

Tudományos Diákköri Dolgozat

**Vörös Ágnes
2012.**

**Nyugat-magyarországi Egyetem
Faipari Mérnöki Kar
Faanyagtudományi Intézet**

**Bükk faanyag különböző keménységének nedvességtartalomtól való
függése**

Készítette:
Vörös Ágnes

Konzulensek:
Ábrahám József
Dr. habil. Németh Róbert

Tartalomjegyzék

1. A kutatás célja, leírása	3
2. A fa-, valamint a fa keménységének szerepe mindennapjainkban	5
3. A fa, mint élő anyag	6
4. Fa és víz kapcsolata	7
5. Nedvességtartalom meghatározása	8
6. Nedvességtartalmi fokozatok	9
7. A faanyag keménysége	11
7.1 A keménységvizsgálati eljárások történeti fejlődése	13
7.2 A statikai keménységvizsgálati eljárások -	15
Brinell—Mörath-féle keménységvizsgálati eljárás	15
8. Mérési módszerek és eszközök:	21
9. Értékelés	24
9.1. Rosttelítettségi határ feletti ($u > 35,6\%$) faanyag keménységének vizsgálata	24
9.2 20 % nedvességtartalmú faanyag keménységének vizsgálata	26
9.3 12 % nedvességtartalmú faanyag keménységének vizsgálata	29
9.4 A nedvességtartalom hatásának értékelése	32
10.Összefoglalás	35
11.Irodalom- és ábrajegyzék:	36

1. A kutatás célja, leírása

A különböző faanyagok keménységét több módszerrel is megállapíthatjuk, ezek közül kettő szabványosított (Brinel-Mörath-féle eljárás valamint a Janka-féle eljárás), egy, a Krippel-Pallay-féle módszer pedig e kettő hibáinak kiküszöbölésére lett létrehozva. Kutatásomhoz - melynek célja a fa nedvességének a keménységgel való összefüggéseinek feltárása –a Brinel – Mörath –féle módszert veszem alapul.

A kísérlet szükségességét alátámasztja, hogy a szakirodalom eddig nem igen tett említést arra vonatkozólag, hogy a faanyagok tulajdonságait mi módon befolyásolja a nedvességtartalom. Ezt lombos faanyagok vizsgálatán keresztül szeretném tanulmányozni és kísérletekkel, számításokkal bizonyítani.

A vizsgálatot a fent említett módszer részletes leírásával, valamint a vizsgálni kívánt faanyagok keménységére vonatkozó adatok – 12 %-os nedvességtartalomra nézve – összegyűjtésével kívántam kezdeni, ezután következik a kísérlet tényleges elvégzése, dokumentálása.

A faanyagok keménységét több víztartalmi fokozatban vizsgáltam, hogy a témában átfogóbb képet kaphassunk.

Ezek:

- 12 % (légszáraz –laborítórium)

A 12 %-os nedvességtartalom a faiparban legáltalánosabban használt nedvességtartalom. Megegyezés szerint minden kísérleti, fizikai eredményt a 12%-os nedvességen mért faanyag tulajdonságainak feleltetünk meg, azzal hasonlítjuk össze.

- 20 % félszáraz – gyakorlati) (félszáraz gyakorlati)

A 20 % nedvességtartalommal rendelkező faanyagokat általában a szabadban tárolt illetve felhasznált bútorok, szerkezetek, alapanyagok alkotják.

- rosttelítettségi határ (35,6 %) felett

A rosttelítettségi határ azt a nedvességtartalmat jelenti (%-ban), amelynek során a faanyagban csak kötött víz van jelen, vagyis a sajtfalak még telítettek, de az edényekből már eltávozott a víz. Rosttelítettségi határon lévő faanyaggal a természetben nem, csak laboratóriumi körülmények között (vagy pl. gőzölés során) találkozhatunk. Ez az a nedvességi tartomány, ahol faanyag nagy mértékben

ki van téve a különböző károsítóknak, ezért célszerű vagy leszáritani 6-12 % alá, vagy az élőnedves tartomány irányába vinni nedvességtartalmat -itt ugyanis könnyebben ellenáll a gomba- és rovarkárosítóknak, amelyek általában a 20-60% nedvességtartalom mellett fejtik ki tevékenységüket. Ezt a faanyagvédelmi módszert a faiparban előszeretettel alkalmazzák a rönktereken locsolás, permetezés formájában.

A vizsgálatban szereplő lombos faanyag:

Bükk – *Fagus sylvatica*

2. A fa-, valamint a fa keménységének szerepe mindennapjainkban

A történelem során a fa, mint alapanyag végigkísérte az emberiséget. Ebből a csodálatos anyagból készítette szerszámain, fegyvereit, használati tárgyait és bútorait. Ez ma sincs másképp. A mai napig a bútór-, az építő-, és a papíripar, valamint a modellezés, sport- és hangszergyártás fő alapanyaga, de használják konyhai eszközök, csomagolóanyagok, díszítőelemek készítéséhez is.

Amikor meghatározzuk, hogy milyen fafajból szeretnénk elkészíteni az adott terméket, figyelembe kell vennünk, hogy az adott fafaj milyen tulajdonságokkal rendelkezik. Minden fafajnak más és más a mikroszkópiai felépítése, ami befolyásolja a makroszkópiai megjelenését, tulajdonságait.

A lombos faanyagokat elkülöníthetjük gyűrűs- és szórt likacsú, továbbá átmeneti kategóriákba. Mindegyik csoporton belül megkülönböztetünk kemény és puha fákat. Ezt kezdetben asztalosmesterek tapasztalatai alapján tudták megtenni, később tudományos kísérleteknek, méréseknek köszönhetően a tudás rendszerezetté vált.

A faanyag megválasztásának egyik döntő kritériuma tehát a szilárdság mellett a keménység. Hiszen amikor egy lépcsőt kívánunk beépíteni, vagy egy szép parkettát rakunk le, azt szeretnénk, hogy az időtálló, tartós és esztétikus maradjon. Amikor azonban rosszul választunk anyagot, előfordulhat, hogy pl. a puha lucfenyőből készült lépcsőn a használat során megfigyelhetővé válnak a cipő sarkai által keletkezett benyomódások. Könnyebben fog kopni és gyorsabban megy tönkre, mintha ugyanazt a lépcsőt például egy keményebb kőrisből készítettük volna el.



1. ábra. Fából készült lépcső

3. A fa, mint élő anyag

Míg a különböző építőanyagok, szerkezeti anyagok merevek, adott tulajdonsággal rendelkeznek, addig a fa „élő” anyag marad. Más szóval különböző hatásokra, mint pl. nedvesség hatására a kivágott anyag is megváltoztatja mind fizikai, mind kémiai tulajdonságait. Ez jelentheti többek között a szilárdságtani jellemzőket (pl. húzó-, nyomó-, hajlító- szilárdság), a zsugorodást, dagadást, a színt, a rovar- illetve gombakárosítókkal szembeni ellenállóságot, valamint az általam vizsgált keménységet is.

A faanyag ortogonálisan anizotróp, vagyis a tér különböző irányában más-más tulajdonságokkal rendelkezik. A fent említett tulajdonságok közül ez pl. a szilárdságtani jellemzőket, illetve a zsugorodást, dagadást érinti. A zsugorodást tekintve ez az arány húr-, sugár- és rostirányban általában a következőképpen módosul:

$$Z_v:Z_h:Z_s:Z_r = 1: 0,63: 0,34 : 0,03$$

Azért fontos minderről tudnunk, mert a faanyagok különböző felhasználása során ezen információk figyelembevétele nélkül a minőség jelentős romlásával, hibákkal és az ezekből származó anyagi kárral, sőt, bizonyos esetekben személyi sérüléssel is számolnunk kell.

A zsugorodás-dagadás példájánál maradva nagyon fontos tényező, hogy az adott faanyagot hova, milyen környezetbe és milyen funkcióra építik be. Figyelembe kell venni a páratartalmat, a hőmérsékletet, a faanyag nedvességtartalmát a beépítéskor, valamint az egyensúlyi nedvességtartalmat ahhoz, hogy pl. egy hosszú távon is szép, jól funkcionáló padlót vagy ajtót kapjunk eredményül.



2.ábra. Zsugorodásból származó hibás termék (repedések, hézagok)

4. Fa és víz kapcsolata

Mivel az élő fák növekedéséhez, életműködéséhez elengedhetetlen a víz, a frissen kitermelt faanyag nedvességtartalma igencsak magas. A fa-víz kapcsolatok ismerete különös jelentőséggel bír

- a szállítás során:

Célszerű minél kisebb tömegű anyagot szállítani, ehhez alacsony nedvességtartalmú faanyagra van szükség.

- a hengeresfa-anyagok átvételénél

- a faanyagok védelménél:

Magas nedvességtartalmú faanyagot kevésbé támadnak meg rovarok.

- szárítás, gőzölés során:

A technológia megtervezéséhez elengedhetetlen a fa-víz kapcsolatok fizikai összefüggéseinek ismerete.

- fafeldolgozási technológiáknál:

A hengeresfa-választékot célszerű a lehető legrövidebb szállítási és raktározási idő mellett feldolgozni, a továbbfeldolgozási technológiák eredményes elvégzéséhez viszont adott nedvességtartalomra van szükség.

- fizikai-mechanikai tulajdonságok esetében, mivel a nedvességtartalom ezeket erőteljesen befolyásolja.

- a faanyag későbbi alkalmazása során. Alapszabály ugyanis, hogy a gyártott fatermék nedvességtartalmának meg kell felelnie a felhasználási környezet várható klímájának, máskülönben a termék alak- és méretváltozást, repedést szenvedhet.



3.ábra. Zsugorodási feszültségek hatására keletkező bélepedések a faanyagon

5. Nedvességtartalom meghatározása

A természetes fa inhomogén, anizotróp kapillár-porózus szilárd test, ezáltal más porózus testekhez hasonlóan a levegőből vizet tud abszorbeálni, és kapilláris rendszerével folyékony vizet és oldatokat is képes szállítani.

A víz a fatestben 2 formában lehet jelen:

- szabad víz formájában: a sejtek makroszkópos pórusaiban (kapillárisaiban)
- kötött vízként: a sejtfalakban molekuláris adszorpció formájában.

A fában található vízmennyiség megállapítására két fogalmat vezettek be:

1. A száraz vagy nettó nedvességtartalom ($u, \%$) szabványosan meghatározható (ISO 3130/1975) a következő összefüggés segítségével:

$$u = \frac{m_n - m_0}{m_0} \times 100 = \frac{m_v}{m_0} \times 100$$

ahol:

m_n – nedves faanyag tömege

m_0 – vízmentes száraz fatest tömege

m_v – a fában található víz tömege.

2. Megkülönböztetünk még bruttó fanedvességet ($u_{br} \%$) is, amelyben a nedvességtartalmat a vizes fa hányadosaként határozzuk meg.

$$u_{br} = \frac{m_n - m_0}{m_n} \times 100 = \frac{m_v}{m_v + m_0} \times 100$$

A két nedvesség kapcsolata:

$$u = \frac{u_{br}}{1 - 0,01 \times u_{br}}$$

$$u_{br} = \frac{u}{1 + 0,01 \times u}$$

6. Nedvességtartalmi fokozatok

A fa nedvességtartalmát tekintve három határértéket és több közbenső fokozatot célszerű megjelölni.

