

# A FAIPARBAN HASZNÁLT KEMÉNYSÉGVIZSGÁLATI ELJÁRÁSOK TÖRTÉNETI FEJLŐDÉSE 2. – STATIKUS KEMÉNYSÉGVIZSGÁLATI ELJÁRÁSOK 1915-TŐL 1950-IG

## THE HISTORICAL DEVELOPMENT OF WOOD HARDNESS TESTS PART 2. – STATIC INDENTATION METHODS 1915-1950

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

<sup>11</sup> Faanyagtudományi Intézet, Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi és Művészeti Kar, Soproni Egyetem, Magyarország

### **Kulcsszavak:**

golyós próba  
Chalais-Meudon-i keménység  
Brinell-Mörath-féle keménység  
Krippel-Pallay-féle keménység  
Hoeffgen-féle pecsétnyomó eljárás  
Mayer-Wegelin-féle eljárás

### **Keywords:**

ball type hardness test  
Chalais-Meudon hardness  
Brinell-Mörath hardness  
Krippel-Pallay hardness  
Hoeffgen hardness  
Mayer-Wegelin hardness

### **Cikktörténet:**

Beérkezett 2018. október 10.  
Átdolgozva 2018. október 31.  
Elfogadva 2018. november 5.

### **Összefoglalás**

*A cikksorozat a faiparban használatos keménységvizsgálati módszereket, azok kialakulását, jelentőségét, előnyeit, hátrányait, használhatóságát kívánja bemutatni. Az második részben a jelenleg is alkalmazott statikus keménységvizsgálati módszerek történeti fejlődését ismertetjük 1915-től 1950-ig.*

### **Abstract**

*The purpose of the article series is, to review the hardness tests with relevance for the wood industry, their development, importance, advantages, disadvantages and applicability. In the 2<sup>nd</sup> part we present history of the currently practiced static test methods in the period 1915-1950.*

