

WOOD

4

sustainability

*p*_{rocessing}

*c*_{onstruction}

*p*_{roduct}

*d*_{esign}

2024

Wood 4 Sustainability

Processing, Construction, Products and Design

2024

Főszerkesztő: Dr. Csiha Csilla

Wood 4 Sustainability

Processing, Construction, Products and Design

2024



SOPRONI EGYETEM KIADÓ

SOPRON, 2024

Közreadó a Soproni Egyetem Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kara

Felelős kiadó: Prof. Dr. Fábián Attila

a Soproni Egyetem rektora

Főszerkesztő

Dr. Csiha Csilla Mária

Szerkesztők

Prof. Dr. Kósa Balázs, Prof. Dr. Magoss Endre, Dr. habil. Németh László

Lektorok

Gerencsér Kinga Címzetes Egyetemi Tanár, Szabadhegyi Viktor Címzetes Egyetemi Docens,
Prof. Dr. Alpár Tibor, Prof. Emeritus Tolvaj László, Prof. Dr. Markó Balázs

Technikai szerkesztő

Mucsi Zsuzsanna

ISBN 978-963-334-541-2 (pdf)

DOI: <https://doi.org/10.35511/978-963-334-541-2>

Creative Commons license: BY-NC-SA 4.0 DEED



Nevezd meg! Ne add el! Így add tovább! 4.0 Nemzetközi
Attribution – Non commercial – Share Alike 4.0 International

Tartalom

A klímaváltozás hatása a faipari kutatásokra	11
<i>Magoss Endre, Csiha Csilla</i>	
Faanyagok dinamikus szilárdságvizsgálata	19
<i>Orbán Gábor, Kánnár Antal</i>	
A vastagság figyelembe vétele a mikrohullámú radarral történő sűrűség és nedvességtartalom becslés során	29
<i>Jakócs Mihály, Bejő László</i>	
Szürke nyár (<i>Populus × canescens</i>) fűrészáru szilárdság-becslésének lehetőségei	39
<i>Ács Ruben, Vécs Martin László, Hantos Zoltán</i>	
A klímaváltozás hatása a faanyag mennyiségére és minőségére	51
<i>Sütő Anett Ibolya, Báder Mátyás, Németh Róbert</i>	
Natúr és hőkezelt platán fatestének faanyagvédelmi, tartóssági vizsgálatai I. rész: Egyes fizikai tulajdonságok és változásaik.....	60
<i>Buga-Kovács Luca, Horváth Norbert</i>	
Szintérreprodukció a csomagolóanyag-nyomtatásban – A flexográfiai és a digitális nyomtatás komparatív vizsgálata	67
<i>Maňúrová Klaudia, Horváth Csaba, Preklet Edina</i>	
2-5 rétegből álló kisméretű rétegelt-ragasztott tölgy fűrészáru hajlítóvizsgálata	79
<i>Báder Mátyás, Fehér Sándor, Horváth Dénes Ákos</i>	
Termo-hidromechanikusan módosított tölgy érettfá nyomóvizsgálatai tulajdonságai különböző nedvességtartalmakon	88
<i>Báder Mátyás, Németh Róbert, Gecseg Péter Pál</i>	
Finite element analysis of furniture structures made from underutilized wood species.....	95
<i>Zsófia Benedek-Csányi, József Garab</i>	

Relationships of Fibers length and Ring Width with Precipitation and Temperature on Wood of <i>Robinia pseudoacacia</i>	104
<i>Fath Alrhman Awad Ahmed Younis, Mátyás Báder, Miklós Bak, Róbert Németh</i>	
Comparison of barks of deciduous and coniferous trees	113
<i>Hiba Khalifa, Róbert Németh</i>	
Ecological and Health Implications of Microplastics in Water: A Short Review	121
<i>Omar Saber Zinad, Csilla Csiha, Dhafer Saber Zinad, Ali Fahem Al-Mamoori</i>	
Cultural Preservation Meets Modern Design: Investigating the Impact of Traditional Woodcarvings on Natural Ventilation in Johor, Malaysia	131
<i>Noor Roziana Binti Abdul Rahim, Kovács Zsolt</i>	
Smart Network: The Role of Meta-Organizational Networks in the Sustainability-Digital Transition	150
<i>Andrea Reményi</i>	
Investigating the stability of wooden lake piles: the influence of dynamic MOE and pile length on buckling behavior	161
<i>Brougui Marwa, Krisztián Andor</i>	
Wood-based composites for 3D printing filaments to use in technical applications....	175
<i>Mihályi Domonkos, Garab József, Alpár Tibor</i>	
Clustering analysis of the nineteen most populous Hungarian cities using Urban Atlas Building Height Data from Copernicus Land Monitoring Service's 10m raster maps	191
<i>Zsolt Tóth</i>	
Az európai LVL gyártás helyzetének áttekintése	200
<i>Horváth Kund</i>	

Hazai faipari kisvállalkozások gyártási és szervezettségi szintjét felmérő hatékonyságnövelő tanácsadó rendszere	206
<i>Suriné Lengyel Veronika, Magoss Endre</i>	
A hajdani MÁV Gyermekotthon (Kőszeg) huszártornyának szerkezeti megerősítése	217
<i>Hantos Zoltán</i>	
Handler Jakab klasszicista lakóépülete a soproni Várkerületen.....	229
<i>Tárkányi Sándor</i>	
Faszerkezetek Egyiptom korai piramisaiban	235
<i>Szabó Péter</i>	
Szemelvények a Sopron, Várkerület 34. számú üzletház építés- és tulajdonlástörténetéből	244
<i>Tárkányi Sándor</i>	
A Roth Gyula Erdészeti Szakközépiskola utcai homlokzatának 2019-2020 közötti helyreállítása.....	249
<i>Tárkányi Sándor</i>	
A Voronoi-szerkezetek bútorigipari felhasználása	254
<i>Boros Eszter</i>	
A tömördi Chernel-kúria bejárati kapujának restaurálása	259
<i>Tárkányi Sándor</i>	
Modularitás és érték	265
<i>Bodorkós Dániel, Zalavári József, Horváth Péter György</i>	
A Zichy-Meskó palota porcelánkabinetjének kétszárnyú ajtói	275
<i>Tárkányi Sándor</i>	