A három határérték:

- Abszolút száraz ($u=0$)
- rosttelítettségi pont (átlagosan=30%)
- abszolút nedves állapot ($u=u_{\max}$)

A víztartalmi fokozatokat együttesen a következő táblázatban kívánom bemutatni:

Megnevezés	Nedvességtartalom (%)
Abszolút száraz	0
Túlszáritott	6
Szobaszáraz	8
Légszáraz (labor)	12
Légszáraz (üzem)	18
Félszáraz	25
Rosttelítettségi állapot	30
Félnedves	50
Élő nedves	fafajtól, és évszaktól függő
Abszolút nedves	pórustérfogatfüggő

4.ábra: Nedvességtartalmi fokok

Tudnunk kell, hogy az abszolút száraz állapotot csak szárítószekrényben érhetjük el, így e fokozat leginkább tudományos kutatások során lehet fontos.

A túlszáritott fokozatnak a száraz klímájú helyiségekben alkalmazott fatermékeknél és egyes gyártási technológiáknál van jelentősége.

A fűtött helyiségekben használt bútorokat és fából készült termékeket szobaszáraz fokozatra kell leszárítani.

A légszáraz állapot normál klímán biztosítható, mechanikai vizsgálatokat is ebben a fokozatban szokás végezni. Üzemekben ez a tartomány felel meg a külső térben alkalmazott termékeknek.

A félszáraz állapotú faanyagokat nem kell telíteni, ezek ugyanis már védettek a gomba- és rovarkárosítókkal szemben.

A rosttelítettségi állapot az az állapot, amikor már a sejtfal intermicelláris, interfibrilláris üregei széttágultak és maximálisan telítődtek vízzel. Az összes fafaj átlagában ezt az értéket 30 %-nak fogadjuk el, de az egyes fafajok esetében nagy eltérésekkel kell számolnunk.

A faanyagok mechanikai tulajdonságai a nedvességtartalom növekedésével a rosttelítettségi határig csökkennek, azt követően pedig nem változnak. A színes gesztű fák gesztrésze többnyire alacsonyabb rosttelítettségi értékkel rendelkezik.

7. A faanyag keménysége

A fa keménysége döntő fontosságú befolyásoló tényezőként van jelen, amikor anyagot választunk különböző használati tárgyainkhoz vagy az építéshez. Legyen az parketta, lépcső vagy egy szék, nem mindegy, milyen keménységű, hisz –többek között- ez határozza meg az adott dolog élettartamát, funkciótól függően.

A különböző faanyagok keménységének ismerete azonban nem csak a felhasználáskor, már előtte, a feldolgozáskor is nagy jelentőséggel bír. A különböző eljárások (fűrészelés, marás, esztergálás, stb.) megmunkáló gépei is eleve úgy lesznek kialakítva, ill. az asztalos is olyan szerszámokat szerez be, amelyek alkalmasak a különböző keménységű anyagok megfelelő minőségű kialakítására. Nem mindegy például, hogy hazai, vagy trópusi faanyagot szeretnénk megmunkálni, ez utóbbi általában ugyanis jóval nagyobb keménységgel bír, ezáltal feldolgozása is nehezekebb, nagyobb teljesítményű gépeket igénylő folyamat. Nagy szerepet játszik továbbá a ragasztandó felületek szilárdságának jellemzésében is.

A fa keménységén azt az ellenállást értjük, amelyet a fa a belé nyomott kemény tárggyal szemben kifejt. A keménység abszolút számokkal való jellemzésére különböző vizsgálati eljárások alakultak ki, amelyek elsősorban a benyomott tárgy alakjában különböznek. A tárgy lehet ismert átmérőjű acéltű, kúp alakú nyomótest, ismert átmérőjű golyó, acélhenger és derékszögű négyszög keresztmetszetű pecsét.

Nördlinger volt az első, aki a fák keménységét tanulmányozta. Az általa felállított keménységi sorrend azonban, melyet a бүтү irányban végzett mérései alapján készített el, csak hozzávetőlegesnek tekinthető, mivel a különböző keménységi csoportokat csak empirikus úton, nem számszerűen hozta létre. Nördlinger nyolc keménységi osztályt alakított tehát ki az építőfákra vonatkozóan, mégpedig::

- kőkemény:
ébenfa, pokkfa, indiai tölgyfa, teakfa
- csontkemény
puszpáng, grenadilfa, amarantfa stb.
- igen kemény:
mahagóni, hikori, délifenyő (pitchpine), szantálfa, som, galagonya stb.;
- kemény:
tölgy, bükk, gyertyán, boróka, juhar, akác, tiszafa, diófa, törökmeggy, almafa, körtefa, cseresznyefa stb.

- meglehetősen kemény:
cédrus, ciprus, kőris, platán, berkenye, szilfa, bálványfa, eperfa, törpefenyő, csertölgy stb.
- kissé kemény:
szelíd gesztenye, mogyorófa, éger, stb.
- lágý:
luc-, jegenye-, erdei-, fekete- és vörösfenyő, vadgesztenye, nyír stb.
- igen lágý:
simafenyő, nyár, hárs, fűz, stb

7.1A keménységvizsgálati eljárások történeti fejlődése

Általánosságban elmondhatjuk, hogy a különböző faanyagok keménységének vizsgálata egyszerűen és gyorsan elvégezhető művelet.

A keménység megállapítására igen sok eljárást találtak ki, ezeket két fő csoportba sorolhatjuk:

- statikai keménységvizsgálati eljárások, valamint
- dinamikai keménységvizsgálati eljárások.

A fák keménységének meghatározására általában a statikai keménységvizsgálati eljárásokat használják.

Ugyan Nördlinger keménységi csoportosítása egy ideig a gyakorlatban jól hasznosíthatónak bizonyult, a faipar fejlődése megkövetelte, hogy a különböző faanyagok fizikai tulajdonságait abszolút számokkal is jellemezhető lehessen. A keménység abszolút számokkal történő kifejezésére több vizsgálati eljárás is kialakult, amelyek önállóan jól beváltak, ám ha össze kívánjuk őket egymással hasonlítani, vagy át szeretnénk őket egymásba számítani, nehézségekbe ütközünk.

Általánosan egy anyag keménységét azon az alapon szokás mérni, hogy mekkora ellenállást tanúsít a belé nyomott tárggyal szemben. A keménységmérésnek ezen módszereit szűrő keménységmérésnek nevezzük.

Az első ilyen, szűrő keménységvizsgálati eljárás Büsgen nevéhez köthető.

Eljárásának lényege, hogy egy ismert átmérőjű acéltűt nyomnak a fába 2 mm-es mélységbe, a keménységi szám a tű benyomásához szükséges erővel egyenlő. Az említett vizsgálati eljárás nem terjedt el. Ennek oka lehet, hogy a tű eljárásnál az igénybe vett felület a fának csak nagyon kis részére terjed ki, valamint az apró tű a fa keményebb részeinél elhajlik. Ha a tű egy nagy üregű, vékony falú edénybe vagy pedig kis üregű, vastag falú szilárdító sejtbe hatol, nem szolgáltat helyes eredményt. A módszer tehát leginkább arra nézve szolgáltat információt, hogy az egyes szöveti részek, elemek mekkora keménységgel bírnak, a teljes anyagot nem jellemzi kellőképpen. A módszer által kapott eredményeket emellett mindenképpen negatívan befolyásolja a törvényszerűen fellépő súrlódás és hasító erő.

Ludwig is hasonló megoldással kísérletezett, ő egy kúp alakú nyomótestet alkalmazott, majd azt kívánt vizsgálni, hogy mekkora a nyomótest benyomódásához szükséges erő. Ennek az eljárásnak a hátrányai megegyeznek a Büsgen-féle tű eljárás hibáival azzal különbséggel, hogy Ludwig módszerénél még nagyobb súrlódással és hasítással kell számolni, melyek tovább növelik a pontatlanságot.

Nördlinger fejtegetéseiből kiindulva Janka olyan semleges ható nyomótestet szeretett volna alkalmazni, amely egyik fafeldolgozó szerszám hatásához sem hasonlít, és amely a fába való behatolásakor a rostokat nem vágja, nem hasítja és nem is szakítja. Először 1 cm^2 területű, sima felszínű korongot használt, ezzel a különböző fafajok útburkolati célokra való használhatóságát kívánta megállapítani. Kutatásai alapjául az a tény szolgált, hogy az útburkolatra használt fák nagy kopásnak vannak kitéve. Hogy mekkora a kopás mértéke, abból kívánta meghatározni az egyes fafajok keménységét.

Eközben *Brinell* nyilvánosságra hozta az általa kidolgozott keménységi vizsgálatot. *Brinell* a keménység meghatározására elsőként egy 10 mm átmérőjű golyót használt, amelyet eredetileg minden fafajnál egyformán 60 daN (kp) erővel nyomott a próbatestekbe, a keménységi számot a terhelőerő és a golyó benyomott felületének hányadosával adta meg.

Brinell eljárásának megjelenése után Janka módosította eredeti eljárását és átvette a golyónyomótest használatát, de az eljárást — a fa vizsgálati céljainak megfelelően — módosította. A Brinell-eljárással szemben a különbség abban áll, hogy nem állandó erőt, hanem állandó benyomódási mélységet választott, emellett megnövelte a golyó átmérőjét is. A golyót egyenletesen növekvő erővel nyomta a fába egészen addig, míg a golyó egyenlítője nem érintette azt. Ekkor ugyanis „a benyomott félgömb vetülete pontosan 1 cm^2 , és így a golyó benyomásához szükséges erő közvetlenül adja a keménységi számot 1 cm^2 felületre vonatkoztatva.” (KOVÁCS ILLÉS, 1979.)

Miutána golyóval végzett keménységvizsgálati eljárások hatékonynak bizonyultak, először Krippel, majd Pallay új eljárást dolgozott ki oly módon, hogy csökkentette a benyomódás mélységét, egyidejűleg viszont 2 cm^2 -re növelte a gömbsüveg felületét.

A húr- és sugárirányú oldalkeménység meghatározására Chalais és Meudonban dolgoztak ki új vizsgálati módszert. Az eljárásnál egy 30 mm átmérőjű acélhengert állandó erővel nyomtak a faanyag húr- vagy sugárirányú oldalába.

Hoeffgen a keménység meghatározására derékszögű négyszög keresztmetszetű pecsétet használt.

7.2 A statikai keménységvizsgálati eljárások -Brinell—Mörath-féle keménységvizsgálati eljárás

Tekintve, hogy a Janka-féle eljárás is rendelkezett bizonyos hibákkal, a kutatók még mindig ösztönözve voltak egy újabb, hatékonyabb módszer megalkotására.

Mörath a Brinell-féle golyós vizsgálatot módosította a fa keménységének meghatározására, megmaradt Brinell eredeti elgondolásánál, egyedül a terhelő erőknél javasolt változtatásokat. A keménységmérés még ma is legelterjedtebb módszere a Brinell-Mörath-féle keménységmérési módszer. A vizsgálat során 10 mm átmérőjű acélgolyót használnak, amelyet az európai fafajoknál 500 N, a nagyon kemény trópusi fáknál 1000 N nagyságú terheléssel nyomnak a vizsgálandó faanyagba. Az igen puha (pl. a balsa) fák esetében az acélgolyó benyomásához használt erő nagysága mindössze 100N. Mindezen módosítások eredményeképpen az eredeti Brinell-féle keménységvizsgálat lényegében nem változott (a három jellegzetes keménységi csoporton belül), állandó terheléssel és változó benyomódási mélységgel jellemezhető. Mörath 153 fafaj keménységét vizsgálta meg mindhárom anatómiai irány esetében, a bütü-, sugár-, és a húrmetszeteken egyaránt.

