

# Anyagvizsgálók Lapja

Az Ország vezető szaklapja

## Roncsolásmentes favizsgálatok



A lap kiemelt  
támogatója:



**FAKOPP**

**FAKOPP  
ENTERPRISE BT.**



Műszeres  
vizsgálatok,  
akusztikus vizsgálat,  
osztályozás



NIR lézer,  
húzó- és dinamikus  
vizsgálat,  
mikrohullámú  
radar

Virággal a  
Nobel-díjért

VASKUT  
története

HARGITTAI ISTVÁN  
HARGITTAI MAGDOLNA  
**Londoni séták  
a tudomány körül**



**Könyvismertető:**  
Londoni séták a  
tudomány körül



**Portrék:**  
Gyimes család,  
MAE elnökök



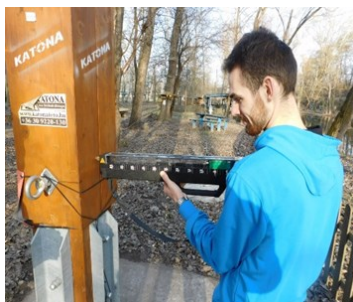
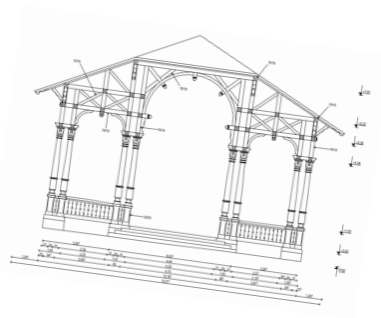
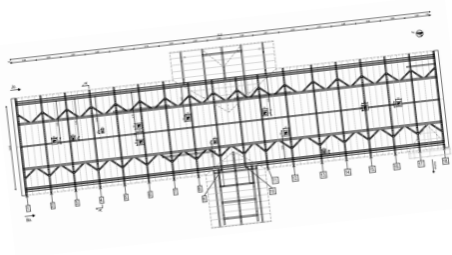
**2022/I.  
lapszám**



## Élen a faanyagvédelemben: Fadoktor Mérnöki Iroda Kft.

### Cégünk tevékenységei:

- beépített faszerkezetek szilárdságbecslése roncsolásmentes vizsgálati módszerekkel
- komplex faanyagvédelmi szakértés, felmérés és faanyagvédelmi szakvélemény összeállítása
- szaktanácsadás faépítmények felújítására
- építészeti tervdokumentáció készítése
- faanyagvédelmi áztató berendezések forgalmazása és beüzemelése



További információkért, kérjük, látogassa meg honlapunkat: [www.fadoktor-mi.hu](http://www.fadoktor-mi.hu)

**Katona Bence György**

MSc. Okl. Faipari mérnök,  
Faanyagvédelmi vezető

E-mail: [bence.katona@fadoktor-mi.hu](mailto:bence.katona@fadoktor-mi.hu)  
Tel.: +3630/114-8088

**Major Dávid**

Okl. építész  
Tervezésvezető

E-mail: [david.major@fadoktor-mi.hu](mailto:david.major@fadoktor-mi.hu)  
Tel.: +3630/114-8088

**Dr. Németh László**

Okl. faipari mérnök, faanyagvédelmi szakértő,  
műemléki épületdiagnosztika szakértő

E-mail: [info@fadoktor-mi.hu](mailto:info@fadoktor-mi.hu)  
Tel.: +3630/2167-692

## Mélyen tisztelt Olvasóim!



Csodálatos nyelv az anyanyelvünk, a magyar! Gondolom, minden ország, földrajzi terület lakója így van a sajátjával. Ha egy kicsit „bogarászunk” a könyvek között vagy az INTERNET-en, akkor még ki is léphetünk az általánosságokból, a közhelyszerű megfogalmazásokból. A Webster Enciklopédia<sup>1</sup> szerint 200 feletti azon használatos nyelvek száma, amelyeket legalább 1 millió lakos rendszeresen használ. „A nyelvek világtatlasza” (magyar kiadás 2006-ban) már részletesebb földrajzi, területi eloszlást is közöl<sup>2</sup>. Bárhol is élünk e Földön, hiszünk valamiben, vagy tudunk valamit. A „hit” kifejezést feltételesen és durván a „vallással” azonosítva a hozzáértők 44 világvallást különböztetnek meg<sup>3</sup>. Tudva azt, hogy a Világbank hozzávetőlegesen 200 ország gazdasági mutatóit jegyzi<sup>4</sup>, az egyszerűség kedvéért azt mondhatjuk, hogy annyi élő nyelv van, ahány ország és minden 4-5 országra esik egy-egy világvallás. No ezek azonban korán sem esnek földrajzi átfedésbe! Térjünk azonban vissza a saját anyanyelvünkhöz, amely alkalmas arra, hogy minden élethelyzetet képes egyetlen, bölcs mondattal jellemezni. Most, amikor ezt a Jegyzetet írom (2022. február 16-án) az asztalomon levő „breviárium” ezt mutatja: „Amikor a szív siratja, amit elvesztett, a lélek örvend, amit meglelt”. A mondat első fele direktben kapcsolódhat a COVID pandémia folytatásához, hiszen hazánk már mintegy 45.000 polgárát gyászolja, míg eddig a lakosság mintegy 20%-a „találkozott” a vírussal. És miért örvend a lélek? Erre mindenki tud valamit mondani! A legbanálisabb az, hogy „olvashatom ezt az írást”, „kezembe vehetem e lapszámot”!

Felelős Szerkesztőként sok olyan mást is mondhatok, amit e lapszám már külső megjelenésében is tükröz. Csupán rá kell pillantani a címlapra, avagy le kell tölteni egy, az adott olvasó számára érdekes, egyéni információt hordozó cikket. De lépünk tovább, menjünk fel a megújult honlapunkra és turkáljunk az 1991-ben először megjelent lapszám cikkei között. Megtehetjük könnyen, egyszerűen. Sok-sok kérdésre gyorsan választ kaphatunk. Minden lapszámot digitalizáltunk és a legkülönbözőbb szempontrendszer szerint feldolgoztuk. Hosszan sorolhatnám mindazt, ami eddig megvalósult és amit tervezünk elkészíteni. Hogyan tehetük meg ezt? A lap átkerült a Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft. Mérnöki Divíziójának előkészítésébe a MAROVISZ-szal kötött együttműködési szerződés egyik elemeként. Az intézményen belüli szerteágazó ismerethalmaz pedig gyorsan integrálható lett úgy, ahogyan erről most meggyőződhet a Tisztelt Olvasó is. Viszont az is igaz, hogy a teher és a felelősség megosztása nem egyenletes, de akik ebben a közös teherviselésben lényeges többlet vettek magukra, azok nevei is megörökítésre került a következő generációk számára. E listában új, a Kárpát medence magyar (is) lakta országait képviselő kiváló, – a nemzetközi szakmai életben méltán szereplő – szakemberek neveit is olvashatjuk.

**Tóth László**  
felelős szerkesztő

<sup>1</sup> Webster's New Encyclopedic Dictionary. New Revised Edition, 1996. Könneman, Cologne, Germany

<sup>2</sup> Bernard Comrie, Stephen Matthews, Maria Polinsky: A nyelvek világtatlasza. Kossuth Kiadó.2006.

<sup>3</sup> Michael Keene: Világvallások. Magyar Könyvklub. 2003

<sup>4</sup> <https://www.worldbank.org/en/home> (Letöltés dátuma: 2022. február 16.)

# ANYAGVIZSGÁLÓK LAPJA

A Magyar Roncsolásmentes Vizsgálati Szövetség  
(MAROVISZ) kiadványa,

az ország vezető szaklapja.  
Alapítva: 1991-ben.

Országos, iparágakat átfogó, szakmai folyóirat a minőségért  
és biztonságunkért.

## Kiadó:

Magyar Roncsolásmentes Vizsgálati Szövetség  
cím: 1191 Budapest, Üllői út 206., B. ép. II. lh.  
tel.: +36 1 / 278 0632;  
fax: +36 1 / 278 0633;  
e-mail: [marovisz@marovisz.hu](mailto:marovisz@marovisz.hu)

## Szerkesztőség:

felelős szerkesztő: Dr. Tóth László  
tel.: +36 30 932 2690  
e-mail.: [info@anyagvizsgaloklapja.hu](mailto:info@anyagvizsgaloklapja.hu)  
[avilap.szerk@gmail.com](mailto:avilap.szerk@gmail.com)

## Szerkesztőbizottsági tagok:

Dr. Tóth László (felelős szerkesztő)  
Dr. Trampus Péter (felelős kiadó)  
Dr. Dudra Judit (főszerkesztő)  
Erdei Réka (digitális szerkesztő)

## Hazai szerkesztőbizottsági tagok:

Dr. Divós Ferenc  
Kecskés Péter  
Dr. Koncsik Zsuzsanna  
Lutor Attila  
Dr. Mankovits Tamás  
Skopál István  
Szűcs Pál  
Zsoldos Zsuzsanna

## Nemzetközi szerkesztőbizottsági tagok:

Dr. Bitay Enikő (Románia)  
Dr. Djorde DOBI (Szerbia)  
Dr. Dusza János (Szlovákia)  
Dr. Kristián Máthás (Cseh Köztársaság)  
Dr. Major Zoltán (Ausztria)

## Az elektronikus folyóirat szerver háttérét biztosítja:

Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft.

## Az Anyagvizsgálók Lapja honlapja:

[www.anyagvizsgaloklapja.hu](http://www.anyagvizsgaloklapja.hu)



**TARTALOMJEGYZÉK****RONCSOLÁSMENTES ANYAGVIZSGÁLAT – NON-DESTRUCTIVE TESTING**

|                                                                                                                                                                                                                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>DIVÓS Ferenc, ÖRY Botond Imre</b><br>Műszerrel támogatott faszerkezet vizsgálatok<br>Instrument-supported wooden structure analysis                                                                                                                                                     | 5  |
| <b>BUZA Ágnes Kinga, DIVÓS Ferenc</b><br>Akusztikus és elektromos impedancia tomográfiás vizsgálatok lakott környezetben élő fákon – törési biztonság megítélése<br>Acoustic and electric impedance tomography examinations on trees in urban areas – Safety calculation for trunk failure | 14 |
| <b>DIVÓS Ferenc, BUZA Ágnes Kinga</b><br>Húzóvizsgálat és dinamikus vizsgálat – a gyökérrendszer és a törzs biztonságosságának vizsgálata<br>Static and dynamic pulling tests – examining the safety of the trunk and root system                                                          | 21 |
| <b>BEJÓ László, SISMÁNDY-KISS Ferenc, DIVÓS Ferenc</b><br>A fűrészáru szilárdsági osztályozásának nemzetközi gyakorlata és hazai kutatási eredményei<br>International practice and Hungarian research regarding structural lumber grading                                                  | 27 |
| <b>BEJÓ László, JAKÓCS Mihály, DIVÓS Ferenc</b><br>A sűrűség és nedvességtartalom egyidejű mérése mikrohullámú radar alkalmazásával<br>Measuring wood density and moisture content simultaneously using microwaves                                                                         | 38 |
| <b>BEJÓ László, Ahmed Altaher OMER, DIVÓS Ferenc</b><br>A fa nedvességtartalmának mérése NIR lézer diódák alkalmazásával<br>Wood Moisture Content Determination Using NIR laser                                                                                                            | 43 |

**PORTRÉ – PORTRAIT**

|                                                                                                                                                                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>TÓTH László, ERDEI Réka</b><br>A Magyar Anyagvizsgálók Egyesülete (MAE) elnökeinek portréja – Czakó Adolf (1927-1930)<br>Presidents of the Hungarian Association for Material Testing – Adolf Czakó (1927-1930) | 47 |
| <b>SKOPÁL István</b><br>Beszélgetés a Gyimes családdal<br>Interview with the Gyimes family                                                                                                                         | 50 |

**HÍREK – NEWS**

|                                                                                                                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>TÓTH László, TRAMPUS Péter</b><br>Állásfoglalás<br>Declaration                                                                                                                               | 52 |
| <b>HARGITTAI István</b><br>Virággal a Nobel-díjért<br>With flowers, for the Nobel Prize                                                                                                         | 53 |
| <b>BIRÓ Gyöngyvér</b><br>Kiváló Kutatási Infrastruktúra címetek adományozott az Innovációs Hivatal<br>Excellent Research Infrastructure Awards were granted by the Innovation Office            | 54 |
| <b>TÓTH László</b><br>Könyvismertetés: Hargittai István, Hargittai Magdolna: Londoni séták a tudomány körül<br>Book review: I. Hargittai, M. Hargittai: Science in London. A Guide to Memorials | 55 |
| <b>SKOPÁL István</b><br>Szabványügyi tájékoztató – 2021<br>Standardisation information – 2021                                                                                                   | 57 |

**BEMUTATJUK... – INTRODUCING...**

|                                                                                                                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>FEHÉRVÁRI Attila</b><br>A Vasipari Kutató Intézet 70 éves-jubileuma (1952-2022) – I. rész<br>70th anniversary (1952-2022) of the Research Institute for Ferrous Metals – Part I. | 60 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

**NEKROLÓG – OBITUARY**

|                                                                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>LUKÁCS János</b><br>Im memoriam Dr. Sárvári József (1939-2021)<br>Im memoriam Dr. József Sárvári (1939-2021)        | 67 |
| <b>TÓTH László</b><br>Prof. Dr.-Ing. habil Gerhard Pusch (1940-2021)<br>Prof. Dr.-Ing. habil Gerhard Pusch (1940-2021) | 69 |



## Műszerrel támogatott faszerkezet vizsgálatok

Instrument-supported wooden structure analysis

Divós Ferenc<sup>a</sup>, Óry Botond Imre<sup>b</sup>

<sup>a</sup>ügyvezető, Fakopp Enterprise Bt., divos@fakopp.com

<sup>b</sup>mérnök, Fakopp Enterprise Bt., botondory@fakopp.com

### Kulcsszavak

roncsolásmentes,  
hangsebesség,  
csavarállóság,  
ArborSonic,  
szilárdságbecslés

### Keywords

nondestructive,  
sound velocity,  
screw withdrawal,  
ArborSonic,  
strength estimation

### Absztrakt

A roncsolásmentes faanyagvizsgáló módszerek mintegy 60 évvel ezelőtt jelentek meg. A módszerek és eszközök fejlődésével ma már a roncsolásmentes faanyagvizsgálat az erdészet, parkfenntartás, faipar, építőipar és a műemlékvédelem területén is megjelent. Meglévő faszerkezetek vizsgálatánál a hagyományos vizuális vizsgálatot szervesen egészítik ki a műszeres vizsgálatok. Elterjedten használnak hangsebesség, csavarállóság, szeg behatolás, fúrás ellenállás, elektromos ellenállás, illetve impedancia mérésen alapuló módszereket. Ezek a faanyag szilárdságának, hibahelyeinek feltárásában segítenek. Jelen cikk a módszerek bemutatásán túl néhány jellemző alkalmazást is ismertet.

