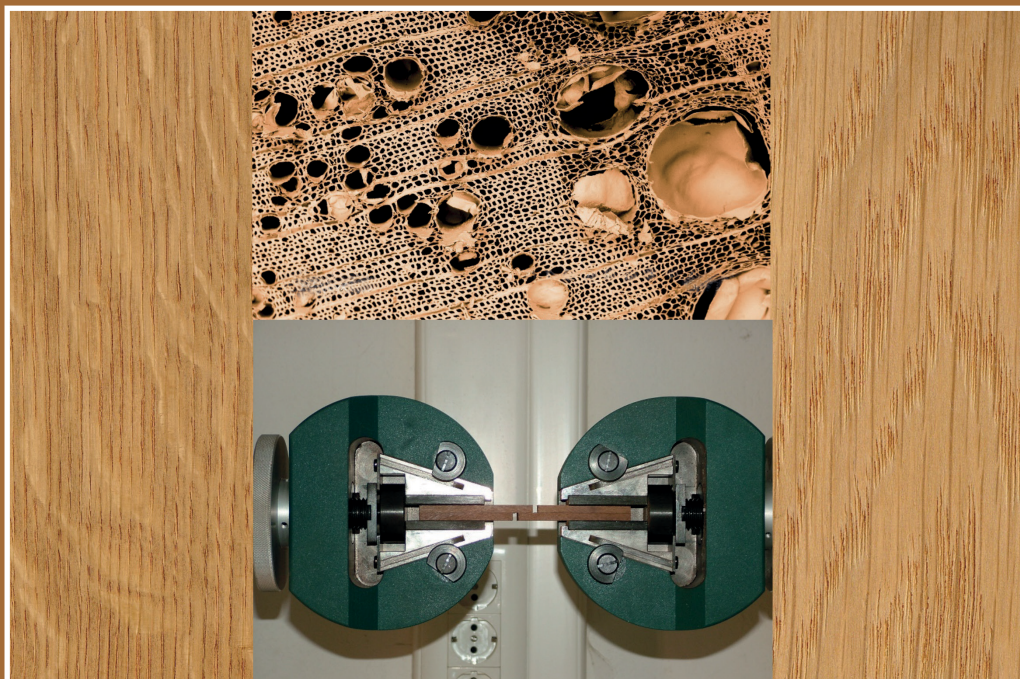


A faanyagtudományok története Magyarországon



Az MTA Erdészeti Tudományos Bizottságának
tanulmánykötete III.



2024

Az MTA Erdészeti Tudományos Bizottságának
tanulmánykötete III.

**A faanyagtudományok története
Magyarországon**

Az MTA Erdészeti Tudományos Bizottságának
tanulmánykötete III.

A faanyagtudományok története Magyarországon

Szerkesztette:

NÉMETH RÓBERT



SOPRONI EGYETEM KIADÓ
Sopron, 2024

A kiadvány a Magyar Tudományos Akadémia Agrártudományok Osztálya Erdészeti Tudományos Bizottságának kezdeményezésére és irányításával valósult meg.



Jelen kiadvány a Soproni Egyetem Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kara anyagi támogatásával jött létre.

Az egyes fejezeteket lektorálta:
Németh Róbert

Kiadó:
Soproni Egyetem Kiadó

Felelős kiadó:
Prof. Dr. Fábián Attila, a Soproni Egyetem rektora



Creative Commons license: CC BY-NC-SA 4.0 DEED



Nevezd meg! - Ne add el! - Így add tovább! 4.0 Nemzetközi
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International

Borítókép:
Báder Mátyás, Bak Miklós, Németh Róbert

ISBN 978-963-334-512-2 (nyomtatott)
ISBN 978-963-334-513-9 (pdf)
DOI szám: <https://doi.org/10.35511/978-963-334-513-9>

Nyomdai kivitelezés:



INFORM
Kiadó & Nyomda
1149 Budapest, Angol u. 34.
www.informstudio.hu

Budapest, 2024/10

TARTALOM

<i>Beköszöntő</i>	6
<i>Előszó</i>	7
Faanatómia	8
Faanyagvizsgálatok	17
Roncsolásmentes faanyagvizsgálatok	29
Faanyagok szárítása és modifikálása	39
Faalapú kompozitok	54
A faanyag színe és színváltozásai	79
A fa mechanikai megmunkálása	90
A fa, mint építőanyag	132
Faanyag ökomérlege	151
Faenergetika	157
Faanyagok ragasztása és felületkezelése	168
Fejezetek a fakémia magyarországi történetéből	202
Faanyagvédelem	233
<i>A kötet szerzői</i>	251

RONCSOLÁSMENTES FAANYAGVIZSGÁLATOK

Bejő László

A roncsolásmentes faanyagvizsgálatok kutatásával érdemben az 1990-es években kezdtek foglalkozni Magyarországon, az akkori Erdészeti és Faipari Egyetemen. Divós Ferenc, az akkor nemrégiben az egyetemre került fiatal fizikus-kutató, több hallgató és doktorandusz bevonásával kezdett vizsgálatokat folytatni, melynek fókuszában eleinte a faanyag szilárdságbecslése, valamint akusztikus tulajdonságainak vizsgálata volt.

