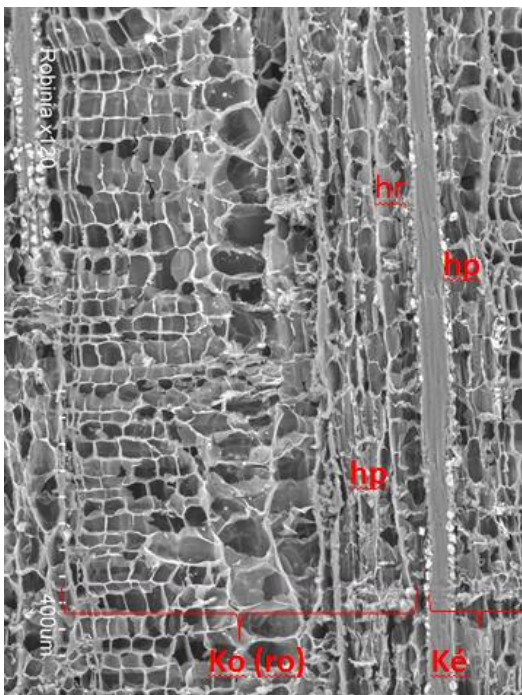
## Tölgy

A másodlagos **háncsban** a háncsrostok kötegekbe rendeződnek. A széles bélsugarak jól megfigyelhetők. A héjkéregben, illetve a háncs héjkéreg közeli részében nagyobb kősejtcsoportok figyelhetők meg. A háncsban a korai pásztában főleg rostacsövek vannak jelen, a késői pásztában pedig szinte csak háncsrostokat és háncsparenchimát találunk. A külső részeken a háncsrostok jól azonosítható nyalábokat, szigeteket alkotnak, közöttük kristálytartó sejtek azonosíthatók.

Maga a **héjkéreg** parásodott szalagokból áll, melyben a közrefogott háncsból származó rostacsövek és háncsparenchima sejtek szerkezet nélküli tömeggé préselődtek össze

(5. ábra).

**5. ábra** Radiális metszet. A másodlagos háncs gyűrűs szerkezetű, jól láthatók a vastag sejtfallú háncskötegek (1). A héjkéreg közelében nagyobb kősejt csoportok is vannak (2). A felülethez közeli részeken a háncsparenchima és a rostacsövek összenyomódott kötegeket alkotnak (3). A kisebb bélsugarak zezugosan haladnak, megszakítják a rostkötegeket, parásodott részeket (paraszövetet) (4).



## Akác

**Háncs.** Radiális irányban 3-5 sejtsor széles bélsugarak tagolják. Tangenciálisan (húrirányban) pedig nyalábokban álló háncsrostok azonosíthatók. A háncs évgyűrűszerkezete jól felismerhető. Tavasszal néhány sejtsor szélességben rostacsövek képződnek, majd háncsparenchima. Ezek együttesen alkotják a korai pásztát. A késői pásztában háncsrostok és háncsparenchima mező ismétlődik kétszer-háromszor. Kősejtek a fiatal kéregben találhatóak, később általában hiányoznak, a kéreg tágulásakor keletkeznek a bélsugarsejtek segítségével. **Héjkéreg.** A

sejtek fala viszonylag vékony, de parásodott, lapos, téglalap alakúak (6. ábra).

**6. ábra** *Radiális metszet, 120× nagyítás. Egy évgűrű egy részlete. Korai pászta (ko), késői pászta (ké), Rostacsövek kísérősejtekkel (ro), háncsparenchíma (hp), háncsrost kötegek (hr)*

A kristályok minden bizonnyal kalcium-oxalát kristályok, melyek a háncsrostokat kísérő parenchimatikus sejtekben találhatóak (Troockenbrodt, 1995; Şen et al., 2011; Quilhó et al., 2013).

## 4. A kéreg szakirodalmának áttekintése

A kutatómunka során összegyűjtöttem a kéreg felhasználásával kapcsolatos fontosabb publikációkat.

### 4. 1. A kéreg jellemzői

A fa kérgé sok organizmusnak és erdei ökoszisztémának nyújt otthont. Különböző bogarak, rovarok, madarak és denevérek lakhelyeül szolgál egy-egy fa repedezett kérgé. A legtöbb egyed nem rongálja életének környezetét, viszont vannak bizonyos élőlények, melyek ottlétükkel károsítják a faanyagot. Ezért a fenyőféléknél (*Pinus*) a kérgben végbemenő gyantaáramlás a szűfélék elleni védekezésben fontos szerepet tölt be (Popp et al., 1991). Mikor az erdő szerkezeti sajátosságait vizsgálják (élő és holt fa szárak, ágak és levelek), a kérgszerkezetet soha nem szokták figyelembe venni. MacFarlane . (2009) létrehozta egy új mennyiségi mérőszámot, mellyel számszerűsíteni tudják a kéreg szerkezetét (bark-fissure index –BFI).

Elemi analízist végeztek fenyő (*Pine*) kéreg és fatest szennyezettségével kapcsolatban. A kísérletet Nyugat-Finnországban végezték légszennyezett- és viszonylag szennyezetlen területek közelében gyűjtötték be a mintákat. A szennyezett területről, gyárak mellől származó minták egyes nehézfém tartalma magasabb volt, ami közvetlen hatása a légköri szennyeződésnek. A szennyezett kohó melletti területeken a nehézfémek koncentrációs aránya egyértelműen emelkedett. Megállapították, hogy olyan kérget, ami szennyezett területről származik, egyértelműen nem szabad az erdőbe bármilyen formában visszajuttatni (Saarela et al. 2005).

A kéreg nem csak az időjárási viszonyoktól, a vadragástól, a rovarkárosítóktól védelmezi a fát, de erdőtüzek esetén is döntő szerepet játszik. Több vizsgálat is folyt a témában. Bauer et al. (2010) megvizsgálták, hogy mennyi a valószínűsége egy fa túlélésére, ha a felülete tűznek van kitéve. Ezek az arányok nagyon széles körben változnak, az összes szövet szigetelőréteggént szolgál. Laboratóriumi kísérleteket folytattak 7 fajjal, felszíni hőtermelésként erdőtüzet szimulálva (vizsgált idő: 21 perc). A vizsgált példányok 21-32 évesek voltak és a földtől 40-120 cm magasságban vágták ki őket, a kísérletig a kiszáradás elkerülése érdekében műanyag zsákokban tárolták őket. A vizsgálatok a nedvességtartalom- és a vastagság változását is szem előtt tartották. A kapott eredmények azt mutatják, hogy a tűzállóság növekszik a kéreg sűrűségének csökkenésével. A vizsgált fajokot csoportokba szelektálták. Az egyik csoportba tartoztak azon fajok, amelyek környezetében gyakran előfordul erdőtűz (Paratölgy (*Quercus suber*); Óriás mamutfenyő (*Sequoiadendron giganteum*)), a másik csoportba pedig azon fajok kerültek, ahol az erdőtüzek nem játszanak meghatározó szerepet (Bükk (*Fagus sylvatica*); Jegenyefenyő (*Abies alba*); Kislevelű hárs (*Tilia cordata*); Erdeifenyő (*Pinus sylvestris*); Vörösfenyő (*Larix decidua*)). A csoportokat tovább



bontották a kéreg struktúrája szerint is. A kéreg tűzállósága függ a vastagságától és, hogy a fafajok közötti eltérő fizikai tulajdonságok csak elhanyagolható mértékben játszanak befolyásoló szerepet. Következtetésük alapján megállapítható, hogy a fő paraméter egy adott kéregnél a vastagság és a nedvességtartalom. A sűrűség és a kéregszerkezet csak kismértékben járul hozzá a kéreg tűzállóságához. Egy másik vizsgálat is alátámasztotta, hogy a kéreg vastagsága döntő szerepet játszik erdőtüzek esetén. A tanulmány nem támasztotta alá, hogy a gyakran égésnek kitett fenyőfáknak (*Pinus Palustris*) a tűz negatívan vagy pozitívan befolyásolja a kéreg-növekedést (Wang 2011).

## **4.2. A kéreg felhasználásának lehetőségei**

A világon az évente keletkező kéreghulladék elérheti a több millió köbmétert. Már a XX. század közepén is nagy problémát jelentett a fakitermelésnél- és feldolgozásnál keletkező hatalmas kéregmennyiség elhelyezése, melyet a legtöbb esetben szeméttelpekre hordtak (Weissmann, 1976). Manapság a kaliforniai fűrésztelepen keletkezett kéregmaradványok becslések szerint összesen 2,2-2,6 Millió tonnát tesznek ki (Yang, 2008). Kanadában évente közel 17 millió m<sup>3</sup> kéreg keletkezik, melynek a felét égetni vagy hulladéklerakóba szállítják (Xing et al., 2006). A különböző fafajok kérgéi között jelentős különbségek vannak. Ezen különbségek jelentős mértékben határozzák meg a felhasználási lehetőségeket.

A kéreg – a fafeldolgozás során – a legtöbb esetben – jellegéből fakadóan – melléktermék szerepbe szorul. Fő felhasználási területei az energiatermelésre és bizonyos fafajok esetében a talajtakarásra korlátozódik. Fontos feladat a kéreghasznosítás mielőbbi hatékony megoldása.

### **4.2.1. Energetikai hasznosítás**

A fokozódó nyersanyaghiány miatt, egyre inkább szükséges az alternatív tüzelőanyagok felkutatása. A pellet általában fűrészporból, faforgácsból és szabáshulladékból áll, de az ipar elkezdte a különböző alternatív nyersanyagok felkutatását. Norvégiában a papírfának használt erdei fenyő kérgét vizsgálták, mint potenciális pellet nyersanyag. A kísérlet 5, 10, 30 és 100%-os kéregtartalommal folyt. A tartósság az összes osztályban azonos minőségű volt. Sűrűsége magasabb volt, mint a tiszta fa pelleté. Minél több kéreg volt a keverékben a hamutartalom annál inkább nőtt. A kísérlet során elért eredmények alapján a legjobb minőségi osztályt a 10%-os kéreg aránnyal készült pellet érte el, 0,7%-os hamutartalommal (Filbakk et al., 2011).

Biomassza csoportosításánál a kéreg eredete szerint a melléktermékek és hulladékok csoportjába sorolható. Brikettként (biobrikett, tűzipellet) való hasznosításánál általában összekeverik szalmával, fűrészporral. Viasz –adalék anyagként való- hozzáadása javítja

a biobrikett szilárdságát, de az adalékanyagoknak lehet kondicionáló (nedvességtartalom csökkentő) szerepe is. Legfőbb jellemzője a nagy sűrűség, illetve tömörség (1-1,3 g/cm<sup>3</sup>) (Baros, 2003).

A 2. táblázat néhány biomassza alapanyag kémiai összetevőit, tüzelési értékeit mutatja be.

**2. táblázat** *A tüzelőanyagként felhasználható biomassza elemi összetétele és fűtőértéke*

Biomassza	Kémiai összetevők (%)					Hamu (%)	Fűtőérték (MJ/kg)
	C	H	O	N	S		
Búzaszalma	45	6,0	43	0,60	0,12	5,28	17,3
Kukoricaszár	44	5,8	40	1,30	0,12	8,78	17,5
Fa	47	6,3	46	0,16	0,02	0,52	18,5
<b>Kéreg</b>	<b>47</b>	<b>5,4</b>	<b>40</b>	<b>0,40</b>	<b>0,06</b>	<b>7,14</b>	<b>16,2</b>
Kínai nád	46	6,0	44	0,70	0,10	3,20	17,4

A táblázat alapján megállapítható, hogy a kéreg hamutartalma magasabb, mint más, biomassza alapanyagoké (kivéve a kukoricaszár), fűtőértéke pedig kissé elmarad tőlük (Pecznik., 2002).

Minél alacsonyabb egy anyag hamutartalma, annál alkalmasabb energetikai hasznosításra. Így megállapítható, hogy a kéreg magas hamutartalma miatt nem alkalmas tüzelőanyagként. Fontosabb fafajaink kérgének hamutartalma a 3. táblázatban látható. A vizsgált kéregminták hamutartalma 2 és 7% között mozog.

**3. táblázat** *Fontosabb fafajaink kérgének hamutartalma (Molnár, 2004)*

Fafaj	Hamutartalom (%)
luc-, jegenyefenyő, nyír	2,0-3,0
erdei-, feketefenyő, akác, nyár, éger, bükk	3,0-4,0
tölgyek, gyertyán	4,0-7,0
szil, juhar	7,0-9,0

A trópusi fafajok többsége gazdagabb ásványi anyagokban, e fafajok kérgének hamutartalma elérheti a 10%-ot is (Szendrey, 1986).

Egy tanulmány szerint reális lehetőségek rejlenek az európai erdőkben, a fa energetikai célú hasznosítása az elkövetkező években növekedni fog (Verkerk et al., 2011).

Harkin. (1971) megállapították, hogy tíz tonna teljesen kiszáritott kéreg átlagos bruttó fűtőértéke egyenértékű 7 tonna szén fűtőértékével.

A tömegesen keletkező kéreghulladék igen magas nedvességtartalma jelentősen csökkenti az energetikai hasznosítás hatékonyságát, mivel az energia jelentős részét a kéreg nedvességtartalmának elpárologtatása igényli. Így 60% nettó nedvességtartalom felett a kéreg nem tüzelhető el hatékonyan. Lehetőség szerint törekedni kell a

különböző fajok kérge közötti nedvességtartalom-különbségek tudatos figyelembevételére (Molnár, 2004).

Kémiai aktivációs technikával aktív szén állítható elő az eukaliptusz kéregből, foszforsav segítségével. Az eukaliptusz kéreg azért volt megfelelő alany a kísérlethez, mert viszonylag magas szén (több mint 40%) tartalommal rendelkezik és hamutartalma kevesebb, mint 1,35% (Patnukao., 2008). Az aktív szent kitűnő adszorpciós tulajdonságai révén, az ivóvíz tisztítására, a szennyvizek kezelésére, a levegő szennyeződéseinek eltávolítására, az oldószerek visszanyerésére, a cukor fehéritésére használják.

#### **4.2.2. Mezőgazdaság**

A mezőgazdasági hasznosítás legegyszerűbb útja egyértelműen a talajtakarás (mulcsozás). Ha a növényzet még nem árnyékolja be teljesen a talajt, a feladat a talajfelszín betérítése vékony fakéreggel. Ez a takarás megvédi a talaj élővilágát a tűző naptól, az esőtől, a túlzott vízvesztéstől (Nagy et al., 1998). Csemetékertben kéreglisztből 2, 3 cm-es takaróréteget képezve, az örlemény kémhatását mészadalékkal közel semlegesre beállítva, csaknem az erdei viszonyoknak megfelelő feltételek teremthetők- állítja Bittner. (1975). Egy kísérletben a talajtakarásra felhasznált aprított és osztályozott luc- és erdefenyő, valamint tölgykérgel amellet, hogy bomlástermékeivel a növényeket tápanyaghoz juttatta, eredményesen hasznosították a zöldség, valamint földieper termesztésben (Blossfeld, 1977).

A mulcsozás előnyei közé tartozik, hogy csökkenti a párolgást a talaj felszínén, segíti a talajban lévő mikroorganizmusok működését, lassabban bomlik, mint a fa, az alacsonyabb „nitrogén- fogyasztása” miatt kevesebb műtrágya szükséges, a nehéz talajba kevert kéreg levegőztetőként hat- megelőzi a talajtömörödést, növeli a víz felszívódását és a termőtalaj erózióját is csökkenti. Ugyanakkor nem minden kéreg fajta alkalmas a talajtakarásra a nagyfokú vegyi anyag tartalma miatt (Wihiting et al., 2011). Ilyen fajok példál az akác, a nyár vagy a tölgy.

A mulcsozás a leghatékonyabb mód a gyomnövények ellen. Javítja a nedvesség megtartását, a talaj szerves anyag arányát. Megvédi a növényeket a fagytól. Dekoratív. Kb. 2-3 évig tart. Játszóternek is kiváló- tompítja az ütést. Lovardák takarására is megfelelő ([www.woodsidebark.ie](http://www.woodsidebark.ie)). Viszont Harkin (1971) szerint a szállítás igen magas költségekkel jár. A mulcsozás a fenyőkéreg felhasználására megfelelő megoldás lehet.

A kéreg almózási célokra is felhasználható. Előnyös tulajdonsága, hogy képes a levegő ammóniatartalmának megkötésére. A 4-5 mm-nél kisebb kéregörleményből készült alom semmiféle károsító hatással nem volt a kísérleti baromfiállomány táplálkozására és súlygyarapodására. A tülevelű- és lombos fajok kérge egyaránt felhasználhatónak bizonyult almózáásra (?) (Labosky et al., 1977).

A fakérgel több éves érlelés (komposztálás) után lehet ajánlani természetközegként történő felhasználásra, ugyanis az érlelés alatt javul a közeg humuszállapota,

adszorpciós- és pufferképessége valamint nedvesíthetősége (Sári, 2008). Minden kéreg tartalmaz különböző mértékben védőanyagokat (pl.: gyanták, zsírok, cserzőanyagok, fenolok) (Gerencsér, 2010).

Asztalos. (1975) tanulmánya szerint a fakéreg megfelelő előkészítéssel azonos értékűnek tekinthető a tőzeggel. A nagyüzemi kísérleteket Lengyelországban 1973-ban kezdték el, amikor 10 000 t kérget komposztáltak, majd 1974-ben folytatták a kísérleteket 30 000 t komposztált kérget gyártottak. Az eddig előállított kéregkomposzt fő felhasználója a városi parképítő vállalatok és a magánszektor. Viszont a bükk kéreg komposztálási kísérleteket az első próbálkozások után abba kellett hagyni, mert toxikus hatásúak voltak (Asztalos, 1977).

Egy szabadalmi találmány tárgya környezetkímélő növénykondicionáló készítmény, és eljárás annak alkalmazására, haszonnövények, főként paprika, paradicsom, uborka, szőlő és káposztafélék kártevők elleni védelmére. A készítmény tartalmaz fűzfakérget (Ábri, 2010)

A kéreg a faanyaghoz képest (faforgács) kevésbé alkalmas közvetlen takarmányozásra. A juhokkal a silózott, aprított rezgőnyár- kéregnek feletetése nem hozott kedvező eredményeket (Dubkin 1978).

A kéreg természetes viszonyok között lassan bomlik, melynek fő oka, hogy nitrogéntartalma alacsony. Komposztálással fel lehet gyorsítani a bomlási folyamatokat. Egy kutatás során megállapították, hogy szabadban 4 hónapot vesz igénybe a teljes lebomlási folyamat, ha a kérget 10 mm-nél kisebb darabokra aprítják (Beresznev, 1975).

Egy kísérletben biotechnológiát alkalmaztak, hogy megtalálják a zöld és alacsony költségű környezeti folyamatokat a füstgáz kezelésére. Biofiltereket alkalmaztak, melyben a technológia viszonylag olcsó, hiszen működik normál körülmények között is (üzemi hőmérséklet és nyomáson). A céljuk volt, hogy az erdei fenyő kérge legyen a biofilter (Andres et al., 2006). Vajda (2002) tanulmányában olajjellegű vegyületek távolítottak el a szennyvízből bioszorbens segítségével (fakéreg). Vizsgálták a lipidek kezdeti koncentrációjának hatását egy szintetikus emulzióban, a folyadék/szilárd arányt, a hőmérsékletet, az időt, a pH-t, a szénlánc hosszának hatását.

Az eredmények azt jelzik, hogy az olajsavtartalmú emulziók kéreggel való kezelése jó hatásfokkal távolítja el a szennyvizekből, mind az alacsony (1,0 g/l alatti), mind pedig a magas (2,0 g/l fölötti) koncentrációjú lipideket. Kísérleteket végeztek a használt kéreg regenerálódásával kapcsolatban is.

### 4.2.3. Lapgyártás kéreg felhasználásával

#### Forgácslapok

Számos erőfeszítést tettek már a kéreg, mint alternatív alapanyag forgácslap és farostlemez gyártási irányában. Az egyik alapvető nehézséget a kérgen található szennyeződések okozzák (szilícium- dioxid tartalmú homok, föld). A forgácslapipari hasznosításban ez a tény korlátozó hatású (Deppe 1977). Másik nehézsége, hogy a kéregrészeszkék arányának növekedése szilárdságcsökkenéssel jár együtt, ennek oka, hogy a kéreg mechanikai tulajdonságai a faanyagétól elmaradnak. A kéreg szerkezeti felépítése ugyanakkor azt a reményt is kelti, hogy a belőlük készített lapok vastagsági dagadása kisebb szorpciós feszültségekkel jár, így lehetőség van azok kiegyenlítődéására. Starecki (1979) egy- és háromrétegű lapokat gyártott, melyben a cellulóz- és papíripar kéreganyagát hasznosította. A kéreg- és forgácsmennyiség arányát 0 és 100% között változtatta. A hajlítószilárdság a kéregarány függvényében csökkent. Azok a kísérleti termékek, amelyeknek a középrésze 65%-ban kéregből állt, még megfeleltek a lengyel szabványkövetelményeknek. A tisztán kéregből készült lapokhoz képest a forgács és kéreg kombinációjából álló lapok közel háromszor nagyobb hajlítószilárdságot mutattak.

Egy tanulmányban MDF lapokat gyártottak 4féle fafaj (nemes nyár, jack fenyő, vörös fenyő, fehér luc) kérgének felhasználásával (Cheng et al., 2006).

