

A FAIPARBAN HASZNÁLT KEMÉNYSÉGVIZSGÁLATI ELJÁRÁSOK TÖRTÉNETI FEJLŐDÉSE 1. – STATIKUS KEMÉNYSÉGVIZSGÁLATI ELJÁRÁSOK 1915-IG

THE HISTORICAL DEVELOPMENT OF WOOD HARDNESS TESTS PART 1. –STATIC INDENTATION METHODS TILL 1915

Vörös Ágnes ^{1*}, Prof. Dr. Németh Róbert ¹

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

Kulcsszavak:

Golyós próba
Nördlinger keménységi skála
Brinell-féle keménység
Janka-féle keménység
Büsgen-féle tűpróba
Meyer-féle hatványtörvény
Ludwik-féle pecsétnyomó eljárás

Keywords:

Nördlinger hardness scale
Brinell hardness test
Janka hardness test
Büsgen hardness test
Meyers law
Ludwik hardness test

Cikktörténet:

Beérkezett 2017. november 14.
Átdolgozva 2017. november 22.
Elfogadva 2017. november 25.

Összefoglalás

A cikksorozat a faiparban használatos keménységvizsgálati módszereket, azok kialakulását, jelentőségét, előnyeit, hátrányait, használhatóságát kívánja bemutatni. Az első részben a jelenleg is alkalmazott statikus keménységvizsgálati módszerek történeti fejlődését ismertetjük 1915-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 1st part we present history of the currently practiced static test methods till 1915.

1. A keménység fogalma, jelentősége

Gyakorlati szempontból a faanyag keménysége a megmunkálási technológiák során, illetőleg a mechanikai tartósságban játszik szerepet. Gyorsan vizsgálható univerzális műszaki anyagjellemzőként tekintünk rá, amely akár beépítés után lépcsőknél, burkolati elemeknél (pl. padló, parketta) vagy bútorok teherviselő elemeinél (asztallap, székek ülőfelülete, háttámla) előrevetítheti a termék élettartamát. Mint tudjuk, a fa egy ortogonálisan anizotróp anyag, vagyis fizikai-, mechanikai tulajdonságai – így a keménység is – a tér különböző irányokban másképpen változnak. Ez inhomogén szöveti felépítésének köszönhető, mely az adott fafajra jellemző.

A definíció megalkotása Rejtő Sándor nevéhez fűződik: „Keménységnek gyakorlati értelemben az anyagnak azt az ellenállását nevezik, amelyet az anyag a szerszám behatolása ellen kifejt” [25]. A faanyag behatolás elleni ellenállása függ a megmunkáló szerszám alakjától, a behatolás módjától és attól, hogy a behatolás melyik anatómiai irányban történik, de általánosságban elmondható, hogy a fa mechanikai megmunkálásakor a szerszámnak a fa