A kutatásokra hamarosan nemzetközi szinten is felfigyeltek; elsősorban az Egyesült Államokban, ahol már a XX. sz. eleje óta foglalkoztak roncsolásmentes vizsgálatokkal az élőfa, faanyag- és faszerkezet vizsgálatok területén, és az 50-es évek óta rendszeresen tartottak ebben a témában konferenciákat, eleinte elsősorban észak-amerikai résztvevőkkel, de hamarosan nemzetközi szinten is. Divós Ferenc és az egyetem több más munkatársa a '90-es évek eleje óta rendszeres résztvevője lett ezeknek a konferenciáknak, minden alkalommal jelentős új eredményekkel járulva hozzá a roncsolásmentes faanyagvizsgálati tudományterülethez.

A faanyag vizsgálata akusztikus eljárásokkal

Az első roncsolásmentes faanyagvizsgálattal kapcsolatos kutatásokat még a '90-es évek legelején publikálták a hazai kutatók (Divós et al. 1991) Ennek fókuszában eleinte a faanyag szilárdságbecslése, valamint akusztikus tulajdonságainak vizsgálata volt (Divós 1992). A fűrészáruban keltett rezgések – pl. a hangterjedéshez szükséges longitudinális rezgés, vagy a két vagy több ponton alátámasztott darabok hajlítórengései – frekvenciáját közvetlenül az anyag rugalmassági modulusza határozza meg, ami pedig jellemzően jól korrelál a szilárdsági tulajdonságokkal. Így a hang terjedési sebességének a mérésével, vagy a sajátrezgési frekvencia meghatározásával következtethetünk a fa szilárdságára. A rezgések csillapodása szintén fontos információt hordoz az anyag minőségével kapcsolatban.

Nemzetközi szinten is nagy érdeklődést keltett a '90-es évek közepén a faanyag szilárdságbecslésének kérdése több becslő paraméter bevonásával. Ezen a területen jelentős eredmények születtek a Soproni Egyetemen is. A mérések során elsősorban a fa akusztikai tulajdonságait (hosszirányú és hajlító rezgések, csillapodás, stb.) vizsgálták, de más becslő paramétereket is felhasználtak (Divós & Tanaka 1997). Az eredmények alapján a fa szilárdsága nagy pontossággal becsülhető. Az ennek során elért eredmények a későbbiekben a PLG+ faanyag osztályozó berendezés kifejlesztésének az alapját képezték a Soproni Egyetem Bódi József Roncsolásmentes Faanyagvizsgáló Laboratóriumában.

A faanyag rezgésméréssel történő vizsgálatával a továbbiakban is sokat foglalkoztak a Soproni egyetemen. Vizsgálták többek között a hangsebesség mérés alkalmazását fahibák felderítésére (Divós et al. 2000), a faanyag statikus és dinamikus rugalmassági modulu-

szá közötti kapcsolatot (Divós & Tanaka 2005), illetve a változó keresztmetszet hatását a hang terjedési sebességére (Divós et al. 2005). Emellett a különböző ragasztott és faalapú anyagok vizsgálatával kapcsolatban is zajlott több kutatás, pl. a furnéralapú kompozitok alapanyaga (Ekkler et al. 1994, Láng et al. 2002), forgácslap illetve a rétegelt-ragasztott tartók (Garab et al. 2010) dinamikus tulajdonságainak vizsgálatával.

A faanyag vizsgálata más módszerekkel

Míg a '90-es évek elején, a nemzetközi tendenciákhoz hasonlóan Magyarországon is elsősorban a faanyag dinamikus tulajdonságai álltak a roncsolásmentes faanyagvizsgálatok fókuszában, hamarosan több más területen is vizsgálatok kezdődtek. Az évek folyamán vizsgálatok folytak többek között a fa és faalapú anyagok érintésmentes sűrűségmérése, lézeres rostirány meghatározás, csavarállóság mérés, és az elektromos impedancia mérés alkalmazási lehetőségeivel kapcsolatban.

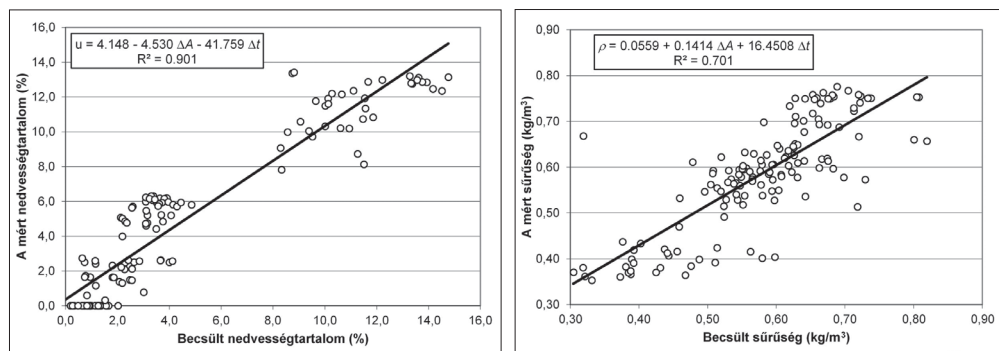
A faanyag sűrűsége és nedvességtartalma meghatározó fontosságú számos faipari alkalmazásban, és többek között hatással van a szilárdsági tulajdonságokra is. E tulajdonságok mérésére gyors és pontos lehetőséget biztosít a különböző hullámhosszúságú elektromágneses sugárzás elnyelésének vagy visszaverődésének a vizsgálata, amely nem csak a teljes fűrészáruról biztosít információt, de alkalmas a sűrűségeltérések feltérképezésére is a fűrészárun belül. Az egy anyagon belüli eltérések fontos információt hordoznak többek között az anyag anatómiai felépítése, teherbírása, rejtett fahibái tekintetében.

