

# A FAANYAG MECHANIKAI TULAJDONSÁGAINAK VÁLTOZÁSA ELTÉRŐ NEDVESSÉGTARTALMAK MELLETT

## THE CHANGES OF MECHANICAL PROPERTIES OF WOOD AT DIFFERENT MOISTURE CONTENT

Vörös Ágnes <sup>1\*</sup>, Prof. Dr. Németh Róbert <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Faanyagtudományi Intézet, Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi és Művészeti Kar, Soproni Egyetem, Magyarország

<https://doi.org/10.47833/2021.1.ENG.010>

---

### **Kulcsszavak:**

mechanikai tulajdonságok  
hajlítószilárdság  
húzószilárdság  
nyomószilárdság  
Brinell-keménység

### **Keywords:**

mechanical properties  
bending strength  
tensile strength  
compression strength  
Brinell hardness

### **Cikktörténet:**

Beérkezett 2020. július. 22.  
Átdolgozva 2021. április 5.  
Elfogadva 2021. április 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. A nedvességtartalom hatása a mechanikai tulajdonságokra

Az élő fa működése szempontjából a szabad víznek van nagyobb jelentősége, míg – műszaki, szilárdságtani tulajdonságokra gyakorolt hatásából kifolyólag – a kötött víz a használhatóságot befolyásolja jobban. Körülbelül 6% nedvességtartalomtól a rosttelítettségi állapotig ez a szilárdságcsökkenés közel lineárisnak tekinthető. Ebben a tartományban. Az 1 % nettó nedvességtartalom-változásra jutó szilárdságváltozást az  $\alpha$  átszámítási tényező fejezi ki, értékei a különböző szilárdságtípusok esetében az alábbiak szerint módosulnak (1. táblázat):

1. Táblázat. Az  $\alpha$  átszámítási tényező értékei a különböző szilárdságtípusok

Szilárdságtípus	$\alpha$ átszámítási tényező értéke
nyomószilárdság - rostirányban	0,04
hajlító szilárdság	0,04
húzószilárdság	0,03

A szilárdsági vizsgálatok elvégzésének nemzetközi megállapodás szerinti paraméterei: 20 °C hőmérséklet, 65% légnedvesség, és 12 % fanedvesség. Amennyiben ettől eltérő nedvességtartalmú próbatesteken kívánunk mérést elvégezni, rosttelítettségi tartomány alatti nedvességtartalom esetében a szilárdságváltozás a következőképpen számítható át:

$$\sigma_{12} = \sigma_u \cdot (1 + \alpha \cdot (u - 12)) \quad (\text{MPa}) \quad (1)$$

ahol:

$\sigma_{12}$	- 12 %-os nedvességtartalomhoz tartozó szilárdság értéke	(MPa)
$\sigma_u$	- u nedvességtartalomhoz tartozó szilárdság értéke	(MPa)
u	- próbatest nedvességtartalma	(%)
$\alpha$	- átszámítási tényező	

A fenti egyenletet általános alakban felírva azt kapjuk, hogy a szilárdságcsökkenés felfogható a kezdeti szilárdság értékének és a határfeszültség csökkentő tényezőnek a szorzataként is. A határfeszültség csökkentő tényezőt 12-30 %-os tartományon belül értelmezzük. Ebből következik, hogy az (1) egyenlet is csak e tartományon érvényes [4].

## 3. Kutatási anyagok és módszerek

### 3.1. 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 kg/m<sup>3</sup> <): fehér akác, közönséges bükk
- közepes sűrűségű (550-700 kg/m<sup>3</sup>): kocsányos tölgy
- alacsony sűrűségű (550 kg/m<sup>3</sup> >): 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 szá irányú, ezáltal homogénebb szerkezetű mintát vizsgáltunk.

A méréseket megelőzően az adott vizsgálat szabványában előírt próbatestek lettek kialakítva, melyeket két csoportra osztottunk, mindkét csoportba azonos mennyiségű próbatest került. A két csoportot klímaszekrényekbe helyeztük tömegállandóságig, így biztosítva a kívánt 6 %-os, illetve 20 %-os nedvességtartalmat.