### Abstract

Nondestructive wood testing methods appeared nearly 60 years ago. With the development of methods and devices nondestructive wood testing appeared in several different fields such as: forestry, park maintenance, wood industry, construction industry and heritage protection. In case of assessing existing structures, the regular visual examination is also greatly complemented with instrument testing. Methods based on sound velocity, screw withdrawal, nail penetration, boring resistance, electric resistivity, and impedance are used worldwide. These methods help to find faults and to estimate strength in wood material. Aside from the methods we'll present a few common applications as well.

## 1. Bevezetés

Az épületek, szerkezetek időszakos felülvizsgálata kötelező Magyarországon és Európában egyaránt. Az épületek legtöbb esetben 50 éves időtartamra készülnek, ezen időszak letelte után az épület vagy szerkezet üzemeltetője köteles felülvizsgálatokat, indokolt esetben felújításokat elrendelni. A szerkezetek felülvizsgálatának a faszerkezetek vizsgálata is részét képezi, melynek menetrendje a következő: vizuális vizsgálat, műszeres vizsgálat (ha indokolt), valamint szakvélemény elkészítése. A vizuális vizsgálatnak eredményeit három részre lehet osztani:

1. A szerkezet hibái olyan mértékűek, hogy azt javítani nem lehet (gombásodás, rovarkár stb. miatt), ebben az esetben a műszeres vizsgálat nem indokolt;
2. A szerkezetben vannak hibák, azonban ezek mértéke nem katasztrofális, javítás, felújítás kivitelezhető; ebben az esetben a műszeres vizsgálat is indokolt, hogy az esetleges rejtett hibákra fény derüljön és a szerkezet szilárdságát meg lehessen becsülni;
3. A szerkezet egyértelműen megfelelő állapotban van, nem utal semmi arra, hogy károk lennének, a műszeres vizsgálat nem indokolt.

A cikk további fejezeteiben azon műszeres vizsgálatok kerülnek ismertetésre, amelyek a 2. esetben roncsolásmentesen vagy kismértékű roncsolással alkalmazhatók hibakeresésre vagy szilárdságbecslésre.

A faszerkezetek időszakos felülvizsgálatának fontosságát – mind statikai, mind faanyagvédelmi szempontból nézve – jól jelzi, hogy a Mérnöki Kamara Erdőmérnöki, Faipari és Agrármérnöki tagozatán belül a Faipari Szakosztály többféle faanyagvédelmi és szerkezetvizsgálói tanúsítványhoz köti ezeknek a felülvizsgálatoknak elvégzését. Ezeknek feltétele a Faipari mérnöki (okleveles vagy MSc) végzettség. Ezen végzettségek hiányában a tanúsítványok megszerzhetők építésként, vegyészésként, szerkezet tervező mérnökként, biológusként, ha az illető a Soproni Egyetem Faipari Mérnöki és Kreatívipari Karán

az előírt tantárgyakat teljesíti és a megfelelő kreditszámot megszerzi, valamint igazoltan 5 év gyakorlattal rendelkezik a faanyagvédelem bármely területén. Szilárdságbecslési és hibakeresési szempontból is egyre több esetben rendelik el a műszeres felülvizsgálatokat, melyek megfelelő pontossággal, roncsolásmentesen adnak információt a meglévő faszerkezetekről. Ezeket az adatokat a későbbiekben statikusok, tartószerkezeti tervezők használják fel a szerkezet szilárdságának újraszámításához, illetve felújítási utasítások megadásához [1].

A roncsolásmentes és kis roncsolással járó műszeres vizsgálatok fontosságát bizonyítja továbbá, hogy a 2020 augusztusában megjelent „Meglévő Faszerkezetek Helyszíni Vizsgálata és Értékelési Szempontjai” Építésügyi Műszaki Irányelv [2] külön alfejezetekben tárgyalja ezen eszközök szerepét, melyekkel a faanyag szilárdságával közvetlenül összefüggő tulajdonságait lehet megállapítani és ebből a szilárdságát kellő pontossággal becsülni. Az Építésügyi Műszaki Irányelv [1] a következő műszeres vizsgálatokra tér ki: csavarállóság vizsgálat, hangsebesség vizsgálat, sűrűségbecslő vizsgálat, nedvességmérés, fúrásos szilárdságbecslés. A roncsolásmentes műszeres faanyagvizsgáló eszközök szilárdságbecslésen túl még hibakeresésre is használhatók, a következő két fejezetben az erre alkalmas eszközöket mutatjuk be.

## 2. Szilárdságbecslő vizsgálatok

### 2.1 Hangsebesség mérés rostirányban

A kopogtatással történő vizsgálatoknak nagy hagyománya van, gondoljunk csak a harkályra, aki így keresi meg a rovarokat a fában, vagy az orvosra, aki többek között kopogtatással vizsgál.

A kopogtatással keltett hang sebessége faanyag minőségét jelző paraméter. A dinamikus rugalmassági moduluszt az anyag sűrűsége és a hangsebesség négyzete ( $E = \rho \cdot V^2$ ) formulával határozhatjuk meg. A mérnöki gyakorlatban a statikus rugalmassági moduluszt használjuk az anyagok

tartós terhekkel szembeni merevségének meghatározására, ami faanyagok esetén 10%-kal kevesebb, mint a dinamikus mért modulusz. Ennek oka, hogy a statikus mérés során a terhelés miatt kialakuló deformáció nemcsak a rugalmas alakváltozás következménye, hanem reológiai eredetű is. A dinamikus mérés viszont olyan gyorsan történik, hogy reológiai eredetű deformáció nem jelentkezik. Mivel a rugalmassági modulusz szilárdság jelző (MSZ EN 338 [3]), ezért a helyszínen is könnyen meghatározható hangsebesség fontos szerepet tölt be a gerendák pillanatnyi rugalmassági moduluszának és hajlító szilárdságának meghatározásában. Az 1. ábra egy hangsebesség mérést mutat tetőszerkezeti gerendán, ahol kettő tűskével felszerelt érzékelőt szúrunk a fába úgy, hogy a tűskék egymás fele néznek és a felületre  $45 \pm 15^\circ$ -os szögben kerülnek beütésre. A beütés mélysége a faanyag sűrűségétől függ: puha fába mélyebben, kemény fába kevésbé kell mélyre ütni. A tűske feladata az érzékelő akusztikus csatolása a fához. Az akusztikus csatolást egyszerűen ellenőrizhetjük: ha az érzékelő tűske a tengelyében – nyújtott ujjakkal – nem elfordítható, a csatolás megfelelő. Az érzékelőket gumikalapáccsal ütjük a fába. A hangot 100 g-os fém kalapáccsal, koppintással keltjük. Ekkor hagyjuk, hogy a kalapács az érzékelőről visszapattanjon. A mért idő mikroszekundumban azonnal megjelenik a (magyar fejlesztésű) műszer kijelzőjén. A hangsebességet úgy kapjuk meg, hogy az érzékelők közötti távolságot a mért idővel elosztjuk. Száraz faanyagban a rostirányú hangsebesség 4000-7000 m/s a fafaj és a termőhely függvényében, átlagértéke 5000 m/s körüli. A magas hangsebesség miatt az időmérő műszer idő felbontása 1  $\mu$ s. A rostirányú hangsebességet a farostok hossza és a mikrofibrilla szög befolyásolja. Hosszabb rostok és kisebb mikrofibrilla szög magasabb hangsebességet eredményeznek. A nedvességtartalom növekedésével a hangsebesség csökken, egészen a rosttelítettségig (kb. 25-30 % fafajtól függően), felette alig változik.

A pontos hangsebesség mérés érdekében a készülék leírásában szereplő időkorrekciót kell alkalmazni. Jellemzően néhány mikroszekundumot ki kell vonni a mért időből, mivel a hang az érzékelő tűskéjében is terjed, amit le kell számítani.

A rugalmassági modulusz (E) meghatározásához a hangsebességen túl a faanyag sűrűségét is ismerni kell.



1. ábra: Hangsebesség mérés tetőszerkezetben

Több megoldás kínálkozik:

- a fafajra vonatkozó nominális sűrűség adatokat vesz-  
szük figyelembe,
- csavarállóság vizsgálattal becsüljük a sűrűséget,
- szeg behatolás mélységgel becsüljük a sűrűséget.

Abban az esetben, ha nem áll módunkban műszeres sűrűség becslést végrehajtani, akkor az 1. táblázatban lévő fa sűrűségeket vehetjük figyelembe.

1. táblázat: Jellemző fa sűrűségek

| Fafaj      | sűrűség [kg/m <sup>3</sup> ] |
|------------|------------------------------|
| lucfenyő   | 430                          |
| vörösfenyő | 550                          |
| borovi     | 550                          |
| hárs       | 490                          |
| tölgy      | 720                          |
| bükk       | 680                          |
| akác       | 740                          |

Megjegyezzük, hogy a tényleges sűrűség adatok a termőhelyi adottságok miatt jelentősen, akár 100 kg/m<sup>3</sup>-rel is eltérhetnek a megadott adatoktól.

## 2.2 Csavarállóság mérése

A csavarállóság az az erő, mely egy csavar faanyagból való kitépéséhez szükséges. Az MSZ 12849:1980-as szabvány [4] írja le a szeg- és csavarállósági vizsgálatokat, de ez anyagvizsgáló gépet követel meg, így szerkezetek helyszíni vizsgálatára alkalmatlan. A helyszíni vizsgálatra kifejlesztettek egy speciális műszert, ennek tesztelése során meghatároztak egy 5%-os kvantilishez tartozó egyenest. Ennek az egyenesnek az egyenletét felhasználva, annak a valószínűsége, hogy kisebb hajlítószilárdságot határozzunk meg a ténylegesnél, 5 %. A hajlítószilárdság becslő egyenesének egyenlete a következő:

$$\sigma_{\text{hajlító}} = 36,5 F_{\text{csavar}} - 5,3, \quad (1)$$

ahol:

$\sigma_{\text{hajlító}}$  – a hajlítószilárdság [MPa],

$F_{\text{csavar}}$  – a facsavar kitépéséhez szükséges erő [kN].

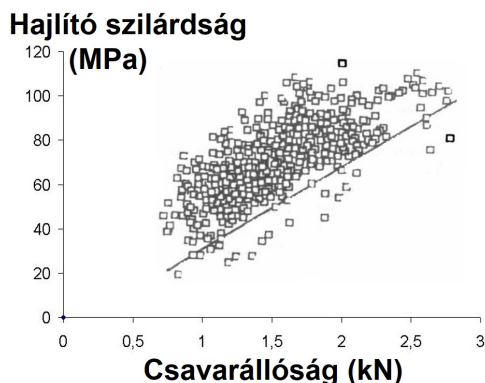
A fenti formula csak 4 mm átmérőjű és 18 mm menethosszú facsavarral végzett mérések értékelésére alkalmas. Az ettől eltérő csavarok esetén a mért értéket korrigálni kell:

$$F_{\text{csavar}} = F_{\text{mért}} \cdot \frac{4}{D} \cdot \frac{18}{L}, \quad (2)$$

ahol D a csavar átmérője mm-ben, L pedig a menethossz. A csavarállóság és a hajlítószilárdság között talált összefüggést a 2. ábra szemlélteti.

Fenyő faanyag vizsgálatára a  $\varnothing 4$  mm-es csavar kiválóan megfelel. Nyárfa esetén  $\varnothing 5$  mm, akác és tölgyfa esetén a  $\varnothing 3$  mm lehet indokolt. A csavarok leggyakoribb meghibásodása a csavarfej kopása a behajtások miatt, így jellemzően 100-200 alkalommal használható egy-egy csavar. Ha a csavarfej kopása nem következne be, akkor a csavar kopása miatt az átmérője csökken le.





