

Nyugat – magyarországi Egyetem

Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi és Művészeti Kar

Faanyagtudományi Intézet

**Termikus módosítási eljárások különböző folyamatparamétereinek hatása a faanyagok
egyes fizikai-mechanikai tulajdonságaira**

Témavezető:

Dr. habil. Németh Róbert

egyetemi docens

A dolgozat készítője:

Fodor Fanni

II. évf. Faipari Mérnök Msc. hallgató

Pozsgay Balázs

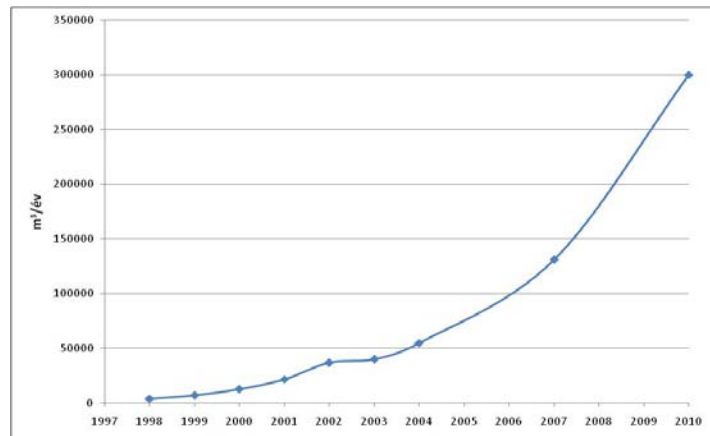
II. évf. Faipari Mérnök Msc. hallgató

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	3
2. Anyagok és módszerek.....	7
2.1. Termikus modifikálási eljárások	7
2.2. Vizsgált fafajok	10
2.2.1. Lucfenyő (<i>Picea abies</i> Karst.)	10
2.2.2. Bükk (<i>Fagus sylvatica</i> L.)	12
2.2.3. Kőris (<i>Fraxinus excelsior</i> L.)	14
2.3. Alkalmazott szabványok, képletek.....	16
2.3.1. Alkalmazott szabványok	16
2.3.2. Alkalmazott képletek.....	16
3. A vizsgálat leírása.....	17
3.1. A beérkezett faanyag feltérképezése	17
3.2. Próbatetek gyártása	17
3.3. Klimatizálás.....	18
3.4. Tömegmérés	18
3.5. Hajlítószilárdság mérése (MSZ 6786-5:1976 szabvány szerint).....	18
3.6. További vizsgálatok	18
4. Eredmények értékelése	19
4.1. Lucfenyő.....	19
4.2. Bükk	24
4.3. Kőris.....	27
5. Összefoglalás.....	30
6. Köszönetnyilvánítás	31
7. Irodalomjegyzék.....	32
8. Mellékletek.....	34
8.1. Mérési eredmények	34
8.2. Törésképek	42

1. Bevezetés

Az utóbbi öt évben megnőtt a kereslet az ún. Thermowood vagy Thermally Modified Timber (TMT) vagyis termikusan modifikált faanyag iránt. Ennek oka, hogy a faanyagot esztétikusabbá, és tartósabbá teszi.



1. ábra TMT előállítás volumene (forrás: Négrié G., 2012) [1]

A termikus módosítás során a faanyagot levegő, olaj, vagy valamilyen gáz jelenlétében felhevítik azzal a céllal, hogy bizonyos tulajdonságait javítsák.

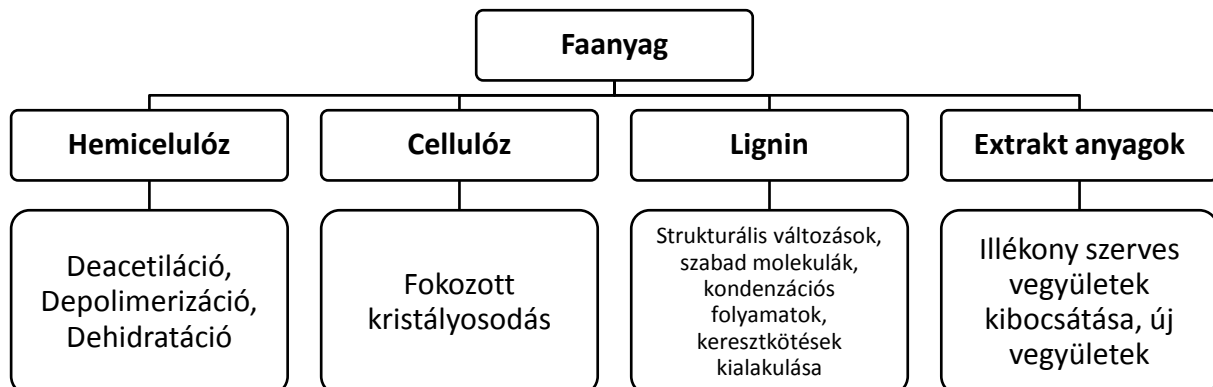
Ezek a tulajdonságok lehetnek a dimenzióstabilitás növelése, a higroszkóposság csökkentése, vagy a mikrobiológiai támadásokkal szembeni ellenállóképesség.

A termikus módosítás során a fa színe is megváltozik, ez előny és hátrány is lehet. Azonban a kezelés hatására negatív változások is történnek, például a repedések gyakorisága nő, a kopásállóság, a hajlítoszilárdság és az ütő-törő munka csökken.

A termikus kezelés módját, és kimenetelét sok tényező befolyásolja: a fafaj, a fatest mérete, a kezelés hőmérséklete és ideje, a kezelő közeg, és a katalizátor használata.



2. ábra Hőmérséklet növelésének hatása a fára



3. ábra A termikus kezelés hatása a fa különböző részeire



4. ábra Hőkezelt faanyag (forrás: <http://www.corbat-holding.ch>)

A **célunk** az volt, hogy cégektől kapott termikusan kezelt faanyagokat megvizsgáljuk, olyan tekintetben, hogy a különféle eljárások hatására hogyan változott a sűrűségük, illetve a szilárdsági paramétereik. Irodalomkutatást végeztünk, hiszen több kutatás is folyt ebben vagy hasonló témában:

Graf et al. (2003) lucfenyő termikus kezelése alatt kibocsájtott kondenzálható gázait kutatta, és arra az eredményre jutott, hogy a következő anyagok szabadultak fel: ecetsav, dimetilglioxál, furfurool, toluol, terpének.[2]

Graf et al. (2005) kimutatta, hogy hat fafajnál (luc, fenyő, vörösfenyő, tölgy, kőris és akác), a hőkezelés során kibocsájtott anyagoknak mintegy 80%-a ecetsav, furfurool és furfurool származékok voltak. [3]

Kocaefe et al. (2008b) fehér kőris, és juhar dinamikus nedvesítésének jellemzőit kutatta, és arra jutott, hogy a kezelt faanyagnál a peremszög jelentősen növekedett a kezeletlenhez képest. 200°C fölötti kezeléseknél a fa hidrofóbbá válik gátolva a ragasztók és lakkok felszívódását. [4]

Yildiz és Gümüşkaya (2007) kutatásaikkal megerősítették, hogy a cellulóz kristályosodási foka növekszik a hőkezelés hatására. [5]

Ultraibolya sugárzásnak kitett termikusan kezelt faanyagok színváltozásait (ΔE) vizsgálta **Ayadi et al. (2003)**, és 835 órás kitettség után azt találta, hogy a kezelt mintákon kisebb változás történt, mint a kezeletlen próbatesteken. Például büknél a teljes színváltozás mértéke kontroll anyagoknál 18, míg módosított fánál 7. A változás a fenolos csoportok, és a lignin stabilizációjával magyarázták. [6]

Fengel and Wegener (1989) 150°C-on hőkezelt lucfenyőt vizsgált elektronmikroszkóppal, és repedéseket figyeltek meg S1 és S2 sejtfali rétegek között, és a sejtek sarkaiban. Hasonló viselkedést figyeltek meg **Filló és Peres (1970)**, és **Gromov et al. (1972)**, 120-160°C hidrotermikus kezelést követően nyírfánál, és büknél.

Fengel (1966b) repedéseket talált a középlamellában, és az S1 rétegben lucfenyőnél 180-200°C-os kezelést követően. A repedések mellett látható elváltozások voltak a gödörkében, valamint oldott anyagok rakódtak le a gödörkeüregben. [7, 8, 9]

Boonstra et al. (2006b) a termikusan kezelt lombosfa mikrostruktúráját, és fizikai jellemzőit vizsgálta, és arra jutott, hogy az olyan fajok, mint a bükk, vagy a nyár hajlamos volt a sejkollapszusra, és némi deformáció is történt a libriform rostokban az edények közelében, míg a kezelt bükkben és nyírben radiális repedések jelentek meg a bélsugarak környékén. [10] Néhány szerző szerint a termikus kezelés elvégzéséhez a minimálisan szükséges hőmérséklet 100°C. Például **Kollmann és Schneider (1963)** végzett vizsgálatokat bükkal, tölgyel, és fenyővel 70°C-200°C hőmérsékleten, 6 -24 óra intervallumban, és arra jutottak, hogy a vízgőz abszorpciója 100°C fölött kezd el csökkenni, és a kezelési idő meghosszabbításával további csökkenés érhető el. [11]

Kamdem et al. (2002) kezelt fenyőt és bükk fát vizsgált 200°C és 260°C közötti hőmérsékleten, és kis csökkenést tapasztalt az egyensúlyi fánedvességben: luc 8%-ról 7%-ra, 66%-os relatív páratartalom mellett, 14%-ról 11%-ra 86%-os relatív páratartalom és 26%-ról 20%-ra 100%-os relatív páratartalom mellett. Bükkfánál jelentősebbek voltak az egyensúlyi nedvességtartalom csökkenések: 66% rel. páratartalomnál 10%-ról 5%-ra, 86% rel. páratartalomnál 14,5%-ról 8%-ra, illetve 100%-os relatív páratartalomnál 21,8%-ról 12%-ra. A fenyők és a lombosok közti különbségeket az eltérő makromolekuláris összetétellel magyarázták.[12]

Az egyensúlyi nedvességtartalom csökkenése a fa hőkezelése miatt javuláshoz vezet a dimenzióstabilitásban. **Burmester (1973)** azt állította, hogy optimális nyomással és hőmérséklettel lehetséges, hogy csökkentsék a dagadás által okozott deformációt tölgynél 75%-kal, bükknél 60%-kal, erdei fenyőnél 55%-kal, és lucfenyőnél 52%-kal. Későbbi tanulmányokban **Giebeler (1983)** említi, hogy a dagadás mértéke 50%-80% tartományban csökkent bükk, nyár, erdei fenyő, lucfenyő és nyír esetén, 180-200°C-on inert gáz atmoszférában végrehajtott módosítás hatására. [13, 14]

Kamdem et al. (2002) 200°C és 260°C közötti hőmérsékleten kezelt lucfenyővel, és bükkfával kísérletezett, és a hajlítószilárdságban 11% és 20%-os, valamint a rugalmassági modulusban 8%, és 40%-os csökkenést tapasztalt. A kezelt faanyagok sűrűsége csökkent, a 200°C és 260°C közötti hőmérsékleten kezelt lucfenyő kiindulási sűrűsége 447 kg/m³-ről 381 kg/m³-ra, míg a bükknél 623 kg/m³-ről 617 kg/m³-re mérséklődött a sűrűség. A sűrűség csökkenése a hőbomlás miatti anyagveszteséggel magyarázható. [12]

Hakkou et al. (2003) nyár, bükk, luc, és a tengerparti fenyő faanyagokkal 8 órás, 40°C és 260°C közötti hőmérsékleten végrehajtott kísérletei alapján arra a következtetésre jutott, hogy csökken a faanyagok felszínének nedvesíthetősége 135°C-tól kezdve, majd a hőmérséklet növekedésével kissé növekszik. [15]

A termikus módosítás kémiai összetételre gyakorolt hatását vizsgálva megállapították, hogy a lucfenyő, erdeifenyő és nyár magasabb lignin, és alacsonyabb hemicellulóz tartalommal bír, mint a nem kezelt faanyag (**Dirol és Guyonnet, 1993**). [16]

Számos szerző számolt be korhadással szembeni fokozott ellenállásról. Például **Dirol és Guyonnet (1993)** termikusan kezelt, kevésbé tartós fajokat vizsgált (luc-, erdeifenyő és nyár), és az összes esetben 1% alatti gombabontás által okozott tömegvesztést tapasztalt, míg a kezeletlen mintáknál több mint 40% volt ez az érték. [16]

Bengtsson et al. (2002) szerint a hajlító szilárdság csökkenése lucfenyőnél 50% és erdeifenyőnél 47% 220°C-os termikus kezelés után. A rugalmassági modulusz csak 3,5%-kal csökkent. [17]

Reiterer és Sinn (2002) a lucfenyő repedési tulajdonságát vizsgálta hasítóék segítségével, és arra jutottak, hogy a hasadással szembeni ellenállása kisebb lett. A nitrogéngáz közegben kezelt faanyagnak kevésbé csökkent a repedéssel szembeni ellenálló képessége, mint az autoklávban kezelt mintáké. A termikusan kezelt fa törési képének mikroszkópos vizsgálata az anyag rideggé válására utalt. [18]

Follrich et al. (2006) tanulmányozta a termikusan kezelt lucfenyő és egy apoláros, hőre lágyuló polimer közötti tapadást, és arra jutott, hogy a szakító erő, és a törési energia, a kezelési idő növelésével együtt nőtt. [19]

Bengtsson et al. (2002) szerint 220°C-on kezelt lucfenyő és erdeifenyő használható hajófedélzethez, burkolathoz, ablakkerethez, kültéri bútorokhoz, lépcsőkhöz, és más alkalmazások, ahol a fizikai erő nem nagyon fontos. Ezen a hőmérsékleten kezelt faanyag nem használható teherviselő szerkezetekben. [17]

Syrjänen és Kangas (2000) arról számolt be, hogy finn módszerrel (Thermowood®) kezelt erdeifenyőt, és lucfenyőt többségében kültéren használják fel, mint teraszok, kerítések, kerti bútorok, nyílászárók alapanyagát, míg a nyár és nyír többnyire beltérben kerül használatra, mint konyhabútorok, bútordarabok, parketta, és a panelek. Az így kezelt faanyagot sokszor használják szaunákhoz, mert a hőátadási együtthatója alacsonyabb a kezeletlen faanyagénál. [20]

2. Anyagok és módszerek

2.1. Termikus modifikálási eljárások

1. táblázat A cégek faanyagai, és jelölései

Cég	Palló jelölése	Kezelés	Thermo faanyag
Cég 1	11	Nitrogéngáz közeg, állandó nyomás	lucfenyő
	12	Nitrogéngáz közeg, változó nyomás	lucfenyő
Cég 2	21	Intenzív gőzölés	lucfenyő, bükk, kőris
	22	Kíméletes gőzölés	lucfenyő, bükk, kőris

2. táblázat Az 1. cég kezeléseinek leírása, folyamatparaméterek

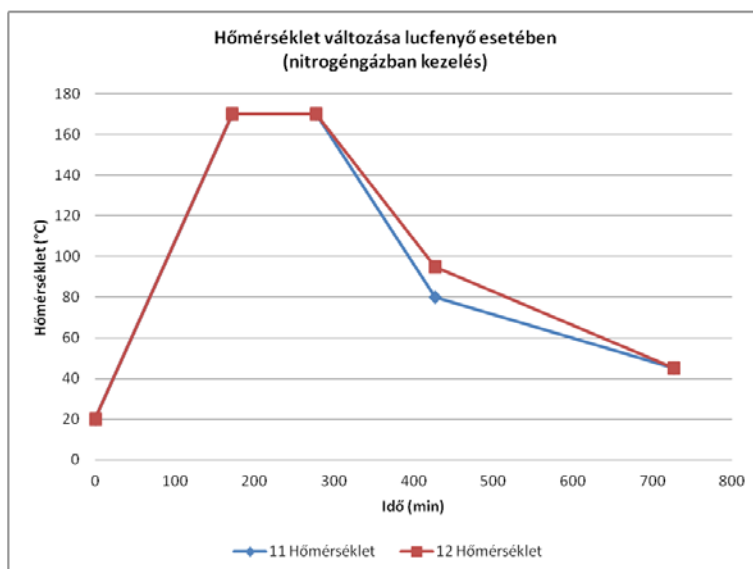
	1. cég - 1. eljárás (11-es jelölés): nitrogéngázos közegben történő kezelés, állandó nyomáson	1. cég - 2. eljárás (12-es jelölés): nitrogéngázos közegben történő kezelés, változó nyomáson
1. Elővákuum:	0-ról – 0,6 bar nyomásra, 10 percig	0-ról – 0,6 bar nyomásra, 10 percig
2. Nitrogénfeltöltés:	0,6-ról 3,5 bar nyomásra, 2 percig	0,6-ról 3,5 bar nyomásra, 2 percig
3. Felfűtés:	170°C, 160 perc, 3,5-ről 8 bar nyomásra, lineárisan	170°C, 160 perc, 1-ről 3 bar nyomásra, nemlineárisan
4. Hőmérsékleten tartás:	105 perc, 8 bar állandó nyomáson	105 perc, 1-3 bar változó nyomáson
5. Hűtés:	150 perc alatt 80°C-ra	150 perc alatt 95°C-ra
6. Kondicionálás:	300 perc alatt 45°C-ra	300 perc alatt 45°C-ra

3. táblázat A 2. cég kezeléseinek leírása, folyamatparaméterek

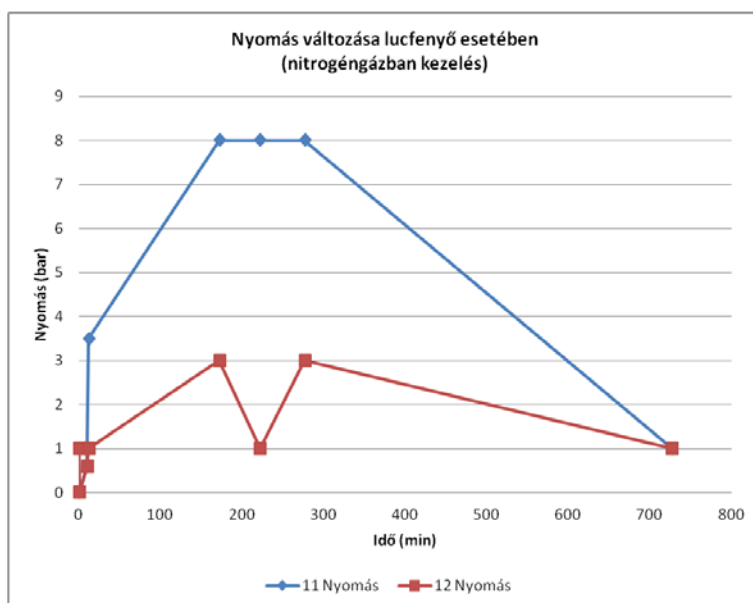
	2. cég - 1. eljárás (21-es jelölés): intenzív gőzölés	2. cég - 2. eljárás (22-es jelölés): kíméletes gőzölés
1. Elővákuum:	150 mbar nyomáson, 30 percig	150 mbar nyomáson, 30 percig
2. Gőzölés:	1 bar nyomáson, 100°C-ra, 2 óra 10 percig	1 bar nyomáson, 100°C-ra, 2 óra 10 percig
3. Felfűtés:	170°C-ra 7 óra alatt	155°C-ra 9 óra alatt
4. Hőmérsékleten tartás:	7 bar nyomáson 1 órán keresztül	5 bar nyomáson 4 órán keresztül
5. Hűtés/Kondicionálás:	11 óra (20°C feltehetőleg)	13 óra (20°C feltehetőleg)

A vizsgálatok elvégzéséhez két cégtől kaptunk termikusan kezelt faanyagot. A modifikálást végző cégek által küldött információkat az előző oldalon látható táblázatok tartalmazzák a kezelési eljárásokról. Ezen paraméterek alapján következtetéseket vonhatunk le a faanyag fizikai és mechanikai tulajdonságainak változását illetően.