### 3.2. 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.

#### 3.2.1. 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 évgűrűszerkezet, 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:

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

ahol:

$\sigma$  – húzószilárdság (MPa)  
 $F_{max}$  – legnagyobb központos húzóerő (N)  
 $A$  – húzásra igénybevett keresztmetszet területe (mm<sup>2</sup>)

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 x 20 x 300 mm befoglaló méretűek.[8]

#### 3.2.1. Hajlítószilárdság jelentősége, meghatározása

A bútortiparban 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 korigált formájával számítjuk [1]:

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

ahol:

$\sigma$  – nyomószilárdság (MPa)  
 $F_{max}$  – legnagyobb terhelőerő (N)  
 $A$  – nyomásra igénybevett keresztmetszet területe (mm<sup>2</sup>)

A vizsgálatra vonatkozó szabványt (ISO13061-3) figyelembe vettük a vizsgálatok elvégzése során [7].

#### 3.2.2. 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:

$$\sigma = \frac{F_{max}}{A} \text{ (MPa)} \quad (4)$$

ahol:

$\sigma$	– nyomószilárdság	(MPa)
$F_{max}$	– legnagyobb terhelőerő	(N)
$A$	– nyomásra igénybevett keresztmetszet területe	(mm <sup>2</sup> )

Vizsgálataink során a rostokkal párhuzamos irányú nyomószilárdságot vizsgáltuk az ISO13061-17 szabványban leírtaknak megfelelően [9].

### 3.2.3. 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 vizsgálathoz 10 mm átmérőjű golyót használt, mint nyomótestet. Mörath módosítási javaslatára, az MSZ6786/11-82 szabvány szerint az igen kemény fafajokat 100 N, a középkemény fákat 500 N, a nagyon puha fákat pedig 100 N terhelésnek tesszük ki [4][6][10].

A benyomódási mélység az alábbi képlettel számítható (1):

$$h = \frac{D - \sqrt{D^2 - d^2}}{2} \text{ (mm)} \quad (5)$$

ahol:

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

Ez alapján a Brinell-féle keménység (2):

$$H_B = \frac{F}{D\pi h} = \frac{2F}{D\pi(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (6)$$

ahol:

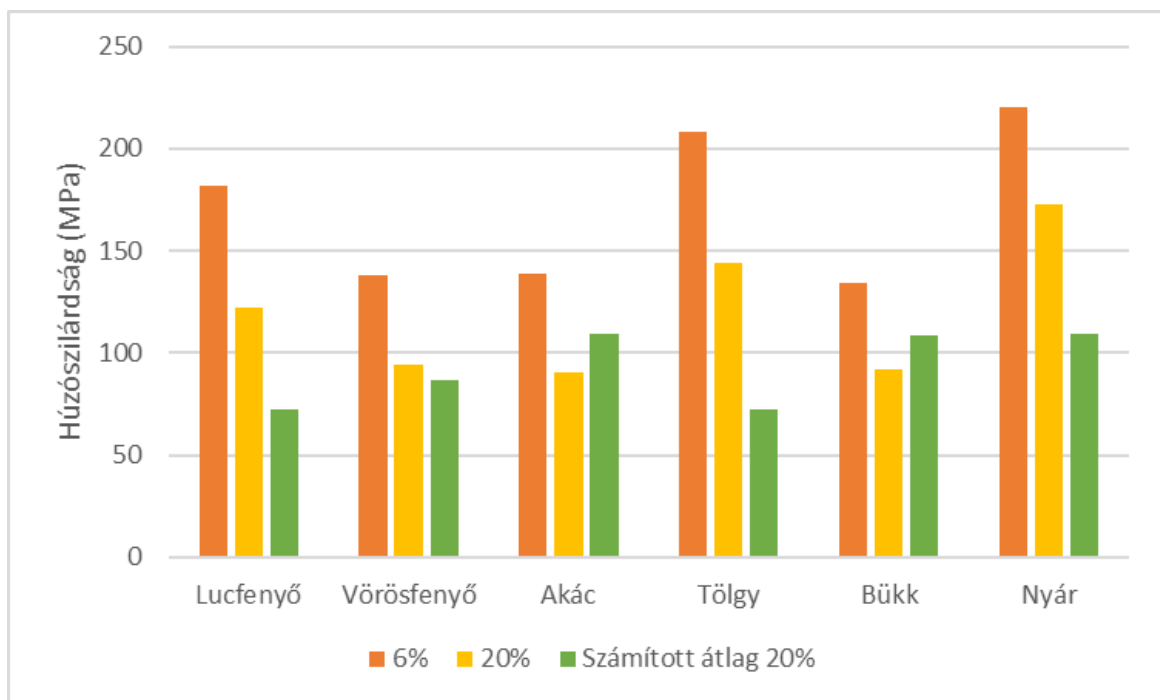
$H_B$	- Brinell-féle keménység	(N/mm <sup>2</sup> )
$F$	- terhelőerő	(N)
$D$	- golyó átmérője	(mm)
$h$	- benyomódás mélysége	(mm)