2. ábra: A csavarállóság és a hajlítószilárdság közti kapcsolat

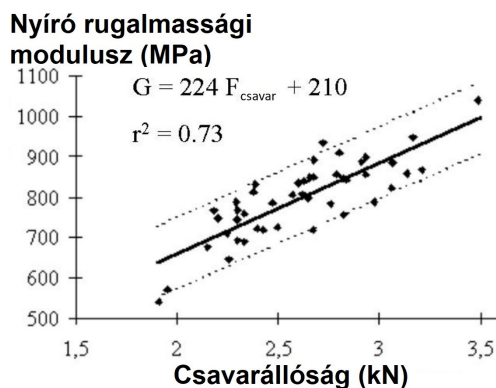
A helyszíni vizsgálatokhoz kifejlesztett műszer a 3. ábrán látható. A műszer beállítható úgy, hogy a kijelzőn mindig a kihúzás során ébredő legnagyobb erőt mutassa. A csavarorsót manuálisan működtetve tudjuk a speciális kialakítású csavart (4. ábra) kihúzni. Működés közben a beépített Wheatstone-hídhoz kapcsolt nyúlásmérő bélyegek érzékelik az erőt. A berendezést 4 db ceruza elem működteti. A vizsgálatot ághely és repedés környezetében nem szabad végezni, a vizsgált gerendára jellemző pontot vizuálisan kell megkeresni és ott elvégezni a mérést. Ha egy homogén fán végzünk csavarállóság vizsgálatot, akkor a mért érték relatív szórása  $\pm 7\%$ . A mérést megismételhetjük, ha a gyorsnövekedésű (4 mm-t meghaladó évgyűrű) fa vizsgált felületére merőlegesen az évgyűrűk. Ekkor lehetséges, hogy csak késői pásztába csavarjuk a facsavart. Ez az eset szerencsére nagyon ritka.

Mivel a csavarnak csak az első 18 mm-es szakasza dolgozik, ezért lehetőség kínálkozik arra, hogy mélységi információt szerezzünk a gerendáról. A felszínhez közeli részek esetenként bontottak (korhadt, egyenetlen, sérült) lehetnek.

A csavarállóság alkalmas a faanyag sűrűségének  $\pm 70 \text{ kg/m}^3$  szórással történő becslésére is a következő formula segítségével:

$$\rho = 0,24 \cdot F_{\text{csavar}} + 122, \quad (3)$$

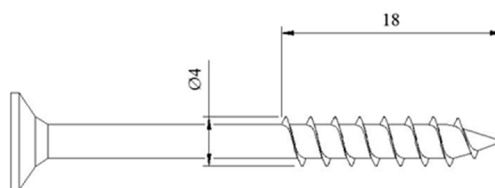
ahol  $\rho$  a faanyag sűrűsége [ $\text{kg/m}^3$ ],  $F_{\text{csavar}}$  a csavarállóság [kN]. A csavar kitépésekor a meghatározó igénybevétel a nyírás. Éppen ezért jó összefüggést tapasztaltunk a nyíró rugalmassági modulusz és a csavarállóság között.



5. ábra: Összefüggés a csavarállóság és a nyíró rugalmassági modulusz között.



3. ábra: Csavarállóság vizsgáló berendezés



4. ábra: A menethosszban módosított facsavar

Ezt mutatja be az 5. ábra.

A sűrűség a következő képlettel becsülhető:

$$\rho = 0,2 \cdot F_{\text{csavar}} + 110,28, \quad (4)$$

### 2.3 Szeg behatolások vizsgálat

A szeg behatolások módszert eredetileg fa telefonoszlopok gyors vizsgálatára fejlesztették ki Svájcban, az erre használható eszközt jelenleg Japánban gyártják. Egy felhúzott rugó állandó energiával lök a fába egy szeget. A behatolási mélység a faanyag minőségétől, sűrűségétől függ. A 6. ábrán látható eszközt Pilodyn-nak nevezték el.

A Pilodyn műszer segítségével a sűrűség becsülhető. A műszerről leolvasható adat a benyomódási mélység mm-ben 0,5 mm pontossággal. A kapott mélységekből a következő (tapasztalati) képlettel számolva adható meg a sűrűség ( $\rho$ ):

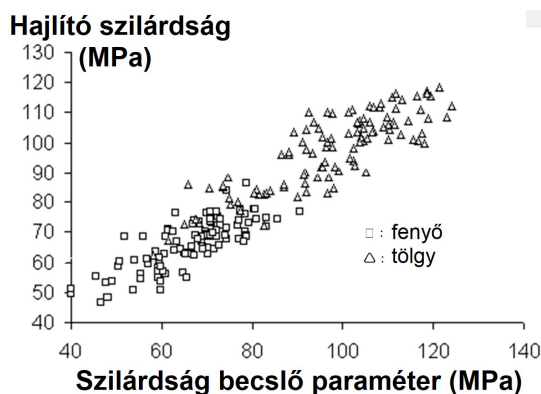
$$\rho = -45,5 \cdot b + 1073, \quad (5)$$

ahol  $b$  a szeg behatolási mélysége [mm].

Az így becsült sűrűség szórása  $\pm 80 \text{ kg/m}^3$ . A vizsgálat gyors, mindössze néhány másodpercet vesz igénybe.



6. ábra: A Pilodyn használat közben, felhúzott állapotban



7. ábra: A hajlítószilárdság becslő értéke és a tényleges hajlítószilárdság kapcsolata

## 2.4 A csavarállóság és a hangsebesség mérés együttes használata

Mind a csavarállóság, mind a hangsebesség külön-külön is alkalmas a faanyag minőségének megítélésére. Mivel egymástól független paraméterek, ezért együttes használatukkal javítható a rugalmassági modulusz és a szilárdság becslés, csökkenthetők a szórások. A rugalmassági modulusz kipróbált és elfogadott szilárdság becslő mennyiség. Ezért az  $E = \rho \cdot V^2$  formula analógiájára szerkesztettük meg a következő szilárdság becslő függvényt, ami a sűrűség helyett a csavarállóságot tartalmazza:

fenyőkre:

$$\sigma_{\text{becsült}} = 0,809 \cdot F_{\text{csavar}} \cdot V^2 + 27 \quad (6)$$

lombos fára:

$$\sigma_{\text{becsült}} = 1,258 \cdot F_{\text{csavar}} \cdot V^2 + 37 \quad (7)$$

ahol:

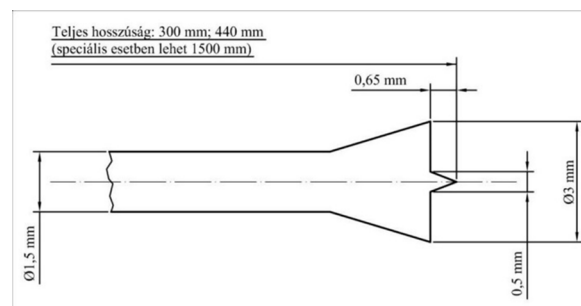
$\sigma_{\text{becsült}}$  – a hajlítószilárdság becslő értéke [MPa],

$F_{\text{csavar}}$  – csavarállósági erő [kN],

$V$  – hangsebesség [km/s].



9. ábra: Resistograph fúrógép munka közben



8. ábra: A Resistograph fúrójának speciális hegye

A két paraméterrel becsült hajlítószilárdság  $\pm 9$  MPa hibával becsüli a tényleges, anyagvizsgáló gépen meghatározott szilárdságot (7. ábra).

Az eddig bemutatott módszerekkel lehetőség nyílik faszerkezetek gerendáinak sűrűsége, rugalmassági modulusza és a hajlítószilárdság kellő pontosságú becslésére. Azonban ezek az értékek csak akkor alkalmazhatók a statikai számításokban, ha bizonyítható, hogy a gerendában nincs veszélyes hiba. A következőkben a hibahely feltárásával foglalkozunk.

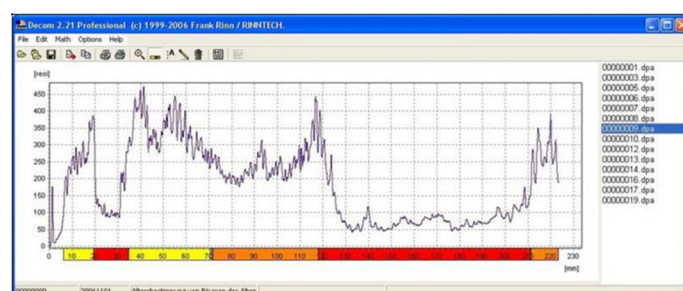
## 3. Hibahely feltárására irányuló vizsgálatok

### 3.1 Fúrásos vizsgálat

A Resistograph, illetve az IML-rezi (Instrumenta Mechanik Labor GmbH) berendezések fúrás alapuló mérőműszerek faanyagok belső vizsgálatára. Állandó előtolás mellett mérik és regisztrálják a fúrás közben felvett teljesítményt. A speciális fúrószár átmérője 3 mm, melynek geometriáját a 8. ábra szemlélteti. A legújabb fejlesztés akkumulátoros kialakítású és vezeték nélküli kapcsolatban van a nyomtató egységgel, mely azonnal, már a fúrás közben nyomtatja a mért eredményeket [5], lásd a 9. ábrát. A 3mm-es átmérő lehetővé teszi faszerkezetek és kötéseik vizsgálatát, azok észrevehető sérülése nélkül [6].

A nyomtató egy hosszú szalagon rajzolja meg a diagramot  $M=1:1$ , azaz valós méretarányban. A mérés nagyon gyors, 1-2 perc alatt elvégezhető. Mivel egyértelmű és könnyen értékelhető a kapott ábra, lehetővé teszi a szerkezeteknél az azonnali hiba felismerést és a hiba helyének meghatározását.

A fúrószár hossza alapesetben 30 vagy 44 cm, de rendelhető 1,5m hosszúságban is. A mérési pontosság is választható (1 mm és 0,1 mm). A PowerPack nevű egység akár 500 mérést is képes elmenteni, melyeket a mérés



10. ábra: A Resistograph egy mért eredménye számítógépes szerkesztőben [7]



utáni jegyzőkönyv elkészítésekor, a hozzátartozó szoftverrel kielemezhetünk a számítógépen, 10. ábra [5]. A vízszintes tengelyen a távolság, függőleges tengelyen a felvett teljesítmény látható. Ahol a fúró kis teljesítményfelvétellel haladt előre, ott a faanyag korhadt vagy üreges. Ezeket a szakaszokat pirossal jelölték. Az egészséges szakasz sárga.

### 3.2 Nedvességmérés

A nedvesség tartalom mérésére ma már többféle készülék áll rendelkezésre. A faanyag hőmérsékletének kiválasztása és a fafaj beállítása után elektromos ellenállást vagy dielektromos állandót mérnek. Egyes eszközökkel a faanyag nedvességtartalmán kívül a léghőmérsékletet, a légnedvességet is lehet mérni. Léteznek olyan kiegészítők, ami a falazat nedvesség mérésére alkalmas. Az elektromos ellenálláson alapuló eszköz esetén két elektródát kell a fába beütni, a dielektromos állandó mérésén alapuló eszközöket csak a fa felületére kell szorítani.

A mérnöki gyakorlatban a nedvességtartalom megadása nettó nedvességtartalmi formában történik. A nedvességtartalom ISO 13061-1:2014 szabvány [8] szerinti meghatározása a következő:

$$u[\%] = \frac{m_n - m_0}{m_0} \cdot 100, \quad (8)$$

ahol:

$m_n$  – a nedves faanyag tömege [kg],

$m_0$  – az abszolút száraz faanyag tömege [kg].

Ez azt jelenti, hogy a faanyagban lévő víz tömegét viszonyítjuk a száraz faanyag tömegéhez. Alap esetben ugyanezt az értéket írják ki a nedvességmérők is.

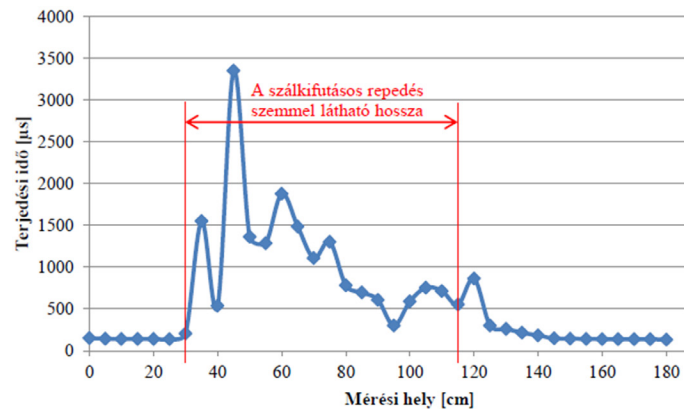
A faszervezet vizsgálatban a nedvességtartalom ismerete azért fontos, hogy a gombák és rovarok „működésének” feltételeit ellenőrizni tudjuk. A száraz faanyagban korlátozott számú kártevője van, míg a nedves faanyagban gyorsan megjelennek a gomba és rovar károsítók.

### 3.3 Hangsebesség mérés rostra merőlegesen

A rostra merőlegesen elvégzett hangsebesség mérés minden olyan hibát képes kimutatni, ami megváltoztatja a hang terjedési útvonalát. Ilyen hiba lehet a belső üreg vagy korhadás, illetve a hosszú repedés. Ezt a technikát már több, mint 20 éve sikerrel alkalmazzák élő fák rejtett korhadásainak feltárásában. Példánkban szálkifutásos repedés esetét látjuk a 11. ábrán.