Egy másik kutatásban fekete luc kérgével kísérleteztek faforgácslemez gyártása céljából. A ragasztást karbamid- formaldehid gyantával végezték. A kérget megszáritották 60°C-on, majd egy darálóval ledarálták és szitálták. A felületi rétegen 0,02- és 2 mm között részecskéket-, míg a magrétegben 2-6 mm átmérőjű részecskénagyságot használtak. A rugalmassági moduluszt, a szakadást, a lineáris tágulást és a dagadást vizsgálták. Meghatározták, hogy bizonyos feltételek mellett műszakilag lehetséges, hogy a faforgácslemezek tartalmazzanak kérget. A legjobb mechanikai tulajdonságokat egy 36%-os kéreg, 50%-os fa- és 14% gyantatartalomnál érték el (Blanchet et al., 2000).

Az acacia mangium egy gyorsan növekvő faj, mely meghatározó ültetvényé vált Malajziában. A fa körülbelül 10%-os kéregtartalommal rendelkezik, melynek kb. 20%-a extrakt anyag (tannin anyagok) (Hoong et al., 2009). A kérge magasabb ásványi anyag tartalommal rendelkezik, mint maga a faanyag. A kéreg tannin kivonatai fenol vegyületekben gazdag és potenciálisan helyettesítheti a fenol- formaldehid (PF) ragasztókat a rétegelt lemez feldolgozóiparban. Viszont a kísérletek bebizonyították, hogy a kötési szilárdsága miatt a „kéregragasztó” csak belső alkalmazásra használható. Ahhoz, hogy a rétegelt lemeznél külső és belső alkalmazású egyaránt lehessen acacia mangium szilárd extraktumokat (90 rész), kereskedelmi PF-ot (10 rész), és a paraformaldehidet (3%) kell tartalmaznia. Az optimalizált készítmény nyíró szilárdsági eredményei megfelelőek az európai követelményeknek (száraz próba, hideg vízben áztatás vizsgálat, és forrásban lévő tesztet, szabványa EN 314-1 és az EN 314-2:1993) (Hoong et al., 2011).

Nemli (2005) kísérleteikben meghatározták a kéreg-forgácslemez néhány mechanikai tulajdonságát. A kutatáshoz akác és mimóza kérget használtak és vizsgálták a formaldehid kibocsátást, szakítási együtthatót, rugalmassági moduluszt, a belső kötés erősségét és vastagságát. A kéreg használatával jelentősen csökkent a formaldehid-kibocsátás.

Egy másik értekezésben a PF-A és a PF-B gyanta kötési szilárdsági vizsgálatát folytatták (furnérlemez ragasztóanyag). Akácia kéreg porral dolgoztak különböző koncentrációban. A PF-A kötési szilárdsága növekedett, míg a PF-B gyanta szilárdsága nem változott (Miyazaki., 2011).

Magyarországon fakéreglapok gyártására készített kísérleteivel kiemelkedik Winkler András. Már a kutatás megkezdésekor fontos megállapításra jutottak: a kéreganyag lényegesen jobban összenyomható, tömöríthető, mint a faforgács. A kéreganyagot műgyantával keverték össze, majd hőprés segítségével lapokká képezték. A kész termékek fizikai- mechanikai tulajdonságai kevésbé jók, mint a faforgácslapoké, de ez az alapanyagot tekintve természetes. Labor körülmények között 4 és 5 mm vastagságú lapokat készítettek belőle. Alapanyaga a lucfenyőkéreg és a nyárfakéreg volt. A lucfenyő lapok  $900 \text{ kg/m}^3$  sűrűségűek lettek,  $2000 \text{ N/cm}^2$  feletti hajlítószilárdsági értékeket mutattak. (Winkler, 1978).

Egy másik tanulmány tárgya kéreg és hőre lágyuló műanyagok (nagy sűrűségű polietilén HPDE) kölcsönhatásának vizsgálatáról szól (hajlító, szakító szilárdság összehasonlítása). Fekete fenyő és rezgő nyár kérget használtak kompozitok előállításához. A fekete fenyő kompozitból nagyobb szilárdságú anyagot hoztak létre, de sokkal ridegebb a viselkedése, mint a nyár kompozitnak. A legtöbb mechanikai tulajdonság alacsonyabb volt, mint a kontroll fa- műanyag kompozitok, de a szakító szilárdság és a nyúlási eredmények jobbak lettek a kontroll anyagnál (Yemele et al., 2010). Próbálkoztak már a duglasfenyő kéregével fröccsöntött termékek gyártására is (Harkin., 1971).

A kéreg forgácslap- középrészben ajánlott mennyiségeiről különböző vélemények alakultak ki. Kehr (1979) a szakirodalom elemzésével és saját megfigyelései alapján arra az álláspontra helyezkedik, hogy a középrészben 10%-ot meghaladó kéregtartalmú kérgezetlen faanyagot csak többlet ráfordítással járó sűrűsénynöveléssel lehet felhasználni.

### Szigetelőlapok

Különböző szigetelő lemezekként való alkalmazása gyerekcipőben jár. A kéreg kevésbé vezeti a hőt, mint a fa. A fő kérdéses az, hogy a kéreg kitermelési nehézségei, minőségi eltérései, nehéz kezelhetősége mennyire tolerálható. A kéregben általában kevesebb a rosttartalom, mint a fában, ezért alacsonyabb a tartóereje, viszont Skandináviában megállapították, hogy még megfelel az előírásoknak (MSZ EN 13168). Több fánál előfordul a viszonylag magas gyanta- és viasztartalom, ez előny is lehet, hiszen az összepréselésnél nincs szükség más ragasztóanyagra, elég magas hőmérsékleten összenyomni. Ezek a lapok általában faforgáccsal/faaprítékkal vegyítve készülnek, melyekben általában 25% a kéregtartalom (Harkin., 1971).

Egy japán értekezésben említik, hogy a cédrust az országban széles körben használják az építőiparban, viszont kérgétől (mely rostban gazdag és tartós) megszabadulnak. Kísérleteket végeztek a hőszigetelő tulajdonságaira (durvára aprított-, finomra aprított-, összeragasztott kéreg). Eredményeik alapján megállapítható, hogy a durva és a finom aprítás nem sokban különbözött egymástól, 0,073-0,076 W/(mK) között változott. (Sato et al., 2004).

Napjainkban Marius-Catalin Barbu és társai az ausztriai Kuchl kisvárosban található egyetemen foglalkoznak túlevelű kéreglapok készítésével és vizsgálatával, formaldehid kibocsátás mérésével (Heinzmann and Barbu 2013; Kain et al., 2012).

#### 4.2.4. Orvostudomány

Bizonyított tény, hogy az első gyógyszereket a növények szolgáltatták. Hatóanyagaik, mint például az alkaloidák, illóolajok, szénhidrátok, vitaminok, antibiotikumok erdeink élőanyag- tömegének alkotóelemei is. A népi gyógyászat az akác, a fűz, a kőris, a szil és a tölgy kérgének főzeteit ma is számos betegség ellen használja (Rápóti 1974). Több fajtájuk az illatszer ipar gyakran alkalmazott illatot adó vagy illatot rögzítő anyaga. A gyógyszerészetben tapaszok, kenőcsök, bedörzsölő szerek, hajvizek és többféle más készítmények alkotórészeként szerepelnek.

A fűzfakéreg 0,6% szalicint és más glikozidákat, 5-10% katechin csersavat, gyantát, oxalátot, enzimet stb. tartalmaz. A főzetét belső vérzések, bélhurut, reuma, ízületi bántalmak, gyomorhurut, hólyaggyulladás és láz ellen isszák; külsőleg pedig fagyott testrészek és aranyeres bántalmak kezelésére szolgál.

Az akácfa kérgének főzetét helyenként gyomorsavtúltengés, székrekedés, gyomor- és bélfekély ellen használják. A kéreg alkalmazásában óvatosság ajánlatos, mert robin és fazin nevű mérgező fehérjéket is tartalmaz (Rabóti., 1997).

A Magnolia kérgét hagyományosan alkalmazzák kínai és japán gyógyszerekben, illetve jelenleg forgalmazott táplálék-kiegészítőkben és kozmetikai termékekben is megtalálható. (Liu et al., 2007).

Egy tanulmány szerint a teafa szárkérgét Brazíliában a cukorbetegség ellen népszerűen használják. A vizes szárkéreg kivonat csökkenti a vércukorszintet és javult az anyagcsere a kísérleti állatoknál. Ez a népgyógyászatban jól ismert, Brazíliában sok diabéteszes betegnél használják (Vasconcelos et al., 2011). Egy hasonló, Brazíliában őshonos *Byrsonima intermedia* A. Juss („Murici Pequeno”) kérgét régóta használják vérzés, hasmenés ellen, illetve gyulladáscsökkentőként. Mindazonáltal a meglévő tudományos információk korlátozottak tényleges hatásairól. Megállapították patkányokon végzett kísérletekkel, hogy kérge jelentős gyulladáscsökkentő hatást mutat (Orlandi et al., 2011).

A Szub- saharai Afrikában a *Garcinia buchananii* szárkérgét használják hasmenés elleni orvosságként. A kéreg hatékony orvosság a laktóz okozta hasmenés ellen is (Boakye et al., 2012).

Az acacia mangium kérgében, nagy koncentrációban fenolos vegyületek vannak jelen. Ezek a vegyületek nagy antioxidáns tartalmúak, így különböző módon jótékony hatást

gyakorolnak az emberi szervezetre. Kozmetikai és gyógyszerészeti készítményekben egyaránt alkalmazzák. Zhang et al., 2010 tanulmánya vizsgálja, hogy az összes fenol vegyületet hogy lehet a leghatékonyabban kinyerni belőle.

Cinnamomum kéreg vizsgálatában is folyt kutatás. Kimutatták, hogy fájdalomcsillapító és antioxidáns tartalommal rendelkezik bizonyos kivonatokkal elegyítve (önmagában nem). Ez azért lehet, mert a jelenlétében magasabb polifenol koncentrációt mutatták ki. A tanulmány eredményei megerősítik, hogy alkalmas a Cinnamomum kéreg extraktum fájdalomkezelésre (Annegowda et al., 2012).

A kéreg egy fontos kelléke a dél- afrikai orvostudománynak, de sajnos kevésbé dokumentált. A helyi szakirodalomban átfedő népi neve van feltüntetve mindennek, így a növény-azonosítás megbízhatatlan. A legtöbb (43%) kéreg gyógyszert belső kezelésre dokumentálták. 16%-ot soroltak a természetes alapanyagú kategóriába. De 62%-ban hiányoznak a kezelési adatok a gyógyszerekhez (Grace et al., 2003).

A kameruni és a madagaszkári erdőkben élő afrikai meggy kérgét nagy mennyiségben szállítják amerikai és európai gyógyszergyártó cégeknek. A kéregből készített kivonat kiváló gyógyszerként szolgál az idős férfiakat sújtó prosztatatabántalmak elhárítására. De ha az élő fáról lehántják a kérget, az a fa pusztulását jelenti, ezért egyre nagyobb számban jelennek meg ültetvényes formában. Számítások szerint a meggyfakéreg hektáronkénti haszna közelít az eukaliptusz fájának jövedelmezőségéhez. Nemesítéssel még hatóanyagtartalmát is növelni lehet (Szodfridt, 2003).

Egy szabadalom tárgya olyan kozmetikai készítmény, amely hatóanyagként kapszaicint és illóolajokat tartalmaz. Fahéjkérget is, 0,4 %-ban (NEURO CT Pécsi Diagnosztikai Központ Kft., 2010).

A csersavtartalmú növények teáit belsőleg gyomor- és bélvérzés, gyomor- és bélhurut ellen, hasmenés megszüntetésére használják. Külsőleg fogíny ecsetelésére, toroköblögetésre, fagyott vagy gyulladásoz testrészek borogatására, izzadság meggátlására, aranyérés képződésére fürdetésére használják (Rápóti., 1997).

#### 4.2.5. A kéreg egyéb felhasználás

A fakéreg hasznosításának lehetőségét már a régmúltban felismerték. Plinius a Naturalis historia (1669) című nagyszabású művében írja le és rendszerezi (többek között) a fakéreggel kapcsolatos ismereteket. A kéregből leggyakrabban tartó-, illetve tároló-alkalmatosságot készítettek. A pásztorok sót, zsírt és egyebet tároló dobozok készítése mellett erdei kunyhók tetejének fedésére is használták a fenyőkérget, mert: „melegben hűvös”, hidegben pedig „megfogja a meleget”. A kunyhók hideg és nedves földjét fenyőkéreggel borították be.

A gyergyói székelynek tudomása volt a fenyőkéreg cserzőanyag-tartalmáról. A gyergyói erdőségek vadállományából, valamint a háziállatokból származó bőrök feldolgozásakor jól használható volt az erdők gazdag lucfenyő) kínálatából a (*Picea excelsa*). Ez a fenyőféleség adta minden idők egyik legfontosabb és legolcsóbb cserzőanyagát. Ennél valamivel alacsonyabb a jegenyefenyő vagy lucfenyő (*Picea*



*abies*) ??? csertartalma, de mindkét fajta kérge felhasználásra került. A cserzőanyag kinyerése szárítással, őrléssel, áztatással, főzéssel történt. Az így nyert vörösesbarnás (csersav-) folyadékba tették az előzőleg mészlébe áztatott és szörtelenített bőröket (Portik, 2006).

Faipari szempontból érdeklődésre tarthat számot a kéregkivonatok ragasztógyártásban való alkalmazása. A cserzőanyag- extraktum fenolos OH- csoportjai a formaldehiddel reakcióba lépnek, az így kapott kötőanyag sikerrel felhasználható a vízálló faforgácslapok és rétegelt lemezek előállításához (, Anderson et al., 1974, Anderson.and Wong, 1975, Saayman., 1976).

Egy vizsgálat célja az volt, hogy a *Hibiscus cannabinus* L (lágyszárú, egynyári növény, mely papírgyártási nyersanyagként használatos) nagyobb kéregaránya hogyan befolyásolja a papíripari pépet. Az eredmények alapján megállapítható, hogy finom kéreggel a pép nem változik, sőt javítja a papír „erejét”, csak a szakítószilárdsága kis mértékben csökken. A kéreg alkalmazásával hatékonyabbá válik a növény felhasználása. Évente 6,3-15,8 t / hektárral növeli a hozamát (Villar et al., 2009).

Ha a falazótégla alapanyagához finomra örölt kéreghulladékot adagolnak, akkor a pórusterfogot és ezzel a téglá hőszigetelő képessége is jelentősen fokozható. Egyidejűleg a kiégetett anyagmennyiség következtében a téglák sűrűsége is csökken, hővezetési tényezője több mint 30%-al javul (Schweizer, 1975, Schweizer., 1977, Liverside., 1977). Számos kutató szerint egyes fafajok kérge alkalmas a nehézfémionokkal szennyezett ipari víz megtisztítására. Az erdei-, a luc-, valamint a vörösfenyő, továbbá az éger, a hárs, a szil kérge erre a célra egyaránt megfelelő, megköti a mérgező ólom-, kadmium-, higany- és cinkionokat (Randall., 1976).

Amerikában van rá példa, hogy a házak tetejét és oldalát kéreglapokkal fedik be, zszindelyezés céljából (<http://barkhouse.com/>).

Egy szabadalmi találmány tárgya különleges íz világú, gyógynövény és fűszer extraktumot tartalmazó likőr, és ennek előállítása. A találmány 1-2 t%-ban tartalmaz kínai eredetű fakérget (Zszindelyes Kereskedőház Kft., 2011).

Egy másik szabadalmi eljárás a fűzfavesszők hámozásakor keletkező kéreghulladéokra irányul. Az eljárás hőszigetelő anyag gyanánt vagy nemez készítésre és kéregpapír gyártásra alkalmas anyagnak előállításra alkalmazható.

Beható kísérletek kimutatták, hogy a fűzavessző-kéregből egy sajátos kezelési mód révén oly rostszerű anyagot állíthatunk elő, mely nemezes lapoknak, kéregpapírnak, csomagolóanyagnak és különösen hőszigetelő anyagnak előállítására igen alkalmas (Oldrich, 1911).

Végül említést érdemel még egy arányaiban nem kevésbé jelentős hasznosítási kísérlet: Norvégiában a kérget a vasutak építéskor fagy szigetelésére használják. A vasúti pályatestek alépítményeiben, a teherhordó rétegek alatt, luc- és jegenyefenyő aprított, tömörítés nélküli kérgét használták fel a fagy elleni védekezésben (Schneider., 1970).

Befejezésül meg kell még említeni, hogy a kéreg feldolgozása népünk ősi tevékenysége, finnugor örökségünk. Az egyes tájakon ma is fellelhető kéreg (háncs) edény készítéséhez elsősorban a nyír kérgét használják, de jó a hársé, egyes nyár- és szilfajoké is. A különböző kosarakat, tálakat, tárolóedényeket (kászú, szapú, véka) a spirál alakban lefejtett, vízben áztatott kéregből fonják. A könnyű kéregedények több évtizedig

használhatók (pl. gomba-, gyümölcszedés stb.). A székelyek pásztorkunyhóik fedelét fenyőkéreggel borították. A vadkörte, éger és a cser kérgéből festéket csináltak. A nyír kérgéből még bocskort is fontak (Szatyor, 1986).

#### 4.2.6. Parafatermelés

Bár nem kapcsolódik szorosan a kutatási témához, mégis úgy vélem, hogy kell néhány szót ejteni a paratölgyről (*Quercus suber L.*), mely a kéreghasznosítás egyik sajátos módját mutatja be és az utóbbi években egyre magasabb népszerűségnek örvend. A parafa egy könnyű és rugalmas kéregszövet, mely sok helyen előfordul, de egyetlen növény sem hoz létre olyan vastag parafaréteget, mint a paratölgy, mely évente néhány mm-rel gyarapítja a pararétegeit. Sejtjei szögletesek, a sejtalba szuberin rakódik, ami jól szigetelő anyag, víz és levegő számára átjárhatatlanná teszi a sejtfalat, a sejt belsejébe levegőt zárva.

A paratölgy 10-12 méter magas, örökzöld fa. Levele nem öblös, mint a hazai tölgyeké, hanem fűrészfogú vagy egészen ép; a levél alakja hosszúka, kissé szív alakú. A Mediterránumban, a Földközi-tenger nyugati vidékein honos (Raymund, 1940).

A para sűrűsége 200-250 kg/m<sup>3</sup>, rugalmas, folyadékok számára áthatolhatatlan, gomba-, rovar- és vegyszerálló. Kémiai összetétele: 58% szuberin, 22% cellulóz, 12% lignin, 8% járulékos anyagok (pl. csersav és hamualkotók). A para kiváló tulajdonságai azt is jól érzékeltetik, miért nyújt védelmet a fatestnek – a külső fizikai hatásokkal szemben – az elparásodott héjkéreg (Molnár, 2004).

Az anyag természeténél fogva kiváló tulajdonságokkal rendelkezik. Néhányat említsünk meg: páraelvezető képességű, víztaszító, fagyálló, nehezen éghető, nem zsugorodik, jó hangelnyelő képességű, terhelhető, antisztatikus, az élőködők, gombák nem telepsznek meg benne, kicsi a hővezetési tényezője (0,037-0,040 W/(mK)), méretstabil. Az egészségre nem káros, anyagát gombák és baktériumok nem támadják meg, állatok táplálékául, növényeknek tápanyagforrásul nem szolgál, környezetbarát (Vajda, 2006). Az építőiparban is előszeretettel használják burkolatok kialakítására. Jó fizikai és biológiai tulajdonságai miatt vizes helyiségekben, így pl. fürdőszobában is alkalmazható (Molnár, 2007).

### 4.3. A kéreg létjogosultsága a természetes hőszigetelő anyagok között

Nyugat-Európában a környezettudatosságot mára már nem csak a szelektív hulladékgyűjtés és jó minőségű szigetelések alkalmazása jelenti, hanem egyre többen választják az öko- hőszigetelő elemeket, melyek amellet, hogy jóval kevesebb az előállítási energiaszükségletük, természetes voltuknál fogva segítik az élettér egészségesebbé tételét is. Nem okoznak allergiás reakciókat, légáteresztő voltuk miatt megoldják a falak természetes párolgását, ráadásul elhasználódásuk esetén újr felhasználhatók. A számos pozitív tulajdonsága ellenére Magyarországon az elmúlt években még viszonylag kevesen alkalmaztak természetes alapú hőszigetelést. Mindenesetre a hőszigetelés természetes irányba tolódásának folyamata szerencsére már hazánkban is visszafordíthatatlanul megindult (Novák, 2007).

A következőkben nézzük meg, melyek a legelterjedtebb természetes anyagok lakhelyeink védelmére.