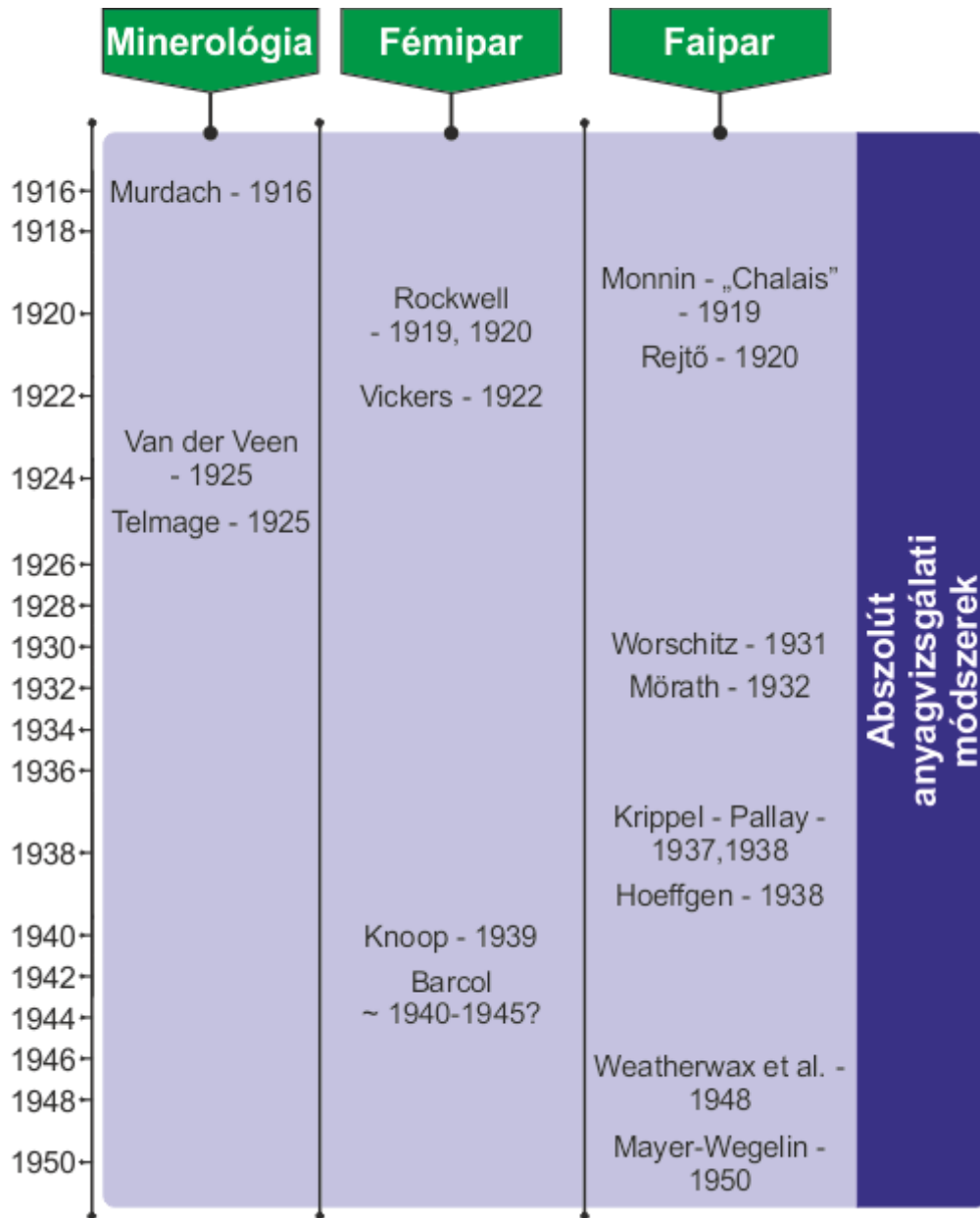
## **1. Bevezetés**

Fakeménység alatt –Rejtő S. (1920) után- azt az ellenállást értjük, amelyet a fa a belé nyomott idegen test behatolásával szemben kifejt [16]. Gyakorlati szempontból a faanyag keménysége a megmunkálási technológiák során, illetőleg a mechanikai tartósságban játszik szerepet. Gyorsan vizsgálható univerzális műszaki anyagjellemzőként tekintünk rá. A fa egy ortogonálisan anizotróp anyag, vagyis fizikai-, mechanikai tulajdonságai – így a keménység is – a tér különböző irányaiban másképpen változnak. Ez az anatómiai elemek irányítottságának és inhomogén szöveti felépítésének köszönhető, mely az adott fafajra, ill. fafajcsoportra jellemző.

1915-ig gyakorlatilag kialakultak a ma is használt módszerek alapjául szolgáló vizsgálati megoldások. Cikksorozatunk első részében megismerkedtünk a relatív-, valamint az 1915-ig nyilvánosságra hozott abszolút keménységvizsgálati módszerekkel (Brinell-, Büsgen-, Janka-, Ludwik- eljárások), ezek pozitívumaival és hiányosságaival [23]. A mérés során jelentkező hibák kiküszöbölésére számos kísérlet született, e fejezetben az abszolút keménységvizsgálati eljárások ismertetését folytatjuk 1915-től 1950-ig.

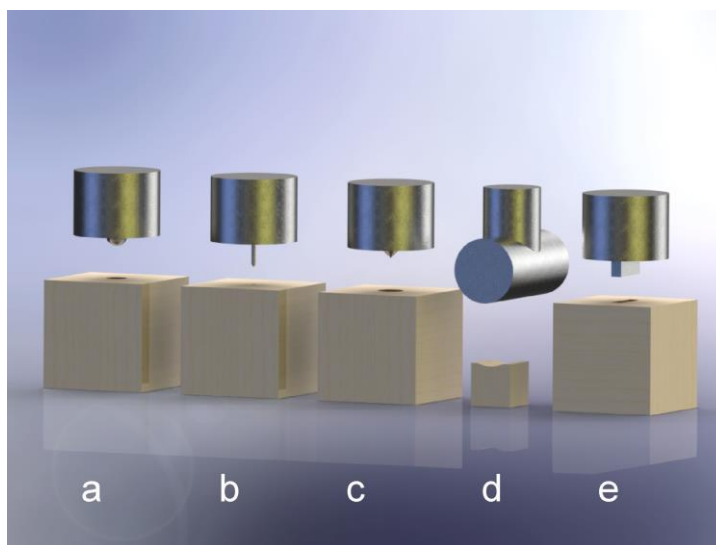
## 2. Statikus keménységvizsgálati eljárások 1915-től

A keménységvizsgálati eljárások időrendi összefoglalását az 1. ábra mutatja. Amint látható, a faipar mellett – a cikksorozat 1. részéhez hasonlóan [23] – bemutatjuk a vizsgált periódus legjelentősebb minerológiai és fémipari fejlődéseit is. Ennek oka, hogy e tudományterületek fejlesztései nagy hatással voltak egymásra, például számos, eredetileg a fémipar számára létrehozott vizsgálat más iparágokban is használatossá vált a későbbiekben, vagy újabb módszerek alapjául szolgált.



1. ábra. A faipar szempontból jelentősebb statikus keménységvizsgálati eljárások fejlődése 1915-1950

A különböző keménységmérési módszerek áttekintéséhez nyújt segítséget a 2. ábra.



2. ábra. Abszolút keménységvizsgálati eljárások sematikus ábrázolása: a: golyós próbák, b: tűpróbák, c: kúpos pecsétnyomó eljárások, d: Chalais-Meudon-I keménységvizsgálat, e: Hoeffgen-féle pecsétnyomó eljárás

### 2.1. Rejtő és Worschitz kísérletei

Ugyan módszereik nem terjedtek el, Rejtő Sándor és Worschitz Frigyes munkássága mindenképpen említést érdemel.

A nyomási mélység csökkentését, valamint a golyó felületének növelését már Trendelenburg, neves kutató is javasolja [8], hogy azok által az oldalirányú torzító tényezők hatását csökkentse, valamint a keménység értéke jobban tükrözze a sűrűségbeli különbségeket. Az említett hibák elkerülése végett többen, köztük Rejtő S. (1920) és Worschitz F. (1931) is megnövelt golyóátmérővel próbáltak egy új mérési módszert létrehozni a Brinell-eljárás mintájára [19],[24].

Rejtő a Brinell-féle keménység meghatározásához 40 mm átmérőjű golyót használt. Mivel tisztában volt azzal, hogy golyós próba esetén az erő ábrája csak kezdetben emelkedő, majd a fa repedéséig (próbatest hasadásáig) vízszintes, a terhelést a maximális erő kifejtésig végezte. A darab tehermentesítése után meghatározta az érintkező kör átmérőjét, s az erőt a kapott kör területére vonatkoztatta.[19]

Worschitz korong alakú vörösfenyő próbatesteken végzett vizsgálatokat egy 31,78 mm átmérőjű gömmbel, a benyomódás mértéke egyszer sem érte el az átmérő  $\frac{1}{4}$  részét (7,95 mm). Kísérletei során az erőhatás mértékét a termőhelytől függően határozta meg (15000 N, 12000 N, 16000-18000 N), viszont az erő állandó mértékét a mérőműszer higanyoszlopának ingadozása miatt nem minden esetben tudta betartani. Maga írta le, hogy az igénybe vett terület nagyságának szórása igen magas, az értékek a benyomott terület évgyűrűszerkezete szerint változnak. A törzsön belüli elhelyezkedést is figyelembe vette, az eredményeket az összehasonlíthatóság kedvéért átlagolta.[24]