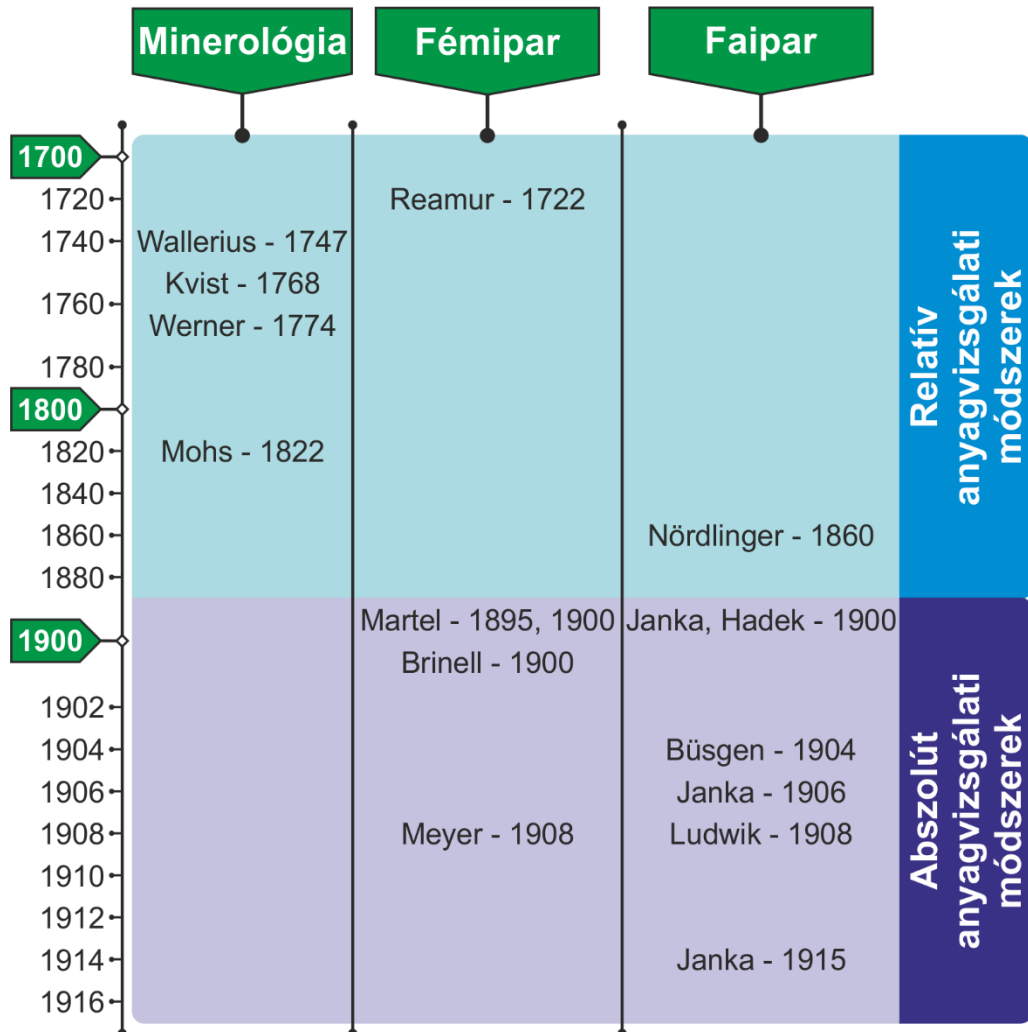
* Kapcsolattartó Vörös Ágnes. Tel.: +36-70/6732-344; fax: -
E-mail cím: voros.agnes@phd.uni-sopron.hu

keménységét kell legyőznie. Keménység alatt tehát azt az ellenállást értjük, amelyet a fa a belé nyomott idegen test behatolásával szemben kifejt [24].

Attól függően, hogy a terhelés hosszabb ideig tart, vagy pillanatszerű, megkülönböztetünk statikus illetve dinamikus anyagvizsgálati módszereket.

2. A statikus keménységvizsgálat történeti fejlődése

A statikus keménységvizsgálati eljárásokat két csoportra célszerű bontani, ezek a relatív- és az abszolút mérési módszerek. Előbbi provizórikusabb, a különböző anyagokat egymáshoz viszonyítja, míg az utóbbi már egyértelműbb, számszerűsített méréstípust takar. A keménységvizsgálati eljárások időrendi összefoglalását az 1. ábra mutatja.



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

2.1. Relatív keménységvizsgálati módszerek

A keménység tanulmányozása leginkább az elmúlt közel 300 évben vált jelentőssé, ezen belül a fa keménységének kutatása jóval később, 160 évvel ezelőtt kezdődött meg. Az első keménységgel kapcsolatos megállapítás Reamur (1722) nevéhez fűződik: a keményebb fém karcolja a nála puhábbat [2]. Ugyanezen elv szerint dolgozta ki C. F. Mohs mineralógus az 1822-ben közzétett 10-fokozatos, ásványokra vonatkozó karcolási keménységi sorát is [19] [28], melyet egy csaknem húsz éves kutatómunka előzött meg [15]. Exner szerint Huey kezdetleges, ugyancsak ásványokra vonatkozó kísérletei hatottak Mohsra [5], ennek ellentmond, hogy Huey csak 1823-ban jelentette meg munkáját [1].

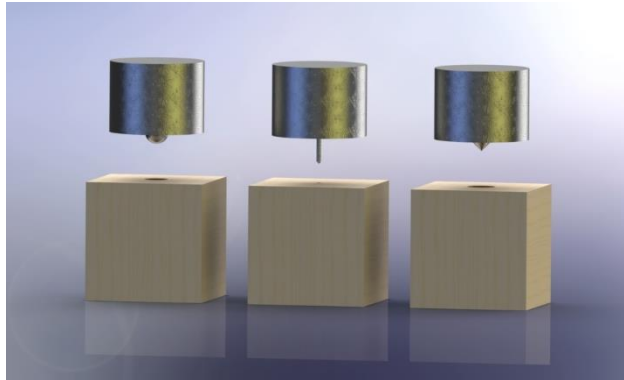
Az első, aki kísérletet tett a fakeménység leírására, H. Nördlinger (1860) volt. Rájött, hogy a keménység, amely befolyásolja a fa megmunkálhatóságát, függ a szerszámtól is. Janka szerint Nördlinger lehetetlennek tartotta az abszolút keménység kifejezését [9], ám gyakorlati tapasztalatok alapján létrehozta saját rendszerét: a faanyagokat keresztben való fűrészselhetőségük alapján csoportosította [9][24]. Az építőfákra nézve Nördlinger nyolc relatív keménységi fokot állapított meg [11]:

1. kőkemény (pl.: ébenfa, pokkfa)
2. csontkemény (pl.: közönséges borbolya, puszpáng, fagyal, tatárlonc, közönséges és kínai orgona)
3. igen kemény (pl.: húsos som, som, galagonya, mandulafa, sarkantyús galagonya, lepényfa, kökény, mogyorós hólyagfa)
4. kemény (pl.: gyertyán, mezei-, kőrislevelű-, korai-, pennsylvanai-, tatár-, cukorjuhar, amelanchier botryapium, tiszafa, cseresznyefa, nyárfalevelű galagonya, közönséges benge, közönséges bodza, házi berkenye, kányabangita)
5. meglehetősen kemény (pl.: magas-, amerikai-, virágos kőris, bálványfa, csertölgy, ostorfa, júdásfa, fekete galagonya, homoktövisfa, magyal, bugás csörgőfa, benzoinfa, fehéreper, kínai papíreper, havasi törpefenyő, platán, sajmeggy, vöröslevelű májusfa, hármalevelű alásfa, vöröstölgy, akác, mezei szil, vénic-szil)
6. kissé kemény (pl.: szelídgesztenye, ezüstjuhar, közönséges és széleslevelű kecskerágó, bükk, amerikai vasfa, fekete dió, diófa, körtefa, fekete ebszőlő, almafa, barkócaberkenye, kocsányos tölgy, kocsánytalan tölgy, fürtös bodza, japán akác, madárberkenye)
7. lágy (luc, jegenye-, erdei-, fekete- és vörösfenyő, páfrányfenyő, szivarfa, vadgesztenye, nyír, virginiai- és közönséges boróka, tulipánfa, hamvas- és mézgas éger, mogyoró, zselnicemeggy, közönséges kutyabenge, sárga cserszömörce, ecetfa, mandulalevelű-, serevény- és kecskefűz, nyugati thuja)
8. igen lágy (simafenyő, ezüst-, olasz-, kanadai-, balzsamos-, fekete- és rezgő nyár, amerikai- és kislevelű hárs, fehér-, törékeny-, boroszlánképű fűz, császárf)

Nördlinger listája nem teljes, nem számszerűsített, mindazonáltal rámutat a sűrűség és a keménység közötti összefüggésekre [13]. A szilárdsági értékek és a sűrűség közötti korrelációt egyébként L. de Buffon írja le elsőként az 1700-as években [20]. W. J. Extern írta az 1887-es megjelenésű Handbuch der Forstwissenschaft-ban [16], hogy ugyan „Nördlinger ismert munkájában a különböző anyagoknak más-más szerszámokkal szembeni viselkedésével kapcsolatos számos megfigyelését tette közzé, a Nördlinger munkának ezen része a mai napig egy majdnem teljesen elszigetelt javaslat maradt.” Pally 1951-es kéziratából viszont az derült ki, hogy Nördlinger listája hosszú ideig kielégítette a gyakorlati követelményeket [24].

2.2. Abszolút keménységvizsgáló módszerek

Az 1900-as évek első felében több abszolút keménységvizsgáló eljárást is kifejlesztettek, ezek áttekintéséhez nyújt segítséget a 2. ábra.



2. ábra. Abszolút keménységvizsgáló eljárások sematikus ábrázolása: golyós próbák, tűpróbák és kúpos pecsétnyomó eljárások

2.2.1. Brinell-féle golyós próba

Nagy jelentőséggel bír Brinell (1900) keménységvizsgáló módszere, amely ugyan eredetileg fémek keménységét volt hivatott meghatározni, több, a faiparban használatos eljárás alapját képezi (pl. Brinell-Mörath, Janka, Krippel-Pallay, Piazza-Turrini). Brinell publikációjának második felében javaslatot tesz anyagömorségi vizsgálatának fémeken és fán való alkalmazási lehetőségére, de nem említi, hogy fémek mellett fán is végzett volna kísérleteket [2]. Pallay ezzel szemben azt állítja, Brinell ugyancsak 1900-as megjelenésű, Ein Verfahren zur Härtebestimmung nebst einigen Anwendungen desselben c. publikációjára hivatkozva, hogy Brinell 25 bel- és külföldi fafajt vizsgált [21].