Az ép fában a rostra merőleges hangsebesség 1400-2000 m/s. Ez jelentősen lecsökken a rostkifutásos repedés környezetében és ezért nő meg a mért terjedési idő.

Egy másik alkalmazási lehetőség a repedésmélység meghatározása. A felszínre kifutó repedés mélységét mérhetjük vékony lemez behatolási mélységével, de a repedés útvonala nem mindig egyenes. Ilyen esetekben a tényleges repedésmélység helyett kisebb értéket kapunk. Ha megmérjük a terjedési időt két olyan, egymástól S távolságban levő pont között, amit egy repedés választ el



11. ábra: A rostra merőleges hangsebesség alakulása a hibahely környezetében

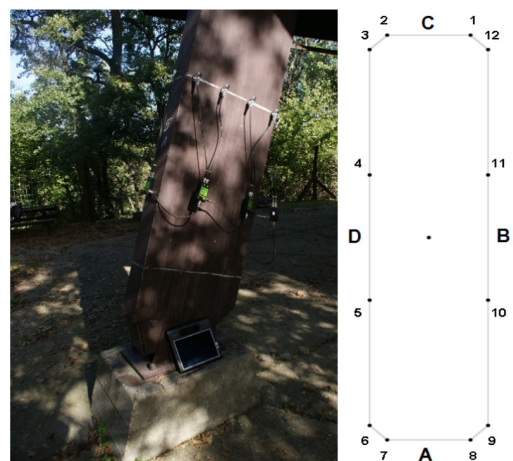
egymástól, akkor legyen a mért repedési idő:  $T_{rep}$  [mm]. Ismételjük meg a mérést azonos érzékelő távolság esetén, de repedés ne legyen közöttük. Jelöljük ezt az időt  $T_{ép}$ -nek [mm]. Ez esetben a repedésmélység ( $R$  [mm]) a következő formulával határozható meg:

$$R = \frac{s}{2} \cdot \sqrt{\left(\frac{T_{rep}}{T_{ép}}\right)^2 - 1}. \quad (9)$$

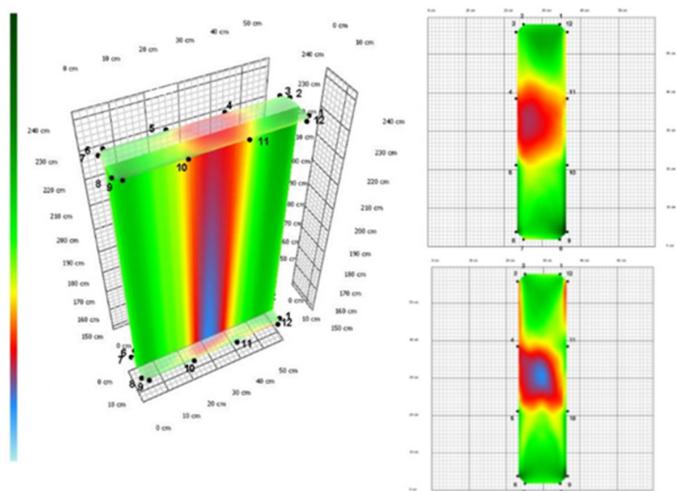
A fenti formulával rendszeresen nagyobb repedésmélységek jönnek ki, mint amit a lemez behatolási módszerrel kapunk.

### 3.4 Akusztikus tomográfia

A rostra merőleges mérés során képesek vagyunk a hibahelyek felderítésére. Ez akkor működik jól, ha az érzékelők között a hang a hiba miatt kerülő úton terjed. Ha kívülről nem látható hibát szeretnénk felderíteni, akkor érdemes 2-nél több érzékelőt használni. Ezt a technikát akusztikus tomográfiának nevezzük és sikerrel alkalmazzák a városi fák vizsgálata során. Faszervezetek esetében a nagy keresztmetszetű faanyagok, a rétegelt ragasztott tartók vizsgálatánál van jelentősége. Egy ilyen példát látnak a 12. ábrán 12 db érzékelő elhelyezésével a rostok-merőleges síkban.



12. ábra: Kílótorony lábának akusztikus tomográfus vizsgálata. A 12 érzékelő elhelyezkedését mutatja a jobb oldali ábra

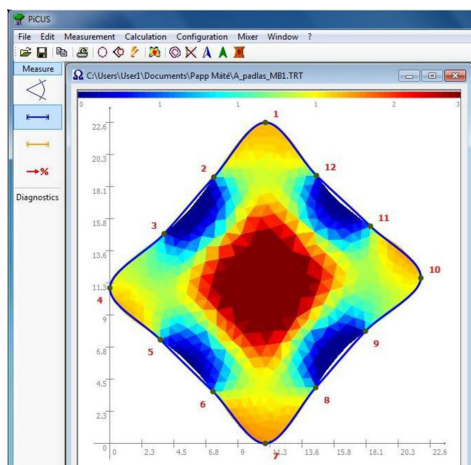


**13. ábra:** Akusztikus tomográfus vizsgálat eredménye. A jobb oldalon lévő 2 db 2 dimenziós képből származik a 3 dimenziós kép

Az érzékelőket végig kopogtatva az összes lehetséges útvonalon terjedési sebességet tudunk mérni,  $N = 12$  érzékelő esetében  $N(N-1)/2 = 66$  útvonalon. Ebből a 66 hangsebesség mérésből állítja vissza az ArborSonic 3D berendezés a vizsgált keresztmetszet hangsebesség-térképét. Ezt látjuk a 13. ábrán. Két darab 2 dimenziós képből a számítógép virtuális 3D-s képet alkot. A színek a faállapotot jelzik: a piros területek károsított területek, a kék pedig üreget jelöl. A hibahelyek kimutathatósága (azaz az eszköz érzékenysége) függ az érzékelők számától. 10 érzékelő esetén a keresztmetszet területének 5%-ánál kisebb hiba nem kimutatható. 16 érzékelőnél ez 3%-ra csökken. A mérés jelentősége, hogy rejtett korhadások is kideríthetők. A korhadások miatt a sérült keresztmetszetben a nyomófeszültség növekedése számolható. Az akusztikus tomográfia viszonylag időigényes, egy vizsgálatot 2 fő 20-30 perc alatt végez el.

### 3.5 Impedancia tomográf

Az elektromos impedancia tomográfia (angolból rövidítve EIT) egy vizsgálati módszer, melyet eredetileg a geofizika területére fejlesztettek ki. Ezt a módszert alkalmazó



**15. ábra:** Az impedancia tomográfus vizsgálat eredménye. A kék szín alacsony, a piros magas ellenállás értéket jelöl



**14. ábra:** Impedancia tomográfia, balra a központi egység, jobbra az elektródák láthatók

műszert fák tekintetében először élő fákra fejlesztették ki és napjainkban is alkalmazzák. A PiCUS: Treetonic® Tomográf az EIT működési elveit használva beépített faszerkezetek vizsgálatára is alkalmas. Az eszköz a faanyagban méri az elektromos ellenállást, mely olyan fizikai tulajdonság, ami a vizsgált faanyag szerkezetére vonatkozó információkat közöl. Az EIT tomográfiával kimutatható roncsolásmentesen a fa belső szerkezetének ellenállás eloszlása. Az alacsony ellenállás utalhat megnövekedett nedvességtartalomra, míg a magas ellenállás belső üregre vagy gyengébb, esetleg korhadt szerkezetre.

A mérés közben a vizsgálandó anyag felületére körben elektródákat (szegeket) ütnek a fába (14. ábra). Az áram két ilyen elektródán keresztül folyik be a mérendő testbe. A kapott elektromos potenciál függ az ellenállás síkbeli eloszlásától. A visszaállított elektromos ellenállás térképet látjuk a 15. ábrán.

### 4. Gyakorlati példák

A következőkben különböző gyakorlati alkalmazásait láthatjuk egyes roncsolásmentes műszaki vizsgálatoknak, képekkel bemutatva. A képeket a Fadoktor Mérnöki Iroda Kft. készítette és bocsátotta rendelkezésünkre.

Az első gyakorlati alkalmazást a Keszthely mellett található Festetics kilátónál (16. ábra) láthatjuk. A kilátón az első vizuális felülvizsgálat során a fő tartószerkezeteken



**16. ábra:** Festetics kilátó



kismértékű felületi hiba látható. A fő tartóoszlopok esetleges rejtett hibáinak feltárása érdekében ArborSonic 3D akusztikus tomográfia felvételek készültek. A felszerelt műszert használat közben a 17. és 18. ábrán láthatjuk.

A vizsgált oszlopokról készült tomogramokon látható, hogy a felületi hibákon túl (19. ábra, bal) a faanyag belsőbb részein komoly korhadások és üregek bújhatnak meg (19. ábra, jobb). A zöld szín az egészséges faanyagot, a kék szín az üreget jelöli, míg a vörös a korhadt részeket.



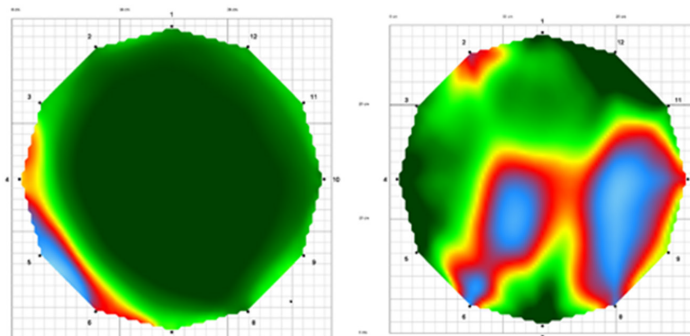
17. ábra: ArborSonic 3D készülék felszerelése az egyik főoszlop lábára



18. ábra: ArborSonic 3D műszer felszerelése az egyik főoszlopra



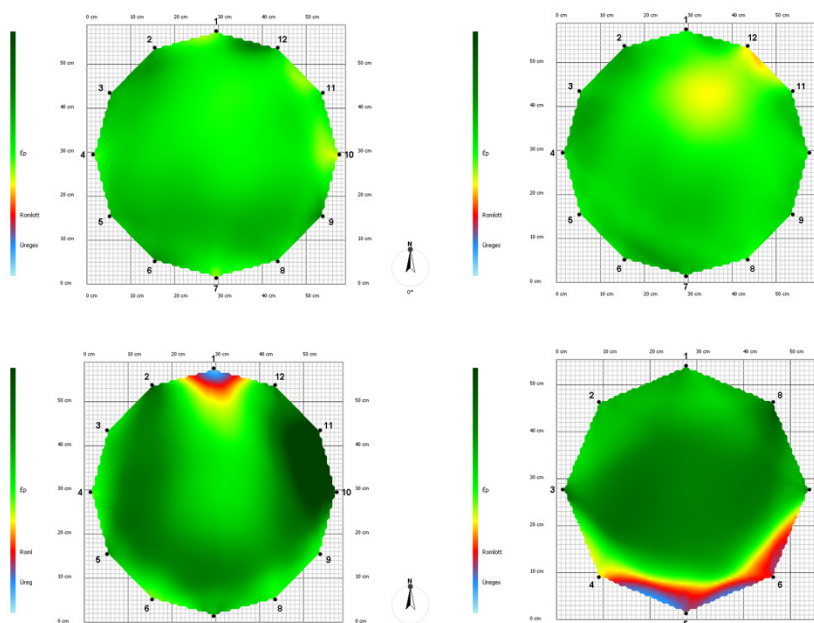
20. ábra: Vizsgált vízimalom kerekei



19. ábra: ArborSonic 3D műszerrel készült tomogramok

A következő gyakorlati példa egy vízimalom (20. ábra) kerekeinek akusztikus tomográfia történő vizsgálatát mutatja be. A mérést a kerekek tengelyén hajtották végre (lásd 21. ábra). Az eredményeket a 22. ábra foglalja össze, melyen jól látszik, hogy ebben az esetben mindössze felületközelbeli hibák vannak a szerkezetben.