### 2.2. A Brinell-Mörath eljárás

A cikksorozat előző részében [23] bemutattuk, hogy számos támadás érte a Brinell- és Janka-eljárásokat. Ennek következtében Mörath 1932-ben módosította Brinell módszerét úgy, hogy az specifikusan a különböző faanyagokra is alkalmazható legyen [1][14]. 153 fafajt mért oly módon, hogy csak a terhelőerőket változtatta meg: az igen kemény fafajokat megközelítőleg 100 kg-os, a közép kemény fákat 50 kg-os, a nagyon puha fákat pedig 10 kg-os tömegek súlyának megfelelő terhelésnek tette ki. Mörath a terhelés idejére vonatkozóan is tett kikötéseket: a maximális terhelést 15 sec alatt el kell érni, azt 30 sec-ig kell tartani, majd lassan, egyenletesen kell megszüntetni újabb 15 sec alatt. (Meg kell jegyeznünk, hogy a gyakorlatban 1000 N, 500 N és 100 N nagyságú terhelő erők használata terjedt el, ami a 9,80665-szeres szorzó miatt kisebb eltéréseket mutathat az eredeti értékekhez képest.) [7]

A Mörath által módosított keménység számítása megegyezik az eredeti Brinell-keménységével:

$$H_{BM} = \frac{F}{D\pi h} = \frac{2F}{D\pi(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (1)$$

ahol:

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

Pallay Nándor 1937-ben, az Anyagvizsgálók közlönyében, valamint 1938-ban a Holz als Roh- und Werkstoff német folyóiratokban megjelent cikkeiben összegzi a Brinell-Mörath-módszert ért kritikákat, valamint kiegészíti azokat saját mérései alapján [13],[14]. Leírja, hogy a 3-féle terhelő erő eleve bizonytalanra teszi az eljárást, mert már előre meg kell becsülni a mérés elvégzéséhez a várt keménységi értéket (Kollmann, 1937). Az eljárás nem biztosít összehasonlítási alapot, csak az ily módon elkülönített keménységi csoportokon belül, mert nem csak a terhelő erő nagysága, de a benyomódás mélysége is változik. A benyomódási képet tanulmányozva megállapítja, hogy az gyakran kör helyett egészen szabálytalan alakú, különösképpen, ha a benyomódás épp az évgűrűhatárt érinti. Ebben az esetben a tényleges felület korrekciójaként a két, egymásra merőleges átmérő átlagát kellene venni, Pallay ezt elutasítja – a fában keletkező gömbsüveg határa ugyanis nem éles, ez főként trópusi fafajoknál jelentkezik-, helyette a nagyobbik tengely hosszának négyzetére emelését javasolja. E javaslatot saját méréseire alapozza, melyek során azt is megállapítja, hogy a keletkező ellipszis két tengelye közötti különbség a sűrűséggel fordított arányban változik. Emellett leszögezi, hogy célszerűbb volna a benyomódás mélységét mérni és abból számítani a gömbsüveg felületét, szemben a benyomási képek átmérőhányadosaiból történő számítási módszerrel. Foglalkozik a terhelési időnek a keménységre gyakorolt hatásával is, erre vonatkozólag –mivel az szabálytalanul változik, valamint az eredmények szórása igen nagy-, nem tud szabályszerűséget felállítani. Emiatt indokolatlannak véli a 30 s-os terhelési időt is, valamint e tekintetben is megbízhatatlannak ítéli Brinell módszerét. Az átlagérték számításához előírt min. 9 benyomás szerinte még nem biztosítja, hogy reális, megbízható átlagértékeket kapjunk, mivel az a próbatetek nagyságától függ (és nem feltétlenül a vizsgálat elvégzéseinek számától). A kívánt átlagértékek eléréséhez a Brinell-Mörath eljárásban használt 10 mm átmérőjű golyót is túlságosan kicsinynek ítéli az előírt terhelés mértékéhez képest, hiszen csak egyenesletes évgűrűszerkezet esetén szolgáltathat valós eredményt [13][14].

### 2.3. A Chalais-Meudon-i módszer

Mörath-tal szinte egy időben, egy teljesen más megközelítéssel próbálta megoldani a korábban kifejtett problémákat [23] a francia M. Monnin (1932), a Chalais – Meudon-i módszer atyja. Monnin szakított a bütükeménység vizsgálatának gondolatával, ő sugárirányban kívánta a fák keménységét meghatározni. Ily módon nem kellett tartani a nyomó-hatások mellett helyenként ébredő nyíró-erők vizsgálatbefolyásoló hatásától, ezáltal a rostkiszakadástól sem [7].

Az általa kifejlesztett eljárás során a faanyagba egy 30 mm átmérőjű acélhengert nyomnak úgy, hogy annak a hossztengelye a vizsgált felülettel párhuzamos. A henger hosszának minden esetben meg kell haladnia a próbatetek hosszát. Franciaországban általában 2 x 2 cm alapterületű próbateteket használnak, ezek felületét 20 N/cm<sup>2</sup> (= 0,2 MPa) terhelésnek teszik ki 5 sec időtartamig, puha fák esetében a terhelési értékét 10 N/cm<sup>2</sup>-re (= 0,1 MPa) csökkentik [7][21].