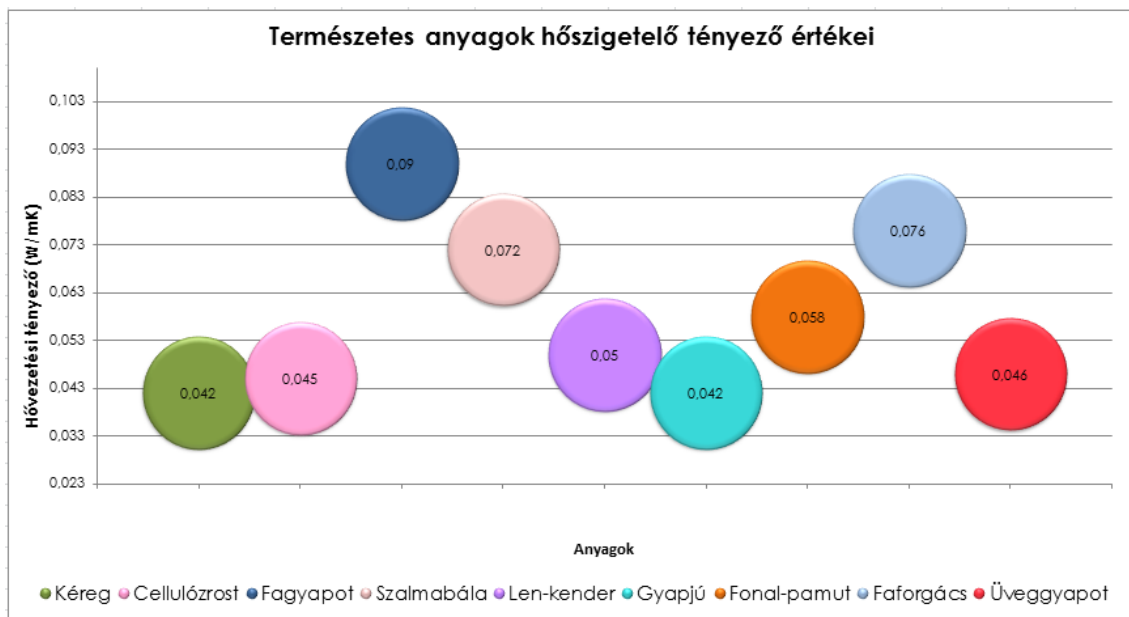
Egyértelműen a cellulózrost a legelterjedtebb öko- szigetelés, mely többféle formában lehet jelen (befűjt, illetve táblásított változatban egyaránt). A régi papírokat darabolják, pelyhesítik, majd táblásítás esetén adalékanyagokkal keverik, összepréselik, szárítják és méretre darabolják. Befűjtés esetén porlasztva fűjják az üregekbe. További előnye, hogy az épületek átszellőzése biztosított, ugyan úgy, mint a tégl épületeknél. A „papírfal” nem tartalmaz allergén anyagokat. Tűzvédelmi tulajdonságainak javítása céljából bórsavval, borax-al kezelik. Nem marad meg benne sem rágcsáló vagy rovar, sem fagomba vagy penész. A szigetelőanyag a kezelés ellenére is teljesen egészségbarát és illatmentes marad. A legfontosabb azonban az, hogy ezen megoldás kitűnő hőszigetelést biztosít, hiszen hővezetési tényezője 0,039-0,045 W/(mK) között mozog. Az újrapapír termékeket Ausztriában és Németországban alkalmazzák nagyobb mértékben.

A szigetelések útvesztőiben nem kell messzire menni, hogy egy szintén „fából készülő védelmi rendszerhez” jussunk, a fagyapothoz. Alapanyagát tekintve a fafeldolgozó ipar hulladékáról beszélhetünk, mely eredendően sárgás- okkeres színű, tömör, vattaszerű állagú. A skandináv országokban terjedtek el, legfőképpen a hagyományos favázas lakóépületek utólagos hőszigetelésére alkalmazzák. A fagyapot másik felhasználási módja, a táblásítása során faforgács szálakat cementkötéssel kapcsolnak egymáshoz (Heraklit). A lemezeket jó hangelnyelő képesség is jellemzi. A cementkötésű fagyapot lemezek növényi és állati kártevőkkel szemben ellenállóak, jó a hőtároló képességük és nehezen éghetők, hővezetési tényezőjük 0,079- 0,090 W/(mK) közé sorolható.

Nyugat- Európában mára jelentőssé vált az egyik legrégebbi kultúrnövényünk a len, és a kender hőszigetelési célú felhasználása. Ez a két szál as anyag a kőzetgyapothoz vagy az üveggyapothoz hasonlóan használható fel és építhető be, viszont a gyártás során csak természetes ragasztót használnak, mint például burgonyakeményítőt. A paplanszerű és táblás készítésben is kapható kender és len hőszigetelő anyagok gyártási energiaigénye alacsony (nincs szükség a kőzet vagy üveg szálásához szükséges olvasztási energiára), hőszigetelési tényezője 0,04-0,05 W/(mK) közötti.

Egyre inkább terjed a Gyapjú hőszigetelési célú hasznosítása. Legnagyobb felhasználói Ausztrália, Nagy-Britannia és Írország. Feldolgozásakor a gyapjú mosása

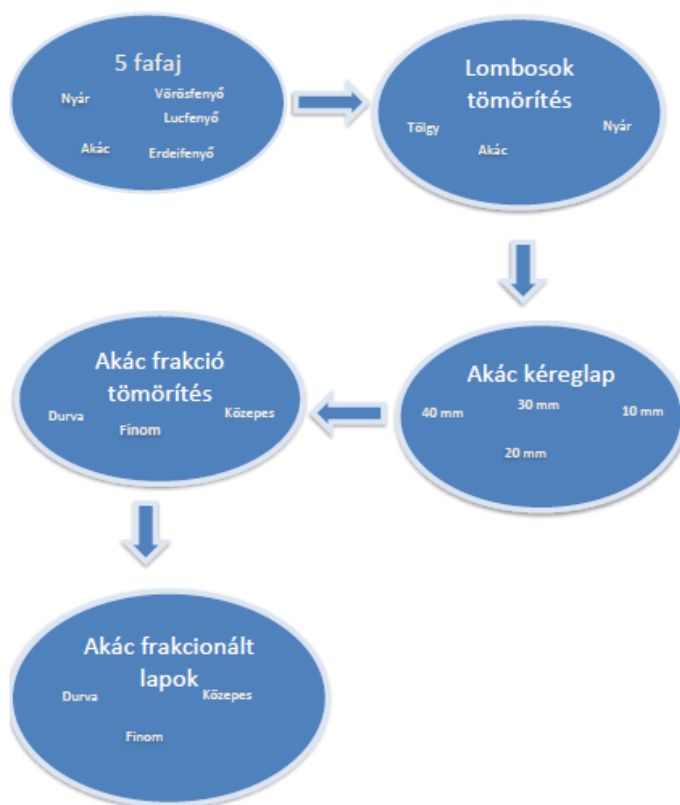
után borax-ot és természetes gumit kevernek a szálakhoz, így állítják elő tűzéssel a gyapjútekerceket. Tömegének 33%-át képes nedvességként felvenni és ezt gyorsan le is adni, anélkül, hogy elveszítené szigetelő képességét. Hővezető tényezője 0,035-0,045 W/(mK), kialakítástól és a testsűrűségtől függően. A 7. ábrán több természetes anyag hővezetési értékét is bemutatjuk összehasonlítva az imént említettekkel. Ezen anyagok szigetelési tulajdonságait Rébék-Nagy Péter mérte diplomadolgozatában (Rébék-Nagy, 2013, Bozsaky, 2011).



**7. ábra** Természetes anyagok hőszigetelési tulajdonságainak értékei

## 5. Vizsgálati anyagok és módszerek kidolgozása

Kísérleteinket öt fafaj (fehér akác (*Robinia pseudoacacia* L.), nyár (*Populus euramericana* cv. *Pannónia* L.), vörösfenyő (*Larix decidua* L.), lucfenyő (*Picea abies* Karst.) és az erdeifenyő (*Pinus silvestris* L.)) kérgének hőszigetelési vizsgálatával kezdtük. A kísérlet célja az volt, hogy megállapítsuk, hogy a lombos, vagy a tűlevelű fajok kérgének hőszigetelési tulajdonságai jobbak. A vizsgálati eredmények alapján három lombos fajtával folytattuk a kutatást, a fent említett fehér akác és nyár mellett a tölgy (*Quercus robur* L.) is helyet kapott a vizsgált anyagok között. A három lombos faj hővezetési tényező változását tömörítéssel vizsgáltuk. A legjobb eredményt mutatóból, az akácból, különböző vastagságú lapokat ragasztottunk, mellyel megállapítottuk az ideális ragasztási vastagságot. Az akáckéregből különböző frakciókat készítettünk, majd tömörítéssel hővezetési tényező vizsgálatokat végeztünk rajtuk. A három frakcióból kéreglapokat készítettünk. A vizsgálatok rövid áttekintője a 8. ábrán látható.



8. ábra A hővezetési tényező vizsgálatok rövid áttekintése

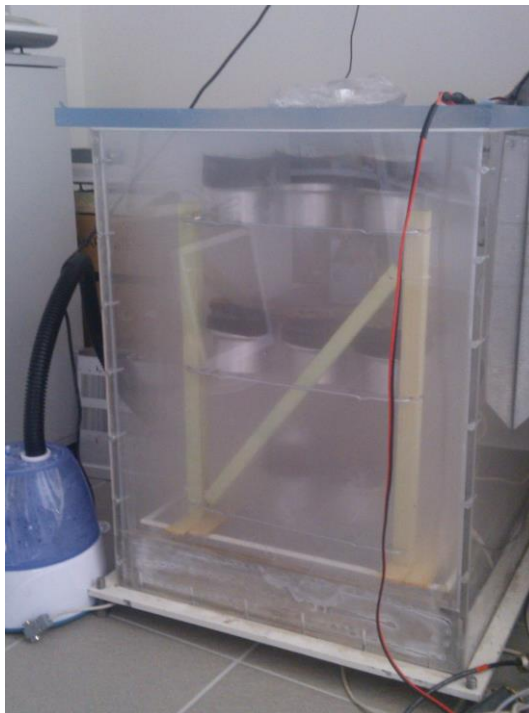
A három lombos faj kérgének megvizsgáltuk a páraáteresztő képességét, majd a frakcionált lapokból készített tábláknak a formaldehid kibocsátását.

## 5.1. Kéreg páraáteresztésének vizsgálata

Az épületekben lévő levegő mindig tartalmaz bizonyos mennyiségben nedvességet (vízgőzt). A levegő nedvességmegtartási képessége a hőmérséklettől és a nyomástól függ.

A páradiffúzió az a folyamat, amelynek során a levegő páratartalma a külső és belső parciális nyomáskülönbség hatására az anyagon keresztül kiegyenlítődni igyekszik, így az anyag pórusaiba behatol és az alacsonyabb parciális nyomású hely felé törekszik. A pára mindig a magasabb vízgőz parciális nyomás hely felől az alacsonyabb parciális nyomású felé igyekszik. A páradiffúziós tényező megmutatja az egységnyi vastagságú és egységnyi felületű szerkezeten egységnyi nyomáskülönbség hatására átáramló víz vagy pára mennyiségét. Értékét az építőanyag szerkezete és pórusossága befolyásolja. Minél kisebb a páradiffúziós ellenállás, azaz minél nagyobb egy anyag páraáteresztő képessége, annál jobb eredményeket mutat a hőszigetelési alkalmazásában (javul hőszigetelő képessége). (Tirpák, 2010).

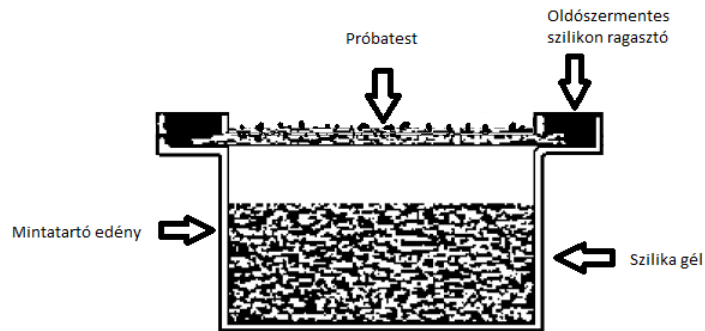
A vizsgálat az EN ISO 12572-es szabvány szerint történt, mely 2001-ben lépett életbe. A páradiffúzió létrehozásához szükség volt egy nedvszívó közegre, erre a célra szilika gélt használtunk. A külső 100% páratartalmú közegnek egy légmentesen lezárható medencét választottunk, a 100%-os nedvességtartalom elérését párasító segítségével biztosítottuk, közben folyamatosan ellenőrizve a páratartalmat (9. ábra).



9. ábra Párasítás

A mintadarabokat e célra kialakított alumínium tégelybe helyeztük (10. ábra), az edény szélét a légmentes zárás érdekében szilikon ragasztóval tömítettük vastag rétegben. A vastag szilikon réteg segítségével sikerült minimálisra csökkenteni a szélek mentén bejutó pára mennyiségét. A mintatartó edénybe szilica gélt helyeztünk el. A külső

közeget 100%-os páratartalmúra képeztük, ezáltal a nedvesség a nagyobb páratartalmú közeg felől az alacsony páratartalmú felé kezd el vándorolni addig, míg a nedvességtartalom a két közeg között kiegyenlítődik. Szabvány szerint a mérést addig kellett folytatni, amíg az utolsó két tömegváltozás közötti eltérés kisebb, mint 5%. A mérést azonos időközönként, 24 óránként kellett elvégezni.



10. ábra A próbatest elhelyezkedése a mintatartó edényben

A következő mennyiségekkel lehet a páraáteresztő képességet meghatározni:

**a. Tömegváltozás sebessége**

Minden egymást követő mérés után, kiszámoltuk a tömegváltozás sebességét minden próbatesten a következő képlettel:

$$G = \frac{m_2 - m_1}{t_2 - t_1}$$

Ahol:

- |                |   |        |
|----------------|---|--------|
| $G$            | - egységnyi idő alatt bekövetkezett tömegváltozás     | $kg/s$ |
| $m_1$          | - a tömege a próbatestnek a vizsgált $t_1$ időpontban | $kg$   |
| $m_2$          | - a tömege a próbatestnek a vizsgált $t_2$ időpontban | $kg$   |
| $t_1$ és $t_2$ | - az egymást követő mérési időpontok                  | $s$    |

A mért tömegváltozásokból egy átlagot kell számítani, hogy megkapjuk a tömegváltozási sebességet. A tömegváltozási sebesség jele  $G$ , mértékegysége  $kg/s$ .

### ***b. Fajlagos páraáteresztő képesség***

A fajlagos páraáteresztő képesség jele a  $g$ , amit az alábbi összefüggéssel kapunk meg:

$$g = \frac{G}{A}$$

Ahol:

$G$  - tömegváltozás sebessége  $kg/s$   
 $A$  - a felület, amin a páradiffúzió végbemegy  $m^2$

A próbatestek kerületeiből meghatározott számtani középet tekintjük  $A$ -nak.

### ***c. Pára áteresztés***

A pára áteresztés jele a  $W$ , amit a következő összefüggéssel kapunk meg:

$$W = \frac{G}{A \times \Delta p_v}$$

Még ide kellene írni, hogy  $W=g/\Delta p_v$

Ahol:

$\Delta p$  - hőmérséklet és a relatív páratartalom alapján számolt érték –

Ha a hőmérséklet nagyobb  $0^\circ\text{C}$ -nál, akkor a  $\Delta p_v$  értéke állandó.

### ***d. Pára zárás***

A pára zárás jele a  $Z$ , ami a pára áteresztés reciproka. Meghatározása az alábbi módon lehetséges:

$$Z = \frac{1}{W}$$

### ***e. Pára áteresztő képesség***

A pára áteresztő képesség jele a  $\delta$ , ami a következő összefüggéssel számítható:

$$\delta = W \times d$$

Ahol  $d$  a próbatest vastagsága



A vizsgálatokhoz fehér akác-, nyár- és tölgy fafaj kérgéből készültek a próbatestek. A kitermelt faanyagról származó kérget 3 különböző fűrészüzemből szereztük be. A próbatesteket egy speciális, kifejezetten erre a célra kifejlesztett mintagyűjtővel gyűjtöttük be a fatörzsről.

Mindhárom fafajból 20-20 darab próbatestet vizsgáltunk (a szabvány 5 darab próbatest vizsgálatát írja elő), így a begyűjtés során 35 darab próbatestet vágunk ki a kéregtáblából, hiszen a minta állaga nem homogén, könnyen törik, így sok selejt is keletkezett. (11. ábra).





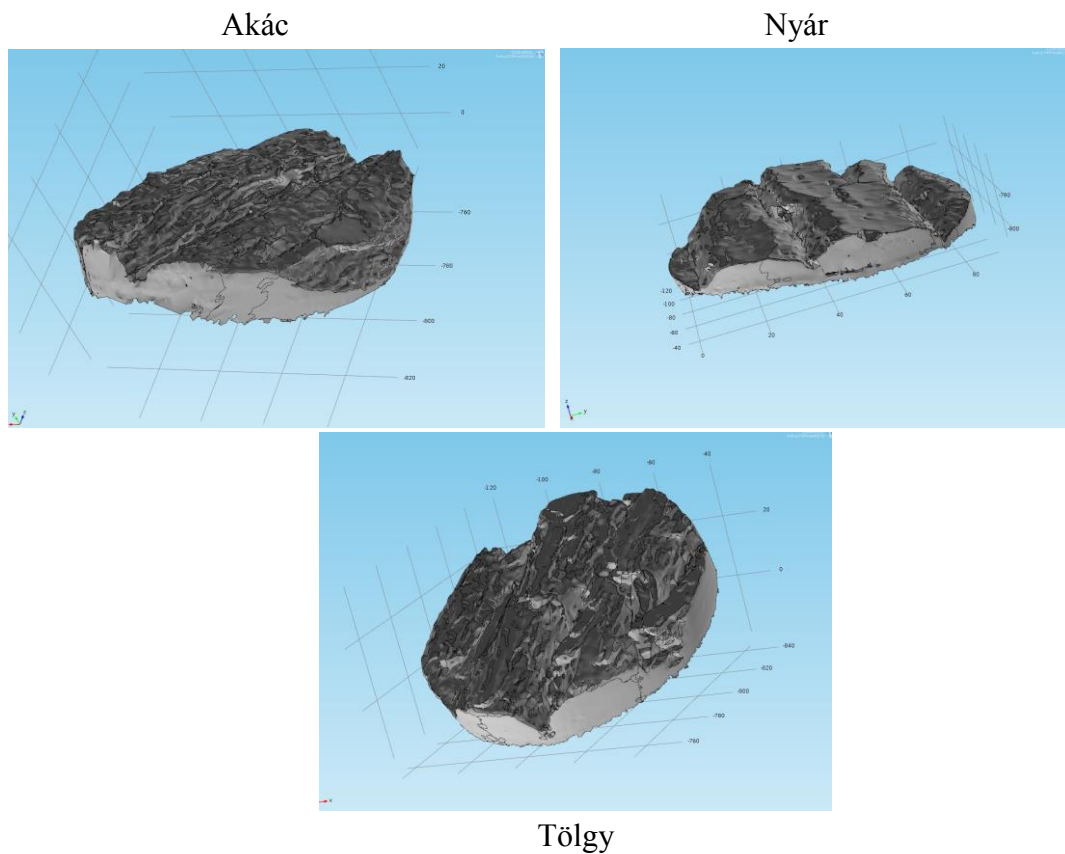
*11. ábra A próbatetek kivágása*

A begyűjtés után megvizsgáltuk a kezdő nedvességtartalmát, vastagsági értékeit, átvizsgáltunk és kiválasztottunk a legalkalmasabb 20 darabot a mérések elvégzésére, majd letisztítottuk a szennyeződésektől.

A mintadarab felületének pontos meghatározásához mérőóra segítségével megmértük 20 helyen a vastagságát, majd átlagot vontunk belőle.

A kiválasztott fafajok kéreg felülete nem sík, így megoldást kellett találni a felület biztos, vagy a valóságot leginkább közelítő meghatározására.

Kiválasztottunk mindhárom fafajból egy átlagos darabot, melyet az Erdő és Fahasznosítási Tudásközpont Nonprofit Kft. (Erfaret) 3D modellező gépével modelleztünk (Objet polyjet lézerszkennő, pontossága: 0,1 mm). A módszer elve, hogy egy lézerforrásból fotont küldünk a szkennelendő objektumra. Ezen fotonoknak csak kis része verődik vissza, melyeket egy optikán keresztül érzékelünk és dolgozunk fel. A következő ábrákon (12. ábra) láthatók a modellezővel készített minták.



**12. ábra** A 3D modellek

A modellek segítségével meg tudtuk határozni a minták pontos felületét, így össze tudtuk vetni a két eljárással mért felület értékeit. Megállapítottuk, hogy az eltérés mindhárom próbatestnél 4%-on belül van a kézi méréshez képest, így elfogadtuk a vastagságmérővel mért értékeket.

A minta összeállítása után megmértük a pontos tömegét analitikai mérleggel, majd a mérőtérbe helyeztük a mintákat. A mérőtérben a mintákat 20°C-on 100%-os páratartalomban tároltuk és a tömegvizsgálatot 24 óránként végeztük el minden egyes próbatesten.

## 5.2. Kéreg hővezetésének vizsgálata

### 5.2.1. Mérőműszer

A hőáram a hőmérséklet-különbséggel, a hőáram irányára merőleges keresztmetszettel, valamint a hővezetési tényezővel arányos, és fordítottan arányos a közeg vastagságával. A hővezetési tényező azt fejezi ki, mekkora hőmennyiség halad át időegység alatt egységnyi vastagságú, az áramlásra merőlegesen egységnyi felülettel bíró anyagon, egységnyi hőmérsékletkülönbség hatására.

A hővezetési értékek vizsgálatához stacioner (állandósult) állapotban mérő, nagy pontosságot biztosító berendezést alkalmaztunk. A berendezés beállításait, az adatgyűjtést, adatok feldolgozását számítógépre telepített, e célra készített alkalmazás biztosította. A műszer percenként végez méréseket, így egy-egy vizsgálat több száz mérési eredményt átlagából adódik. Az eredményekhez csak a stacioner állapotban mért értékeket használtuk fel, hiszen itt már állandó volt a hőáram.

