

SZENT ISTVÁN
EGYETEM



YBL MIKLÓS ÉPÍTÉSTUDOMÁNYI KAR, BUDAPEST

BLOKK WOOD eljárással modifikált hazai faanyagok éghetőségi paraméterei

Combustible parameters of native timber modified

by BLOKK WOOD method

Készítette: Győri Melinda, építőmérnök, III. évf.

Témavezetők:

dr. Kerekes Zsuzsanna

főiskolai docens, laborvezető

SZIE-Ybl Miklós Építéstudományi kar,

Tűzvédelmi és Biztonságtechnikai intézet,

Leczovics Péter, tanszéki mérnök

SZIE-Ybl Miklós Építéstudományi kar,

Műszaki Alaptárgyi Tanszék

Tartalomjegyzék

Bevezetés	2 oldal
A tűz és az égés	2 oldal
A faanyag tulajdonságai és égési sajátosságai	3 oldal
Modifikálási eljárások	12 oldal
BlokkWood faanyag vizsgálatainak leírása	18 oldal
Elvégzett kísérletek eredménye	24 oldal
A tűzveszélyességi minősítés	27 oldal
Összefoglalás	29 oldal
Irodalomjegyzék	30 oldal
Mellékletek	31 oldal

Bevezetés

Az ember számára a faanyag az egyik legősibb építőanyag. Nemcsak azért használjuk és használtuk a történelem folyamán is előszeretettel, mert beszerzése egyszerű, hanem mert, könnyen alakítható, megmunkálható, rugalmas és szilárdsága is megfelelő ahhoz, hogy kitűnő építőanyag lehessen belőle. Napjainkban ismét divatossá vált használata az építészetben, megfelelve ezzel a növekvő és egyre inkább fontossá váló esztétikai igényeknek. Mindez köszönhető az elmúlt évszázadok túlzott vasbeton illetve acél használatának, a „műanyagok” túlzott elterjedésének, amely az emberekben azt a gondolatot erősítette, hogy a természetes építőanyagok felé forduljanak: kerámia, kő, fa. Ezt segíti még elő, hogy a fa, mint tüzelőanyag háttérbe szorult, csökkent az ilyen irányú felhasználása.

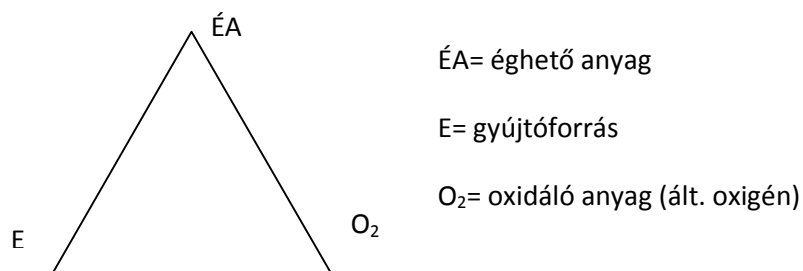
A faanyagok növekvő használata mellett megjelent egy komoly probléma is, mely egyre inkább korunk egyik fő kérdése lesz, miszerint a beépített építőanyagainkat, elkészített épületeinket védenünk kell az időjárás, természet okozta károk és, ami a legfontosabb a tűzkárok ellen. Évszázadunk feladata a környezetszennyezés megelőzése, a környezet megóvása és ebbe nem férhet bele olyan mértékű pazarlás, amit egy nem megfelelően kezelt építőanyag cseréje, egy rosszul méretezett épület tűzkára okozhat.

A dolgozat elkészítésével az volt a célom, hogy bemutassam a ma Magyarországon gyártott BlokkWood eljárással készített faanyagok általam elkészített kismintás tűzvédelmi vizsgálatát, pótolva ezzel a tűzvédelmi irányú megfelelésség bizonyítékát.

A tűz és az égés

A két fogalom szorosan egybefonódik, de mégsem azonos. Minden tűz égés, de nem minden égés tűz. Az égés köznap értelemben gázhalmazállapotú, oxigénnel való egyesülést jelent, amelynek forrása általában a szabad levegő, ezzel szemben a tűz általános definíciója: olyan nem kontrollált, időben és térben ellenőrizetlenül terjedő égés, ami hőfelszabadulással jár és amit füstfejlődés és/vagy lángjelenség kísér, miközben károkat(anyag, testi épség stb.) okoz.

Az égés csak akkor keletkezhet és maradhat fenn, ha valamely éghető anyag (összetevői oxidképzésre képes elemek), a levegőben megfelelő térfogat százaléku oxigén (oxidáló anyag), valamint az égés megindulásához szükséges energia azonos térben és időben rendelkezésre állnak. A három komponensből álló rendszer elemeinek kapcsolatát az égési háromszöggel szokás jellemezni, mely az égés feltételeit szemlélteti.



A gyújtási energiának, azaz a közölt aktivizáló energiamennyiségnek elegendőnek kell lenni a reakció megindításához. Ez lehet a rendszerbe betáplált hőmérséklet és/vagy nyomás növelése, ami az anyag felmelegedéséhez vezet. Az oxidáló anyag koncentrációja kísérletekkel bizonyítottan eltér az egyes anyagoknál, így lehetséges az a tapasztalati tény, hogy vannak olyan anyagok, amik égéséhez 15 V% oxigén szükséges, míg másoknál elég az 5V% is, megint más anyagoknál az égés oxigén nélkül, a felszabaduló szén-dioxid oxidálásával megy végbe. Tehát az oxidáló anyag szükséges térfogatszázaléka minden esetben az éghető anyag minőségétől függ.

Egyéb megfigyelt és köztudott tény, hogy nedves fát nem lehet meggyújtani, amíg ki nem szárad. A hőenergia bevitel ilyenkor a párologásra fordítódik, csak utána jelentkezik gyújtási energiaként. Ebből az következik, hogy az égés során esetlegesen kialakuló hőelvonó folyamatok csökkenthetik az égés intenzitását, sőt teljesen meg is szüntethetik azt. Így általánosan elmondható, hogy akkor van égés, ha a keletkező hő(vagy kívülről kapott hő) mennyisége azonos vagy meghaladja a veszteséggel elvezetett hő mennyiségét.

Mindez képletesen definiálva: $Q_{\text{keletkezett}} \geq Q_{\text{vesztés}}$

Az alábbiak birtokában kijelenthetjük, ha a fenn említett feltételek rendelkezésre állnak, akkor minden anyag kémiaiilag éghető. Ezzel szemben köznap i értelemben elterjedtebb csupán az „éghető” illetve a „nem éghető” jellemzőket használni az egyes anyagok csoportosításához.

Tudományos bizonyítékok és sok évszázados emberi tapasztalat alapján kijelenthetjük, hogy a faanyagok az éghető kategóriába sorolandók.

A faanyag tulajdonságai és égési sajátosságai

A fa égésének megismeréséhez szükséges ismerni a fa belső szerkezetének felépítését:

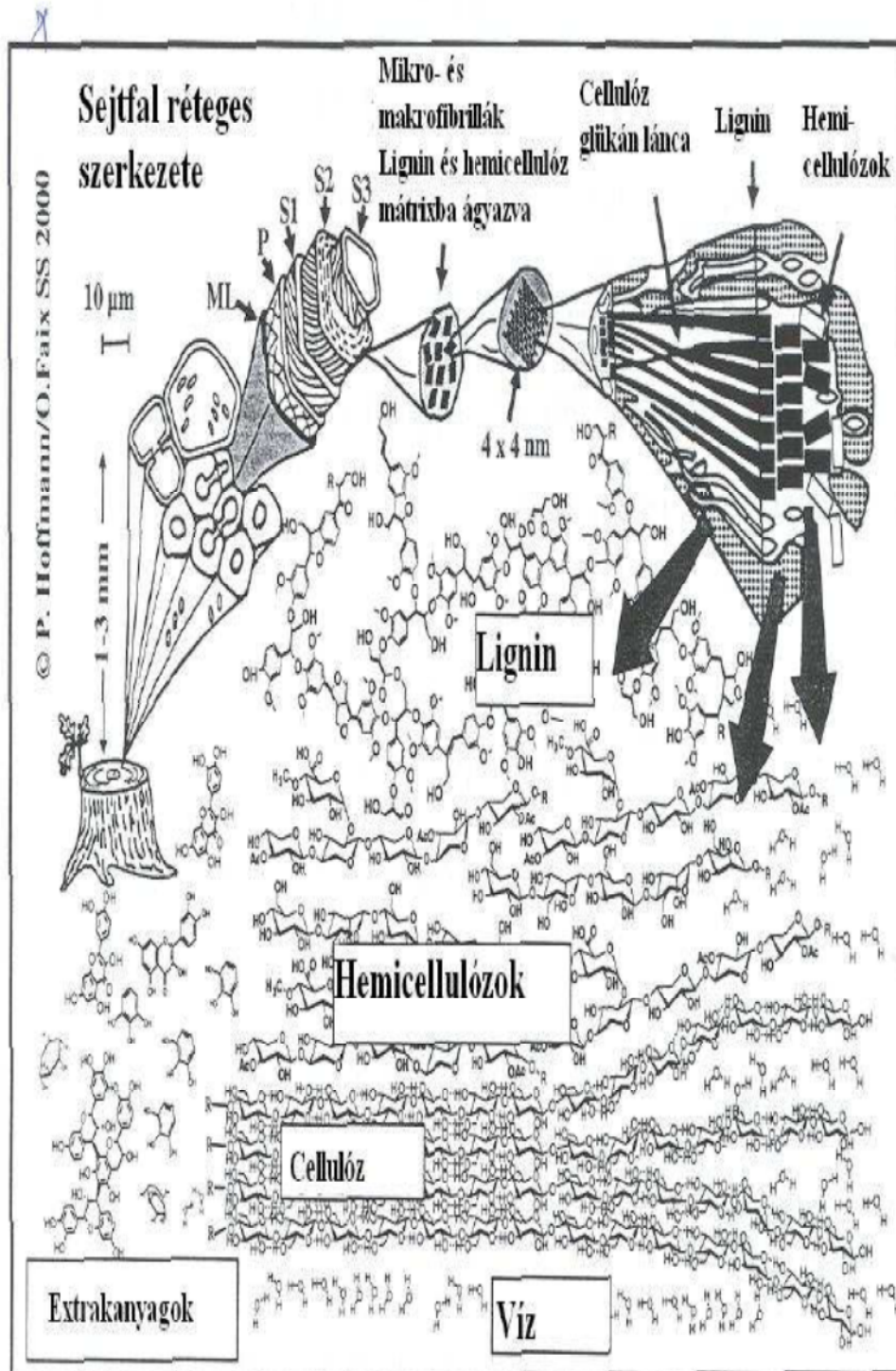
A fa anyaga nem más, mint megfásodott növényi sejtek, ami CO₂ és a víz összetevőit tartalmazza. A fa fonalas felépítésű, s a fonalak között levegő és víz előfordulása is lehetséges. Ezért szokás háromfázisú szilárd testnek nevezni.