A Chalais-Meudon-i keménység megadásához először a benyomódási mélységet kell meghatározni az alábbi képlet segítségével [7]:

$$t = 15 - \frac{1}{2} \cdot \sqrt{900 - l^2} \text{ (mm)} \quad (2)$$

ahol:

t – benyomódási mélység	(mm)
l – benyomási szélesség	(mm)

A Monnin-féle keménységet a benyomódás mélységének reciproka adja [1]

$$H_{Ch} = \frac{1}{t} \text{ (1/mm)} \quad (3)$$

Egner (1941) szerint az oldalirányú keménység vizsgálatában sokkal célravezetőbb a Monnin módszerének alkalmazása [7].

A kétféle terhelő erő alkalmazása a Brinell-Mörath eljárásnál is megjelenő hibákat eredményezi: az eljárás bizonytalan a változó terhelések, ill. benyomódási mélység miatt, összehasonlítás pedig csak egyes csoportokon belül lehetséges [7][21].

#### 2.4. A Krippel-Pallay –eljárás

Pallay Nándor, a munkáját irányító ugyancsak magyar professzora, Krippel Móric módszerének bevezetését javasolja (az eljárást alátámasztó méréseket már Pallay végezte Krippel megbízására) [13]. A Krippel-Pallay (1937, 1938) módszer kiküszöböli a Brinell-Mörath eljárás talán legnagyobb problémáját, a 3-féle erő használatát azzal, hogy a Janka-módszerhez hasonlóan a benyomási mélységet határozza meg. Az eredetileg 2,5 mm, majd 2 mm-es érték megállapításánál figyelembe vették Stamer (1929) kutatási eredményeit is [13]: olyan benyomási mélységet kerestek, amely a tülevelűeknél és a lombosoknál sem eredményez rotszakadást. Hogy egy hitelesebb átlagértéket kapjanak, felismerték, hogy a golyó felületét kell annyival megnövelni, hogy az több évgyűrűt is érinteni tudjon. A Krippel és Pallay által használt golyó átmérője 31,834 mm, amelyet ha a már említett 2 mm mélységig benyomunk - ebben az övben az átmérő 15,154 mm, a gömbsüveg felszíne éppen 2 cm<sup>2</sup> lesz [13],[14],[15]. Érdekességképpen jegyeznénk meg, hogy Janka pecsétnyomó- és golyóspróbas eljárásánál is a nyomótesteknek a fával érintkező felülete is megközelítőleg 2 cm<sup>2</sup>.

A Krippel-Pallay keménységet az alábbi módon határozhatjuk meg [15],[12]:

$$H_{K-P} = \frac{F}{200} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (4)$$

ahol:

$H_{K-P}$  – Krippel-Pallay-féle keménység (N/mm<sup>2</sup>)

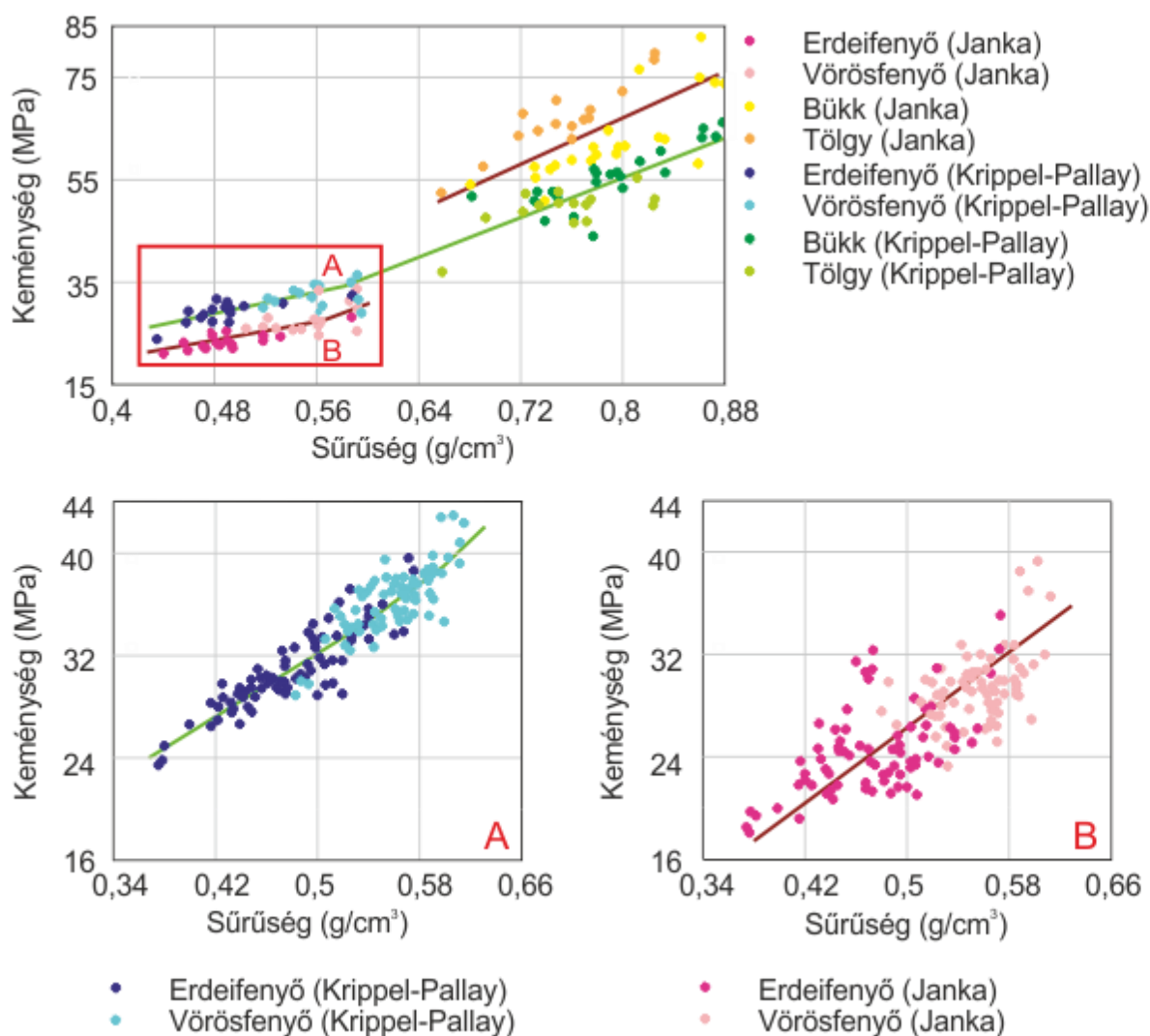
$F$  – terhelőerő (N)