Cég 1



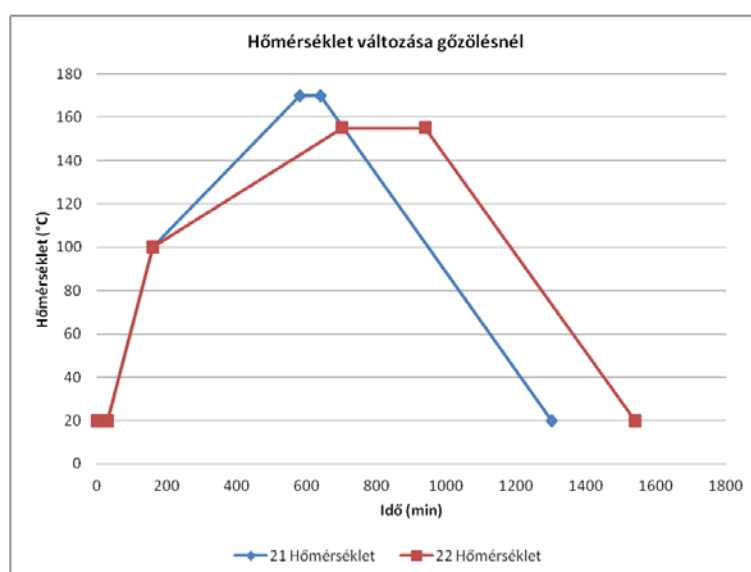
5. ábra Hőmérséklet változása az idő függvényében, nitrogéngáz közegben folytatott termikus kezelés esetén. A 11-es az állandó nyomásút, a 12 a változó nyomásút jelenti.



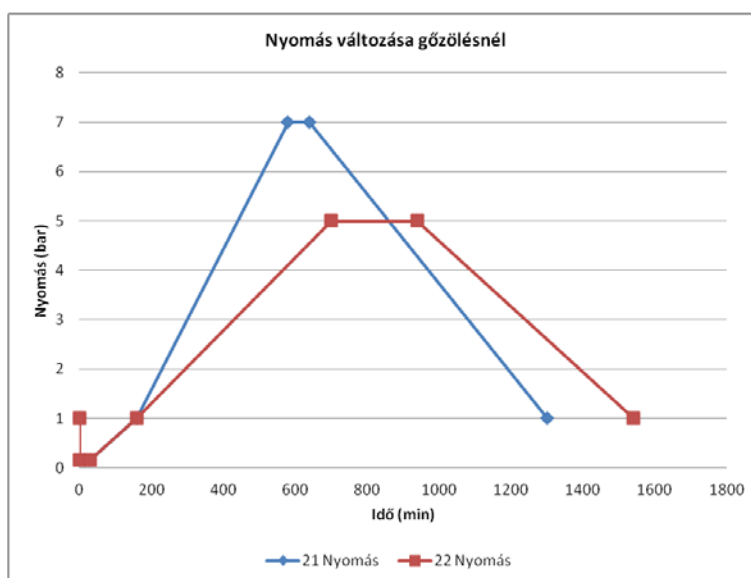
6. ábra Nyomás változása az idő függvényében, nitrogéngáz közegben folytatott termikus kezelés esetén. A 11-es az állandó nyomásút, a 12 a változó nyomásút jelenti.

Az állandó nyomású eljárásnál meredekebb hőmérsékletcsökkenés történik, amely repedést, belső feszültséget okozhat. A változó nyomású eljárás valószínűleg nyitott rendszerű technológia, ami lehetőséget ad a bomlás termékek eltávozására (pl. ecetsav), ami a faanyag végső tulajdonságait befolyásolja, várhatóan kisebb fokú sejtfali degradáció miatt.

Cég 2



7. ábra Hőmérséklet változása az idő függvényében, intenzív (21) és kíméletes (22) gőzölés esetén.



8. ábra Nyomás változása az idő függvényében, intenzív (21) és kíméletes (22) gőzölés esetén.

Az intenzív gőzölésnél csúcsosabb a hőmérséklet-idő diagram, ami kevésbé ajánlott a faanyag óvatos kezelése esetében, mert könnyebben alakulhatnak ki repedések a hirtelen hőmérsékletváltozás hatására. A nyomás diagramon szintén a laposabb képű eljárás, a kíméletes gőzölés az, ami valószínűleg jobb szilárdságot fog eredményezni. Annak ellenére, hogy a hőmérséklet a 160 perc körül átlépi a 100°C-ot (víz forráspontja), nem nő a kamra nyomása. Tehát nyitott szelepekkel működött a kamra felfűtése, ami a kamrából kimosta a levegőt, vele együtt az oxigén jelentős részét.

Mind a négy eljárásról elmondható, hogy a korábbi kutatások alapján repedésekre, alacsonyabb hajlítószilárdságra és rugalmassági moduluszra, rideg anyagra, illetve kisebb egyensúlyi nedvességtartalomra és sűrűségre lehet számítani.

2.2. Vizsgált fafajok

A cégek által kezelt fafajokat mutatnánk be a következőkben [21]. Szerencsés, hogy a vizsgálatot háromféle (fenyő, szórtlikacsú, gyűrűslikacsú lombos) fafajon is el tudjuk végezni.

2.2.1. Lucfenyő (*Picea abies* Karst.)

Makroszkópikus jellemzők

A geszt és a szíjács színben nem különül el. Fehéres, szalmás-sárga színű. Őshonos termőhelyein egyenletes, keskeny évgyűrű szerkezet jellemzi, ami a rendelkezésre álló rövid növekedési időszak következménye. Az évgyűrűn belül a korai és a késői pászták színben élesen elkülönülnek, de a késői pászta sötétebb színe a sugármetszeten enyhe csíkozottságot, húrmetszeten pedig szép rajzolatot eredményez. A keskeny bélsugarak szabad szemmel nem láthatók. A gyantajáratok gyakoriak.



9. ábra Lucfenyő anyaga

Fahibák, tartósság

A lucfenyő szerkezeti célú felhasználását és megmunkálását legjelentősebben a göcsösség befolyásolja. A fatestben igen gyakoriak a „gyanta-táskák”.

A „vaseresség” (nyomottfa) a lucfenyőnél is előfordul külponos növekedés esetén. Az idős élőfák igen gyakran tőkorhadtak. Egyes termőhelyen gyakori fahiba a „csavart növény”.

4. táblázat A lucfenyő tartóssága a kitérttség függvényében (év)

szabadban védelem nélkül:	10-15-30
szabadban védőkezeléssel:	20-30-50
tető alatt:	50-60-75
víz alatt:	30-60-100
állandó szárazállapotban:	120-900

A kitermelt lucfenyő faanyaga csekély ellenállást mutat a rovar- és gombakárosítókkal szemben. Vörös revesedés nagyon gyakori a több hónapon át tárolt fában. Valamivel kevésbé hajlamos a kékülésre, mint az erdei fenyő, de gyakran támadják a barna korhasztó gombák. A kevésbé tartós fafajok közé tartozik. Az E-350-2 szabvány a 4. rezisztencia osztályba sorolja. A külső térben és az épületszerkezetekben felhasznált lucfenyő védőkezelést igényel.

Fizikai és mechanikai tulajdonságok

Könnyű, puha fa. Sűrűsége jelentősen függ a termőhelytől. A nagy zsugorodási anizotrópia miatt könnyen vetemedik. Intenzív szárításkor „teknősödik”. A lucfenyő az igen szerény sűrűségi értékéhez (súlyához) viszonyítva viszonylag jó szilárdsági és kiváló rugalmassági jellemzőkkel rendelkezik.

5. táblázat Lucfenyő sűrűsége, pórustérfogata, és zsugorodási jellemzői

Sűrűségi értékei, kg/m³:	
abszolút száraz állapotban:	300-430-640
légszárazon:	330-470-680
élőnedvesen:	740
Pórustérfogat, %:	71
Zsugorodási jellemzők, %:	
sugár:	3,6
húr:	7,8
rost:	0,3
térfogati:	12,0

6. táblázat Lucfenyő mechanikai tulajdonságai rostokkal párhuzamos irányban, légszáraz állapotban ($u=12\%$), MPa

	Nyomószilárdság	Hajlító rugalmassági modulusz
Lucfenyő	35 - 50 - 79	7300 - 11000 - 21400

Megmunkálási sajátosságok

Jól, gyorsan szárítható, de ügyelni kell a szakszerű rakat kialakításra, mert vetemedésre hajlamos. Rendkívül nehezen telíthető (az udvaros gödörkék a sejtek falában száradáskor elzáródnak). E probléma nehezíti a külsőterti alkalmazását. A mechanikai megmunkálás (forgácsolás, aprítás, hasítás) szempontjából a legelőnyösebb fafajnak tekinthető (kivételt képez a csavarodott anyag). Jól ragasztható, csavarozható. Kiválóan ragasztható valamennyi ragasztó anyaggal.

Felhasználási területek

A nagy tömegben rendelkezésre álló, és viszonylag homogén minőségű, jól megmunkálható, könnyű, szilárd lucfenyő a következő formákban és területeken kerül felhasználásra:

- hengeres formában: kertépítészet, mély- és magas építés, vezetékoszlopok, stb.
- fűrészelt kivitelben: ládák, rakodólapok, gerendák, építőipari szerkezeti elemek, zsaludeszkák, bútortalap középrészek, stb.

- gyalult kivitelben: ablak-, ajtóelemek, bútorelemek, gyalult profil lécek, lambériák, külső- és belső épületelemek, létrák-, lépcsők részei, „bio-bútorelapok” stb.
- egyéb formában: apríték formájában a forgács- és farostlemezek gyártáshoz, cellulóz, fagyapot céljára (a lucfenyők a legértékesebb papírfák). A lucfenyő pótolhatatlan értékű a húros hangszerek gyártásában (hegedű, gitár zongora).

2.2.2. Bükk (*Fagus sylvatica* L.)

A fatest makroszkópos jellemzői

A bükk fája világos halványsárgás vagy vöröses tónusú, világosszürke (vöröses-fehér). Az egészséges geszt és a szijács nem különülnek el egymástól, de idősebb korban gyakori a vörösbarna álgeszt. A fatest szórt likacsú, tehát a korai és késői pászta edényeinek átmérőit között nem nagyok a különbségek. A sötétebb késői pászta miatt azonban az évgűrűk határozottan elkülönülnek. Az évgűrűk a húrmetszeten szép, könnyedén rajzos felületet eredményeznek. A bükk nagyméretű bélsugarai az évgűrűhatárokon megvastagodnak. A húrmetszeten feltűnő vörösbarna "orsók", a sugármetszeten több mm magas "tükrök" formájában láthatók.



10. ábra Bükk anyaga

Fahibák, tartósság

7. táblázat Bükk tartóssága különböző kitettségeknél (év)

Talajjal érintkezve	Szabadban	Tető alatt	Víz alatt	Állandóan szárazon
2-5	10-35-40	20-40-80	30-70-120	200-700

A bükk fahibái közül első helyen az álgesztetést kell említeni, mely az idősebb törzseknél rendkívül gyakori. Az egészséges (gombafertőzés nélküli) barna álgesztet bükköt a gyakorlatban "vörösbükk"-nek is nevezik. Az álgeszt határa nem követi az évgűrű vonalát, tehát szabálytalan.

A bükk egészséges álgesztjeinek kialakulása fiziológiai okokra (pl. öregedés, vízellátási zavarok), vagy mechanikai sérülésekre vezethető vissza. Az ilyen fa keményebb és tartósabb, de jobban reped, nem telíthető és nehezebben munkálható meg. Az álgesztetetés a színbeli eltérések miatt igen jelentős esztétikai hiba is. A fűrészüzemekben fontos a szelvényárú 24 órán belüli szakszerű hézaglécezése. Tehát a bükk nyári feldolgozása, tárolása különösen körütekintő intézkedéseket igényel a fülledés megelőzése céljából.

Az erősen fülledt ("márványos") faanyag sűrűsége kb. 10 %-kal kisebb, hasonlóan mérsékeltebbek a szilárdsági jellemzői is (különösen az ütés-hajlító szilárdsága). A szórtlikacsú, színes gesztnélküli kémiaileg inaktív bükk nem tartozik a természetesen tartós fafajok közé. Figyelemmel kell lenni az alacsony gombaállóságra, és az erős vetemedési hajlamára is, az álgeszt nélküli bükk kültéri beépítésre felhasználása csak teljes telítés esetén javasolható (pl. vasúti talpfák).

Fizikai és mechanikai tulajdonságok

8. táblázat Bükk sűrűségi értékei, pórustérfogata, és zsugorodási jellemzői

Sűrűségi értékei, kg/m³:	
abszolút száraz állapotban:	490 - 680 - 880
légszárazon:	540 - 720 - 910
élőnedvesen:	820 - 1070 - 1270
Pórustérfogat, %:	55
Zsugorodási jellemzők, %:	
sugár:	5,8
húr:	11,8
rost:	0,3
térfogati:	14,0 - 17,9 - 21,0

A bükk fája sűrű, erősen zsugorodásra, vetemedésre hajlamos. A frissen döntött bükk 400-500 kg/m³ vizet tartalmaz. A geszt és a szijács nedvessége között a különbség nem jelentős. A rosttelítettségi pontja 32-35%. A zsugorodási anizotrópia 2,04 (húr/sugár), tehát a fafaj igen hajlamos a vetemedésre. A széles bélsugarak mentén pedig a repedésre.

9. táblázat Bükk mechanikai tulajdonságai rostokkal párhuzamosan (MPa)

	Nyomószilárdság	Hajlítószilárdság	Stat. hajlító rugalmassági modulusz
Bükk	41 - 62 - 99	74 - 123 - 210	10000 - 16000 – 18000

Megmunkálási sajátosságok

A bükk még a keménysége és gyakori álgesztése ellenére is nehézségek nélkül dolgozható fel a különböző mechanikai megmunkálási technológiákkal. Jól fűrészelve, marható és esztergályozható. A fűrészáru szárításakor figyelembe kell venni a bükk erős zsugorodását (beszáradási túlméreteket, vetemedés) és széles bélsugarait (repedési hajlam). A bükk furnér és tömörfa a faiparban alkalmazott ragasztóanyagokkal jól ragasztható. A bükk jól pácolható, lakkozható.

A mai ízléshez azonban igen közel áll a bükk természetes színe és egyszerű, szerény rajzolata. A bükk jól szegezhető, csavarozható, de a repedések megelőzésére célszerű előfűrást alkalmazni.

Felhasználási területek

Elsősorban a rétegeltlemez-gyártásról kell szólni, hiszen bükkből rendkívül szilárd, értékes rétegeltlemezek, rétegelt tömbök és különleges rétegelt lemezek (pl. székülés, széktámla) készíthetők (járműipar, építészet, bútoripar). A bükk ma a bútoripar egyik legkeresettebb fafaja: furnér, rétegelt lemez, tömörfa alkatrészek pl. korpuszbútorok, székgyártás.

Az építőiparban a bükköt csak a belső térben célszerű felhasználni (tartóssági okokból) pl. lépcsők, padlóburkolatok (parketták), lambériák, fafaltok. A bükk felhasználásban ma is jelentős volument képeznek a fűrészelt, telített talpfák.

A bükk a legegészségesebb háztartási fatömegcikk (edények, kanalak, kefetestek). Szívósságát, rugalmasságát jól fel lehet használni a sportszerek (pl. bordásfal) és a szerszámnyelvek gyártásában.

Hagyományos fafaja a dongagyártásnak (pl. élelmiszerhordók), a bognáripari termékeknek, a kaptafának, a fajátékoknak és az esztergályozott ajándéktárgyaknak. Használják még farostlemezgyártás, forgácslemez-gyártás során is, mert jól feltárható, előnyösen alkalmazható. Értékes keverék fafaj a papírgyártásban, textiliparban, cellulózgyártásban, fagyapotgyártásban. Kiválóan alkalmas faszén gyártásra (energetikai hasznosítás).

2.2.3. Kőris (*Fraxinus excelsior* L.)

A fatest makroszkópos jellemzői

A szíjács és a geszt kb. 60 éves korig azonos színű sárgásfehér, később a geszt világos barna, csíkos, sötétebb színű. Gyűrűs likacsú fafaj. A korai pászta edényei nagyok és párhuzamos gyűrűkbe rendezettek. A késői pászta edényei kisebbek, de apró világos pontok szabad szemmel is láthatók. A bélsugár tükrök a sugár metszeten felismerhetők. A két évgyűrű pászta markáns elkülönülése miatt a sugár metszet csíkos, a húr metszet rajzos.



11. ábra Kőris anyaga

Fahibák, tartósság

Gyakori a görbeség, a villás növekedés, a csavart rostúság. Előfordul fagyrepedés és álgesztesedés. Az élőfának a faanyag minősége szempontjából az egyik legjelentősebb károsítója a gímszarvas (kéreghántás, rágás). A beépített kőrist kedvelik a gombák, rovarok.

Mivel a különböző időjárási hatásoknak kevésbé ellenálló, így elsősorban száraz, belső téri felhasználásra javasolható.

Fizikai és mechanikai tulajdonságok

10. táblázat Kőris sűrűségi értékei, pórustérfogata, és zsugorodási jellemzői

Sűrűségi értékei, kg/m³:	
abszolút száraz állapotban:	410...650...820
légszárazon:	450...690...860
élőnedvesen:	600...800...1140
Pórustérfogat, %:	57
Zsugorodási jellemzők, %:	
sugár:	4,6 - 5,0
húr:	8,0 - 8,4
rost:	0,2
térfogati:	12,8 - 13,6

11. táblázat Kőris nyomószilárdsági, hajlítószilárdsági és statikus hajlító rugalmassági modulusz értékei rostokkal párhuzamosan illetve rugalmassági modulusz értéke rostokra merőlegesen (MPa)

	Rosttal párhuzamos irányban			Rostra merőlegesen
	Nyomószilárdság	Hajlítószilárdság	Statikus hajlító rugalmassági modulusz	
Kőris	23...52...80	58...105...210	4400...13400...18100	1100

Megmunkálási sajátosságok

Különösen a keskeny évgűrűvel rendelkező törzsek alkalmasak furnérgyártási célra. Mechanikai megmunkálása általában problémamentes. A tölgnél könnyebben szárítható, de szintén megfelelő körütekintést igényel. A sötétebb elszíneződés jól megelőzhető a fűrészáru vákuumos berendezésben való szárításával. Felületkezelésekor különös figyelem fordítandó a tisztaságra, az elszíneződések elkerülésére. Elsősorban az esztétikailag előnyös nyitott pórusú felületkezelést alkalmazzák.

Felhasználási területek

A dekoratív rajzolatú kőris sokrétűen felhasználható a bútoriparban (furnérozott frontok, székek, stb.), a belsőépítészetben (lépcsők, korlátok, parketták, stb.). A vastag évgűrűvel rendelkező fa jól alkalmas sportszerek, szerszámnyelek készítéséhez. De csónakok, hajóelemek, dísz tárgyak is készíthetők belőle. Korábban fontos fafaja volt a bognár iparnak. Forgácslapok, farostlemezek alapanyaga. Kiváló tűzifa.