A fatest sejtfalának fő alkotórészei:

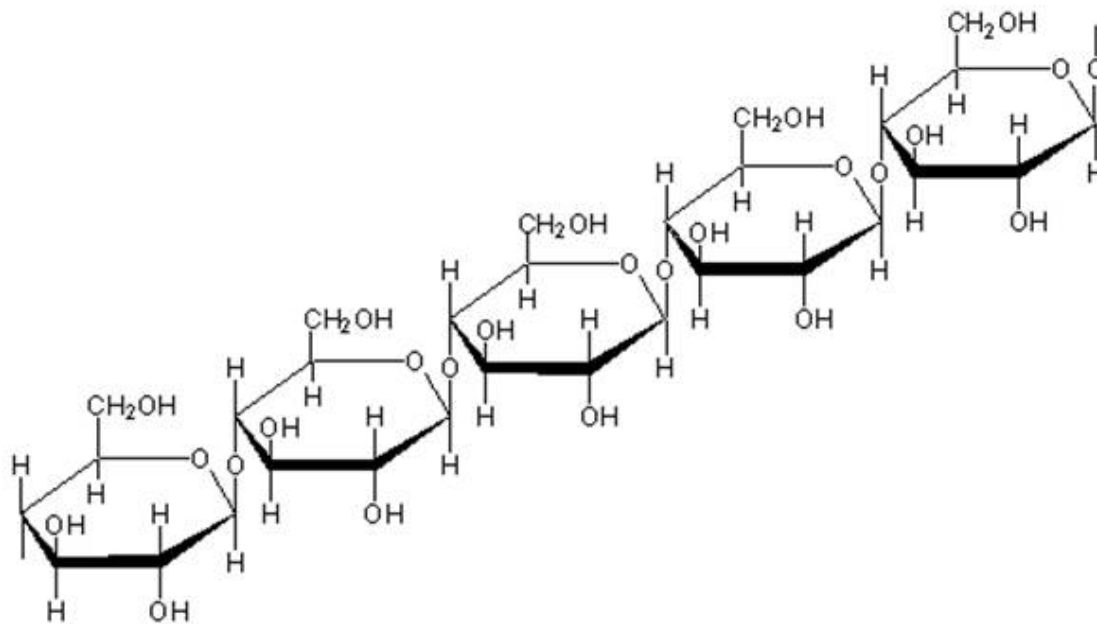
- I. Holocellulóz: (poliszaharidok) összesen 70-78%
 - ebből a cellulóz 50% ((C₆H₁₂O₅)_n – Béta-D-glükózból származtatott poliszaharid, ez a váza, savakban nem oldódik
 - hemicellulóz: (fapolizánok, pentozánok, hexozánok, poliuránsavak, pektinek) – kisebb polimerizáció fokúak, kevésbé stabilak
- II. Lignin: összesen 22-29% (C₆H₁₂ –nagy C tartalma miatt nagy energiatartalmú, öregedés során nő az aránya, savakkal-lúgokkal kioldható)
- III. Egyebek: összesen 1% (terpének, éterikus olajok, gyanták, keményítők, színezőanyagok, zsírok, olajok, ásványi anyagok: K, Ca, Na, Mg, Fe, nyomelemek: Mn, Zn, Ka, Ni, T)

A fatest 50%-a szén, 6%-a hidrogén, 43%-a oxigén és 1%-a egyéb anyag: N,P,S - fémek: B, Mn, Cu

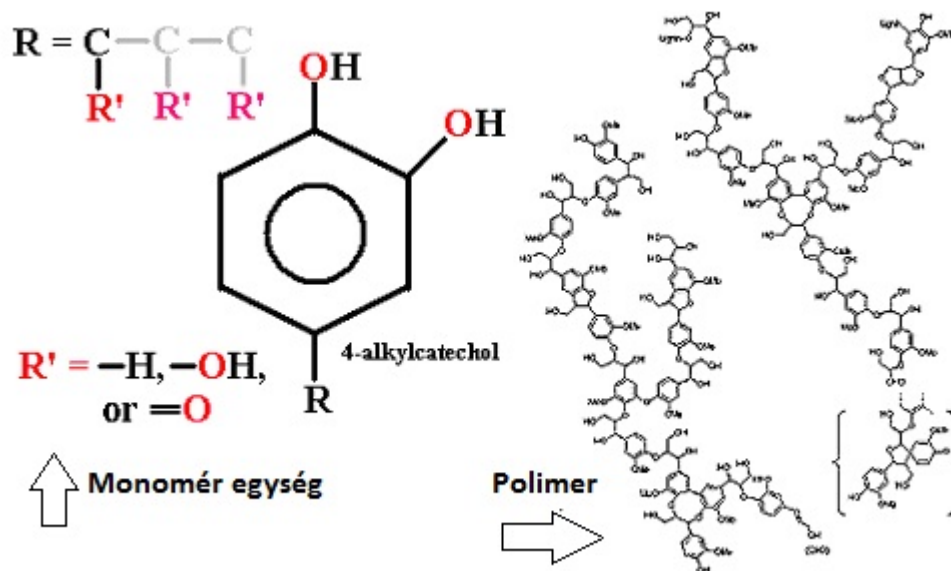
A faanyag sejtfalának réteges szerkezete:



A cellulóz molekula:



A Lignin:



A fára elmondható, hogy éghetősége nem a kémiai összetétel függvénye. Minden fa 99%-ban megegyezik összetétel alapján, csupán 1% okozza, hogy a Földön több 100 fafajta ismeretes.

A fa legfontosabb tulajdonságai:

- inhomogén

- ortogonálisan anizotrop
- heterotrop, heteropolimer szerkezetű
- porózus
- természetes eredetű
- makromolekuláris szerves anyag

A fák porózussága függ: - a fa fajtájától

-sűrűségüktől ($\zeta = m/V$)

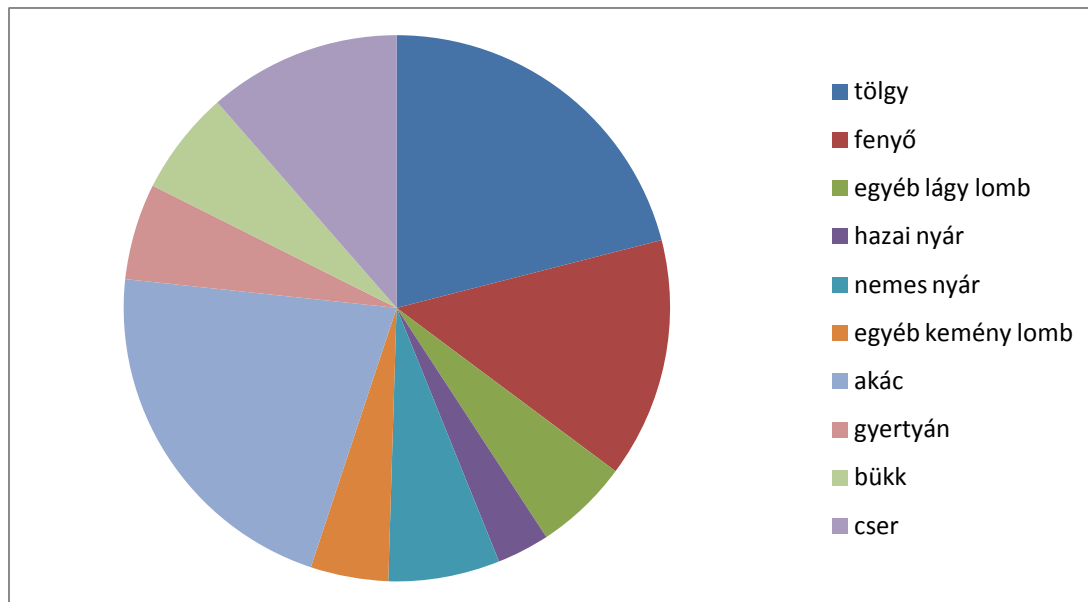
-környezeti adottságoktól (termőföld, éghajlat, szabad téri e)

A fa sűrűségéről elmondható, hogy tömör, sejtüreg nélküli értéke minden fánál megegyezik (1,56), csupán a szerkezetük tér el egymástól.

A faanyagok csoportosítása tényleges sűrűségük alapján a következő:

- nagy sűrűségű (700-830 kg/m³): gyertyán, akác, bükk
- közepes sűrűségű (550-700 kg/m³): tölgy, vörös fenyő, kőris, cser, gesztenye
- kis sűrűségű (400-550 kg/m³): luc, nyár, fenyők, fűz,

Hazai erdők fafaj megoszlása:



A fa égése

A faanyag tulajdonságait kihasználó különböző szakterületek sok esetben egymással ellentétes igényeket támasztanak. Éghetőség szempontjából az energetikusok a fa leggazdaságosabb elégetésére törekednek, míg az építészek a szakemberekkel együtt a faanyag éghetőségének csökkentésén fáradoznak.

A faanyag éghetősége köztudott. Viselkedése a tűzben, viszont korántsem olyan kedvezőtlen, mint éghető voltából gondolnánk. Az elmélet és a gyakorlat is azt mutatja, hogy a fémről készült teherhordó szerkezetek teherhordó képességüket és stabilitásukat gyorsabban, kedvezőtlenebbül veszítik el, mint a statikai funkcióit ellátó fa tartószerkezetek.

A fa anyagának tulajdonsága, szöveti szerkezete által determinált adottságai figyelembevételével tűzállósága tervezhető, irányítható.

A tervezéshez előírást, illetve jogi háttérrel szolgálatnak az építőanyagokra vonatkozó szabvány rendeletek, illetve az Országos Tűzvédelmi Szabályzat(röviden: OTSZ). A jelenlegi szabványok többek között az éghetőségi besorolás alapján kívánják elősegíteni a faanyag építőanyagként való használatát és tervezését.

A különböző fa- és fahelyettesítő anyagok éghetőségi besorolása ezek alapján az alábbi csoportokra osztható:

- könnyen éghető: farostlemez
- közepesen éghető: természetes faanyagok, rétegelt lemezek, műgyantakötésű faforgácslemezek
- nehezen éghető: megfelelő kémiai adalékot tartalmazó faforgácslap-féleségek
- nem éghető: cementkötésű faforgácslapok

Az éghető faanyagok gyulladáspontja 300°C körül van, míg öngyulladás hőmérséklete 400°C körül. Mindkettő, különösen az öngyulladás erősen függ a faanyag szelvényméretétől és a közvetlen környezet paramétereitől. A faanyag gyulladási időszükséglete és a faanyagot érő hőmérséklet közötti összefüggést mutatja be az alábbi ábra:

Elegendően nagy hőtranszport hatására a fizika törvényeinek megfelelően a faanyag felmelegszik. A felmelegedéssel párhuzamosan fizikai-kémiai változások láncolata alakul ki.

