

A FAANYAG MECHANIKAI TULAJDONSÁGAINAK VÁLTOZÁSA ELTÉRŐ NEDVESSÉGTARTALOM MELLETT

THE CHANGES OF MECHANICAL PROPERTIES OF WOOD AT DIFFERENT MOISTURE CONTENT

Vörös Ágnes ^{1*}, Németh Róbert ¹

¹ Faanyagtudományi Intézet, Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi és Művészeti Kar, Soproni Egyetem, Magyarország

Kulcsszavak:

mechanikai tulajdonságok
hajlítószilárdság
húzószilárdság
nyomószilárdság
Brinell-keménység

Keywords:

mechanical properties
bending strength
tensile strength
compression strength
Brinell hardness

Cikktörténet:

Beérkezett 2019. június 23.
Átdolgozva 2019. június 25.
Elfogadva 2019. október 15.

A cikk hat hazai, ipari szempontból jelentős fafaj, fehér akác (Robinia pseudocacia), kocsánytalan tölgy (Quercus petrea), közönséges bükk (Fagus sylvatica), nemes nyár (Populus x euramericana), lucfenyő (Picea abies) és vörösfenyő (Larix decidua) húzó-, hajlító-, nyomószilárdság- és Brinell-Mörath keménység változását hivatott vizsgálni eltérő nedvességtartalmak mellett.

Abstract

The purpose of the article is, to review changes in tensile strength, compression strength, bending strength, Brinell-Mörath hardness at different moisture content of Robinia pseudocacia, Quercus petrea, Fagus sylvatica, Populus, Picea abies and Larix decidua.

1. Bevezetés

A faanyag fizikai-mechanikai tulajdonságai, teherbírása, így felhasználhatósága is több tényező együttes hatásának eredménye. Az évgűrűszerkezet, az ebből fakadó inhomogén felépítés, az ortogonális anizotrópia, a porózus tulajdonság, az adott fafajra jellemző, eltérő sejtszerkezet, a faanyag nedvességtartalma, az esetlegesen előforduló fahibák mind-mind nagy jelentőséggel, befolyásoló szereppel bírnak, amit nem szabad figyelmen kívül hagyni[2].

* Kapcsolattartó Vörös Ágnes. Tel.: +36-70/6732-344; fax: -
E-mail cím: voros.agnes@phd.uni-sopron.hu

2. Kutatási anyagok és módszerek

2.1. Kutatási anyagok

A kutatás során arra törekedtünk, hogy a hazai ipar szempontjából jelentős, lombos fafajok kerüljenek kiválasztásra, így fehér akáccal (*Robinia pseudocacia*), kocsányos tölgyel (*Quercus robur*), közönséges bükkal (*Fagus sylvatica*) és nemes nyárral (*Pupulus*) dolgoztunk. A fafajok meghatározásánál fontos szempont volt a sűrűség, porozitás, mint a mechanikai tulajdonságokkal legegységesebben kapcsolatba hozható fizikai anyagjellemző, így az alábbiakat választottuk:

- magas sűrűségűek ($700 \text{ kg/m}^3 <$): fehér akác, közönséges bükk
- közepes sűrűségű ($550\text{-}700 \text{ kg/m}^3$): kocsányos tölgy
- alacsony sűrűségű ($550 \text{ kg/m}^3 >$): nemes nyár[2]

A faanyagok meghatározásában további fontos kritériumot képzett, hogy legyen köztük szórtlikacsú (közönséges bükk, nemes nyár) és gyűrűs likacsú (kocsányos tölgy, fehér akác) is.

A méréstorzító tényezők kiküszöbölése érdekében kizárólag hibamentes, azonos szálirányú, ezáltal homogénebb szerkezetű mintát vizsgáltunk.

A méréseket megelőzően az adott vizsgálat szabványában előírt próbatestek kerültek kialakításra, melyeket két csoportra osztottunk, mindkét csoportba azonos mennyiségű próbatest került. Az első csoportot klímaszekrénybe ($20 \text{ }^\circ\text{C}$, 65 \% relatív páratartalom) helyeztük tömegállandóságig, hogy nedvességtartalmuk 12 \% (légszáraz) legyen a vizsgálatok elvégzésekor. A másik csoportot rosttelítettségi tartomány ($\approx 30\%$, fafajonként elértő) feletti nedvességtartalomig áztattuk. Utóbbi tartományban a mechanikai tulajdonságok nem változnak tovább, értékük a nedvességtartalom emelkedése mellett közel azonos.