Minél kisebb hullámhosszú sugárzással dolgozunk, annál jobb felbontással tudjuk meghatározni a fa sűrűségprofilját. Sopronban több vizsgálat is folyt gammasugárzás alkalmazásával, amellyel nagy pontossággal sikerült becsülni a faanyag sűrűségét (Divós et al. 1996, Utassy & Divós 2011). Az infravörös sugárzás különösen alkalmas a nedvességtartalom becsülésére. A Bódig József Roncsolásmentes Faanyagvizsgáló Laboratóriumban kifejlesztett, NIR lézer diódákon alapuló eljárással nagy pontossággal ($r^2 = 0,75 \dots 0,90$) becsülhető a különböző faanyagok nedvességtartalma (Divós et al. 2015).

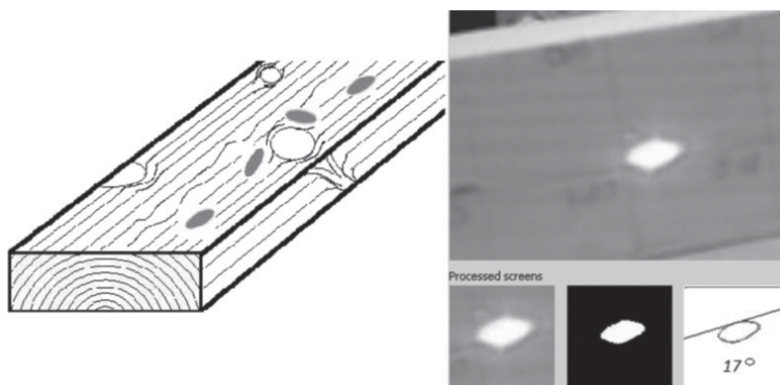
Különösen érdekes és nagy gyakorlati haszonnal kecsegtet a mikrohullámú radar alkalmazása a faanyag sűrűségének és nedvességtartalmának mérésére. A módszert sikerrel alkalmazták előbb cementkötésű forgácslapok (Utassy et al. 2012), később nagyméretű rönkök és rönkmáglyák (Divós és Major 2016) nedvességtartalmának a meghatározása. Ha az átsugárzott energia intenzitását és terjedési idejét is mérjük, a két paraméter függetlennek tekintve akár két függő változó – a nedvességtartalom és a sűrűség – is meghatározható egyetlen mérés alapján. Ezt a feltevést sikerült a közelmúltban bizonyítani is, amikor is a különböző fajfajú és nedvességtartalmú próbatestek nedvességtartalmát 90 %-os, sűrűségét 70 %-os pontossággal sikerült becsülni (Bejó et al. 2019).

A rostirány pontos meghatározása a faanyagban nem egyszerű feladat, ugyanakkor nagy gyakorlati jelentősége van, hiszen a rostkifutás jelentősen befolyásolja a fűrészáru műszaki tulajdonságait, elsősorban a teherbírását. A rostirány meghatározására kitűnő lehetőséget biztosít az ún. „tracheida-effektus”, azaz az a tény, hogy a faanyagra vetített kerek fényfolt a rostlefutástól függően torzul, elliptikussá válik. Az ellipszis orientációja,

valamint a kistengely és a nagytengely aránya alapján a rostlefutás pontosan meghatározható. Ennek mérésével több nemzetközi kutatás mellett Szalai & Pödör (2015) is foglalkozott, akik statisztikai alapon elemezték a mért adatokat, és a statisztikai paramétereket hasonlították össze a faanyag szilárdságával.



A nedvességtartalom és a sűrűség becslése mikrohullámú radar segítségével



A lézeres rostirány meghatározás alapelve (Szalai és Pödör 2015)

A faanyag csavarállósága (facsavar kitépéséhez szükséges erő meghatározása) az ún. „kisroncsolásos” vizsgálatok közé tartozik; azért tekinthetjük roncsolásmentes vizsgálatnak, mert a szerkezeti anyag teherbírását nem befolyásolja jelentős mértékben. A mért erő összefüggésben van a faanyag szilárdsági tulajdonságaival és sűrűségével is (Divós et al. 1994).