Brinell a keménységet a golyót terhelő erő és a golyó által benyomott felület hányadosaként fejezte ki. A vizsgálathoz 10 mm átmérőjű golyót használt, mint nyomótestet. Puhább fémeknél 5.000 N, keményebb fémeknél 30.000 N terhelést írt elő. Fára vonatkozóan eltérnek a források: Janka [9], Pallay [21] és Kollmann [13] szerint egységesen 500, Kovács I. [14] szerint 600 N (sic!) terhelést írt elő minden fafajra.

A benyomódási mélység az alábbi képlettel számítható (1):

$$h = \frac{D - \sqrt{D^2 - d^2}}{2} \text{ (mm)} \quad (1)$$

ahol:

h - benyomódás mélysége (mm)

d - golyó benyomódásából keletkező gömbsüveg átmérője (mm)

D - golyó átmérője (mm)

Ez alapján a Brinell-féle keménység (2):

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

ahol:

HB - Brinell-féle keménység (kp/mm²)

F – terhelőerő (kp)

D - golyó átmérője (mm)

h - benyomódás mélysége (mm)

Az SI mértékegység rendszer bevezetésével az erő N-ban való megadására tértek át a kp-ról. Hogy a képlet továbbra is helyesen alkalmazható legyen, az erőt $0,102 \cdot 2 \cdot F$ alakban kell megadni [31].

Módszerét a fémipar ma is alkalmazza az alábbi szabványokkal: EN ISO 6506-1, EN ISO 6506-2, EN ISO 6506-3, ASTM E10. A különböző erők, golyóátmérők, - anyagok ill. terhelő erők megadási módjára néhány példa a teljesség igénye nélkül:

HB – Brinell-féle keménység standard körülmények között

HBS – edzett acél golyóval történő Brinell-féle keménység (S, mint steel, angolban acél)

HBS10/100 – 10 mm átmérőjű edzett acél golyóval történő Brinell-féle keménység, a terhelő erő 100 kgf (= 980 N)-

HBW10/3000 -10 mm átmérőjű wolfrámkarbid golyóval történő Brinell-féle keménység, a terhelő erő 3000 kgf (= 29420 N).

(1 kgf = 9,80665 N)

2.2.2. Büsgen-féle tűpróba

Egy teljesen másjellegű kísérlet köthető a fakeménység megállapítására Büsgentől (1904) [4]. A keménységi értéket egy ismert átmérőjű acéltű 2 mm-re történő benyomásához szükséges tömeg adja [11]. Az ily módon, 182 fajtán [26] mért értékek alapján Büsgen is felállított egy, a Nördlingerén alapuló, 8 csoportból álló keménységi skálát. A keménységi értéket a mért érték századrésze mutatja grammban kifejezve. A csoportok a keménységi érték tízesével való növelésével állnak össze (1-10: igen lágy, 11-20: lágy (...) 61-70: csontkemény, 70 fölött: kőkemény) [11].

Ugyan vitathatatlan áttörést jelentett, e keménységvizsgáló eljárás nem terjedhetett el. A módszer hibái szinte maguktól értetődnek: a faanyag igénybe vett felülete túlságosan kicsi ahhoz, hogy egy átlagos keménységi értéket tudjunk megállapítani. Az inhomogén szöveti szerkezet (edények, libriform rostok, tracheidák stb.) miatt nem ad pontos eredményt, hisz ily módon csak az egyes szöveti részek keménysége vizsgálható. Maga a tű jellemzően a fa keményebb részeit kikerüli (elhajlik). Emellett meg kell említenünk, hogy a szükségszerűen fellépő súrlódás és hasítás is torzítja a mérési eredményeket [13][24]. A terhelési sebesség kézzel történő szabályozása még bizonytalanabbá tette az eljárást. A módszer elterjedését gátolta továbbá, hogy időközben olyan eljárások is kifejlődtek, melyek kiküszöbölik a Büsgen-féle tűpróba hibáit [26]. Mindezek mellett meg kell jegyeznünk, hogy a módszer előnye ugyanaz, ami a hátránya: alkalmas a fa kisebb egységeinek specifikus vizsgálatára, ily módon pl. a korai és a kései pászta egyenkénti vizsgálatára is, ezáltal lehetővé téve tehát a laboratóriumi célú felhasználást.