2.2. Kutatási módszerek

A kutatási módszerek kiválasztásánál a leggyakrabban használt, szabványos kutatási módszereket preferáltuk: húzó-, hajlító- és nyomószilárdságot vizsgáltunk, valamint a Brinell-Mörath keménységet. A cél ezen értékek egymástól való függésének meghatározása, számszerűsítése volt.

2.2.1. Húzószilárdság jelentősége, meghatározása

Húzószilárdságon a fának a húzással szemben kifejtett ellenállását értjük [3]. A faiparban inkább technológiai, mintsem szerkezeti jelentőséggel bíró mechanikai tulajdonság, furnérgyártásban, forgácslapok gyártásánál jut nagyobb szerephez. A terhelés irányultsága meghatározó: a fa rostokkal párhuzamosan jóval ellenállóbb húzásra, mint rostokra merőlegesen. Ez főként anatómiai tényezőkre vezethető vissza: a mikrofibrillák lefutása a sejtfal S2 rétegében, vagyis a rostlefutási szög (MFA), az évgyűrűszerkezet, valamint a faanyagok rostos felépítése. Gyakoribb az anyag rostokkal párhuzamosan történő vizsgálata [2].

A húzószilárdság értékét a legnagyobb mért terhelés és a próbatest keresztmetszeti területének hányadosa adja:

$$\sigma = \frac{F_{max}}{A} \text{ (MPa)} \quad (1)$$

ahol:

σ	– húzószilárdság	(MPa)
F_{max}	– legnagyobb központos húzóerő	(N)
A	– húzásra igénybevett keresztmetszet területe	(mm ²)

A maximálisan elért húzóerő mértékén túl következtethetünk a faanyag minőségére abból is, hogy próbatest milyen törésképet mutat a vizsgálat után.

A próbatestek az ISO13061-6 szabványban leírtaknak megfelelően lettek kialakítva: $20 \times 20 \times 300 \text{ mm}$ befoglaló méretűek.[7]

2.2.1. Hajlítoszilárdság jelentősége, meghatározása

A bútoriparban illetve az építőiparban kiemelkedő szerepű szilárdságtípus, gondoljunk csak a gerendákra, vagy a 14-es számú Thonet székre. Faanyagnál hárompontos terhelési séma esetén értékét a Navier-egyenlet Tanaka által korrigált formájával számítjuk [1]:

$$\sigma = \frac{F_{max}}{A} \text{ (MPa)} \quad (2)$$

ahol:

σ	– nyomószilárdság	(MPa)
F_{max}	– legnagyobb terhelőerő	(N)
A	– nyomásra igénybevett keresztmetszet területe	(mm ²)

A vizsgálatra vonatkozó szabványt (ISO13061-3) figyelembe vettük a vizsgálatok elvégzése során [6].

2.2.2. Nyomószilárdság keménység jelentősége, meghatározása

A fának a rostokkal párhuzamosan vagy azokra merőleges irányban történő terheléssel szemben kifejtett ellenállását nevezzük nyomószilárdságnak. Mivel faszerkezetekben és számos fatermékekben is gyakran fellépnek nyomóigénybevételek, e mechanikai tulajdonság jelentősége sem elhanyagolható.

A nyomószilárdság mértékét a legnagyobb terhelő erő és a nyomással terhelt felület hányadosa adja:

$$\sigma = \frac{F_{max}}{A} \text{ (MPa)} \quad (3)$$

ahol:

σ	– nyomószilárdság	(MPa)
F_{max}	– legnagyobb terhelőerő	(N)
A	– nyomásra igénybevett keresztmetszet területe	(mm ²)

Vizsgálataink során a rostokkal párhuzamos irányú nyomószilárdságot vizsgáltuk az ISO13061-17 szabványban leírtaknak megfelelően [8].

2.2.3. Brinell-Mörath keménység jelentősége, meghatározása

Keménység alatt gyakorlati értelemben az anyagnak azt az ellenállását nevezzük, amelyet az anyag a szerszám behatolása ellen kifejt. Brinell a keménységet a golyót terhelő erő és az acélgolyó által benyomott felület hányadosaként fejezte ki, a vizsgálatához 10 mm átmérőjű golyót használt, mint nyomótestet. Mörath módosítási javaslatára, az MSZ6786/11-82 szabvány szerint az igen kemény fafajokat 100 N, a közép kemény fákat 500 N, a nagyon puha fákat pedig 100 N terhelésnek tesszük ki [4][5][9].