Szürke nyár (*Populus × canescens*) fűrészáru szilárdság-bebecslésének lehetőségei

39 / 39-50

Ács Ruben^a, Vécs Martin László^a, Hantos Zoltán^a

^a Soproni Egyetem, Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar, Kreatívipari Intézet, 9400 Sopron, Bajcsy-Zsilinszky u. 4. Email: AcsR22@student.uni-sopron.hu, VecsML22@student.uni-sopron.hu, hantos.zoltan@uni-sopron.hu

DOI: <https://doi.org/10.35511/978-963-334-541-2-04>

ABSZTRAKT

A klímaváltozás hatására a hazai erdőállományok összetétele változásnak indult. Ezt felismerve olyan, a faipart érintő nemzetgazdasági irányelvek születtek, amelyek elsősorban a szárazságtűrő őshonos hazai fafajok felhasználását részesítik előnyben, mint akár a szürke nyár (*Populus × canescens*). Ahhoz, hogy e fafaj szélesebb spektrumú, például építőipari, esetleg kifejezetten tartószerkezeti alkalmazására lehetőség nyíljon, olyan módszerekre van szükségünk, amelyek lehetővé teszik az adott faanyag alapvető fizikai és mechanikai tulajdonságainak gyors meghatározását, illetve amennyiben lehetséges, szilárdsági osztályba sorolását is. Figyelembe véve, hogy az építőipar szereplők részéről nagyarányú a bizalmatlanság a nyárfa felhasználással szemben, a roncsolásmentes módszerek alkalmasak lehetnek arra, hogy a megszokott alapanyag-válogatási módszereket gyors, számszerű adatokkal szolgáló megoldásokkal egészítsük ki.

Kulcsszavak: szürke nyár, fűrészáru, szilárdság bebecslés, Ipar, innováció és infrastruktúra

1. Bevezetés

Mint az élet szinte minden területére, így a magyarországi erdőállományok összetételére is nagy hatással van a klímaváltozás. Erdészeti kutatások szerint az 1981 és 2010 közötti időszakhoz képest a 2021 és 2050 közötti periódusra az aszályos időszakok száma megduplázódhat, amely érzékeny fafajok – mint a faépítészetben leginkább alkalmazott fenyők, tölgy és bükk – mortalitásának kockázatát fokozhatja. (Gálos és Führer, 2018.)

Ezen körülményekből kiindulva a hazai faipar belátta a problémákat és megindultak

olyan, főként nemzetgazdasági kezdeményezések, amelyek a Magyarországon őshonos fafajok, mint például a nyárok – különösen a hazai szürke nyár (*Populus × canescens*) – faipari és faépítészeti felhasználását segítik elő. Nem alaptalanul, hiszen a hazai nyárfa állományok mintegy 97 000 ha területet tesznek ki, ami az erdőállományunk több, mint 5%-a. A nyárfa ültetvények átlagos fahozama 213 m³/ha, ami 32 éves átlagos vágási ciklusokkal mintegy 650.000 m³ éves mennyiséget jelenthet (Ábri et al. 2024). Mindazonáltal a legna-

gyobb problémát inkább az veti fel, hogy ezen fafajokat eddig a hazai gazdaság nem kimondottan építőipari, sokkal inkább rost-, papír és rétegelt lemez gyártás céljára alkalmazta, ennél fogva e fafajok építőipari szempontból fontos és szükséges paramétereit nem ismerjük és ezen értékek gyors meghatározására sincsenek megfelelő módszereink. Különösen fontos lenne a laboratóriumi körülményeket igénylő törésteszt mellett a roncsolásmentes vizsgálatokban is referenciákat gyűjteni. Az sejthető, hogy a jelenleg legszélesebb körben alkalmazott fenyőfákhoz képest a nyárfa egyértelműen visszalépést fog jelenteni, de ennek a visszalépésnek a mibenlétét és mértékét fontos lenne ismernünk, hogy azt helyesen kommunikálva segíthessük az ipart az átállásban, esetleg új műszaki megoldások, technológiák létrehozásában, és általában, az alapanyag iránti bizalom növelésében.

2. Előzmények

2.1. A szilárdsági adatok jelentősége

Magyarországon jelenleg kizárólag az MSZ EN 1990 (Eurocode) szabványsorozat használatos a tartószerkezeti számítások készítése során. A tartószerkezet-tervezőknek (tekintettel arra, hogy jellemzően homogén és izotróp rúdmodellekkel dolgoznak) mélyebb anyagismereti tudásra nincs szükségük, a számításokban a legfontosabb fizikai és mechanikai paraméterek, vagyis a hajlító-, a rosztal párhuzamos és az arra merőleges nyomó-, valamint esetenként a nyíró szilárdság, a testsűrűség, végezetül a hajlító rugalmassági modulusz ismerete általában elegendő. Ezeket az adatokat az anyagszabványok kategóriákban összegyűjtve, szilárdsági osztályba sorolva adják

meg, az osztályt a hajlító szilárdság alapján nevezik meg. A hajlító szilárdság azért a legfontosabb paraméter, mert a vizsgálati szabványok ebből vezetnek le a többi szilárdsági adatot is. Viszont ahhoz, hogy a hajlító szilárdság megismerhető legyen, az alapanyagból próbatesteket kell készítenünk, és laboratóriumi tesztekkel kell elvégeznünk. A módszer tagadhatatlan hátránya, hogy a megvizsgált alapanyag már nem lesz hasznosítható, miközben a mérésből levonható következtetések – a faanyag paramétereinek szórása miatt – csak korlátozottan érvényesek a többi, ténylegesen felhasználható, ám próbatestként nem vizsgált elemre. A mérnöki logika ezen a ponton felülke-rekedik az anomálián: ha így van, akkor nem az alapvetően pontos méréssel meghatározott adatokat vetíti ki a pontatlan adathalmazra, helyette a kevésbé pontos, ám cserébe akármelyik, ténylegesen beépítésre szánt elem elvégezhető, roncsolásmentes mérést alkalmazza az adatok felvételére. Ebben az esetben a szilárdsági kategória meghatározása a testsűrűség és a rugalmassági modulusz alapján történik (Divós et al. 2015), a többi paraméter pedig ebből, a szabványos összefüggések segítségével következtető.