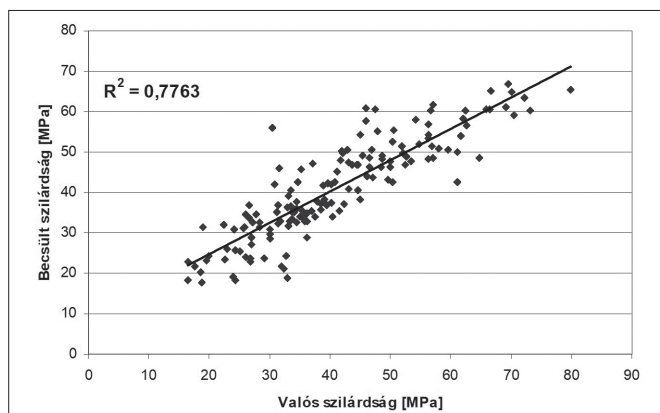
A faanyagban jelenlevő gombakárosítás egyes esetekben befolyásolja az anyag elektromos vezetőképességét, így az kimutatható az elektromos ellenállásának mérésével. Ezen az alapon már régebb óta elérhetőek jól működő műszerek, azonban a közelmúltban vizsgálatok indultak a képalkotó módszer térbeli felbontásának és megbízhatóságának javítására (Vízvári et al. 2015). Az előbbi módszer főleg a beépített faszerkezetek, míg az utóbbi a magas nedvességtartalmú élőfák vagy nedves rönkök vizsgálatához használható.

Fűrészáru osztályozás

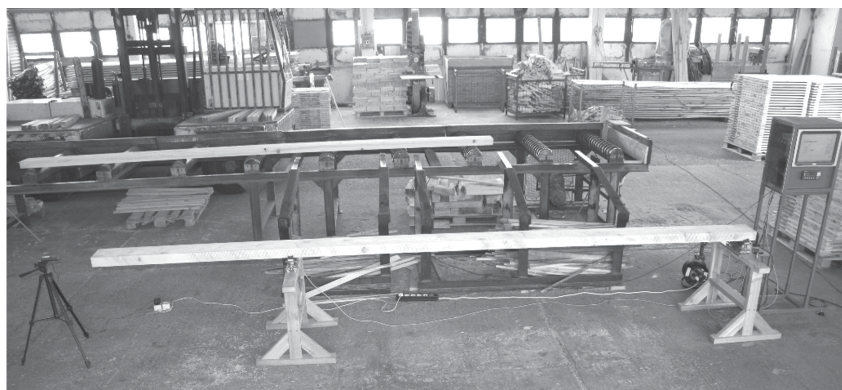
A fűrészáru szilárdsági osztályozása kulcsfontosságú; ez biztosítja a faszervezetek statikai méretezéséhez szükséges bemenő adatokat. Az osztályozás általános szabályait az MSZ EN 14081-1 szabvány írja elő; ez alapján két alapvető osztályozási módszer létezik: a vizuális és a gépi, vagy műszeres fűrészáru osztályozás. Míg az előbbi időigényes, kevésbé megbízható és csak alacsonyabb szilárdsági osztályba sorolást tesz lehetővé, az utóbbi roncsolásmentes szilárdságbecslési módszereken alapszik, és magasabb szilárdsági osztályok megállapítását is lehetővé teszi gyors, megbízható módon. Sajnos az osztályozó berendezések jellemzően igen költségesek, és a hazai üzemek számára nem jelentenek reális alternatívát. Emiatt a hazai kutatók sok erőfeszítést tettek egy olcsón elérhető osztályozó berendezés kifejlesztésére a hazai piac számára.

Az első ilyen osztályozó berendezés kifejlesztése a 2000-es évek elejére tehető. Az osztályozási módszer a longitudinális sajátrezgési frekvencia mérésén alapult, kiegészítve a sűrűség meghatározásával, a fűrészáru tömege és térfogata alapján. Az eljárást a gyakorlatban is alkalmazták, a Graz-i Egyetemen készülő kísérleti bükk RR tartók lamelláinak osztályozására, illetve a Soproni Egyetemen megépült fakupola anyagának kiválogatására. Az osztályozásnak köszönhetően a kupola szerkezetét egészen kis mennyiségű, válogatott vörösfenyő anyagból sikerült megépíteni (Divós et al. 2002a, b).

A longitudinális rezgésekkel végzett fűrészáru osztályozás egyszerű és gyorsan kivitelezhető mérés, azonban a módszer kevésbé érzékeny bizonyos fahibákra, különösen a szilárdság szempontjából nagyon meghatározó göcsök jelenlétére. Emiatt az eljárást továbbfejlesztésre egy komplex kutatás folyt, melybe számos további becselőparamétert (hajlítási sajátrezgési paraméterek, göcsösség, évgűrű szélesség) is bevontak. A kísérletek során 436 db 5×10 cm keresztmetszetű 2 m hosszúságú légszáraz (16±2%), különböző szilárdsági osztályba tartozó lucfenyő (*Picea abies*), erdei fenyő (*Pinus sylvestris*) és vörösfenyő (*Larix decidua*) próbatesteken végeztek méréseket, és ezeket összehasonlították a hajlítószilárdsági vizsgálatok eredményével. Ennek eredményeit mutatja a mellékelt ábra (Sismándy-Kiss 2012). A kutatás során előkészítették a berendezés első típuseszteléséhez szükséges táblázatokat, valamint kifejlesztésre került egy ipari környezetben használható, por- és rezgésvédett mérési rendszer is.