A benyomódási mélység az alábbi képlettel számítható (1):

$$h = \frac{D - \sqrt{D^2 - d^2}}{2} \text{ (mm)} \quad (4)$$

ahol:

h	- benyomódás mélysége	(mm)
d	- golyó benyomódásából keletkező gömbsüveg átmérője	(mm)
D	- golyó átmérője	(mm)

Ez alapján a Brinell-féle keménység (2):

$$H_B = \frac{F}{D\pi h} = \frac{2F}{D\pi(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (5)$$

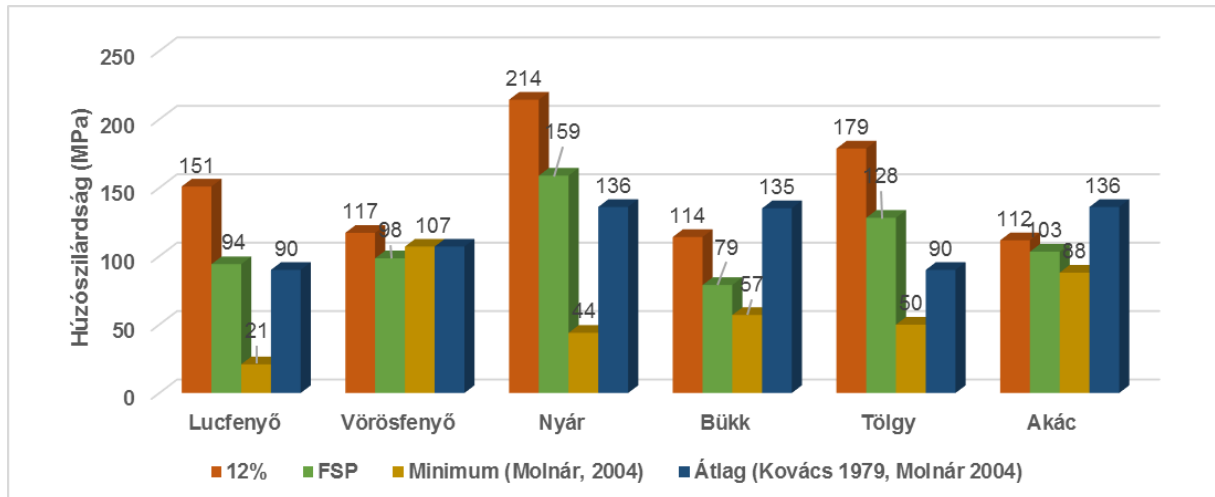
ahol:

H_B	- Brinell-féle keménység	(N/mm ²)
F	- terhelőerő	(N)
D	- golyó átmérője	(mm)
h	- benyomódás mélysége	(mm)

3. Eredmények

3.1. Húzószilárdság

A szabványos vizsgálatok elvégzése után húzásra az 1. ábrán megjelenített átlagértékeket kaptuk (világos zöld: rosttelítettségi határ feletti, sötét zöld: légszáraz állapotú). A látványosabb összehasonlíthatóság érdekében Molnár S. (2004) és Kovács I. (1979) munkáiból származó, 12%-os nedvességtartalomra vonatkozó minimumértékeket (sárga) és átlagokat (kék) külön oszlopok formájában jelenítettük meg.



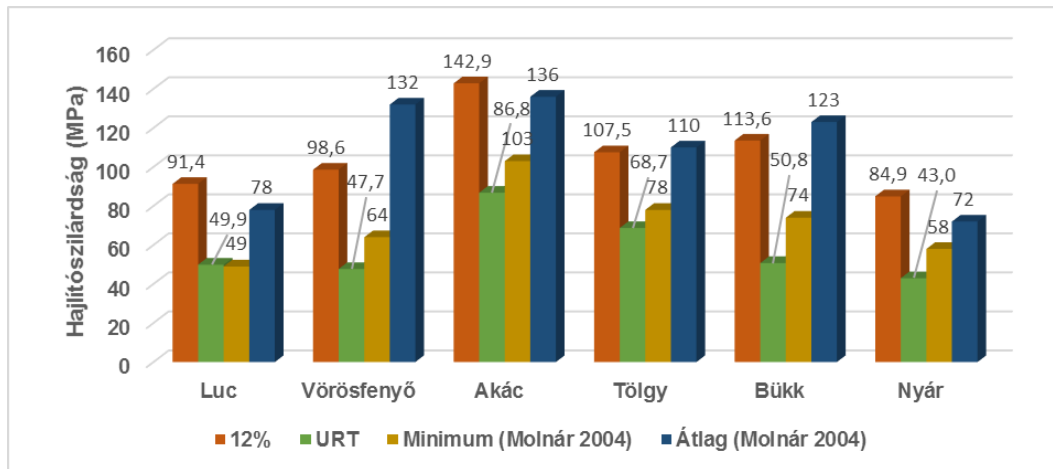
1. ábra. A húzószilárdság változása a nedvességtartalom függvényében lucfenyő, vörösfenyő, akác, tölgy, bükk és nyár fafajok esetén