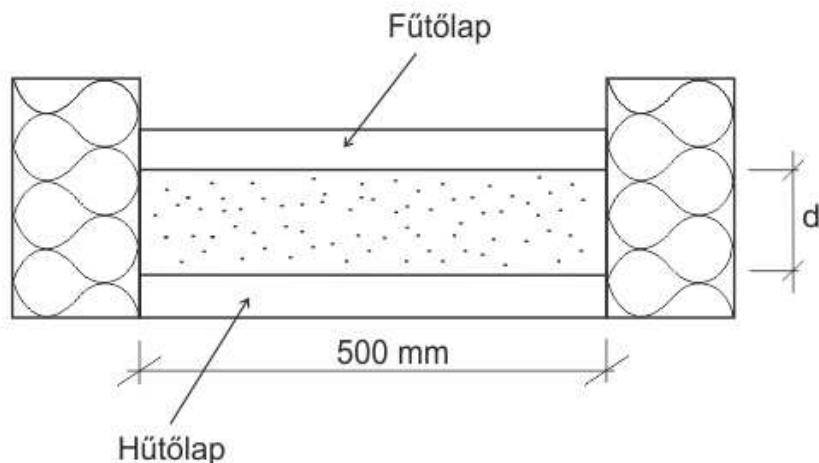
A 13. ábrán látható a mérés elrendezési sémája, a mérendő minta keresztmetszete 500x500 mm, melyet egy szigeteléssel ellátott keret fog körbe, az oldalirányú hőáramok minimalizálására.

Az összefüggést a következő egyenlet mutatja:

$$Q = \frac{\lambda x A x \Delta T}{d}$$

ahol:

- Q - hőmennyiség (W)
- $\lambda$  - hővezetési tényező (W/(mK))
- A - próbatest felülete (m<sup>2</sup>)
- $\Delta T$  - hőmérsékletkülönbség a próbatest két oldalán (K)
- d - próbatest vastagsága (m)



13.ábra A hővezető tényező vizsgáló berendezés elrendezési rajza

### 5.2.2. Mérés leírása

A főkísérletek megkezdése előtt meg kellett állapítani, hogy a hazánkban előforduló fajok közül melyik fa kérge alkalmas a legjobban hőszigetelés gyanánt, mely kérgek rendelkeznek a legjobb hőszigetelési tulajdonságokkal. Az előkísérletben öt fafaj kérget vizsgáltuk meg. Vizsgálatunkhoz az erdészeti és faipari gyakorlatban leginkább kérgezésre kerülő fafajokat választottuk, így lombos fafajok közül a fehér akácot és a nyárfát. Döntésünket nagyban befolyásolta az is, hogy a magyarországi lombos fák közül az akác és a nyár, a legnagyobb mennyiségben kitermelt fafajok között szerepel. A hazai erdőtelepítésekben kiemelkedő e két lombos fafaj jelenléte. Mindkettő különösen nagy kéreghányadú (a törzsátmérőhöz viszonyítva 12-28%), a kérgükben azonban nagy a rostok aránya és sok a járulékos úgynevezett inkrusztáló anyag, ami miatt nem alkalmasak talajtakarásra. Ezért szeretnénk előnyös, környezetbarát alternatívát kidolgozni hasznosításukra. A nyárfa héjkérge mélyen repedezett, míg az akácé vastag, hálózatosan repedezett kéreg. Mindkettő síkvidéki faj, de a dombvidékeinken is megtalálhatóak, ültetvényekben elegyetlenül telepítik őket (Molnár, 2004).

A fenyőfélék közül a vörösfenyőt, a lucfenyőt és az erdeifenyőt választottuk kísérleteinkhez. Az erdei- és lucfenyőnek pikkelyekben leváló héjkérge van, a vörösfenyő kéregcserepei szélesek, vastag kérgű fajok. (Börcsök, 2010.) Az erdeifenyő kérge a legkeresettebb talajtakaró a kertészetekben, de utánaprítással a lucfenyő kérget is felhasználják ezen célra. A 4. táblázatban a magyarországi erdők fafajcsoport megoszlása, illetve a Magyarországon 2007-ben kitermelt fafajok mennyisége látható. Az akác és a nyár igen előkelő helyet foglalnak el a hazánkban kitermelt fafajok körében, illetve a táblázatból megállapítható, hogy a fenyőfélék is viszonylag nagy mennyiségben kitermelt faanyagok.

**4. táblázat** Magyarországi erdők fafajcsoport megoszlása és a Magyarországon kitermelt fafajmennyiség (bruttó) (Molnár, 2008; MTA, 2009)

\* Kéreghányadot vastag véghasználatti faanyagra vettük figyelembe (Schopp, 1976).

Fafaj	1000 m <sup>3</sup>	%	1000 ha	%	Kéreg hányad % *
Tölgy	1089	16,6	380,6	21,9	15
Akác	1206	18,2	385,0	22,2	20
Nyár	1076	16,2	165,1	9,5	15
Cser	832	12,6	198,1	11,4	16
Bükk	649	9,8	109,5	6,3	5
Gyertyán	309	4,7	104,3	6,0	8
Egyéb lombos	509	7,7	168,5	9,7	-
Fenyő	938	14,2	226,7	13,0	10
Összesen	6609	100	1737,8	100,0	-

A kéregmintákat fűrészüzemi rönktéren gyűjtöttük be, melyeknek nettó nedvességtartalmát az alábbi képlet alapján határoztuk meg:

$$u = \frac{m_u - m_0}{m_0} * 100$$

ahol:

u - nettó nedvességtartalom [%]

m<sub>u</sub> - nedves tömeg [g]

m<sub>o</sub> - abszolút száraz tömeg [g]

A begyűjtött mintáknak megmértük a kezdő nedvességtartalmát, melyet az 5. táblázat tartalmaz.

**5. táblázat** A begyűjtött fakérgék kezdő nedvességtartalmi értékei

Fafaj	Nedvességtartalom (%)
Fehér akác	14,3
Nyár	40,2
Erdeifenyő	35,9
Lucfenyő	22,8
Vörösfenyő	24,2

A mintagyűjtés után egy késes erdészeti aprítóval a kérgeket leaprítottuk. Mivel a daráláshoz ugyanazon berendezést használtuk az összes fafajnál, így az aprítékok szemcsemérete és eloszlása kizárólag a kéreg jellemzőire vezethető vissza az eltérő fafajok esetében, amit a 6. táblázat mutat be. A lombos fafajoknál a háncs (floem) nagyobb részaránya és eltérő anyagszerkezete miatt, akár 100 mm-es szálak is megjelentek a darálékban, tehát a lombos- és a fenyő kéregaprítéknak a struktúrája eltérő lett.



**6. táblázat** A szemcseméret alakulása az aprítékban háncs elemek nélkül

Szemcseméret [mm]	
Vastagság	15 – 26
Szélesség	13 – 27
Hosszúság	19 – 48

*Kéregzési eljárások:*

A kéreg feldolgozásának módját meghatározza az eredete, a mennyisége, az összetétele, a nedvességtartalma, valamint nem utolsósorban a hasznosításához elérendő finomság foka. A kéreg háncstartalma, nedvességének a kitermelés időpontjától, valamint a tárolás körülményeitől függő ingadozásai hatnak az alkalmazott technika kiválasztására. Az aprítást általában olyan berendezésekkel végzik, amelyek a hengeresfa, vagy más fahulladék feldolgozására is alkalmasak, pl. késes aprítók (Szalay, 1981).

Többféle technológia áll rendelkezésünkre a kéregzéshez: marófejes kéregzők, kalapácsos kéregzők, forgógyűrűs vagy forgókéses kéregzőgépek, kéregzés vízszugárral, nagyfrekvenciás kéregtelenítés. Egy tömör m<sup>3</sup> kéreg felaprításához a kéregjellemzőktől függően körülbelül 5- 20 kWh villamos energia szükséges (Hargitai, 2003).

- A vizsgált fafajoknál alapvető különbség, hogy a nyitvatermők csoportjába tartozó fenyőfélék háncstestében rostasejtek vannak, míg a zárvatermők közé sorolható lombos fáknál rostacsövek, ami több sejt fúziójából alakul ki, tehát a kérgük (akác, nyár) sokkal porózusabb szerkezetű, következésképpen sűrűségük alacsonyabb.

A kapott mérési eredmények tudatában, a továbbiakban három fafajra szűkítjük a vizsgálatokat, melyek hazánkban a három legnagyobb mennyiségben kitermelt faanyagok: fehér akác, a nyárfa és Magyarország legnagyobb mennyiségben kitermelt faanyagát a tölgyfát is a vizsgált fafajok közé választottuk. A vizsgált három fafaj kérgé a 14. ábrán látható.



**14. ábra** A vizsgált fafajok (Tölgy-, akác-, nyárfa) kérgé

### 5.2.3. Tömörítés vizsgálat

Mindhárom fafaj kísérleti mintadarabjait fűrészüzemi rönktéren gyűjtöttük be. A mintagyűjtés után késes erdészeti aprítóval (Bandit Model 1890) a kérget leaprítottuk. Mindhárom fafaj nedvességtartalmának meghatározása után szárítószekrényben szárítottuk a 7. táblázatban látható egyensúlyi nedvességtartalom (12%) eléréséig. A minták nedvességtartalmának meghatározását a szárítósos eljárás követelményei szerint végeztük.

7. táblázat A minták kezdeti és egyensúlyi nedvességtartalma

Fafaj	Kezdeti nedvesség (%)	Egyensúlyi nedvesség (%)
Tölgy	26	12
Nyár	19	12
Akác	23	12

A 15. ábrán látható a kéregminta elhelyezése a mérőműszerben.



15. ábra A kéreg apríték minta elhelyezkedése a mérőműszerben

A mérésekhez mindhárom fafaj esetén 1500 g mintát használtunk, melyet a mérő térben helyeztünk el lazán, úgy, hogy az első mérés induló vastagsága  $d_0=100$  mm volt. A mért mintákat 5 mm-ként tömörítettük a fűtő és a hűtő lapok távolságának csökkentésével. A minták pontos vastagsági méreteit a minta szélein egymásra helyezett 5 mm-es lécek segítségével biztosítottuk. Egy-egy újabb mérésnél egy-egy 5 mm-es lécet távolítottunk el, majd a fűtőlapot visszahelyezve kezdtük meg a következő mérést.



### **5.3. Különböző vastagságú akácfa kéreglapok készítése, hővezetési tulajdonságainak vizsgálata**

#### **5.3.1. A próbatestek anyaga, készítésének módja**

A három vizsgált fafaj közül a legjobb eredményt mutató Fehér akác (*Robinia pseudoacacia*) kérgét tovább vizsgáltuk. Az aprított kéregből különböző vastagságú kéreglapokat készítettünk, úgy hogy közben a felhasznált anyagmennyiség azonos 1500 g maradt. Ebből következik, hogy a préselt lapok térfogat sűrűsége különböző volt. A sűrűségadatokat az alább található 13. táblázat tartalmazza. Vastagságot tekintve 4 féle lapot ragasztottunk: 10 mm, 20 mm, 30 mm és 40 mm, minden vastagsági méretből három-három lap készült.

#### **5.3.2. Kéreglapok készítése**

A kéreglapok készítéséhez karbamid-formaldehid (UF) alapú műgyantát használtunk, mely általánosan elterjedt forgácslapok és más laptermékek gyártásánál. A műgyanta edzője ammónium- szulfát 35%-os vizes diszperziója.

A formaldehid (CH<sub>2</sub>O) egy szobahőmérsékleten gáz halmazállapotú, színtelen, szúrós szagú szerves vegyület. A formaldehid a legismertebb káros anyag, mely fa- és faalapú anyagokban előfordulhat. Környezetünkben legfőképpen belső terekben lehet jelentős a koncentrációja, hiszen a mai napig elsősorattal használják különböző farost-, rétegelt lemezek és szigetelések ragasztóanyagaként. A felszabaduló formaldehid egyértelműen ezekre a gyantákra vezethető vissza (Patkó., 2013/b).

A kéreglapok előállítása öt lépésben történik: aprítás, frakcióanalízis, szárítás és keverés, kötőanyag hozzákeverése és formázás (préselés).

##### ***Aprítás***

Első lépésben az alapanyagként használt megfelelő méretre aprított kéreg előállítása szükséges. Aprítás során az apríték méretére kellő figyelmet kell fordítani, ugyanis a túl nagy aprítási méret a préselés során nem megfelelő, a lapok nem állnak össze. A túl nagy részeknek nem vonja be a felületét a ragasztóanyag, így a szilárdsága, belső összetartó-képessége elégtelen lesz, egyenetlen lesz a rostszerkezet, sok lesz a rostok közötti légrés.

Az apríték darabok méretének csökkentése hatására a fajlagos felülete is megnő, így nagyobb lesz a ragasztóanyag szükséglete is. A megfelelő méretű apríték eléréséhez egy késes Caterpillar Bandit erdészeti ágdarálóra esett a választás, amely optimális darabokra darálta a kérget (16. ábra).



*16. ábra Az aprítás folyamata*

### ***Frakcióanalízis***

A felaprított kérget frakcióni kell, így a finomszemcsés port ki lehet nyerni az aprítékból. Ezen művelet elengedhetetlen a folyamatból, hiszen az elegyben a por frakció a nagy felületével felveszi a ragasztóanyag nagy részét, ezért a nagyobb darabokra már nem jut annyi ragasztóanyag, ami összetartaná, nem maradnak összepréselve a próbalapok. Ezt a ragasztó mennyiségével kompenzálni tudnánk, de ezzel a rendszer hővezetését és az esetleges későbbi termék formaldehid kibocsátását kedvezőtlen irányba módosítanánk. Az előkísérletek után a darált kéregből kéreglapokat készítettünk, mely során egyértelművé vált, hogy a táblák nem ragadnak össze frakcióanalízis nélkül.

A frakciók szétválasztását a Faipari Minőségellenőrző Intézet frakcióanalizáló gépével végeztük (17. ábra). A frakcionálás során csak a por állagú szemcseméretet választottuk el a mintától.



*17. ábra Frakcióanalizáló gép*

### ***Szárítás és keverés***

A frakciókkal különválasztott méreteket egy egyedi tervezésű és gyártású mechanikus keverőgép segítségével homogenizáltuk. A ragasztani kívánt aprítékot 4-13% nedvességtartalom közé kell szárítani (Alpár, 2007). A frakciózott aprítékot folyamatos ellenőrzéssel szárítottuk 5%-os nedvességtartalomra.

### ***Kötőanyag hozzákeverése***

A keverési arány meghatározásánál a legfontosabb szempont a stabil kötés biztosítása az alapanyag részecskéi között. Ennek teljesülése érdekében Alpár Tibor: Farostlemez- és forgácslapgyártás gyakorlatok, egyetemi jegyzetében leírt képleteket alkalmaztuk.

Ragasztóanyag szükséglet meghatározása:

- ragasztóanyag mennyisége:

$$m_{pr} = m_{of} * \frac{r}{d} [kg]$$

ahol:

$m_{of}$  - abszolút száraz rost mennyisége [kg]

- r - gyanta tartalom [%]  
d - gyanta szárazanyag tartalma [%]

edző mennyisége:

$$m_{ec} = m_{pr} * \frac{e}{c} [kg]$$

ahol:

- e - edző mennyisége [%]  
c - edző koncentrációja [%]

A kéregapriték préselés vizsgálatnál 1500 g kéregtömeget használtunk fel, így ez adta a rost mennyiség kiinduló adatát. Ragasztóból minden kéreglaphoz 164,4 g-ot, edzőből 62 g-ot használtunk fel. Négy féle vastagságú lapot gyártottunk (10, 20, 30, 40 mm). Megfigyelhető, hogy a különböző vastagságok mellé azonos anyagmennyiséget és műgyanta mennyiséget rendeltünk, hogy a hővezetési tényező mérésénél ebből fakadóan ne adódjon különbség.

A megfelelő mennyiségű kéregapritéket a keverőbe helyeztük, majd hozzáadtuk az edzővel összekevert, kimért ragasztót és a keverést folytattuk, amíg homogenizálódik az anyag. A keverési idő 5 perc olt.

### ***Préselés***

A kéreglapok előállításának legfontosabb lépése a préselés. A préseléshez egy Siempelkamp laboratóriumi hőprést használtunk.

A présidő szabvány szerint a présidő milliméterenként 6 mp. A lapok gyártásának folyamatát a 18. ábra szemlélteti.





18. ábra A kéreglapok készítésének folyamata

### 5.3.3. Testsűrűség meghatározása

A vizsgálatot az MSZ EN 1602 szerint végeztem. Elsőként a minták tömegét ( $m_0$ ) mértem meg 0,01 kg pontossággal, majd lineáris méreteit (szélesség és hosszúság) 1 mm pontossággal. A 8. táblázatban láthatók az egyes lapok testsűrűség értékei.

8. táblázat Az elkészített akáckéreg lapok testsűrűség értékei

Próbatest száma	Tömeg (kg)	Vastagság (m)	Hossz (m)	Szélesség (m)	Testsűrűség (kg/m <sup>3</sup> )
1	1,515	0,010	0,475	0,485	548,287
2	1,519	0,020	0,480	0,485	343,640
3	1,420	0,030	0,470	0,490	228,518
4	1,513	0,040	0,480	0,485	185,793

### 5.4 Akáckéreg frakcionálása, további vizsgálatok elvégzése

Az eddigi vizsgálatok elvégzését követően felmerült a kérdés, vajon a kéreg apríték hővezetési tényező értékei szétválasztott frakciónál hasonló eredményeket mutatnak az eddigiekhez, vagy a frakciók szétválasztásával a mérési eredmények változnak. Így tovább vizsgáltuk az akácfakéreg lapok hőszigetelési tulajdonságait.

#### 5.4.1. A próbatestek anyaga, készítésének módja, frakcióanalízis

A próbatestek anyagát az előző kísérlethez használt aprítékból származó akácfakéreg adta. Első lépésként frakcióanalizáltunk egy FRITSCH analysette 3 PRO típusú géppel, mely során négy frakciót határoztunk meg: a legkisebb frakció a por volt 1mm-es szemcseméret alatt, ezt nem használtuk fel a lapképzésnél, a dolgozatban már említettük, hogy a por a jelenléte kedvezőtlenül befolyásolja a ragasztó mennyiséget vagy a lap szilárdságot és a hővezetési értéket. A 9. táblázatban látható a három frakció szemcsemérete és elnevezése.

9. táblázat A frakcióméret alakulása

Frakció	Szemcseméret (mm)
Durva	$45 > x_1 \geq 13$
Közepes	$13 > x_2 \geq 8$
Finom	$8 > x_3 \geq 1$

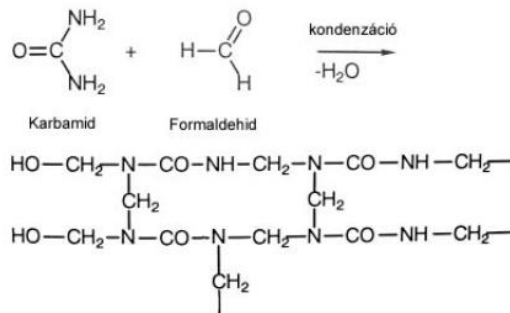
A frakcionálás után szárítószekrénybe helyeztük mindhárom szemcseméretű mintát a ragasztáshoz ideális 5%-os nedvességtartalom eléréséhez.

### 5.4.2. Tömörítés vizsgálat

A ragasztás előtt tömörítés vizsgálatot végeztünk az előzőekben leírtakhoz hasonlóan. Mindhárom frakcióból szintén 1500 g mintát használtunk fel és 100 mm-ről indítottuk a tömörítést 40 mm-ig.

### 5.4.3. Kéreglapok ragasztása

Az előző kísérletek alapján láttuk, hogy a legjobb hővezetési értéket 20 mm vastagságnál sikerült elérni, így mindhárom frakcióból 20 mm vastagságú,  $300 \text{ kg/m}^3$  testsűrűségű lapokat készítettünk. Köötanyagként szintén karbamid-formaldehid (UF) (19. ábra) alapú műgyantát alkalmaztunk. A lapokhoz – hasonlóan az előző méréseknél – 1500 g mintát használtunk.



19. ábra A karbamid formaldehid képlete

A műgyantából viszont nem a forgácslap gyártásnál megszokott 8%-os anyagmennyiséget használtuk, hanem lecsökkentettük ezt az arányt 4%-ra. A ragasztó mennyiség csökkentést két okból végeztük el, a korábbi kísérleteknél a 20 mm-re préselt lapok zárt felületi struktúrát mutattak, ahol a ragasztó jelentős része is látható volt a felületre kiülve. Ebből arra következtettünk, hogy a kéreg részecskék között elegendő ragasztó van és a felesleg könnyedén kinyomódott a felületre. A préselt lapoknál nem a szilárdságot tekintettük elsődleges szempontnak, mint azt általában a forgács lapoknál tekintjük, hanem a legalacsonyabb hővezetési értéket. A kevesebb ragasztó kisebb mértékben járul hozzá a hő szerkezeten való átjutásához. Gazdasági szempontból fogalmazva csak annyi ragasztót szabad alkalmazni, amely a minimális követelményeket teljesíti, az e feletti mennyiség veszteséget okoz. A másik szempont pedig a leváló formaldehid mennyiségének a csökkentése.

A ragasztás során tapasztaltuk, hogy a kéreg lapok mindhárom frakció esetén megfelelően összeálltak, így a ragasztó mennyis csökkentése helyes döntés volt.

Az elkészült lapokból két darab 100x400 mm-es darabot alakítottunk ki a formaldehid kibocsátás vizsgálatához, a megmaradt 300x300 mm-es lapoknak pedig a hővezetési tényezőjét vizsgáltuk meg (20. ábra).



20. ábra A kéreglapok

A 300x300 mm-es próbatestek testsűrűség értéke:  $300 \text{ kg/m}^3$ . Mindhárom frakciójú kéreglapnak azonos a testsűrűsége, hiszen a paramétereik megegyeznek.

## 5.5. Formaldehid kibocsátás vizsgálata

Magyarországon rendelet szabályozza a formaldehid-kibocsátási határértéket. A légszennyezettségi határértékekről, a helyhez kötött légszennyező pontforrások kibocsátási határértékeiről szóló 14/2001. (V. 9.) KöM–EüM–FVM együttes rendelet szerint a formaldehidre az egészségügyi határérték 24 órás átlagban:  $12 \text{ mg/m}^3$ . Veszélyességi fokozat: I., tehát különösen veszélyes (4/2011. (I. 14.) VM rendelet) a formaldehid.