A többparaméteres szilárdságbecsléssel megállapított és a mért hajlítószilárdság összefüggése (Sismándy-Kiss 2012)



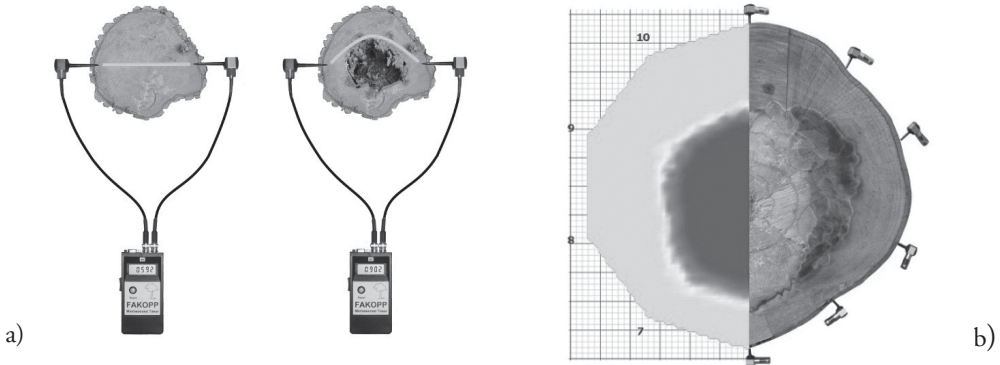
*A PLG+ ipari környezetben használható fűrészáru osztályozó berendezés
(Fotó: Sismándy-Kiss, 2012)*

Élőfa vizsgálat

A faanyag vizsgálata mellett, illetve azok eredményei alapján jelentős kutatások kezdődtek a Soproni Egyetemen, az élőfák, azok állapotának és állékonyságának vizsgálata céljából. Az első élőfa vizsgálatok a fa keresztmetszetében végzett egyszerű hangsebesség mérésen alapultak. Ennek alapja, hogy a fatörzs közepén jelenlevő, de kívülről nem feltétlenül látható korhadt részt a hanghullám „megkerüli”, azaz hosszabb úton, és ezáltal hosszabb idő alatt jut el az egyik oldalon levő jeladótól a másik oldalon elhelyezett detektorig (Divós & Mészáros 1994). Az eljárás nagyon jól alkalmazható nagy kiterjedésű, centrálisan elhelyezkedő korhadások és más rejtett fahibák felderítésére, azonban kisebb, hosszúkás, nem centrális elhelyezkedésű problémákat már kevésbé tud detektálni. Az egyszerű hangsebesség-mérés kiterjesztésével jött létre az akusztikus tomográfias eljárás, amely számos érzékelő között mért hangsebességek összevetésével pontos képet ad a fatörzs belsejében található fahibákról. Az eljárás kifejlesztésében a hazai kutatóknak is nagy érdemei vannak (Divós & Szalai 2003).

Az akusztikus tomográfia bizonyos fahibák – pl. az álgeszt – kimutatására kevésbé alkalmas. Ilyen esetben jól működhetnek az elektromos ellenállás mérésén alapuló módszerek. Az elterjedt, de meglehetősen fáradságos és hosszadalmas impedancia tomográfia mellett az egyszerűbb módszerek is célravezetőek lehetnek. Ilyen pl. a Göncz (2018) által alkalmazott egyszerű, négy elektródás mérés, amely, ha az álgeszt kiterjedését nem is, de annak jelenlétét megbízhatóan mutatta ki több, mint 100 bükk fatörzs vizsgálata alapján (Göncz et al. 2018).

Az elsősorban a fatörzsek törésbiztonságának felmérésére szolgáló akusztikus tomográfia mellett a fák gyökérstabilitásával kapcsolatban is folytak kísérletek. Ezek közül érdemes kiemelni a fák gyökérzetének térképezésével foglalkozó kutatásokat (Buza & Divós 2016), amelyek, bár csak részleges sikert értek el (a mélyebb gyökerek vizsgálata egyelőre nem tűnik lehetségesnek), de hasznos eredményeket hoztak.



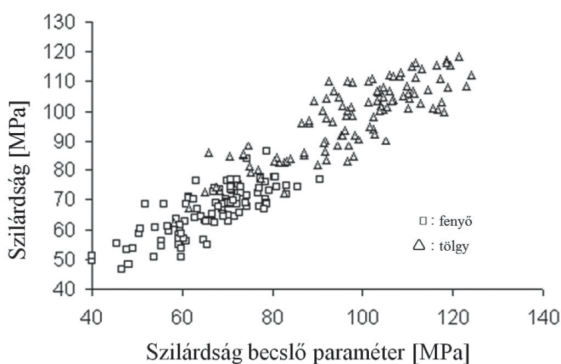
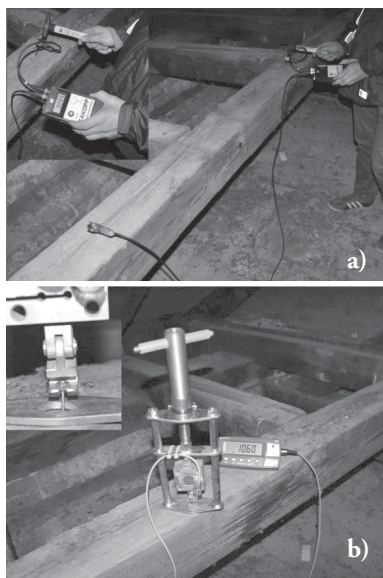
A fatörzs belső hibáinak felderítése egyszerű hangsebesség méréssel (a) és akusztikus tomográfia segítségével (b) (Forrás: Fakopp Bt., a cég engedélyével)