## 4. Eredmények

A szabványos vizsgálatok elvégzése után a későbbiekben megjelenített átlagértékeket kaptuk:  
 Narancssárga - 6% nedvességtartalom mellett mért értékek  
 Citromsárga - 20% nedvességtartalom mellett mért értékek  
 Világos zöld - légszáraz állapotú, 12%-os nedvességtartalmú mintákra vonatkoztatott átlagos irodalmi értékből az 1. táblázat és az 1. képlet alapján 20%-os nedvességtartalomra átszámított átlagos értékek.

Az eredeti irodalmi adatok Molnár S. (2004) és Kovács I. (1979) munkáiból származnak.

### 4.1. Húzószilárdság



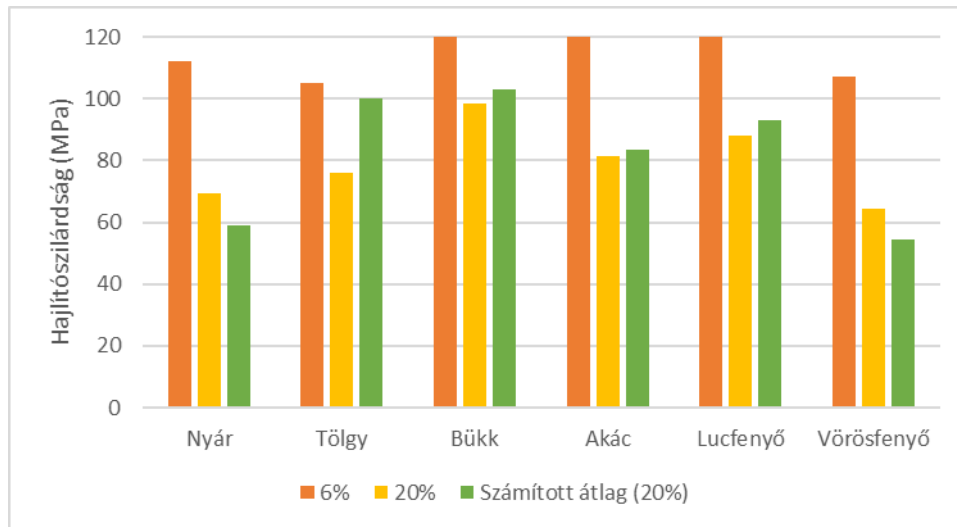
1. ábra. A húzószilárdság változása a nedvességtartalom függvényében lucfenyő, vörösfenyő, akác, tölgy, bükk és nyár fafajok esetén

Ahogy az 1. ábrán is jól kivehető, az általunk 20 %-os nedvességtartalmon mért húzószilárdsági értékek az akác és a bükk kivételével jócskán meghaladják az átlagos értékeket. A különbség azonban nem 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 60,2 MPa (33%), vörösfenyőnél 43,6 MPa (32%), akácnál 48,7 MPa (35%), tölgnél 63,1 MPa (31%), bükknél 42 MPa (31%), nyárnál 47,4 MPa (22%).