2.3. Alkalmazott szabványok, képletek

2.3.1. Alkalmazott szabványok

MSZ 6786-2:1988	Faanyagvizsgálatok. Nedvességtartalom meghatározása
MSZ 6786-3:1988	Faanyagvizsgálatok. Sűrűség meghatározása
MSZ 6786-5:1976	Faanyagok statikus hajlítószilárdságának meghatározása
MSZ 6786-15:1984	Faanyagvizsgálatok. Rugalmassági együttható meghatározása statikus hajlítással

2.3.2. Alkalmazott képletek

Az alábbi képletek segítségével határoztuk meg a termikusan kezelt faanyag fizikai illetve mechanikai tulajdonságait. [22, 23]

Bruttó nedvességtartalom (q)
$$q = \frac{m_n - m_o}{m_n} \cdot 100 [\%]$$
 (1)

ahol m_n = a nedves faanyag tömege [g]

m_o = a vízmentes száraz faanyag tömege [g]

Nettó nedvességtartalom (u)
$$u = \frac{m_n - m_o}{m_o} \cdot 100 [\%]$$
 (2)

Nedves sűrűség (ρ_n)
$$\rho_n = \frac{m_n}{V_n} \left[\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right]$$
 (3)

ahol V_n = a vizsgált nedves faanyag térfogata [cm^3]

Hajlítószilárdság (σ_n)
$$\sigma_n = \frac{3}{2} \cdot \frac{F_{\max} \cdot l}{a \cdot b^2} [\text{MPa}]$$
 (4)

ahol a, b = a próbatest keresztmetszeti méretei [mm]

l = az alátámasztási távolság [mm]

$F_{\max}$ = maximális hajlítószilárdság [MPa]

12%-os nettó nedvességtartalomhoz tartozó hajlítószilárdság (σ_{12})

$$\sigma_{12} = \sigma_n \cdot [1 + \alpha \cdot (u - 12)] [\text{MPa}]$$
 (5)

ahol α = nedvességi tényező, hajlítószilárdság esetén az értéke 0,04.

Hajlító rugalmassági modulusz (Young-féle modulusz) (E_n)

$$E_n = \frac{\Delta F}{\Delta y} \cdot \frac{l^3}{4ab^3} [\text{MPa}]$$
 (6)

ahol Δy = a ΔF terhelő erő által okozott behajlás [mm]

ΔF = terhelő erő 600N - 100N = 500N.

12%-os nettó nedvességtartalomhoz tartozó hajlító rugalmassági modulusz (E_{12})

$$E_{12} = E_n \cdot [1 + \alpha \cdot (u - 12)] [\text{MPa}]$$
 (7)

ahol α = nedvességi tényező, hajlító rugalmassági modulusz esetén az értéke 0,02.

3. A vizsgálat leírása

3.1.A beérkezett faanyag feltérképezése

A faanyagokat ipari körülmények között kezelték Svájcban. Első lépésként felmértük a megkapott szelvényárukat:

12. táblázat A kapott faanyag paraméterei, térfogata, fafaja, és a termikus módosítás típusa

Pallók méretei			Térfogat [cm ³]	Fafaj	Kód /ipari/	Kódolás kezelések csoportjai szerint
Vastagság [mm]	Szélesség [mm]	Hossz [mm]				
30	275	1000	8250	lucfenyő	05	11
30	340	1000	10200	lucfenyő	17	11
30	200	1000	6000	lucfenyő	66	12
30	270	1000	8100	lucfenyő	29	12
30	245	1000	7350	lucfenyő	27	12
40	315	1225	15435	bükk	70	21
28	68	600	1142	kőris	90	21
29	70	599	1216	kőris	65	21
30	335	1000	10050	lucfenyő	45	21
30	195	1000	5850	lucfenyő	14	21
38	126	1260	6033	bükk	86	22
32	68	606	1319	kőris	246	22
31	68	584	1231	kőris	228	22
30	95	1000	2850	lucfenyő	30	22
30	70	1000	2100	lucfenyő	44	22

3.2.Próbatestek gyártása

A rendelkezésre álló faanyagmennyiség alapján megterveztük az elvégzendő (ill. elvégezhető) vizsgálatokat, törekedve a maximális próbatestszámra, illetve arra, hogy egy próbatesten többféle vizsgálat is végrehajtható legyen.

Először hajlítószilárdsági próbatesteket készítettünk, ezeknek a méretei 20×20×300 mm. A maradék anyagból pedig nyomószilárdsági próbatesteket gyártottunk, ezeknek a méretei 20×20×30 mm. Utána a szabvány előírásainak megfelelő, tiszta, hibamentes próbatesteket válogattunk ki a vizsgálatokhoz. A kapott faanyag térfogata kb. 0,091 m³. Az összes legyártott, és használható hajlítószilárdsági próbatest és nyomószilárdsági próbatest

térfogatának kiszámításával meghatároztuk, hogy a térfogati kihozatalunk 42,93% volt, amit a sok repedés (főleg bélrepedés) okozott.

13. táblázat A legyártott hajlító és nyomószilárdsági próbatestek listája

Fafaj	Kód	Eljárás	Hajlítószilárdság					Hulladékból
			Legyártott próbatetek		Használható		Hulladék	nyom. szil. próbatetest
lucfenyő	05	11	29 db	68	25 db	60 db	4 db	33 db
lucfenyő	17	11	39 db	db	35 db		4 db	32 db
lucfenyő	66	12	23 db	79 db	23 db	76 db	0 db	0 db
lucfenyő	29	12	30 db		28 db		2 db	14 db
lucfenyő	27	12	26 db		25 db		1 db	8 db
bükk	70	21	48 db	120 db	41 db	100 db	7 db	46 db
kőris	90	21	6 db		5 db		1 db	7 db
kőris	65	21	6 db		5 db		1 db	8 db
lucfenyő	45	21	37 db		29 db		8 db	58 db
lucfenyő	14	21	23 db		20 db		3 db	19 db
bükk	86	22	23 db	56 db	22 db	46 db	1 db	9 db
kőris	246	22	6 db		5 db		1 db	8 db
kőris	228	22	6 db		5 db		1 db	7 db
lucfenyő	30	22	12 db		7 db		5 db	33 db
lucfenyő	44	22	9 db		7 db		2 db	14 db
Összesen:			323 db		282 db		41 db	296 db

3.3.Klimatizálás

A hajlítószilárdsági próbatestek behelyezése a klímaszekrénybe (normál klíma 20°C, 65% relatív páratartalom).

3.4.Tömegmérés

Hajlítószilárdsági próbatestek tömegének lemérése labormérlegen (+/- 0,001g), méreteinek felvétele tolómérővel (+/- 0,01 mm) majd a sűrűség, és a nedvességtartalom meghatározása.

3.5.Hajlítószilárdság mérése (MSZ 6786-5:1976 szabvány szerint)

3.6.További vizsgálatok

A legnagyobb kihozatal érdekében a törött hajlítószilárdsági próbatestek végeiből még vágunk próbatesteket a nyomószilárdság, illetve zsugorodás-dagadás megméréséhez. Ezekre a mérésekre a következő hónapokban kerül sor.

4. Eredmények értékelése

Az egyes próbatestekre vonatkozó mérési és számítási eredményeket a **mellékletek** tartalmazzák. A sűrűségi és szilárdsági vizsgálatokat 20°C és 65%-os relatív páratartalom mellett beállt egyensúlyi nedvességtartalmú faanyagokon végeztük el. A szakirodalmi értékek 12%-os nettó nedvességtartalomra vonatkozóan lelhetők fel, ami megfelel az általunk használt klímakamra paramétereknek (20°C/65%). A szabványos vizsgálatokat az említett klímaállapot mellett kell elvégezni. A módosított faanyagoknál az egyensúlyi nedvességtartalom a natúr anyagoknál érvényes 12%-nál alacsonyabb. Összehasonlító elemzéseinknél így különböző nedvességtartalmú, de azonos klímaállapot mellett egyensúlyban lévő faanyagokkal dolgoztunk. Tájékoztató jelleggel megadjuk (számoltuk) a 12%-os nedvességtartalomnál érvényes fizikai paramétereket is.

4.1. Lucfenyő

14. táblázat Termikusan módosított lucfenyő mechanikai tulajdonságainak összehasonlítása a kezeletlen lucfenyőével

Kat.	u	q	ρ_n	σ_n	σ_{12}	E_n	E_{12}
	%	%	kg/m ³	MPa	MPa	MPa	MPa
11 Állandó nyomású, nitrogéngázban kezelés	6,68%	6,26%	515,07	53,34	27,88	7653,29	5826,72
12 Változó nyomású, nitrogéngázban kezelés	6,86%	6,42%	519,47	79,03	41,31	8336,51	6347,21
21 Intenzív gőzölés	7,19%	6,70%	527,60	63,33	33,11	8082,74	6154,44
22 Kíméletes gőzölés	7,74%	7,18%	536,15	78,41	41,01	5594,35	4260,34
Szakirodalom	~ 12 %		330-470- 680	49-78-136		7300 - 11000 - 21400	

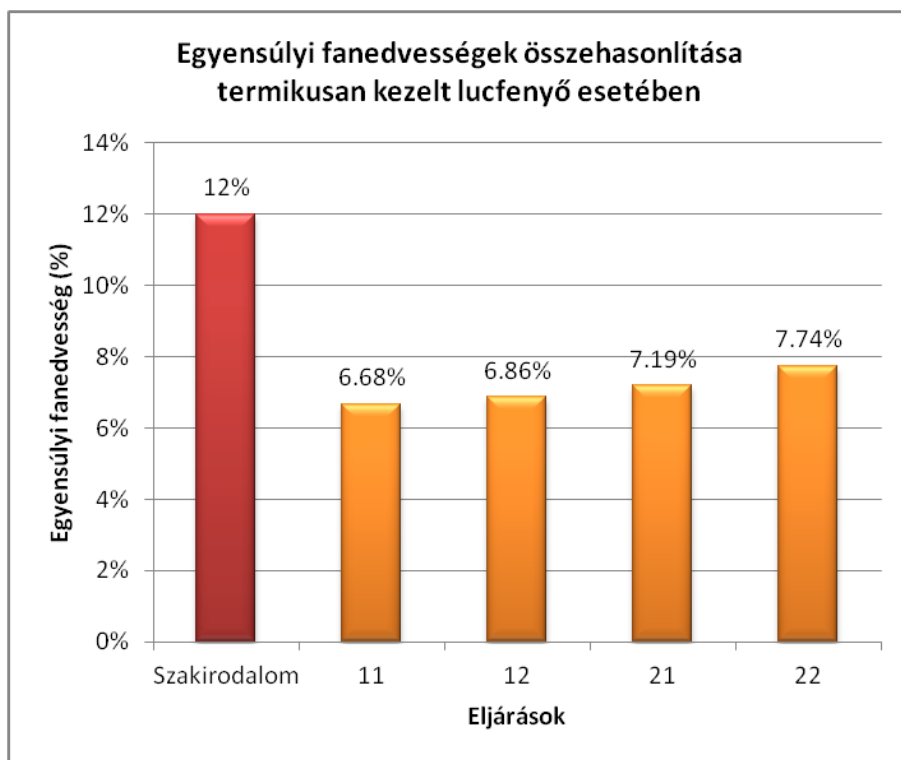
15. táblázat Termikusan módosított lucfenyő mechanikai tulajdonságainak százalékos eltérése a természetes lucfenyőtől

Kat.	ρ_n	$\Delta\rho_n$ %- os eltérés	σ_n	$\Delta\sigma_n$ %- os eltérés	E_n	ΔE_n %- os eltérés
	kg/m ³	%	MPa	%	MPa	%
11 Állandó nyomású, nitrogéngázban kezelés	515,07	9,59%	53,34	-31,61%	7653,29	-30,42%
12 Változó nyomású, nitrogéngázban kezelés	519,47	10,56%	79,03	1,32%	8336,51	-24,21%
21 Intenzív gőzölés	527,60	12,26%	63,33	-18,80%	8082,74	-26,52%
22 Kíméletes gőzölés	536,15	14,07%	78,41	0,52%	5594,35	-49,14%
Szakirodalmi középérték	470		78		11000	

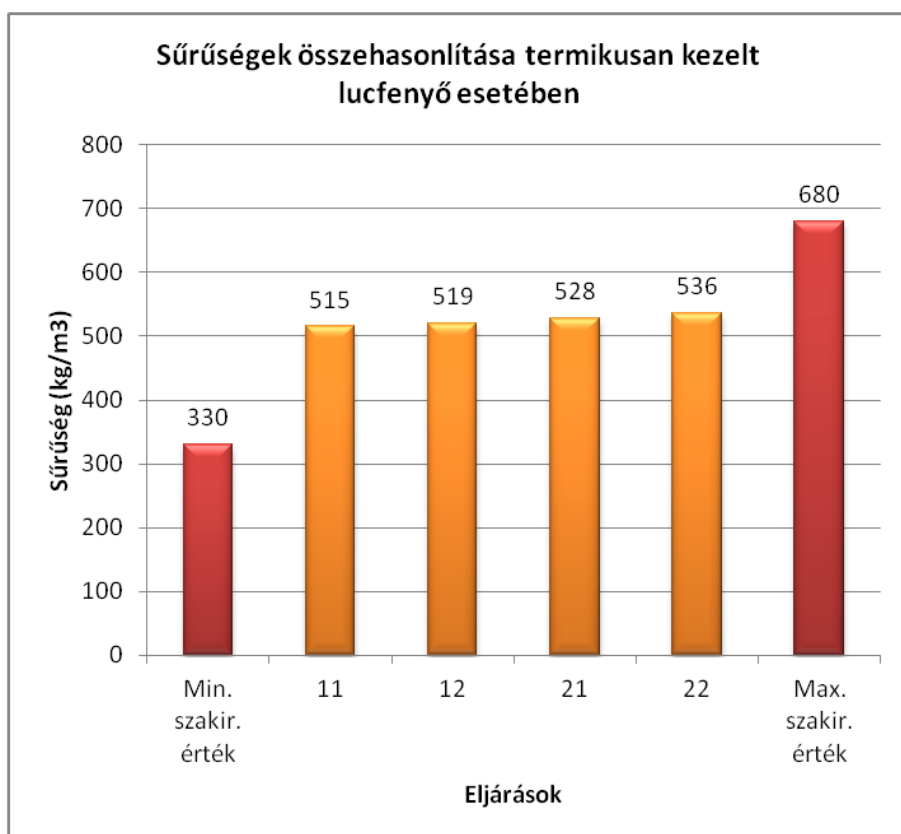
Az egyensúlyi nedvességtartalom – ahogy a korábbi kutatások is bizonyítják – nagy mértékben csökken a termikus módosítás hatására (**12. ábra**). A folyamat tömegvesztéssel jár, csökken a higroszkóposság, és a fa kevesebb nedvességet lesz képes felvenni. Az eljárások közül a nitrogéngázos közegben kezelt faanyagok produkáltak alacsonyabb egyensúlyi fanedvességi értéket.

A sűrűségi értékeket nézve megállapíthatjuk, hogy nem térnek el erőteljesen egymástól és a szakirodalmi értékek átlagát is meghaladják (**13. ábra**). A gőzöléses eljárások esetében kis mértékben nagyobb a faanyagok sűrűsége, ami a kiindulási sűrűségek eltérő voltára utal. A termikus módosítások során kettős változás megy végbe: tömörödik a faanyag, ugyanakkor tömegvesztés is fellép. Számottevően nem változik a sűrűség ennek következtében.

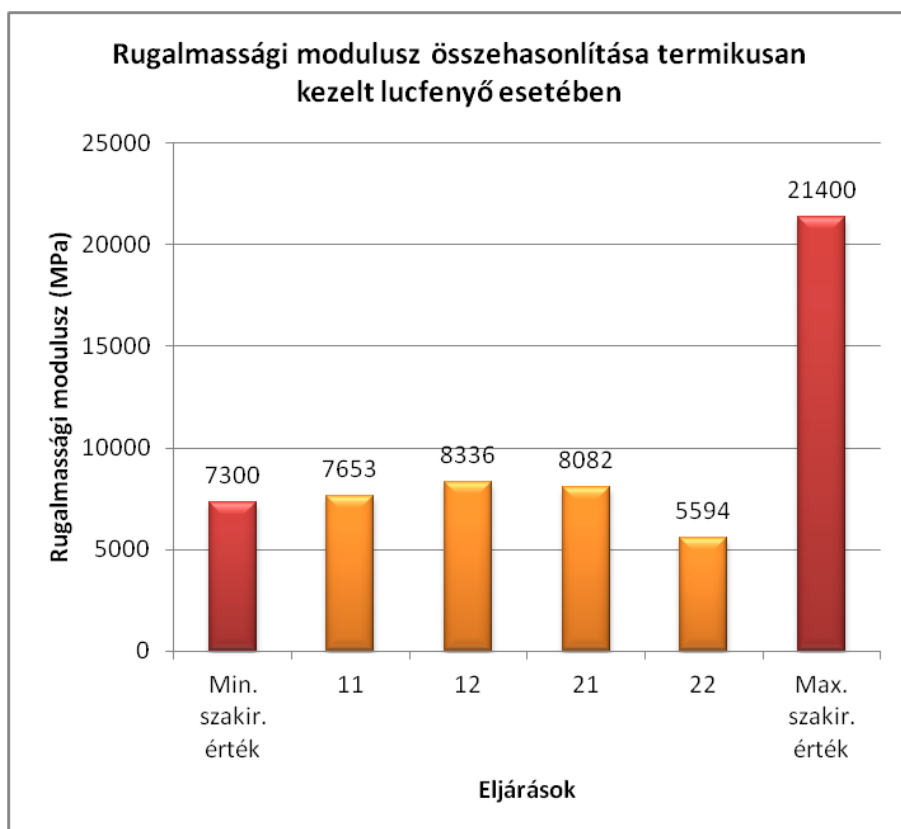
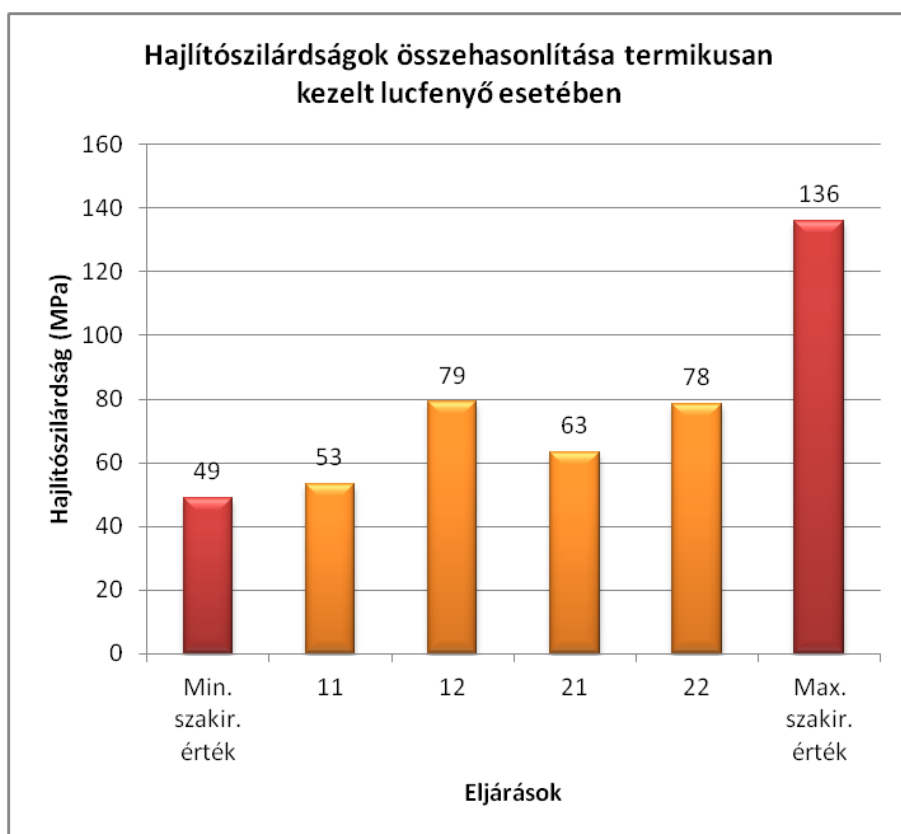
A **14. ábrán** a termikusan módosított lucfenyő hajlítoszilárdságát és hajlító rugalmassági modulusát mutatjuk be, összehasonlítva a szakirodalmi értékekkel. Ahogy számítottunk is rá, mindegyik kezelés hatására a szakirodalmi adatnál alacsonyabb rugalmassági modulusú anyagok keletkeztek. A kíméletes gőzölés nagyobb mértékben (az alsó szakirodalmi értékhez képest 30%-kal) csökkentette a rugalmassági moduluszt, rideggé tette a faanyagot. Ezt az alacsonyabb hőmérséklet, és a hosszabb kezelési idő okozhatta.