A Brinell—Mörath-féle keménységvizsgálati eljárásnál a Janka-féle eljárás hibái már csak nagyon kis mértékben jelentkeznek, ezért több országban szabványosították az vizsgálati eljárást.

A Brinell—Mörath-féle keménység meghatározáskor a 10 mm-es acélgolyót egyenletesen növekedő erővel nyomjuk a fába. Az előírt maximális terhelést 15 másodperc alatt kell elérni, majd ezt 30 másodpercig kell tartani. Végezetül a próbatestet ismét 15 másodperc alatt lassan, egyenletesen szükséges tehermentesíteni.

A Brinell—Mörath féle keménységi számot befolyásolja a vizsgálat időtartama is, mert minden maradandó alakváltozásnál az alakváltozás csak egy bizonyos idő elteltével jut nyugalmi állapotba. Ez a folyamat annál rövidebb ideig tart, minél lassabban és egyenletesebb volt terhelés. Ez az utóhatás a megadott terhelési idő megtartásával az eddigi tapasztalatok szerint elhárítható akadálynak bizonyul.

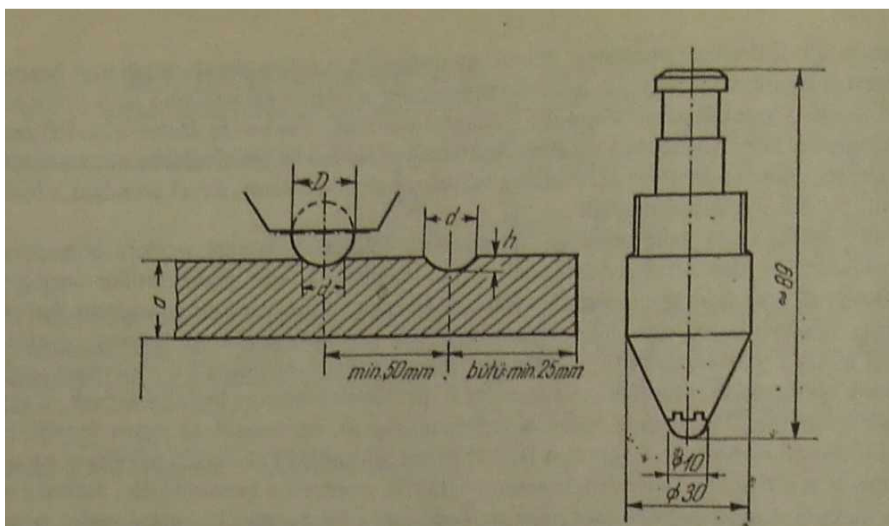
A rostirányra merőleges (sugár- és hűrirányú) oldal keménység megállapításakor a benyomódásoknak egymástól és a próbatest oldallapjától legalább 50 mm-re kell lenniük.

A vizsgálatokhoz használt próbatestek mérete 50 x 50 x 50 mm, és a vizsgálatot legalább 30 db próbatesten el kell végezni. A próbatestek nem tartalmazhatnak fahibát. Fagyártmányok és félkész termékek vizsgálata esetén eltérhetünk a próbatestek alakjának és méretének kialakításánál, de a próbatest vastagsága legalább 20 mm, alsó és felső lapja pedig egymással párhuzamos kell, hogy legyen.

Minden vizsgálatnál meg kell állapítani a bütü- és oldalkeménységet, ez utóbbit a sugár- és a húrmetszeten is el kell végezni.

Egy adott átmérőjű acélgolyót meghatározott terhelő erővel nyomva be a vizsgálandó faanyag felületébe, az acélgolyó behatolási mélysége a faanyag keménységétől függően fog változni.

A keménység számszerű jellemzésére a benyomáshoz használt terhelő erő és a benyomáskor keletkezett gömbsüveg felületének viszonyának megadására van szükség.



5.ábra A Brinell—Mörsch-féle keménység vizsgálat elrendezési rajza és a vizsgálatához használt nyomótest (Brinell-Mörsch szerint)

A Brinell-Mörsch-féle keménység:

$$H_B = \frac{F}{D \times \pi \times h}$$

ahol:

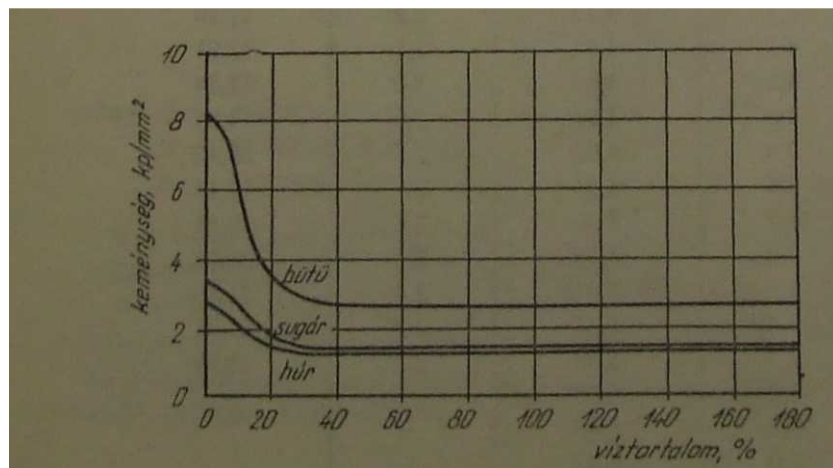
F – a terhelő erő

D – az acélgolyó átmérője

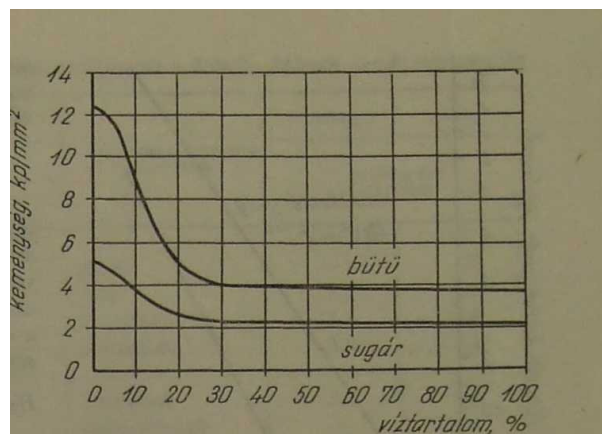
h – a benyomódás mélysége

A keménységvizsgálat elvégzése után közvetlenül meg kell állapítani a próbatest nedvességtartalmát, majd az eltérő nedvességtartalom mellett meghatározott keménységi számokat a légszáraz állapotra kell átszámítani. Mörsch az általa javasolt eljárással rendkívül sok vizsgálatot hajtott végre. Ezekkel az egyes fafajok keménysége mellett a nedvességtartalom és a Brinell - Mörsch - féle keménység közötti összefüggéseit is vizsgálta. A különböző anatómiai irányokban mért keménységi számok és a nedvességtartalom között nagyjában a különböző statikai szilárdságoknál is tapasztalható összefüggéseket állapított meg. A higroszkóposság határán belül,

tehát az abszolút száraz és a rosttelítettségi határ között a Brinell—Mörath-féle keménység a nedvességtartalom emelkedésével nagy mértékben csökken, miután azonban a rosttelítettségi állapotot elérte, a nedvességtartalom további emelkedése a fakeménységre már nem gyakorol további befolyást (9-10. ábra).



6.ábra A Brinell—Mörath-féle keménység változása a víztartalom függvényében erdeifenyőnél bütű-, sugár- és húrmetszetben (Kollmann szerint)



7.ábra. A Brinell—Mörath-féle keménység változása a víztartalom függvényében bükknél bütű- és sugármetszeten (Kollmann szerint)

A Brinell—Mörath-féle keménységvizsgáló eljárással kapcsolatban Trendelenburg kísérletei is említést érdemelnek. Ő az egyes fafajok bütű-, valamint oldal keménysége és az abszolút száraz térfogatsúly közötti összefüggést kívánta leírni.

A vizsgálatait alapján az európai fák légszáraz állapotú keménysége és az abszolút száraz térfogatsúlya közötti összefüggést a következő empirikus képletek fejezik ki:

- a rostokkal párhuzamos bütűkeménység:

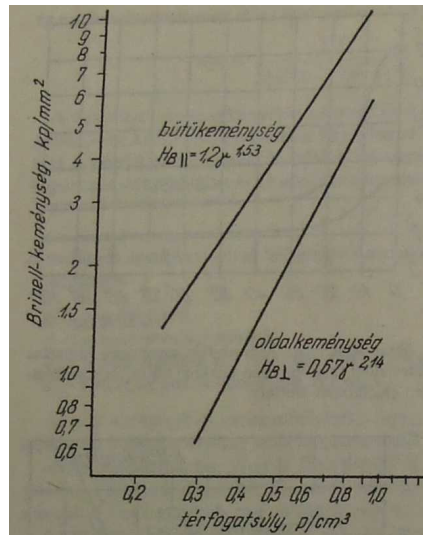
$$H_{Bb} = 1,2 \cdot \gamma_o^{1,53} [\text{daN/mm}^2, \text{kp/mm}^2],$$

- a rostokra merőleges oldalkeménység:

$$H_{Bo} = 0,67 \cdot \gamma_o^{2,14} [\text{daN/mm}^2, \text{kp/mm}^2].$$

Az így kiszámított értékeket a 8. ábra szemlélteti.

A képletből azonban csak hozzávetőlegesen lehet az abszolút száraz térfogatsúlyból a Brinell—Mörath-féle keménységet kiszámítani.



8.ábra. A Brinell—Mörath-féle keménység változása az abszolút száraz térfogat- súly függvényében (Trendelenburg szerint)

A Brinell — Mörath-féle keménységvizsgálati eljárás hibái:

A Brinell—Mörath-féle eljárás háromféle terhelő erőt ír elő (100 N, 500N, 1000 N, a vizsgálandó faanyag keménységének függvényében), ez bizonytalanná teszi a keménység meghatározását, hiszen az eljárás szerint a várható keménységet előre meg kellene becsülni. Ehhez járul még az is, hogy a fa szöveti szerkezete miatt a 10 mm átmérőjű acélgolyó túl kis felülettel rendelkezik ahhoz, hogy általa a terhelő erőből és a benyomott gömbsüveg felületéből a vizsgált próbatestek átlagos keménységét teljes biztonsággal meg lehessen állapítani. Ettől eltekintve a Brinell—Mörath-féle keménységvizsgálatnál egyértelmű összefüggések mutathatók ki a keménység, a térfogatsúly és a nedvességtartalom között.

Az eljárás hibáit Pallay a következőkben foglalta össze:

- a golyó benyomódásához az előírt háromféle nyomóerő alkalmazása az eljárást bizonytalanná teszi;
- keménységi szám meghatározásához a gömbsüveg felületének az átlagos átmérőből való kiszámítása különösen az oldal keménységnél pontatlan eredményeket ad;
- a 10 mm átmérőjű acélgolyó az előírt kis terheléseknél nem elég nagy ahhoz, hogy használható átlagértéket adjon.