## 4.2. Hajlító szilárdság

A hajlítószilárdság értékei a 2. ábrán látható módon változtak.



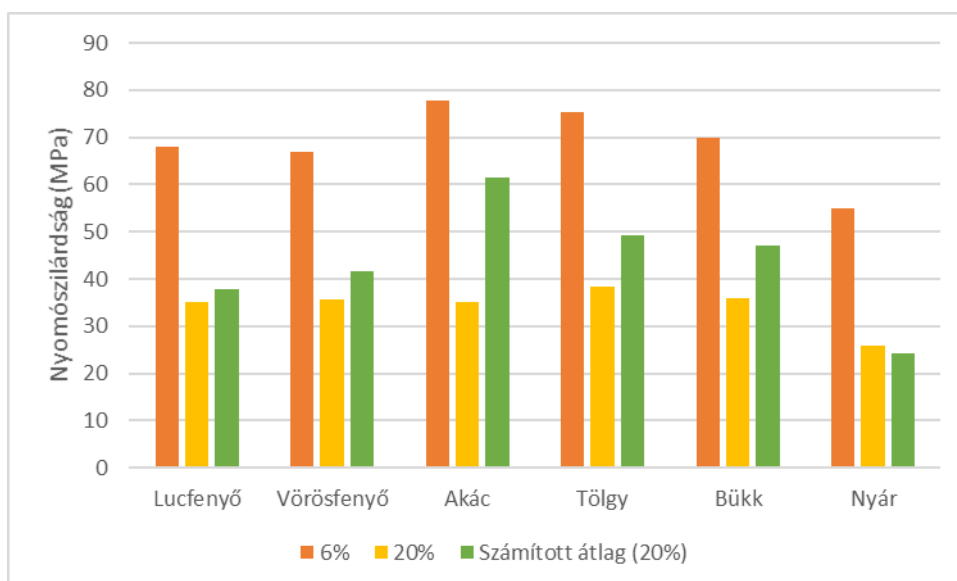
2. ábra. A hajlítószilárdság változása a nedvességtartalom függvényében lucfenyő, vörösfenyő, akác, tölgy, bükk és nyár fafajok esetén

A különböző fafajok esetében igen eltérő a szilárdságcsökkenés mértéke: lucfenyőnél 47 MPa (35%), vörösfenyőnél 43 MPa (40%), akác esetén 42 MPa (34%), tölgnél 29 MPa (28%), bükknél 69 MPa (41%), nyárnál pedig 43 MPa (38%).

Ami az irodalmi értékekkel való összehasonlítást illeti a nyár és vörösfenyő fafajok meghaladták az átlagértéket. A többi fafaj – 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.