A következő alkalmazása a roncsolásmentes vizsgáló eszközöknek egy termál-fürdő faserkezetű tartóinál történt. A 23. és



22. ábra: A tengelyekről készült akusztikus tomogramok



21. ábra: A tengelyre helyezett ArborSonic 3D készülék





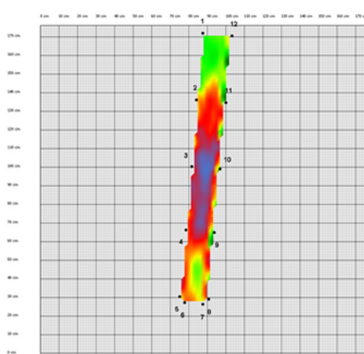
23. ábra: Szabad szemmel látható károsodás a termálfürdő főtartóin



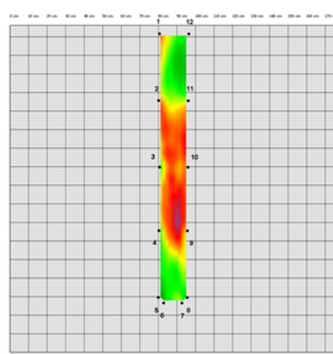
24. ábra: Mérés ArborSonic 3D-vel az egyik főtartón



25. ábra: Csomópont közeli korhadás



26. ábra: A termálfürdő főtartóiról készült felvételek

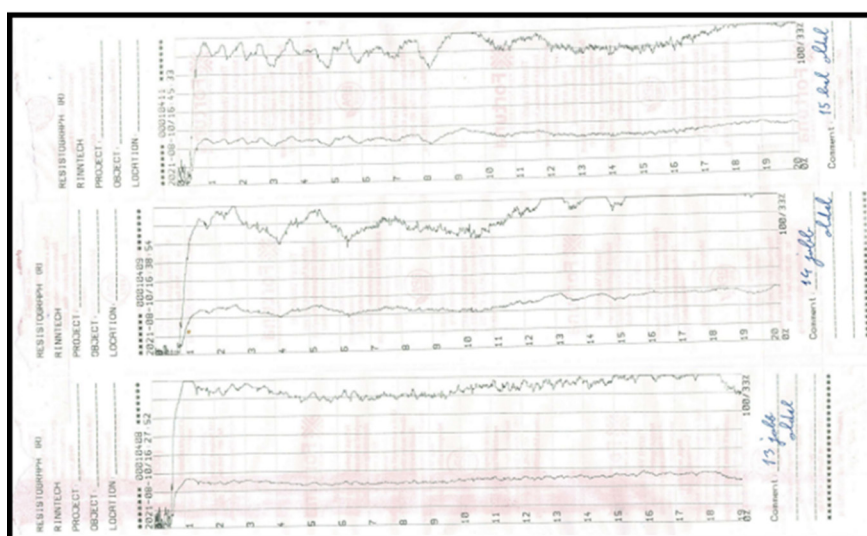


27. ábra: Mérés Resistograph®-al

24. képen jól láthatók már a vizuális felülvizsgálat során is, hogy komoly károsodások, korhadások vannak a szerkezetben. Azokról a főtartókról, melyekről vizuálisan nem egyértelműen megállapítható a károsodás mértéke, ArborSonic 3D-vel felvételek készültek (25. ábra). A főtartókról készült felvételeket a 26. ábra szemlélteti, melyen jól látható, hogy a vizuális felülvizsgálat során kivehető hibák a belső szerkezetben nem azonos mértékűek.

A 27. ábrán egy kültéri faszerkezet tartóoszlopait vizsgálták Resistograph® eszközzel, melynek mérési eredményei a 28. ábrán láthatók.

Az utolsó itt bemutatott gyakorlati alkalmazás a kalandparkok tartószerkezetein történő hibakereső vizsgálat. A kalandparkok megfelelő karbantartása és időszakos felülvizsgálata rendkívül fontos és Magyarországon az utóbbi egy évben ezt egyre komolyabban veszik. Sajnálatos módon ennek oka a korábban megtörtént tragikus balesetekre vezethető vissza. A kalandparkok tartószerkezetként

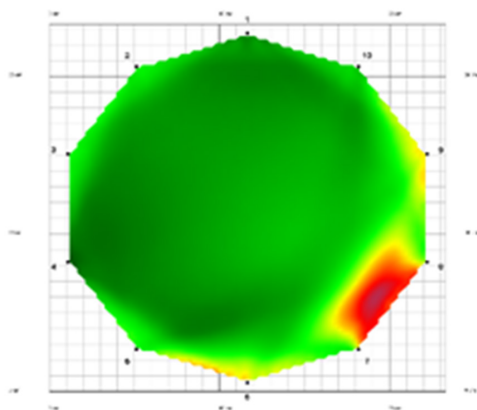


28. ábra: Resistograph® mérési eredményei



29. ábra: Talajbefogásnál történő akusztikus tomográfias mérés egy kalandparkban





30. ábra: Talajbefogásnál készült felvétel

működő fa elemei sok esetben egyszerű oszlopok, melyekről gyakran vizuális felmérés során nem vagy nehezen megállapítható a károsodás jelenléte, melynek következményei tragikusak lehetnek. Ezért is rendkívül fontos ezeknek a szerkezeteknek az időszakos felülvizsgálata műszeres vizsgálatokkal kiegészítve, mely rejtett hibákat is képes kimutatni. Az ilyen faoszlopok legkritikusabb részei a talajbefogásnál vannak. Egy ilyen példát mutat a 29. ábra, melynek mérési eredményeit a 30. ábra szemlélteti.

## 5. Összefoglalás

A faszerkezetek időszakos felülvizsgálata és felújítása egyre fontosabbá válik és az ezzel foglalkozó szakértőknek több különböző jellegű roncsolásmentes és kismértékű roncsolással járó műszeres vizsgálat áll manapság már rendelkezésére. Ezek közül többféle különböző eszköz került bemutatásra a korábbiakban, melyek most összefoglalva a 2. táblázatban áttekinthetők. A táblázat összegzi az eszközök előnyeit és hátrányait is.

Az eszközök mérései teljes mértékben reprodukálhatóak mindaddig, amíg az eszközök jól működnek. A reprodukálhatóságnak adott esetben az szabhat határt, hogy a mérések ismételt elvégzése már komolyabb roncsolást eredményezhetnek (például ugyanannak a keresztmetszetnek

ismételt átfúrása). A 2. táblázatban bemutatott eszközökkel kiegészítve, magabiztosabb és precízebb felmérések készülhetnek, melyekkel idős és nagy értékű faszerkezetek is megmenthetők, valamint személyi és vagyoni káresetek is megelőzhetők. A roncsolásmentes vizsgálatok és műszerek hazai tudományos bázisa a Soproni Egyetem Faipari Mérnöki és Kreatívipari Karán a Bódig József Roncsolásmentes Faanyagvizsgáló Laboratóriumában található, Dr. Bejő László vezetésével. Itt a legtöbb roncsolásmentes műszer és vizsgálati módszer megismerhető. A hazai roncsolásmentes faanyagvizsgálat fejlesztői és műszaki bázisát pedig a Fakopp Enterprise Kutató-fejlesztő és Kereskedelmi Bt. képviseli.

## Irodalomjegyzék

- [1] NÉMETH L., DIVÓS F., MAJOR B. (2015): Új technológiák bemutatása a faszerkezetek felülvizsgálata területén. [https://www.mmk.hu/tudastar/kamarai-tudastar/letolthetodokumentumok#erdomernoki-09-EFAT-2015\\_faszerkezetek-felulvizsgalata%20.pdf](https://www.mmk.hu/tudastar/kamarai-tudastar/letolthetodokumentumok#erdomernoki-09-EFAT-2015_faszerkezetek-felulvizsgalata%20.pdf) (2021.12.15)
- [2] ÉPÍTÉSÜGYI MŰSZAKI SZABÁLYOZÁSI BIZOTTSÁG (2020): Meglévő Faszerkezetek Helyszíni Vizsgálata és Értékelési Szempontjai – Faanyagvizsgáló szempontok
- [3] MSZ EN 338: 2003: Szerkezeti fa. Szilárdsági osztályok
- [4] MSZ 12849:1980 Faanyagok szeg- és csavarállóságának meghatározása
- [5] RINNTech (2013): RESISTOGRAPH® Series 4 Drill resistance measuring unit, brossúra, <http://www.rinntech.de/images/stories/PDF/>
- [6] RINN F. (1994): Baum- und Bauholz-Inspektionen mit RESISTOGRAPH, Anwendung, Auswertung, Meßprofile und ihre Interpretation, In: Proceedings NDE-Symposium, Sopron, Hungary, September 1994, 95-104. old.
- [7] ALMSTEAD (2013): A RESISTOGRAPH® műszer DECOM szoftverének képernyő képe, <http://www.almstead.com/images/resistograph2.jpg> (Megtekintve: 2021.12.15., 15:53)
- [8] ISO 13061-1:2014: Physical and mechanical properties of wood — Test methods for small clear wood specimens — Part 1: Determination of moisture content for physical and mechanical tests

2. táblázat: Műszeres vizsgálatok összehasonlítása

| Módszer                                    | Mire alkalmas         | Előnyök                                              | Hátrányok                                                                                   |
|--------------------------------------------|-----------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| Hangsebesség mérés rostirányban            | szilárdság becslése   | dinamikus rugalmassági modulusz meghatározható       | lokális fahibákra nem érzékeny                                                              |
| Csavarállóság vizsgálat                    | sűrűség becslés       | viszonylag gyors, mélyebb rétegek is vizsgálhatók    | viszonylag lassú, és kisméretű - 4mm átmérőjű hibahelyet hagy maga után                     |
| Szeg behatolásos vizsgálat (PyloDin)       | sűrűség becslés       | gyors                                                | csak a felületi sűrűséget adja meg                                                          |
| Fúrásos vizsgálat (Resistograph)           | hibahely felderítés   | viszonylag gyors, sűrűség becslésére is használható  | 3mm átmérőjű furatot hagy maga után és csak vonal mentén vizsgál                            |
| Nedvességmérés(ellenállás mérésen alapuló) | fa nedvesség mérése   | gyors, viszonylag pontos                             | a felület közeli réteg állapotát jelzi, mélységi információt nehézkes kinyerni              |
| Hangsebesség mérés rostra merőlegesen      | hibahely keresés      | nem látható hibák felderíthetők                      | az érzékelők helyének kiválasztására érzékeny                                               |
| Akusztikus tomográfia (ArborSonic)         | hibahelyek képképzése | képképzés, 2D és 3D-ben                              | a keresztmetszeti terület 5%-ánál kisebb hiba felderítése nem lehetséges 10 érzékelő esetén |
| Impedancia tomográfia                      | nedvesség térképezés  | képképző rendszer, mélységi nedvességeloszlást mutat | Lassú és drága műszer, a kalibráció fafaj és hőmérséklet függő                              |

## Akusztikus és elektromos impedancia tomográfias vizsgálatok lakott környezetben élő fákon – törési biztonság megítélése

Acoustic and electric impedance tomography examinations on trees in urban areas – Safety calculation for trunk failure

Buza Ágnes Kinga<sup>a</sup>, Divós Ferenc<sup>b</sup>

<sup>a</sup>termék manager, Fakopp Enterprise Bt., agnesbuza@fakopp.com

<sup>b</sup>ügyvezető, Fakopp Enterprise Bt., divos@fakopp.com

### Kulcsszavak

fa,  
faanyag,  
roncsolásmentes fa vizsgálat,  
akusztikus,  
tomográfia

### Keywords

tree,  
wood material,  
non-destructive,  
acoustic,  
tomography

### Absztrakt

Jelen cikk célja áttekintő képet adni, elsősorban a lakott környezetben lévő, fák akusztikus és elektromos impedanciás mérési lehetőségeiről, illetve az ún. biztonsági faktorról. Akusztikus úton a faanyag minősége, illetve épsége (vagy a korhadás területe) becsülhető. A tomográfiák nagy előnye, hogy képet is szolgáltatnak a vizsgált réteg(ek)ről. Az akusztikus méréseket faszervezeteken is sikerrel alkalmazzák. A tomográfia adaptálható betonra is.

### Abstract

The aim of the paper is to provide a summary of the possibilities of acoustic and electric impedance measurements on trees (especially the ones living in urban areas) and to present the so-called Safety Factor. Acoustic measurements can estimate the quality of the wood material, so if a decay is present, the area of the decay can be evaluated. A great advantage of the tomographies is the ability to provide images of the examined layer(s). Acoustic measurements can also be applied to wooden structures. The tomography can be adapted to concrete as well.

## 1. Bevezetés

A városias környezetben lévő fák hozzájárulnak az emberek mind mentális, mind fizikai egészségéhez, serkentik a tanulási képességet [1,2], valamint kedvezően befolyásolnak több környezeti tényezőt (pl. légszennyezettség, páratartalom, hőmérséklet).

Ugyanezek a fák azonban veszélyforrást is hordoznak magukban, a letörő, lezuhanó ágak, eltörő törzsek vagy kifordult fák személyi sérülésekhez, anyagi károkhoz vezethetnek. A városias környezetben élő fák biztonságosságának vizsgálata kiemelt feladat, hiszen ebben a környezetben gyakran fordulnak elő emberek és tereptárgyak a fa miatt kockázatosnak tekinthető területen [3].

Vizsgálódásaink célja tehát képet kapni a biztonságosságról, méghozzá olyan mód(ok)on, mely(ek) során a fa nem károsul. Fontos előnye az ilyen technikáknak a mérés megismételhetősége, mely által az időbeli változások (pl. korhadások növekedése) követhetővé válnak. (A műszeres mérések célja természetesen más is lehet, mint például a biomassa mennyiségének becslése, vagy a fotoszintetizáló képesség vizsgálata,... ezek azonban kívül esnek a jelen cikk keretein.)

Az első ilyen méréseket több évtizede kezdték meg. A gyökérzet teherbírását, a fa kifordulásának esélyét becsülő húzóvizsgálatokat több, mint három évtizede alkalmazzák sikeresen. Ma már elterjedtnek mondható a technika [4].

Az akusztikus (és ultrahangos) vizsgálatok sem sokkal maradnak le. Több, mint két évtizede vizsgálják a fákat a bennük mérhető hangsebesség segítségével [5]. A megfelelően kivitelezett akusztikus mérések korhadás vagy üreg jelenlétét képesek jelezni [6]. Az akusztikus módszer lehetővé tette az akusztikus tomográfia kidolgozását, a belső állapot pontosabb felmérését is. A tomogram (és más paraméterek, pl. a korona területe) segítségével megbecsülhető, hogy a fa mért rétege kibírja-e, ha nagy

sebességű (általában 120 km/h) széllekeések érik a fát.