Az utólagosan felszabaduló formaldehid kibocsátás mérésére több módszer is ismert. A különböző eljárásokat nem lehet összehasonlítani, hiszen a körülmények teljesen eltérőek. Néhány ma használatos módszer:



- Mikrodiffúziós
- Stöger szerinti
- Kamrás
- Gázanalízis
- Desicator
- Perforátor
- ROFFAEL

A Nyugat-magyarországi Egyetemen gázanalízises módszerrel (Európában az egyik legelterjedtebb vizsgálati módszer) volt lehetőségem megvizsgálni a mintadarabokat. Ezen eljárás előnye, hogy 60°C-on történik a vizsgálat, ami jóval magasabb, mint aminek a szigetelések ki vannak téve. Tehát a légkörbe a formaldehid a kapott értéknél ténylegesen kisebb mennyiségben áramlik ki.

### 5.5.1. A vizsgálat leírása

Felületkezelt és kezeletlen kompozit lemezek vizsgálatára egyaránt alkalmas a 21. ábrán látható mérőberendezés. Szabványszám EN 717-2. Magyar szabványszáma MSZ-8-0640.



*21. ábra A gázanalízis mérő berendezés*

Az elkészített lapokból a mintákat (2 db próbatest) a szélektől minimum 300 mm távolságban kell kivágni 50x400 mm méretben.

A formaldehid leadás méréséhez a próbatestet a gázanalízis berendezés termosztált mérőterébe helyezzük. A mérőtér lezárása után a levegőáramlást megindítva a minta környezetét állandó sebességű, hőmérsékletű és nedvességtartalmú, formaldehid-mentes levegővel átöblítettük. A kibocsátott formaldehidet 4 órán keresztül, óránként váltott elnyeletőedényekben, desztillált vízben elnyelettük.

Az elnyelt formaldehid mennyiségét fotometriás módszerrel acetilaceton reagens segítségével határoztuk meg. Az elnyeletőedényeket a 22. ábra mutatja.



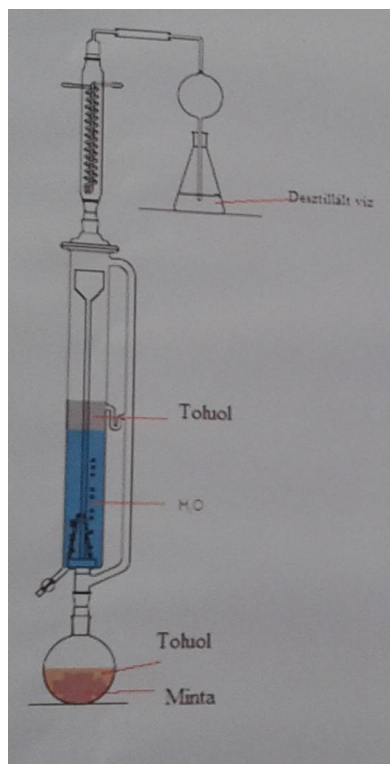
*22. ábra Az elnyeletőedények*

Az elnyeletéshez két-két sorba kapcsolt elnyeletőedényt kell alkalmazni, melyekbe előzetesen 100-100 ml desztillált vizet öntöttünk. Az egyórás levegő mintavételi időtartam leteltével az elnyeletők tartalmát 250 ml-es mérőlombikba átmoszuk, desztillált vízzel jelig töltjük és azonosító jelzéssel ellátva pihentetjük (23. ábra).



*23. ábra Elnyelető edények*

A mintát ezek után Perforátor módszerrel vizsgáljuk tovább. A mintából toluolos extrakcióval a formaldehid gőzöket desztillált vízben másodszor elnyeletjük. Az elnyeletett formaldehid meghatározása fotometriásan történik az úgynevezett Hantzsch-reakció alapján. A formaldehid vizes oldatban reakcióba lép az acetil-acetonnal és az ammónium ionokkal így diacetil-dihidrolutidin képződik. A diacetil-dihidrolutidin-nek abszorpciós maximuma van 412 nm-nél. A reakció formaldehid specifikus. A kiértékeléshez előzetesen ismert koncentrációjú formaldehid kalibráló görbét kell felvenni. A mérés elvi sémája látható a 24. ábrán.



24. ábra A Perforátor módszer (MSZ EN 120)

Fotometriás vizsgálatnál a mintákat a mintatartó edénybe öntjük, majd a mérőműszerbe helyezük, a kapott eredményeket a műszeren olvashatjuk le (25. ábra).



25. ábra A fotometriás vizsgálat menete

Az eredmény kiszámítása:

A gázanalízis érték: a minta által a vizsgálat 2, 3 és 4. órájában kibocsátott formaldehid mennyiségnek egy órára és 1 m<sup>2</sup> emissziós felületre számított átlagértéke.

Mértékegysége: mg CH<sub>2</sub>O /m<sup>2</sup>h

A kibocsátott formaldehid mennyiségének meghatározása:

A 2., 3. és 4. órában kibocsátott formaldehid mennyiségét a megfelelő elnyeletőoldat extinkciójához a kalibrációs görbéből µg/ml egységben leolvasott koncentráció és az elnyeletőoldat teljes térfogatának (250 ml) szorzata adja:

$$G_i = \frac{c_i \times V}{1000}$$

ahol:

c<sub>i</sub> – az i órában vett minta koncentrációja µg/ml-ben

G<sub>i</sub> – az i órában kibocsátott formaldehid mennyisége mg-ban

V – az i órában kapott elnyeletőoldat teljes térfogata ml-ben (250 ml)

Az emissziós felület meghatározása:

Felületkezelés nélküli minta esetében a próbatest teljes felületét kell számítani, vagyis valamennyi lap és él felületének összegét:

$$F = 0,04 + 0,9 \times v$$

ahol:

F – a felület m<sup>2</sup>-ben

v – a próbatest vastagsága m-ben

A gázanalízis érték meghatározása:

A vizsgálat 2, 3 és 4. órájában a próbatest által leadott formaldehid mennyiségének és az emissziós felületnek ismeretében a gázanalízis érték a következő:

$$G = \frac{G_2 + G_3 + G_4}{3} \times \frac{1}{F}$$

ahol:

G – a gázanalízis érték, mg CH<sub>2</sub>O/m<sup>2</sup>h

G<sub>2</sub>...G<sub>4</sub> – az indexben jelzett órában leadott formaldehid mennyisége mg-ban

F – emissziós felület m<sup>2</sup>-ben

Minden mintából két próbatest vizsgálatát kell elvégezni és ezek számtani középértékét kell eredményként megadni.

Párhuzamosnak tekinthető a két próbatest vizsgálatának eredménye, ha azok különbsége az 1 mg/m<sup>2</sup>h értéket nem haladja meg (Takáts, 1993).

## 6. A vizsgálatok eredményei és értékelésük

### 6. 1. Páraáteresztés

A következő táblázatokban (10,11,12) láthatók a mért eredmények.

A három táblázat alapján feltűnik, hogy a nyárfakéreg szórása a két másik fajhoz képest magasabb. Ez egyértelműen a nyárfa kéregkorongok különböző dimenziójára vezethetjük vissza.

*10. táblázat Az akácfa kéreg páradiffúziós értékei*

Sorszám	$\frac{g}{[kg/(m^2*s)]}$ Fajlagos pára áteresztő képesség	W [kg/(m <sup>2</sup> *s*Pa)] Pára áteresztés	Z [m <sup>2</sup> *s*Pa/kg] Pára zárás	$\delta$ [kg/(m*s*Pa)] Pára áteresztő képesség
1	1,123E-06	1,9116E-11	5,23E+10	2,6192E-13
2	1,4116E-06	2,4028E-11	4,16E+10	3,3065E-13
3	1,2976E-06	2,2089E-11	4,53E+10	3,5306E-13
4	1,305E-06	2,2214E-11	4,5E+10	4,1783E-13
5	9,3004E-07	1,5831E-11	6,32E+10	2,578E-13
6	1,2186E-06	2,0743E-11	4,82E+10	2,8147E-13
7	1,2756E-06	2,1713E-11	4,61E+10	3,3923E-13
8	1,2627E-06	2,1494E-11	4,65E+10	4,3924E-13
9	9,2637E-07	1,5769E-11	6,34E+10	2,1023E-13
10	1,0403E-06	1,7708E-11	5,65E+10	3,7678E-13
11	1,2131E-06	2,0649E-11	4,84E+10	2,6397E-13
12	1,0164E-06	1,7302E-11	5,78E+10	2,5155E-13
13	8,1792E-07	1,3923E-11	7,18E+10	2,1439E-13
14	8,0873E-07	1,3766E-11	7,26E+10	2,5407E-13
15	8,9144E-07	1,5174E-11	6,59E+10	1,8462E-13
16	7,3521E-07	1,2515E-11	7,99E+10	2,1739E-13
17	8,3998E-07	1,4298E-11	6,99E+10	2,0034E-13
18	7,0948E-07	1,2077E-11	8,28E+10	2,0819E-13
19	5,606E-07	9,5426E-12	1,05E+11	1,9189E-13
20	5,2751E-07	8,9794E-12	1,11E+11	1,5195E-13
Átlag	9,96E-07	1,69E-11	6,37E+10	2,70E-13

11. táblázat A nyárfakéreg páradiffúziós értékei

Sorszám	$\frac{g}{[kg/(m^2*s)]}$ Fajlagos pára áteresztő képesség	W [kg/(m <sup>2</sup> *s*Pa)] Pára áteresztés	Z [m <sup>2</sup> *s*Pa/kg] Pára zárás	$\delta$ [kg/(m*s*Pa)] Pára áteresztő képesség
1	2,9051E-07	4,95E-12	2,02E+11	4,46E-14
2	5,1767E-07	8,81E-12	1,13E+11	9,16E-14
3	1,0419E-06	1,77E-11	5,64E+10	1,92E-13
4	1,3455E-06	2,29E-11	4,37E+10	2,37E-13
5	8,5187E-08	1,45E-12	6,9E+11	1,42E-14
6	2,5119E-07	4,28E-12	2,34E+11	5,01E-14
7	8,9555E-07	1,52E-11	6,56E+10	1,46E-13
8	1,0594E-06	1,8E-11	5,55E+10	1,97E-13
9	4,1064E-07	6,99E-12	1,43E+11	7,1E-14
10	3,1672E-07	5,39E-12	1,85E+11	6,28E-14
11	5,8102E-07	9,89E-12	1,01E+11	1,06E-13
12	8,6279E-07	1,47E-11	6,81E+10	1,35E-13
13	3,4293E-07	5,84E-12	1,71E+11	5,24E-14
14	3,5822E-07	6,1E-12	1,64E+11	5,3E-14
15	3,888E-07	6,62E-12	1,51E+11	6,33E-14
16	3,2109E-07	5,47E-12	1,83E+11	5,59E-14
17	4,1283E-07	7,03E-12	1,42E+11	7,14E-14
18	2,359E-07	4,02E-12	2,49E+11	4,31E-14
19	2,4245E-07	4,13E-12	2,42E+11	4,2E-14
20	9,6108E-08	1,64E-12	6,11E+11	1,63E-14
Átlag	5,0282E-07	8,56E-12	1,94E+11	1,04E-13

12. táblázat A tölgyfakéreg páradiffúziós értékei

Sorszám	$\frac{g}{[kg/(m^2*s)]}$ Fajlagos pára áteresztő képesség	W [kg/(m <sup>2</sup> *s*Pa)] Pára áteresztés	Z [m <sup>2</sup> *s*Pa/kg] Pára zárás	$\delta$ [kg/(m <sup>2</sup> *s*Pa)] Pára áteresztő képesség
1	5,32647E-07	9,067E-12	1,1E+11	1,09E-13
2	5,83376E-07	9,93E-12	1,01E+11	1,03E-13
3	5,93521E-07	1,01E-11	9,9E+10	1,2E-13
4	6,57777E-07	1,12E-11	8,93E+10	1,51E-13
5	4,61628E-07	7,858E-12	1,27E+11	8,97E-14
6	4,41336E-07	7,512E-12	1,33E+11	1,1E-13
7	8,28563E-08	1,41E-12	7,09E+11	2,05E-14
8	1,14139E-06	1,943E-11	5,15E+10	3,06E-13
9	4,95447E-07	8,434E-12	1,19E+11	1,16E-13
10	5,51248E-07	9,383E-12	1,07E+11	1,36E-13
11	6,61159E-07	1,125E-11	8,89E+10	1,41E-13
12	5,85067E-07	9,959E-12	1E+11	1,12E-13
13	4,34573E-07	7,397E-12	1,35E+11	1,03E-13
14	4,80228E-07	8,174E-12	1,22E+11	1,23E-13
15	4,17663E-07	7,109E-12	1,41E+11	1,23E-13
16	4,37955E-07	7,455E-12	1,34E+11	1,12E-13
17	4,51482E-07	7,685E-12	1,3E+11	1,25E-13
18	4,70083E-07	8,002E-12	1,25E+11	1,19E-13
19	4,32882E-07	7,369E-12	1,36E+11	1,12E-13
20	4,59937E-07	7,829E-12	1,28E+11	1,26E-13
Átlag	5,22E-07	8,83E-12	1,44E+11	1,23E-13



26. ábra Fajlagos páraáteresztő képesség összehasonlítása

A 26. ábrán látható, hogy a páradiffúziós értéke a három fafaj kéreg közül az akácnak kiemelkedően magas. Összehasonlításképpen a diagramban látható, hogy a kéreg páraáteresztő képessége jóval magasabb, mint a faanyag páradiffúziója. A kéreg páradiffúziós értékeit egy, a Nyugat-magyarországi Egyetemen folyt Tudományos



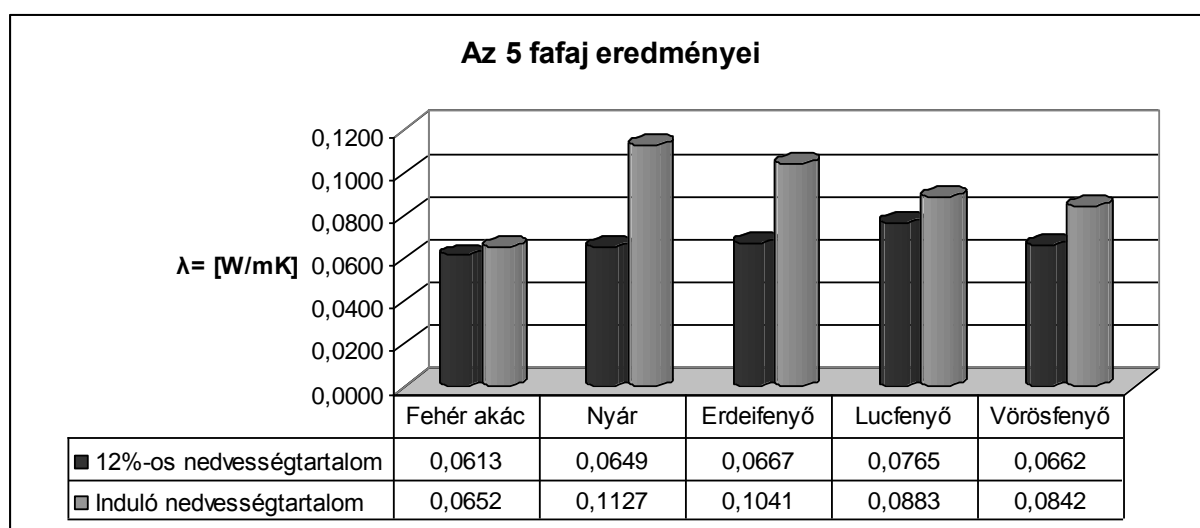
Diákköri kutatásból, Novák Dániel (2012) által mért faanyag páradiffúziós értékeivel hasonlítottuk össze. Ez egyértelműen a kéreg és a fatest eltérő sejtszerkezetére vezethető vissza. Tehát a vizsgálat alapján megállapítható, hogy a kéreg szigetelőanyagként való alkalmazása a páraáteresztési értékek alapján kedvező lehet.

A nyárfakéreg páradiffúziós értékeinél feltűnik, hogy a másik két faj mellett- a kapott eredmények között nagyobb szórás tapasztalható- ez a nyárfakéreg minták egymástól való nagyfokú eltérésének tudható be.

## 6.2 Öt fajfaj kéregének hővezetési tényező értékei

Az öt fajfaj kéregmintáinak hővezetési tényező értékeit megmértük az adott, a begyűjtés utáni nedvességtartalomnál, majd légszár (12%) nedvességtartalomnál is. A méréseket 50 mm-es vastagságnál végeztük, sűrűségük egységesen  $100 \text{ kg/m}^3$  volt.

A kapott hővezetési tényező értékeket a 27. ábra mutatja. A mért értékeket háromszor száz mérés átlagából kaptuk. A kéregaprítékot a mérőműszerbe önmagában beterítettük.



27. ábra Öt fajfaj kéregmintáinak hővezetési tényező értékei kezdő-, illetve légszár nedvességtartalomnál

A méréseink egyértelműen alátámasztják a nedvességtartalom szerepét a kéregaprítékok hőszigetelő képességében. A víz magas fajhője és jó hővezető képessége révén a rendszer hővezetési értékeit kedvezőtlen irányban befolyásolta. Részben kitölti a sejturegeket és a sejtfalban is jobb „hőkontaktust” biztosít, másrészt maga a vízgőz magas faj- és látens hője révén nagy hőmennyiség szállítására képes.

A mért eredmények alapján megállapítható, hogy 12%-os nedvességtartalomnál a lombos fajfajok kéregének hővezetési tényező értékei jobbak, mint a tűlevelű fajfajoké.

Ez egyértelműen a sejtszerkezetre és az aprítás hatására létrejövő darabok alakjára, és méreteire vezethető vissza.

Ezek alapján a további vizsgálatokat már csak a lombos fafajokra korlátoztunk, melyeknél nagyarányú háncs részarány van. Döntésünket az is indokolja, hogy a fenyőfélék kérgének felhasználása megoldott, hiszen talajtakarásra egyre elterjedtebben használják. A lombos fajok kérge ilyen jellegű hasznosításra nem alkalmas, hiszen kergükben nagyon sok vegyi anyag található, melyek pH- értékükkel károsan hatnak a talajra.

A különböző nedvességtartalom mellett mért hővezetési tényező értékeket a 13. táblázat mutatja be. Ugyanebben a táblázatban találhatóak a további származtatott eredmények is.

13. táblázat A nedvességtartalom és a hővezetés közötti kapcsolat

Fafajok	Hővezetési értékek 12% nedvességtartalomnál	Hővezetési értékek nedves állapotban		Nedv. tartalom különbség	Hővezetés különbség	Hővezetés százalékos változása	1%-ra vetített hővezetési tényező
	[W/(mK)]	[W/(mK)]	Nedv.tart. [%]	[%]	[W/(mK)]	[%]	[(W/(mK))/nedv.tart.(%)]
Akác	0,0613	0,0652	14,3	2,3	0,0039	6,36	2,77
Nyár	0,0649	0,1120	40,2	28,2	0,0471	72,57	2,57
Vörösfenyő	0,0662	0,0842	24,2	12,2	0,018	27,19	2,23
Erdeifenyő	0,0667	0,1040	35,9	23,9	0,0373	55,92	2,34
Lucfenyő	0,0765	0,0883	22,8	10,8	0,0118	15,42	1,43

Megfigyelhető, hogy az akác és a nyár kéreg aprítékok között 5,5%-os a hővezetési tényező különbség. A vörösfenyő kéreg aprítéka 7,4%, míg az erdeifenyő 8,1%-kal magasabb eredményt mutatnak az akácnál. A lucfenyő kéreg apríték hővezetése 19,8%-kal magasabb értéket mutatott, mint az akácé.

A akác 2,3%-os nedvességtartalmi változása eredményezte a hővezetés 6,36%-os változását, mely alapján megállapítható, hogy 1%-os nedvességtartalmi változás 2,77%-os hővezetési tényező változást eredményez.

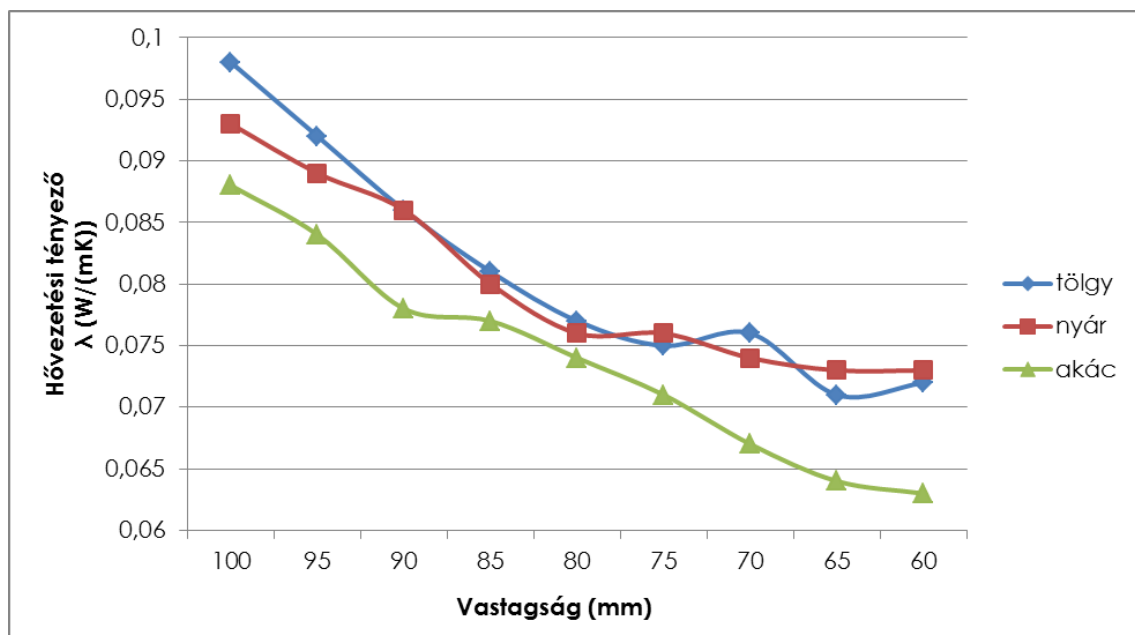
### 6.3 Három fafaj kérgének tömörítés hatására végbemenő hővezetési tényező változása

A mért fafajok kérgének sűrűségi és vastagsági értékeit a 14. táblázat tartalmazza.