2.2.3. Janka-módszerek

Gabriel Janka az 1900-as évek elején alkotott kimagaslót a fakeménység kutatása terén. Első, a témával kapcsolatba hozható kutatásait A. Hadekkel közösen végezte, melynek során az ausztriai építőiparban használatos faanyagok rugalmassági, szilárdságtani tulajdonságait, az ezekre ható tényezőket vizsgálták [7]. Janka maga írta 1906-os cikkében: „1900-ban nyilvánosságra hoztam néhány kutatási eredményt, amelyek akkor ugyan nem kifejezetten a fa keménységvizsgálatának céljából szolgáltak, de amelyek összefüggése a fa keménységével nem vitatható” [9].

Első, ténylegesen keménységgel foglalkozó munkáját 1906-ban publikálta. E művében leírta korábbi pecsétnyomó eljárását (1900), amelynek során egy 10 cm² keresztmetszetű acélkockát használt nyomótestként simára csiszolt felületű fapróbatestekhez. Később változtatott módszerén és a nyomótest méretét 1 cm² nagyságúra csökkentette [9]. Ily módon útburkolati célokra használt fafajokat vizsgált: lucfenyőt, jegenyefenyőt, erdeifenyőt, feketefenyőt, vörösfenyőt és bükköt [8][9]. E vizsgálat célja az útburkolati célokra használt faanyagoknak a használattal szembeni ellenállásának vizsgálata volt, melyet Janka már akkor (1902) keményvizsgálatként definiált [9]. 1902-es publikációjának fókuszában egyébként a telíthetőség, zsugorodás, dagadás, tömeg- illetve szilárdsági viszonyok álltak, valamint e tulajdonságok eltérése a telített- és telítetlen, útburkolásra alkalmas faanyagok esetében. A kutatás oka az volt, hogy az 1800-as évektől kezdve egyre népszerűbbé vált a különböző faanyagok ily módon történő felhasználása [8].

A módszert, amely híressé tette, s amelyet több országban is kötelező anyagvizsgálattá nyilvánítottak (Magyarországon MSZ 6786/11; 1982-2011 [17]), Janka 1906-os művében hozta nyilvánosságra: a nyomótest formáját Brinell módszerének hatására egy 11,284 mm átmérőjű golyóra változtatta, melyet 5,642 mm mélyre nyomott a faanyagba, így annak vetülete éppen 1 cm² lett. A Janka-féle keménységi értéket a benyomáshoz szükséges erő adja [9] (3):

$$H_J = \frac{F}{A} = \frac{F}{100} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (3)$$

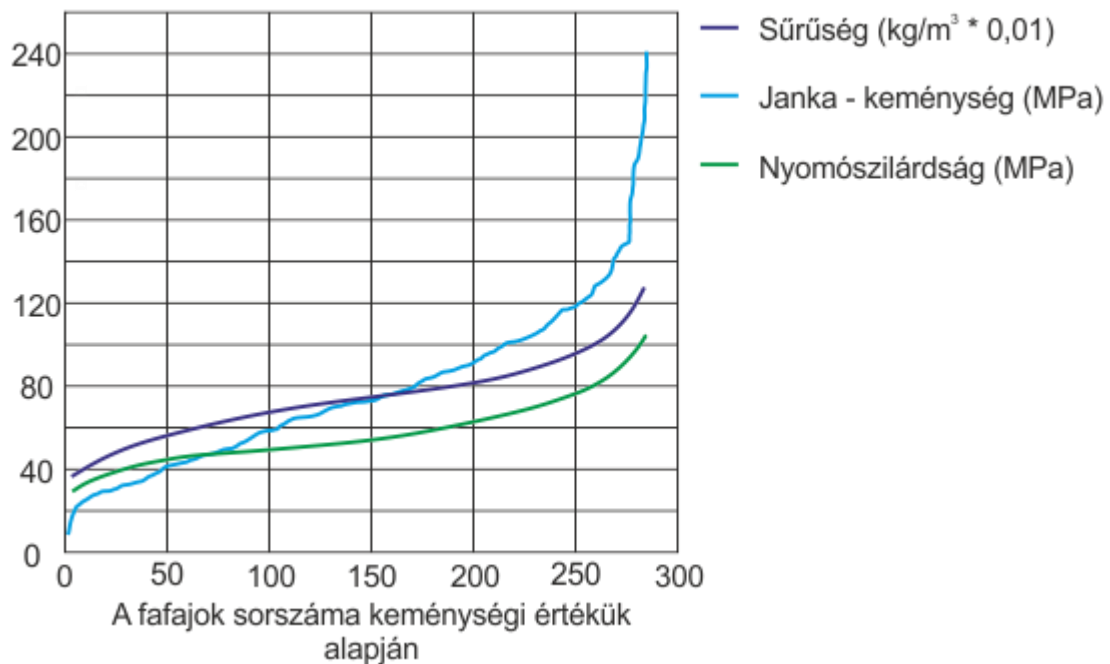
Meg kell jegyeznünk, hogy Janka idejében N helyett a kgf/cm^2 -ben (kilogrammsúly/ cm^2), vagy kg/cm^2 -ben volt szokás megadni a terhelés mértékét. Így az SI szerinti N/mm^2 –es átváltáshoz g (nehézségi gyorsulás) értékének ezredrészével, 0,00981 kell megszoroznunk az eredeti keménységi értékeket.