Ahogy az 1. ábrán is jól kivehető, az általunk 12%-os nedvességtartalmon mért húzószilárdsági értékek a tölgy és a nyár kivételével jócskán meghaladják az átlagos értékeket. A Molnár S. (2004) által megadott maximális értékek figyelembe vételével azonban ezen kiugrások sem nevezhetők egyedülállóknak, lucnál akár 245, büknél és tölgnél 180 MPa-t is elérhet a húzószilárdság értéke. Akácra a szerző maximális értéknek ugyan „csak” 184 MPa-t ír, ez a 16%-os különbség sem tekinthető szignifikáns eltérésnek, hiszen a faanyagok fajon belül is eltérő szövetszerkezetükből adódóan más-más mechanikai-fizikai tulajdonságokkal bírhatnak. Ez a jelenség - sok egyéb más mellett - az ökológiai-, erdőművelési-, anyagösszetételi-, növekedési tényezőktől, törzsön belüli elhelyezkedéstől is függ.

A nedvességtartalom növekedés hatására bekövetkezett szilárdságcsökkenés lucfenyőnél 56,8 MPa (38%), vörösfenyőnél 18,6 MPa (16%), akácnál 55,5 MPa (26%), tölgnél 35,1 MPa (31%), büknél 50,6 MPa (28%), nyárnál 8,3 MPa (7%). Meg kell említenünk, hogy az adatok relatív szórása rosttelítettségi határ felett ugyan nem jelentősen, de mindegyik fafajnál magasabb értéket mutatott (~31%), mint légszáraz állapotban (~26%).

3.2. Hajlítószilárdság

A hajlítószilárdság értékei a 2. ábrán látható módon változtak.



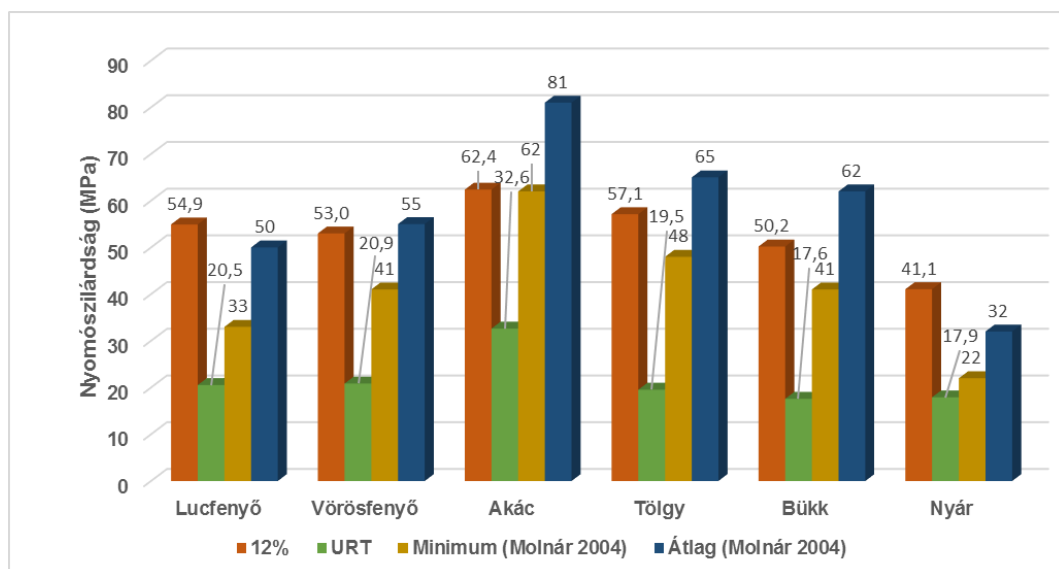
2. ábra. A hajlítószilárdság változása a nedvességtartalom függvényében lucfenyő, vörösfenyő, akác, tölgy, bükk és nyár fafajok esetén

A különböző fafajok esetében igen eltérő a szilárdságcsökkenés mértéke: lucfenyőnél 41,4 MPa (45%), vörösfenyőnél közel 51 MPa (52%), akác esetén 56,1 MPa (39%), tölgnél 38,8 (36%), bükknél 62,8 MPa (55%), nyárnál pedig 42 MPa (49%).