Jelentős eredmények születtek továbbá a széll szembeni stabilitás vizsgálatában. Ezt hagyományosan húzóvizsgálattal értékelik, amely azonban fárasztó, időigényes, csak szélcsendben használható, és a szélterhelésre jellemző dinamikus igénybevétel helyett statikus terhelést használ. Sajnos a szélterhelés és a fa mozgásai között közvetlen kapcsolat nem mutatható ki (mivel a szélben mozgó fa komplex, sztochasztikus lengő rendszert alkot), azonban egy Sopronban kifejlesztett, statisztikai paraméterek értékelésén alapuló eljárással mégis megfelelő pontossággal értékelhető a fák stabilitása, közvetlenül a szél által keltett mozgások értékelésével (Bejó et al. 2017). A viszonylag egyszerű módszerrel több fát lehet párhuzamosan értékelni, és így fontos, eddig nem ismert összefüggések tárhatók fel az élőfák szélben való viselkedésével kapcsolatban; például kiderült, hogy a lombos fák stabilitása nem javul, hanem romlik a téli időszakban, amikor elveszítik a lombzatukat (Fathi 2020).

Faszerkezet vizsgálat

A roncsolásmentes faanyagvizsgáló eljárások egyik fontos gyakorlati alkalmazása a faszerkezetek vizsgálata. A beépített faszerkezetek állapotvizsgálata több kihívást is jelent a fűrészáru vizsgálatához képest; sokszor igen öreg elemeket kell vizsgálni, amelyek rejtett fahibákat tartalmazhatnak. Ráadásul, mivel az elemek be vannak építve, a fűrészáru vizsgálatánál elterjedt, sajátregzéseken alapuló eljárások nagy része nem, vagy csak korlátozottan alkalmazható.

A szerkezetek vizsgálatánál jellemzően két fontos területre koncentrálhatunk; a szerkezeti elemek általános állapotfelmérésére, illetve az esetleges belső fahibák feltárására. Az előbbi módszertanának kidolgozásában nagy szerepe volt Németh László (1998) doktori munkájának. Az állapotfelmérés során jellemzően közvetlen hangsebességmérés végeznek a szerkezeti elemeken, a sűrűségüket pedig valamilyen kisroncsolásos (csavarállóság, tűbehatolás) vizsgálatával becsülik. A szilárdság becslésére mindkét vizsgálat alkalmas valamilyen mértékig, azonban a hangsebesség és a csavarállóság kombinációja adja a legjobb becslést a szerkezeti elemek szilárdságára nézve, Divós et al. 1998.)



Faszerkezetek vizsgálata hangsebesség méréssel (a) (Fotó: Fakopp Bt., a cég engedélyével.), csavarállóság méréssel (b) (Fotó: Fakopp Bt., a cég engedélyével) és a két mérés eredményeiből képzett becsülő paraméter és a mért hajlítószilárdság kapcsolata (c)

A fentiekén túl több kutatás folyt a faszerkezetek elemeiben található rejtett, belső fáhibák detektálásával kapcsolatban. Ezekhez hasonló módszerek használhatók, mint az élőfák esetében (hangsebesség mérés, akusztikus és impedancia tomográfia.) A képpalkotó módszerek elsősorban a nagy keresztmetszetű, rétegelt-ragasztott anyagok esetében használhatók jól – több kutatás született az ilyen anyagok akusztikus tomográfias vizsgálatával kapcsolatban (pl. Garab et al. 2010, Major & Divós 2015).

Az eredmények hazai és nemzetközi elismertsége, gyakorlati alkalmazása

A hazai roncsolásmentes faanyagvizsgáló kutatások nagyon jelentős eredményekkel járultak hozzá a tématerület hazai és nemzetközi tudományos sikereihez. Nemzetközi szinten ezeket az eredményeket számos folyóiratban publikálták, valamint 1991 óta a kétévente megrendezésre kerülő Nemzetközi Roncsolásmentes Faanyagvizsgáló Szimpóziumok mindegyikén nagy érdeklődést kiváltó előadások, poszterek formájában is megjelentek ezek az eredmények. Ezen túlmenően, Divós Ferenc szervezésében 1994-ben került sor Sopronban az 1. Európai Roncsolásmentes Faanyagvizsgáló Konferenciára, nagyon jelentős érdeklődés mellett. Ezután tagja lett a nemzetközi szimpózium-sorozat szervezőbizottságának, amelyet később két alkalommal is Sopronban rendeztek meg. A soproni kutatások elismertségét mutatja, hogy Divós Ferenc később az USDA Forest Products Laboratory egyik jelentős közleményének (Wang et al. 2004) társszerzője is lett, a 2017-es szimpóziumon pedig életmű díjjal tüntették ki.