A háromféle terhelő erő előírása feltehetően abból az okból történt, hogy az összes fafajnál egyforma legyen a benyomódás mélysége. A Brinell—Mörath-féle keménységvizsgálati eljárást tulajdonképpen az állandó terhelő erő jellemzi, tehát ez lenne az a közös alap, amely az összehasonlítást lehetővé tenné. A faanyagvizsgálatoknál azonban a terhelőerőt nem lehet közös összehasonlítási alapnak tekinteni, mert akármilyen állandó erőt választunk is, a benyomás mértéke nagyon is ingadozni fog a fa térfogat- súlya szerint, amitől Stamer korábbi vizsgálatai szerint — főleg a fenyőfáknál — a keménységi értékek szórása nagy lesz.

A Brinell-Mörath-féle keménységvizsgálat alapján a különböző fafajok keménységi értékeit a következő táblázatban találhatjuk meg (9.ábra):

Keménységi fokozat	Az osztályozás alaniát képező keménységi szám		A keménységi fokozathoz tartozó fajok	Bütü	Oldal
	bütü	oldal		keménység kp/mm ²	
	keménységnél kp/mm ²				
Igen puha	1—4	0,5—2	Hárs		1,6
			Fűz	3,5	1,6
			Kanadai nyár	3,4	1,4
			Óriásnyár	3,6	1,2
Puhafák	2—6	1—3	Lucfenyő	3,2	1,2
			Jegenyefenyő	—	—
			Erdei fenyő	4,0	1,9
			Hazai erdeifenyő	5,5	—
			Vörösfenyő	5,3	1,9
			Hazai vörösfenyő	5,3	—
Középkemény	4—6,5	2—4	Szelídgesztenye	3,8	1,8
			Tölgy	6,6	3,4
			Bükk	7,2	3,4
			Kőris	6,5	—
			Platán	4,6	2,1
			Szil	6,4	3,0
			Hegyi juhar	6,2	2,7
Kemény	6—10	3—6	Akác	7,4	4,8
			Gyertyán	7,1	3,6
			Tiszafa	—•	—
Igen kemény	10—13	5—8	BUXUS	U,4	5,9
Csontkemény	12—20	7—14	Ébenfa		<i>mmm</i>
			Pockfa	16,1	8,6

9.ábra. A fontosabb fafajok keménységi osztályozása Brinell-Mörath alapján

(Megjegyzés: 1 kp/mm² = 0,1 Mpa)

8. Mérési módszerek és eszközök:

A mérésekhez 45 x 45 x 45 mm oldalhosszúságú, kocka alakú *Fagus sylvatica* (bükk) próbatesteket alkalmaztam. Ezek a tiszta húr- valamint sugárirány kialakítása végett középpallóból körfűrész általi méretre vágással készültek (A tiszta irányok megléte ill. hiánya az eredmények pontosságát befolyásolja). A próbatestek kezdeti nedvességtartalma $U=18\%$ volt.

A méréseimhez próbatestekből 3 csoportot alakítottam ki a 3 különböző nedvességtartományhoz, ügyelve arra, hogy azokba azonos aránnyal kerüljenek bélközeli, illetve a faanyag más pontjairól származó kockák, ezzel is megteremtve az azonos mérési körülményeket. Minden csoportba 24 kocka került.

Egy próbatesten 36 mérést végeztem, minden oldalon 6-ot. Ez 2 x 6 sugár-, 2 x 6 húr- és 2 x 6 rostirányú adatot eredményezett. Minden csoportba 24 kocka került.

A próbatestek megkülönböztetésére egyéni jelrendszert alkalmaztam. A három különböző nedvességi csoportot római számokkal (I.-III.) jelöltem. Mivel a méréseknél fontosnak tartottam, hogy a különböző anatómiai irányok mellett a próbatestek egyes oldalait is el lehessen különíteni egymástól az elemzés során, az alábbi betűzést és számozást alkalmaztam:

- rostirány („bütüirány”): b1, b2
- sugárirány: s1, s2
- húrirány: h1, h2

Az azonos anatómiai irányhoz tartozó oldalfelületek elkülönítése lehetővé teszi, hogy a két felület keménységei közötti különbségeket is tanulmányozhassuk.

A méréshez különféle eszközökre volt szükségem:

- klímaszekrény (Angelantoni Industrie)
- analitikai mérleg
- általános anyagvizsgáló berendezés (Instron 4208) valamint a hozzá tartozó szoftver (Bluehill)
- nilon zacskók
- áztató edény ($V=10\text{ l}$)

A mérések elvégzéséhez elsőként a három csoport próbatesteinek nedvességtartalmát kellett beállítani:

- A rosttelítettségi határt úgy sikerült túllépnem, hogy a próbatesteket vízzel telt edényben tároltam hosszabb időn keresztül (egy hétig), így a 18%-os nedvességtartalmú faanyagnak

volt ideje kellő mennyiségű vizet felvenni. Mivel rosttelítettségi határ felett a keménység felvesz egy konstans értéket, nem volt szükségszerű klímasekrényben pontos értékre beállítani azt.

- A klímasekrényben 20 %-os nedvességtartalom elérése volt a cél, ehhez 20 °C hőmérsékletet és 90 %-os páratartalmat kellett beállítani, majd tömegállandóságig szárítottam a próbatesteket (Ennek megállapításához bizonyos időközönként visszamértem a kockákat. Ezt addig ismételtam, amíg nem tapasztaltam számottevő eltérést a tömegek között.)
- Hogy a 12 %-os nedvességtartalmat elérjék a próbatestek, előre beállított (20 °C hőmérsékletet és 65 %-os páratartalom) klímasekrénybe helyeztem őket egy hétre, majd az előző csoporthoz hasonlóan tömegállandóságig szárítottam őket.

Fontos különbséget jelentett a különböző csoportok fakockáinak tárolása a mérés közben. Míg az első csoportnál egyszerűen, közvetlenül a vízzel teli tárolóedényből kivett, majd a fent említett módon megjelölt próbatesteken azonnal végrehajthattam a keménységi vizsgálatok elvégzését, a másik két csoportnál felmerült némi nehézség. A problémát az jelentette, hogy amennyiben egyszerre vettem volna ki és hosszasan tároltam volna a II. és a III. csoport próbatesteit szobahőmérsékleten valamint a beállított páratartalomtól eltérő páratartalmon, azok nedvességtartalma el kezdett volna megváltozni, mindez hamis adatokat, mérést eredményezett volna. Ezt elkerülvén hármasával nilon zacskókba helyeztem a kész próbatesteket, ezzel biztosítva az optimális körülményeket.

A mérést a speciálisan erre, Brinell-Möörath –féle keménységmérésre beállított mérőberendezéssel, valamint az ezt számítógéppel összekötő szoftverrel (Bluehill) végeztem. Rendkívül felhasználóbarát konstrukcióról beszélhetünk, kezelésük, beállításuk egyszerű, gyors és precíz volt.

Ezen eszközök segítségével

- könnyen tudtam a mérőfejet a próbatestek méreteihez igazítani (hiszen egy-két mm-es eltérés előfordult köztük)
- a bevitt adatok azonnali kontrollálására, jelölésére lehetőségem nyílt
- a hibás mérések korrigálására azonnali, hatékony megoldást kaphattam
- időt és energiát takarítottam meg, a szoftver ugyanis rendelkezik egy jegyzőkönyvszerkesztő funkcióval, amely a mérés végétével táblázatkezelő program számára felismerhető és tovább alakítható fájlt készít.
- a mérés grafikus formában, a mérés végzésével egyidejűleg kirajzolt grafikonnal szemléletesebbé vált. Ez által az esetleges hibák azonnal orvosolhatóvá váltak.

- azonnali keménységi eredményeket kaptam, emellett a program meghatározta a maximum nyomó alakváltozást, a nyomó alakváltozás mértékét 10 illetve 500 N esetén, valamint a benyomódás mélységét.

Egymás után lemértem a 24 próbatest minden oldalfelületének keménységét, ez igen nagy terjedelmű adathalmazt eredményezett, melyből igyekeztem táblázat formájában szemléletesen kifejezni a különböző irányokban mért értékeket.

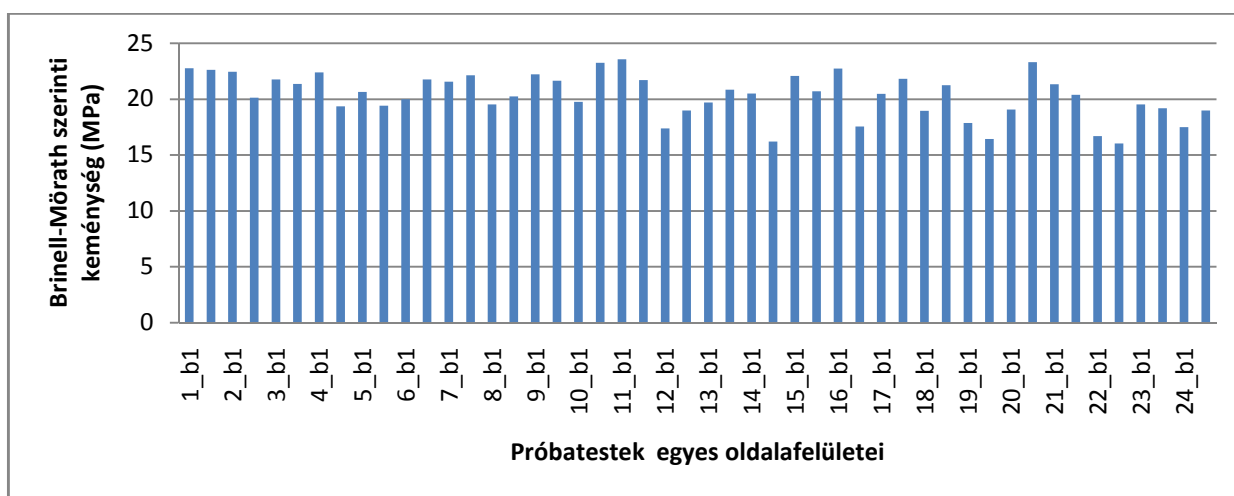


10. ábra. A számítógépes vezérlésű mérőberendezés

9. Értékelés

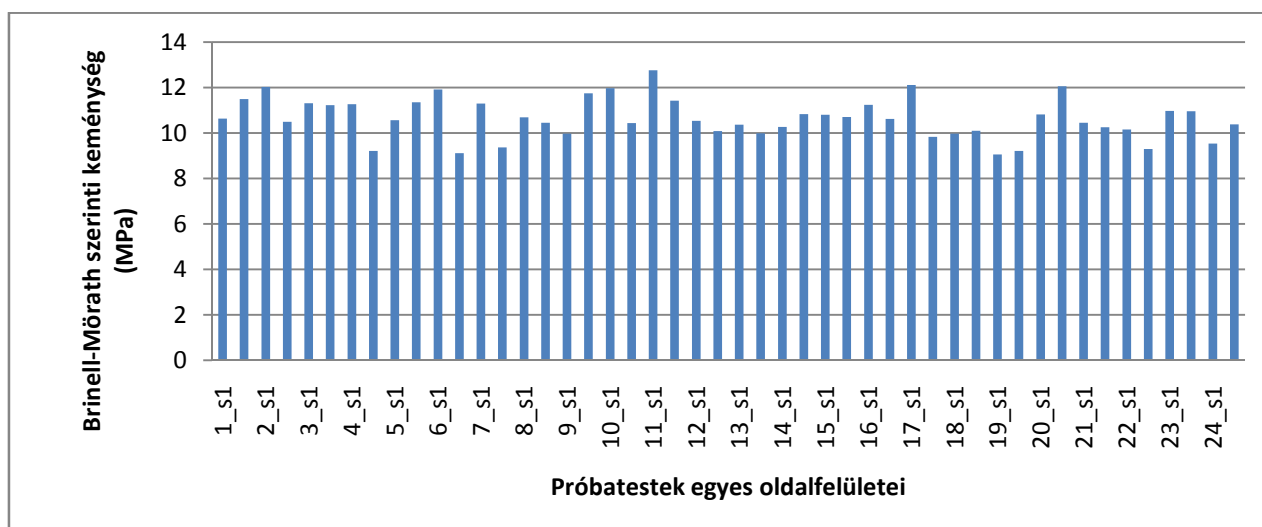
9.1. Rosttelítettségi határ feletti ($u > 35,6\%$) faanyag keménységének vizsgálata

A 11. ábrán láthatjuk a rost, 12. ábrán a húr, a 13. ábrán pedig sugár irányú mért keménységi értékeket. Az egyes oszlopokhoz tartozó adatok egy felületen mért mérések átlagát, tehát hat adatot foglalnak magukba. A diagramok vízszintes tengelyén a próbatestek, a függőleges tengelyen az azokhoz tartozó keménységi értékek találhatók.