Ami az irodalmi értékekkel való összehasonlítást illeti, a lucfenyő, az akác és a nyár fafajok meghaladták az átlagértéket, Molnár S. (2004) által lucfenyőre írt 136 MPa, akác esetén 169 MPa-t viszont még nem érték el. A többi faj – ha nem is jelentősen- alatta maradt ugyan az átlagnak, de a minimum irodalmi értéknél jócskán magasabb lett. Az okok ebben az esetben is főként a fafajok, közti különbségekben illetve az anatómiában keresendők, de természetesen okozhatja a származási hely illetve a termőhelyi adottságok is.

3.3. Nyomószilárdság

Nyomószilárdsági vizsgálatra kapott eredményeinket, összehasonlító irodalmi értékeket az 3. ábra szemlélteti.

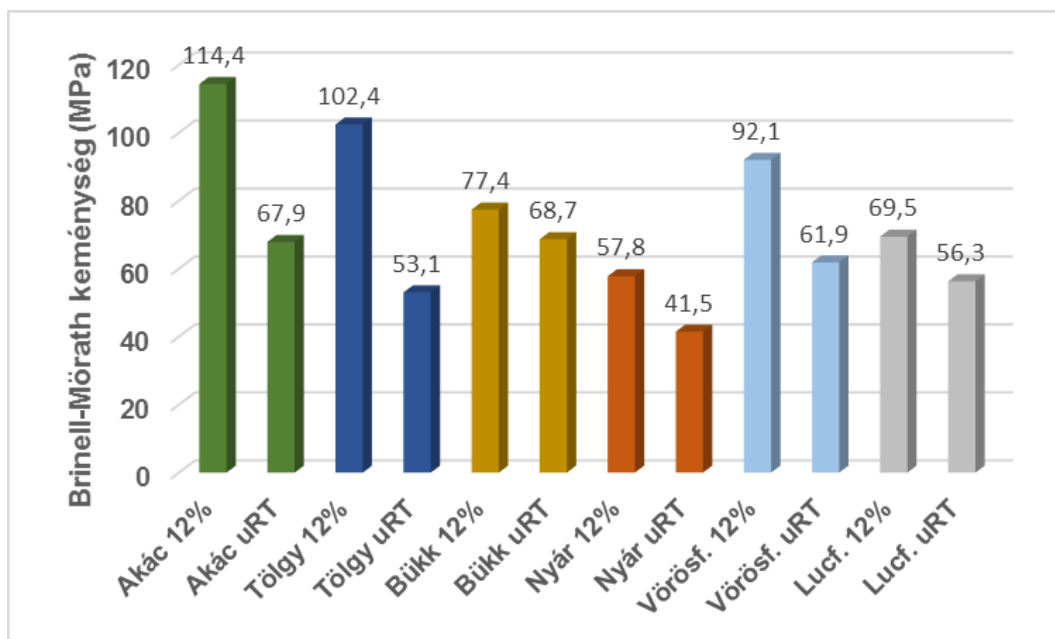


3. ábra. A nyomószilárdság változása a nedvességtartalom függvényében lucfenyő, vörösfenyő, akác, tölgy, bükk és nyár fafajok esetén