2.2. Sűrűségmeghatározás roncsolásmentes módszerrel

Az ún. beütőtűskés vagy másik nevén szeg behatolásos sűrűségmeghatározási módszer eredetileg villanyoszlopok sűrűségének gyors becslésére fejlesztették ki, majd Japánban *Pylofin* márkanév alatt kezdték el gyártani. Az eszköz behatolásos elven működik, azaz egy felhúzott rugó, állandó és ismert energiával juttatja a faanyagba a mérőtűskét.

A rúd behatolási mélysége a faanyag minőségének és sűrűségének függvénye. A felhúzást és a penetrációt követően a faanyag sűrűségére utaló adat a műszer oldalán kialakított milliméter skálán olvasható le, majd ebből a műszer kalibrációja során megalkotott, tapasztalati képlettel határozható meg a testsűrűség, $\pm 80 \text{ kg/m}^3$ pontossággal. Ebből is látszik, hogy a módszer inkább becslés, mivel nem ad pontos és egzakt eredményt. (Divós et al. 2015.) A Pylodinnal kapcsolatos hátrányok között a pontatlanságán túl felmerül a bekerülési költsége is, ráadásul a beszerzése is körülményes. Ezt kiküszöbölendő a Soproni Egyetem korábbi kutatásai lehetőséget biztosítottak arra, hogy a Pylodinnal azonos mérési mozdulatot végző eszközt lehessen létrehozni, de sokkal kisebb anyagi vonzattal, ez az eszköz lett a Nylodin. A Nylodin működése egyszerű: egy hengerben egy rugóval ellátott rúd található, melynek a végén egy tű helyezkedik el. A rudat kattanásig felhúzzuk, ezáltal megfeszítjük a rugót, melynek rugóállandója konstans. A felhúzott szerkezetet ezután a vizsgálni kívánt faanyagra helyezük, majd megnyomjuk a kioldószerkezetet. A rugóerő hatására a belső rudazat végén lévő, 2 mm átmérőjű, cserélhető tű behatol a faanyagba, a behatolás mélységét, pontosabban a kint maradt rúd hosszúságát pedig a rudazat szárán kialakított mm skáláról lehet leolvasni.

Az eszköz kalibrációja az elterjedtebb fafajokra már elkészült (Blahó K., 2018.), ám specifikusan ezen hazai szürke nyár fafajra még nem, ezért a korábbi vizsgálati eredményeket kibővítjük, emellett pedig arra is választ keresünk, hogy adott fafajon belül az oldalfelületbe, vagy a bütübe érdemes beütni a tüskét (1. ábra).



1. ábra. A Nylodin

2.3. Rugalmassági modulusz meghatározása hangsebességméréssel

A hangsebességmérés a faanyag rugalmassági moduluszának meghatározására PLG hordozható fűrészáru osztályozó berendezéssel történhet. Az eszköz azon a módszeren alapszik, hogy a faanyagon egy fémkalapáccsal megejtett koppintás által gerjesztett hang frekvenciája mérhető, majd pedig az ismert távolság (a faelem hossza) felhasználásával meghatározható a hang terjedési sebessége. A mérés longitudinális és transzverzális rezgések keltésével egyaránt elvégezhető, előbbi esetben a faelem bütüjére, utóbbi esetben az alátámasztási közepére kell koppintani. A műszer-vezérlő szoftvere az adatokat (a geometriai méretek pontos betáplálása esetén) rögtön terjedési sebességre, illetve rugalmassági moduluszra át is számolja. Hangsebesség meghatározása a fizikából ismert képlettel történik.

$$v = \frac{s}{t} \cdot 10^4 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right], \quad (1)$$

ahol: s : a faelem hossza [m],
 t : a hang frekvenciacsúcsaiból leolvasható idő [μs].

A hangsebesség ismeretében, a testsűrűség figyelembe-vételével számítható a dinamikus rugalmassági modulusz.

$$E_{din} = \frac{\rho_{mean} \cdot v^2}{10^6} \left[\frac{N}{mm^2} \right], \quad (2)$$

ahol: ρ_{mean} : a faanyag testsűrűségének átlagos értéke [kg/m^3],
 v : a frekvenciaméréssel meghatározott terjedési sebesség [m/s].

2.4. Összehasonlítás irodalmi adatokkal

A roncsolásmentes módszerekkel kapott eredményeket legegyszerűbben az irodalmi adatokkal való összehasonlítás módszerével ellenőrizhetjük. Itt érdemes néhány szóban a szürke nyár jellemzőit is megemlítenünk. A fűzfafélék családjába tartozó nyárok nemzetségének 35 faja ismert, amelyből az egyik hazánkban őshonos faj a szürke nyár (*Populus × canescens*), amely a fehér nyár (*Populus alba*) és a rezgő nyár (*Populus tremula*) természetes hibridje. A szürke nyarakat nehéz megkülönböztetni a fehér nyáraktól, hiszen szerkezetükben és tulajdonságaikban azonosak. Mikroszkópos jellemzői közül megemlítendő, hogy szórt lika-csú fafaj, edényei 50-100 μm átmérőjűek, edénytagjai 0,5 mm hosszúak. Mivel hajlamos a külpontos növekedésre, amely általában reakciófa (húzott fa) jelenlétével társul, ez faépítészeti és statikai szempontból kimondottan hátrányos. A szürke nyár természetes tartóssága önmagában sem magas, őshonos fajként az őshonos fungális és inszektális fakárosítókkal szembeni ellenállása igencsak csekély.