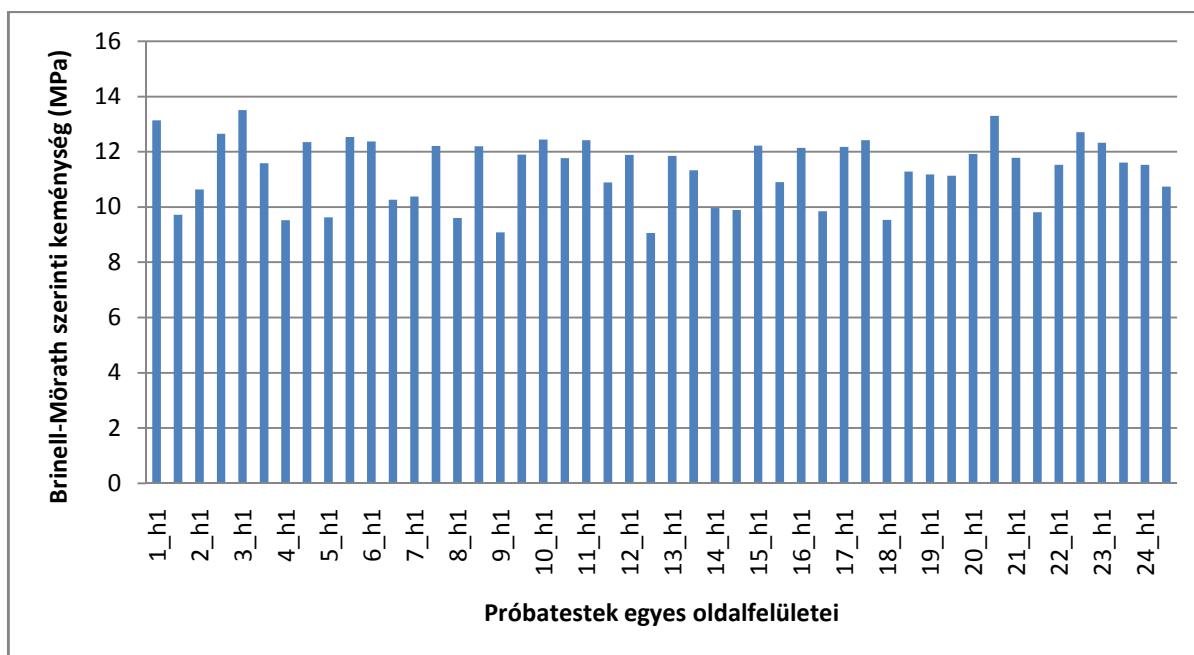
11. ábra: Bükk faanyag bütükeménysége (MPa, Brinell-Möörath) különböző anatómiai irányokban, rosttelítettségi nedvességtartalom felett.

Kijelenthetjük, hogy rosttelítettség feletti nedvességtartalmú bükk próbatesteken a keménységek átlagértéke bütüirányban 16,04 és 23,58 MPa között van, az átlag érték 20,35 MPa.



12. ábra: Bükk faanyag sugár irányú keménysége (MPa, Brinell-Möörath) különböző anatómiai irányokban, rosttelítettségi nedvességtartalom felett

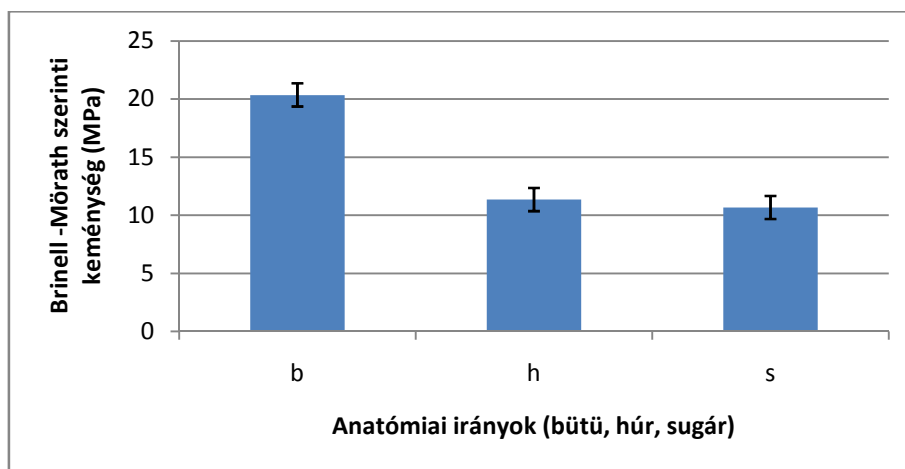
Sugár irányban a keménységi értékek 9,05 és 12,76 MPa között változtak.



13. ábra. Bükk faanyag húr irányú keménysége (MPa, Brinell-Möörath) különböző anatómiai irányokban, rosttelítettségi nedvességtartalom felett

A húr irányban mért keménységek maximuma 13,51, minimuma 9,1 MPa volt, az átlag keménységi érték 11,34 MPa.

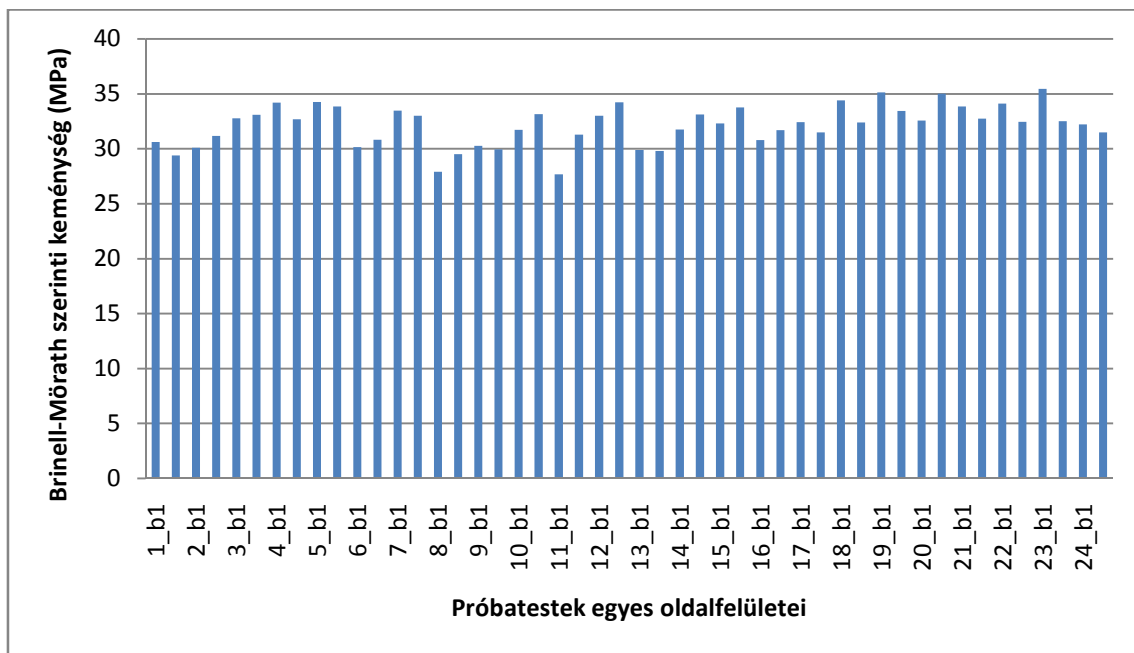
A különböző anatómiai irányokban mért értékek szórása is leolvasható a 14. ábráról, mely egyébként a különböző anatómiai irányban vett Brinell-Möörath szerint mért keménységi értékeket hivatott személtetni a rosttelítettségi gátár feletti nedvességtartományban. A legnagyobb szórás a bütükeménységek mért értékeiben lelhető fel (3,1 MPa), ezt követi a húrirányban vett adatok szórása (1,5 MPa) és végezetül a sugárirány mért értékeké (1,2 MPa).



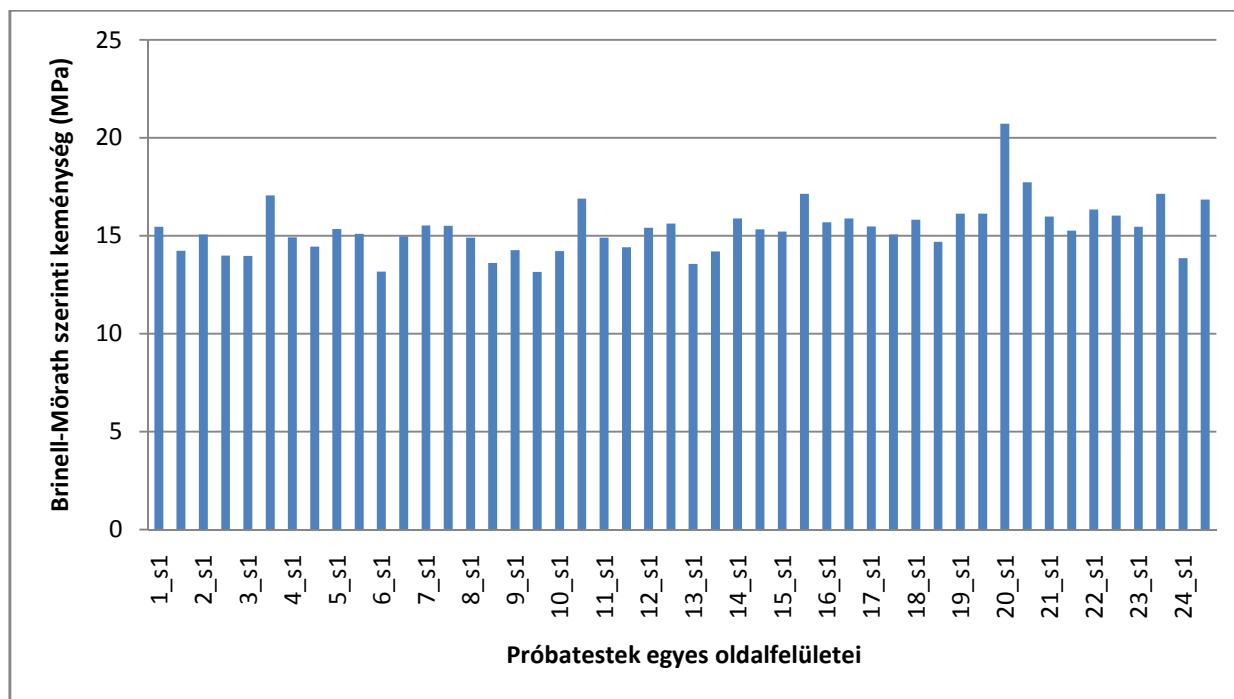
14. ábra: A mért keménységértékek szórással a különböző anatómiai irányokban, rosttelítettségi nedvességtartalom felett

9.2 20 % nedvességtartalmú faanyag keménységének vizsgálata

A kapott eredményeket az I. csoportéhoz hasonlóan rendeztem, összegeztem. A rost irányban mért Brinell-Mörath szerinti keménységi értékek 20 % nedvességtartalom mellett 27,68 valamint 35,41 MPa között változtak, az értékek átlaga 32,15 MPa lett. Ezen adatokat a 15. ábrán láthatjuk. A sugárirányban mért adatokat a 16. ábra mutatja. A legkisebb érték (13,16 MPa) és a legmagasabb (20,72 MPa) között szignifikáns eltérést tapasztalhatunk. Az átlagérték 15,37 MPa volt.