## 4.3. Nyomószilárdság

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

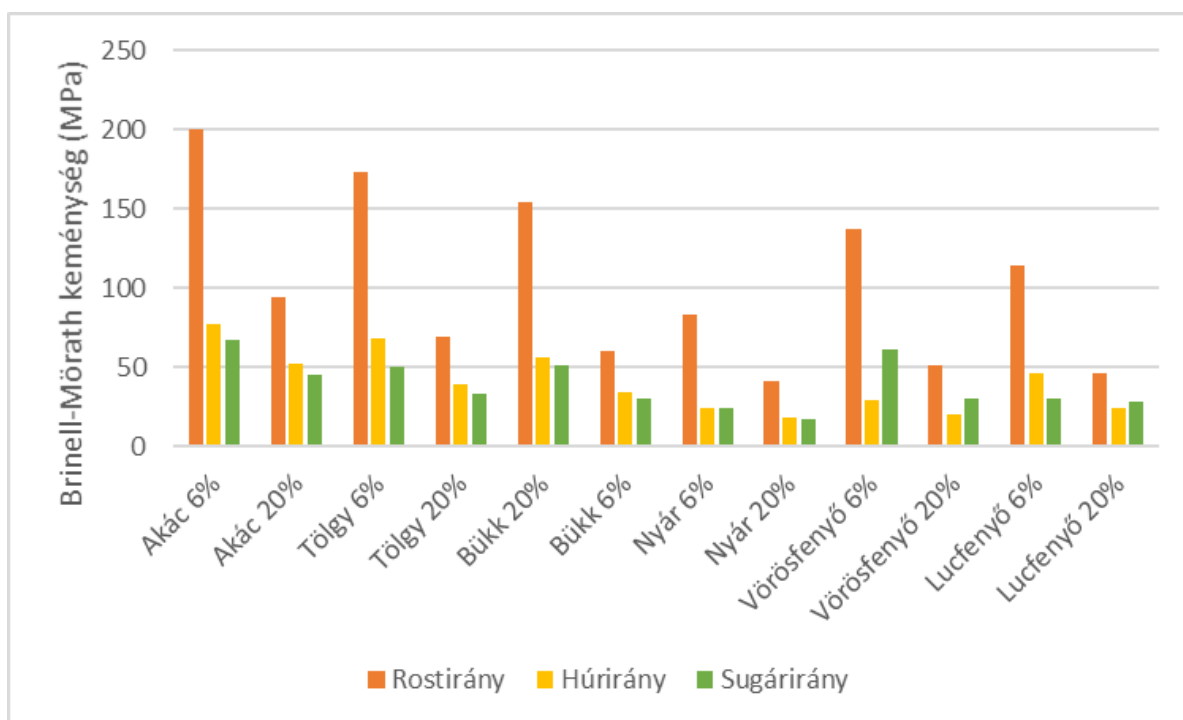


3. ábra. A nyomószilárdság változása a nedvességtartalom függvényében lucfenyő, vörösfenyő, akác, tölgy, bükk és nyár fafajok esetén

A nyomószilárdság átlagosan 50 % csökkenést mutatott a vizsgált eltérő nedvességtartalmak mellett. Értékeiket tekintve egyedül a nyárból készült próbatestek nyomószilárdsága haladja meg az átlagot, a többi fafajé alatta marad. Ennek ellenére itt sem beszélhetünk jelentős eltérésről.

#### 4.4. Brinell-Mörath keménység

A keménység értékeit mindhárom anatómiai irányban megvizsgáltuk, ezeket mutatják be a 4. ábra:



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

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

1. Táblázat. A Brinell-Mörath 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	53%	60%	61%	50%	62%	58%
Sugárirány	36%	55%	39%	25%	32%	47%
Húrirány	32%	38%	40%	30%	50%	5%

Ahogy látható, a különböző fafajok anatómiai irányonként vett keménységcsökkenése egészen eltérő. Míg rostirányban jellemzően 50-60%-os szilárdságcsökkenést tapasztalhatunk, sugár- és húrirányban jelentős különbségek mutatkoztak. Akác és nyár esetén 30 % körüli szilárdságcsökkenést tapasztalhattunk mindkét irányban, bükknél ugyanez már közel 40% volt. Tölgynél a sugárirányú szilárdságcsökkenés mértéke a húrirányénak majd' másfélszerese (55%) volt. Vörösfenyőnél hasonló volt az arány, de húrirányban mutatkozott nagyobb értékcsökkenés.

Lucfenyő esetén egészen tangenciálisan alacsony, mindössze 5%-os volt a csökkenés mértéke, míg radiális irányban közel felére csökkent a nedvességtartalom növekedésével.

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.

Összegzésképpen elmondható, hogy a vizsgálat során kapott adatok jól közelítik a szakirodalmi értékeket, igazolva ezzel a mérési metódusaink helyességét. Feltétlenül szükséges, hogy más nedvességtartalmak mellett 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-19-3-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  
ISBN 963 9553 17 4
- [3] Molnár S., Farkas P., Börcsök Z., Zoltán Gy. (2016): Földünk ipari fái. Erfaret, Sopron. p. 28  
ISBN 978-963-12-5239-2
- [4] Sitkei Gy. (1994): A faipari műveletek elmélete. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Bp.; pp. 21-25., 105-106, 109, 211-213
- [5] 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
- [6] 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
- [7] ISO13061-3
- [8] ISO13061-6
- [9] ISO13061-17
- [10] MSZ6786/11-82