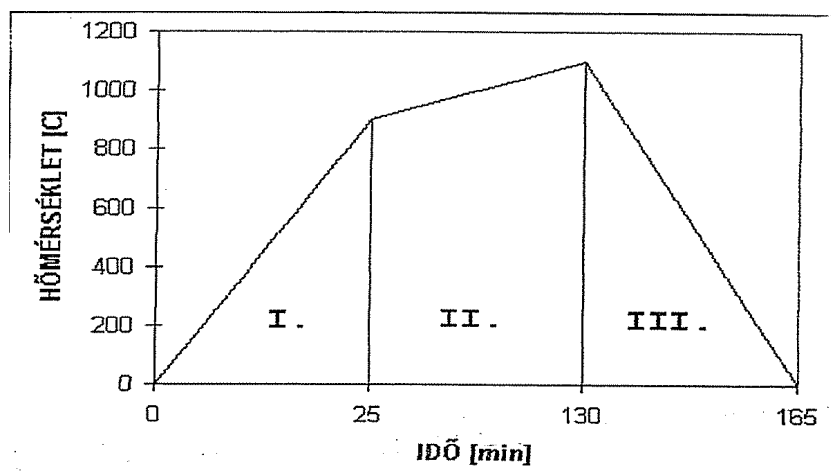
A hőmérséklet folyamatos emelkedése során a következő jelenségek figyelhetők meg:

- 100-110°C hőmérsékletig a faanyag folyamatosan elveszíti szabad- és kötött víztartalmát, de csak jelentéktelen és lassú kémiai változások mennek végbe.
- 110-150°C között a faanyag a hő hatására a bekövetkező kémiai változások eredményeképpen fokozatosan elszíneződik, a fából illóolajok szabadulnak fel. A hőmérséklet tartós emelkedésével és fennmaradásával a felmelegedő anyagrétegekben bomlási láncreakció kezdődik. Faszén képződés mellett a makromolekulák egyre

nagyobb mértékben kisebb molekulájú, szabad gyököket is tartalmazó éghető gázokra és egyéb vegyületekre bomlanak.

- 150-200°C a fából nagyobb mennyiségben nem éghető, kisebb mennyiségben éghető gázok távoznak, a faanyag elszíneződése intenzívebb lesz.
- 200-260 °C közötti hőmérsékleti tartományban a felszabaduló bomlástermékek összetétele és mennyisége megváltozik, csökken a szén-dioxid és a nitrogén tartalma, viszont emelkedik az éghető gázoké (szén-monoxid, hidrogén, metán). A felszabaduló égéstermékek gyújtóhatásra meggyulladnak.
- 260-290°C között a gáznemű bomlástermékek keletkezése olyan mértékű, hogy az égés folyamatossá, a folyamat exoterm hőszínezetűvé válik. (gyulladás, égés)
- 330-370°C tartományban a fafajok többségénél a keletkező gázok már minden külső hatás nélkül is meggyulladnak. (öngyulladás)
- 400-500°C-on nagy hőenergia felszabadulással maximális gázképződés tapasztalható és a kisebb faanyagrészek azonnal lángra lobbannak.
- 500°C felett a gázképződés csökken, gyúlékony szén képződnek és égnak el.

Az égési folyamat egy másik megvilágítását az alábbi ábra szemlélteti:



Az ábra tanúsága szerint az I. szakaszban 15-30 perc alatt körülbelül 800-900°C lép fel. Ezt a részt egy meredeken növekvő egyenessel tudjuk helyettesíteni, ahol viszonylag hamar kerül a rendszer magas hőmérsékleti tartományba. A II. szakaszban már az egész faanyagmennyiség ég, a hőmérséklet akár 1000°C fölé is emelkedhet. Ez a szakasz egy időben lassabban lejátszódó folyamat, mely alatt az adott tér egésze lángba borul. A III. szakaszban viszonylag gyors hőmérsékletcsökkenés tapasztalható. Ez az úgynevezett utóégés, utóizzítás és a tűz megszűnésének szakasza.

A faanyagok égéstermékei folyékony, szilárd vagy gáz halmazállapotúak lehetnek.

Az égéstermék összetétele az alábbi tényezőktől függ:

- éghető anyag kémiai tulajdonsága
- a rendelkezésre álló oxigén mennyiségétől
- azoktól a környezeti (fizikai) feltételektől, amelyek között az égés folyamata lejátszódik

Tökéletes égés esetén, a fa építőelemei közül a szén, a hidrogén, a foszfor és a kén képes arra, hogy az égési folyamat során szén-monoxidot, szén-dioxidot, kén-dioxidot és foszfor-pentoxidot képezzen. A felsorolt égéstermékek közül csupán a szén-monoxid képes további reakcióra. A tökéletes égés feltétele, hogy az adott helyen az adott mennyiségű éghető anyagnak megfelelő oxigén és magas hőmérséklet legyen jelen.

Tökéletlen égés esetén általában további reakcióra képes égéstermékek képződnek, melyek keletkezését erősen befolyásolják a környezet fizikai paraméterei. Ilyen égéstermékek a szén-monoxid, alkoholok, ketonok, aldehidek, savak és más bonyolult vegyületek. Ezen égéstermékek keletkezése neheztőleg hat az oltási munkákra, mert általában nagy mennyiségű mérgező füstgázokat képeznek, amelyek további gyulladási veszélyt jelentenek illetve a levegővel keveredve robbanásveszélyes elegyet alkothatnak.

A faanyagok, mint épületszerkezeti elemek tűzzel szembeni ellenállósága főként az alábbi tényezőktől függ:

- tűzállósági követelményektől
- égésterjedési követelményektől
- gázhőmérsékleti követelményektől
- szerkezet kialakítása, térbeli elhelyezkedése:
 - fa keresztmetszetének alakja
 - keresztmetszeti méretek
 - fa fajtája
 - választék nedvességtartalma
 - felület érdessége
 - tűzhatás irány

Néhány fafajta tűzvédelmi jellemző:

A HAZAI FAFAJOK ÉGÉSI SAJÁTOSSÁGAI					
fafaj	min. sugárzási intenzitás W/cm ²	égési jellemző			
		izzásállósági		lángterjedési sebesség	
		jó-ság	IR	rostirányban	merőlegesen
akác	2,6	3	2,627	—	0,057
bükk	2,5	2	1,827	/0,4/	0,12 0,14
cser	2,5	3	2,121	/0,27/	0,11
éger	2,0	2	1,815	/0,4/	0,04
jávör	2,1	3	2,185	/0,05/	0,08
kőris	2,1	3	2,204	/0,07/	0,08
nyár	1,9	1	0,732	1,044	0,129
tölgy	2,5	3	2,143	/0,17/	0,19
erdei fenyő	2,3	3	2,420	/0,229/	0,072

A táblázatból kiderül, hogy a legkedvezőbb égési tulajdonságokkal az akác rendelkezik, a legnagyobb energiájú sugárzó hőre van szüksége és izzásállósága a legmagasabb értékű. Rostirányú lángterjedési sebessége nem értékelhető, a rostra merőleges pedig a legalacsonyabb értékű. Ezzel szemben a legrosszabb tulajdonságokkal a nyárfa rendelkezik.

Az éghetőség mérőszámaként az időegység alatti súlycsökkenést vizsgálva megállapították, hogy a kisebb térfogatsúlyú fafajok gyulladási időszükséglete alacsonyabb, égéssebessége gyorsabb a nagyobbakénál, azonos térfogatsúly esetén pedig a szórt likacsú lombfák gázvezetése a legjobb. Mindezek alapján az éghetőség szempontjából, a hazai fák az alábbi csoportokba sorolhatók:

- jól ellenállók: bükk, akác, kőris, tölgy
- közepesen ellenállók: nyír, erdei fenyő, feketeenyő, vörösfenyő
- gyengén ellenállók: cseresznye, dió, lucfenyő
- nem ellenállók: éger, hárs, jegenyefenyő, nyár

A faanyagok csoportosítása tartósság szempontjából az alábbi csoportokba sorolhatók:

- igen tartósak: tölgy, akác, szelídgesztenye, vörös fenyő
- tartósak: fekete fenyő, erdei fenyő, szil
- kevésbé tartósak: lucfenyő, jegenyefenyő, kőris, gyertyán, bükk, juharok

A faanyag fizikai tulajdonságai közül a rendkívül alacsony hővezető képessége – egy lehetséges tűz szempontjából- kedvező tulajdonságnak tekinthető. További előny, hogy már az égés kezdeti szakaszában elszenesedik a faanyag felülete. Az elszenesedett rész hővezető képessége az eredeti faanyagénak mintegy egynegyede csak. E karbonizálódott réteg jó hőszigetelő képességének köszönhetően akadályozza az elszenesedett rész alatti faanyagzónák felmelegedését, az éghető bomlástermékek felszínre törését, azaz az égés előrehaladásának folytonosságát. A faanyag teljes eléégése ez által lassan megy végbe, esetleg be sem következik. A tűz hatására, a faanyag felületén keletkező elszenesedés mélységének a hasznos keresztmetszetet csökkentő értékének meghatározására különböző országokban végeztek vizsgálatokat. A nemzetközileg elfogadott, szabályozott lefolyású hőmérséklet-idő program szerint végrehajtott kísérletek alapján, a beégési sebesség mértéke a következő:

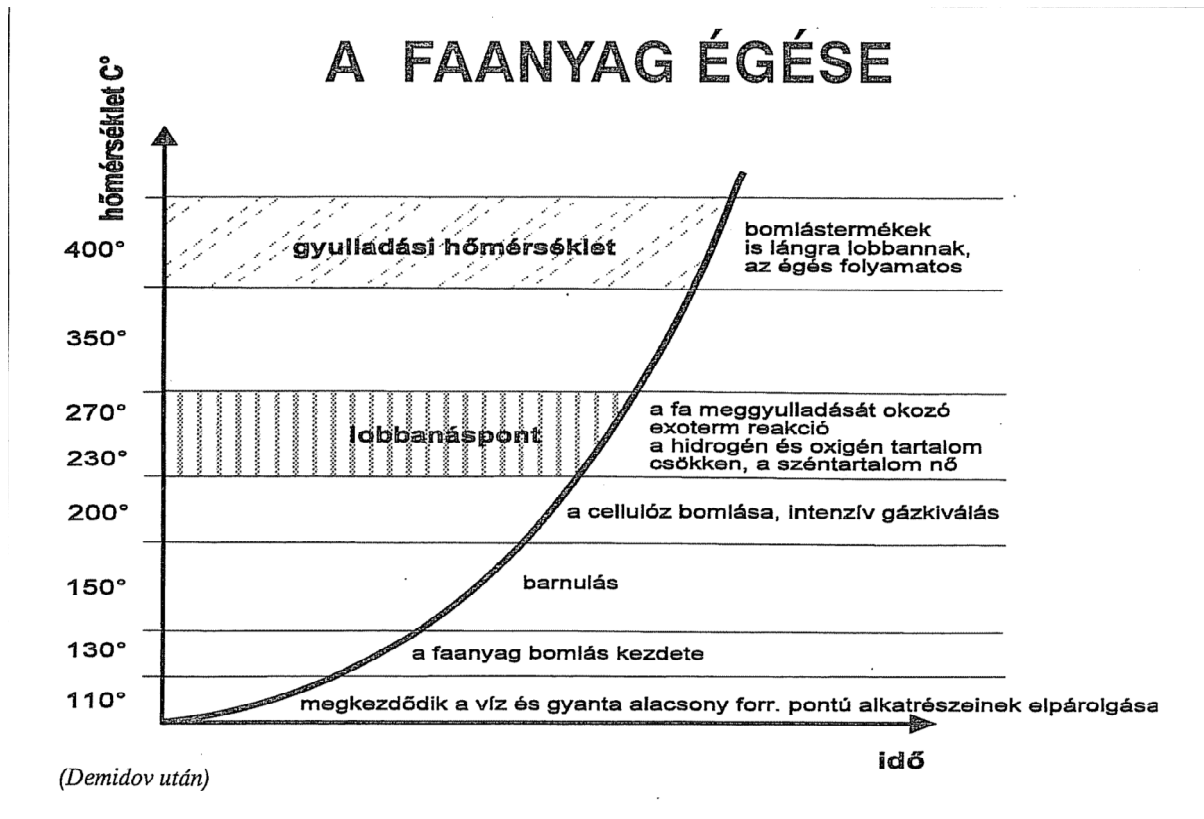
- fenyő: 0,6 mm/perc
- nyár: 0,8 mm/perc
- akác: 0,3 mm/perc

Emellett bizonyítást nyert a vizsgálatok által az is, hogy már a szenesedést megelőző termikus bomlás eredményeképpen a faanyagú tartók keresztmetszetének egy külső rétege (fafajtól függően változó vastagság) szilárdsági szempontból csökkent értékű.

Az elvégzett mérések kiértékelése alapján a hasznos keresztmetszetet csökkentő károsodott rétegvastagság a következő beégési (felmelegedési) sebességekkel számolható:

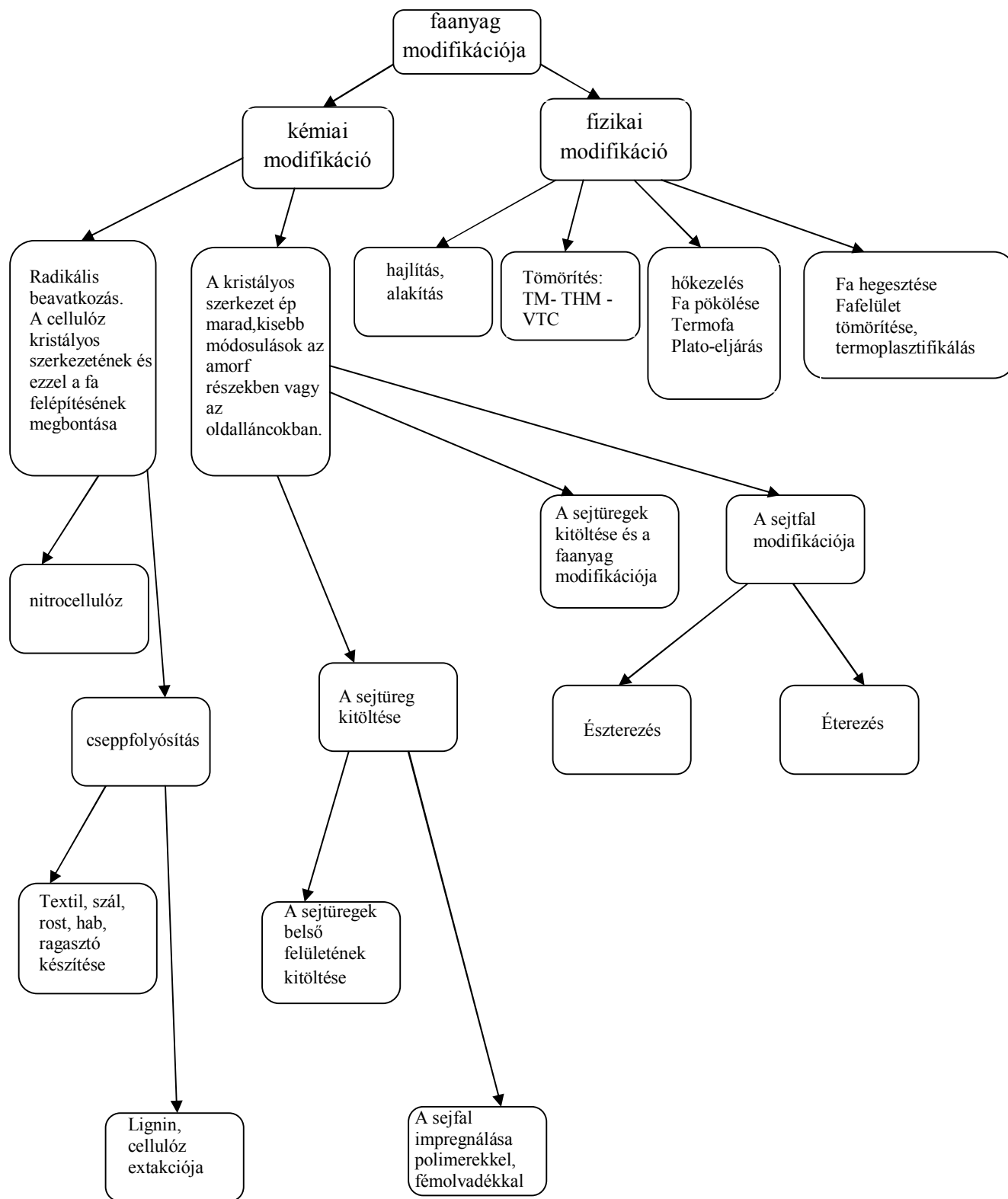
- fenyő félék esetében: 1 mm/perc

- tölgyfa esetében: 0,6 mm/perc
- akácfa esetében: 0,5 mm/perc
- nyárfák esetében: 1,3 mm/perc



Modifikálási eljárások

A faanyag modifikációs eljárások áttekintő sematikus ábrája:



Modifikációs eljárások			Hatásmechanizmusok	
Eljárás vagy kezelőanyag	Forgalomban	Hatásmechanizmus		
Hőkezelés	X			Sejtüregek kitöltése
Acetilezés	(X)			A sejtfal kitöltése
Melamin műgyanta	(X)			OH-csoportok reakcióba vonása
Térhálósítás	(X)			OH-csoportok összekapcsolása
Furfurilezés	X			OH-csoportok összekapcsolása
Szilikon / Szilán				OH-csoportok összekapcsolása
Olaj / vaksz	X			Sejtfalszerkezet módosítása
Citozán				Sejtfalszerkezet módosítása

Főbb famodifikációs eljárások és hatásmechanizmusaik (Krause, 2003)

A modifikálást alapvetően két nagy csoportba sorolhatjuk:

- Aktív eljárások = az anyag kémiai szerkezetének változtatásával járó folyamat (kémiai modifikáció)
- Passzív eljárások = a folyamat során az anyag tulajdonságai változnak, de a kémiai szerkezet változatlan marad.(fizikai modifikáció)

A modifikálás csoportosítása hatásmechanizmusuk alapján:

- Sejtüregek kitöltése
- A sejtfal kitöltése
- OH-csoportok reakcióba vonása
- OH-csoportok összekapcsolása
- Sejtfalszerkezet módosítása

OH csoportok szerepe a modifikálás során: A legtöbb modifikációs eljárás ezeken keresztül valósul meg valamilyen formában. Mennyiségük befolyásolja a vízadszorpciót (ezáltal a gombaállóságot is) és a faanyag méretstabilitását. Cél a modifikáció során a számuk csökkentése.

Hemicellulóz tartalom szerepe a modifikálás során: gombák által könnyen hozzáférhető rész. Cél a mennyiségük csökkentése. Művelet nagy hátránya, hogy a mechanikai tulajdonságok romlanak.

Modifikálási eljárások általános ismertetése:

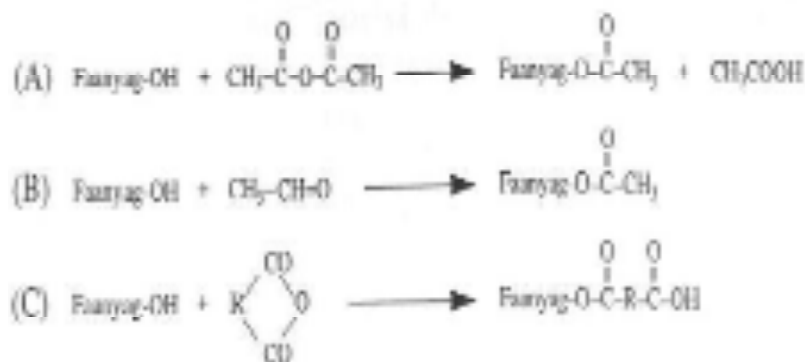
Kémiai modifikáció:

Definíció szerint, olyan folyamat melyben a kémiai reagens és a fa polimer összetevői egymással reakcióba lépnek, kovalens kötést alakítva ki.

Főbb kémiai modifikációs eljárások:

- A faanyag észterezési reakciói (acetilezés ecetsavanhidriddel, keténnel, savkloriddal)
- A faanyag éterezési reakciói (benzil-kloriddal, akrilnitrillel, formaldehiddel, epoxivegyülettel)
- Furfurilezés (furfuril-alkohollal. Komplex reakciók)
- N-metilol-DMDHEU (Dimetilol-dihidroxil-etilén-karbamid)
- Reaktív olajos kezelés (lenolajjal)
- Sejtfa impregnálása

A faanyag észterezési reakciói:



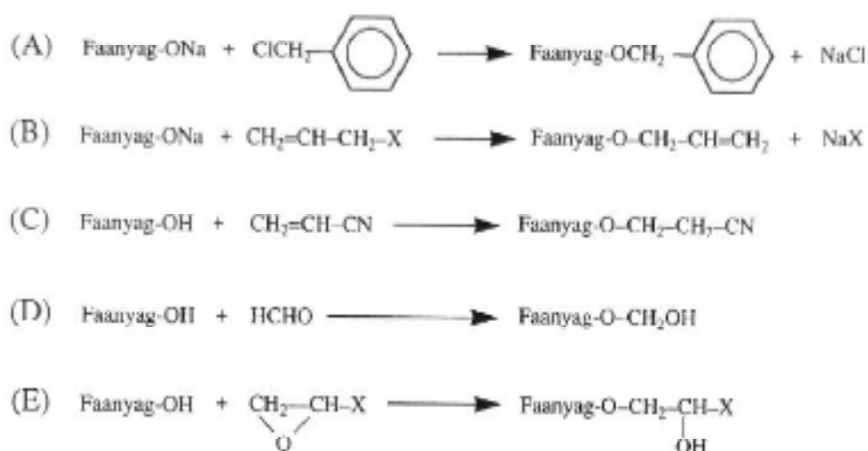
Észterezés ->A: ecetsavanhidriddel, B: keténnel, C: dikarbonsav-anhidriddel

Legjelentősebb: acetilezés. Az eljárással való kísérletezés már a 20. század elején elkezdődött. Ecetsavanhidrides acetilezés az egyik leghatékonyabb famodifikációs eljárás napjainkig.