Hogy a módszer mennyivel célravezetőbb, mint az iparban nemzetközileg legelterjedtebb módszerek (Janka és Brinell-Mörath), jól bizonyítja a következő ábra (3. ábra) is, melyen jól látszik a Janka valamint a Pallay által légszáraz állapotban mért, sűrűség függvényében változó bütökeménységek szórásának eltérése - Pallay esetében a szórás jóval kisebb, tehát az értékek sokkal megbízhatóbbak.

Érdekes, hogy míg a Janka által mért lombos és fenyő keménységi értékeket nagy töréssel tudnánk csak összekötni (piros vonal), a Krippel-Pallay módszerrel ezek között közel lineáris kapcsolat figyelhető meg (zöld vonal). Ugyanennél az ábránál maradván észre kell vennünk, hogy a mért értékek Jankánál fenyők esetében alatta maradnak, míg lombosok esetében jóval meghaladják a Pallay által mért értékeket [13].

Szembetűnő a 3.B ábra nagyításának az eredetitől való eltérése: az eredeti ábrán a regressziós egyenes megtörik, míg nagyított másán egyenes marad ugyanabban a tartományban. Megkérdőjelezhető a lineáris regresszió alkalmazása, valamint az is, hogy 4 fafaj vizsgálata alapján általánosíthatunk-e az összes fafajra.

W. Kumichel és D. Holz (1955) is elismeri, hogy a Krippel-Pallay módszer különösen nagy jelentőséggel bír, hiszen nagymértékben kiküszöböli a Janka-eljárás hibáit. A Janka-módszerhez hasonlóan ennél a megoldásnál is a terhelés alatti golyóbenyomás adja a keménységi szám alapját. Azonban a faanyagban ily módon fellépő további rugalmas összenyomódás következtében túl alacsonyok lesznek a számított keménységi értékek. Az eltérés mértéke az egyes fafajok rugalmasságának megfelelő mértékben változik. Az empirikus összefüggés a faanyag sűrűsége és keménysége között a Krippel-Pallay módszernél is érvényes. Ebből arra következtetünk, hogy a keménység kiszámítható a sűrűségből, így magától a keménységméréstől el is tekinthetünk. Az ily módon kiszámolt keménységi értékek azonban nem mindig felelnek meg a valóságnak. Az eltérések különösen akkor jelentősek, ha kémiai, vagy gomba általi bomlási folyamatok hatására bekövetkező keménységcsökkenés kimutatása a cél. [9]



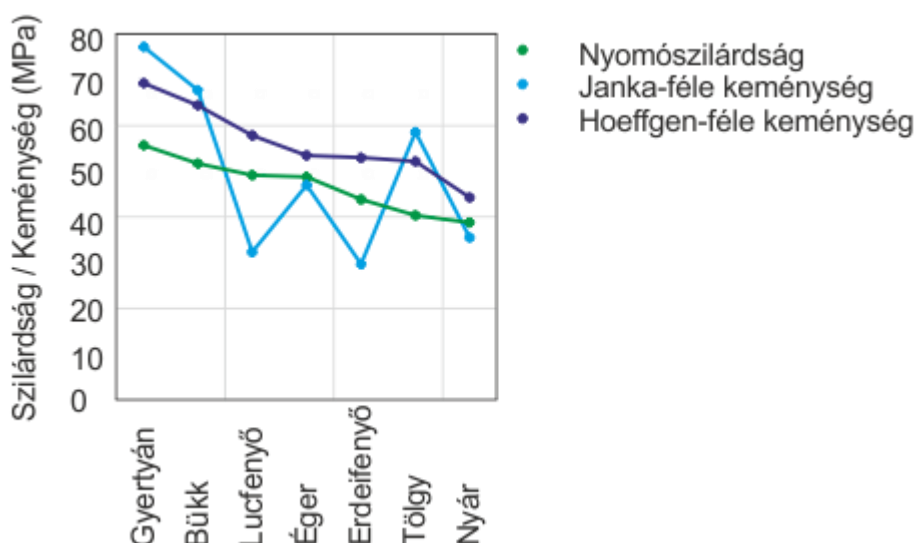
3. ábra. A bütükeménységek és a sűrűség közötti összefüggés légszáraz állapotban (Pallay eredeti ábrái [14] alapján)