12. ábra A hőkezelési eljárások hatása a lucfenyő egyensúlyi nedvességtartalmára (normál klíma - 20°C, 65% relatív páratartalom)



13. ábra A hőkezelési eljárások hatása a lucfenyő sűrűségére (normál klíma - 20°C, 65% relatív páratartalom)

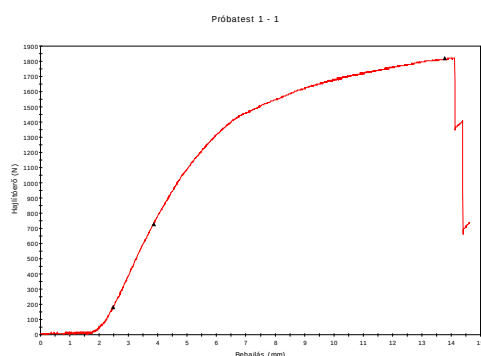


14. ábra A hőkezelési eljárások hatása a lucfenyő hajlítószilárdságára és a rugalmassági moduluszára (normál klíma - 20°C, 65% relatív páratartalom)

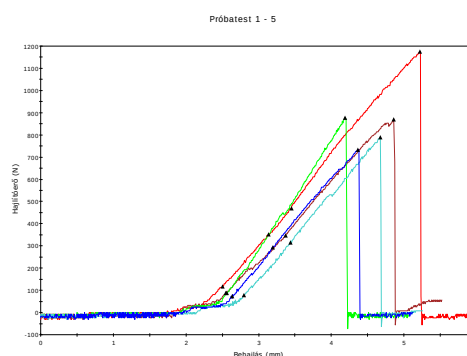
A hajlítószilárdsági értékek alapján a termikus kezelés megfelel a szakirodalmi értékeknek. Ha a különböző eljárásokat vesszük figyelembe, akkor kitűnik, hogy a változó nyomású, nitrogéngáz közegben történő termikus kezelés jobb hajlítószilárdsági értékeket produkál az állandó nyomásúval szemben. Erre számítottunk a mérések megkezdése előtt, hiszen a változó nyomású eljárásnál kíméletesebben történik a hűtés és kondicionálás, illetve alacsonyabb nyomáson történt a kezelés. A csökkent szilárdság az eljárás során keletkező savas derivátumok (bomlástermékek) rendszerből történő eltávolításával magyarázható, ugyanis a nyomásesés a rendszerben uralkodó túlnyomás (ill. gázok, gőzök) eltávolításával járt együtt.

A gőzölések közül a kíméletesebb eljárással kezelt faanyagok bizonyultak nagyobb szilárdságúnak, miközben az intenzív gőzölés repedéseket, sejtkollapszusokat okozhatott. Itt tehát a rugalmassági modulusnál leírtakkal ellentétes hatást tapasztaltunk.

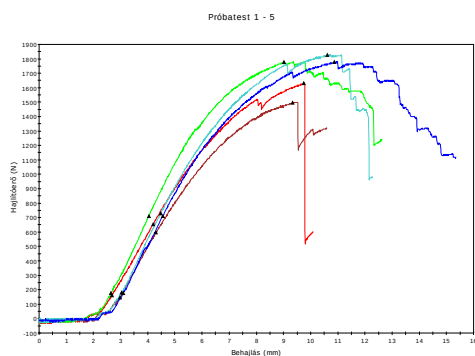
Törésképek összehasonlítása



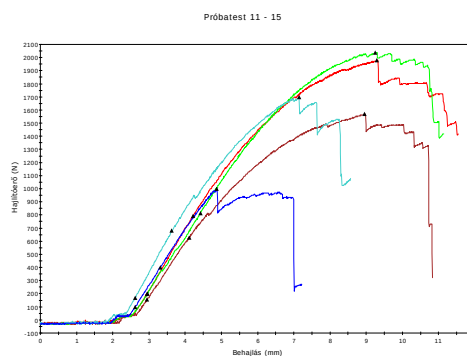
15. ábra Kezeletlen lucfenyő erő-elmozdulás diagramja (kontroll). Kb. 14 mm-es a max. lehajlás.



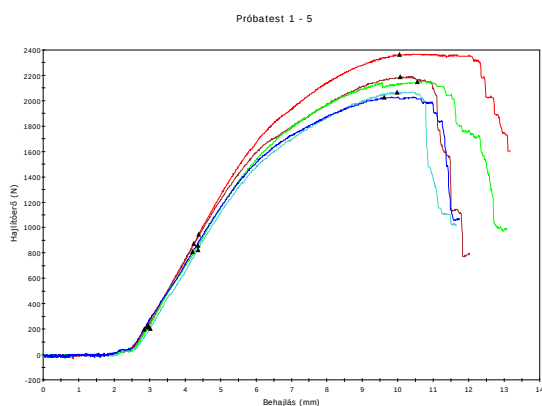
16. ábra Nitrogéngáz közegben, állandó nyomáson kezelt faanyag (11). Kb. 4,5 mm-es a max. lehajlás.



17. ábra Nitrogéngáz közegben, változó nyomáson kezelt faanyag (12). Kb. 12 mm max. lehajlás.



18. ábra Intenzíven gőzölt faanyag (21). Kb. 9 mm a max. lehajlás.



19. ábra Kíméletesen gőzölt faanyag (22). Kb. 12 mm a max. lehajlás.

A 16-19. ábrák jól mutatják, hogy rideggé váltak a termikusan módosított faanyagok. A nitrogéngázban, állandó nyomáson kezelt faanyag törésképe is jól mutatja a gyengébb hajlítoszilárdságot és rugalmasságot a változóhoz képest. Az intenzív gőzölés meglehetősen inhomogén anyagot, és nagy szórású szilárdsági értékeket produkált ellentétben a kíméletes gőzöléssel. Az utóbbi magas lehajlási értékei miatt bizonyult rugalmatlannak.

4.2.Bükk

16. táblázat Termikusan módosított bükk mechanikai tulajdonságainak összehasonlítása a természetes bükkével

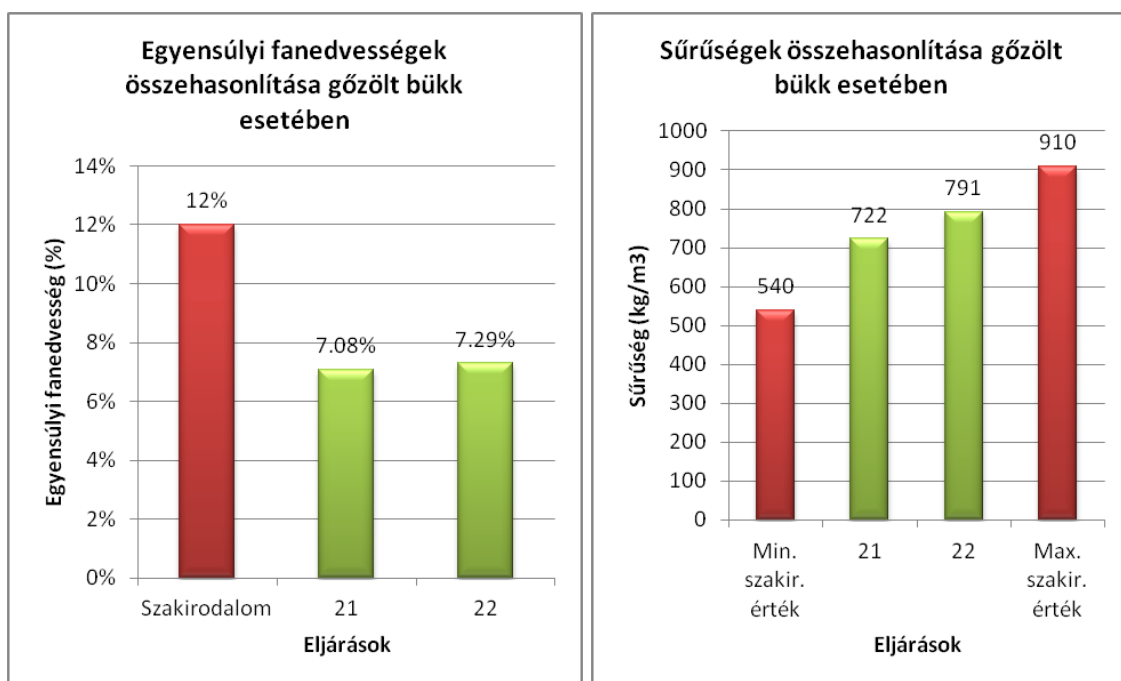
Kat.	u	q	ρ_n	σ_n	σ_{12}	E_n	E_{12}
	%	%	kg/m ³	MPa	MPa	MPa	MPa
21 intenzív gőzölés	7,08%	6,61%	722,21	72,37	37,84	9444,49	7191,18
22 kíméletes gőzölés	7,29%	6,79%	791,58	107,23	56,07	11080,77	8437,52
Szakirodalom	~ 12 %		540 - 720 - 910	74 - 123 - 210		10000 - 16000 - 18000	

17. táblázat Termikusan módosított bükk mechanikai tulajdonságainak százalékos eltérése a természetes büktől

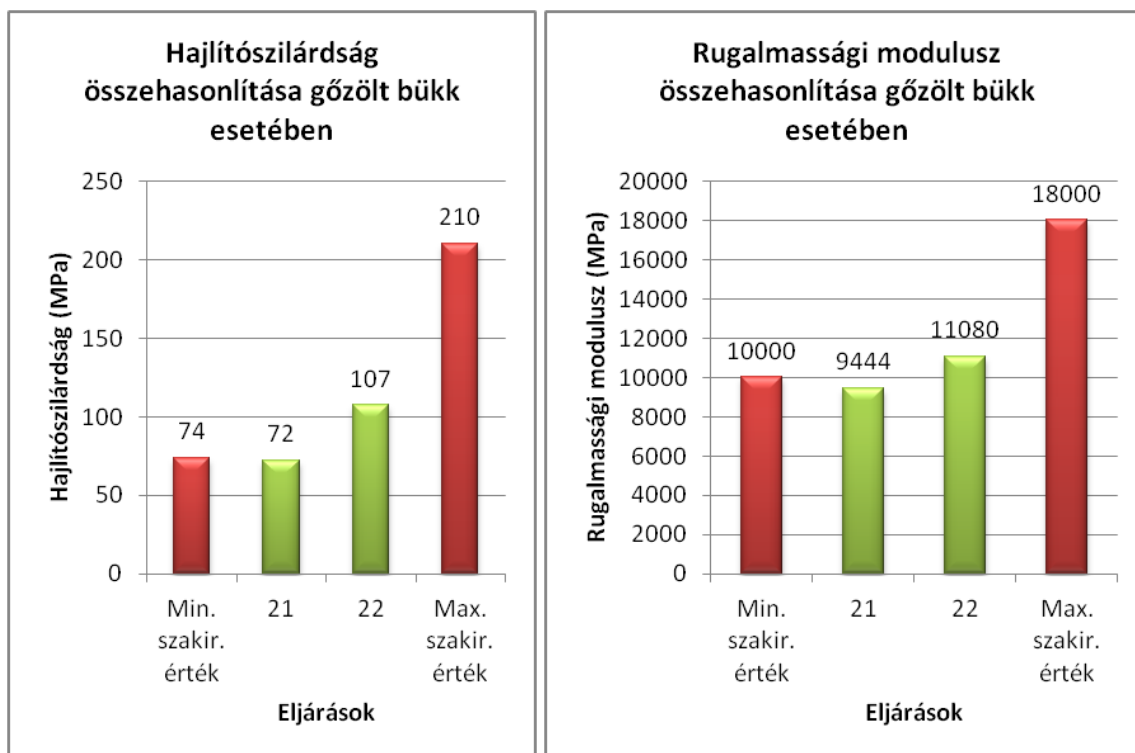
Kat.	ρ_n	$\Delta\rho_n$ %- os eltérés	σ_n	$\Delta\sigma_n$ %- os eltérés	En	ΔE_n %- os eltérés
	kg/m ³	%	MPa	%	MPa	%
21 intenzív gőzölés	722,21	0,31%	72,37	-41,16%	9444,49	-40,97%
22 kíméletes gőzölés	791,58	9,94%	107,23	-12,82%	11080,77	-30,75%
Szakirodalmi középérték	720		123		16000	

A bükk egyensúlyi fanedvessége gőzölés hatására hasonló mértékben változott, mint a lucfenyőé (20. ábra). Hasonlóan 7% körül mozog, és a kíméletes gőzölés következtében alakult ki magasabb egyensúlyi fanedvesség érték. Az intenzív gőzölés hatására valószínűleg a magas hőmérséklet és rövid kondicionálás miatt a fa nagy mértékben tömörödött, emiatt csak kevesebb nedvességet tudott felvenni.

A sűrűsége mindkét eljárás esetén megfelelt a szakirodalomnak, azonban itt is látszik, hogy az intenzíven gőzölt faanyag kisebb sűrűséggel bír. Ez feltehetőleg a sejtfal alkotóinak intenzív hőbomlása miatt következik be.



20. ábra A hőkezelési eljárások hatása a bükkfa egyensúlyi nedvességtartalmára és a sűrűségére (normál klíma - 20°C, 65% relatív páratartalom)

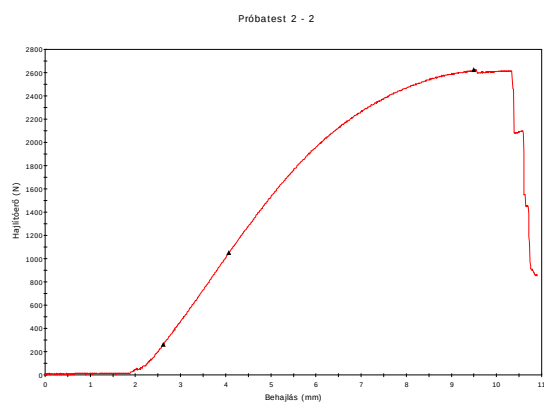


21. ábra A hőkezelési eljárások hatása a bükk faanyag hajlítószilárdságára és a rugalmassági moduluszára (normál klíma - 20°C, 65% relatív páratartalom)

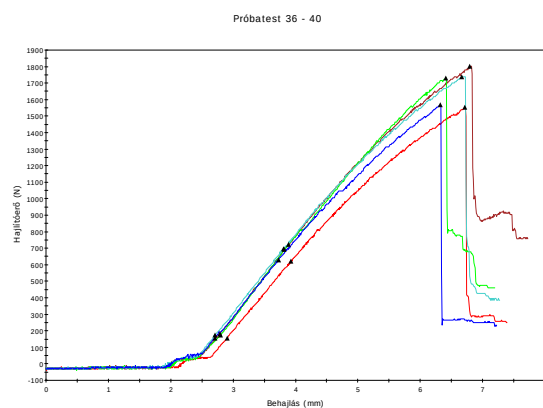
Ha a két gőzölési eljárást összehasonlítjuk, megállapítható, hogy ellentétben a lucfenyővel, a kíméletesebb gőzölés magasabb rugalmassági moduluszt, és hajlítószilárdságot eredményezett (**21. ábra**). Ez valószínűleg a hosszabb kezelési időnek és az alacsonyabb hőmérsékletnek köszönhető, hiszen kevésbé alakulhattak ki a faanyagban mikrorepedésekhez vezető belső feszültségek, nem úgy, mint az intenzív kezelésnél. Az intenzív gőzölési eljáráshoz tartozó szilárdsági és rugalmassági értékek nem is érik el a természetes bükk faanyagét a szakirodalom szerint. A gőzölt lucfenyő és bükk rugalmassági értékei közti különbséget az eltérő szöveti szerkezet, makromolekuláris összetétel okozhatja.

Törésképek összehasonlítása

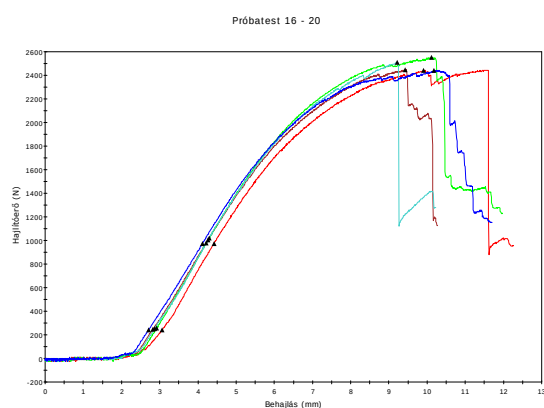
Az intenzív gőzölés (**23. ábra**) rideg törésképet mutat, ami a gyenge hajlítószilárdsági és rugalmassági értékeken is megfigyelhető. Ezt a tömörödés és hóbomlás okozhatta a magas hőmérséklet következtében. A kíméletes gőzölés (**24. ábra**) hasonló mértékű lehajlást produkál, mint a kontroll, de nagy szórással és korántsem akkora szilárdsági értékekkel.



22. ábra Natúr bükk erő-elmozdulás diagramja (kontroll).
Kb. 10 mm max.lehajlás.



23. ábra Intenzív gőzölés (21). Kb. 7 mm max. lehajlás.



24. ábra Kíméletes gőzölés (22). Kb. 10,5 mm max. lehajlás.