Alapvető tulajdonságai és fahibái miatt a szürke nyárfákat főképp ládák, raklapok,

alátétek gyártására, valamint farostlemez- és forgácslap-alapanyagként használják. Testsűrűsége $u=12\%$ -os nedvességtartalom mellett $\rho = 450 \text{ kg/m}^3$, rugalmassági modulusza $E = 8900 \text{ MPa}$ értékre tehető (Molnár S., Farkas P. 2016.). Mivel a sűrűségmérés célja kifejezetten a műszer kalibrációja lenne, így ezen paraméter tekintetében pusztán az irodalmi adattal való összehasonlítás rendkívül pontatlan eredményt ad. A rugalmassági modulusz tekintetében az előzetes mérések rendkívül nagy eltérést mutattak az irodalmi adatoktól, ezért a roncsolásmentes mérések visszaellenőrzésére alkalmas tesztek végeztünk.

2. Anyag és módszer

2.1. Előkészítés, fizikai jellemzők meghatározása

A vizsgálatokhoz lécszerű keresztmetszetű alapanyagot készítünk elő, $450 \times 50 \times 20 \text{ mm}$ névleges befoglaló méretekkel. Hosszméreteket mérőszalaggal, mm pontossággal, a szélességet, illetve a vastagságot digitális tolómérő segítségével, századmilliméter pontossággal vettük fel. Tömegméréshez digitális labormérleget használtunk. A próbatesztek nedvességtartalmát induktív nedvességmérő segítségével mértük meg. A induktív nedvességmérő előnye, hogy használatkor nem zavarják be a kötött víz mozgása által okozott problémák, fahibák, mint például repedések, behasadások. Az induktív eszköz érzékelő felülete rádióhullámokat bocsát ki, ezen hullámok terjedése alapján képes meghatározni a faanyag nedvességtartalmát. Használatával a faanyag nagyobb térfogatát képes pontosabban és nem utolsósorban gyorsabban megmérni. Szürke nyár érthető módon nem szerepelt az esz-

közbe bekalibrált fajok listáján, ezáltal egy nyárhoz hasonló sűrűségű fafaj alapbeállítását kellett használni a mérésekhez – ebből is látszik, hogy mennyire alulhasznosított fajról van szó. Mérés közben megfigyelhető volt, hogy a nedvességtartalom alkalmanként irreális szórást mutat, ami légszáraz, és elvileg műszáritott alapanyag esetén mai ismereteinkkel elképzelhetetlen. További vizsgálatok szükségesek arra nézve, mi az oka, hogy a nyárfa ilyen mértékben képes megtéveszteni a műszert. A méretfelvétel, a tömeg- és a nedvességtartalom mérés után a légszáraz testsűrűség meghatározható, az alábbi összefüggéssel:

$$\rho_{\text{légsz}} = m / (b \cdot h \cdot l) \left[\frac{g}{\text{cm}^3} \right], \quad (3)$$

ahol: m : próbatestek tömege [g],
 b, h, l : próbatestek befoglaló méretei [cm].

A légszáraz testsűrűséget az MSZ EN 384:2016 szabvány alapján, az alábbi korrekciós képlettel lehet 12%-os nedvességtartalomra váltani:

$$\rho_{12\%} = \rho_{\text{légsz}} (1 - 0,005 (u - 12)), \quad (4)$$

ahol: u : próbatestek nedvességtartalma a mérés idején [%],
 $\rho_{\text{légsz}}$: próbatestek testsűrűsége légszáraz állapotban [g/cm^3].

A szilárdsági osztályba soroláshoz a testsűrűség karakterisztikus értéke (ρ_k) szükséges, a minta kiértékelése az MSZ EN 14081-2 szabvány alapján történik:

$$\rho_k = \rho_{\text{átlag}} - 1,645 \cdot \text{szórás}_\rho \quad (5)$$

ahol: $\rho_{\text{átlag}}$: az 50 db-os minta átlagértéke [g/cm^3],
 szórás_ρ : az 50 db-os minta szórása [g/cm^3].

Illetve ezzel egy lépésben határozható meg a testsűrűség középértéke (ρ_{mean}) is, szintén az MSZ EN 14081-2 szabvány szerint:

$$\rho_{\text{mean}} = 1,2 \cdot \rho_k, \quad (6)$$

ahol: ρ_k : testsűrűség karakterisztikus értéke [g/cm^3].

2.2. Rugalmassági modulusz meghatározása roncsolásmentes módszerrel

A vizsgálatokhoz a lécs keresztmetszetű alapanyagokat síkfelületre helyeztük, és míg a lécek egy végéhez a műszer mikrofonját helyeztük, a másik véget fémkalapáccsal határozott koppintással gerjesztettük. A Fakopp® Enterprise Bt. által fejlesztett berendezés pedig a frekvencia adatokon túl egyből a (2) összefüggés szerinti rugalmassági moduluszt (MOE) is kiírja a képernyőre, illetve táblázatba rendezi, amennyiben a $l=450$ mm-es elemhosszúságot betápláljuk a számítógépbe. Az értékeket előbb nedvességtartalmi korrekciónak vetjük alá:

$$\begin{aligned} MOE_{12\%} &= \\ &= MOE_{\text{légsz}} (1 + 0,01 (u - 12)), \quad (4) \end{aligned}$$

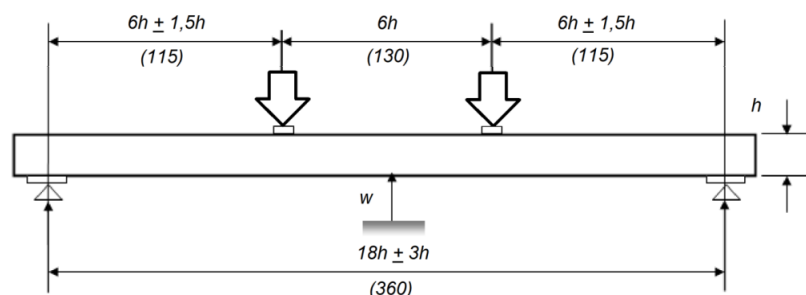
ahol: u : próbatestek nedvességtartalma a mérés idején [%],
 $MOE_{\text{légsz}}$: próbatestek rugalmassági modulusza légszáraz állapotban [MPa].