14. táblázat A három fafaj és levegő rendszer sűrűség értékei

Minta sorszama	d <sub>0</sub>	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>	d <sub>4</sub>	d <sub>5</sub>	d <sub>6</sub>	d <sub>7</sub>	d <sub>8</sub>
Vastagság	100	95	90	85	80	75	70	65	60
ρ(kg/m <sup>3</sup> )	60,0	63,2	66,7	70,6	75,0	80,0	85,7	92,3	100,0

A táblázat alapján is látható, hogy a vastagság csökkenésével a sűrűségi értékek nőnek. A következő diagramon (28. ábra) láthatjuk a három fafaj hővezetési tényezőjének változásait.



28. ábra A három fafaj apríték hővezetési tényezőjének ( $\lambda$ ) változása a tömörítettség függvényében

A mérési eredmények alapján megállapítható, hogy tömörítés hatására az aprított kéreg és levegő rendszer hővezetési tényező értékei változnak, a mért tartományban csökkennek. A fenti diagramban is látható, hogy a három fafaj közül az akác bizonyult a legjobb hőszigetelőnek 60 mm-es vastagságban 0,063 W/(mK) értékkel.

Összenyomás hatására a kéregdarabok egyre közelebb kerülnek egymáshoz, levegőt szorítva ki maguk közül, így több kisebb légkamrát alakítanak ki, ami a levegő áramlását nagymértékben csökkenti. A nyugvó levegő hővezetési tényezője alacsony érték 0,025 W/(mK), szabad áramlása esetén viszont ennek sokszorososa is lehet a hő szállító képessége. Kisebb áramlási csatornák, kamrák esetén a légáramlás jelentősen alacsonyabb, így a nyugvó levegőhöz tartozó értékek dominálnak. Ez magyarázza az

összenyomás hatására történő hővezetési tényező csökkenést. A diagramon (28. ábra) látható, hogy a maximális szigetelő hatás elérése a tölgykéregnek 75 mm-nél tételezhető fel, az értéke pedig  $0,071 \text{ W/(mK)}$ .

A fokozódó összenyomás hatására azonban a kéregdarab elemek egyre több ponton, illetve nagyobb felületeken érintkeznek egymással. Ezzel növelve az apríték-levegő mátrixban a kéregelemek okozta hőhid-rendszer hatását. Ennek eredményeként a rendszerben egyre nagyobb arányban jelenik meg a szilárd elemeken keresztül átjutott hő mennyisége, növelve a hővezetési tényező értékeit, miközben egyre kevesebb levegő is van a kéreg darabok között. A levegő mennyiségének és eloszlásának az optimális érték alá csökkenése pedig a szilárd elemek befolyását emelik, növelve a rendszer hővezetési tulajdonságát.

Mindhárom vizsgált fafajnál látható kismértékű „hullámzás” a diagramon. Ezen pontokon a mért érték nem illeszkedik harmonikusan a több mérési eredmény által feltételezett görbékbe. Ennek magyarázata lehet, hogy nagyon kis értékek mérése során minimális zavaró tényezők is észrevehető hatást gyakorolnak. Az itteni két tízezred nagyságrendű eltérés igen alacsonynak számít, a mérési tartományhoz képest, másképpen fogalmazva a rajzolt grafikon nagyon finom felbontást mutat.

#### *Eredmények értékelése*

A magas hánccs tartalom miatt az aprításkor a fenyő kérgekkel szemben az akác és a nyár hánccs teste nem korongszerű alakzatra tört, hanem szálas szerkezetű lett, mely a fafajonként különböző mennyiségű hánccs tartalomnak tudható be. A hánccs a kéreg elemek között további légrétegeket alakít ki, csökkentve a kéregdarabok érintkező felületeit. Az aprított kéreg elemek geometriájuknál fogva pontszerűen és élek mentén ülnek fel egymáson. A köztük lévő szabad teret levegő tölti ki. A szálak pedig térhálósító szerepet töltenek be az aprítékban. A fokozódó összenyomás hatására a kéregdarab elemek egyre több ponton, illetve nagyobb felületeken érintkeznek egymással. Ezzel növelve az apríték-levegő mátrixban a kéregelemek okozta hőhid-rendszer hatását. Ennek eredményeként a rendszerben egyre nagyobb arányban jelenik meg a szilárd elemeken keresztül átjutott hő mennyisége, növelve a hővezetési tényező értékeit. Köztudott, hogy az általánosan használt szigetelő anyagok, - mint az ásvány és üveggyapot- is a levegő kedvező hőszigetelő képességét használják ki azáltal, hogy a levegőt kis térrészekre választják szét és megakadályozzák (vagy jelentősen nehezítik) szabad áramlását. A nyugvó levegő pedig  $0,025 \text{ W/(mK)}$ -es szigetelő képességével előnyösen járul hozzá a rendszer hővezető képességéhez.

## 6.4. Hővezetési tényező meghatározása akác kéreglapoknál

Az előzőkben leírt mérésekhez hasonlóan, a változó vastagságú ragasztott akáckéreg lapoknál is megmértem a hővezetési értékeket, melyek eredményei a 15. táblázatban láthatók.

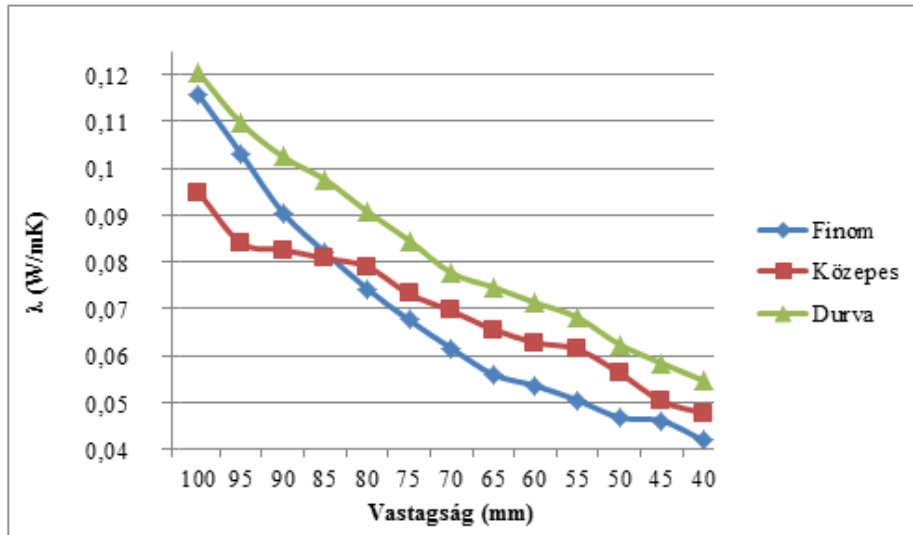
15. táblázat A változó vastagságú kéreglapok hővezetési tényező értékei

Vastagság (mm)	Hővezetési tényező értékek (W/(mK))			
	1. próbatest	2. próbatest	3. próbatest	Átlag
10	0,0654	0,0656	0,0660	<b>0,0656</b>
20	0,0637	0,0662	0,0655	<b>0,0651</b>
30	0,0652	0,0656	0,0651	<b>0,0653</b>
40	0,0656	0,0657	0,0658	<b>0,0657</b>

A táblázat alapján megállapítható, hogy a vastagság csökkenésével a hővezetési értékek nagyon csekély mértékben csökkennek, mígnem eléri azt a pontot 20 mm-es vastagságnál, ahol már nem csökken tovább. A tömörítéssel kísérlet eredményeinél is látható volt, hogy az akáckéreg és levegő keverék a sűrűség növelésével egyre jobb hőszigetelővé válik. A másik két vizsgált fajtánál a 60 mm-re való összetömörítés elég volt ahhoz, hogy a maximális hőszigetelési értékeket elérjük, az adatok azonban nem összehasonlíthatóak, mert a vizsgált anyagmennyiség eltérő volt. Meg kell még említeni, hogy a ragasztott próbatestek nedvességtartalmát a tömörítésnél beállított légszáraz (12%) állapotról 5%-ra csökkentettük, ami szintén elősegítette a hővezetési értékek javulását. Viszont a próbatestekhez hozzáadott 8%-os ragasztómennyiség valószínűsíthetően növelte hővezetési értékét.

## 6.5 Frakcionált akácfakéreg hővezetési tényezőjének meghatározása

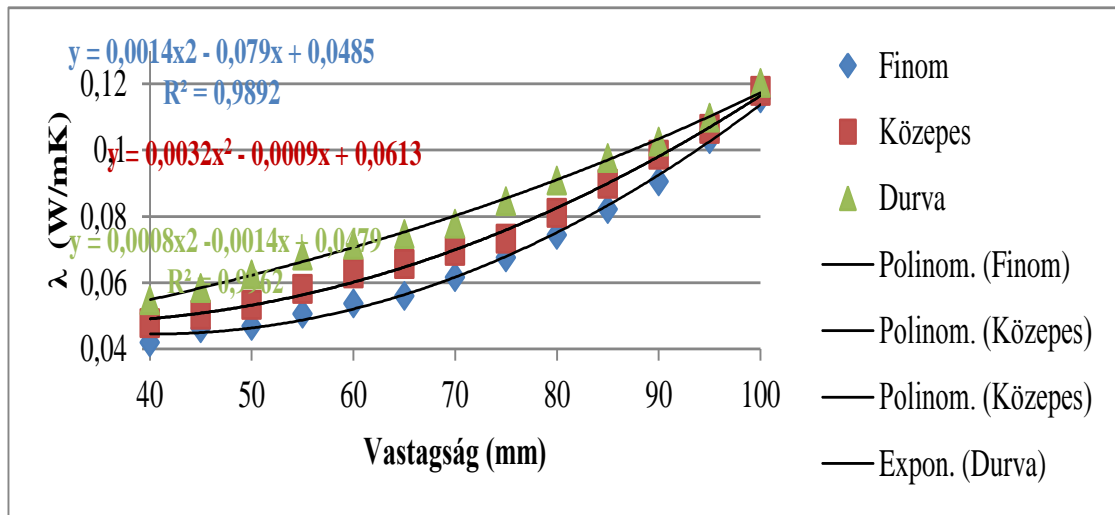
A következő diagramon (29. ábra) láthatók a frakcionált akácfakéregből préselt rétegek mért hővezetési tényező értékei.



29. ábra A frakcionált akácfakéreg mért eredménye

Jól látható, hogy mindhárom frakció esetén a legalacsonyabb hővezetési tényező a legnagyobb tömörítésnél jelentkezik, azaz 40 mm-nél. A vizsgáló berendezésünk a további tömörítéshez szükséges erőt nem tudta volna károsodás nélkül felvenni, így a legnagyobb tömörítési vastagság 40 mm volt. A frakciók szerinti osztályozás alapján kimutatható, hogy a különböző szemcseméretetek között eltérések vannak a hővezetési tényezőben. A frakciók között is jelentős különbségekről beszélhetünk, hiszen a durva frakció legjobb értéke 0,0547 W/(mK) a finom frakció legjobb értékétől is 0,0419 W/(mK) több mint egy százados eltérést mutat, ami nem elhanyagolható. Így megállapíthatjuk, hogy a hővezetési tényező a szemcseméret függvényében változik. A közepes frakció legjobb értéke 40 mm-nél 0,0477 W/(mK).

A mért értékekre polinom függvényt illesztettünk, mely segítségével az esetleges további tömörítés hatására kialakuló függvény minimum pontját igyekeztünk becsülni. Vagyis meddig kellene a frakciókat tovább tömöríteni, hogy a legalacsonyabb hővezetési értékeket érjük el. A 30. ábrán tüntettük fel a mérési eredményeket és a ráillesztett polinom függvényeket. A másodfokú polinomokat azért választottuk, mert az aprítékok tömörítése (28. ábra) azt mutatta, hogy a függvényeknek lesz minimumuk.



30. ábra A polinom függvények

A polinom függvények magas  $R^2$  értékeket adnak, így a függvények helyességét jónak tételezzük fel. A polinom függvények analízise segítségével megkapjuk a függvények minimum pontjait.

Finom frakció:

$$y = 0,0014x^2 - 0,0079x + 0,0485$$

$$y' = 0,028x - 0,0079 = 0$$

$$x = \frac{0,0079}{0,028}$$

$$\underline{x = 2,82 \text{ cm}}$$

Közepes frakció:

$$y = 0,0009x^2 - 0,0032x + 0,0613$$

$$y' = 0,0018x - 0,0032 = 0$$

$$x = \frac{0,0032}{0,0018}$$

$$\underline{x = 1,77 \text{ cm}}$$

Durva frakció:

$$y = 0,0008x^2 - 0,0014x + 0,0479$$

$$y' = 0,0016x - 0,0014 = 0$$

$$x = \frac{0,0014}{0,0016}$$

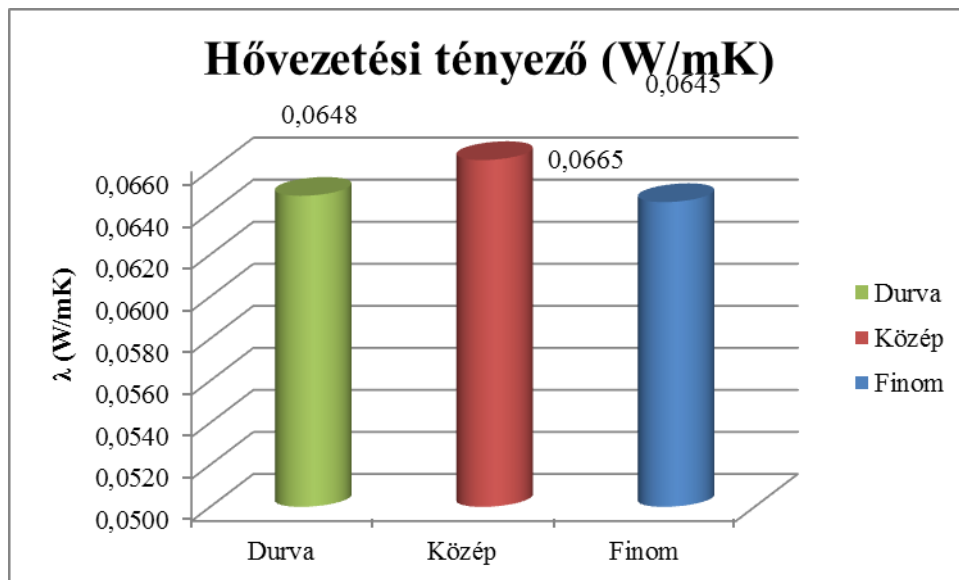
$$\underline{x = 0,879 \text{ cm}}$$

A számítás alapján megállapítható, hogy a frakcióknak különböző helyeken vannak a minimum pontjaik. A jelentős különbségek oka egyértelműen a szemcseméretre vezethető vissza, illetve a szemcsék között kialakuló légrések méretére. Nagyobb szemcseméretűek esetén tömörítés nélkül nagyobb légrések alakulnak ki, ahol a konvekció szerepe jelentős. E nagy méretű szemcsék összetömörítésével csökkennek le a légüregek, ezért igényelné ez a frakció méret a nagyobb mértékű tömörítést. A minimum pont számításos közelítés, hiszen a vizsgált anyagok minimum pontjának kimérését sajnos a használt hővezetést mérő műszerrel nem tudtuk elvégezni. A további tömörítés esetén más befolyásoló tényezők is felléphetnek, amelyek a számolt értékektől valamelyest eltérő eredményt hozhatnak.

Ezen mérések alapján feltételezzük, hogy a fent leírt, a függvény minimum pontjára tett számítások helytállóak, de legalább jó közelítést adnak.

## 6.6 Hővezetési tényező meghatározása frakcionált, ragasztott akácfa kéreglapoknál

A leírt módszerrel megvizsgáltuk a három frakcionált ragasztott lap hővezetési tényező értékeit. A következő ábrán (31. ábra) láthatók a kapott eredmények. A méréseket szintén háromszor száz mérés átlagából kaptuk.



31. ábra A frakcionált lapok hővezetési tényező értékei

A mérések alapján megállapíthatjuk, hogy – az előző mérésekhez hasonlóan – a finom frakció bizonyult a legjobbnak a ragasztott hőszigetelő lapok között is. Tehát a  $8 \geq x_3 \geq 1$  szemcseméretű lap hővezetési értéke 0,0645 W/(mK) lett.



## 6.7 Formaldehid kibocsátás meghatározásának eredménye

Mindhárom frakciójú próbatestből megvizsgáltunk 2-2 db mintát. Az eredményeket a következő táblázat (16.) tartalmazza.

16. táblázat  
Durva frakció

1-es minta											
	vak	1.óra	2.óra	3.óra	4.óra	átlag abszorbancia	átlag-vak	Faktor	Felület (m <sup>2</sup> )	Gm (mg/m <sup>2</sup> h)	Átlag Gm (mg/m <sup>2</sup> h)
1	0,032	0,058	0,055	0,050	0,043						
2	0,032	0,058	0,055	0,050	0,043						
3	0,032	0,058	0,055	0,050	0,043			1,8	0,056	0,156	
átlag	0,032	0,058	0,055	0,050	0,043	0,052	0,02				
2-es minta											
	vak	1.óra	2.óra	3.óra	4.óra	átlag abszorbancia	átlag-vak	Faktor	Felület (m <sup>2</sup> )	Gm (mg/m <sup>2</sup> h)	0,158
1	0,032	0,062	0,054	0,048	0,043						
2	0,032	0,063	0,055	0,049	0,043						
3	0,032	0,063	0,054	0,047	0,043			1,8	0,056	0,160	
átlag	0,032	0,063	0,054	0,048	0,043	0,052	0,02				

Közepes frakció

1-es minta											
	vak	1.óra	2.óra	3.óra	4.óra	átlag abszorbancia	átlag-vak	Faktor	Felület (m <sup>2</sup> )	Gm (mg/m <sup>2</sup> h)	Átlag Gm (mg/m <sup>2</sup> h)
1	0,038	0,066	0,061	0,054	0,050						
2	0,038	0,066	0,061	0,054	0,050						
3	0,038	0,066	0,061	0,054	0,050			1,8	0,056	0,158	
átlag	0,038	0,066	0,061	0,054	0,050	0,058	0,020				
2-es minta											
	vak	1.óra	2.óra	3.óra	4.óra	átlag abszorbancia	átlag-vak	Faktor	Felület (m <sup>2</sup> )	Gm (mg/m <sup>2</sup> h)	0,156
1	0,038	0,066	0,061	0,054	0,049						
2	0,038	0,066	0,061	0,055	0,049						
3	0,040	0,067	0,061	0,054	0,051			1,8	0,056	0,153	
átlag	0,039	0,066	0,061	0,054	0,050	0,058	0,019				

Finom frakció											
1-es minta											
	vak	1.óra	2.óra	3.óra	4.óra	átlag abszorbancia	átlag-vak	Faktor	Felület (m <sup>2</sup> )	Gm (mg/m <sup>2</sup> h)	Átlag Gm (mg/m <sup>2</sup> h)
1	0,037	0,069	0,059	0,050	0,046						
2	0,037	0,069	0,059	0,050	0,046						
3	0,037	0,067	0,059	0,050	0,046			1,8	0,056	0,141	
átlag	0,037	0,068	0,059	0,050	0,046	0,056	0,019				
2-es minta											
	vak	1.óra	2.óra	3.óra	4.óra	átlag abszorbancia	átlag-vak	Faktor	Felület (m <sup>2</sup> )	Gm (mg/m <sup>2</sup> h)	<b>0,132</b>
1	0,037	0,058	0,062	0,050	0,042						
2	0,037	0,058	0,062	0,049	0,042						
3	0,037	0,058	0,063	0,049	0,042			1,8	0,056	0,124	
átlag	0,037	0,058	0,062	0,049	0,042	0,051	0,014				

A következő, 17. táblázat tartalmazza a 3 frakció formaldehid kibocsátásának összefoglaló eredményeit. Mindhárom frakció kezdeti formaldehid tartalma megegyező volt.

*17. táblázat A három frakció formaldehid emissziója*

Anyag	Formaldehid emisszió Gm [mg/m <sup>2</sup> h]	Átlag
Durva frakció	1. minta	0,156
	2. minta	0,160
Közepes frakció	1. minta	0,158
	2. minta	0,153
Finom frakció	1. minta	0,141
	2. minta	0,124

A táblázat alapján megállapíthatjuk, hogy a finom frakció mutatja a legalacsonyabb eredményeket. Összehasonlításképpen a 18. táblázatban több anyag látható, melyeknek a formaldehid emisszióját hasonlóan az általunk vizsgálthoz, gázanalízissel végezték.

**18. táblázat** Ragasztott faanyagok formaldehid emissziója (Faime vizsgálatok alapján, kéreg saját mérés)

Anyag		Formaldehid emisszió Gm [mg/m <sup>2</sup> h]
Forgácslap	6 mm	0,68
	12 mm	0,98
	14 mm	1,28
	18 mm	1,35
Rétegelt lemez	4 mm	0,61
	8 mm	0,41
Lakkozott farostlemez	2,5 mm	1,10
	3 mm	0,40
<b>Kéreg</b>	<b>20 mm</b>	<b>0,15</b>

A táblázatban feltüntetett anyagokban 8%, míg a kéregben 4% UF ragasztó található. Ezek tudatában is látható, hogy a legjobb értéket egyértelműen a kéreglapok adják.