4.3.Kőris

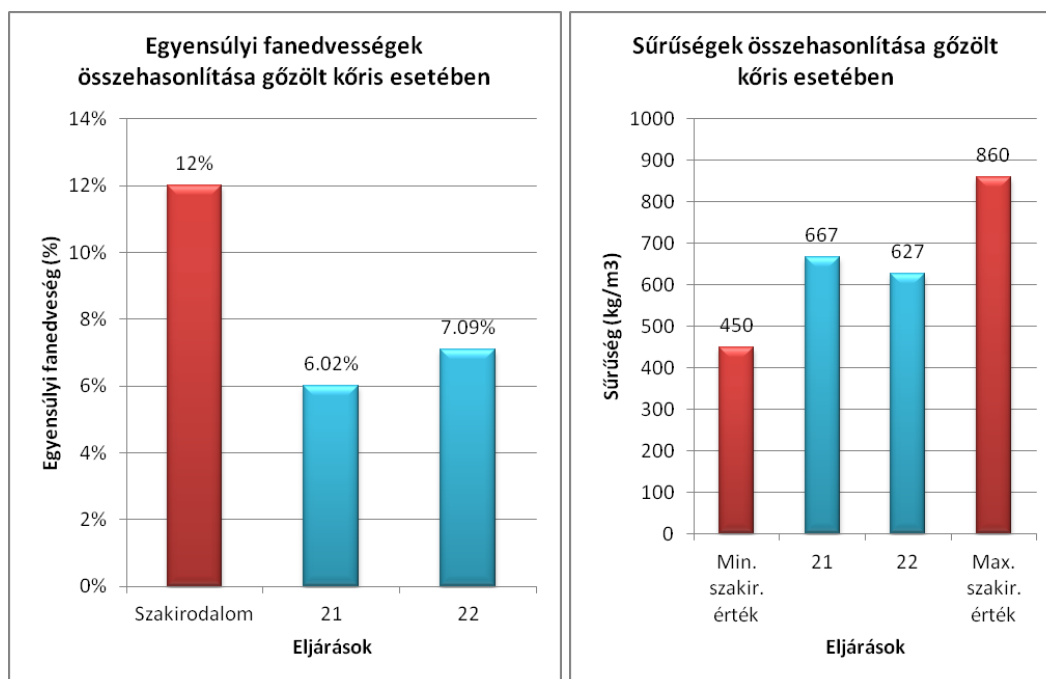
18. táblázat Hőkezelt kőris mechanikai tulajdonságainak összehasonlítása a természetes kőrisével

Kat.	u	q	ρ_n	σ_n	σ_{12}	E_n	E_{12}
	%	%	kg/m ³	MPa	MPa	MPa	MPa
21 intenzív gőzölés	6,02%	5,67%	667,90	56,26	29,40	9587,11	7297,92
22 kíméletes gőzölés	7,09%	6,62%	627,41	68,15	35,63	7017,16	5342,98
Szakirodalom	~ 12 %		450...690...860	58...105...210		4400...13400...18100	

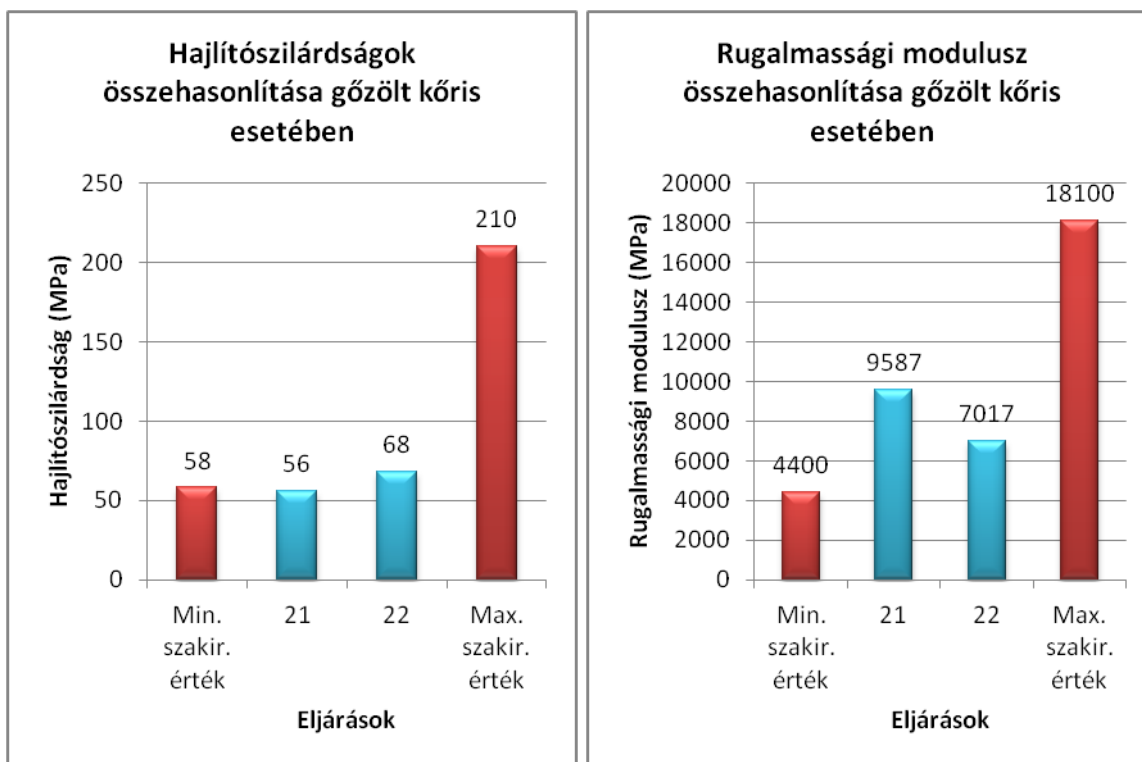
19. táblázat Termikusan módosított kőris mechanikai tulajdonságainak százalékos eltérése a természetes kőristől

Kat.	ρ_n	$\Delta\rho_n$ %-os eltérés	σ_n	$\Delta\sigma_n$ %-os eltérés	En	ΔE_n %-os eltérés
	kg/m ³	%	MPa	%	MPa	%
21 intenzív gőzölés	667,90	-3,20%	56,26	-46,42%	9587,11	-28,45%
22 kíméletes gőzölés	627,41	-9,07%	68,15	-35,10%	7017,16	-47,63%
Szakirodalmi középérték	690		105		13400	

A kőris egyensúlyi fanedvesség értékei közül a kíméletes gőzölés az előzőekhez hasonlóan 7% körüli nedvességtartalmat mutat, míg az intenzív gőzölés a lucfenyőhöz és bükkhöz képest meglehetősen alacsony, 6%-ot ad. Ennek oka az lehet, hogy a kőris nehezebben viseli az erőteljes hőmérséklet növekedést, és csökkenést, a kapillárisok összetapadnak, ezáltal jobban tömörödik. Ez a sűrűség nagyobb mértékű növekedését is eredményezi. Habár a kíméletesebb gőzöléshez tartozó sűrűségi értékek alacsonyabbnak bizonyultak, tulajdonképpen mindkettő a szakirodalmi értékek átlagánál mozog.



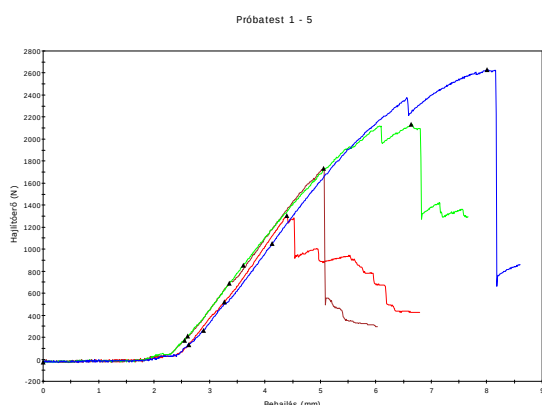
25. ábra A hőkezelési eljárások hatása a kőris sűrűségére és egyensúlyi nedvességtartalmára (normál klíma - 20°C, 65% relatív páratartalom)



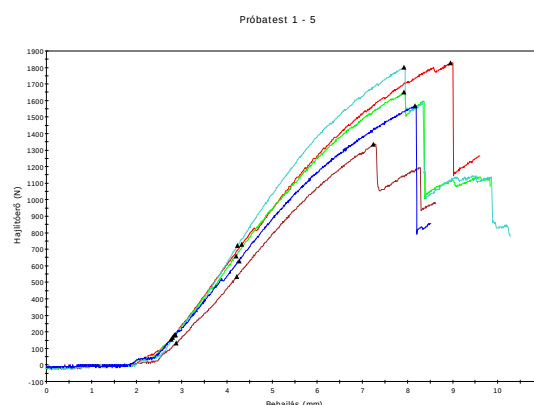
26. ábra A hőkezelési eljárások hatása a kőris hajlítószilárdságára és a rugalmassági moduluszára (normál klíma - 20°C, 65% relatív páratartalom)

Hasonlóan a lucfenyőhöz, ugyanazon okokból az intenzív gőzölés alacsonyabb hajlítószilárdságot (-21%-kal), de magasabb rugalmassági moduluszt (+37%-kal) eredményez a kíméletes gőzöléshez képest. Mindkét hajlítószilárdsági érték csupán a szakirodalmi érték alsó határát súrolja.

Törésképek összehasonlítása



27. ábra Intenzív gőzölés (21). A max. lehajlás kb. 6,5 mm.



28. ábra Kíméletes gőzölés (22). A max. lehajlás kb. 8 mm.

A gőzölés rideggé teszi a kőris faanyagát, ezt a 27. és 28. ábra is mutatja. Az intenzív gőzölés hatására meglehetősen inhomogén lesz (nagy szórás a törésképek között), és rugalmatlan.

5. Összefoglalás

A célkitűzésünk az volt, hogy megvizsgáljuk a különböző termikus módosítási eljárásoknak a faanyagok egyes fizikai-mechanikai jellemzőkre gyakorolt hatását. Az anyag szerkezetében bekövetkező változásokat a hajlítószilárdság és a normál klímához tartozó egyensúlyi nedvességtartalom változásával igazoltuk. Az egyensúlyi nedvességtartalom megváltozása az anyag kémiai szerkezetének módosulását igazolja, a hajlítószilárdság ezen túl a mikroszerkezettel (sejtfali repedésekkel, kollapszusokkal) is összefüggésben áll.

Első lépésként megterveztük a próbatestek legyártásának menetét, majd elkészítettük a sűrűségi, nedvességtartalmi és szilárdsági próbatesteket a vizsgálatokhoz. Az ipari hőkezelésből adódóan több deszka esetében okozott kihozatali hátrányt a bélrepedés. A mérések során meghatároztuk a nedvességtartalmat és a sűrűséget, majd a hajlítószilárdságot és a rugalmassági moduluszt. Végül összehasonlítottuk a kapott értékeket az irodalmi értékekkel, illetve következtetéseket vontunk le az eltérő kezelési menetrendek modifikációs hatásaira vonatkozóan.

Az **egyensúlyi nedvességtartalom** a termikus modifikálási eljárások hatására lecsökkent kb. 6-7%-ra (normál klímán a faanyag 12%-os). Az eljárások közül a kéméletes gőzölés hatására csökkent le legkevésbé ez az érték (lucfenyő 7,74%, bükk 7,29%, kőris 7,09%). Ennek oka az alacsonyabb hőmérséklet (155°C, a többinél 170°C) és a hosszú kondicionálási idő (13 óra, a többinél 5-11 óra).

A **sűrűség** mindegyik eljárás esetében az átlagos szakirodalmi érték körül mozgott. Ez a termikus módosítás kettős hatásának köszönhető, hiszen a faanyag ez alatt tömörödik és tömeget vesz egyszerre. Habár elenyésző a különbség, a lucfenyő esetében össze tudtuk hasonlítani az eljárásokat, így kitűnt, hogy a nitrogéngázos közegben kezelés kisebb sűrűségi értékeket produkált, mint a gőzölés. A három fafaj közül a lucfenyő (+1%) és bükk (+9%) sűrűbb lett a kéméletes eljárás következtében, viszont a kőris kevésbé lett sűrű (-6%) az intenzívhez képest. Megállapítható, hogy a lombos fafajok érzékenyebben reagáltak a kezelésekre. A változó nyomású eljárás nyitott eljárás, vagyis a bomlástermékeket elvezették, így az nem degradálta úgy a faanyagot, mint az állandó nyomású kezelés, illetve a gőzölések esetében.

A **hajlítószilárdsági** értékek erősen lecsökkentek a szakirodalmi értékekhez képest. A nitrogéngázos eljárások közül a változó nyomású kezelés az állandóhoz képest (49%-kal) nagyobb szilárdságot adott.

Erre számítottunk a mérések megkezdése előtt, hiszen a változó nyomású eljárásnál kíméletesebben történik a hűtés és kondicionálás, illetve alacsonyabb nyomáson történt a kezelés. A csökkent szilárdság az eljárás során keletkező savas derivátumok (bomlástermékek) rendszerből történő eltávolításával magyarázható, ugyanis a nyomásesés a rendszerben uralkodó túlnyomás (ill. gázok, gőzök) eltávolításával járt együtt.

A gőzölések közül a kíméletes gőzölés produkált magasabb hajlítószilárdsági értékeket (lucfenyőnél 24%-kal, bükknél 49%-kal, kőrisnél 21%-kal). Az intenzív gőzölés hatására a lombosoknál az érték el sem érte a szakirodalmi érték alsó határát.

Ennek oka a magas hőmérséklet és rövidebb kondicionálási idő okozta repedések, mikrorepedések keletkezése, sejtkollapszus, a faanyag rideggé válása. A törésképek megmutatták, hogy az intenzív kezelés nem csak ridegebbé, hanem inhomogénebbé is tette a faanyagot, hiszen nagy szórást vehetünk észre a törésképek között.

A termikus kezelések hatására csökkent a **rugalmassági modulusz**. A nitrogéngázos eljárás hasonlóan gyenge értékeket mutatott lucfenyő esetén (a változó nyomású 9%-kal mutatott jobb eredményt), míg a gőzölésnél mindegyik fafaj esetében elmondhatjuk, hogy épp a szakirodalmi érték alsó határa körül mozog, vagy az alatt van. Megállapíthatjuk, hogy nem ugyanúgy viselkedett a három fafaj a gőzölés hatására. Lucfenyőnél a kíméletesebb eljárás rugalmassági modulusza jóval a szakirodalmi érték alatt van (-30%-kal), bükknél fordítva (+17%), kőrisnél pedig mindkettő érték megfelelt a szakirodalmi értékeknek, de a kettő közül a kíméletesebb alacsonyabbat produkált (-37%). Ennek oka a fafajok különböző makromolekuláris szerkezete lehet (fenyő, szórtlikacsú, gyűrűslikacsú), ami miatt eltérően viselkednek a termikus kezelések hatására.

Bár a kezelések ipari körülmények között folytak, vizsgálatainkkal rámutattunk a különböző kezelési intenzitások - hőmérséklet, idő, és atmoszférák (levegő, nitrogén, gőz) - hatásaira.

További vizsgálatokat fogunk végezni a kezelt faanyagok nyomószilárdságára, zsugorodás-dagadás jellemzőire és farontó gombákkal szembeni ellenálló képességére vonatkozóan.

6. Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnénk megköszönni konzulensünknek, Dr. Németh Róbertnek, hogy fáradozásaival, tanácsaival elősegítette ennek a tudományos diákköri munkának a létrejöttét. Emellett köszönet jár a Fa- és Papíripari Technológiák Intézetnek, amiért rendelkezésünkre bocsátotta a klímakamrájukat.

7. Irodalomjegyzék

- [1] **Négrié, G.:** *TMT: Aktuelle Situation in Frankreich*, 7. Europäischer TMT Workshop, 2012.04.26.-27. Drezda, 2012. 47-58. p.
- [2] **Graf N., Haas W., and Böchzelt H.:** *Characterisation of gaseous emissions from a small-size industrial plant for thermal wood modification by GC/MS*, Abstracts of the First European Conference on Wood Modification, Ghent, Belgium, 2003
- [3] **Graf N., Wagner S., Begander U., Trinkaus P., and Boechzelt H.:** *Gaseous emissions from thermal wood modification as a source for fine chemicals recovery*, Joanneum Research GmbH, 2005
- [4] **Kocaeffe D., Poncsak S., Dore G., and Younsi R.:** *Effect of heat treatment on the wettability of white ash and soft maple by water*, Holz Roh-Werkst. in press 2008, 2008b
- [5] **Yildiz S., and Gümüşkaya E.:** *The effects of thermal modification on crystalline structure of cellulose in soft and hardwood*, Building Environ. 42, 2007. 62-67. p.
- [6] **Ayadi N., Lejeune F., Charrier F., Charrier B., and Merlin A.:** *Color stability of heat-treated wood during artificial weathering*, Holz Roh-Werkst. 61, 2003. 221-226. p.
- [7] **Fengel D. and Wegener G.:** *Wood Chemistry Ultrastructure Reactions*, Walter de Gruyter, 1989
- [8] **Filló Z. and Peres T.:** *Holztechnologie 11*, 1970. 270-273. p. Cited In :Fengel and Wegener (1989)
- [9] **Fengel D.:** *On the changes of the wood and its components within the temperature range up to 200°C - Part 2*, Holz Roh-Werkst. 24, 1966b, 98-109. p.
- [10] **Boonstra M., Rijdsdijk J., Sander C., Kegel E., Tjeerdsma B., Militz H., Van Acker J., and Stevens M.:** *Physical aspects of heat-treated wood. Part 1. Hardwoods*, Maderas. Ciencia y tecnología. 8, 2006b. 209-217. p.
- [11] **Kollmann F., and Schneider A.:** *On the sorption behaviour of heat stabilized wood*, Holz Roh-Werkst. 21(3), 1963. 77-85. p.
- [12] **Kamdem D., Pizzi A., and Jermannaud A.:** *Durability of heat-treated wood*, Holz Roh-Werkst. 60, 2002. 1-6. p.
- [13] **Burmester A.:** *Investigation on the dimensional stabilization of wood*, Bundesanstalt für Materialprüfung, Berlin-Dahlem, 1973. 50-56. p.

- [14] **Giebeler E.:** *Dimensionsstabilisierung von Holz durch eine Feuchte/Wärme/ Druck-Behandlung*, Holz Roh-Werkst. 41, 1983. 87-94. p.
- [15] **Hakkou M., Pétrissans M., El Bakali I., Gérardin P., and Zoulalian A.:** *Evolution of wood hydrophobic properties during heat treatment*, Abstracts of the First European Conference on Wood Modification, Ghent, Belgium, 2003
- [16] **Dirol D. and Guyonnet R.:** *Durability by rectification process*, International Research Group Wood Pre, Section 4-Processes, N° IRG/WP 93-40015 1993
- [17] **Bengtsson C., Jermer J., and Brem F.:** *Bending strength of heat-treated spruce and pine timber*, International Research Group Wood Pre, Section 4-Processes, N° IRG/WP 02-40242. 2002
- [18] **Reiterer A., and Sinn G.:** *Fracture behaviour of modified spruce wood: A study using linear and non linear fracture mechanics*, In: Holzforschung 56 (2002) 191-198. p.
- [19] **Follrich J., Muller U., and Gindl W.:** *Effects of thermal modification on the adhesion between spruce wood (Picea abies Karst.) and a thermoplastic polymer*, Holz Roh-Werkst. 64, 2006. 373-376. p.
- [20] **Syrjänen T., and Kangas E.:** *Heat-treated timber in Finland*, International Research Group Wood Pre, Section 4-Processes, N° IRG/WP 00-40158, 2000
- [21] **Bariska M., Molnár S.:** *Magyarország ipari fáí*, Budapest, Szaktudás Kiadó Ház Zrt. 2002. 34-38, 70-77, 130-133 p. ISBN 963 94 2253 3
- [22] **Molnár Sándor:** *Faanyagismeret*, Budapest, Szaktudás Kiadó Ház. 2004. 175-179, 190, 283-285, 299-303, 319-320 p. ISBN 963 95 5317 4
- [23] **P. Niemz:** *Physik des Holzes und der Holzwerkstoffe*, DRW-Verlag Weinbrenner GmbH & Co., Leinfelden-Echterdingen, 1993. 150. p.

8. Mellékletek

8.1.Mérési eredmények

Nitrogéngáz közegben kezelés, állandó nyomáson

20. táblázat 0511-es lucfenyő palló mérési eredményei. Nitrogéngáz, állandó nyomáson.

Ssz.	a	b	m _n	m ₀	F _{max}	dF	dy	u	q	ρ _n	σ _n	σ ₁₂	E _n	E ₁₂
	mm	mm	g	g	N	N	mm	%	%	g/cm ³	MPa	MPa	MPa	MPa
Középarányos	20,25	20,25	46,52	43,58	1523,77	457,13	1,37	6,73%	6,30%	0,47	66,07	34,53	6840,56	5208,03
Átlag	20,25	20,25	46,60	43,66	1533,38	460,01	1,38	6,73%	6,31%	0,47	66,48	34,75	6868,65	5229,43
Szórás (SD)	0,03	0,05	2,85	2,65	175,75	52,73	0,10	0,00	0,00	0,03	7,60	3,98	632,14	481,40
Min.	20,18	20,13	42,11	39,39	1256,34	376,90	1,18	6,26%	5,90%	0,43	54,55	28,51	5804,18	4418,67
Max.	20,30	20,33	54,16	50,76	1876,46	562,94	1,57	7,04%	6,58%	0,55	81,35	42,53	7907,83	6020,48
Var%	0,15%	0,25%	6,11%	6,06%	11,46%	11,46%	6,92%	2,76%	2,58%	6,02%	11,44%	11,44%	9,20%	9,21%

21. táblázat 1711-es lucfenyő palló mérési eredményei. Nitrogéngáz, állandó nyomáson.