Legfőbb előnyei:

- a faanyag biotikus károsítókkal szembeni tartóssága javul
- dimenzióstabilitása 75%-al javul
- csökken a higroszkopikussága
- szilárdsági paraméterei nem változnak
- UV-stabilitás kitűnő
- jól festhető

A faanyag éterezési reakciói:



Éterezés. A: benzil-kloriddal, B: allil-halogeniddal, C: akrilnitrillel, D: formaldehiddel, E: epoxivegyülettel

A folyamat jellemzője, hogy az éterezett faanyag termoplaszticitása (melegítés hatására tapasztalható alakíthatóság) megnő.

Az éterezés előnyei:

- benzilezéssel nagy tömörségű és vízállóságú lapok készíthetők
- az allilezett és akril-nitrilezett faanyagokon öntapadó faanyagfelület kialakítása válik lehetségessé
- a formaldehides éterképzés során térhálós szerkezet alakul ki, amelynek eredménye képen merevvé és rugalmatlanná válik a kezelt faanyag illetve javul az akusztikai és méretstabilitási tulajdonsága
- epoxidokkal történő éterezés esetén 20-30%-al jobb lesz a méretstabilitás, emellett javul a biológiai ellenálló képesség is.

A faanyag furfurilezése:

A kezelés furfuril-alkohollal történik.

A folyamat előnyei:

- Kitűnő dimenzióstabilitási paraméterekkel bír az elkészült fa
- Jó tartósság
- a késztermék ellenálló lesz a savakkal, lúgokkal szemben
- Furfuril-alkohol előállítása furfurolból történik (megújuló nyersanyagforrás)
- A furfuril-alkohol savas közegben végbemenő polimerizációja egy sokszorosán elágazó térhálós szerkezetű furán-polimert eredményez, mely a sejtfa polimerjeihez kapcsolódik.

A faanyag kezelése N-metilol-DMDHEU (Dimetilol-dihidroxil-etilén-karbamid)-al:

DMDHEU-nak eredetileg a textilipari felhasználása volt jelentős, mint gyűrődésgátló adalék. Előnye, hogy a lignin és a hemicellulóz OH csoportjaival reagál, illetve ,hogy képes önmagával is összetett (térhálós) polimerré polimerizálódni.

Probléma a kezelésnél, hogy formaldehid szabadul fel.

Reaktív olajos kezelés:

Elve a módosított lenolajjal történő kezelés megemelt hőmérsékleten.

A kezelés által jelentősen javul a tartósság, ellenben a szilárdsági paraméterek nem változnak. Nagy előnye, hogy könnyen kivitelezhető és olcsó, emiatt jelentős az ipari potenciálja.

Sejtfa impregnálása:

A folyamat során a sejtfa kis molekulatömegű prekursorokkal vonják be, majd általában hő hatására polimerizálják őket. Az így kialakuló polimer a sejtfa-mátrixba ágyazódik, emiatt nem lehet vízzel kioldani. Mivel a polimer helyet foglal el a sejtfaiban, ennek következménye, hogy megduzzad a sejtfa. Alapvető követelmény, hogy a faanyagnak vízvezető-képesnek kell maradnia környezetvédelmi okokból kifolyólag. A folyamat jellemzője még, hogy a polimerizációs reakcióban részt vehet a sejtfa anyaga is, de ez nem feltétlenül szükséges.

A sejtfa impregnálás tulajdonságai:

- Az impregnálószer a sejtfa üregeit kitölti
- A fa megduzzad (dimenzióstabilitás)
- A vízmolekulák számára kevesebb tér áll rendelkezésre (csökken a sejtfa egyensúlyi nedvességtartalma)
- A sejtfa mikropórusai eltömődnek. Javul a tartósság.

A termikus modifikáció főbb sajátosságai:

A folyamat során hő közlés hatására a makro molekuláris rendszer kémiai változásokon megy át, ami a faanyag alábbi fizikai és biológiai jellemzőit módosítja:

- Dimenzióstabilitás (ASE)
- Csökkenő higroszkóposág (EMC csökkenése és nedvesíthetőség csökkenése)

- Mikrobiológiai támadásokkal szembeni ellenálló képesség növekedése
- Rugalmassági modulus kezdeti növekedése (alacsonyabb
- hőmérsékletű kezeléseknél merevebbé válik az anyag)
- Hajlítószilárdság és ütő-törő munka csökkenése
- Csökkenő kopásállóság
- Repedések gyakorisága nő, göcsök kiesnek
- Szín sötétedik (világosság (L^*) értéke csökken)

Az eljárás legfontosabb paraméterei:

- Kezelés hőmérséklete és időtartama
- Kezelő közeg
- Zárt vagy nyitott-e a rendszer
- Fafaj
- Száraz vagy nedves rendszer
- Faminták mérete
- Katalizátorok használata

A kezelés hőmérséklete és időtartama szorosan összetartozó paraméterek. Általában elmondható, hogy alacsonyabb hőmérséklethez hosszabb idő tartozik, de az ún. aktivációs energia szintjének elérése nélkül akár „végtelen” ideig is várhatunk a modifikálásra. Jellemző még, hogy magasabb hőmérsékletek és hosszabb kezelési idők általában sötétebb szint, magasabb gombaállóságot, ellenben rosszabb szilárdságot eredményeznek.

Termikus modifikáció esetén az alábbi kezelő közegeket különböztetjük meg:

- Levegő
- Vákuum
- Inert atmoszféra (pl. nitrogén)
- Fémolvadék
- Forró olajok (pl. növényi használt olajok a „fritőzből”)

Fontos jellemző még, hogy zárt vagy nyitott-e a rendszer, ugyanis zárt reaktorban (autokláv) a degradációs termékek befolyásolhatják a modifikálás folyamatát, illetve a nyomást is növelik a reaktorban. Például a hemicellulóz acetil csoportjainak lehasadásával savak keletkeznek, amelyek gyorsítják a sejtfal degradációját. Ezzel szemben a nyitott rendszerekben keletkező savak elvezethetők. Ma már előfordulnak olyan zárt rendszerek is, ahol a keletkezett gázokat, gőzöket kivonják és a már megtisztított kezelőközeget vezetik vissza a reaktorba.

Jelentős eltérések vannak az egyes fafajok között is, például a lombosokra jellemző, hogy intenzívebb a tömegvesztésük a modifikálási folyamat során.

Fontos definiálni, hogy a vizsgált technológia száraz vagy nedves eljárással dolgozik, mert a rendszerben a víz vagy vízgőz jelenléte befolyásolja a termikus modifikáció kémiáját és a hőáramlást a faanyagban. Általában száraz eljárásoknál a faanyagot kiszárítják a hőkezelés előtt, legtöbbször magában a hőkezelő kamrában.

Végül a folyamat során biztosítani kell a faanyag homogenitását, mert a faanyag természetes heterogenitásának eredménye a modifikálás heterogenitását hozhatja magával. Emellett fontos még a faanyagban a hőmérséklet eloszlásának egyenletes biztosítása, mert ez a hővezetéssel függ össze. Köztudott, hogy a száraz fa hővezető képessége alacsony, ezért a középrétegek

átmelegítése érdekében gyakran gőzfűtést is alkalmaznak a cégek. Ez fokozottan érvényes a különösen nagy keresztmetszetű daraboknál.

Mivel a hő körültekintő alkalmazásával egyes tulajdonságok kedvezően alakíthatók a faanyagokban, ezért a hőkezelési eljárás napjainkban egyre elterjedtebb modifikálási folyamatként van jelen.

Az iparban leginkább elterjedt országok: Finnország, Franciaország és Hollandia.

Magyarországon termikus modifikáció kerül alkalmazásra a BlokkWood® technológiájánál is. A cég a faanyagok megmunkálása során ötvözi a folyamatos hőmérsékletváltozást és egy speciális katalizátort, melynek eredményeképpen egy gazdaságos, és sokoldalúan felhasználható, környezetbarát termék kerül a piacra. A termék jellemzője még hogy, a lezáruló sejtszerkezetnek köszönhetően a fa többé nem képes nedvességfelvételre, ezáltal tartósabb szerkezetek építésére válik alkalmassá.

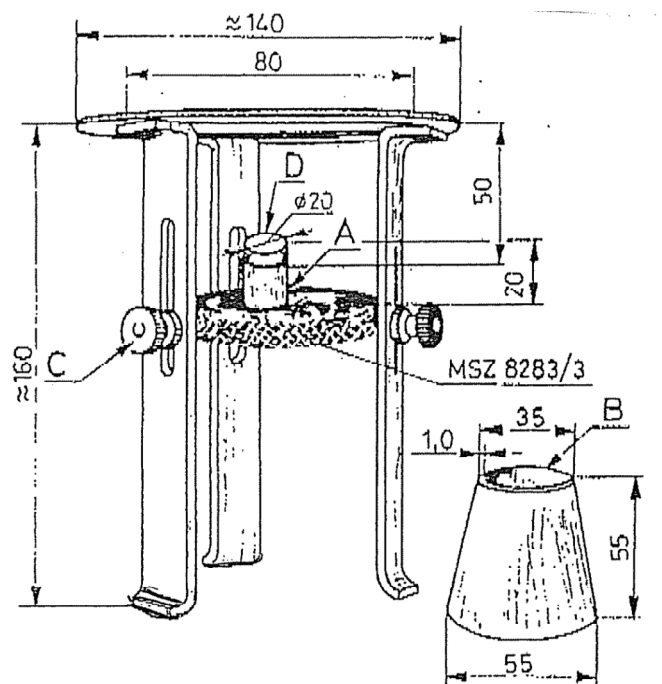
A cég által forgalmazott kezelt fafajták:

- Fenyők: vörösfenyő, erdeifenyő, feketefenyő, lucfenyő, jegenyefenyő
- Kemény lombos fák: tölgy, gesztenye, bükk, cser, juhar, kőris, gyertyán.
- Lágy lombos fák: valamennyi hazai nyár, fűz, éger, nyír, hársak.

BlokkWood faanyag vizsgálatainak leírása:

A gyártótól kapott mintatestekből a vizsgálatok előtt, asztalos segítségével, az egyes kísérletekhez szükséges mintadarabok készültek el. A vizsgálatok egyéb speciális előkészítést nem igényeltek.