## 2.5. A Hoeffgen-féle pecsétnyomó eljárás

Szinte egyidőben a Krippe-Pallay párossal publikálta pecsétnyomó eljárását H. Hoeffgen 1938-ban, ugyancsak a Holz als Roh- und Werkstoff-ban [6]. Hoeffgen célja is a Brinell- és a Janka-féle golyós próbák hibáinak kiküszöbölése volt [21]. Előkísérletei során 2,5x20, 5x20 illetve 10x20 mm alapú, téglatest formájú pecsétet használt, melyeket 10 mm mélységig nyomott a próbatestekbe rostiránnyal párhuzamosan [6]. Későbbi gyakorlatban a keménységmérés 12 % nettó nedvességtartalom mellett történik a pecsét 1 mm mélységig való benyomásával. A keménység értékét az 1 mm benyomási mélység eléréséhez szükséges erő nagysága adja. Hoeffgen [6] nem tesz erre vonatkozó említést, Kovács I. [8] viszont azt írja a különböző méretű pecsétet a faanyagok sűrűségétől függően kell alkalmazni: könnyű fák esetében a legkisebb, 2,5x20 mm-es, középnehéz- és nehéz fák esetében az 5x20 mm-es, nagyon nehéz fák esetén a 10x20 mm-es pecsétméretet használjuk. Ezt alátámaszthatja, amit Hoeffgen maga ír, hogy a megnövelt pecsétzélességgel arányaiban kisebb területen fog nyírás fellépni [6].

A Kapott eredményei alapján a középső, 1 cm<sup>2</sup> alapterületű forma alkalmazását tartotta célravezetőnek, így a Janka-féle keménységvizsgáló eljárással való összehasonlítást már ezzel végezte. 47 x 47 mm-es, légszáraz nedvességtartalmú próbatestjein 2-2 golyóspróbát és 2-2 pecsétnyomó vizsgálatot hajtott végre. A terhelések időtartama 30 s volt. Mint az a 4. ábrán is jól látszik, a kétféle metódus közül Hoeffgené követi a nyomószilárdság értékeit, Jankáé pedig jelentősen eltér attól. Mivel a nyomószilárdság és a keménység között nyilvánvalóan kell lennie

kapcsolatnak, Hoeffgen eredményei kedvezőbbnek tűnnek, mint a Janka-módszerrel mért, szóró eredmények.



4. ábra. A Janka-féle keménység és a Hoeffgen-féle keménység összehasonlítása a nyomószilárdság tekintetében (Hoeffgen eredeti ábrái [6] alapján)

A 4. ábrát továbbelemezve megállapítható, hogy amíg a Janka-keménység értékei nyomószilárdság tekintetében a 0,66-szoros értéktől az 1,41-szeresig változnak, ugyanezek Hoeffgennél csupán 1,11-1,28-szoros értékeket vesznek fel.

Hoeffgen a nedvességtartalom befolyásoló hatását is vizsgálta. A következő fanedvességtartalmak mellett elvégezte saját, illetve Janka próbáit lucfenyő próbatesteken: 0%, 10 %, 14%, 21% illetve 140 % nettó, vagyis a szárazanyagtartalomhoz viszonyított nedvességtartalom mellett. Arra a megállapításra jutott, hogy míg a pecsétnyomó eljárásnál a növekvő nedvességtartalommal a keménység értéke folyamatosan meghaladja a nyomószilárdságét, a Janka-keménység értékei jelentősen alatta maradnak a nyomószilárdságnak, de nedves fa esetén meglepően közel kerülnek egymáshoz az értékek [6].

A módszer nem aratott osztatlan sikert, Pallay 1939-es munkájában a nyírőerők fellépésével magyarázza a Hoeffgen eljárásánál, hogy annak értékei meghaladják a nyomószilárdság értékeit. Emellett megkérdőjelezi a módszer létjogosultságát arra hivatkozva, hogy az pusztán a nyomószilárdsági értékeket erősíti meg, a nyomószilárdság kifejezésére pedig már akkor is rendelkeztek egy jól bevált módszerrel, így Hoeffgen eljárása véleménye szerint nem bír újdonságjelleggel [15]. Kovács I. szerint a Hoeffgen eljárás megfelelő eredményeket ad, de a nyomószilárdsági vizsgálatokhoz képest ezek csupán megközelítő értékek [8].

## 2.6. A Mayer-Wegelin- eljárás

H. Mayer-Wegelin (1950) az évgyűrűkön belüli keménységkülönbségét szerette volna leírni. Ehhez megalkotta a "Härtetaster"-ként ismert egyszerű felépítésű, de viszonylag pontos, gyors gépet [8][18]. Módszere során eredetileg egy, az akkori kereskedelmi forgalomban kapható, meglehetősen vékony, standard gramofontűt nyomtak a faanyagba meghatározott erővel (Kovács I. szerint ennek mértéke  $30 p = 133,45 N$ ), miközben a benyomási mélységet mérték 0,01-es pontossággal [8][20]. A benyomódás közvetlenül adja a keménységi számot, értéke normál esetben 0,2 – 2 mm közé esik (balsafánál 4,14 mm, pockfánál 0,21 mm). A tű egy horizontálisan mozgatható karon helyezkedett el, ezáltal lehetővé téve, hogy egy sorban számos ponton is elvégezhető legyen a mérés. Az így kapott eredményekből lehetett következtetni a faanyagon belüli keménységkülönbségekre. A módszert eredetileg bütükeménység mérésére találták ki, de alkalmas a tangenciális- és a sugárirányban való felhasználásra is.[20]