Janka 1906-os munkája azért is jelentős, mert már ekkor összegezte tapasztalatait a nyomószilárdság, a sűrűség illetve a keménység kapcsolatáról.

Érdekes, hogy Janka 1908-ban publikálta golyós módszerének addigi eredményei mellett az 1906-ban végzett, pecsétnyomásos keménységvizsgálati kísérletét is, melyben egy pontosan 1 cm^2 alapterületű (tehát 5,642 mm sugarú), 10 mm magasságú, sima felületű kúpot használt nyomótestként. [10].

Ugyancsak 1908-as munkájában megállapította, hogy ugyan nyomótestek benyomódásának vetülete a kúpos és a golyós módszerénél matematikailag ugyanakkora volt, a kúpformájú próbatest benyomási mélysége közel a duplája a gömbének. Kitért a kúpos módszer hibáira, felismerte a hasítás nemkívánatosságát; hogy a korai- és kései pászták keménysége nem vizsgálható egyidejűleg, emiatt a próbatestek számának növelését javasolta. Leírta, hogy a golyó által benyomott göbbsüveg felülete mentén a rostok nyomódnak, deformálódnak, ez a hatás a kúp csúcsánál nem, csak a palástfelületen lép fel, valamint felismerte a faanyag rugalmasságának jelentőségét: a kúpos próbával szemben, ahol a terhelés megszüntetése után a benyomódás alakja messze eltér az eredeti körtől (ellipszis), a golyós próbánál az szinte változatlan maradt. [10].

Janka 286 fajtát vizsgált meg az általa kidolgozott keménység, a nyomószilárdság és a sűrűség tekintetében, ezek összefüggését mutatja a 3. ábra. [6].



3. ábra. A sűrűség, a keménység és a nyomószilárdság közötti összefüggés (Gayer-Fabricius 1935 alapján [6])

A Janka-féle keménységvizsgálati eljárásnál is számolnunk kell hibákkal, méréstorzító tényezőkkel. Stamer (1929) és Huber (1937,1938) vizsgálatokat végeztek arra vonatkozóan, hogyan befolyásolja a benyomás mélysége a mért értékeket. Arra az eredményre jutottak, hogy míg lombosoknál a keménységi érték változatlan marad a mélység változtatásával, fenyőféléknél a Janka-féle keménység a benyomás mélységének növekedésével csökken. Ebből következik, hogy összehasonlíthatóság csak az egyes fafajcsoportokon belül lehetséges, az összes fafaj tekintetében viszont már nem. A legtöbb fafajnál elmondható, hogy a göbbsüveg felületére vonatkoztatott maximális keménységi érték 0,77 mm benyomási mélységnél jelentkezik (tölgnél 1,65, pockfánál 2,82 mm), ezáltal az ily módon mért keménység értéke alacsonyabb lesz a gép

által jelzett. Nem elhanyagolható a golyó szövetroncsoló hatása sem, a kisebb-nagyobb szöveti szakadások a behatolási mélységgel állandóan nőnek. Számolnunk kell a rostok oldalirányú eltolódása által létrejövő hasítással is, melynek főként a lombos fák esetében van számottevő hatása [13]. Stamer mindezen hibák miatt a golyós próbát elutasítja, de más alternatívát sem kínál a fakeménység meghatározására [21].