Elsőként az égéskésleltető szerrel kezelt fa- és fahelyettesítő anyagok tömegveszteség vizsgálatát végeztem el. Ennél a vizsgálatnál a mintadarabok mérete: 10cm*10cm*1 cm . Az égéskésleltető szeres kezelés hatékonyságának ellenőrzésére az alábbi berendezést kell alkalmazni:



A vizsgálat menete a következő:

Az égetőkészüléket a vizsgálat előtt huzatmentes helyiségben elhelyezzük. A szerkezetet úgy helyezzük, hogy az égetőgömb felső síkja és a környálással ellátott acéllemez felső szintje közötti távolság pontosan 50 mm legyen. Ha szükséges az égetőtömb magasságát az állítócsavarokkal megfelelően be kell állítani. Ezt követően a próbatest tömegét 0,05 g pontossággal meg kell mérni.

A készülék tiszta és hideg állapotú égetőtömbjére egy gramm tömegű hexametilén-tetramin pasztillát kell tenni (1. ábra), meg kell gyújtani ez után gyorsan, idővesztés nélkül a kürtőt a helyére kell tenni és a próbatestet az égetőnyílásra kell helyezni. Fontos, hogy a próbatest az égetőnyílás egészét befedje (2. ábra).

A minta felületének égetése addig történik, amíg a teljes mennyiségű hexametilén-tetramin el nem ég.

Az égetés végeztével a próbatestek tömegét szobahőmérsékletre való kihűlés után ismét meg kell mérni 0,05 g pontossággal. Legvégül meg kell adni a vizsgálat előtt és után mért tömegek különbségét 0,05 g pontossággal.



1. ábra



2. ábra

A vizsgálat minősítése:

A védőszeres kezelés megfelelőnek tekinthető, ha a próbatest tömegvesztése telítő eljárással védett faanyagoknál nem nagyobb, mint 2,5 g.

Második vizsgálat a vízszintes lángterjedés sebesség vizsgálata volt. Ez a vizsgálat a német DIN 75200 és az ISO 3795 szabványnak felel meg.

A vizsgálatot az ATLAS típusú HMV (Horizontal Flame Chamber) elnevezésű készülékben végeztem (3. ábra).

A vizsgálatához szükséges minta mérete: 33cm*10cm*1 cm

Előkészítéshez hozzátartozik, hogy a mintán előre jelölni kell bizonyos határokat 38 mm-nél és 254 mm-nél. Ezeknek a határoknak a függvényében határozzuk majd meg a lángterjedés sebességét.

A vizsgálat során a kész mintát egy fém keretbe helyezzük majd a fém kerettel együtt a vizsgáló szerkezetbe (5. ábra). A szerkezet úgy van kialakítva, hogy a keletkező gázlángot a behelyezett minta pont a felénél vágja ketté (4. ábra). Ügyelni kell arra, hogy a láng pont a minta szélét érje csak.



3. ábra



4. ábra



5. ábra



6. ábra

A vizsgálat folyamata a következő:

A behelyezett mintára rácsukjuk a lángot tartó ajtót, illetve a becsukás pillanatában elindítunk egy stoppert (6. ábra). Feljegyezzük, hogy 15 másodpercnél mi történik a mintával (füstöl, lángol stb.), majd 30 másodpercnél kinyitjuk a szerkezet ajtaját, ezzel eltávolítva a lángot a mintától. Mivel a faanyagok nem érték el egyszer sem a meghúzott határt 30 másodperc alatt, ezért az ajtót visszacsukva vizsgáltam mi történik, ha 60 másodpercig (azaz 1 percig) érintkezik a láng a mintával. Ezután az ajtót kinyitva eltávolítottam a lángot a mintától és az esetleges meggyulladás esetén stopperrel mértem mennyi idő alatt aludt ki a láng. Előfordult, hogy egyes faanyagok esetében (pl. kőris esetén) egy perc után is visszacsuktam a lángot a faanyaghoz és újabb percet vártam a meggyulladásra. Ezt olyan esetben tettem, amikor a minta egy perc után sem gyulladt meg.

Az összes mért érték és észrevétel (füst, izzás stb.) a mérési jegyzőkönyvben lett rögzítve.

A vizsgálat minősítése:

Nézzük, hogy 30 másodperc alatt a láng eléri a 38 mm-t, és ha igen, tovább terjed-e a 254 mm-es másik határig. A mért időből és a láng által megtett távolságból számolható a lángterjedés sebesség a jól ismert megtett út/eltelt idő képlettel. Általánosan elmondható, hogy azok az anyagok, amelyek 30 másodperc alatt nem érik el a 38 mm-t, lángterjedési sebesség szempontjából nagyon alacsony értéket képviselnek, így ez nem számít jelentős paraméternek számukra.

A harmadik vizsgálat a függőleges lángterjedés sebesség vizsgálata volt. Ez a vizsgálat a német DIN 4102 és az ISO 11925-2 szabványnak felel meg.

A vizsgálatot egy fém tartószerkezetre erősített fém kerettel végeztem, amibe a vizsgálandó minta került beszorításra, amit egy különálló mozgatható gázláng segítségével gyújtottam meg.

A vizsgálatához szükséges minta mérete: 33cm*10cm*1 cm

Előkészítéshez hozzátartozik, hogy a mintán jelölni kell egy előre meghatározott határt 150 mm-nél. Ez a határ nyújt segítséget az eredmények kiértékeléséhez.

A vizsgálat során a kész mintát egy fém keretbe helyezzük, majd a fém kerettel együtt a fém tartószerkezetre erősítjük. A szerkezet állítható, hogy a mintát pontosan a gázlángtól 1 cm térbeli távolságra tudjuk helyezni. Ezt a távolságot precízen ki kell mérni egy pontosan 1 cm hosszúságú tárgy segítségével minden mérés alkalmával.



7. ábra



8. ábra



9. ábra

A vizsgálat menete:

A felfüggesztett mintához 1 cm térbeli távolságba helyezzük a gázlángot, majd 20 másodpercig melegítjük vele a mintát (7. ábra). 20 másodperc után a gázlángot elvesszük és stopperrel mérjük, hogy az esetlegesen keletkező láng mikor alszik ki (8-9. ábra). Mindezeket az értékeket a mérési jegyzőkönyvben rögzítjük.

A vizsgálat értékelése: Az égési hossz leméréséből és az időből számítható az egyes anyagok függőleges lángterjedési sebessége a már ismert út/idő képlettel [mm/s]. Általánosan elmondható, hogy amely anyagok 20 másodperc alatt nem érik el a 150 mm-es határt, azok függőleges lángterjedési sebessége nem minősíthető meghatározó paraméternek az adott anyagra nézve.

A negyedik vizsgálat a sugárzó hővel történő meggyulladás időt mérése volt. Ez a vizsgálat az ISO 9239-1 szabványnak felel meg.

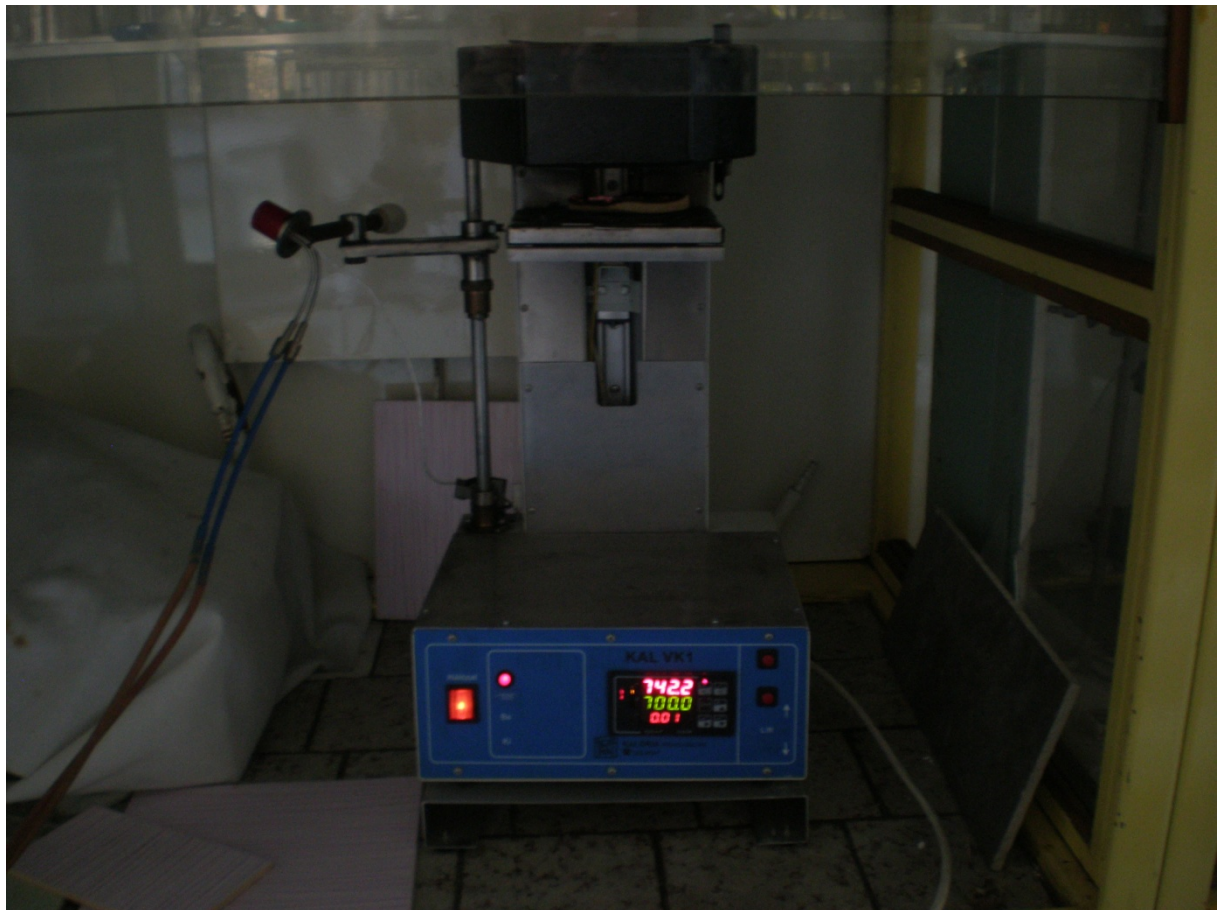
A vizsgálatot egy előre beállított készüléken kell végezni. Az általam végzett kísérletet a KALVK1 nevű műszeren végeztem (10. ábra). Az előkészületek során, a műszeren be kellett állítani és mérni kellett a minta és a sugárzó fémhag távolságát, illetve ennek megfelelően meg kellett mérni a hő fluxust is. Ezek a paraméterek jelentős befolyással bírnak a vizsgálat szempontjából.

A vizsgálathoz 7cm*7cm*1cm méretű minták szükségesek. A mintákat a vizsgálat előtt semmilyen egyéb módon nem készítik elő.