2.3. Rugalmassági modulusz meghatározása töréstesztekkel

A hajlítószilárdság mérést az MSZ EN 408:2010+A1 szabvány iránymutatásai szerint végeztük el, *Instron 4208* univerzális anyagvizsgáló gép segítségével, négyponthoz hajlítási elrendezést kialakítva. Az alkalmazott berendezés digitális adatgyűjtő és feldolgozó modullal is rendelkezik, így a szilárdságvizsgálat mellett tökéletesen lekövetethető a próbatestek rugalmas viselkedése is. Ez azért fontos, mert a rugalmassági modulusz meghatározásához az ε - σ diagram kezdeti, lineáris szakaszát kell használni, hogy pontos, összehasonlítható adatokat kapjunk. A szabvány előírásai alapján a támaszok között úgy vettük fel, hogy az a h szelvénymagassághoz képest $18 \cdot h$, vagyis a mi esetünkben $18 \cdot 20 = 360$ mm legyen. A mérési elrendezést a 2. ábra mutatja be.

A rugalmassági modulusz meghatározását a hivatkozott szabvány az alábbi összefüggéssel írja le. Az adott vizsgálati elrendezés az ún. globális, vagyis a teljes rúdra vonatkozó értékre vonatkozik, ezért a kiértékelés ennek megfelelően az alábbi képlettel kell elvégezni.

$$E_{m, glob.} = \frac{3 \cdot a \cdot l^2 - 4 \cdot a^3}{2 \cdot b \cdot h^3 \left(2 \cdot \frac{w_2 - w_1}{F_2 - F_1} - \frac{6 \cdot a}{5 \cdot G \cdot b \cdot h} \right)} [MPa], \quad (5)$$



ahol: a : a nyomófej pozíciója a támasztól, itt: 115 [mm],
 l : alátámasztási köz, itt: 360 [mm],
 b, h : a szelvény szélessége és magassága [mm],
 F_1 : a törőteher 20%-a [N],
 F_2 : a törőteher 30%-a [N],
 w_1 : a törőteher 20%-hoz tartozó lehajlás [mm],
 w_2 : a törőteher 30%-hoz tartozó lehajlás [mm],
 G : nyíró rugalmassági modulusz, itt: 650 [Mpa].

Az értékeket a szabvány javaslatára a nyírási alakváltozás elhanyagolásával, illetve annak figyelembe-vételével is kiszámoltuk, ezután a (4) összefüggéssel $u=12\%$ -os nettó nedvességtartalomra korrigáltuk, majd az 50 db-os mintahalmazból az MSZ EN 384:2016 + A1:2018 szabvány szerint előírt összefüggéssel meghatározzuk a rugalmassági modulusz középértékét.

$$E_{mean} = E_{\text{átlag}} \times 1,3 - 2690, \quad (6)$$

ahol: $E_{\text{átlag}}$: az 50 db-os minta átlagértéke [MPa].

Eredményeinket táblázatos formában összegeztük (1. Táblázat).

2. ábra. Mérési elrendezés a lokális rugalmassági modulusz mérésére (MSZ EN 408:2010+A1)

1. Táblázat. A fizikai paraméterek; a roncsolásmentes és a törésteszt-vizsgálatok eredményei

	Fizikai paraméte- rek		Roncsolásmen- tes vizsgálat		Törésteszt során nyert eredmények					
	u [%]	$\rho_{12\%}$ [kg/m ³]	Sebes- ség [m/s]	MOE 12% [MPa]	F ₂ -F ₁ [N]	w ₂ -w ₁ [mm]	MOE _{12%} (nyírás nélkül) [MPa]	Elté- rés [%]	MOE _{12%} (nyírással) [MPa]	Elté- rés [%]
1.	13.6	518.8	5929.2	18678	582.3	0.87	16201	15.3	17434	7.1
2.	11	483.4	5894.1	16544	560.5	0.91	14827	10.9	15962	3.6
3.	13.5	516.4	5648.4	16848	494.5	0.82	14280	17.1	15360	9.7
4.	12.9	509.3	5874.3	17813	477.6	0.66	17178	3.7	18597	-4.2
5.	14.3	498.4	5889.6	17892	560.5	0.81	16453	8.6	17758	0.8
6.	11.8	517.5	5815.8	17451	612.9	1	15327	15.1	16228	7.5
7.	11.5	507.6	5733.9	16564	564.5	0.95	14198	17.8	15011	10.3
8.	11.8	522	5721.3	17036	545.2	0.9	15438	20.1	15148	12.5
9.	13.4	544.6	5775.3	18548	655.6	0.99	16068	15.3	17308	7.2
10.	13.6	465.8	5663.7	15304	386.6	0.63	14857	2.9	15915	-3.8
11.	10.1	473.3	5542.2	14127	500.9	0.92	12487	12.7	13295	6.3
12.	12.8	475.8	5815.8	16286	542.8	0.88	15012	8.9	16005	1.8
13.	15	507	5581.8	16517	571	0.99	14140	17.6	14951	10.5
14.	11.3	507.9	5769.9	16733	539.6	0.94	14169	24.1	14359	16.5
15.	13.4	517.6	5702.4	17185	559.7	0.97	14478	18.8	15422	11.4
16.	22.8	491.6	5502.6	17434	440.5	0.73	15676	9.9	16950	2.9
17.	11.6	484.2	5732.1	15813	575.8	0.93	13651	15	14685	7.7
18.	24.4	495	5602.5	18619	492.9	0.82	15309	22.5	16210	14.9
19.	11.8	510.9	5681.7	16443	620.1	0.98	14517	13.4	15529	5.9
20.	14.1	505	5664.6	16720	562.9	0.93	14791	13.2	15787	5.9
21.	15.8	463.7	5778	16381	485.6	0.86	13810	22.4	14220	15.2
22.	23.6	522.3	4808.7	14308	410.7	0.75	14384	-0.6	15276	-6.3
23.	21.3	464.5	5619.6	16814	500.1	0.82	15824	5.8	17000	-1.1
24.	12.5	483.8	5568.3	15113	544.4	0.96	13038	18.6	13543	11.6
25.	21.5	476.5	6069.6	20180	542	0.85	16687	21.7	17779	13.5
26.	12.4	499.3	5785.2	16810	582.3	0.98	14244	18.5	15136	11.1
27.	11.7	518.8	5816.7	17475	592.7	0.92	15305	13.8	16476	6.1
28.	12.7	496	5046.3	12765	555.7	0.9	15027	-14.5	15974	-20.1
29.	10.7	536.9	5895	18298	615.3	0.95	15489	18.1	16647	9.9
30.	12.7	502.6	5817.6	17189	546	0.95	13691	25.9	14534	18.3
31.	18.2	493.5	5887.8	18749	591.9	0.94	15601	20.3	16690	12.3
32.	12.7	522.1	5814.9	17840	561.3	0.91	15469	16.5	16402	8.8