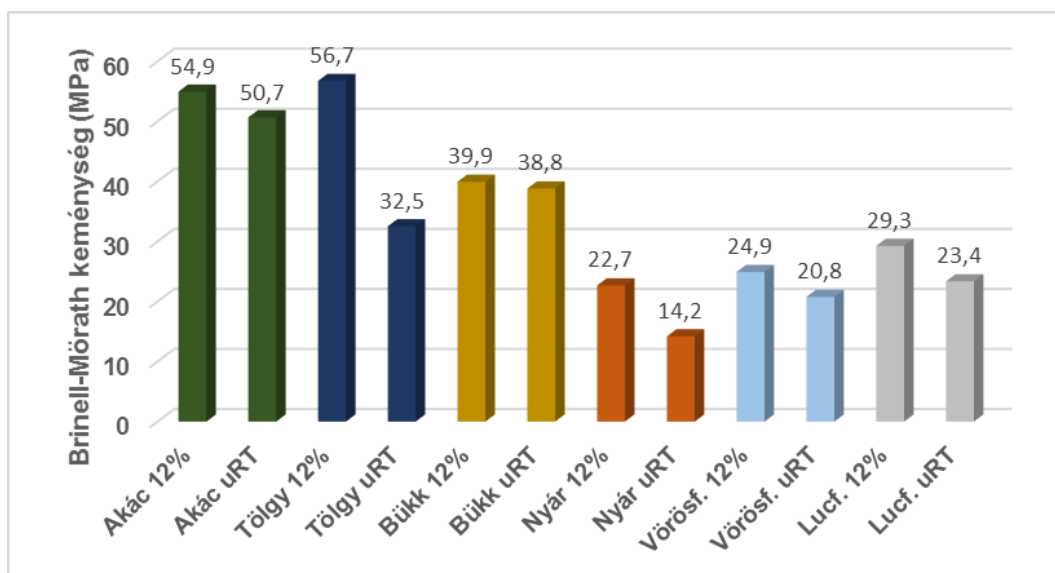
A nyomószilárdság átlagosan 60% csökkenést mutatott a vizsgált eltérő nedvességtartalmak mellett. Értékeiket tekintve a lucfenyőből és nyárból készült próbatestek nyomószilárdsága meghaladja az átlagot, a többi fafajé alatta marad. Ennek ellenére itt sem beszélhetünk jelentős eltérésekről, hiszen a minimum irodalmi értéket (Molnár S., 2004) minden esetben elérték a mintáink.

3.4. Brinell-Mörath keménység

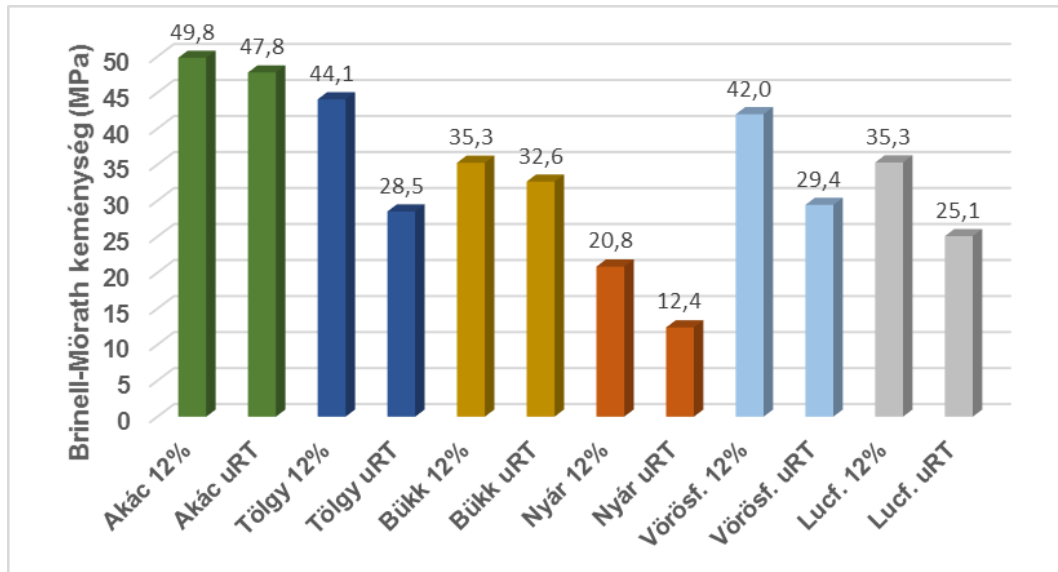
A keménység értékeit mindhárom anatómiai irányban megvizsgáltuk, ezeket mutatják be a 4-6. ábrák.