Elektromos jelek a fában, faanyagban történő terjedésével a hetvenes évek óta foglalkoznak [7]. Az ilyen mérések eredményeinek értelmezése azonban sokáig a többi technikához képest viszonylag nagy tapasztalatot kívánt, nehezebb volt. Annak ellenére, hogy az elektromos impedancia tomográfia képes jelezni a korai gombatamadást, mind a mai napig kevésbé elterjedt eszköz.

## 2. A faanyag akusztikus tulajdonságai és a „vonalminti” akusztikus mérések

A faanyag a fa növekedésének következtében nem homogén, de szabályos. A faanyag anatómiai irányai a rostirány (a növekedés irányával, a törzsszel párhuzamos), a radiális irány (a növekedés irányára merőleges, sugár irány), illetve a tangenciális irány (az „évgyűrű-irány”).

A különböző irányokban különböző hangsebességeket mérhetünk (azonos fafaj esetén is), valamint a helyzetet bonyolítja a tény, hogy a faanyagban transzverzális és longitudinális hullámok is létrejönnek, melyek sebessége szintén különböző [8].

Ha egy fán találmra választanánk két pontot, és ezek között mérnénk a hangsebességet, szinte semmilyen használható információhoz nem jutnánk. A kettő pont közötti, vonalminti mérések vagy a törzs mentén, vagy arra pont merőlegesen, egy átmérőn történnek.

Ténylegesen, általában  $\mu$ s-os pontossággal idő- és mm-es vagy cm-es pontossággal távolságmérés történik, a sebességet ezekből számítjuk ki. Ennek a tomográfiának lesz jelentősége, hiszen ott a mérési pontok egy része nem pontosan sugárirányban van egymáshoz képest. A mérés során az elsőként megérkező jel haladási idejét kapjuk meg [9].

A törzs mentén, a rostirányban mérhető hangsebesség a faanyag minőségéről ad információt. A magasabb





1. ábra: Vonalmenti akusztikus mérés sematikus rajza ép és korhadt fa esetén

hangsebesség jobb minőségű, nagyobb rugalmassági modulussal rendelkező faanyagot jelez [10]. Ezt a mérést elsősorban faültetvényeken végzik, ott viszont kifejezetten nagy számban.

Az átmérő, illetve sugár irányú mérések a radiális hangsebességet mérik. Táblázatokból, korábbi mérésekből ismerjük számos fafaj egészséges állapotában mérhető radiális hangsebességét. Ha korhadás vagy üreg van jelen, elsőként az a jel fut be, amely „megkerülte” a sérült részt (lásd 1. ábra). A hangsebesség csökkenésének mértéke a korhadás méretére is utal. Általában nem egyetlen átmérő mentén, hanem legalább kettő, egymásra merőleges irányban történik a mérés.

Konkrét példával élve, ha egy platán (Platanus acerifolia) fasorban az egyik fán, (a talajtól számítva) 1 méteres magasságban 50 cm-es átmérőt és 380  $\mu$ s-os jel áthaladási időt mérünk, a szomszéd fán pedig azonos magasságban 60 cm-es átmérőt és 365  $\mu$ s-os jelet detektálunk, akkor az egyik sebességre 1316 m/s, a másikra pedig 1644 m/s adódik. Ez az első fán kb. 20%-os sebességcsökkenést jelent, míg a másodikon kevesebb, mint fél százaléknál. Vagyis az első fában valószínűleg annak keresztmetszetének 20-40%-át kitevő korhadás található, addig a másik fa jó eséllyel egészséges. Nem található benne centrális korhadás az adott magasságon, a vizsgált vonal mentén.

### 3. Akusztikus tomográfia

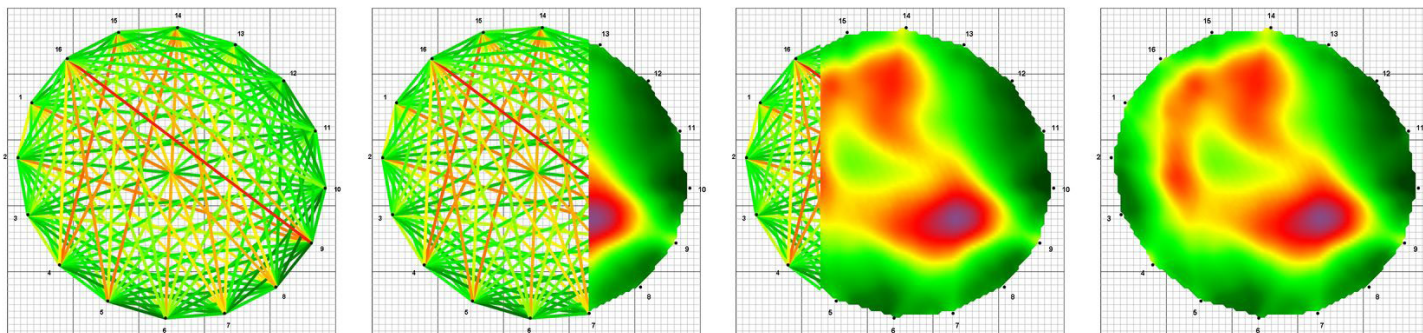
Több érzékelővel, egy keresztmetszet mentén, több vonalon is mérhetünk (2. ábra) [11, 12]. Ezek egy része, akár többsége nem halad át az keresztmetszet közepén. Így lesznek olyan mérések, melyek nem átmérőben, radiális irányban történtek. A radiális- (sugár-) és a tangenciális- („évgűrű”-) irányú sebességek arányainak ismeretében a nem sugár-, illetve nem tangenciális-irányú mérések is felhasználhatóvá válnak. Az iránykompenzáció után az akusztikus tomográfia a többi tomográfiához hasonló elven működik. Vagyis különböző vonalakon mér (sebességet számol), majd ezekből az adatokból vissza-számítja az adott sík lehetséges hangsebesség képét, tomogramját [9].

Az akusztikus tomogram sebesség térkép az adott pontban mérhető hangsebességet mutatja meg. Skálája fafajonként változó. (Ahogy az ép faanyagban mérhető hangsebesség is különböző.) A képi megjelenítés fő célja, hogy jól elkülönüljön rajta az egészséges (statikailag tartó) farész a korhadt vagy üreges (nem tartó) farésztől. (A biomechanikai számítások, a biztonság számítás egyik bemenete is ez az információ.)

Másik – ma már egyáltalán nem elhanyagolható – haszna



3. ábra: Több magasságban mért tomogramokból interpolációval készült függőleges vetület a vizsgált fa fotójára vetítve



2. ábra: Tomográfia mérési vonalai és a mérésekből visszaállított tomogram (a zöld szín ép faanyagra, a sárga és a piros gyengébb, korhadt részekre utal)

a tomogramnak, a képnek, hogy ezen „laikus számára is látható”, hogy probléma van-e az adott fával. A favizsgálatot megrendelők (magánszemélyek, cégek, önkormányzatok) így nem csak egy szöveges jelentést kapnak, hanem színes ábrákat is, ami segíti a kommunikációt és az együttműködést.

Tomogram több magasságban is mérhető, a mért síkok közötti részről interpolálással kapható kép, mely 3D-ben is megjeleníthető (3. ábra) [13].

Érdemes tudnunk róla, hogy a vonalmenti mérésekhez hasonlóan a tomográfia során érzékelt jelek sem azok a jelek, melyek áthaladtak a sérült, korhadt részen, hanem azok, amelyek megkerülték azt. Repedés vagy úgynevezett benőtt kéreg esetén is kiterjedt, korhadtnak tűnő terület jelenik meg a tomogramon. Ez azonban a későbbiekben nem jelent gondot, mivel a repedés vagy épp a kéreg jelenléte hasonlóan csökkenti a teherbíró keresztmetszetet, mint a korhadás.

#### 4. Akusztikus mérés kivitelezése, technikai részletek

Legyen szó vonalmenti vagy tomográfia mérésről, az akusztikus mérések során figyelni kell:

- a megfelelő irány (rost- vagy radiális-irány, magasság) megtartására,
- a jó minőségű akusztikus csatolásra – az érzékelőnek át kell hatolnia a kérge, az érzékelő hegyének ép faanyagban kell lennie a mérés során,
- az eszköz tisztaságára (pl. ha fennáll annak a lehetősége, hogy egy gombafertőzés az egyik fáról a másikra átterjedhet, az érzékelők fertőtlenítése ajánlott),
- arra, hogy a mért fában lévő víz ne legyen fagyott állapotban (a jég képes kitölteni a korhadt részeket és átvezetni rajtuk a hangjeleket, így félrevezető tomogramok készülnek),
- a mérést végzők épségére (az érzékelők igen hegyesek) [14].

Egy mérés a megfelelő mérési sík kiválasztásával kezdődik (ehhez favizsgáló szakemberre van szükség, aki meg tudja mondani, mely magasságban várhatóan a leggyengébb a fa szerkezete, melyik az a sík, amit ellenőrizni érdemes/kell).

Az érzékelők felszerelése után kapcsoljuk be az adatgyűjtő/továbbító elektronikát, majd egy kis, fém kalapáccsal, kézíleg hozzuk létre a hangjeleket, „megkoppintva” az érzékelőket. Ajánlott minden érzékelőn legalább ötször mérni.

A vonalmenti mérésnél az órát a „start” érzékelőre történő ütés indítja, és a másik érzékelőn megjelenő jel állítja meg. Tomográfiánál tetszőleges érzékelő ütése indítja az időmérést, és az előzőhöz hasonlóan a beérkező jelek állítják meg. Az időmérés  $\pm 3 \mu\text{s}$ -os pontossággal történik. Egy vonalon történő mérés ideje kevesebb, mint egy perc, míg egy réteg tomogramjának felvétele általában kb. 20 perc.

A mérés befejeztével, annak típusa – vonalmenti vagy tomográfia – szerint történik a kiértékelés. Vonalmenti méréseknél egyszerű táblázat vagy telefonos applikáció használható, míg a tomográfia teljes kiértékelése számítógépen lehetséges.

#### 5. Törzs kettétörésére vonatkozó biztonsági tényező meghatározása

Az akusztikus tomográfia kiértékelésének meghatározó pontja a biztonságosságra vonatkozó számítás, mely a törzs teherbíró képességéről, annak kettétöréssel szembeni tartásáról ad információt. (Biztonsági tényező más-hogy, más részre is számolható, pl. húzóvizsgálat során a gyökerestől való kifordulásra, ámbár ezek nem képzik jelen cikk tárgyát.)

A biztonsági tényező (SF, az angol Safety Factor) a becsült teherbírási és a becsült terhelés aránya (pl. 2,78 vagy 278%, de nem valószínűség vagy esély!) [15].

$$SF = (\text{teherbíró képesség}) / (\text{össz. terhelés}) \quad (1)$$

Ami jelen estünkben (vagyis a mért rétegre, és csak akkor, ha a törzs nem hasadt fel):

$$SF_{\text{törzs\_tomogram}} = \sigma_{\text{nyzil}} / (\sigma_{\text{szél}} + \sigma_{\text{önsúly}} + \sigma_{\text{dőlés}}), \quad (2)$$

ahol:

- $\sigma_{\text{nyzil}}$  – az adott fajtára vonatkozó nyomószilárdság [N/m<sup>2</sup>],
- $\sigma_{\text{szél}}$  – (az adott sebességű) szél által létrehozott hajlítófeszültség [N/m<sup>2</sup>],
- $\sigma_{\text{önsúly}}$  – önsúlyból adódó nyomófeszültség [N/m<sup>2</sup>],
- $\sigma_{\text{dőlés}}$  – a fa dőléséből számolt hajlító feszültség [N/m<sup>2</sup>].

A nyomószilárdság roncsolásos tesztekkel határozható meg, a számításokhoz a stuttgarti táblázatokból [4] veszünk az értékét (lásd 1. táblázat).

**1. táblázat:** Az elemzésekhez használt néhány fafaj jellemző adatai a stuttgarti táblázat alapján

| Faj                                 | Javasolt ellenállási tényező [C <sub>lat</sub> ] | Élő, nedves sűrűség [kg/m <sup>3</sup> ] | Nyomószilárdság [MPa] |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------|
| Akác                                | 0,15-0,2                                         | 929                                      | 20                    |
| Amerikai tulipánfa                  | 0,25                                             | 427                                      | 17                    |
| Erdeifenyő                          | 0,15                                             | 528                                      | 17                    |
| Európai bükk                        | 0,25-0,30                                        | 655                                      | 22,5                  |
| Európai vörösfenyő                  | 0,15                                             | 769                                      | 17                    |
| Fehér fűz                           | 0,2                                              | 408                                      | 16                    |
| Fehér nyár                          | 0,2                                              | 756                                      | 20                    |
| Fekete nyár                         | 0,2                                              | 394                                      | 20                    |
| Kislevelű hárs                      | 0,25                                             | 398                                      | 20                    |
| Kocsányos tölgy                     | 0,25                                             | 697                                      | 28                    |
| Közönséges jegenyefenyő             | 0,2                                              | 415                                      | 15                    |
| Közönséges lucfenyő                 | 0,2                                              | 424                                      | 21                    |
| Közönséges nyír vagy bibircses nyír | 0,12                                             | 634                                      | 22                    |
| Magas kőris                         | 0,2                                              | 594                                      | 26                    |
| Mamutfenyő                          | 0,2                                              | 801                                      | 18                    |
| Platán                              | 0,25                                             | 539                                      | 27                    |
| Vörös tölgy vagy amerikai tölgy     | 0,25                                             | 657                                      | 20                    |



A szélterhelés és a szél által létrehozott hajlítófeszültség számolása során a favizsgálatban megszokott logikát követjük, vagyis a fákkal kapcsolatban a '80-as évek óta használt [16, 17], az áramlástan területéről átvett (a valós helyzetet némileg egyszerűsítő) szélerőből indulunk ki.

$$F_{szél} = 0,5 \rho_{levegő} C_{fafaj} A_{korona} v_{szél}^2, \quad (3)$$

ahol:

$\rho_{levegő}$  – a levegő sűrűsége [kg/m<sup>3</sup>], (hőmérséklet függő érték, de a gyakorlatban 1,2 kg/m<sup>3</sup> érték használata javasolt),

$C_{fafaj}$  – fafaj függő ellenállási tényező [-] (néhány jellemző értékét lásd 1. táblázatban),

$A_{korona}$  – a korona szélnek kitett felülete [m<sup>2</sup>],

$v_{szél}$  – szélesség [m/s].