	Fizikai paramé- terek		Roncsolásmen- tes vizsgálat		Törésteszt során nyert eredmények					
	u [%]	$\rho_{12\%}$ [kg/m ³]	Sebes- ség [m/s]	MOE 12% [MPa]	F ₂ -F ₁ [N]	w ₂ -w ₁ [mm]	MOE _{12%} (nyírás nélkül) [MPa]	Elté- rés [%]	MOE _{12%} (nyírással) [MPa]	Elté- rés [%]
33.	15.7	472.6	5819.4	16911	500.9	0.9	14277	19.7	15019	12.6
34.	20	506.3	5796	19133	565.4	0.9	16305	18.7	17259	10.9
35.	18.3	490.6	5808.6	18169	479.2	0.76	15324	19.6	16260	11.7
36.	11.8	508.6	5817.6	17160	600	0.91	15755	9.6	16828	2
37.	17.2	478.5	5793.3	17347	469.5	0.87	13440	29.2	14238	21.8
38.	16.6	491.5	5805	17731	517.8	0.82	16174	9.5	17369	2.1
39.	16	503	5832.9	18163	525.9	0.87	15434	17.8	16481	10.2
40.	19.2	501.1	5894.1	19358	563.7	0.95	15414	26.1	16386	18.1
41.	12.2	515.2	5812.2	17457	595.2	0.96	15002	15.6	16184	7.9
42.	14.4	508.6	5908.5	18403	575	0.97	14475	27.3	15428	19.3
43.	11.9	513.9	5871.6	17689	604.8	0.96	14682	21.1	15640	13.1
44.	12.5	531.6	5731.2	17594	588.7	0.93	15443	13.9	16569	6.2
45.	12.1	512.1	5850.9	17558	581.5	0.95	14998	17.3	16010	9.7
46.	11.9	489.7	5700.6	15890	535.6	0.89	14166	12.4	15098	5.3
47.	17.4	495.3	5775.3	17894	582.3	0.97	14965	19.4	15999	11.8
48.	11.7	493.2	5795.1	16490	556.5	0.9	14393	15	15336	7.5
49.	17	472.6	5824.8	17267	523.5	0.85	15266	11.9	16506	4.6
50.	12	463.6	5814	15670	539.6	0.91	13892	13.3	14750	6.2
	ρ_k	467.4	E _{átl.}	17127		E _{mean}	16733	17.7	17979	5.0

3. Eredmények és elemzés

A fizikai paramétereket vizsgálva megállapítható, hogy még a testsűrűség karakterisztikus értéke is meghaladja az Molnár és Farkas szerzőpáros által közölt irodalmi adatokat, vagyis alapvetően tömörebb, és vélhetően nagyobb teherbírású faanyag áll a rendelkezésünkre, mint amilyennek a nyárfát korábban megismerte az ipar.

A rugalmassági modulusz középértéke még ennél is nagyobb, közel kétszeres mértékben haladja meg az irodalmi adatokat, tehát

ebből a szempontból is állítható, hogy nagyobb teherbírású faanyaggal van dolgunk. Első vizsgálatként azt ellenőriztük, hogy a roncsolásmentes vizsgálat mennyire közelíti meg a törésteszt során mért értékeket, túl- vagy alulbecsüli-e. Megfigyelhető, hogy két módszer között (a négyponos teszt kiértékelése során a nyírási alakváltozást is figyelembe véve) hozzávetőlegesen $\pm 21\%$ eltérés figyelhető meg, a középértéket tekintve pedig 10%-on belüli eltérés született. A nyírási alakváltozást elhanyagoló összefüggés esetében nagyobb pontatlanság látható.