Hazai szinten a több tudományos folyóiratcikk és konferencia közlemény mellett sajnos kevés átfogó roncsolásmentes faanyagvizsgálattal kapcsolatos publikáció született. Ezek közé tartozik az 1999-ben megjelent mérési útmutató (Divós et al. 1999), valamint a Magyar Mérnöki Kamara gondozásában megjelent átfogó tanulmány a faszerkezetek roncsolásmentes vizsgálatáról (Divós et al. 2015). Nagy szükség lenne egy átfogó magyar nyelvű tudományos kiadványra ezen a területen, amely megismertetné a nagyközönséggel a roncsolásmentes faanyagvizsgálatban rejlő lehetőségeket, és a hazai eredményeket.

Divós Ferenc professzor nem csupán elméleti síkon foglalkozott a roncsolásmentes faanyagvizsgálattal; kezdettől fogva szerette volna, hogy ezek a módszerek a gyakorlatban is alkalmazást leljenek. Így alakult meg a FAKOPP Bt, amely nagy sikerrel gyárt és forgalmaz roncsolásmentes vizsgálati berendezéseket, elsősorban az élőfa vizsgálat területén. A cég a világ minden részébe szállít kiváló minőségű műszereket, így a soproni kutatások a gyakorlatban is hasznosultak.

Irodalom

- Bejő L., Divós F. & Fathi S. 2018. Dynamic root stability assessment – basics and practical examples. In: X. Wang; C.A. Senalik; R.J. Ross (szerk.) Proc. 20th International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium Madison, Wisconsin, USA: 262–269.
- Buza A.K. & Divós. F. 2016. Root Stability Evaluation with Non-Destructive Techniques. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica* 12(2): 125–134. DOI: 10.1515/aslh-2016-0011
- Divós F. 1992. Fűrészáru szilárdság szerinti osztályozása Sopronban. *Faipar* 42(9): 153–156.
- Divós F., Bejő L. & Bradley M. 2015. Near infrared laser reflection based wood moisture content determination. In: R.J. Ross, R. Gonçalves, X. Wang (szerk.) Proc. 19th International Non-destructive Testing and Evaluation of Wood Symposium, Rio de Janeiro, Brazilia. USDA Forest Service: 98–102.
- Divós F., Bejő L., Gergely L., Magoss E. & Salamon Z. 1999. Roncsolásmentes faanyagvizsgálat – mérési útmutató. Soproni Egyetem, 79 o.
- Divós F., Csóka L., Szalai L. & Gyenizse P. 2002a. Fűrészáru szilárdság szerint történő osztályozásának gyakorlati alkalmazása. I. rész *Faipar* 50(2): 19–24.
- Divós F., Csóka L., Szalai L. & Gyenizse P. 2002b. Fűrészáru szilárdság szerint történő osztályozásának gyakorlati alkalmazása. 2. rész *Faipar* 50(3): 12–15.
- Divós F., Csupor K. & Bröker F. 1991. Ultrasonic and Stress Wave based: Non-destructive Testing of Wood Proc. 8th International Nondestructive Testing of Wood Symposium, Vancouver, Kanada, 272 o.
- Divós F., Daniel I. & Bejő L. 2000. Defect detection in timber by stress wave technique. In: Aicher, S (szerk.) Proc. International Conf. on Wood and Wood Fiber Composites. University of Stuttgart, Stuttgart, Németország, 279 o.
- Divos F., Denes L. & Iniguez G. 2005. Effect of cross-sectional change of a board specimen on stress wave velocity determination. *Holzforschung* 59(2): 230–231. DOI: 10.1515/hf.2005.036
- Divós F., Járási J. & Hodász E. 1994. Screw Withdrawal Force as Strength Predictor. In: Divós F. (szerk.) Proc. First European Symposium on Nondestructive Evaluation of Wood, 531 o.