Ssz.	a	b	m _n	m ₀	F _{max}	dF	dy	u	q	ρ _n	σ _n	σ ₁₂	E _n	E ₁₂
	mm	mm	g	g	N	N	mm	%	%	g/cm ³	MPa	MPa	MPa	MPa
Középarányos	20,27	20,25	54,66	51,27	912,21	273,66	0,67	6,62%	6,21%	0,55	39,51	20,65	8388,22	6386,17
Átlag	20,27	20,25	54,83	51,42	928,22	278,47	0,68	6,63%	6,22%	0,56	40,20	21,01	8437,94	6424,01
Szórás (SD)	0,04	0,03	4,40	4,11	186,44	55,93	0,14	0,00	0,00	0,05	8,05	4,21	938,54	714,41
Min.	20,17	20,18	48,36	45,22	724,82	217,45	0,50	6,21%	5,85%	0,49	31,27	16,35	6537,42	4977,73
Max.	20,33	20,30	64,72	60,54	1570,43	471,13	1,11	7,12%	6,65%	0,66	67,58	35,33	11172,85	8506,48
Var%	0,19%	0,17%	8,02%	8,00%	20,09%	20,09%	19,99%	3,45%	3,24%	8,12%	20,02%	20,02%	11,12%	11,12%

Nitrogéngáz közegben kezelés, változó nyomáson

22. táblázat 2712-es lucfenyő palló mérési eredményei. Nitrogéngáz, változó nyomáson.

Ssz.	a	b	m _n	m ₀	F _{max}	dF	dy	u	q	ρ _n	σ _n	σ ₁₂	E _n	E ₁₂
	mm	mm	g	g	N	N	mm	%	%	g/cm ³	MPa	MPa	MPa	MPa
Középarányos	20,26	20,26	51,36	48,01	1744,52	523,36	1,33	6,98%	6,53%	0,52	75,54	39,49	8060,95	6137,59
Átlag	20,26	20,26	51,42	48,06	1751,47	525,44	1,34	6,99%	6,53%	0,52	75,84	39,65	8123,03	6184,86
Szórás (SD)	0,05	0,03	2,54	2,37	157,03	47,11	0,10	0,00	0,00	0,03	6,84	3,58	1024,85	780,33
Min.	20,17	20,21	47,29	44,09	1361,04	408,31	1,09	6,63%	6,21%	0,48	58,74	30,72	6242,74	4753,80
Max.	20,35	20,31	55,62	52,01	2045,58	613,67	1,51	7,93%	7,34%	0,56	88,47	46,25	9947,92	7573,92
Var%	0,23%	0,14%	4,94%	4,93%	8,97%	8,97%	7,22%	4,75%	4,43%	4,99%	9,02%	9,03%	12,62%	12,62%

23. táblázat 6612-es lucfenyő palló mérési eredményei. Nitrogéngáz, változó nyomáson.

Ssz.	a	b	m _n	m ₀	F _{max}	dF	dy	u	q	ρ _n	σ _n	σ ₁₂	E _n	E ₁₂
	mm	mm	g	g	N	N	mm	%	%	g/cm ³	MPa	MPa	MPa	MPa
Középarányos	20,33	20,31	53,97	50,46	2036,82	611,05	1,31	6,95%	6,49%	0,54	87,43	45,71	9453,65	7197,92
Átlag	20,33	20,31	53,99	50,48	2042,78	612,83	1,31	6,95%	6,50%	0,54	87,69	45,84	9470,50	7210,75
Szórás (SD)	0,05	0,03	1,35	1,19	157,30	47,19	0,06	0,00	0,00	0,01	6,84	3,58	583,67	444,39
Min.	20,18	20,25	50,95	47,83	1707,34	512,20	1,21	6,32%	5,95%	0,52	73,15	38,25	8600,93	6548,97
Max.	20,39	20,36	56,21	52,48	2279,13	683,74	1,46	7,65%	7,11%	0,56	97,94	51,20	10602,92	8073,57
Var%	0,24%	0,16%	2,50%	2,35%	7,70%	7,70%	4,84%	4,18%	3,91%	2,30%	7,80%	7,80%	6,16%	6,16%

24. táblázat 2912-es lucfenyő palló mérési eredményei. Nitrogéngáz, változó nyomáson.

Ssz.	a	b	m _n	m ₀	F _{max}	dF	dy	u	q	ρ _n	σ _n	σ ₁₂	E _n	E ₁₂
	mm	mm	g	g	N	N	mm	%	%	g/cm ³	MPa	MPa	MPa	MPa
Középarányos	20,29	20,29	48,51	45,49	1696,82	509,05	1,40	6,62%	6,21%	0,49	73,12	38,22	7390,89	5626,89
Átlag	20,29	20,29	48,56	45,53	1706,76	512,03	1,41	6,64%	6,22%	0,49	73,56	38,45	7416,01	5646,03
Szórás (SD)	0,04	0,04	2,14	1,92	185,14	55,54	0,10	0,00	0,00	0,02	8,06	4,22	618,62	471,23
Min.	20,15	20,21	45,13	42,58	1296,61	388,98	1,14	5,98%	5,64%	0,46	55,80	29,16	6258,57	4764,89
Max.	20,34	20,34	52,20	48,96	2069,74	620,92	1,58	7,63%	7,09%	0,53	88,94	46,51	8632,16	6572,95
Var%	0,19%	0,19%	4,41%	4,22%	10,85%	10,85%	7,43%	6,40%	5,99%	4,42%	10,96%	10,97%	8,34%	8,35%

Intenzív gőzölés

25. táblázat 4521-es, lucfenyő, intenzíven gőzölt palló mérési eredményei

Ssz.	a	b	m _n	m ₀	F _{max}	dF	dy	u	q	ρ _n	σ _n	σ ₁₂	E _n	E ₁₂
	mm	mm	g	g	N	N	mm	%	%	g/cm ³	MPa	MPa	MPa	MPa
Középarányos	20,29	20,22	54,45	50,86	1319,68	395,90	0,92	7,03%	6,57%	0,55	57,26	29,94	8904,04	6779,62
Átlag	20,29	20,22	54,64	51,05	1427,96	428,39	0,96	7,05%	6,58%	0,55	62,06	32,45	8981,52	6838,55
Szórás (SD)	0,06	0,07	4,56	4,36	513,94	154,18	0,29	0,00	0,00	0,05	22,53	11,77	1170,61	890,87
Min.	20,10	20,11	45,80	42,62	531,53	159,46	0,48	6,18%	5,82%	0,46	22,96	12,01	6819,32	5192,84
Max.	20,40	20,36	62,45	57,99	2182,49	654,75	1,45	7,85%	7,28%	0,63	94,76	49,54	10681,69	8134,52
Var%	0,29%	0,34%	8,35%	8,55%	35,99%	35,99%	30,38%	6,69%	6,26%	8,50%	36,31%	36,29%	13,03%	13,03%

26. táblázat 9021-es, kőris, intenzíven gőzölt palló mérési eredményei

Ssz.	a	b	m _n	m ₀	F _{max}	dF	dy	u	q	ρ _n	σ _n	σ ₁₂	E _n	E ₁₂
	mm	mm	g	g	N	N	mm	%	%	g/cm ³	MPa	MPa	MPa	MPa
Középarányos	20,27	20,28	80,86	76,03	1961,54	588,46	0,94	6,35%	5,97%	0,82	84,74	44,28	12748,43	9705,02
Átlag	20,28	20,30	80,89	76,12	1950,95	585,29	0,92	6,26%	5,89%	0,82	84,11	43,95	12878,05	9803,43
Szórás (SD)	0,03	0,04	1,77	1,40	513,74	154,12	0,25	0,00	0,00	0,02	22,37	11,69	424,71	322,18
Min.	20,22	20,21	79,16	74,62	1304,66	391,40	0,65	5,82%	5,50%	0,80	56,15	29,35	12258,45	9332,95
Max.	20,30	20,30	83,61	78,18	2633,48	790,04	1,24	6,94%	6,49%	0,85	113,67	59,39	13158,11	10015,48
Var%	0,15%	0,19%	2,19%	1,84%	26,33%	26,33%	26,65%	7,47%	7,01%	2,16%	26,60%	26,60%	3,30%	3,29%

27. táblázat 7021 -es, bükk, intenzíven gőzölt palló mérési eredményei

Ssz.	a	b	m _n	m ₀	F _{max}	dF	dy	u	q	ρ _n	σ _n	σ ₁₂	E _n	E ₁₂
	mm	mm	g	g	N	N	mm	%	%	g/cm ³	MPa	MPa	MPa	MPa
Középarányos	20,23	20,25	70,88	66,19	1661,05	498,32	1,09	7,06%	6,60%	0,72	72,07	37,68	9430,18	7180,30
Átlag	20,23	20,25	71,01	66,32	1668,05	500,42	1,09	7,08%	6,61%	0,72	72,37	37,84	9444,49	7191,18
Szórás (SD)	0,04	0,06	4,68	4,40	158,24	47,47	0,09	0,01	0,00	0,05	6,80	3,56	523,01	397,95
Min.	20,13	20,08	66,63	61,93	1401,31	420,39	0,93	5,64%	5,34%	0,68	60,96	31,88	8321,34	6336,76
Max.	20,32	20,35	96,44	90,10	2126,12	637,84	1,29	7,64%	7,10%	0,98	91,59	47,86	10410,70	7923,87
Var%	0,22%	0,28%	6,59%	6,64%	9,49%	9,49%	8,06%	7,15%	6,71%	6,50%	9,40%	9,40%	5,54%	5,53%

28. táblázat 1421-es, lucfenyő, intenzíven gőzölt palló mérési eredményei

Ssz.	a	b	m _n	m ₀	F _{max}	dF	dy	u	q	ρ _n	σ _n	σ ₁₂	E _n	E ₁₂
	mm	mm	g	g	N	N	mm	%	%	g/cm ³	MPa	MPa	MPa	MPa
Középarányos	20,22	20,23	49,07	45,72	1477,37	443,21	1,28	7,32%	6,82%	0,50	64,29	33,62	7160,09	5452,16
Átlag	20,22	20,23	49,10	45,75	1485,06	445,52	1,28	7,33%	6,83%	0,50	64,60	33,78	7183,96	5470,34
Szórás (SD)	0,09	0,07	1,66	1,54	154,13	46,24	0,05	0,00	0,00	0,02	6,50	3,40	594,72	452,82
Min.	20,02	20,11	45,99	42,83	1216,08	364,82	1,14	6,67%	6,25%	0,47	53,48	27,97	6113,00	4655,18
Max.	20,35	20,33	52,12	48,38	1755,66	526,70	1,40	7,82%	7,25%	0,53	75,81	39,65	8132,28	6192,75
Var%	0,44%	0,34%	3,38%	3,36%	10,38%	10,38%	4,03%	4,54%	4,24%	3,53%	10,05%	10,05%	8,28%	8,28%

29. táblázat 6521-es, kőris, intenzíven gőzölt palló mérési eredményei

Ssz.	a	b	m _n	m ₀	F _{max}	dF	dy	u	q	ρ _n	σ _n	σ ₁₂	E _n	E ₁₂
	mm	mm	g	g	N	N	mm	%	%	g/cm ³	MPa	MPa	MPa	MPa
Középarányos	20,27	20,22	79,59	75,06	1001,91	300,57	0,58	6,02%	5,68%	0,81	43,54	22,74	10640,58	8099,69
Átlag	20,25	20,24	78,93	74,59	1018,77	305,63	0,57	5,82%	5,50%	0,80	44,18	23,08	11103,48	8451,54
Szórás (SD)	0,06	0,14	4,13	3,87	88,48	26,54	0,07	0,01	0,00	0,04	3,29	1,72	1197,05	910,11
Min.	20,21	20,00	73,72	69,69	885,88	265,76	0,53	5,60%	5,30%	0,76	39,45	20,61	9062,23	6899,80
Max.	20,35	20,34	83,86	79,41	1111,38	333,41	0,67	6,90%	6,46%	0,85	47,78	24,97	12114,61	9220,67
Var%	0,31%	0,71%	5,23%	5,18%	8,69%	8,69%	12,47%	9,66%	9,06%	4,80%	7,44%	7,44%	10,78%	10,77%

Kíméletes gőzölés

30. táblázat 24622-es, kőris, kíméletesen gőzölt palló mérési eredményei

Ssz.	a	b	m _n	m ₀	F _{max}	dF	dy	u	q	ρ _n	σ _n	σ ₁₂	E _n	E ₁₂
	mm	mm	g	g	N	N	mm	%	%	g/cm ³	MPa	MPa	MPa	MPa
Középarányos	20,24	20,25	63,10	59,01	1481,25	444,38	1,32	6,92%	6,48%	0,64	64,27	33,60	6903,52	5256,25
Átlag	20,24	20,25	63,16	59,06	1499,56	449,87	1,33	6,94%	6,48%	0,64	64,99	33,98	6907,76	5259,48
Szórás (SD)	0,03	0,11	2,94	2,69	246,22	73,86	0,18	0,00	0,00	0,03	10,23	5,35	267,21	203,30
Min.	20,20	20,07	59,01	55,13	1087,22	326,17	1,07	6,17%	5,81%	0,60	47,94	25,06	6459,10	4918,02
Max.	20,27	20,33	66,48	62,14	1731,50	519,45	1,54	7,28%	6,79%	0,68	74,62	39,02	7119,06	5420,86
Var%	0,14%	0,54%	4,65%	4,55%	16,42%	16,42%	13,14%	6,43%	6,04%	4,53%	15,74%	15,74%	3,87%	3,87%

31. táblázat 4422-es, lucfenyő, kíméletesen gőzölt palló mérési eredményei

Ssz.	a	b	m _n	m ₀	F _{max}	dF	dy	u	q	ρ _n	σ _n	σ ₁₂	E _n	E ₁₂
	mm	mm	g	g	N	N	mm	%	%	g/cm ³	MPa	MPa	MPa	MPa
Középarányos	20,27	20,22	55,82	51,78	2158,37	647,51	2,94	7,80%	7,23%	0,57	93,76	49,05	4542,77	3459,60
Átlag	20,27	20,22	55,83	51,79	2160,63	648,19	2,94	7,81%	7,24%	0,57	93,87	49,11	4549,79	3464,93
Szórás (SD)	0,05	0,05	1,07	1,04	107,92	32,38	0,09	0,00	0,00	0,01	5,02	2,62	275,71	209,70
Min.	20,19	20,16	54,60	50,53	2029,47	608,84	2,79	7,10%	6,63%	0,55	88,38	46,25	4216,02	3210,89
Max.	20,34	20,29	57,63	53,57	2367,72	710,32	3,05	8,22%	7,60%	0,59	103,72	54,25	5017,49	3820,90
Var%	0,27%	0,25%	1,92%	2,01%	4,99%	5,00%	3,05%	5,29%	4,92%	2,16%	5,35%	5,33%	6,06%	6,05%

32. táblázat 3022 -es, lucfenyő, kéméletesen gőzölt palló mérési eredményei

Ssz.	a	b	m _n	m ₀	F _{max}	dF	dy	u	q	ρ _n	σ _n	σ ₁₂	E _n	E ₁₂
	mm	mm	g	g	N	N	mm	%	%	g/cm ³	MPa	MPa	MPa	MPa
Középarányos	20,24	20,20	49,44	45,92	1432,50	429,75	1,35	7,67%	7,12%	0,50	62,43	32,66	6597,98	5024,59
Átlag	20,24	20,20	49,52	45,99	1443,87	433,16	1,35	7,67%	7,13%	0,50	62,94	32,92	6638,90	5055,75
Szórás (SD)	0,04	0,04	3,04	2,80	197,31	59,19	0,12	0,00	0,00	0,03	8,70	4,55	828,67	630,97
Min.	20,18	20,15	46,66	43,37	1167,76	350,33	1,12	7,14%	6,67%	0,47	50,70	26,52	5972,53	4548,43
Max.	20,29	20,27	54,69	50,89	1787,87	536,36	1,49	8,06%	7,46%	0,56	77,82	40,70	8238,75	6273,75
Var%	0,22%	0,19%	6,15%	6,10%	13,67%	13,66%	9,22%	4,00%	3,72%	6,11%	13,82%	13,81%	12,48%	12,48%

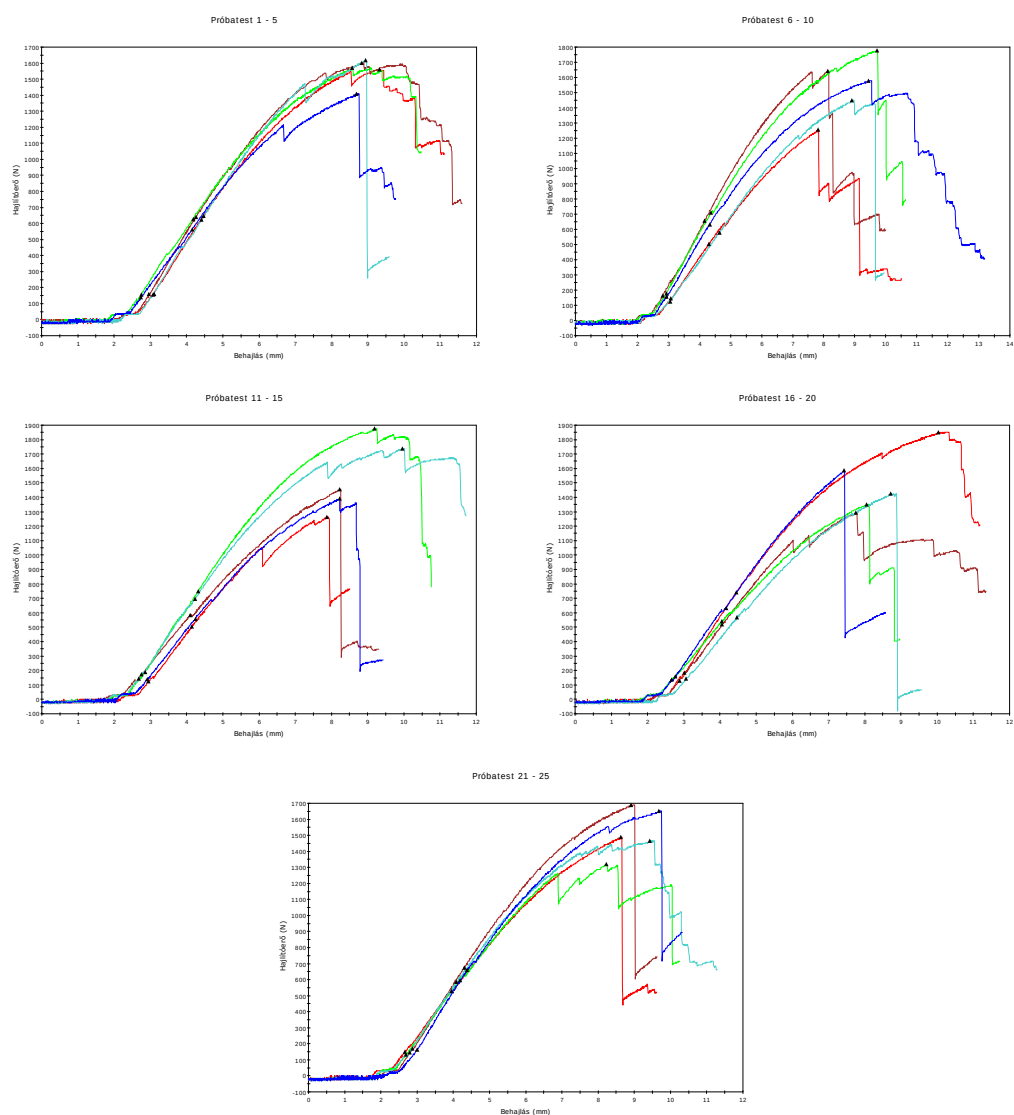
33. táblázat 22822 -es, kőris, kéméletesen gőzölt palló mérési eredményei

Ssz.	a	b	m _n	m ₀	F _{max}	dF	dy	u	q	ρ _n	σ _n	σ ₁₂	E _n	E ₁₂
	mm	mm	g	g	N	N	mm	%	%	g/cm ³	MPa	MPa	MPa	MPa
Középarányos	20,14	20,26	59,90	55,86	1627,86	488,36	1,42	7,24%	6,75%	0,61	70,88	37,06	7092,43	5400,52
Átlag	20,14	20,26	60,01	55,96	1638,08	491,42	1,42	7,24%	6,75%	0,61	71,31	37,28	7126,55	5426,47
Szórás (SD)	0,07	0,05	4,03	3,88	199,44	59,83	0,07	0,00	0,00	0,04	8,50	4,44	779,88	593,55
Min.	20,08	20,18	54,27	50,38	1336,88	401,06	1,34	6,99%	6,53%	0,56	58,77	30,74	6268,32	4773,60
Max.	20,25	20,29	65,29	61,02	1828,14	548,44	1,51	7,72%	7,17%	0,67	79,65	41,65	8127,55	6188,30
Var%	0,36%	0,22%	6,71%	6,94%	12,18%	12,18%	5,15%	3,85%	3,58%	6,64%	11,93%	11,91%	10,94%	10,94%