A szél forgatónyomatéka:

$$M_{szél} = F_{szél} h_{kk}, \quad (4)$$

ahol:

$h_{kk}$  – a korona középpontjának magassága [m].

A szél által létrehozott, a törzs alján mért hajlító feszültség:

$$\sigma_{szél} = M_{szél} (z/l), \quad (5)$$

ahol:

$z$  – a semleges tengelytől mért távolság (ez az a tengely, ahol hajlítás során nincs feszültség) [m],

$l$  – az adott magasságbeli inercia, másodrendű nyomaték [m<sup>4</sup>].

Az inercia az  $I = \iint_{x,y} x^2 dx dy$  kettős integrállal számolható. Értéke kör tartományra  $I_{kör} = (\pi d^4) / 64$ . Vagyis a szél által létrehozott hajlítófeszültség kör keresztmetszetű fánál:

$$\sigma_{szél} = M_{szél} [64 z / (\pi d^4)]. \quad (6)$$

Mivel a tomográfiát általában más magasságokban is használják, nem csak talajszinten, ezért egy lépést „viszsa” kell lépnünk a forgatónyomaték definíciójához (erő szorozva magassággal). A szél által létrehozott hajlító feszültség tetszőleges magasságban:

$$\sigma_{szél} = F_{szél} (h_{kk} - h_{réteg}) (z/l) \quad (7)$$

ahol:

$h_{réteg}$  – a vizsgált réteg magassága [m].

A szél által létrehozott hajlítófeszültség kör keresztmetszetű fánál, tetszőleges magasságban:

$$\sigma_{szél} = F_{szél} (h_{kk} - h_{réteg}) [64 z / (\pi d^4)]. \quad (8)$$

Az önsúly és az abból adódó nyomófeszültség meghatározásához szintén közelítő modellt használunk, mely az esetek többségében 5-15%-kal felül becsüli a tömeget. A modellünk egy homogén rúd, mely ugyanolyan sűrűségű és magasságú, mint a fa. Átmérője állandó, a fa 130cm-es magasságban mért, úgynevezett mellmagassági átmérője.

$$m_{fa} = \rho_{fa} H D_{1.3}^2 \pi / 4, \quad (9)$$

ahol:

$m_{fa}$  – a fa tömege [kg],

$\rho_{fa}$  – a nedves, zöld fa sűrűsége [kg/m<sup>3</sup>]

(néhány jellemző adat az 1. táblázatban),

$H$  – a fa magassága [m],

$D_{1.3}$  – a mellmagassági átmérő [m].

Általánosan, nem kör keresztmetszetű fára:

$$m_{fa} = \rho_{fa} H A_{törzs}, \quad (10)$$

ahol:

$A_{törzs}$  – a törzs keresztmetszete [m<sup>2</sup>].

Ép törzs esetén a nyomófeszültség:

$$\sigma_{önsúly} = m_{fa} g / A_{törzs}, \quad (11)$$

ahol:

$g$  – a gravitációs állandó (9,81 m/s<sup>2</sup>),

$A_{törzs}$  – a törzs keresztmetszete [m<sup>2</sup>].

A fa teljes tömege  $m_{fa} = \rho_{fa} H A_{törzs}$ . Nyomófeszültség számolásakor csak a vizsgált réteg feletti tömeget kell figyelembe venni, mivel csak ezt a tömeget kell megtartania a rétegnek. A fa tömeg egy adott réteg felett:

$$m_{fa} = A_{törzs} (H - h_{réteg}) \rho_{fa}, \quad (12)$$

ahol:

$h_{réteg}$  – a vizsgált réteg magassága [m].

Az önsúlyból adódó nyomófeszültség adott rétegre, ha ép a törzs:

$$\sigma_{önsúly} = [A_{törzs} (H - h_{réteg}) \rho_{fa} g] / A_{törzs}. \quad (13)$$

$A_{törzs}$ -zel egyszerűsítve:

$$\sigma_{önsúly} = (H - h_{réteg}) \rho_{fa} g. \quad (14)$$

Az önsúlyból adódó nyomófeszültség adott rétegre, ha korhadás van a vizsgált rétegben:

$$\sigma_{önsúlykorhadt} = (H - h_{réteg}) \rho_{fa} g (A_{törzs} / A_{ép\_rész}), \quad (15)$$

$A_{ép\_rész}$  – a valóban terhet tartó, ép faanyag területe [m<sup>2</sup>].

Érdemes lehet tudnunk róla, hogy a szélteher általában legalább tízszer nagyobb, mint az önsúlyból adódó teher. Így a tömeg túlbecslése az összerhelést általában kevesebb, mint 1%-kal növeli.

Hajlítófeszültség akkor jelentkezik, ha a törzs nem függőlegesen áll, dől valamilyen irányba. Ekkor a dőlésből fakadó hajlító feszültség:

$$\sigma_{dőlés} = (m_{fa} g h_{kk} \sin \alpha) (z/l), \quad (16)$$

ahol:

$m_{fa}$  – a fa tömege [kg],

$g$  – a gravitációs állandó (9,81 m/s<sup>2</sup>),

$h_{kk}$  – a korona középpontjának magassága [m],

$\alpha$  – a törzs dőlési szöge a függőlegeshez képest,

$z$  – a semleges tengelytől mért távolság (ez az a tengely, ahol hajlítás során nincs feszültség) [m],

$l$  – az adott magasságbeli inercia, másodrendű nyomaték [m<sup>4</sup>].

Az inercia kör esetében kapott értékét beírva megkapjuk a hajlítófeszültséget kör keresztmetszetű fákra:

$$\sigma_{dőlés} = (m_{fa} g h_{kk} \sin \alpha) [64 z / (\pi d^4)]. \quad (17)$$



**4. ábra:** Betonszerkezet mérése. Jobbról balra: érzékelők egy betonoszlopon, mérés, „koppintás” kis (fém) kalapáccsal, és egy oszlop tomogramja. A zöld szín magasabb hangsebességre, míg a sárga, a piros és a kék színek egyre alacsonyabb hangsebességre utalnak

A fentiek alapján a törzs ketté törésére vonatkozó, tomográfián alapuló biztonsági faktor (a mért rétegre, és csak akkor, ha a törzs nem hasadt fel):

$$SF = \frac{\sigma_{nyszil}}{F_{szél} \left( h_{kk} - h_{réteg} \right) \left( \frac{Z}{I} \right) + (H - h_{réteg}) \rho_{fa} g \left( \frac{A_{törzs}}{A_{ép\_rész}} \right) + (m_{fa} g h_{kk} \sin \alpha) \left( \frac{Z}{I} \right)} \quad (18)$$

A tomográfia alapján készült, egyszerűsített tomogram (, mely csupán „tartó” és „nem-tartó” kategóriába sorolja a faanyagot), mind az ép rész keresztmetszetében, mind pedig (számítógépes számításokkor) az inerciában jelenik meg.

A biztonsági tényező értékelése három sávot különböztet meg. Ha az érték 1,5 feletti, akkor alacsony annak a kockázata, hogy a törzs a mért rétegben törjön ketté. Azért nem 1 egész, hanem 1,5 fölött alacsony a kockázati besorolás, mert a számításhoz használt adatok egy része becsült (pl. koronaterület, fa tömege). Általánosságban elmondható, hogy az értékelés során, bizonytalan esetben inkább a kockázat túlbecslésére és semmiképpen nem a biztonság túlbecslésére törekszünk.

A következő kockázati besorolási sáv a „mérsékelt kockázat”, ami a biztonsági tényező 1 és 1,5 közti értékeihez tartozik, míg, ha a biztonsági tényező 1 alatti, akkor a kockázat magas, valószínűleg beavatkozás szükséges még a következő nagyobb vihar előtt.

## 6. Kitekintés – akusztikus mérések fa- és betonszerkezeten

A faszerkezetek akusztikus mérései megelőzték az élő fán történő méréseket, ezek alapján kezdtek el akusztikus eszközökön dolgozni az élő fával foglalkozó szakemberek is [18].

A faszerkezetek vonalmenti akusztikus mérései a szerkezeti elemek teherbíróképességéről adnak információt. Mind a beépített faanyagok mind pedig a fűrészárú vizsgálható ilyen módszerekkel. A tomográfia ugyancsak alkalmazható különböző faszerkezetek esetében is (pl. fa kilátó ...), mely során a tomográf képes megmutatni a szerkezet gyengébb (akár belső) részeit is. Bővebben a témáról jelen szám további cikkeiben olvashatunk.

Az akusztikus tomográfia betonszerkezetek vizsgálatára, belső hibáinak feltérképezésére is használható. Ebben az esetben a hangsebesség irányfüggetlen (az

iránykompenzáció értéke 1 az élő fáknál megszokott 0,7-0,8 helyett). Valamint az érzékelő kiképzése módosul annyiban, hogy nem kell hegyesnek, tűskésnek lennie, hiszen nincs jelen az akusztikailag rosszul csatoló kéreg. Beton vizsgálatokor érdemes lapos végű érzékelőkkel dolgozni, ezeket gyurmaragasztóval rögzíteni a kívánt pozíciókra. A jobb hangvezető képesség miatt a hangjel gerjesztésére használt kalapácsot is érdemes kisebbre cserélni. A jellemző hangsebesség tartomány a beton esetében 2-3-szor magasabb, mint a fa esetében (lásd 4. ábra).

## 7. Impedancia tomográfia

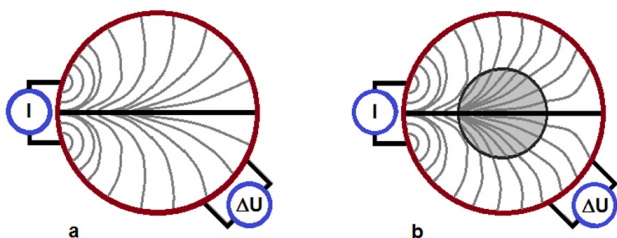
A fák, fafajuknak megfelelően, elektromos impedancia mintázatot mutatnak, ha az akusztikus tomográfiához hasonlóan a növekedés irányára merőleges síkban mérünk. A konkrét impedancia érték, ami két (elektromos) érzékelő között mérhető azonban nem csak a fafajtól vagy a faanyag minőségétől függ, hanem például a hőmérséklettől is [19].

Alex Shigo, a „modern faápolás atyja”, még a '70-es években próbálkozott az átmérő mentén mérhető ellenállás értelmezésével (saját műszert is fejlesztett shigométer néven). Az eredmények értelmezése azonban kimondottan nehézkesnek bizonyult, így a shigométer nem terjedt el a favizsgálati gyakorlatban [20].

A mintázat, egy átfogóbb kép keresésének, értelmezésének ötlete a geofizika irányából tért vissza a favizsgálat területére. A geofizikában alkalmazott impedancia tomográfia és a favizsgálat során alkalmazott között a fő különbség a geometriában jelentkezik. A talajra érzékelők egy sora kerül lehelyezésre, míg a fa törzsén a törzset követve, körben helyezkednek el az érzékelők, egymással szemben is [21]. A mérés, favizsgálatban szokásos elnevezése EIT (elektromos impedancia tomográfia), ami azonban kicsit félrevezető. Valójában egyenáramú mérések történnek, de az élő faanyag polarizációja miatt másodpercenként 4-szer polaritást váltunk, 2 Hz-es néyszög jelet használva. Ezért nincsen mérve a képzetes komponens.

Az akusztikus tomográfia és az elektromos impedancia tomográfia közti fő különbség a jelek terjedésében keresendő. Míg az akusztikus jelet elképzelhetjük úgy, hogy az egyenes vonalban halad két érzékelő között, addig az





**5. ábra:** Az impedancia tomográfia működési elve;  
 $I$  – az áram betáplálás, kettő elektródán,  
 $\Delta U$  – a feszültségmérés szintén két elektródán,  
a) homogén keresztmetszet esetén,  
b) inhomogén keresztmetszet esetén

elektromos mérések görbék, cylinderfelületek mentén történnek két-két érzékelő, elektróda között (lásd 5. ábra). Az impedancia tomogram iterációk segítségével határozható meg.

Természetesen az impedancia tomogram információ tartalma is különbözik az akusztikus tomogramétól. Míg akusztikus esetben a faanyag minőségéről és teherbíró képességéről kapunk képet, addig az impedancia tomográfia elsősorban az anyag inhomogenitásait képes megtalálni, élő fák tekintetében ez a tomogram mintázatok összehasonlításával értelmezhető (lásd 6. ábra).