4. Műszerkalibráció

Ahogy a (2) összefüggésben is látható, a rugalmassági modulusz meghatározásához a testsűrűség elengedhetetlen paraméter. Ugyan a képletbe irodalmi adatokat is behelyettesíthetünk, de belátható, hogy az értékek a ma termelt nyárfák esetében minimum felülvizsgálatot igényelnek, és az egyedi mérés megbízhatóbb eredményt szolgáltat. A testsűrűség meghatározása labor körülmények között is térfogat- és súlyméréssel, valamint a nedvességtartalom meghatározással történik, ami tulajdonképpen deszka, palló vagy akár gerenda dimenziójú próbatesteken is kivitelezhető módszer. Egy bizonyos elemméret felett ugyanakkor a művelet már körülményes, hiszen minden elemet le kell pakolni a rakatról, fizikailag megterhelő, hiszen gerenda szelvényben már jelentős terheket kell mozgatni, és épp az utóbbi miatt az is könnyen megeshet, hogy kilépünk a rendelkezésre álló eszközök, különösen a precíziós mérleg mérési tartományából. Ebből következik, hogy fatelepi körülmények között, akár akkor, amikor a roncsolásmentes rugalmassági modulusz mérést készítjük elő, vagy akár csak az alapanyagot szeretnénk válogatni, valamilyen olcsó, egyszerű, és akár azonnal eredményt adó módszert kell alkalmazni. A Nylodin műszer a használati tapasztalatok alapján erre alkalmas, ugyanakkor a fenyőkre megalkotott empirikus képlet a szürke nyár eltérő rostszerkezete miatt aligha ad pontos eredményt, ezért új kalibrációs összefüggést kell megalkotni.

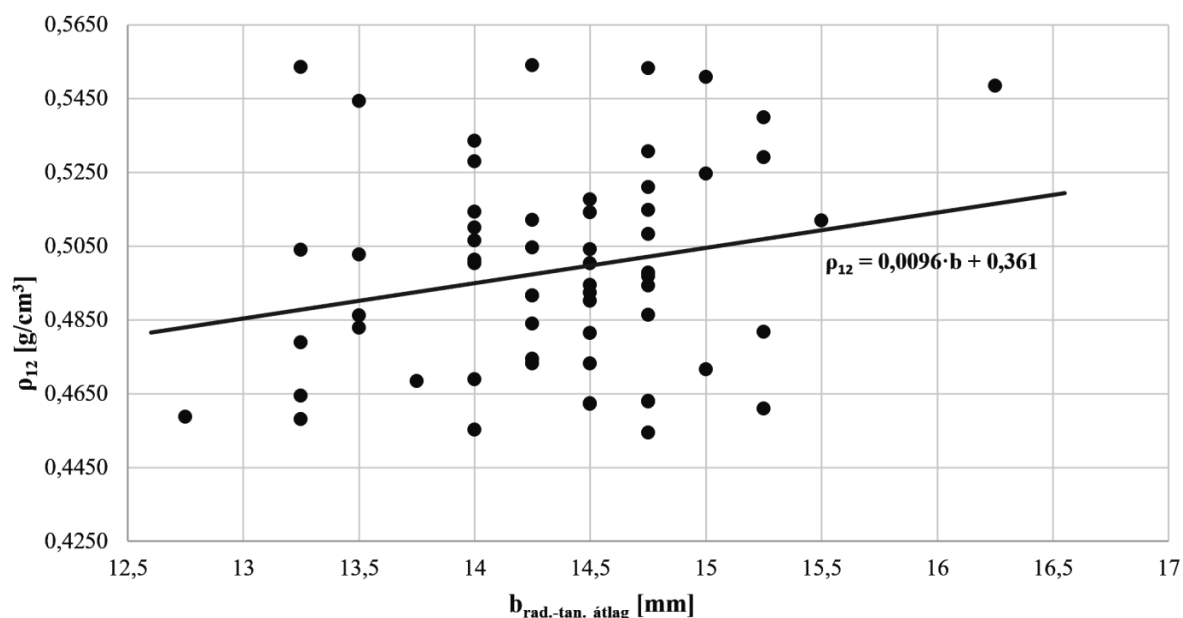
4.1. A mérés előkészítése

A kérdéses fafaj vizsgálatára kialakítottunk 60 db, egyenként 60×60×60 mm méretű

próbatestet. A mintákat labor- és normálklimán vizsgáltuk, mivel a laborkörülmények erre adtak lehetőséget. A mérési sort elsőként a tömegek meghatározásával kezdtük, ehhez egy METTLER TOLEDO PG5002-S DeltaRange típusú tudományos mérleget alkalmaztunk. Ezután digitális tolómérővel, a három anatómiai iránynak megfelelően, kettő tizedes jegy pontosságú méretet vettünk a mintákról. A térfogat és a tömeg ismeretében (3) összefüggés segítségével meghatározható a próbatestek testűrűsége. A sűrűség kiszámítása után egy DELMHORST J-2000 típusú, beütőtűs nedvességmérővel tangenciális és radiális irányban is meghatároztuk a minták nedvesség-tartalmát, majd ennek ismeretében a (4) összefüggés alkalmazásával korrigáltuk a testsűrűség értékeit az $u=12\%$ -os nedvességtartalomhoz tartozó értékekre. A nedvességtartalmi értékek felvétele során kiderült, hogy az egyes fakockák nedvességtartalmi értékei (a műszárított alapanyag ellenére) meglehetősen nagy szórást mutatnak. Ugyanitt megjegyzendő, hogy hasonló devianciát tapasztaltunk a korábbi próbatestek esetében, az induktív nedvességmérő alkalmazásával is. Következő lépésben a Nylodinnal végeztük el a sűrűségbecslési vizsgálatot, mindhárom anatómiai irányban. Az adatok felvételekor külön kezeltük a radiális-tangenciális és az axiális irányban végzett mérések eredményeit azért, hogy megvizsgálhassuk, mely anatómiai irányban kapunk pontosabb eredményeket.

4.2. A mérés eredményei

A Nylodinnal mérhető értékeket és a labormérésekből kapott testsűrűség adatokat ezután grafikonon ábrázoltuk, összefüggést keresve (3. ábra).