4. ábra. A Brinell-Mörath keménység változása a nedvességtartalom függvényében lucfenyő, vörösfenyő, akác, tölgy, bükk és nyár fafajok esetén rostirányban



5. ábra. A Brinell-Mörath keménység változása a nedvességtartalom függvényében lucfenyő, vörösfenyő, akác, tölgy, bükk és nyár fafajok esetén húrirányban



6. ábra. A Brinell-Möörath keménység változása a nedvességtartalom függvényében lucfenyő, vörösfenyő, akác, tölgy, bükk és nyár fafajok esetén sugárirányban

A számos adat könnyebb összehasonlíthatósága érdekében a keménységcsökkenés mértékét táblázat formájában ismertetjük (1. táblázat):

1. Táblázat. A Brinell-Möörath keménység csökkenése a különböző anatómiai irányokban légszáraz nedvességtartalomról rosttelítettségi tartomány fölé lucfenyő, vörösfenyő, akác, tölgy, bükk és nyár fafajok esetén

	Akác	Tölgy	Bükk	Nyár	Vörösfenyő	Lucfenyő
Rostirány	-41%	-48%	-11%	-28%	-33%	-19%
Sugárirány	-4%	-35%	-7%	-41%	-30%	-29%
Húrirány	-8%	-43%	-3%	-37%	-17%	-20%

Ahogy látható, a különböző fafajok anatómiai irányonként vett keménységcsökkenése egészen eltérő. Gyűrűslikacsúak esetén (akác, tölgy) rostirányban következett be a legjelentősebb változás, a sugár- és húrirányú változás mértéke nagyságrendileg megegyezik, de míg akác esetén ez 10 % alatt marad, tölgynél 35-43%-ot jelent, ami a rostirányú szilárdságcsökkenés közel $\frac{3}{4}$ része ill. 90%-a. Ha a szórt likacsúakat tekintjük, bükknél a többi fafajhoz képest nagyon alacsony a csökkenés mértéke. Nyárnál viszont meglepő eredményt tapasztalhatunk: a sugárirányú szilárdságcsökkenés mértéke meghaladja a rostirányút. A nyár és a tölgy ily jelentős szilárdságcsökkenésére anatómiai sajátosságaik adhatnak magyarázatot: míg a tölgyben nagyméretű üregek vannak, a nyárban pedig (tölgyhöz mérten kisebb, szórtlikacsúakhoz képest nagyobb méretű) több, térfogatarányának mintegy fele mennyiségű edényt találhatunk, ezért e fafajok arányaikban jóval több vizet képesek magukba szívni. Túlevelű fafajokat vizsgálva megállapítható, hogy a lucfenyő hasonló tendenciát mutat mint a nyár. Sugárirányú keménységcsökkenése számottevő a másik két irányhoz képest, melyek -eltérően a nyárétól- közel azonos nagyságúak. Vörösfenyőnél a sugárirányú keménységcsökkenés megközelíti a rostirányút, a húrirányú viszont jelentősen elmarad az előbbiektől.

4. Következtetések

Összegzőképpen elmondható, hogy a vizsgálat során kapott légszáraz adatok jól közelítik a szakirodalmi értékeket, igazolva ezzel a mérési metódusaink helyességét. Feltétlenül szükséges, hogy más nedvességtartalmak, pl. rosttelítettségi tartomány felett is elvégezzük ugyanezeket a vizsgálatokat, s a kapott adatok összehasonlíthatók legyenek. Hogy átfogóbb képet kaphassunk a különböző szilárdságtípusok egymással való (matematikai) kapcsolatáról, további nedvességtartalmak mellett elvégzett kutatási adatokra lenne szükség.

Köszönetnyilvánítás

A kutatás az Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-18-3-I kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának támogatásával készült.



Irodalomjegyzék

- [1] Kovács I. (1979): Faanyagismeret. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- [2] Molnár S. (2004): Faanyagismeret. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest
- [3] Molnár S., Farkas P., Börcsök Z., Zoltán Gy. (2016): Földünk ipari fáit. Erfaret, Sopron. p. 28
- [4] Vörös Á., Prof. Dr. Németh R. (2018): A faiparban használt keménységvizsgálati eljárások történeti fejlődése 1. – Statikus keménységvizsgálati eljárások 1915-ig. Gradus, Kecskemét. VOL 5, No1 pp 113-120
- [5] Vörös Á., Prof. Dr. Németh R. (2018): A faiparban használt keménységvizsgálati eljárások történeti fejlődése 2. – Statikus keménységvizsgálati eljárások 1915-1950. Gradus, Kecskemét. VOL 5, No 2 pp. 178-187
- [6] ISO13061-3
- [7] ISO13061-6
- [8] ISO13061-17
- [9] MSZ6786/11-82