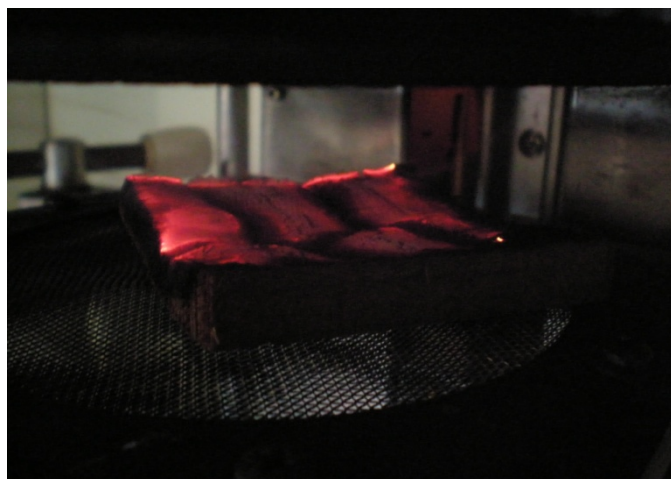
A vizsgálat menete:

A mintát a hősugárzó magtest alá kell helyezni majd stopperrel mérni, hogy mikor kezd el füstölni, izzani esetleg lángolni és mikor ég át a teljes keresztmetszeten (11-16. ábra).

Mindezeket az értékeket a mérési jegyzőkönyvben kell feltüntetni.



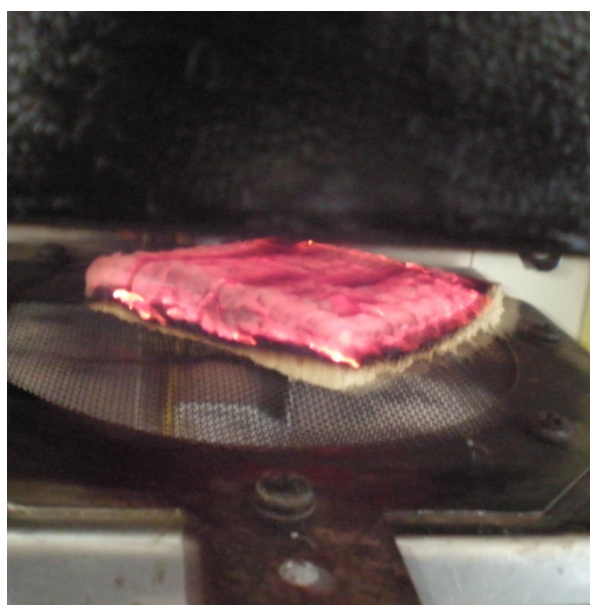
10. ábra



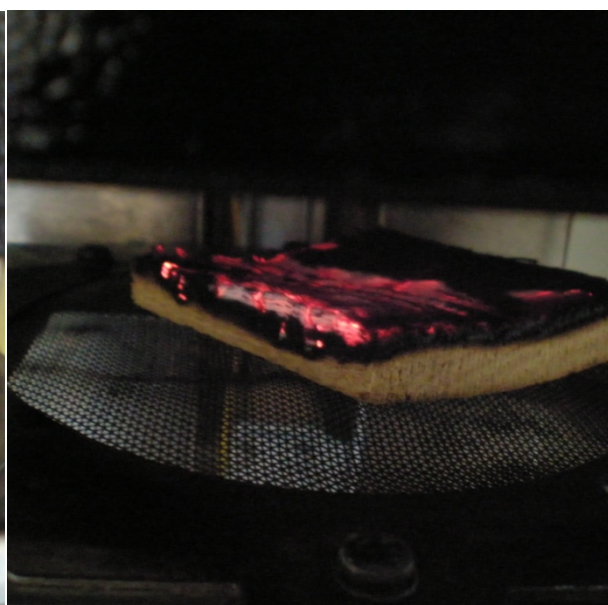
11. ábra



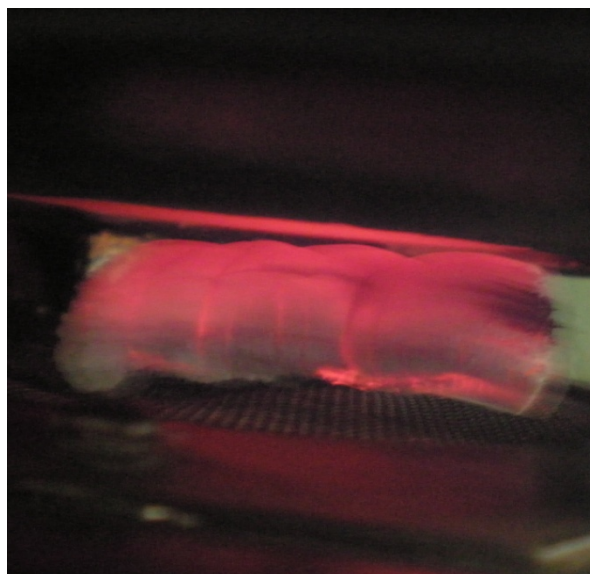
12. ábra



13. ábra



14. ábra



15. ábra



16. ábra

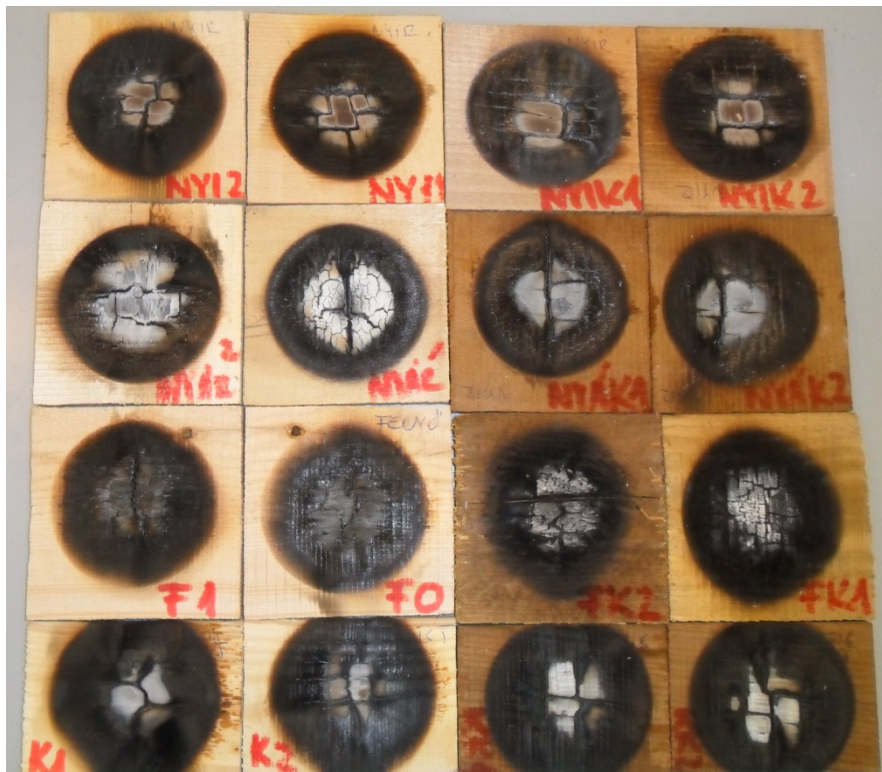
A vizsgálat kiértékelése:

A vizsgálat során egy viszonyszámot kapunk, mely a meggyulladás idejét mutatja meg a fluxus és a sugárzó test (vasmag) távolságának függvényében. Ehhez természetesen szükséges, hogy az adott beállított paraméterek mellett a minta belobbanjon. A belobbanás elérése érdekében a rendelkezésre álló mintákból két féle beállítás mellett végeztem el a vizsgálatot.

Elvégzett kísérletek eredménye:

Vizsgálataim során az alábbi eredményekre jutottam a modifikált faanyagokkal kapcsolatban:

- tömegvesztesség vizsgálat során a faanyagok egyetlen típusa (mind kezelt, mind kezeletlen) nem felelt meg. Külön kiemelendő, hogy a vizsgálat során a nyárfák át is égtek a teljes keresztmetszeten (1cm).



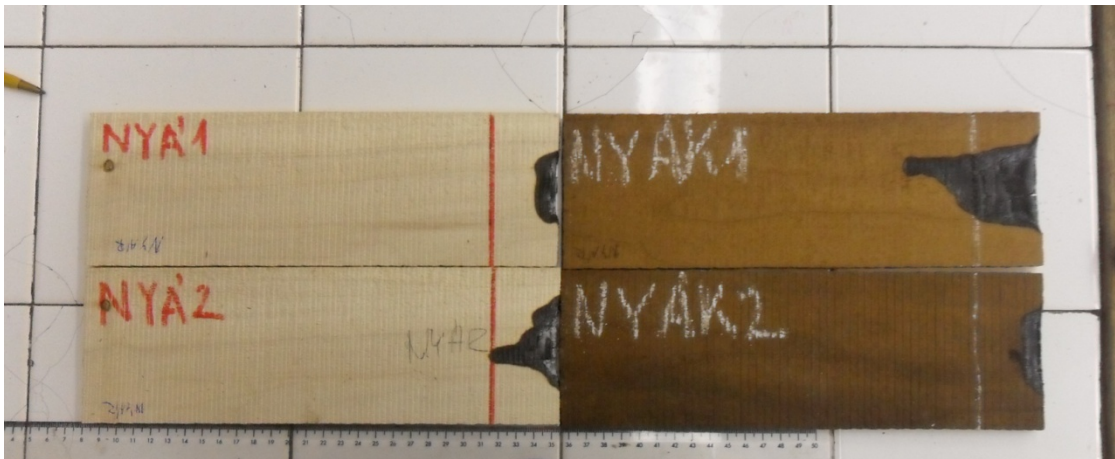
Az első vizsgálat során használt mintadarabok



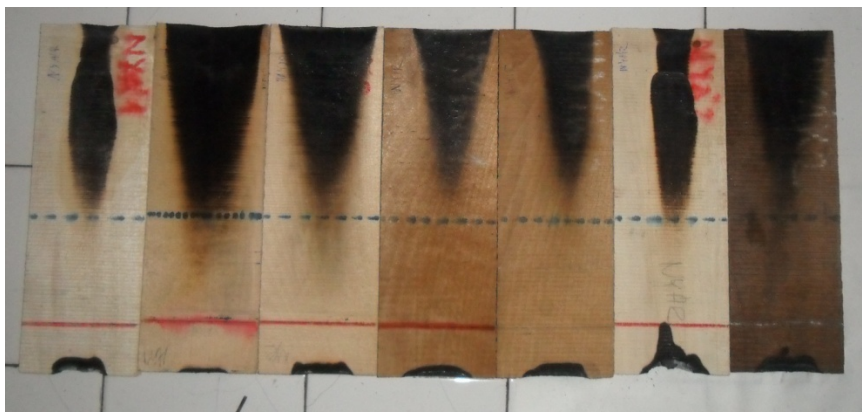
A nyárfa átégése a vizsgálat alatt

Megfigyelhető még, hogy legnagyobb tömegvesztéssel a rövid ideig kezelt kőrisek rendelkeznek, de nem sokkal kisebb ez az érték a többi kezelt és kezeletlen kőrisnél illetve a kezelt és kezeletlen nyírfáknál sem. Legkisebb értékkel mind a kezelt és kezeletlen faanyagok között a kezelt nyárfák rendelkeznek.