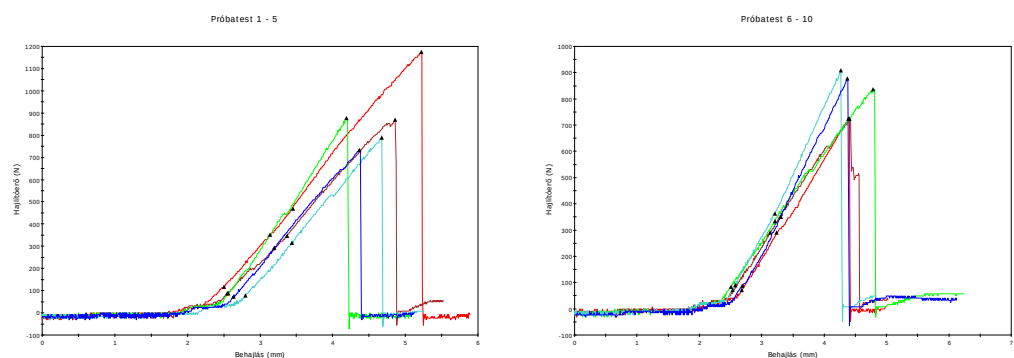
34. táblázat 8622 -es, bükk, kéméletesen gőzölt palló mérési eredményei

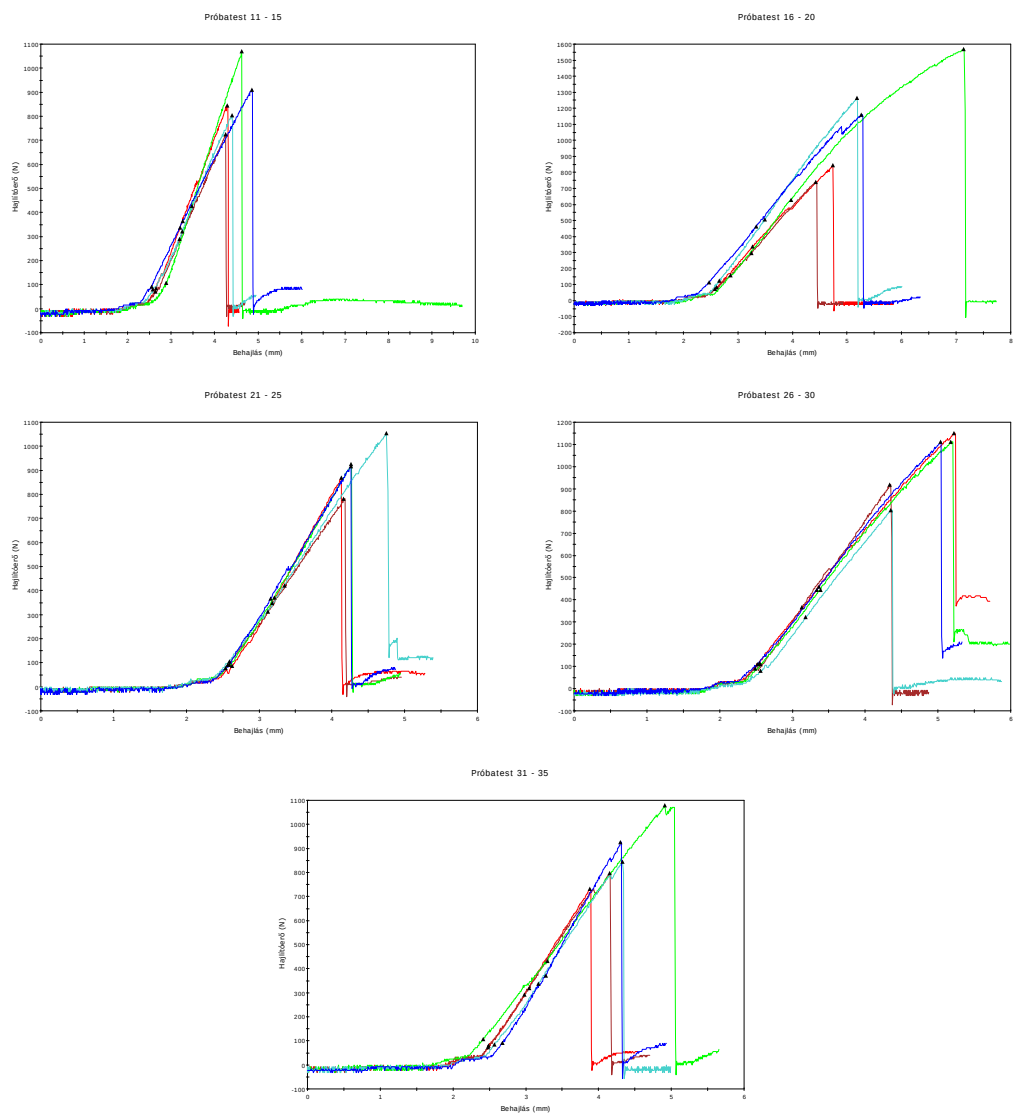
Ssz.	a	b	m _n	m ₀	F _{max}	dF	dy	u	q	ρ _n	σ _n	σ ₁₂	E _n	E ₁₂
	mm	mm	g	g	N	N	mm	%	%	g/cm ³	MPa	MPa	MPa	MPa
Középarányos	20,25	20,25	77,88	72,59	2468,62	740,59	1,37	7,28%	6,79%	0,79	107,01	55,96	11067,41	8427,37
Átlag	20,25	20,25	77,90	72,61	2473,88	742,16	1,38	7,29%	6,79%	0,79	107,23	56,07	11080,77	8437,52
Szórás (SD)	0,06	0,05	1,85	1,86	160,54	48,16	0,07	0,00	0,00	0,02	6,89	3,60	550,32	418,68
Min.	20,08	20,15	73,85	68,35	2061,69	618,51	1,18	6,85%	6,41%	0,75	89,16	46,62	9799,01	7464,25
Max.	20,37	20,34	80,43	75,04	2681,80	804,54	1,45	8,68%	7,98%	0,82	115,24	60,26	11897,86	9059,39
Var%	0,30%	0,27%	2,38%	2,56%	6,49%	6,49%	5,15%	5,28%	4,89%	2,40%	6,42%	6,42%	4,97%	4,96%

8.2. Törésképek

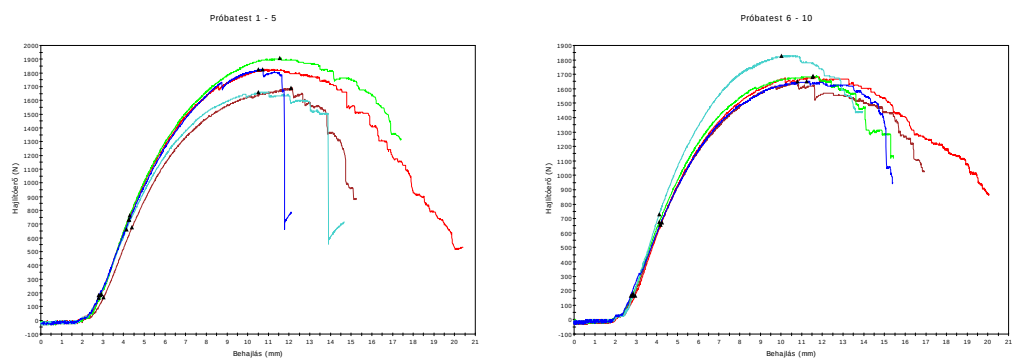


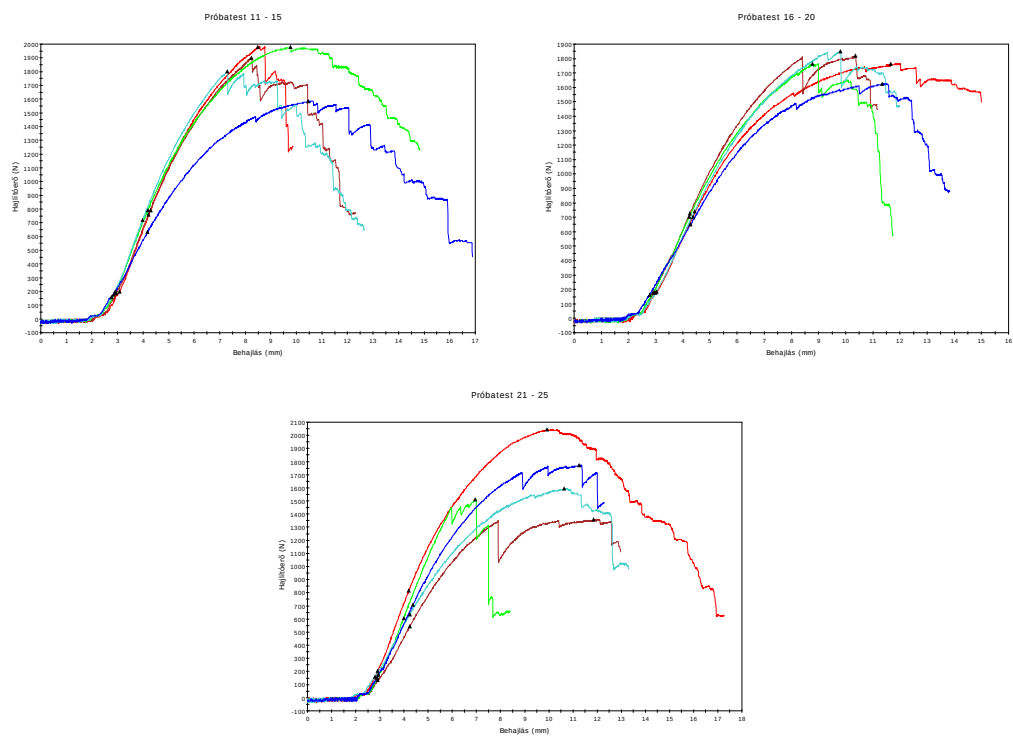
29. ábra 0511-es (nitrogéngáz, állandó nyomáson kezelt) lucfenyő próbatestek törésképei



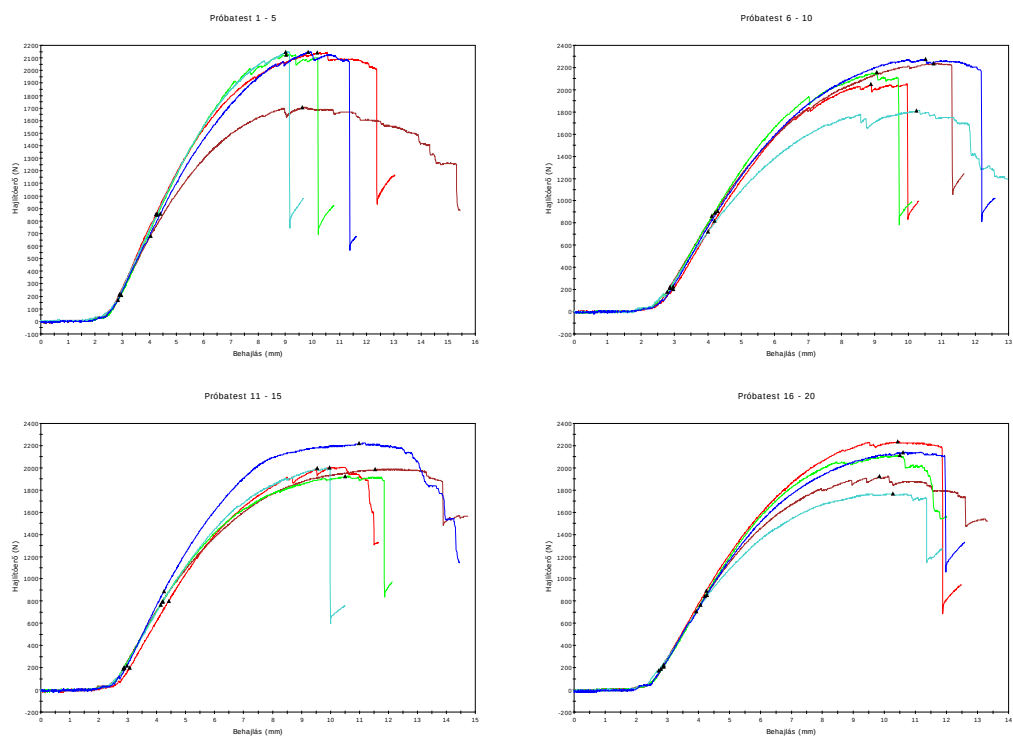


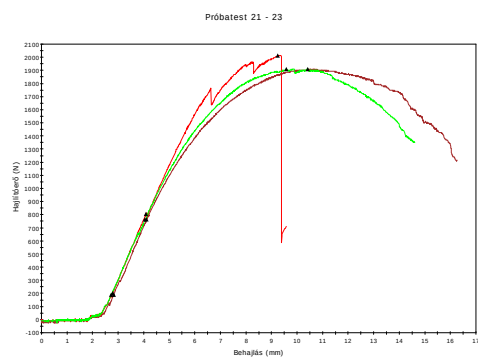
30. ábra 1711-es (nitrogéngáz, állandó nyomáson kezelt) lucfenyő próbatessetek törésképe.



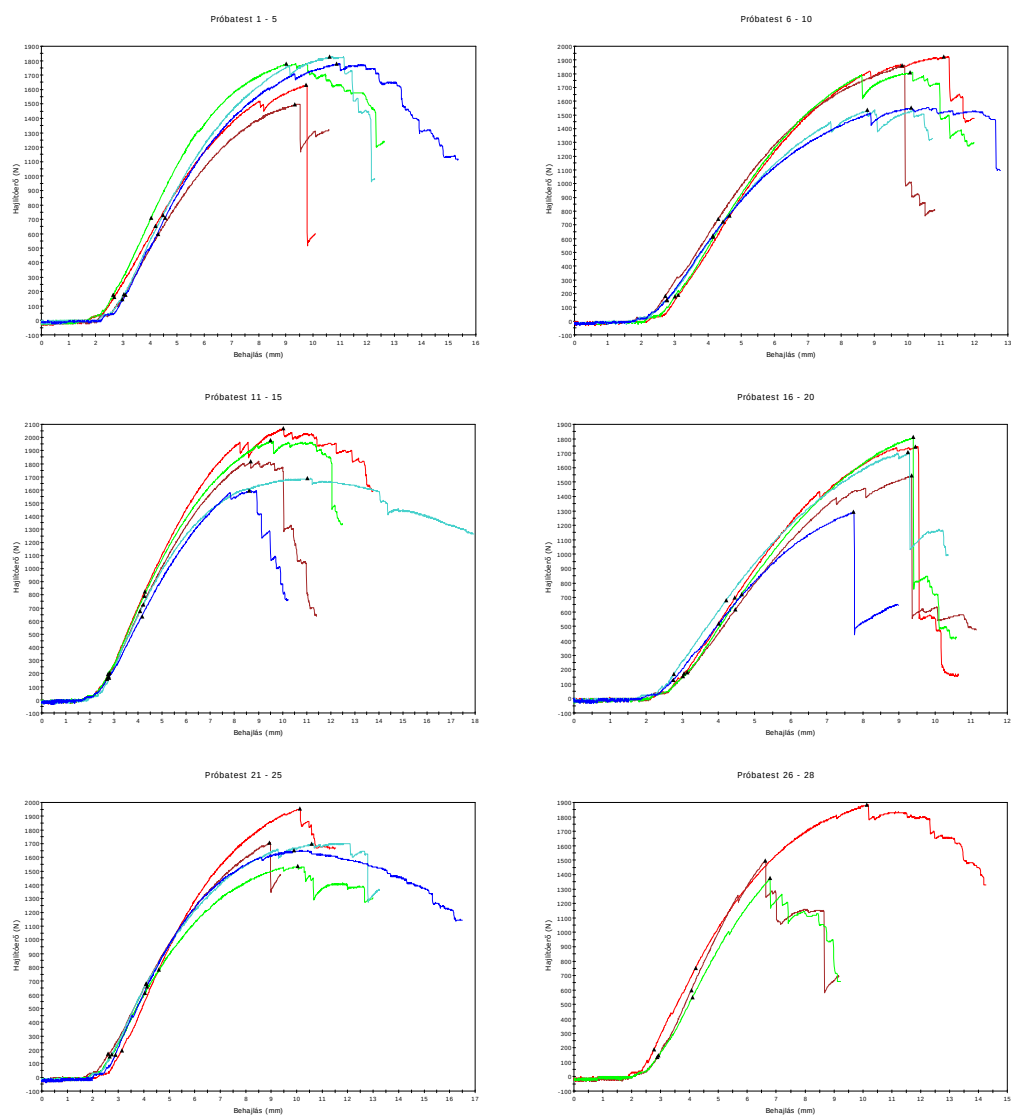


31. ábra 2712-es (nitrogéngáz, változó nyomáson kezelt) lucfenyő próbatestek törésképei

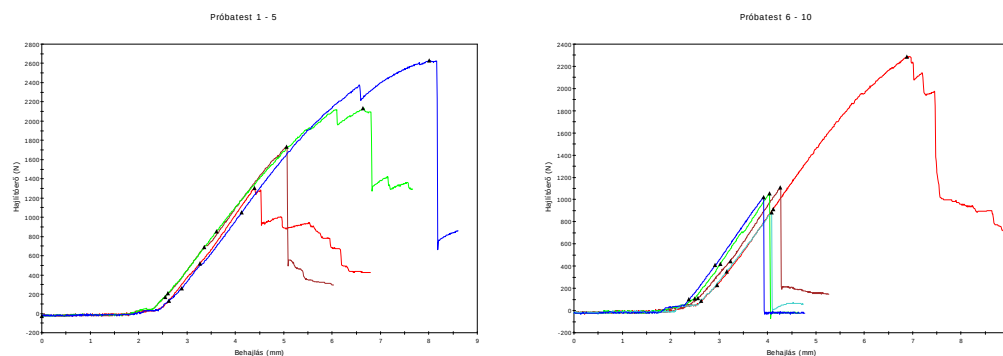




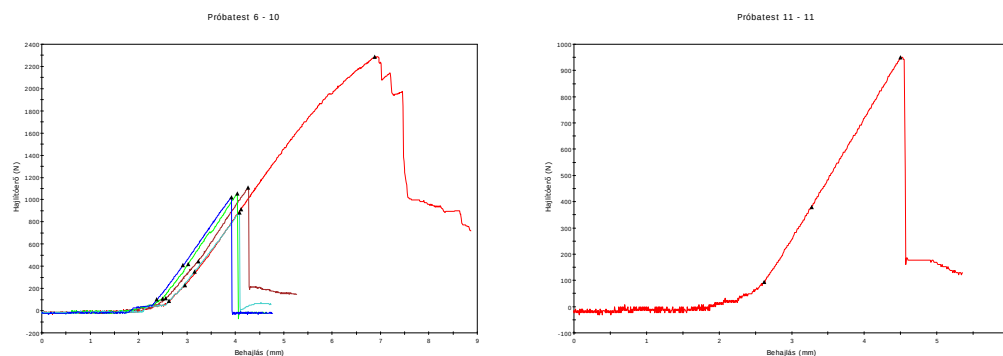
32. ábra 6612-es (nitrogéngáz, változó nyomáson kezelt) lucfenyő próbatestek törésképei