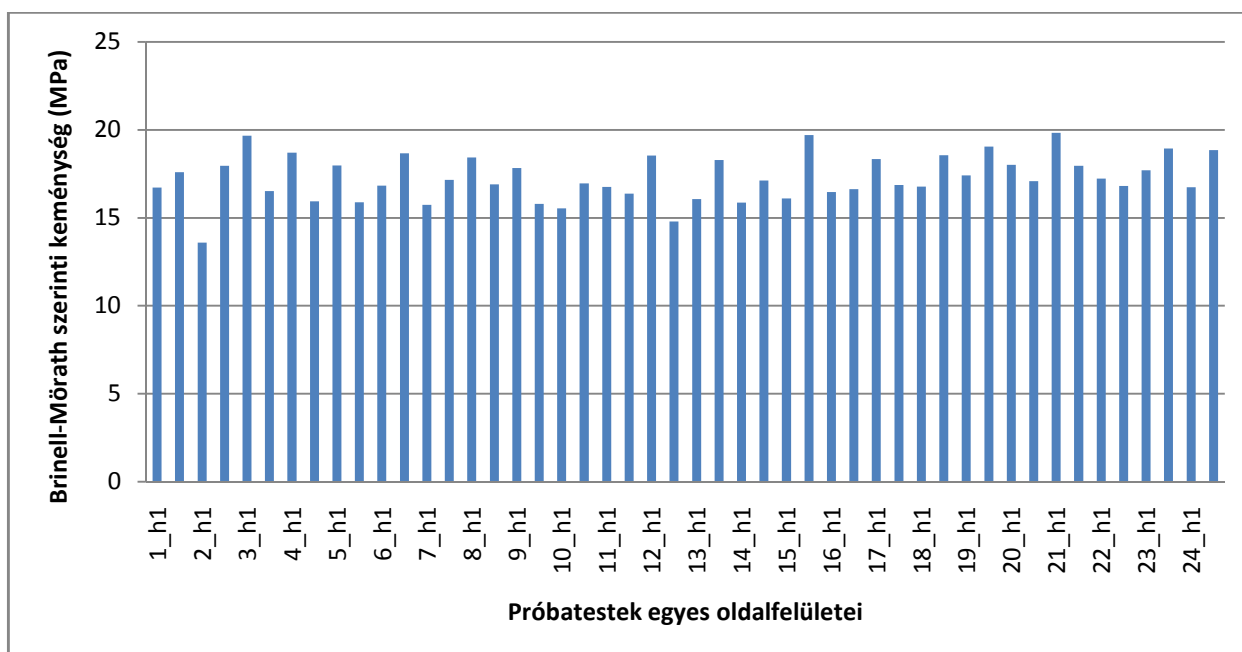


15. ábra. Bükk faanyag rostkeménysége (MPa, Brinell-Mörath) különböző anatómiai irányokban, 20 %-os nedvességtartalom mellett

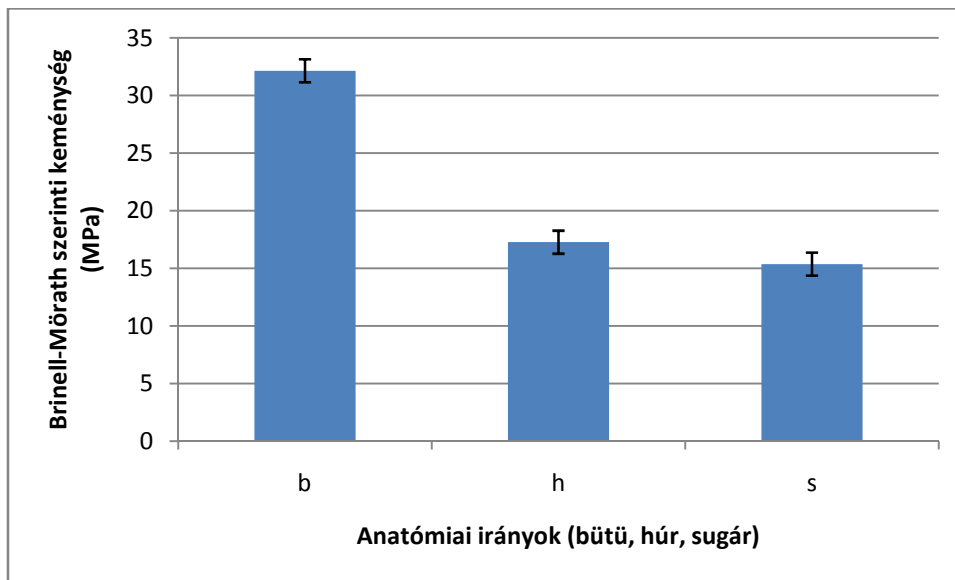


16. ábra. Bükk faanyag sugár irányban vett keménysége (MPa, Brinell-Möörath) különböző anatómiai irányokban, 20 %-os nedvességtartalom mellett

Az utolsó méréscsoportot ebben a tartományban is a próbatestek hűrirányban vett keménységének meghatározása jelentette. Az adatok itt 13,59 és 19,85 MPa közötti értéket vettek fel. Az átlagos hűrirányú keménységi értéket 17,28 MPa-nak állapítottam meg. (17. ábra)



17. ábra. Bükk faanyag hűri irányban vett keménysége (MPa, Brinell-Möörath) különböző anatómiai irányokban, 20 %-os nedvességtartalom mellett

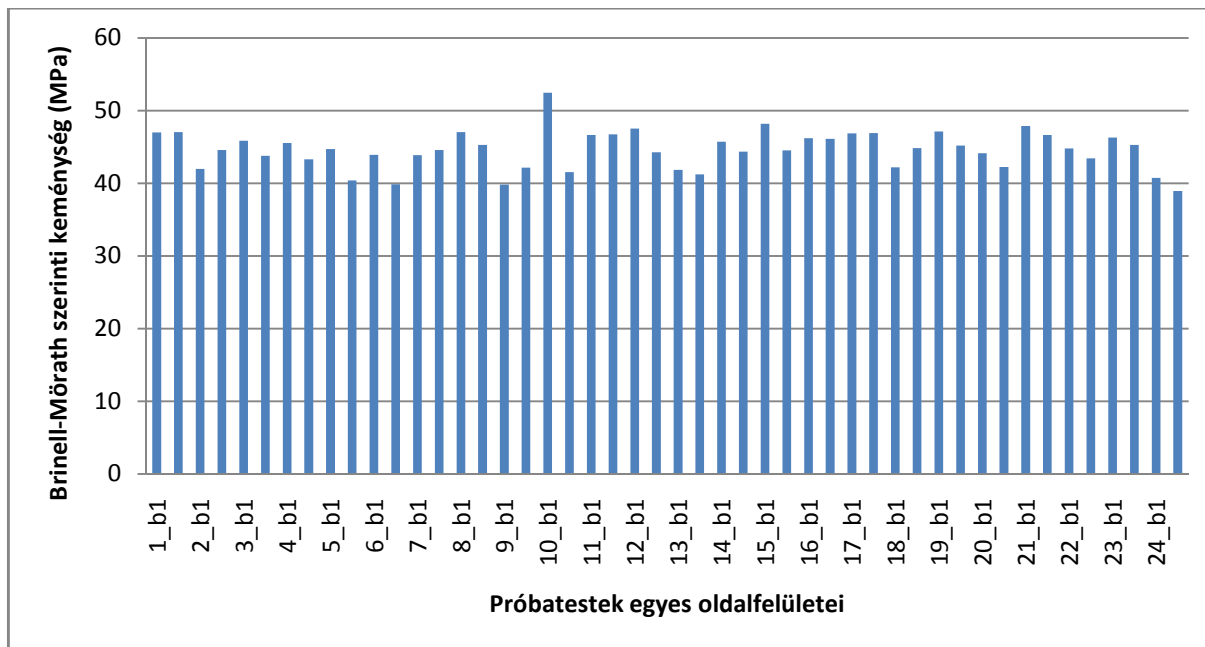


18. ábra. A mért keménységértékek szórással a különböző anatómiai irányokban, 20 %-os nedvességtartalom mellett

A mért keménységi értékek összefoglalása mellett a szórást is leolvashatjuk a 18. ábrától. A szórások értéke ebben az esetben is hasonlóképpen alakult, mint az I. csoportban. A legnagyobb szórást bütü irányban tapasztalhattuk (3,4 MPa), ezt követte a húr- (1,8 MPa) és végül a sugár irányú (1,6 MPa) keménységi értékeknél tapasztalt szórás értéke.

9.3 12 % nedvességtartalmú faanyag keménységének vizsgálata

A mért értékeket a 19., 20. és 21. számmal ellátott grafikon tartalmazza.