2.2.4. Meyer-féle hatványtörvény

E. Meyer (1908) gyakorlati tapasztalatok alapján [28] felállított egy összefüggést arra vonatkozóan, miképp befolyásolja Brinell-féle keménység értékét fémek esetén a golyó átmérője és a benyomódás mélysége (4):

$$P = a \cdot d^n \quad (4)$$

ahol:

P – terhelés	(kg)
a – 1 mm-es benyomódási átmérő eléréséhez szükséges erő nagysága	(kg)
d – benyomódás átmérője	(mm)
n – anyagminőségtől függő állandó	

K. Huber és A. Pevzoff is úgy találta, hogy az összefüggés igaz fára is. Túlevelűeknél általában $n < 2$, lombosoknál $n \sim 2$. [13]

2.2.5. Ludwik-féle pecsétnyomó eljárás

Ludwik (1908) egy 90°-os kúphegy benyomásához szükséges erő mérésével kívánta a fa keménységét számszerűsíteni (a benyomott kúpfelszín a benyomódás mélységéből határozta meg) [4][29][28]. Úgy vélte, a terhelésektől akkor lesz független a keménység mértéke, ha a terhelés mindenhol egyenletesen oszlik el [29], ehhez célszerűnek látta a nyomótest formáját a terhelésekéhez hasonlatossá tenni. [29].

Tévedett, mert az eljárásánál megjelenő hibák megegyeznek a Büsgen-próbánál jelentkezőkkel annyi eltéréssel, hogy ebben az esetben még jelentősebb a súrlódás és a hasítás befolyásoló hatása. [24]. Munkáját még ugyanebben az évben Janka is bírálta, ám amellett, hogy úgy vélte, fánál nem célravezető, fémeknél és más homogén anyagoknál kifejezetten előnyben részesítette volna a golyós próbával szemben. [10]. Javaslatát megvalósult, a Ludwik-eljárás tíz évvel később Svájcban és Svédországban is elterjedt, vált különösen a lágy fémek vizsgálatánál. [29].

3. Összefoglalás

A faiparban használatos statikus keménységvizsgálati eljárások története során, mint láthattuk, az első igazán jelentős mérföldkövet Nördlinger 10 fokozatú, relatív keménységi skálája jelentette 1860-ban. Nagy hatással volt a terület fejlődésére Brinell munkássága, akit az abszolút keménységvizsgálati módszerek atyjának tekinthetünk. Az ő módszerének nyilvánosságra hozatalától, 1900-tól 1915-ig tartó periódusban jelentőset alkottak még a területen: Janka (1902, 1906, 1908, 1915), Büsgen (1904) és Ludwik (1908). Cikkünkben foglalkoztunk módszereik előnyeivel, hátrányaival, gyakorlati használhatóságával.

A cikksorozat következő részében folytatjuk a statikus keménységvizsgálati módszerek fejlődésének leírását 1915-től, megvizsgáljuk, hogyan módosították a már leírt eljárásokat később, hogy az említett hibákat kiküszöböljék, valamint azt, hogy ez milyen mértékben sikerült.

Köszönetnyilvánítás

Szeretnénk köszönetet mondani Farkas-Balla Edinának és Dr. Andor Krisztiánnak francia nyelvű források fordításában nyújtott segítségükért, valamint a Soproni Egyetem Központi Könyvtár és levéltár munkatársainak rugalmasságukért és segítőkész hozzáállásukért.

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.

A publikáció elkészítését az EFOP-3.6.2-16-2017-00018 („Termeljünk együtt a természettel - az agrárerdészet mint új kitörési lehetőség”) projekt támogatta.

A tanulmány/kutató munka a „Fenntartható Nyersanyag-gazdálkodási Tematikus Hálózat – RING 2017” című, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 jelű projekt részeként a Szechenyi2020 program keretében az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