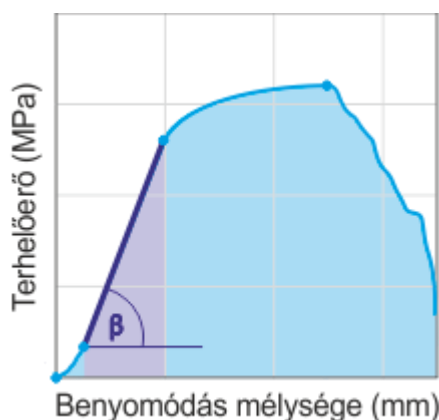
Ami a mérési módszer hibáit illeti, kiemelkedő szerepe van az eszköz egyes alkatrészei közötti holtjátéknak, túvezetésnek. Mivel az eszköz egy rögzítése mellett 1 m-es szakaszon tudunk méréseket végezni, problémássá válik hosszabb mintadarabok vizsgálata (Nehéz, szinte lehetetlen

ugyanazt a mérési sort folytatni ugyanabban az irányban, megtartani az áthelyezés utáni első pont és az előző szakasz utolsó pontja közti távolságot.) A terhelés eléréséhez szükséges gyorsulás mértéke szubjektív, a mérés kivitelezőjére van bízva. Emellett a mérőóra leolvasásának időpontjára sincs pontos megkötés. Ez azért kritikus, mert a tűnek (még terhelés mellett) állnia kell, a valóságban ezzel szemben – gyakran szinte észrevétlenül - fokozatosan beljebb hatol a faanyagba. A Bűsgermó-módszernél is felismert hibák némelyike Mayer-Wegelin módszerénél is megfigyelhető, például a vizsgálandó felületet nem lehet kellőképpen kicsire választani ahhoz, hogy a tű ne szűrjön át más szöveti részt is. Emellett az új módszer alkalmazása során is fellép a súrlódás és a hasítás nemkívánatos, torzító hatása [20]. Hogy átfogó, egzakt eredményeket kapjunk, igen sok mérést kell végezni, ami meghosszabbítja a vizsgálat időtartamát és bonyolítja a kiértékelést is.[4]

A gyakorlatban - a felsorolt hibák ellenére is - a módszer jól használható például a furnérok keménységének meghatározására. Alkalmos továbbá – Mayer-Wegelin céljának megfelelően – a faanyagban belüli keménységkülönbségek kimutatására, valamint az egyes fafajok keménységeinek összehasonlítására is [8].

## 2.7. A keménységi modulusz

Weatherwax, Erickson és Stamm (1948) módosították a Janka-keménységet oly módon, hogy az a nagyon magas (pl. guajakfa, tömörített faanyagok) és a nagyon alacsony sűrűségű (pl. balsafa) faanyagok esetében is alkalmazható legyen [1],[2]. Az eredeti vizsgálat során az alkalmazott erő a benyomási mélységgel kezdetben nagyjából lineárisan növekszik (5. ábrán látható lila tartomány). Weatherwax és társai e vonal meredekségéből származtatták az általuk elnevezett keménységi moduluszt [5].



5. ábra. A faanyag sematikus alakváltozási jelleggörbéje

A keménységi moduluszt meghatározásához Janka-féle nyomófejet alkalmaztak, a mintákat 75°F (≈24°C) és 50% relatív páratartalom mellett kondicionálták, mérési eredményeiket 0,025 mm-es pontossággal rögzítették. [5][1] Azt tapasztalták, hogy 0,25 hüvelyk (=0,64 cm) vastagság fölött a keménység nem változott a vastagság növekedésével. Annak érdekében, hogy megfelelő biztonsági tényezőt biztosítsanak, az összes további minta legalább 0,5 inches vastagságú volt. A keménységi moduluszt ezután 11 különböző fajtájú, kezeletlen faanyag segítségével határozták meg, normál és tömörített állapotban.[5] Megállapították, hogy összefüggés van a keménységi modulusz és a sűrűség között, ez a kapcsolat pedig azonos a Janka keménység/sűrűség aránnyal.[1]

Lewis (1968) vizsgálatokat végzett arra vonatkozóan, hogy kialakulhat-e korreláció a keménységi modulusz és a Janka-keménység között. Néhány farostlemezen és a forgácslapokon végzett előzetes meghatározás után azt tapasztalta, hogy a Janka-féle golyós keménység lineáris kapcsolatot mutatott a keménységi moduluszsal.

A keménységi modulusz, mint a Janka-féle keménységvizsgálati eljárás alternatívája leginkább akkor bizonyulhat hasznosnak a faanyag vizsgálatában, ha a rendelkezésre álló anyag kisebb, mint a Janka-keménység meghatározásához előírt méret, vagy ha valamilyen más tényező miatt kívánatos, hogy az eredeti módszernél előírt 5,642 mm-es benyomási mélységet még ne érjük el.



[10]. Erre jó példát jelenthet a kompozit termékek tesztelése, ahol a túlzott behatolás által okozott delamináció problémát jelenthet. [1]

### 3. Összefoglalás

Cikksorozatunk első részében megismerkedtünk az 1915-ig kialakult, faiparban használatos keménységvizsgáló eljárásokkal, azok előnyeivel és hátrányaival [23]. E bemutatást, kritikai elemzést kívántuk folytatni cikksorozatunk második részében, melyben az 1915 és 1950 között kitalált metódusokkal ismerkedtünk meg: Rejtő, Worschitz, Mörath, Monnin, Krippel-Pallay, Hoeffgen, Mayer-Wegelin valamint Weatherwax, Erickson és Stamm vizsgálatai mind kiemelkedő szerepet játszottak e területen. Közülük is talán a legelőnyösebb tulajdonságokkal bíró módszert a Krippel-Pallay páros alkotta meg, de sajnálatos módon a módszer még hazánkban sem vált igazán elterjedté. A Mörath által módosított Brinell-keménység azonban nemzetközi vonatkozásban is nagy jelentőséggel bír, számos hátránya ellenére napjainkban is az ipar által leginkább előnyben részesített módszerek egyike.

A sorozat harmadik, egyben utolsó részében az 1950 után kidolgozott faipari keménységvizsgáló módszereket kívánjuk bemutatni, értékelni.