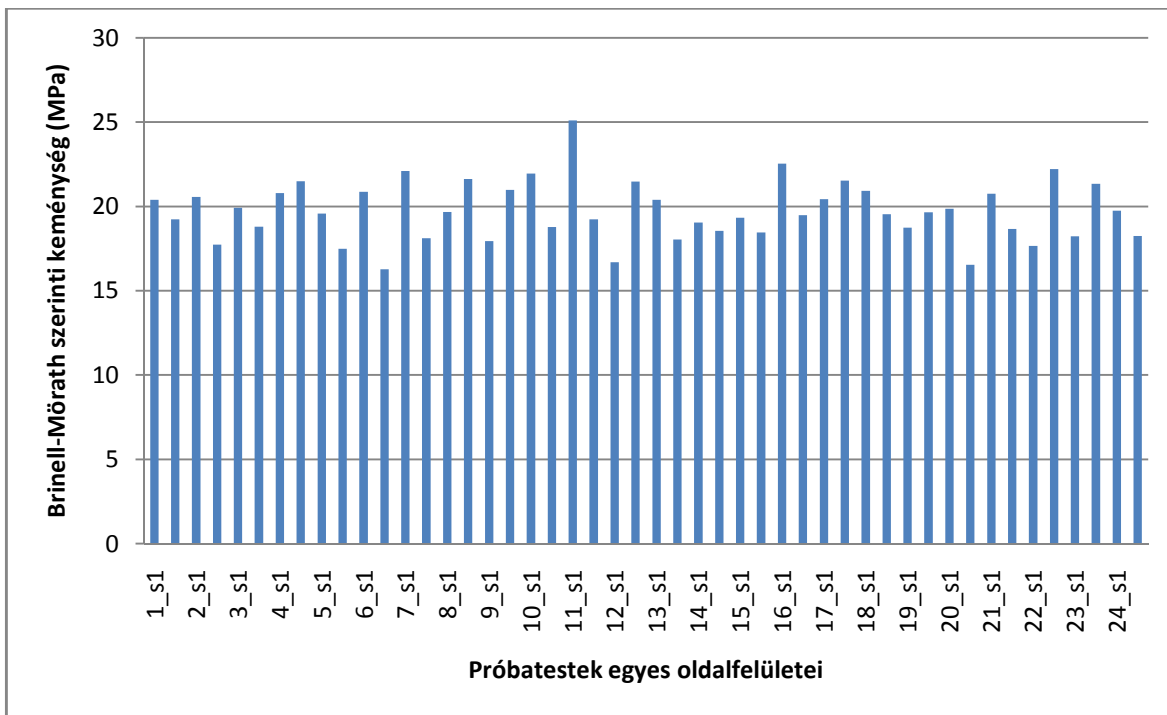
19. ábra. Bükk faanyag bütükeménysége (MPa, Brinell-Möörath) különböző anatómiai irányokban, 12 %-os nedvességtartalom mellett

A grafikonból kiolvasható, hogy a legmagasabb érték 52,46 MPa, a legalacsonyabb 38,92 MPa volt. Az átlagos bütükeménysége 12%-os nedvességtartalomnál 44,62 MPa volt.

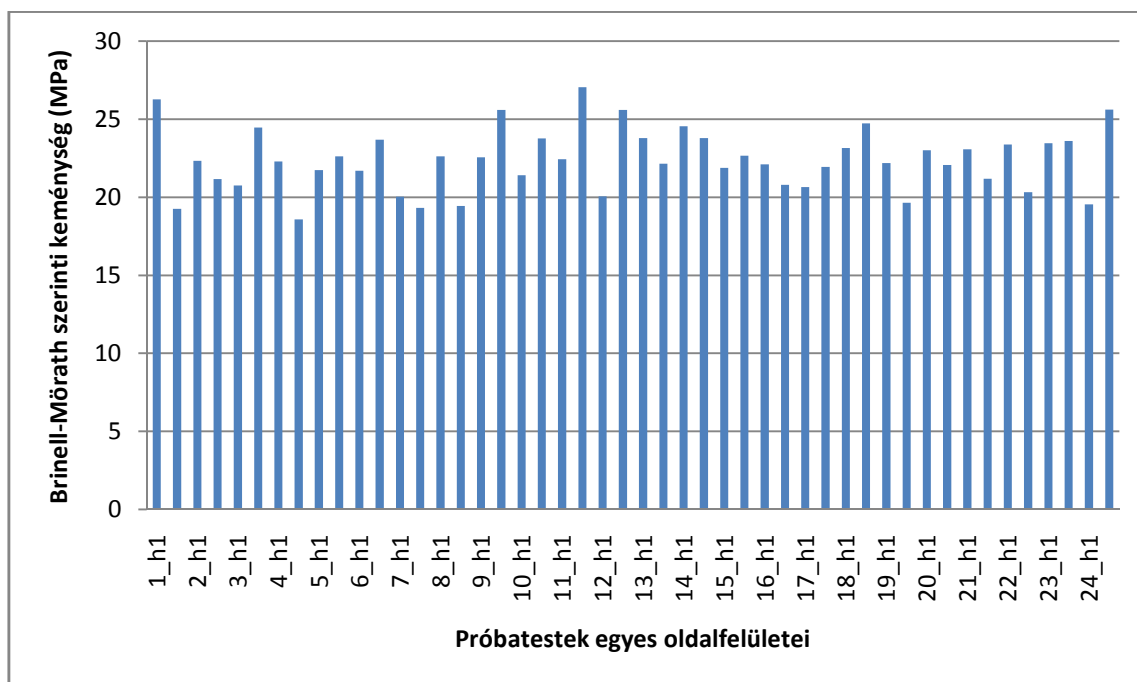
A 2. méréscsoportot ebben a tartományban a próbatestek sugár irányú keménységének meghatározása jelentette. Az adatok itt 25,1 és 16,3 MPa közötti értéket vettek fel. Az átlag keménységi értéket 19,76 MPa volt.

Húr irányban a legmagasabb Brinell-Möörath szerinti keménységi érték 27, a legkisebb 18,56 MPa volt, átlagértéknek 22,38 MPa-t kaptam.

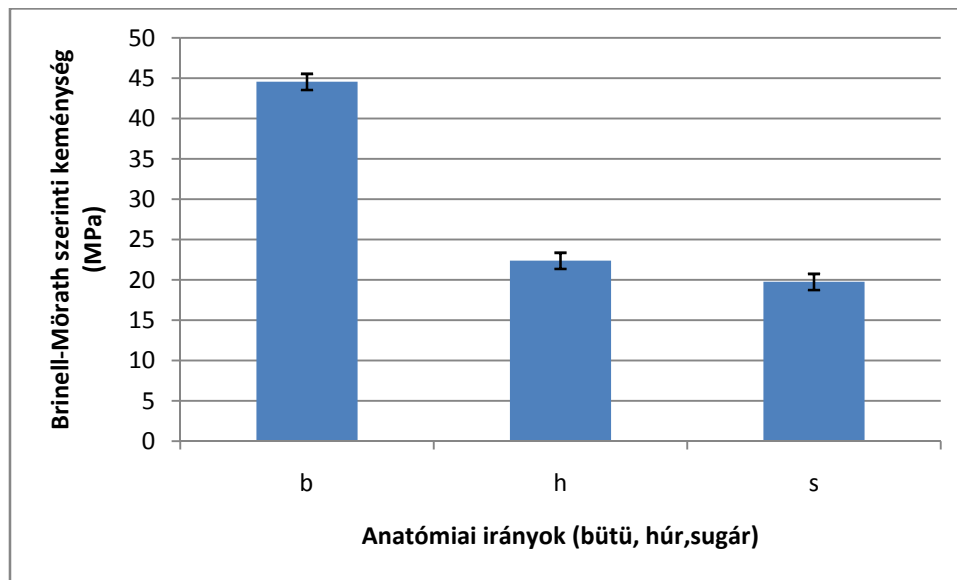
A III. csoportban a szórási értékek a következőképpen alakultak: bütü irányban 4,9 MPa, sugár irányban 2,3 MPa, húr irányban pedig 3,5 MPa. Mindezt az e csoportban utolsó, 22. ábra szemléleti a különböző anatómiai irányban kapott keménységi értékekkel együtt.



20. ábra. Bükk faanyag sugár irányú keménysége (MPa, Brinell-Möörath) különböző anatómiai irányokban, 12 %-os nedvességtartalom mellett



21. ábra. Bükk faanyag húr irányú keménysége (MPa, Brinell-Möörath) különböző anatómiai irányokban, 12 %-os nedvességtartalom mellett



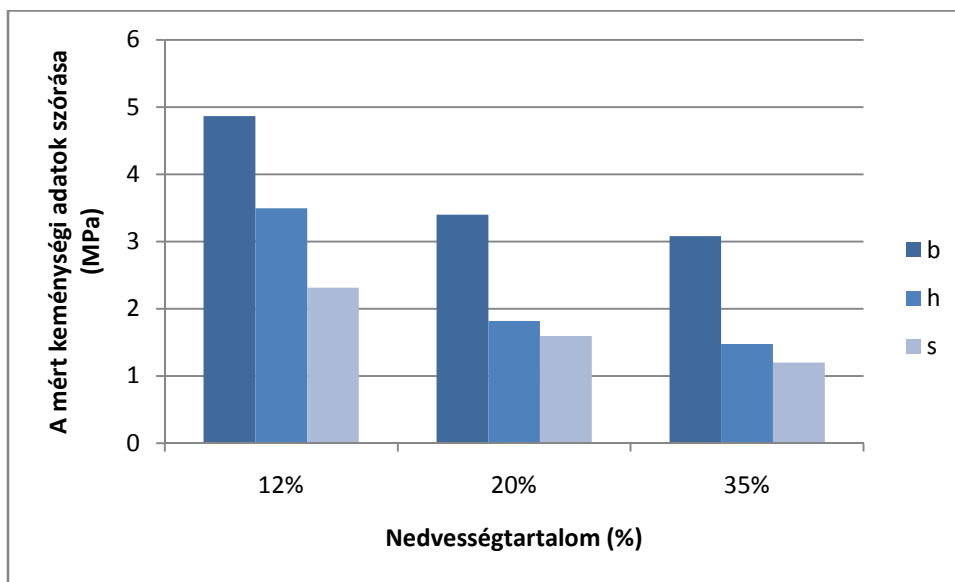
22. ábra. A mért keménységértékek szórással a különböző anatómiai irányokban, 20 %-os nedvességtartalom

9.4 A nedvességtartalom hatásának értékelése

A kisebb – mérésből, a fakocka fában elfoglalt helyéből, esetlegesen mérőfej alá került vastagabb évgyűrűpásztából fakadó – pontatlanságok kimutatására szórásfüggvényt alkalmaztam a különböző anatómiai irányokban (bütü, sugár, húr) a nedvességtartalom függvényében, ezeket a 23. és 24. ábra mutatja.

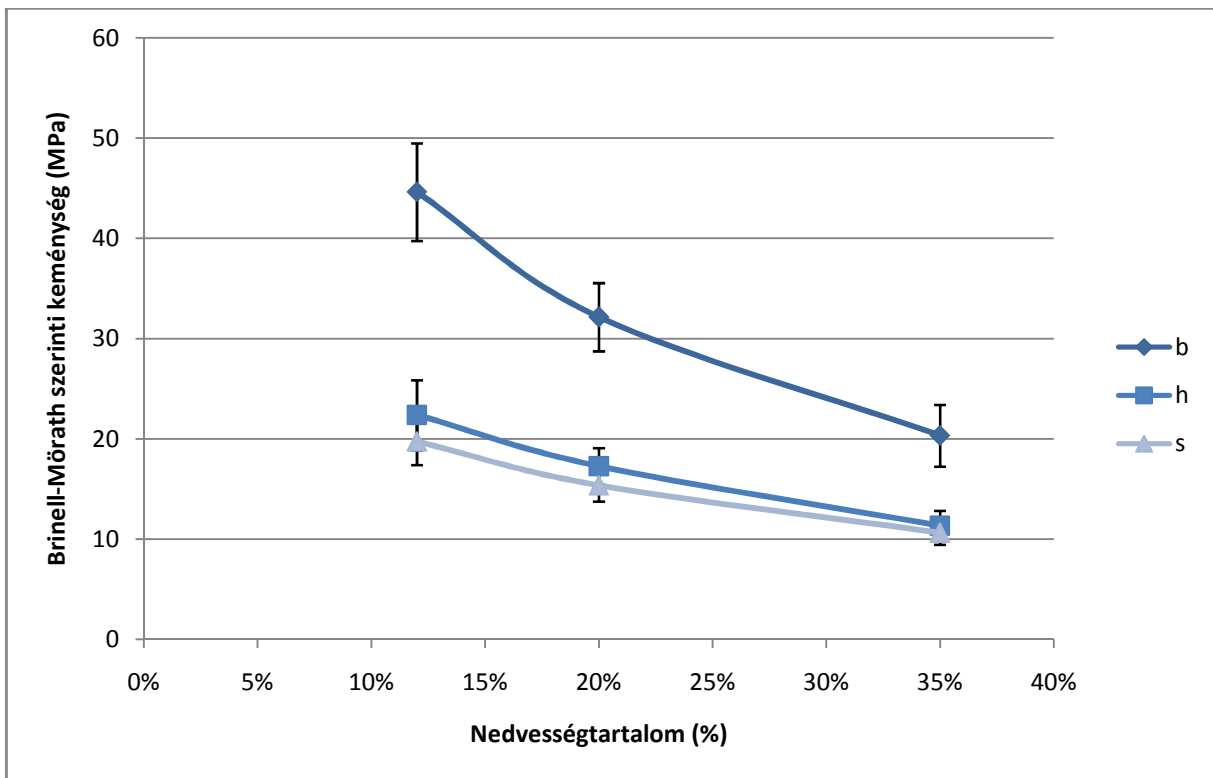
	U = 12%	U = 20%	>URT (35%)
b	4,87	3,4	3,08
h	3,45	1,81	1,48
s	2,31	1,59	1,2