Irodalomjegyzék

- [1] Beck, L. C. (1842): Mineralogy of New-York: Comprising Detailed Descriptions of the Minerals Hitherto Found in the State of New-York, and Notices of Their Uses in the Arts and Agriculture. White & Wissher, Albany. p XVI.
- [2] Brinell, J.A. (1900): Mémoire sur les épreuves à bille en acier, II. Congr. Int. des Methodes d'essai des matériaux de construction. Paris p. 90
- [3] Devries, R. P. (1912): Comparison of five methods used to measure hardness. Government Printing Office, Washington. pp. 4-5,14
- [4] Doyle, J. (1980): The hardness of wood. – doktori értekezés. University of Canterbury, School of Forestry, New Zealand. pp. 5-18
- [5] Exner, F. (1873): Untersuchungen über die Härte an Krystallflächen. k. k. Hof- und Staatsdruckerei, Wien. p 3
- [6] Gayer, K. – Fabricius, L. (1935): Forstbenutzung. Verlagsbuchhandlung Paul Parey, Berlin. p. 78
- [7] Janka G., A Hadek (1900): Untersuchungen über die Elastizität und Festigkeit und österreichischen Bauhölzer. I. Fichte Südtirols. K.u.K. Hofbuchhandlung W. Frick, Wien. pp 29-30.
- [8] Janka G. (1902): Die Eignung des Buchenholzes zu Straßenpflasterim Vergleiche mit Nadelhölzern. Zentralblatt für das gesammte Forstwesen. k. k. forstlichen Versuchsanstalt in Mariabrunn, Wien. XXVIII. Jahrgang, 10. Heft. pp 417-418.
- [9] Janka, G. (1906): Die Härte des Holzes. K.u.K. Hofbuchhandlung W. Frick, I., Graben 27., Wien. pp. 1-8
- [10] Janka, G. (1908): Über Holzhärteprüfung. Centralblatt f.d. gef. Fortweisen, Heft 11 ex 1908. pp. 3-4
- [11] Janka, G. (1915): Die Härte der Hölzer. K.u.K. Hofbuchhandlung W. Frick, I., Graben 27., Wien. pp. 4, 7-9
- [12] Hoeffgen, H. (1938): Härteprüfung des Holzes durch Stempeldruck. Holz als Roh-und Werkstoff. I. évf. május
- [13] Kollmann (1951) Technologie des Holzes und Holzwerkstoffe. Springer Verlag, München. pp 909-934, 911,912,916, 917
- [14] Kovács I. (1979): Faanyagismeret. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. pp. 199-224, 199,200,201,203-205,211,217-218
- [15] Krajcicek,E. (1959): Das Joanneum in Graz - Wiege der MOHS'schen Härteskala. Zum Steirischen Gedenkjahr 1959. pp. 13-15
- [16] Lorey, T. (1887): Handbuch der Forstwissenschaft – 1. Band. 2. Abteilung. Forstliche Produktionslehre II.. Verlag der H. Laupp'schen Buchhandlung, Tübingen. pp. 183-184
- [17] Magyar Szabványügyi testület. [Online]. Available: http://www.mszt.hu/web/guest/ingyenes-szabvanylista?p_p_id=msztwebshop_WAR_MsztWAportlet&p_p_lifecycle=1&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_pos=1&p_p_col_count=2&msztwebshop_WAR_MsztWAportlet_ref=008847&msztwebshop_WAR_MsztWAportlet_javax.portlet.action=search. [Megtekintés: 18-Sep-2017].
- [18] Molnár S. (2004): Faanyagismeret. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Bp. pp 306-307
- [19] Mohs, F. (1823): Grundriß der Mineralogie, 2 Bde. 1822/24. Dresden. pp 927-934
- [20] Niemz, P. (1993): Physik des Holzes und der Holzwerkstoffe. DRW-Verlag, Weinbrenner. p.14
- [21] Pallay N. (1937): A fakeményesség vizsgálati módszerének kérdése. Anyagvizsgálók közlönye. 1937. szept.- okt. szám. pp 119-138, 119-121
- [22] Pallay N. (1938): Über die Holzhärteprüfung. Holz als Roh-und Werkstoff. I. évf. január. pp. 126-130
- [23] Pallay N. (1939): Ergänzende Angaben zum Holzhärte-Prüfverfahren. Holz als Roh-und Werkstoff, II. évf., 2. füzet, december, pp 413-416
- [24] Pallay N. (1951): Mechanikai technológia – kézirat. Agrártudomány Egyetem, Erdőmérnöki Kar Jegyzetei, Sopron. pp. 133-145 – 133,134
- [25] 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
- [26] Sachsee, H. H., Hamburg-Reinbek (1960): Zur Methodik der Strukturprüfung von Hölzern mit dem Nadelstichverfahren. Holzforschung. Bd.14. H.6. pp. 168-170
- [27] Alapvető keménységmérési módszerek. [Online]. Available: <http://senselektro.hu/roncsolasos-anyagvizsgalat/kemenysegmerok/alapveto-kemenysegmeresi-modszerek/>. [Megtekintés: 06-Nov-2017]
- [28] Tabor D. (1951): The Hardness of Metals. Clarendon Press, Oxford pp 2, 95
- [29] Unwin, W. C. (1918): The Ludwik Hardness test. Mechanical Engineers. 1918. okt. pp 485-486
- [30] Unwin, W. C. (1918): Mechanical properties of materials. Mechanical Engineers. 1918. okt. p 431
- [31] Zarkóczy B, (1668): Metallográfia és anyagvizsgálat. Tankönyvkiadó vállalat, Budapest, pp 398-402