Valamennyi kéregtábla lehasadó formaldehid tartalma jóval alacsonyabb volt, mint a szabványban előírt 3,5 mg/m<sup>2</sup>h. Kain et al. (2014) bebizonyították, hogy a kéregnek jóval alacsonyabb a formaldehid kibocsátása (70%-al kevesebb) mint a forgácslapnak és farostlemeznek, feltehetően a kéregnek formaldehid elnyelő képessége van. A méréseink is alátámasztják ezen állítást.

## 7. Összefoglalás

A természetes fakéreg hőszigetelési tulajdonságait vizsgáltunk és hőszigetelő lapot készítettünk.

A kísérletek megkezdése előtt irodalomkutatást végeztünk, melyben a kéreg általános anatómiai jellemzésén túl, részletesen megvizsgáltuk a szakirodalmat, majd egy fejezetben összegeztem a kéreg eddigi felhasználási területeit. Ezen tevékenység egy hiánypótlásnak is nevezhető, hiszen a kéreg eddigi kutatásairól, felhasználhatóságának sokszínűségéről általánosságban használható publikáció még nem született. Igyekeztem e hiányosságot orvosolni, nagyszámú szakirodalmat összegyűjteni a témában.

A páraáteresztő vizsgálataink alapján elmondható, hogy a természetes kéreg páraáteresztő képessége (akác kéregnek) kiemelkedően jó. Feltehetően szigetelésként való alkalmazásánál a magas páraáteresztő képességének köszönhetően csökkenti a lakótérben a hőhidak kialakulását és a pára lecsapódását, vagyis „lélegző szerkezetet” hozhatunk létre vele.

A kutatások során először meg kellett állapítani, hogy a lombos vagy tűlevelű fajok kérge alkalmasabb hőszigetelés gyanánt. A vizsgálatok során 3 tűlevelű és 2 lombos fafajt vizsgáltunk meg. A kísérlet egyértelműen alátámasztotta, hogy a lombos fajok kérge – sejtszerkezetük és nagyobb háncs tartalmuk miatt – alkalmasabb hőszigetelésre.

A következő lépésben Magyarországon döntő szerepet játszó 3 lombos fafaj kérgét vizsgáltuk tovább (akác, nyár, tölgy). Mindhárom fafajnál a tömörítés hatására végbemenő hőszigetelési tényező változását figyeltük. A kísérletek egyértelműen alátámasztották, hogy a vizsgált fajok közül az akác kérge  $0,063 \text{ W/(mK)}$  a legalkalmasabb a további kísérletekre. Nem vizsgáltuk, hogy mely sűrűség mellett mutatja a legjobb eredményeket.

A további vizsgálatoknál az akác faanyag kérgére koncentráltunk. Kérgéből különböző vastagságú mintadarabokat készítettünk hidraulikus prés és karbamid-formaldehid (UF) gyanta segítségével, mely a forgácslap gyártásban használatos. A változó vastagságú próbatesteket hővezetési tényező mérő berendezéssel vizsgáltuk. A kísérletek alapján a  $343 \text{ kg/m}^3$  testsűrűségű mintadarabok mutatták a legjobb eredményeket  $0,0651 \text{ W/(mK)}$ .

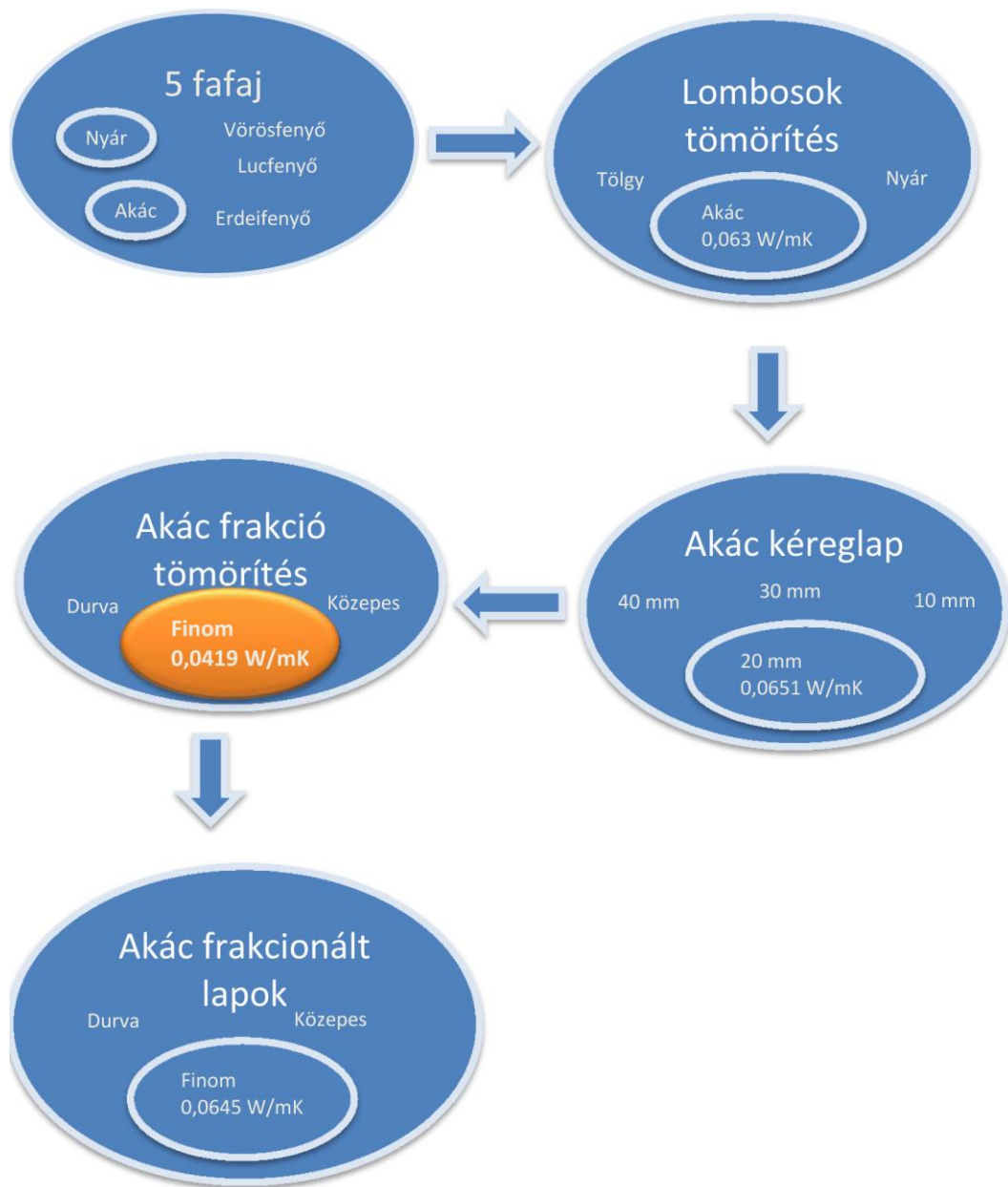
A továbbiakban az akác kérgét frakcióanalizáló berendezés segítségével három frakcióra osztottuk. Mindhárom frakciónak a tömörítés hatására végbemenő hőszigetelő változását vizsgáltuk. A mérések megmutatták, hogy a finom frakciójú akáckéreg mutatja a legjobb eredményt  $0,0419 \text{ W/(mK)}$ , mely a ma használt hőszigetelő anyagok körében is versenyképes eredménynek számít.

A három frakcióból a továbbiakban 20 mm vastagságú kéreglapokat készítettünk. A három frakció közül - ezen mérés alkalmával is - a finom frakciójú akáckéreg bizonyult a legjobb hőszigetelőnek  $0,0645 \text{ W/(mK)}$ . Az eredmény a ragasztóanyag bevitel miatt már sajnos nem mutatja a tömörítésnél elért eredményt, de

a természetes anyagok között a ragasztott kéreglap is megállja a helyét. A mérések összefoglalóját a 32. ábra tartalmazza.

A kéreg nagyobb mértékben tartalmaz védő szerepet betöltő anyagokat: csersav, szuberin stb, mint a faanyag, hiszen a természetben is a kéregnek van védő szerepe a biotikus károsítókkal szemben, így a kéreg hordozva ezen anyagokat kevésbé szorul vegyszeres védelemre, mint a fa.

- Összességében az is megállapítható, hogy a kéreg aprítékok hőszigetelő képessége jelentősen megközelíti esetenként el is éri a széles körben alkalmazott hőszigetelő anyagok értékeit. A magyarázat egyértelműen a sejtszerkezetre és az aprítás hatására kialakult közbezárt levegőre vezethető vissza. Egy anyag hővezető képessége szoros összefüggésben van annak sűrűségével.



32. ábra A hővezetési tényező mérések összefoglaló ábrája

A formaldehid kibocsátás vizsgálatát és más faalapú kompozit lemezekkel történő összehasonlítását követően megállapítottuk, hogy a kéreglapok formaldehid kibocsátása lényegesen alacsonyabb, mint más forgácslapoké. A megengedett formaldehid tartalomnál jóval alacsonyabb a kéreglapokban a formaldehid kibocsátás. Így arra lehet következtetni (Kain et al., 2014), hogy a kéreg formaldehid elnyelő képességgel rendelkezik.

## **8. További lehetséges kutatási irányok**

Az alkalmazási lehetőségeinek kiaknázásához, szükség lesz a gyártástechnológia tökéletesítésére, amely nagyobb méretpontosságot és szabályozható sűrűséget, ezáltal jobb, egyenletesebb és megbízhatóbb minőséget eredményez. Szélesebb körű alkalmazásához egyéb vizsgálatok is szükségesek.

Egyik legfontosabb vizsgálat – főként a természetes alapú szigetelőanyagok körében – a tűzállóság kérdése. Azokat az építőanyagokat, melyeknek nem ismertek a tűzállósági tulajdonságai, vagy nem teljesítik az MSZ EN 11925-2 szabvány szerinti E tűzveszélyességi osztályba sorolás feltételeit, az MSZ EN 13501-1 szabvány szerint F tűzveszélyességi osztályba sorolandók. A kéregszigetelésre tűzállósági vizsgálatot információim alapján még nem végeztek. A cellulózrostot tűzállóságának javulása céljából borsavval és boraxal kezelik. Hasonló kezelés javasolható a kéreg szigetelő táblák tűzállóságának fokozására. Részletek kidolgozása további kísérleteket igényel.

Fontos azonban megjegyezni, hogy a tűzállóságát feltehetően nagyban befolyásolja a felületképzés is. Ismeretes, hogy egyes hőszigetelő anyagokból készült hőszigetelő rendszer (pl. műanyaghabok) tűzvédelmét a felületére kerülő vakolatréteg vagy a könnyűszerkezet házaknál a szendvicsszerkezet külső borítása jelentősen megnöveli.

További fontos vizsgálat lehet a nyomás hatására bekövetkező lassú alakváltozás (kúszás) meghatározása. Ez elsősorban annak érdekében lényeges, hogy információink legyen azzal kapcsolatban, hogyan viselkedhet a kéreglap tartós terhelés alatt (pl. padló lépéshangszigetelése esetén). Erre a vizsgálatra vonatkozóan létezik az MSZ EN 1606 számú honosított európai szabvány.

A kéregszigetelés öregedési hajlama is vizsgálat tárgyát kellene, hogy képezze. Öregedési hajlam vizsgálatára vonatkozó szabvány hőszigetelő anyagok esetében a rendelkezésemre álló információk alapján nem létezik, azonban véleményem szerint ki kell dolgozni egy mérési módszert rá, például a páratartalom folyamatos változtatásával. Kritikus kérdés lehet a kéregszigetelés kártevőkkel szembeni ellenálló képessége is.

## 9. A dolgozat eredményeinek összefoglalása, ipari felhasználása

A talajba forgatott, illetve talajtakarásra használt kéreg a szakirodalom alapján lazítja a talajszerkezetet, viszont a vizsgált kéregben lévő nagyfokú vegyi anyag tartalom rossz hatással van a termőföld szerkezetére.

A kéreg másik elterjedt – kevésbé környezetbarát – hasznosítási módja a biomasszaként történő elégetés, ami nagymennyiségű CO<sub>2</sub>-kibocsátással jár.

A fentiekből levonhatjuk tehát a következtetést, hogy az évente óriási mennyiségben keletkező kéreg – mint erdészeti melléktermék – hasznosítása nem megoldott, sőt, indokolt, gazdasági előnyei miatt egyenesen szükségszerű.

A dolgozat eredményei alapján megállapítható, hogy a vizsgált fakéreg hőszigetelési tulajdonságai bizonyos frakcióban és sűrűségnél elérik a szokványosan alkalmazott szigetelő anyagokét, melyek hővezetési értékei 0,04 W/(mK) körül vannak. Kiváló hőszigetelő képessége, kimagaslóan jó páraáteresztése, illetve alacsonyabb formaldehid emissziója alapján egyértelműen indokolt hőszigetelő anyagként való használata.

Fontosnak tartom megemlíteni, hogy a fakéreg 100%-ban természetes alapanyagból áll, úgy, hogy a tömegének közel felét kitevő szén a levegő széndioxid tartalmából épült be. Az előállítása a mesterséges üveg- és a kőzetgyapot olvasztásával szemben csekélyebb energiaszükséglettel jár, tehát a fajlagos szigetelő hatásra vetített CO<sub>2</sub> mérlege is feltehetően jobb, mint más szigetelő anyagoké. A kéreg-szigetelés életciklusa végén energetikai vagy más célra újrahasznosítható. Magyarországon évente körülbelül 1 206 000 m<sup>3</sup> akácfaanyagot termelnek ki, ami a fakitermelés több mint 18%-a (a fafajok közül a legnagyobb mennyiség). Kéreghányada függvényében (kb. 20%) elmondható, hogy kitermelése során közel 300 000 m<sup>3</sup> kéreghulladék keletkezik. Kevés előállítási ráfordítással hasznos és praktikus megoldás lenne öko-hőszigetelésként való alkalmazása. A 19. táblázatban látható a piacon kapható mesterséges- és természetes hőszigetelő anyagok összehasonlítása.

19. táblázat Hőszigetelő anyagok értékei (<http://biosolar.hu/>)

Anyag	$\lambda$ (W/(mK))	Anyag	$\lambda$ (W/(mK))
Mesterséges anyagok		Természetes anyagok	
poliuretán hab	0,034	cellulózrost	0,045
polisztirol	0,038	fagyapot	0,09
kőzetgyapot	0,040	faforgács	0,076
üveggyapot	0,046		
ásványgyapot	0,042	szalmabála	0,072
perlit	0,047		
kéreg		0,042	



## 10. Tézisek

1. Tézis: A **méréseim** egyértelműen alátámasztják a **nedvességtartalom szerepét** - a faanyaghoz hasonlóan - a kéregaprítékok hőszigetelő képességében. A víz magas fajhője és jó hővezető képessége révén a rendszer hővezetési értékeit kedvezőtlen irányban befolyásolja. Részben kitölti a sejtüregeket és a sejtfalban is jobb „hőkontaktust” biztosít, valamint maga a vízgőz magas faj- és látens hője révén nagy hőmennyiség szállítására képes. A mért eredmények alapján meghatároztam, hogy 1%-os nedvességtartalmi változás hány százalékos hővezetés tényező változást eredményez.
2. Tézis: **Vizsgálatokat végeztem** 3 fajfaj kérgének **páraáteresztő képességére**. **Megállapítottam**, hogy a kéreg a faanyagnál lényegesen jobb páraáteresztő képességgel rendelkezik, ezért alkalmasabb hőszigetelésre.
3. Tézis: **Megállapítottam**, hogy a **hővezetési tényező** a kéreg szemcseméretének függvényében változik. A finom szemcseméretű kéreg adta a legjobb eredményeket. Egyúttal megállapítottam, hogy a frakcióanalizálás nélkülözhetetlen a kéreglapok készítésénél, ugyanis az 1 mm-nél kisebb szemcseméretű kéregpor a ragasztást negatív irányban befolyásolja.
4. Tézis: **Megvizsgáltam** az elkészített kéreglapok **formaldehid emisszióját**, mely során kimutattam, hogy a kéreglapok formaldehid kibocsátása lényegesen alacsonyabb, mint más forgácslapoké. A szabványban megengedett tartalomnál is jóval alacsonyabb mennyiségben van jelen a formaldehid a kéreglapokban.
5. Tézis: **Kifejlesztettem** egy olyan **hőszigetelő lapot**, mely hasonló hőszigetelési értékekkel bír, mint a ma használatos általános szigetelő anyagok.

## **Felhasznált irodalom**

- Ábri, J.; Gömör, P.; Horváth, A. (2010): Természetes eredetű növénykondicionáló készítmény és eljárás annak alkalmazására (plant conditioning composition of natural origin and process for using it), Szabadalmi oltalom, Budapest
- Alpár, T. (2007): Farostlemez- és forgácslapgyártás gyakorlatok, Egyetemi jegyzet, Sopron
- Ámon, A.; Kardos, P.; Kazai, Zs.; Perger, A.; Tóth, N. (2006): Magyarországi fenntartható energiastratégia, Energia Klub, Tanulmány
- Anderson, A. B.; Wong, A. (1974): Utilization of White Fir Bark and its Extracts in Particleboard, Forest Products Journal, No. 7. 40
- Anderson, A. B.; Wong, A. (1975): Douglas- Fir and Western Hemlock Bark Extracts as Bonding Agents for Particleboard, Forest Products Journal, No. 3. 45.
- Andres, Y.; Dumont, E.; Cloirec, P.L., Ramirez-Lopez, E. (2006): Wood bark as packing material in a biofilter used for air treatment, Environ Technol. vol. 27, issue 12, pp 1297-1301
- Annegowda, H.V.; Gooi, T.S.; Awang, S.H.H.; Alias, N.A.; Mordi, M.N.; Ramanathan, S.; Mansor, S.M. (2012): Evaluation of Analgesic and Antioxidant Potency of Various Extracts of Cinnamomum iners Bark, International Journal Of Pharmacology Volume: 8 Issue: 3, pp 198-203
- Asztalos, J. (1977): A fakéreghasznosítás irányzatai a szocialista országokban, Faipar, 27. évf, 8. szám, 239- 244. old.
- Asztalos, J., Szabó, P.: (1975): A fakéreg hasznosítása Lengyelországban, Faipar, 25. évf, 12. szám, 363-366. old
- Az Európai Parlament és a Tanács 2010/31/EU irányelve az épületek energiahatékonyságáról
- Baros, Z. (2003): Biogén eredetű megújuló energiaforrások és felhasználási lehetőségeik, Segédanyag a „Légköri erőforrások” című speciálkollégiumhoz, Kézirat DE Meteorológiai Tanszék
- Barótfi, I. (2009): Épületek energiagazdálkodása, Tudásbázis a fenntartható fejlődésért projekt, <http://fenntartható.hu> (2015.10.10-én)
- Bauer, G., Speck T., Blomer J., Bertling J., Speck O. (2010): Insulation capability of the bark of trees with different fire adaptation, Journal of Materials Science, Volume 45, Number 21, pp 5950-5959
- Beresznev, R. Sz. (1975): Kory na ydobrenie, Devenoobrobratyvajuscscsaja promyslennoszty, 12r. 27.
- Biebl, R., Germ, H. (1950): Praktikum der Pflanzenanatomie. Springer Verlag, Wien
- Bittner, A., Schneider, A. (1975): Wertvoller Humus aus Rinde, Holz-Zentralblatt, Nr. 73-74. 956

- Blanchet, P.; Cloutier, A.; Riedl, B (2000): Particleboard made from hammer milled black spruce bark residues, *Wood Science and Technology*, Vol. 34 No. 1 pp. 11-19
- Blossfeld, O. (1977): Einsatzmöglichkeiten für Rinden sind geklärt, *Informationen für den Industriezweig Schnittholz und Holzwaren*, Nr. 4. 319
- Boakye, P. A., Brierley, S. M., Pasilis, S. P., Balemba, O. B. (2012): *Garcinia buchananii* bark extract is an effective anti-diarrheal remedy for lactose-induced diarrhea, *Journal of Ethnopharmacology*, Volume 142, Issue 2, pp 539–547
- Börcsök, Z. (2010) Erdő- és fagazdálkodás, *Elektronikus Oktatási segédlet*, Sopron
- Bozsaky, D. (2011): Természetes és mesterséges hőszigetelő anyagok összehasonlító vizsgálatai és elemzése, *Doktori értekezés*, SZIE, Győr
- Butterfield, B.; Meylan, B.; Peszlen, I. (1997): A fatest háromdimenziós szerkezete, *Faipari Tudományos Alapítvány*, Budapest
- Cheng, X.; Deng, J.; Zhang S. Y. ; Riedl, B.; Cloutier, A. (2006): Impact of bark content on the properties of medium density fiberboard (MDF) in four species grown in eastern Canada, *Forest products*, vol. 56, No. 3, pp 64-69
- Deppe, H.J.; Ernst, K. (1977): *Taschenbuch der Spanplattentechnik*, Stuttgart, DRW- Verlag
- Dubkin, M. Sz., Daramanján, P. M. (1978): *Dreveszina i othody jejő pererabotki kak kormovie produkty*, Himija dreneszny, 1.3.
- EN ISO 12572:(2001): *Hygrothermal performance of building materials and products – Determination of water vapour transmission properties*
- EN 314-1- Plywood - Bonding quality - Part 1: Test methods
- EN 314-2:1993 - Plywood. Bonding quality. Part 2: Requirements
- EN 717-2 (1992): *Holzwerkstoffe, Formaldehyd, Gasanalysemethode (Entwurf veröffentlicht)*
- Energia Klub (2011/a): *NegaJoule 2020, avagy energiamegtakarítási lehetőségek lakóépületeinkben*, kutatási jelentés
- Energia Klub (2011/b): *NegaJoule 2020, A magyar lakóépületekben rejlő energiahatékonysági potenciál*, kutatási jelentés
- Fehér, K. (2013): *Alternatív építészeti megoldások a szociális gondok megelőzésére Vajdaságban*, Bolyai Tehetséggondozó Gimnázium és Kollégium, MTÜ pályázat
- Fekete, Z. (1951): *Erdőbecsléstan*, Akadémiai Kiadó, Budapest, p 145 (628 pp)
- Filbakk, T.; Jirjis, R.; Nurmi, J.; Høibø, O.(2011): The effect of bark content on quality parameters of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) pellets, *Biomass and Bioenergy*, Volume 35, Issue 8, pp 3342–3349
- Fodor F. (2004): Fásult személyi- Az árulkodó fakéreg, *Természetbúvár*, 59/ 3, pp 2-5
- Gencsi, L. (1980): *Erdészeti Növénytan I.*, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 368 pp.