### Köszönetnyilvánítás

A tanulmány a „Faipari termékek tovább feldolgozása zöld kémiai és technológiai alapokon, korszerű kutatási infrastruktúra létrehozásával” című és GINOP-2.3.3-15-2016-00038 projekt részeként a Szechenyi2020 program keretében az Európai Unió támogatásával, az Európai Regionális Fejlesztési Alap társfinanszírozásával valósul meg.

### Irodalomjegyzék

- [1] Doyle, J. (1980): The hardness of wood. – doktori értekezés. University of Canterbury, School of Forestry, New Zealand. p. 5-18
- [2] Doyle J., Walker, J.C.F. (1984): Indentation hardness of wood. Wood and Fiber Science, 17(3). pp.369-376
- [3] Exner, F. (1873): Untersuchungen über die Härte an Krystallflächen. k. k. Hof- und Staatsdruckerei, Wien. p 3.
- [4] Gazdag Péter (1992): Keménységvizsgáló eljárások kritikai kiértékelése, s két vizsgálati módszer összehasonlító elemzése. Szakdolgozat, Erdészeti és Faipari Egyetem - Faipari Mérnöki Kar, Faanyagismeret Tanszék, Sopron. p 6.
- [5] Green, D. W., Begel, M., Nelson, W. (2016): Janka Hardness Using Nonstandard Specimens. Research Note FPL-RN-0303. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 13 p
- [6] Hoeffgen, H. (1938): Härteprüfung des Holzes durch Stempeldruck. Holz als Roh-und Werkstoff. I. évf. május
- [7] Kollmann (1951) Technologie des Holzes und Holzwerkstoffe. Springer Verlag. München 909-934 - 911,912,917
- [8] Kovács I. (1979): Faanyagismeret. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. 199-224, 199,200,201,203-205,211,217-218
- [9] Kumichel, W., Holz, D. (1955): Das Höppler-Konsistometer – ein Gerät zur Bestimmung der Kugeldruckhärte von Hölzern. Holz als Roh-und Werkstoff, 13. évf. 5. szám, május. pp188-193
- [10] Lewis W. C. (1968): Hardness modulus as an alternate measure of hardness to the standard Janka ball for wood and wood-base materials. USDA, Forest Service, Forest Products Laboratory Research Note FPL-0189 Madison, WI: Forest Products Laboratory
- [11] Molnár S. (2002): A Faipari Mérnöki Kar nagyjai – Dr. Pallay Nándor (1903-1983) élete és munkássága. Nyugat-Magyarországi Egyetem, Faipari Mérnöki Kar, Sopron. p 7-9
- [12] Molnár S. (2004): Faanyagismeret. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Bp. pp 306-307
- [13] Pallay N. (1937): A fakeménység vizsgálati módszerének kérdése. Anyagvizsgálók közlönye. 1937. szept.- okt. szám. p 119-138, 119-121.
- [14] Pallay N. (1938): Über die Holzhärteprüfung. Holz als Roh-und Werkstoff. I. évf. január. p. 126-130.
- [15] Pallay N. (1939): Ergänzende Angaben zum Holzhärte-Prüfverfahren. Holz als Roh-und Werkstoff, 2. évf., 2. szám, december, pp 413-416
- [16] Pallay N. (1951): Mechanikai technológia – kézirat. Agrártudomány Egyetem, Erdőmérnöki Kar Jegyzetei, Sopron. p. 133-145 – 133,134
- [17] Pallay N. (1955): Fa technológia – kézirat. Erdőmérnöki Főiskola, Erdőmérnöki Főiskola jegyzetei, Sopron. p. 91.
- [18] Polge, H. (1963): Une nouvelle méthode de détermination de la texture du bois - L'analyse densitométrique de clichés radiographiques. ENEF, Ecole nationale des eaux et forêts, Nancy (FRA) p. 540,574
- [19] Rejtő S. (1920): Az elméleti mechanikai technológia alapelvei és a fa anyagának technológiája. III. kötet - A belső és külső erők hatása a fa anyagának mechanikai tulajdonságaira. Németh József Technikai Könyvkereskedő Bizománya, Budapest. pp 57-61.
- [20] Sachsee, H. H., Hamburg-Reinbek (1960): Zur Methodik der Strukturprüfung von Hölzern mit dem Nadelstichverfahren. Holzforschung. Bd.14.(1960) H.6. p. 170

- [21] Siebel, E. (1957): Handbuch der Werkstoffprüfung - Dritter Band – Die Prüfung nichtmetallischer Baustoffe. Springer Verlag, Berlin, Göttingen, Heidelberg. p 81-84 →Chalais-Meudin
- [22] Tabor D. (1951): The Hardness of Metals. Clarendon Press, Oxford p 2, 95,171 (knoop évszám)
- [23] Vörös Á., Prof. Dr. Németh R. (2018): A faiparban használt keménységvizsgálati eljárások történeti fejlődése 1. – Statikus keménységvizsgálati eljárások 1915-ig. Gradus, Kecskemét. Vol 5, No 1 (2018) 113-120 ISSN 2064-8014
- [24] Worschitz F. (1931): A dunántúli vörösfenyő vastagsági növekedésének, fajsúlykialakulásának, keménységének és nyomószilárdságának összehasonlító vizsgálata. Erdészeti kísérletek, XXXIII. évf. 1-2.sz. Sopron. p. 39-40.
- [25] Worschitz F. (1935): A faanyagvizsgálat okszerűsítése és nemzetközi szabályozása. Erdészeti lapok.LXXIV. évf. XII. füzet. p. 835-837