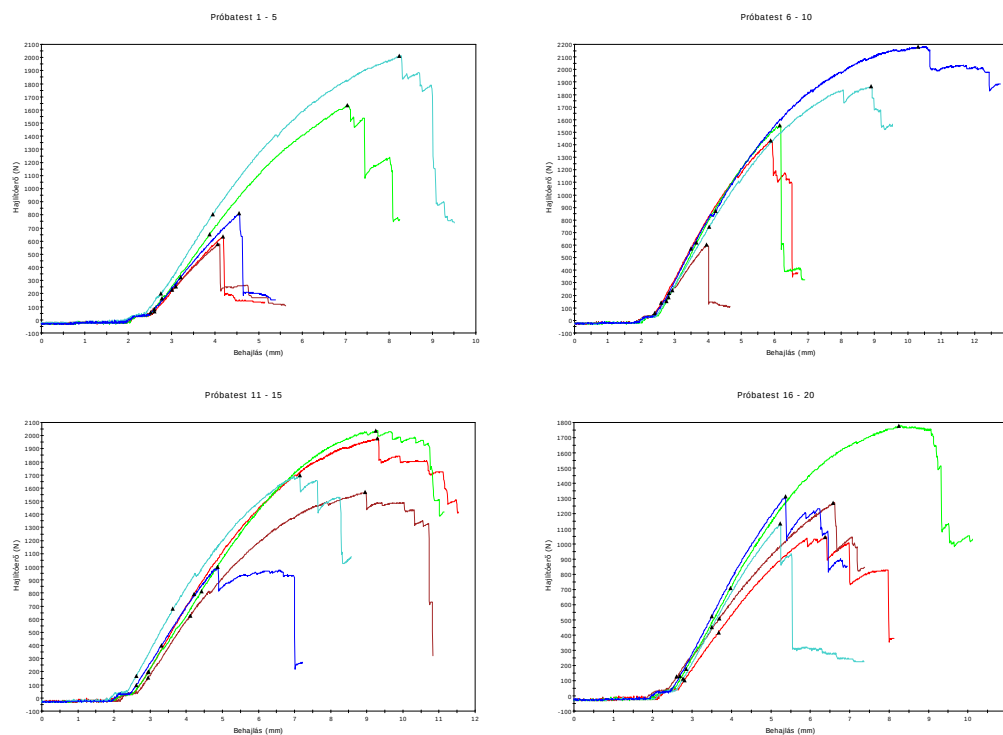
33. ábra 2912-es (nitrogéngáz, változó nyomáson kezelt) lucfenyő próbatestek törésképei

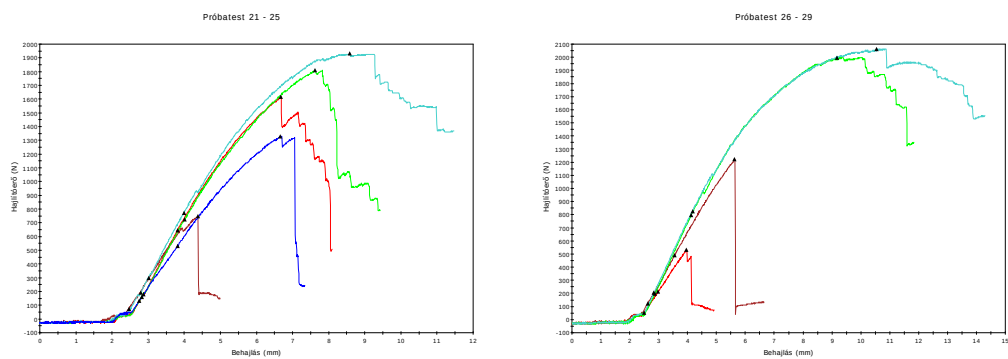


34. ábra 9021-es (intenzíven gőzölt) kőris próbatestek törésképei

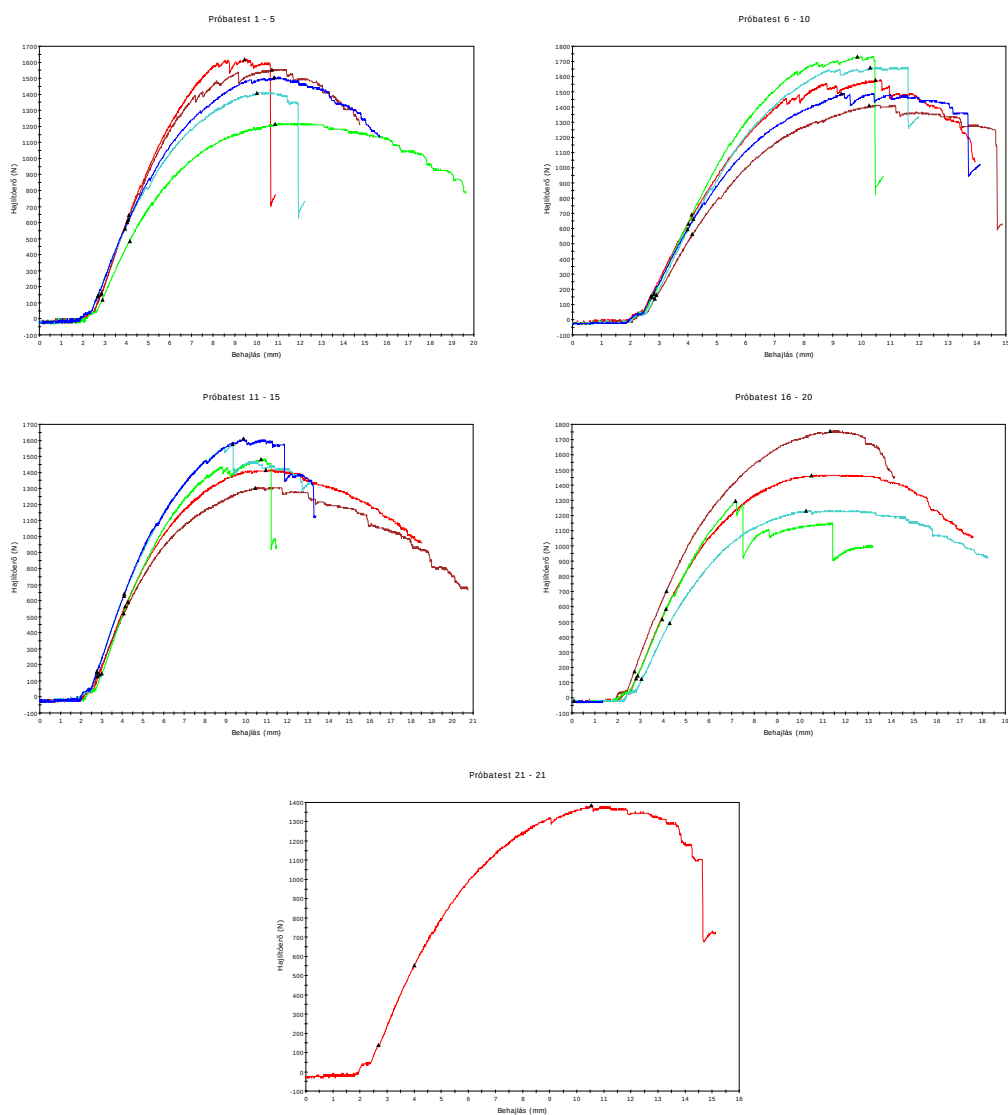


35. ábra 6521-es (intenzíven gőzölt) kőris próbatestek törésképei

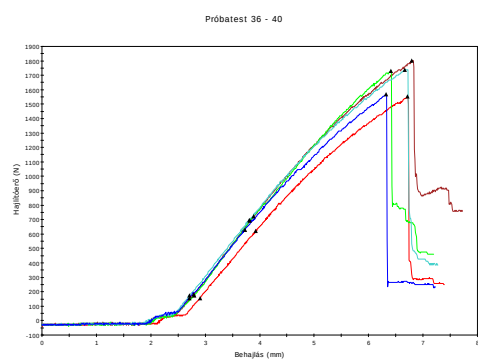
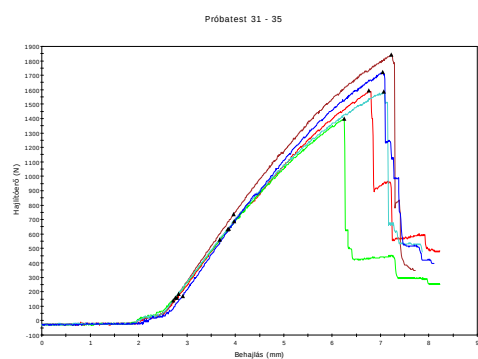
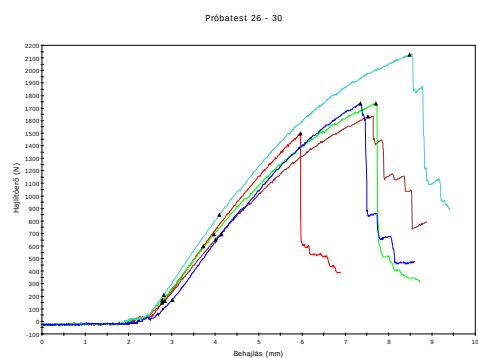
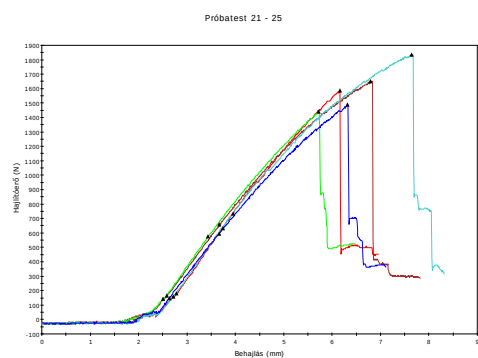
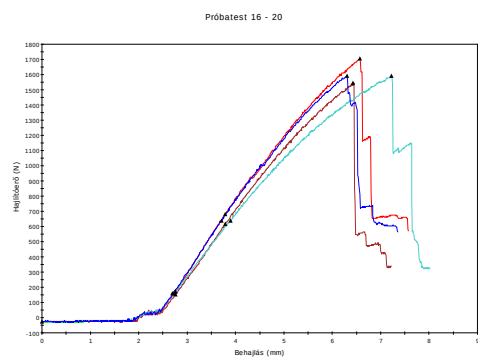
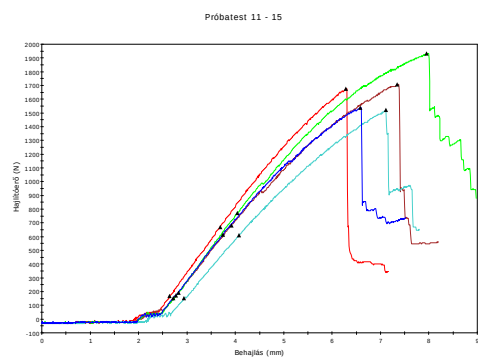
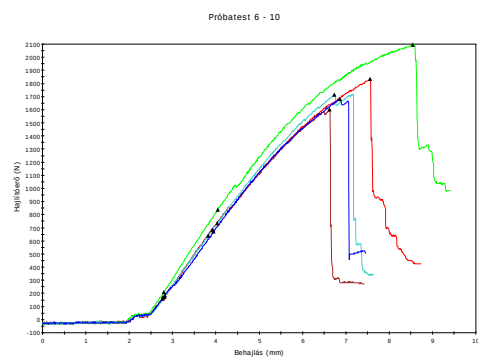
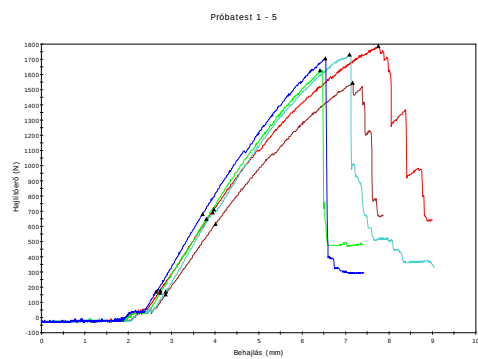


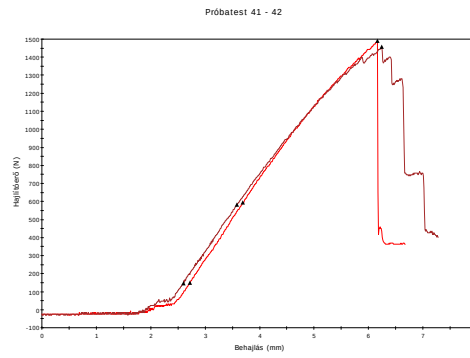


36. ábra 4521-es (intenzíven gőzölt) lucfenyő próbatestek törésképei

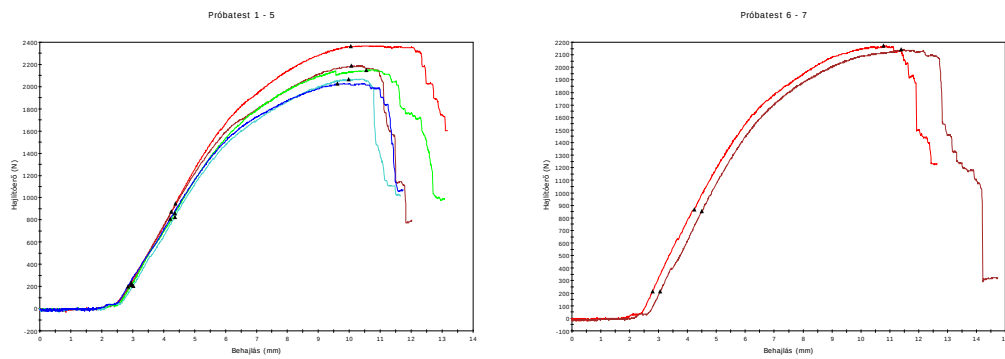


37. ábra 1421-es (intenzíven gőzölt) lucfenyő próbatestek törésképei

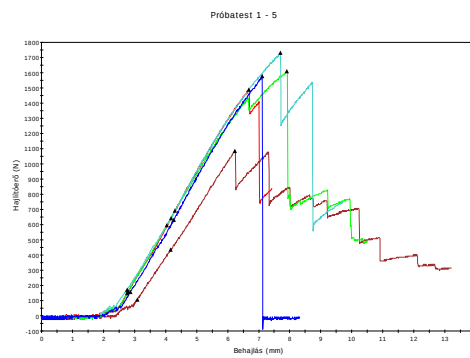




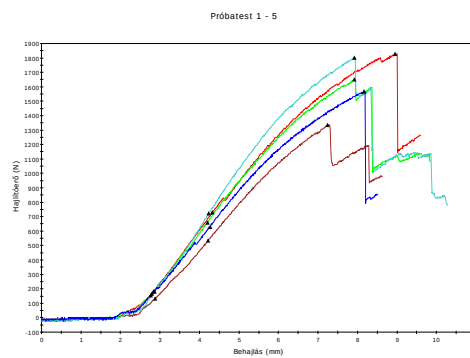
38. ábra 7021-es (intenzíven gőzölt) bükk próbatestek törésképei



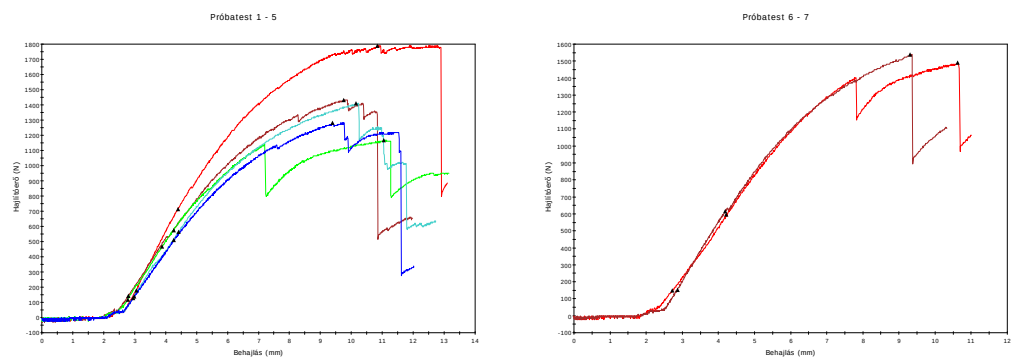
39. ábra 4422-es (kíméletesen gőzölt) lucfenyő próbatestek törésképei



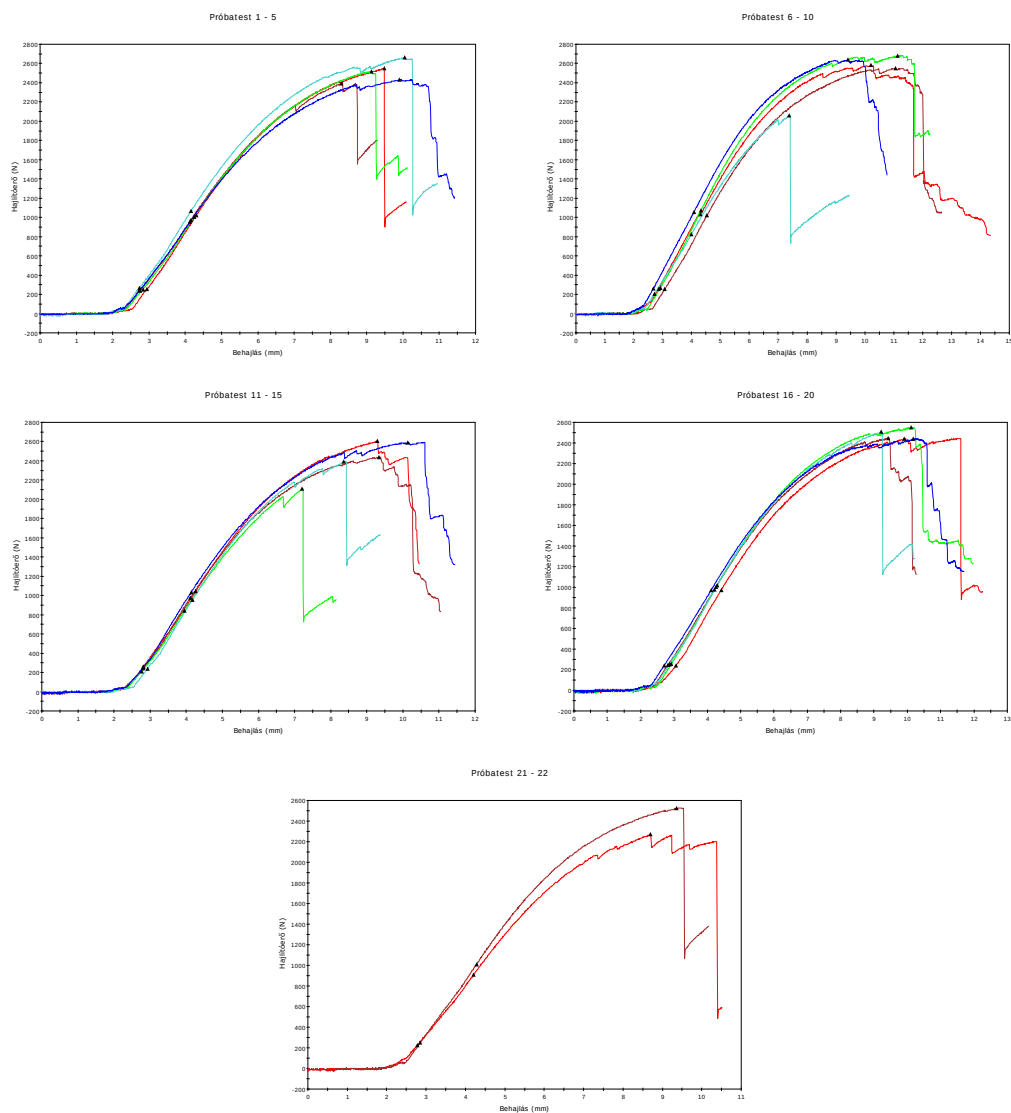
40. ábra 24622-es (kíméletesen gőzölt) kőris próbatestek törésképei



41. ábra 22822-es (kíméletesen gőzölt) kőris próbatestek törésképei



42. ábra 3022-es (kiméletesen gőzölt) lucfenyő próbatetek törésképei



43. ábra 8622-es (kiméletesen gőzölt) bükk próbatetek törésképei