3. ábra. Az $u=12\%$ -os nedvességtartalomra korrigált testsűrűség adatok a Nylodinról leolvasható beütési mélység függvényében

A bütübe ütött mérések szélsőséges adatokat eredményeztek, így erről a mérési irányról megállapítható, hogy nem képes az általunk elvárt pontossággal kimutatni a próbatestek testsűrűségeinek különbségeit. Az oldalfelületen (radiális és tangenciális irányú beütésnél) az értékek már értékelhető eredményt mutatnak, és a mérési pontosság is biztató. Az azonos beütési mélységekhez $80 \sim 100 \text{ kg/m}^3$ értékkülönbségek tartoznak, ami a regressziós egyeneshez képest $\pm 50 \text{ kg/m}^3$ ($\pm 10\%$) eltérést jelent, és ezzel a Szerző tervei alapján kialakított eszköz a Pylodin $\pm 80 \text{ kg/m}^3$ pontosságát még kis mértékben felül is múlja.

5. Összefoglalás

A mérések alapján megállapítható, hogy a ma termelt szürke nyár alapanyag képes felülmúlni a korábban ismert, irodalmi ada-

tok szerinti fizikai és mechanikai paramétereit. Az általunk alkalmazni kívánt roncsolásmentes vizsgálati módszer testsűrűség tekintetében a 60 db-os mintán ugyan biztató $\pm 10\%$ pontosságot adott, de a műszer kalibrációját lényegesen nagyobb mintaszámú, és többféle termőterületről származó alapanyagokkal végzett kísérlettel kell pontosítani, és a kalibrációs képletet abból megalkotni. Rugalmassági modulusz tekintetében a longitudinális rezgéseken alapuló roncsolásmentes módszer az 50 db-os mintaszám esetén ugyan túlbecsülte az értékeket, de a hiba a középérték tekintetében 5%-on belül maradt.

Fontos megjegyezni, hogy a négyponos hajlítási vizsgálat kiértékelésekor a nyírási alakváltozással korrigált értéket kell alapul venni. A vizsgálatot ugyancsak javasolt nagyobb mintaszám mellett folytatni, majd empirikus összefüggést keresni a kétféle

módszer eredményei között. Járulékos megállapítás, hogy a nedvességmérés során a műszerek számos alkalommal következetlen értékeket mutattak, ami ugyan betudható annak, hogy a kalibrációs adatokat fenyőfára állítottuk, de – mivel a mérések alapvetően nem ennek az anomáliának a

megoldására irányultak – a jelenség magyarázatára és a bizonytalan adatok kiszűrésére nem volt lehetőségünk. Javasoljuk a nedvességmérő berendezések kalibrációját a szürke nyár fafajok nedvességtartalmának pontosabb és kiegyensúlyozottabb méréséhez.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetüket fejezik ki a Soproni Egyetem Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar munkatársainak, különösen Prof. Dr. Bejó Lászlónak, Dr. Báder Mátyásnak, Hanzséros Olivérnek és Mészáros Jánosnak, a méréseink elkészítésében nyújtott közreműködésükért.

Szerzői nyilatkozatok

Ács Ruben – vizsgálat, adatelemzés, szerző.

Vécs Martin László – vizsgálat, adatelemzés, vizualizáció, szerző.

Hantos Zoltán – módszertan, felügyelet, szerző, szerkesztő.

Referenciák

Gálos B. és Führer E., 2018. A klíma erdészeti célú előrevetítése. *Erdészettudományi Közlések*. Soproni Egyetem, Sopron.

<https://doi.org/10.17164/EK.2018.003>

Ábri T., Keszér Zs., Honfy V., Borovics A., Rédei K., 2024. Stand structural analyses of grey poplar (*Populus × canescens*) stands focused on the expected volume in Hungary. *Journal of Forest Science*, 70: 539–544.

<https://doi.org/10.17221/53/2024-JFS>

Molnár S., Farkas P., 2016. *Nyár (nyár fajok) – Populus spp.* In: *Földünk ipari fái*, Eds. Molnár, S., Farkas, P., Börcsök, Z., Zoltán, Gy., Photog. Richter, H.G. & Szeles, P., ERFARET Nonprofit Kft. Sopron, ISBN 978-963-12-5239-2, pp. 58-60.

Divós Ferenc Dr., Németh László Dr., Major Balázs, 2015. *Új technológiák bemutatása a faszerkezetek felülvizsgálata területén*, Magyar Mérnöki Kamara, Budapest, 28p.

Blahó Kristóf, 2018. *Nyulodin kalibrálása különböző fafajokra és az eszköz gyakorlati alkalmazása*, Szakdolgozat, Soproni Egyetem, Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi és Művészeti Kar, Sopron, 52p.

MSZ EN 384:2016+A1 Szerkezeti fa. A mechanikai tulajdonságok és a sűrűség karakterisztikus értékeinek meghatározása.

MSZ EN 14081-2 Faszerkezetek. Szilárdság szerint osztályozott, téglalap keresztmetszetű szerkezeti fa.

MSZ EN 408:2010+A1 Faszerkezetek. Szerkezeti fa és rétegelt-ragasztott fa. Egyes fizikai és mechanikai tulajdonságok meghatározása.

*Opportunities for strength estimation of grey poplar (*Populus × canescens*) lumber*

Abstract

*As consequence of climate change, the composition of domestic forest stocks has begun to change. Recognizing this phenomenon, national economic guidelines affecting the wood industry have been issued that primarily favor the use of drought-tolerant native domestic tree species, such as grey poplar (*Populus × canescens*). In order to enable a broader range of applications for this tree species, also in the construction industry, and perhaps specifically in load-bearing structures, we need methods that enable the rapid determination of the basic physical and mechanical properties, and if possible, categorizing the pieces into a strength class. Considering that there is a high level of distrust among construction industry members regarding the use of poplar wood, non-destructive methods may be suitable for supplementing the usual raw material selection methods with solutions that provide fast, numerical data, too.*

Keywords: grey poplar, lumber, strength estimation, Industry, innovation and infrastructure