- vízszintes lángterjedés sebesség szempontjából minden faanyag alacsony értéket ért el. A szabványos vizsgálati idő alatt (30 mp.) egyik sem mutatott jelentős terjedési sebességet. Legjobb értékekkel a hosszabb ideig kezelt kőris rendelkezik, aminek gyakorlatilag majdnem nulla a lángterjedés sebessége. Kezeletlen faanyagok közül a nyír és a kőris értékei a legalacsonyabbak, míg a kezelt és kezeletlen nyárfa mutatta a legrosszabb (legnagyobb) értékeket.



- függőleges lángterjedés sebesség szempontjából a kezeletlen és a hosszan kezelt kőris és a kezeletlen és kezelt fenyő mutatta a legjobb eredményeket. A szabvány szerinti 20 másodperc alatt meg sem gyulladtak, így függőleges lángterjedésük gyakorlatilag 0. Ennek oka, hogy az adott idő alatt nem érték el a gyulladási hőmérsékletet. Rosszabb eredményt ért el a nyárfa és a nyírfa. A legnagyobb értéket a kezeletlen nyárfa mutatta, 54 másodperc alatt érte a 150 mm-es határt.



Függőleges lángterjedési sebesség néhány mintadarabja a vizsgálat után

- A meggyulladás idő sugárzó hővel történő égésénél kétfajta eredmény sor alakult ki. Az első esetben a minta és a sugárzó vasmag távolsága 3 cm volt, a hőfluxus pedig $2 \pm 0,2$ értékű. Ezek mellett a paraméterek mellett egyetlen minta sem lobbant be, hanem szilárd fázisú égéssel égtek. A legjobb eredményeket a kőris mutatta, míg legrosszabbakat a nyárfa. Második esetben a minta és a sugárzó vasmag távolsága 1,3 cm volt, a hőfluxus pedig $2,6 \pm 0,2$ értékű. Ilyen beállítás mellett a legtöbb minta belobbant, kivétel a kezeletlen kőris, amely szilárd fázisú égéssel égett. Legkésőbb a kőrisből készült minták lobbantak be, míg a leghamarabb a kezeletlen és kezelt nyárfa.



Az első kalibrálásnál használt mintadarabok összessége az égetést követően



A második kalibrálásnál használt mintadarabok közül néhány darabjai

Az osztályba sorolás megerősítéséhez néhány próbadarab gyulladási hőmérsékletének megállapítására is végeztem vizsgálatokat. Ezeket a vizsgálatokat a megfelelő számú mintadarab hiányában csupán néhány mintára és nem is minden fajtára végeztem el, ám eredményeik újabb alátámasztást adtak abban, hogy a BlokkWood technológiával kezelt faanyagok „C” euroclass minősítést érdemelnek.

A tűzveszélyességi minősítés

Az építési célú anyagok osztályba sorolásához az alábbi tűztechnikai vizsgálati módszerek szükségesek:

„nem éghetőségi vizsgálat”	A vizsgálat során mért jellemzők: a minta tömegvesztesége, a vizsgálóberendezésben mért hőmérsékletemelkedés, vizsgálat alatt észlelhető lángolási időtartam
„égéshő meghatározása”	Ún. bomba-kaloriméteres vizsgálat.
„SBI” módszer („single burning item” method)	Olyan komplex vizsgálat, mely során detektálható az anyag meggyulladásának ideje, megfigyelhető a felületi lángterjedés és égve csepegés, mennyiségileg mérhető a keletkező füst optikai sűrűsége, fejlődésének sebessége illetve a hőfelszabadulás sebessége.
„Gyúlékonysági vizsgálat”	„Kisméretű” vizsgálat, amelyben mérhető az anyagra jellemző lángterjedési sebesség, az égés során bekövetkező károsodás mértéke illetve megfigyelhetők az égvecsepegési tulajdonságok.

Az elvégzett kísérletek alapján az építőanyagokat az alábbi táblázat alapján lehet osztályba sorolni(kivételek padlóburkolatok):

tűzmodell	tűzhatás	osztály (euroclass)	osztályjellemző	fő kritériumok
teljesen kifejlődött tűz egy helyiségben	több, mint 60 kW/m ²	A	nincs együttműködés a tűzzel	- nagyon korlátozott égéshő - nincs lánggal égés - korlátozott tömegveszteség
		B	nagyon korlátozott együttműködés a tűzzel	- nagyon korlátozott égéshő - gyakorlatilag nincs lángterjedés - korlátozott tömegveszteség - nagyon korlátozott füstfejlesztés - nincs égvecsepegés
egyetlen égő tárgy (SBI) egy helyiségben	max. 40 kW/m ² korlátozott területen	C	korlátozott együttműködés a tűzzel	- nagyon korlátozott lángterjedés - korlátozott hőfelszabadulás - korlátozott füstfejlesztés korlátozott gyúlékonyság - nagyon korlátozott égvecsepegés
		D	még elfogadható együttműködés a tűzzel	- korlátozott lángterjedés - elfogadható hőfelszabadulás - korlátozott füstfejlesztés - elfogadható gyúlékonyság - korlátozott égvecsepegés
a termék egy korlátozott területén kicsi tűztámadás	2 cm-es magasságú gyújtóláng	E	még elfogadható tűzreakció	még megengedett gyúlékonyság
		F		

A padlóburkolatok tűzveszélyességi minősítésére szolgáló vizsgálati módszerek:

„nem éghetőségi vizsgálat”	A vizsgálat során mért jellemzők: a minta tömegvesztesége, a vizsgálóberendezésben mért hőmérsékletemelkedés, vizsgálat alatt észlelhető lángolási időtartam
„égéshő meghatározása”	Ún. bomba-kaloriméteres vizsgálat.
„sugárzó paneles lángterjedési vizsgálat”	a padlóburkolat beépítésének megfelelően vízszintes próbatesteken meg kell határozni a láng terjedésének mértékére és sebességére vonatkozó jellemzőket, emellett meg kell mérni az anyagokból felszabaduló füstfejlődési jellemzőit
„tablettás vizsgálat”	egy meghatározott kis teljesítményű gyújtóforrás körül kialakuló károsodott felület kiterjedésének meghatározására szolgál.

Ez alapján a vizsgálatok alapján a padlóburkolatok osztályozása az euro szabvány szerint:

tűzmodell	tűzhatás	osztály (euroclass)	osztályjellemző	fő kritériumok
teljesen kifejlődött tűz egy helyiségben	több, mint 60 kW/m ²	A _n	nincs együttműködés a tűzzel	- nagyon korlátozott égéshő és hőfelszabadulás - nincs lánggal égés - korlátozott tömegveszteség
		B _n	nagyon korlátozott együttműködés a tűzzel	- nagyon korlátozott égéshő - gyakorlatilag nincs lángterjedés - korlátozott tömegveszteség - nagyon korlátozott füstfejlesztés
egyetlen égő tárgy (SBI) egy helyiségben	10 kW/m ² -es sugárzó hő egy korlátozott területen	C _n	korlátozott együttműködés a tűzzel	- nagyon korlátozott lángterjedés - korlátozott füstfejlesztés
		D _n	még elfogadható együttműködés a tűzzel	-korlátozott lángterjedés - korlátozott füstfejlesztés
a termék egy korlátozott területén kicsi tűztámadás	égő cigaretta	E _n	még elfogadható tűzreakció	még megengedett gyúlékonyság
		F _n		

Az alábbi táblázatok alapján felsorolt vizsgálati követelmények egy részére volt csak kapacitásom, de a kevés mérési eredményeim alapján is kijelenthetem, hogy a modifikált faanyag (a kezeletlen faanyagokra jellemzően) C illetve C_n osztályba sorolható be. Ennek oka, hogy bár mind a függőleges, mind a vízszintes lángterjedés sebessége elhanyagolhatóan kicsinek bizonyult, a tömegvesztése és a füstfejlesztése indokolja a rosszabb kategóriába való besorolást. A besorolás helyességét erősíti a néhány darabon elvégzett gyulladáspont vizsgálat eredménye is.

Összefoglalás

Munkám eredményeként sikerrel könyvelhetem el, hogy lehetőségem adódott egy olyan anyag tűzvédelmi vizsgálatára, melyre előttem még senkinek nem volt lehetősége. Remélem, hogy mindez csupán a kezdetet képviseli és a jövőben többen fordulnak majd a faanyagok vizsgálata felé, kiemelten a Blokk Wood faanyagához. Dolgozatom elkészítése során rendkívül érdekes és izgalmas kísérleteket végezhettem el és egy olyan kezeléstechnikát ismerhettem meg, amely várhatóan a jövő egyik kedvelt és népszerű alkalmazása lesz. A BlokkWood technológiával kezelt fák nagyszerű előnyeinek köszönhetően (pl. eredményesen ellenállnak a kártevőknek) alkalmazásuk és beépítésük egy korszerűbb felhasználást jelenthet majd a mindennapokban, lecserélve és ezzel a piacról kiszorítva hagyományos, kezeletlen társaikat.

Irodalomjegyzék:

- Beda László- Dr. Cecei Katalin: Laboratóriumi gyakorlatok tűzvédelmi szakos hallgatók részére
- Horváth Norbert: A termikus kezelés hatása a faanyag tulajdonságaira, különös tekintettel a gombaállóságra
- Dr. Németh Róbert előadássorozata a faanyagok modifikációjáról (NymE Faipari Mérnöki Kar, Sopron, Faanyagtudományi Intézet, 2009)
- A faanyag kémiai átalakulása / átalakítása című nyugat-magyarországi egyetemi jegyzet
- Kovács Levente: Égésgátló, Égésleltető anyagok című dolgozata
- Tamás Szilárd: A faszerkezetű épületek tűzvédelme című szakdolgozat
- Németh Norbert: Faszerkezetek éghetőségének javítása és a faanyagok égésleltetése című dolgozata
- Steinbacher Gábor: Faszerkezetek kémiai tűzvédelme
- Dr. Kerekes Zsuzsanna személyes jegyzete a fa tűzvédelmi sajátosságairól
- A tűzvesélyességi minősítés rész táblázatai a Védelem magazin 1998/2 számából valók(készítette: dr. Bánky Tamás)
- a dolgozat sematikus ábrái a Védelem magazin 1995/5 számából valók (készítette: Szitányi Magdolna)