- Divós, F. & Mészáros K. 1994. Root Decay Detection by Stress Wave Technique. In: Divós F. (szerk.) Proc. First European Symposium on Nondestructive Evaluation of Wood, 524 o.
- Divós, F., Németh L. & Bejő L.. 1998. Evaluation of the wooden structure of a Baroque palace in Papa, Hungary In: Proc. 11th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood, Madison, WI, USA: 153–160.
- Divós F., Németh L. & Major B. 2015. Új technológiák bemutatása a faszervezetek felülvizsgálata területén. Útmutató, MMK Erdőmérnöki, Faipari és Agrárműszaki Tagozat, 28 old. https://efa.mmk.hu/files/FAP2015_UjTechnologiak.pdf
- Divós, F. & Szalai L. 2003. Tree evaluation by acoustic tomography. In: Beall, FC (szerk.) Proc. 13th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood University of California, Berkeley, CA, USA: 251–256.
- Divós F., Szegedi S. & Raics P. 1996. Local densitometry of wood by gamma back-scattering. *European Journal of Wood and Wood Products* 54(4): 279–281 DOI: 10.1007/s001070050183
- Divos F. & Tanaka T. 1997. Lumber strength estimation by multiple regression. *Holzforschung* 51(5): 467–471. DOI: 10.1515/hfsg.1997.51.5.467
- Divos F. & Tanaka T. 2005. Relation between static and dynamic modulus of elasticity of wood. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica* 1: 105–110.
- Ekkler, J, Szabadhegyi Gy. & Divós F. 1994. Fertigkeitserhöhung von LVL-Träger Durch Zersörungsfreie Furrnierprüfung. In: Divós F. (szerk.) Proc. First European Symposium on Non-destructive Evaluation of Wood, 581 o.
- Fathi S. 2020. The Reliability and Applications of Dynamic Tree Stability Inspection. PhD. Disszertáció, NyME Cziráki József Faanyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola, 103 o.
- Garab J., Tóth A., Szalai J., Bejő L. & Divós F. 2010. Evaluating Glued Laminated Beams Using a Nondestructive Testing Technique. *Transactions of Famena* 34(4): 33–46.
- Göncz B. 2018. Bükk álgeszt kimutatása elektromos mérés segítségével. PhD. Disszertáció, NyME Cziráki József Faanyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola, 90 o.
- Göncz B., Divós F. & Bejő L. 2018. Detecting the presence of red heart in beech (*Fagus sylvatica*) using electrical voltage and resistance measurements. *European Journal Of Wood and Wood Products* 76(2): 679–686. DOI: 10.1007/s00107-017-1225-4
- Láng, E.M., Bejő L., Divós F., Kovács Zs. & Anderson R.B. 2003. Orthotropic Strength and Elasticity of Hardwoods in Relation to Composite manufacture. Part III. Orthotropic Elasticity of Structural Veneers. *Wood and Fiber Sci.* 35(2): 308–320.
- Major B. & Divós F. 2016. Sarangolt fa nedvességtartalmának mérési lehetősége elektromágneses hullámokkal. *Faipar* 64(2): 39–45.
- Major B. & Divós F. 2015. Glue laminated timber structure evaluation by acoustic tomography. In: R.J Ross, R. Gonçalves, X. Wang (szerk.) Proc. 19th International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium, Rio de Janeiro, Brazilia. USDA Forest Service: 462–466.
- Németh L. 1999. A roncsolásmentes faanyagvizsgálatok gyakorlati alkalmazásának lehetőségei. PhD. Disszertáció Soproni Egyetem, Faanyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola, 128 o.
- Sismándy-Kiss F. 2012. Fűrészáru szilárdsága és fizikai tulajdonságainak kapcsolata. PhD. Disszertáció, NyME Cziráki József Faanyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola, 103 o.

- Szalai L. & Pödör Z. 2015. Laser based optical nondestructive method for evaluation of the pine timber strength. In: R.J Ross, R. Gonçalves, X. Wang (szerk.) Proc. 19th International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium, Rio de Janeiro, Brazilia. USDA Forest Service: 210–215.
- Utassy V. & Divós F. 2011. Fűrészáru érintésmentes sűrűségmérése. *Faipar* 59(1): 18–23.
- Utassy V., Divós F. & Alpár T. 2012. Cementkötésű faforgácslapok nedvességmérése mikro-hullámú radarral. *Faipar* 60(2): 14–18.
- Vizvári Z., Kiss T., Máthé K., Odry P., Vér C. & Divós F. 2015. Multi-Frequency Electrical Impedance Measurement on a Wooden Disc Sample *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica* 11(2): 153–161. DOI: 10.1515/aslh-2015-0012
- Wang X., Divós F., Pilon C., Brashaw B.K., Ross R.J. & Pellerin R.F. 2004. Assessment of decay in standing timber using stress wave timing nondestructive evaluation tools. USDA Forest Products Laboratory General Technical Report FPL-GTR 147, Madison, Wisconsin, USA, 14 o.

Nondestructive Evaluation of Wood

Wood NDT is a very special field of investigation that encompasses the examination of trees, wood material and products, as well as structural testing. It uses a variety of physical principles to examine these entities without compromising their future utility. Hungarian researchers excelled in this field, generating internationally recognized results in all of the above areas, using a wide variety of non-destructive tools. Acoustic investigations led to the development of the PLG+ grading equipment, which uses a number of parameters to estimate the load bearing capacity of lumber accurately. Further investigations included using microwave energy and NIR laser for measuring wood density and moisture content, laser tracheid effect measurements for estimating wood strength, screw withdrawal measurements and conductivity-based assessment of wood decay. Acoustic and impedance tomography measurements have been used and perfected for assessing tree quality/condition and breakage safety. In recent years, pioneering research into dynamic tree investigation significantly contributed to the development of a novel urban tree stability and safety assessment tool that is now in increasingly widespread use. Sound velocity, screw withdrawal force and internal imaging techniques have been developed and used successfully for structural assessment purposes. Much of the research at the University of Sopron led to the development of practically applicable measurement techniques and equipment. The results have been widely published and well received by the international wood NDT research community as well.