- Gerencsér, K. (2010): Fűrészipari technológia, NymE, Fa- és Papíripari Technológiák Intézet, tantárgy
- Gracza P. (2004): Növénytársaság. Nemzeti Tankönyvkiadó Zrt., Budapest
- Grace, O.M., Prendergast, H.D.V.; Jager, A.K.; van Staden, J. (2003): Bark medicines used in traditional healthcare in KwaZulu-Natal, South Africa: An inventory, South African Journal Of Botany, Volume: 69 Issue: 3, pp 301-363
- Gróf, Gy. (1999): Hőközlés, Egyetemi jegyzet, Budapest
- Gyurján I. (1996): Növénytársaság. Egyetemi jegyzet. ELTE Eötvös kiadó, Budapest
- Haraszty, Á. (szerk.) (1988): Növénytársaság és növényélet. Tankönyvkiadó, Budapest
- Hargitai, L. (2003): Fűrészárú, Szaktudás Kiadó Ház Rt., 171 pp
- Harkin, J. M., Rowe, J. W. (1971): Bark and its possible uses, 91. kötet/U.S.D.A. Forest Service research note, FPL, kiadó: Forest Products Laboratory, University of Minnesota, U.S. Forest Service, 56 pp
- Heinzmann, B; Barbu, M. (2013): Untersuchungen zur steigerung der wertschöpfung von rinde durch verpressen zu palettenklötzen, Holztechnologie, 54/5
- Hodúr, C., Sárosi, H. (2007): Hőtani műveletek, Oktatási segédlet, Szeged
- Hoong, Y. B., Paridah, M. T., Loh, Y. F., Jalaluddin, H., Chuah, L. A. (2011): A new source of natural adhesive: Acacia mangium bark extracts co-polymerized with phenol-formaldehyde (PF) for bonding Mempisang (Annonaceae spp.) veneers, International Journal of Adhesion and Adhesives, Volume 31, Issue 3, pp 164–167
- Hoong, Y. B., Paridah, M. T., Luqman C. A., Koh, M. P., Loh, Y. F. (2009): Fortification of sulfited tannin from the bark of Acacia mangium with phenol-formaldehyde for use as plywood adhesive, Industrial Crops and Products, vol. 30, pp 416–421
- <http://barkhouse.com/> - 19.11.2012.
- <http://www.woodsidebark.ie> - 19.11.2012.
- Kain G., Barbu M.-C., Petutschnigg A., Hauser B., Mazzitelli M. (2014): Bark Based Insulation Panels Made of Different Bark Species. Proceedings of the 57th International Convention of Society of Wood Science and Technology. June 23-27, 2014, Zvolen, Slovakia; S 236-243.
- Kain, G.;Tischinger, A.; Musso, M.; Barbu, M-C.; Petutschnigg, A. (2012): Stoffliche Rindennutzung in Form von Dämmstoffen, Holztechnologie, 53/4.
- Kehr, E. (1979): Untersuchungen zum Einfluss der Rinde bei der Verarbeitung unentrindeten Holzes in der Deckschicht von Spanplatten, Holztechnologie, Nr. 1, 32
- Labosky, J., Holleman, K. A., Dick, J. W., Dang Thi So (1977): Utilization of Bark Residues as Poultry Litter, Forest Products Journal, Jan, 28 p

- Liu Z, Zhang X, Cui W, Zhang X, Li N, Chen J, Wong AW, Roberts A.(2007): Evaluation of short-term and subchronic toxicity of magnolia bark extract in rats., *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, vol. 49 issue:3, pp160-171.
- Livenside, R. M., Murray, M. H. (1977): Possible Use of Sawdust in Clay Building Bricks Should Help Many Sawmillers, *Australian Forest Industries*, No. 2, 48
- MacFarlane D. W.; Aidong L. (2009): Quantifying tree and forest bark structure with a bark-fissure index, *SOURCE, Canadian Journal of Forest Research*, vol. 39 Issue 10, pp 1859-1870
- Márkus, G. (2002): *Ökologikus lakásépítés, Építőanyag*, 54. évf./4. szám
- Mihalik, E., Nyakas, A., Kálmán, K., Nagy, E. (1999): *Növényanatómiai praktikum*. JatePress, Szeged
- Miles P. D., Smith W. B. (2009): *Specific Gravity and Other Properties of Wood and Bark for 156 Tree Species Found in North America*, U.S. FOREST SERVICE, Publications Distribution, Delaware
- Miyazaki, J.; Hirabayashi, Y. (2011): Effect of the addition of *Acacia mangium* bark on thermosetting of phenol–formaldehyde resin, *Wood Science and Technology*, volume: 45, number: 3, pp 449-460
- Molnár, S. (2004): *Faanyagismeret*, Mezőgazdasági Szaktudás kiadó, Budapest
- Molnár, S. (2006): *Fahibák, fakárosítások*, Hillebrand Nyomda Kft, Sopron, 107 pp
- Molnár, S. (2008): *Magyarországi erdők fafajcsoport megoszlása, Fahasznosítás Magyarországon*, NyME kiadvány, Sopron
- Molnár S., Peszlen I., Paukó A. (2007): *Faanatómia*, Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, pp 78-85
- Molnár, S., Várkonyi, G. (2007): *Nagy parkettakönyv*, Szaktudás Kiadó Ház, Budapest
- MSZ-08-0640 (1992): *Faipari ragasztóanyagok és ragasztott szerkezetek formaldehyd kibocsátásának meghatározása gázanalízis módszerrel*
- MSZ EN 13168 (2015): *Hőszigetelő termékek épületekhez. Gyári készítésű fagyapot termékek. Műszaki előírások*
- MTA (2009): *Erdőgazdálkodás és fahasznosítás: jelen- jövő*, MTA kiadványa, Budapest
- Nagy, Gy., Novák, Á., Osztrólczy, M. (1998): *Zöld szerkezetek*, Ybl Miklós Műszaki Főiskola, Multimédia Laboratórium, Publisher Kiadó, Budapest
- Németh, K., Molnár, S. (1983): *Az akácfa égésmelegének és fűtőértékének vizsgálata*, Faipar 3.
- Nemli, G.; Colakoglu, G (2005): Effects of *Mimosa* Bark Usage on Some Properties of Particleboard, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, vol. 29, issue 3, pp. 227-230
- Nemzeti Fejlesztési Minisztérium (2012): *Nemzeti energiastratégia 2030*, <http://www.kormany.hu/> (2014. március 27.)

- NEURO CT Pécsi Diagnosztikai Központ Kft (2010): Hatóanyagként kapszaicint és illóolajokat együttesen tartalmazó kozmetikai készítmény, eljárás előállítására és alkalmazása (Cosmetic product comprising capsaicin and essential oil as active agents, method for the production and use thereof), Szabadalmi oltalom
- Novák, Á.(2007): Megújuló forrásból származó természetes hőszigetelő anyagok, Technika, pp 30-33
- Novák, D (2012): Modifikált nyár faanyag páradiffúziós együtthatójának meghatározása; Tudományos Diákköri Dolgozat, Nyugat-magyarországi Egyetem, Faanyagtudományi Intézet, Sopron
- Nyikosov V. D. (1985): Komplexnol ispolzovanie dreveszini, Lesznejá pramislenoszty, Moszkva, 264 pp
- Oldrich, D. (1911): Eljárás fűzfavessző kéreg hasznosítására
- Orlandi, L.;Vilela, F. C.;Santa-Cecilia, F. V.;Dias, D. F.;Alves-da-Silva, G.;Giusti-Paiva, A. (2011): Anti-inflammatory and antinociceptive effects of the stem bark of *Byrsonima intermedia* A. Juss, *Journal of Ethnopharmacology*, vol. 137, issue: 3, pp 1469- 1476
- Oskolski A. A., Wyk B. E. V. (2010): Wood and bark anatomy of *Centella*: scalariform perforation plates support an affinity with the subfamily Mackinlayoideae (Apiaceae), *Plant Systematics And Evolution* Volume: 289 Issue: 3-4, pp 127-135
- Osztróluczky, M. (2009): Hőszigetelés, Cser kiadó, Budapest
- Paládi, M. (2011): Egy család energiafogyasztásának CO<sub>2</sub> emissziója és hulladéktermelésének kvantitatív elemzése, diplomadolgozat, Debreceni Egyetem
- Patkó, Cs.; Pásztory, Z. (2013/a): Fa és fa alapú építőanyagok emissziója, *Faipar*, 61 (4) pp. 12-21
- Patkó, Cs.; Pásztory, Z. (2013/b): Formaldehid-koncentráció egy új építésű vázszerkezetes épületben, *Faipar*, 61 (3). pp. 23-29.
- Patnukao P.; Pavasant P. (2008): Activated carbon from *Eucalyptus camaldulensis* Dehn bark using phosphoric acid activation, *Bioresource Technology*, Volume 99, Issue 17, pp 8540–8543
- Pecznik P., Körmendi P. (szerk.)(2002): Hőenergia gazdálkodás- biomassza tüzelés, Gödöllő, FM Műszaki Int., p 23, 39 pp
- Popp, M. P., Johnson, J. D., Massey, T. L. (1991): Stimulation of resin flow in slash and loblolly pine by bark beetle vectored fung, *Canadian Journal of Forest Research*, vol. 21, issue 7, pp 1124-1126
- Portik, K. I. (2006): A fenyő hasznosítása a Székelyföldön, *Székelyföld-kulturális folyóirat*, X. évfolyam, 12. szám
- Quilhó, T., Sousa, V., Tavares, F., Pereira, H. (2013): Bark anatomy and cell size variation in *Quercus faginea*. *Turk. J. Bot.* 37: 561-570.
- Rahne, E. (2007): Diagnosztikai eljárások energiatakarékos építészethez, Professzionális Ipari Méréstechnika Kft.

- Randall, J. M., Hautala, E (1976): Modified Barks as Scavengers for Heavy Metal ions, *Forest Products Journal*, Aug, 46. p
- Rápóti, J.; Romváry, V. (1974): Gyógyító növények, *Medicina*, Budapest,
- Rápóti, J.; Romváry, V. (1997): Gyógyító növények, *Medicina Könyvkiadó Rt*, Budapest, 511 pp
- Raymund, R. (1940): A fakéreg, *A természet*, 36/1, pp 2-5, Szerkeszti: Nadler Herbert
- Rébék-Nagy, P. (2013): Természetes anyagok szigetelőképessége, *NymE*, diplomamunka
- Saarela, K.E.; Harju, L.; Rajander, J.; Lill, J.O.; Heselius, S.J.; Lindroos; A.; Mattsson, K. (2005): Elemental analyses of pine bark and wood in an environmental study, *Science of The Total Environment*, Volume 343, Issues 1–3, pp 231–241
- Saayman, H. M.; Oatley, J.A. (1976): Wood Adhesivs from Wattle Bark Extract, *Forest Products Journal*, Dec. No. 27
- Sári, J. Sz. (2008): Tőzeghelyettesítő anyagok a paprikahajtásban, *Budapesti Corvinus Egyetem (Talajtan és Vízgazdálkodási Tanszék)*, Doktori Értekezés, Budapest
- Santos, E.N.; Lima, J.; Noldin, V.; Cechinel-Filho, V.; Rao, V.S.; Lima, E.; Schmeda-Hirschmann, G.; Sousa Jr, P.; Martins, D. (2011): Anti-inflammatory, antinociceptive, and antipyretic effects of methanol extract of *Cariniana rubra* stem bark in animal models, *ANAIS DA ACADEMIA BRASILEIRA DE CIENCIAS*, Volume: 83, Issue: 2, pp 557-566
- Sárkány, S.; Szalai, I. (1957): Növényszervezettani gyakorlatok. Tankönyvkiadó, Budapest
- Sato, Y.; Konishi, T.; Takahashi, A. (2004): Development of Insulation Material Using Natural Tree Bark, *Transactions of the Materials Research Society of Japan*, Vol. 29, Issue 5, pp 1937-1940
- Schneider, A.; Baums, A. (1970): *Wohin mit der Rinde?*, Stuttgart, DRW-Verlag GmbH, 52 pp
- Schweizer, G. (1975): Versuche zur Optimierung der Schlammentwässerung und zur Verwertung von Rinde und Schlamm in der Ziegelindustrie, *Wochenblatt für Papierfabrikation*, Nr. 22, 833
- Schweizer, G.; Meigel, P. (1977): Über die Verwertung von Entrindungsabfall als Porosierungsstoff in der Ziegelindustrie, *Das Papier*, Nr. 10A V 27
- Şen, A.; Quilhó, T.; Pereira, H. (2011): Bark anatomy of *Quercus cerris* L. var. *cerris* from Turkey. *Turk. J. Bot.* 35: 45-55.
- Sopp, L., Kolozs, L. (2000): *Fatömegszámítási táblázatok*, Állami Erdészeti Szolgálat, Budapest, pp 24-29
- Schopp, L (1976).: *Fatömegszámítási táblázatok*, Mezőgazdasági kiadó, Budapest
- Starecki, A. (1979): Spanplatten aus Holz mit Rindenanteil, *Holztechnologie*, Nr. 2. 108

- Szalay, L. (1981): A fahulladék hasznosítása, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, pp 227
- Szatmári, Z. (2010): Hőhídmentes épületszerkezetek, III. MEPS konferencia, Budapest
- Szatyor, Gy. (1986): Faművesség, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest
- Szendrey, I.(1986): Faipari kémiai technológia 1., Egyetemi jegyzet, Sopron
- Szodfridt, I. (2003): Fakéregből gyógyszer, Erdészeti lapok, 138. évf, 10 sz., 288. old
- Szűcs, M. (1999): A föld és a fa a környezetbarát építésben, Épített Környezetért Alapítvány, Budapest, TEMPUS Joint European Project IB 14276/99. p. 1.-28.
- Takáts, P. (1993): Faalapú kompozit lemezek formaldehid tartalmának meghatározása, Egyetemi jegyzet, Sopron
- Tirpák, A. (2010): A párahatás következményei, nedvességtechnikai alapfogalmak, páraelleni védekezés, Víz-, hő- és hangszigetelés készítése I. OKJ tananyag, Budapest
- Trockenbrodt, M. (1995): Calcium oxalate crystals in the bark of *Quercus robur*, *Ulmus glabra*, *Populus tremula* and *Betula pendula*. *Annals of Botany* 75: 281-284.
- Ugolev, B. N. (1986): Dreveszinovedenie sz osnovami lesznogo tovarovedenija, Lesznaja promüslennoszty, Moszkva
- Vajda, M. (2002): Kezelt fakéreg lipidek eltávolítására vízből, Környezetvédelem- információs folyóirat, BME- OMIKK, 17-18. szám, pp 61-70
- Vajda, B. (2006): Parafa az építőiparban, <http://fenntarthato.hu/>
- Vasconcelos, C.F.; Maranhão, H.M.; Batista, T.M.; Carneiro, E.M.; Ferreira, F.; Costa, J.; Soares, L.A.; Sá, M.D.; Souza, T.P.; Wanderley, A.G. (2011): Hypoglycaemic activity and molecular mechanisms of *Caesalpinia ferrea* Martius bark extract on streptozotocin-induced diabetes in Wistar rats, *Journal of Ethnopharmacology*, Volume 137, Issue 3, pp 1533–1541
- Verkerk, P. J.; Anttila, P.; Eggers, J.; Lindner, M.; Asikainen, A. (2011): The realisable potential supply of woody biomass from forests in the European Union, *Forest Ecology and Management*, Volume 261, Issue 11, pp2007-2015
- Villar, J.C.; Revilla, E.; Gómez, N.; Carbajo, J.M.; Simón, J.L.(2009): Improving the use of kenaf for kraft pulping by using mixtures of bast and core fibers, *Industrial Crops & Products*, Volume 29, issue 2-3, pp 301-307
- Wang G. G.; Wangen S. R. (2011): Does frequent burning affect longleaf pine (*Pinus palustris*) bark thickness?, *Canadian Journal of Forest Research*, Vol. 41, Issue 7, pp 1562-1565
- Weissmann, G. (1976): Reinigung Ölhaltiger Abwässer mit Rinde, *Holz Zentralblatt*, 50. p 661-662
- Whiting, D.; Tolan, R.; Mecham, B.; Bauer, M. (2011): Mulching with Wood/Bark Chips, Grass Clippings, and Rock, *Colorado Master Gardenersm*



Progra, Colorado Gardener Certificate Training, Colorado State University Extension

- Winkler, A. (1978): A fakéreg struktúrájának és megfelelő fizikai- mechanikai tulajdonságú fakéreglapok gyárthatóságának kapcsolata, Kandidátusi értekezés, Sopron
- Wittmann, Gy. (2000): Mérnöki faszerkezetek I., Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest
- Xing, C., J. Deng, S.Y. Zhang, B. Riedl, and A. Cloutier. 2006. Impact of bark content on the properties of medium density fiberboard (MDF) in four species grown in Eastern Canada. *Forest Prod. J.* 56(3):64–69
- Yang, P.; Jenkins, B.M. (2008): Wood residues from sawmills in California, *Biomass and Bioenergy*, Volume 32 No. 2, Pp101-108
- Yemele, M. C. N., Koubaa, A., Cloutier, A., Soulounganga, P., Wolcott M. (2010): Effect of bark fiber content and size on the mechanical properties of bark/HDPE composites, *Composites Part A (Applied Science and Manufacturing)*, Volume 41, Issue 1, pp 131–137
- Zhang, L.; Chen, J.; Wang, Y.; Wu, D.; Xu, M. (2010): Phenolic Extracts from *Acacia mangium* Bark and Their Antioxidant Activities, *Molecules*, vol. 15, pp 3567-3577
- Zsindelyes Kereskedőház Kft (2011): Likőr és előállítása (liqueur and process for production thereof), Ügyiratszám: P1100094/6
- 4/2011. (I. 14.) VM rendelet a levegőterheltségi szint határértékeiről és a helyhez kötött légszennyező pontforrások kibocsátási határértékeiről <http://www.kvvm.hu/olm/info.php>
- <http://biosolar.hu/> (2015.08.18-án)
- <http://kockazatos.hu/anyag/formaldehid> (2015.04.15-én)

## ***Köszönetnyilvánítás***

Legnagyobb köszönettel férjemnek, Kristófnak tartozom, aki a kísérletek elejétől kezdve mellettem volt, támogató, amikor kellett hajnalban kelt- hétvégén mért velem, mindent segített megvalósítani, amit kitaláltam, együtt gondolkodott velem. Az Ő támogatása nélkül nem tudtam volna megírni a disszertációt.

Köszönet és hála illeti konzulensemét, Dr. Pásztory Zoltánt munkám több éven keresztül támogatásáért, szakmai tanácsaiért, és hogy bármikor fordulhattam hozzá, ha segítségre volt szükségem. Köszönöm, hogy nem csak szakmailag, de emberileg is támogató.

Hálával tartozom konzulensemnek, Molnár Sándor Professzor Úrnak, aki sajnos már nem láthatja a dolgozat végeredményét. Sanyi bácsi nem sajnálta tovább adni tudását, szakmai kérdéseimet mindig szeretettel fogadta.

Konzulensemnek, Dr. Alpár Tibornak, a laborkísérleteim nagyfokú támogatásáért és a sok szakmai segítségnyújtásért szeretnék köszönetet mondani.

Továbbá köszönettel tartozom az Innovációs Központ dolgozóinak: Székely Gábornak, Kantó Zoltánnak, Börcsök Zoltánnak és Horváth Tibornak, akik mind tanácsaikkal, mind a vizsgálatok elvégzésében nagy segítségemre voltak.

Hálával tartozom édesanyámnak és nagyszüleimnek, akik mindvégig támogattak, biztattak és hittek bennem.

Köszönettel tartozom anyósomnak, aki a szűk időbeosztása mellett szakított időt a dolgozat stilisztikai és műszaki véleményezésére.

Végül szeretném megköszönni azoknak, akik valamilyen formában hozzájárultak a mérések elvégzéséhez, és a TÁMOP 4.2.4.A/2-11-1-2012-0001 azonosító számú Nemzeti Kiválóság Program - Hazai hallgatói, illetve kutatói személyi támogatást biztosító rendszer kidolgozása és működtetése konvergencia programnak.

## Nyilatkozat

Alulírott Mohácsiné Ronyecz Ildikó kijelentem, hogy ezt a doktori értekezést magam készítettem, és abban csak a megadott forrásokat használtam fel. Minden olyan rész, amelyet szó szerint, vagy azonos tartalomban, de árfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a forrás megadásával jelöltem.

Sopron, 2015.11.11.

.....  
aláírás