23. ábra. A mért adatok szórása (MPa) bütükeménységre vonatkoztatva a nedvességtartalom függvényében



24. ábra. A mért adatok szórása bütükeménységre vonatkoztatva a nedvességtartalom függvényében

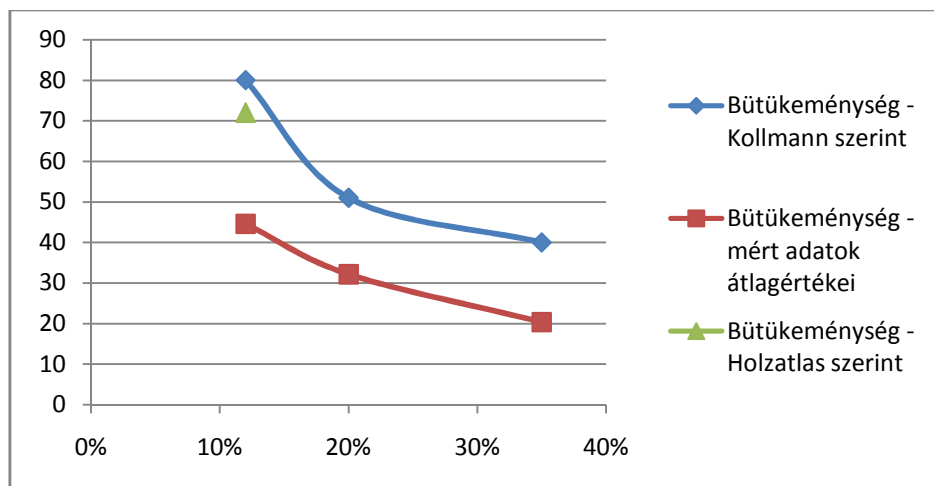
A fenti adatokból jól látható, hogy a szórás nedvességtartalom tekintetében a 12 %-os értékeknél volt a legmagasabb, irányokat figyelembe véve pedig a bütü irányban.



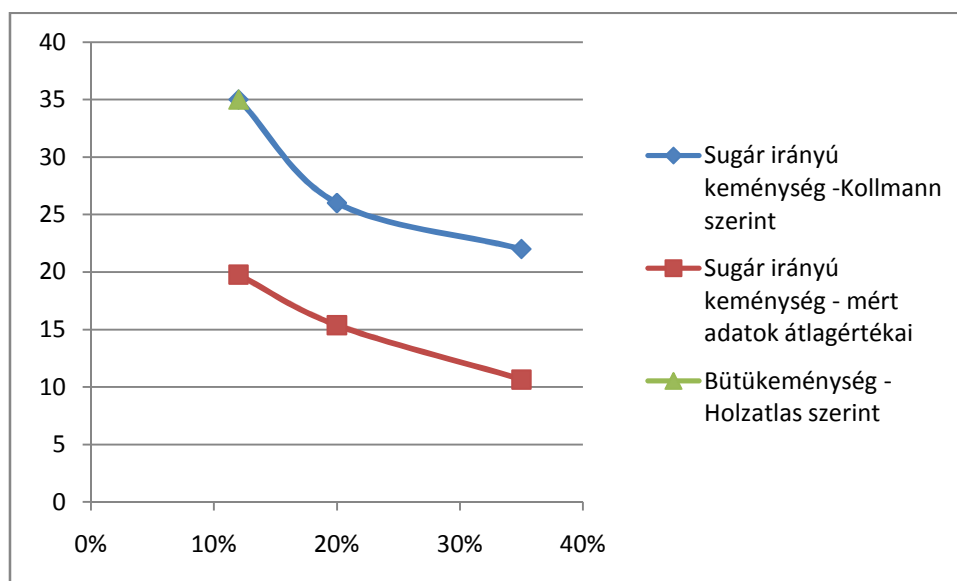
25. ábra. A bükk faanyag különböző irányokhoz tartozó Brinell –Möörath szerint mért keménységi értékei, valamint a mért adatok szórása

A 25. ábrán a fentebb bemutatott adatokat együttesen szerettem volna szemléltetni, így egy grafikonon láthatjuk a keménységek változását a nedvességtartalom- és az anatómiai irányok függvényében, valamint a mért adatokhoz tartozó szórási értékeket is.

A mért adataimnak a szakirodalommal való összehasonlításhoz a Kollmann által készített grafikont (7. ábra) használtam fel (26. és 27. ábrák). Az összehasonlításban kisebb pontatlanságot eredményezhet, hogy Kollmann adatai a grafikonról történő leolvasás útján lettek meghatározva.



26. ábra. A mért adatoknak a szakirodalommal való összehasonlítása (rost irányban)



27. ábra. A mért adatoknak a szakirodalommal való összehasonlítása (sugár irányban)

Kollmann mérései bükk faanyag esetében sajnálatos módon csak a rost- és a sugár irányú keménység meghatározására terjednek ki, így húr irányú összehasonlítást adatok hiányában nem tudtam végezni. A két grafikonról azonban egyértelműen leolvashatóak az általam és Kollmann által mért adatok közti jelentős eltérések, a könnyebb összehasonlíthatóság végett táblázatban számszerűsítettem azokat (31. ábra).

		12%		20%		35%	
	Holzatlas	kollman	mért	kollman	mért	kollman	mért
b	72	80	44,5554	51	32,1501	48	20,35394
h	35	n.a.	22,37891	n.a.	17,2776	n.a.	11,34529
s		35	19,75902	26	15,3675	22	10,65784

28. ábra. A mért keménységi adatoknak a szakirodalommal való összehasonlítása (MPa)

Megállapíthatjuk tehát, hogy a mért adatok messze elmaradnak a szakirodalomban foglaltaktól. Mivel méréseket csak az említett három nedvességi tartományban végeztem és ezeket kötöttem össze, a függvények alakja egy kis ívű görbét ad, a pontosabb eredményekhez még több nedvességi tartományban meg kellene vizsgálni a keménységeket.

A nagy eltéréseket okozhatja, hogy a méréseimet ugyanazon középpallóból származó próbatesteken végeztem. (Egy adott fafaj különböző példányainak keménységeiben is mutatkozhatnak különbségek alfajoktól, élőhelytől, természeti viszonyoktól, stb. függően.

10.Összefoglalás

Munkám során a bükk faanyag keménységének a nedvességtartalomtól való függését vizsgáltam Brinell-Mörath módszere szerint 3 nedvességi tartományban: 12 %-os, 20 %-os, valamint rosttelítettségi határ feletti nedvességtartalommal rendelkező próbatesteket alkalmaztam.

A kísérletek szükségességét alátámasztja, hogy a szakirodalom eddig kevés említést tett arra vonatkozólag, hogy a faanyagok tulajdonságait mi módon befolyásolja a nedvességtartalom, de a gyakorlati életben nagy szükség lenne ezen információkra (kültéri lépcsők benyomódása, bútorok karcolódása, csomagolás, megmunkálási technológiák, faanyagok beépítése utáni várható keménységváltozás, stb.)

A keménységi értékek átlaga minden esetben a 12 %-os nedvességtartalmú próbatesteknél, anatómiai irányt tekintve pedig rost irányban volt a legmagasabb (44,56 MPa.). Ezt követte a húr(22,38 MPa), végül a Sugár irányú keménység (19,76 MPa). 20% -os nedvességtartalom mellett az értékek a következőképpen alakultak (rost, húr, sugár irányban): 32,15MPa, 17, 28 MPa, 15,37 MPa. A minimum értékek a rosttelítettségi határ feletti tartományban jelentkeztek: bütü irányban 20,35 MPa, húr irányban 11, 35 MPa, sugár irányban 10,66 MPa. Ezek az értékek hozzávetőlegesen az irodalmi értékek (Kollmann) felének, 2/3-ának felelnek. meg.

A vizsgálataimból származó keménységi eredmények tehát jóval az irodalmi értékek alatt maradtak, de tendenciájuk hasonló. A nagy eltéréseket okozhatja, hogy a méréseimet ugyanazon középpallóból származó próbatesteken végeztem. (Egy adott fafaj különböző példányainak keménységeiben is mutatkozhatnak különbségek alfajoktól, élőhelytől, természeti viszonyoktól, stb. függően). Megállapítható, hogy a nedvességtartalom növekedésével a faanyagok keménysége csökken, majd rosttelítettségi határ felett felvesz egy konstans értéket.

További céloomul tűztem ki, hogy:

- bükk próbatesteken egy további nedvességtartalmi csoportban, 6%-os nedvességtartalom mellett is megvizsgáljam a Brinell-Mörath szerinti keménységet.
- további két elterjedt statikai keménységmérési módszerrel (Janka –féle, Krippel-Pallay –féle eljárás) is megvizsgáljam a próbatesteket
- egy fafajokat is bevonjak a kutatásaimba
- valamint a különböző keménységvizsgálati eljárások közötti átszámíthatóság lehetőségeit vizsgáljam.

11.Irodalom- és ábrajegyzék:

MOLNÁR, S. (2004): Faanyagismeret, Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest p.188-191, 305-311

KOVÁCS, I. (1979): Faanyagismerettan, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest p. 199-225

<http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/faepites-faepites/ch11s03.html>

1. ábra: <http://www.massziv.hu/>
2. ábra: <http://galeriasavaria.hu/termek/204130/Posztamensviragtarto/>
3. ábra: <http://www.schreinerei-goetz.com/index.swf>
4. ábra: MOLNÁR, S. (2004): Faanyagismeret, Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest
- 5– 12. ábra: KOVÁCS, I. (1979): Faanyagismerettan, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest
13. ábra: Saját készítésű fénykép
- 14-16. ábra: Saját készítésű grafikonok, táblázatok – mért adatok alapján
17. ábra: Saját készítésű fénykép
- 18-28. ábra: Saját készítésű grafikonok, táblázatok – mért adatok alapján
- 29-31. ábra: Saját készítésű grafikonok, táblázatok – KOVÁCS, I. (1979): Faanyagismerettan, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, valamint mért adatok alapján

Ezúton szeretnék köszönetet mondani konzulenseimnek **Dr. habil. Németh Róbertnek**, valamint **Ábrahám Józsefnek** munkám irányításáért, a szakmai információkért és a lelkiismeretes segítségnyújtásukért, valamint hogy a technikai háttérrel biztosították vizsgálataim során.