Vagyis, először fel kell vennünk egy fafaj egészséges egyedeinek tomogramjait (ezek hasonló mintázatot fognak mutatni, lásd 6. ábra). Ha rendelkezésre áll, ellenőrzésképpen érdemes lehet felvenni ismert betegnél, gombatámadott fák tomogramjait is. Ha az impedancia tomogramon látható mintázat eltér az egészséges esetben várhatótól, vagyis a szabad ionok, töltések eloszlása más, ez általában valamilyen sérülésre, gomba támadásra, ághelyre utal.

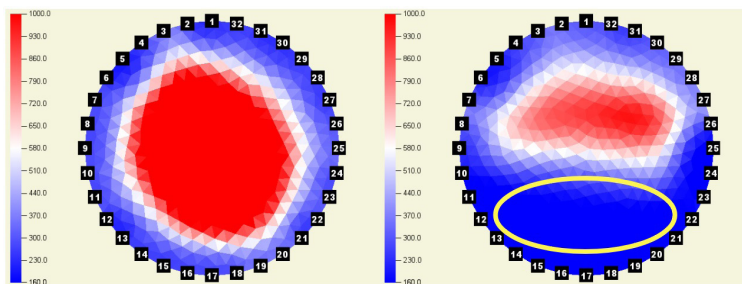
A favizsgálati gyakorlatban impedancia tomográfiával az akusztikushoz képest korábban lehet észlelni egy gombatámadást (még azelőtt, hogy a faanyag mechanikai tulajdonságai jelentősen megváltoznának).

Az akusztikus és az impedancia tomográfia jó kiegészítője egymásnak, együttes használatuk a fa jövőjét tekintve pontosabb becslést ad, mely ismeretében pontosabb gondozás írható elő és valósítható meg (lásd 7. ábra).

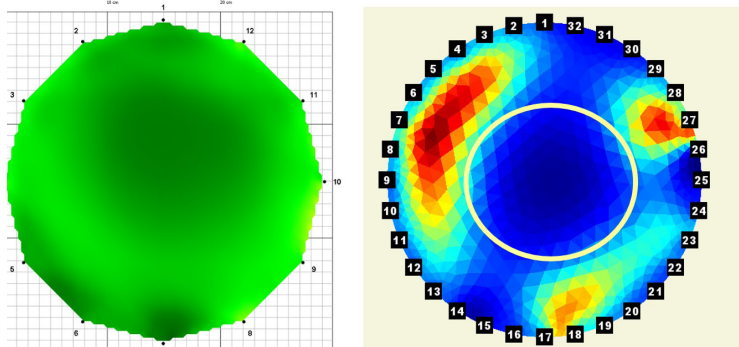
## 8. Összefoglalás

A cikk áttekintette a lakott környezetben élő fák akusztikus és elektromos impedanciás mérési lehetőségeit. A mért eredményeken alapuló biztonsági számolás is röviden bemutatásra került, ahogy az élő fákra kifejlesztett mérőeszközök más anyagokon való felhasználása is.

Az egy vonalon történt akusztikus méréssel a faanyag minősége, illetve a faanyag épsége (vagy korhadás esetleges jelenléte) becsülhető. A tomográfiás mérések során sokkal több vonalon történik a mérés, így, a megfelelő



**6. ábra:** Ellenállás tomogram egészséges (balra) és beteg (jobbra) luc fenyőn. Az egészséges esetben jól lászik a lucra jellemző mintázat (kívül alacsonyabb ellenállásértékek, belül, körben magasabbak). A beteg fánál megfigyelhető, hogy a gomba által támadott részen alacsonyabb ellenállás mérhető, mint az ép részen és a minta is torzult



**7. ábra:** Fiatal kőris fa láthatóan rossz állapotban (balra, fent), a kőrisfát megtámadó tuskógomba (jobbra fent), akusztikus (balra, lent) és impedancia (jobbra lent) tomográfiával kapott kép. A faanyag még nem gyengült meg annyira, hogy az látható legyen az akusztikus tomogramon, míg (a jelölt részen) már látható az elváltozás az ellenállás tomogramon

számítások után, kép is kapható a vizsgált réteg(ek)ről, illetve, interpolációval a rétegek közötti rész is becsülhető, amit egy 3D modell ad vissza.

Az akusztikus méréseket „holt” fán, faszerkezeteken, épületen, kilátókon is sikerrel alkalmazzák, a tomográfia még beton oszlopok, vagy akár falrészek vizsgálatára is alkalmas.

Az impedancia tomográfia jól egészíti ki az akusztikus tomográfiát, használata előbb jelzi a gombatámadásokat, illetve pl. benőtt ághelyek megtalálásával pontosíthatja az akusztikus tomogram értelmezését.

## Irodalomjegyzék

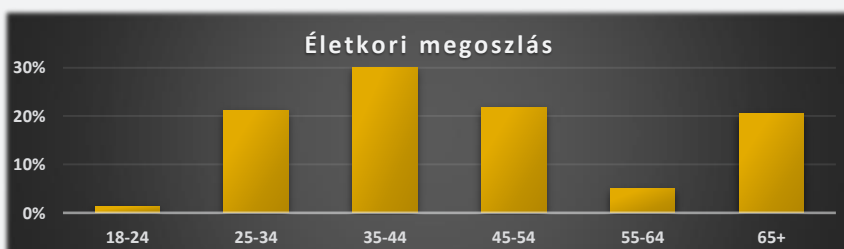
- [1] Shibata S., Suzuki N.: Effects of an indoor plant on creative task performance and mood, Scandinavian Journal of Psychology, 45, 2004. pp.373–381.
- [2] Taylor A. F., Wiley A., Kuo F. E., Sullivan W. C.: Growing Up in the

- Inner City: Green Spaces As Places to Grow. Environment and Behavior, 30, 1998. pp.154-168.
- [3] Brudi E., van Wassenae P. J.: Trees and Statics: Nondestructive Failure Analysis. In: Tree Structure and Mechanics Conference Proceedings: How Trees Stand Up and Fall Down. International Society of Arboriculture, Champaign, Illinois, 2002. pp.53-70.
- [4] Wessolly L., Erb M.: Handbuch der Baumstatik und Baumkontrolle. Patzer Verlag, Berlin, Germany. 1998.
- [5] Allison, R. B., Wang, X., Senalik, C.A.: Methods for Nondestructive Testing of Urban Trees. Forests 11, 2020, <https://doi.org/10.3390/f11121341>
- [6] Ostrovský, R., Kobza, M., Gažo, J.: Extensively damaged trees tested with acoustic tomography considering tree stability in urban greenery. Trees 31, 2017. pp1015–1023 <https://doi.org/10.1007/s00468-017-1526-6>
- [7] Shortle, W. C.: Shigometer In: Maloy, O.C.; Murray, T.D., eds. Encyclopedia of Plant Pathology. New York, NY: John Wiley 2000. pp.902-903.
- [8] Bucur Voichita: Acoustics of Wood. CRC Press, 1995.
- [9] Divós Péter: Akusztikus tomográfia élő fák vizsgálatára; TDK dolgozat, Budapest, BME, 2004.
- [10] Wang X., Ross R. J., McClellan M., Barbour R. J., Erickson L. R., McGinnis G. D.: Nondestructive evaluation of standing trees with stress wave methods. Wood and Fiber Science 33. 2001. pp.522- 533.
- [11] Kobza, M., Ostrovský, R., Adamčíková, K.: Stability of trees infected by wood decay fungi estimated by acoustic tomography: a field survey. Trees. 2021. <https://doi.org/10.1007/s00468-021-02185-w>
- [12] Divos F., Szalai L.: Tree evaluation by acoustic tomography. In: Proceedings of the 13th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood, Berkeley, 2002. pp 251–256
- [13] Buza A. K., Divos F.: Spruce tree fighting back—study of honey fungus infection. Folia Oecol 43. 2016. 204–207
- [14] ARBORSONIC 3D: User's Manual, 2020., <https://upload.fakopp.com/manuals/Manual.en-USv6.2.3.pdf>
- [15] Buza A. K., Goncz B.: Comparison of trees and NDT methods. Wood Research 60(1). 2015. pp. 45-58.
- [16] Jones H. G.: Plants and microclimate. A quantitative approach to environmental plant physiology. Cambridge University Press, Cambridge, 1983.
- [17] Lajos Tamás: Az áramlástan alapjai. Előadás jegyzet, Budapest, 1992. <https://mek.oszk.hu/00500/00584/00584.pdf>
- [18] Divós F., Divós P., Divós G.: Acoustic Techniques: From Seedling to Wood Structures. Proceedings of the 15th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood (szerk.: Ross R. J., Wang X., Brashaw B. K.) Forest Products Society, Madison, Wisconsin, USA. 2007. pp.3-12.
- [19] Buza A. K., Divós F.: "Time-lapse" case study of impedance tomography on beech. General Technical Report-Forest Products Laboratory, USDA Forest Service, (FPL-GTR-272), 2019. pp. 376-381.
- [20] Wilson, P. J., Allen, J. D., Walker, J. C. F.: Appraisal of the Shigometer technique. New Zealand Journal of Forestry Science, 12(1), 1982. pp.86-95.
- [21] Goncz B., Divos F., Bejo L.: Detecting the presence of red heart in beech (*Fagus sylvatica*) using electrical voltage and resistance measurements. Eur. J. Wood Prod. 76(2). 2018. pp.679–686.



## ANYAGVIZSGÁLÓK LAPJA - 1 ÉVE A FACEBOOKON

Facebook oldalunk 1 éves lett, mely alatt **közel 160 kedvelőnk** lett. A legtöbb olvasónk Budapestről, Debrecenből, Miskolcra és Szegedre követi a facebook oldalunkat, melynek nemek közötti és életkori eloszlása a következő:



Legtöbb aktivitást mutató bejegyzésünk a felelős szerkesztőnkkel, Tóth László professzor úrral készített beszélgetés beharangozója





## Húzóvizsgálat és dinamikus vizsgálat – a gyökérrendszer és a törzs biztonságosságának vizsgálata

Static and dynamic pulling tests – examining the safety of the trunk and root system

Divós Ferenc<sup>a</sup>, Buza Ágnes Kinga<sup>b</sup>

<sup>a</sup>ügyvezető, Fakopp Enterprise Bt., divos@fakopp.com

<sup>b</sup>termék manager, Fakopp Enterprise Bt., agnesbuza@fakopp.com

### Kulcsszavak

fa,  
roncsolásmentes favizsgálat,  
húzóvizsgálat,  
dinamikus vizsgálat,  
gyökérzet stabilitása

### Keywords

tree,  
non-destructive tree testing,  
pulling test,  
dynamic test,  
root system safety

### Absztrakt

Az élő fákon végezt húzóvizsgálat, nevének megfelelően a fa „meghúzása” egy megfelelően rögzített sodronykötél segítségével. A húzás a szélterhet szimulálja. A dinamikus vizsgálatok során valós szélben történik a mérés. Mindkét mérés célja a fa biztonságosságának megállapítása. Ehhez a fa törvének dőlését és/vagy a törzs egy szeletének megnyúlását mérjük. Az eredményekből megbecsülhető a fa tövestől kifordulásának és/vagy törzse ketté törésének kockázata.

### Abstract

As the name refers to, the Pulling Test performed on trees is a pull of the tree with a cable placed and fixed properly onto the tree. The pull itself simulates wind load. During dynamic testing the measurements take place in real winds. Both methods aim to predict the safety of the tree. For the safety evaluation the inclination of the root collar and/or the elongation of a layer of the trunk is measured. The data can be used to estimate the risk of uprooting or trunk failure.

## 1. Bevezetés

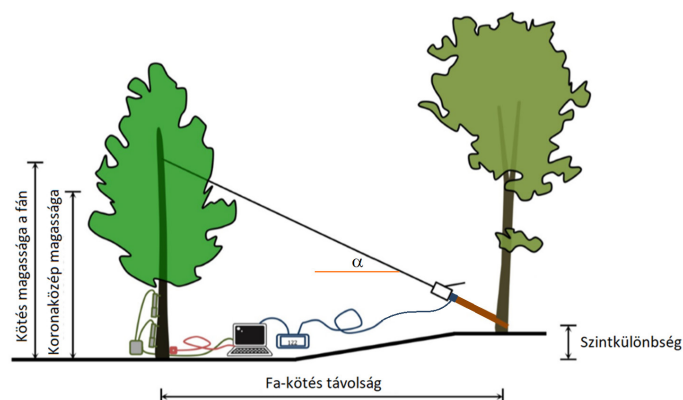
A közvetlen környezetünkben, utcákon, parkokban, utak mentén lévő fák biztonságossága fokozatosan válik egyre fontosabb kérdéssé. Egyrészt szeretnénk élvezni a fák nyújtotta „szolgáltatásokat” (árnyék, pormegkötés, esztétikai érték stb.) másrészt el szeretnénk kerülni, meg szeretnénk előzni a lehetséges károkat, sérüléseket. A fák biztonságának speciális területével évtizedek óta foglalkoznak a favizsgáló és faápoló szakemberek [1].

Az egyik legkorábbi nem vizuális, műszeres vizsgálat a húzóvizsgálat, mely során egy sodronykötél segítségével meghúzzák a fát, miközben mérik a törzs dőlését [2]. A húzóvizsgálat jó példa arra, hogy egy komplex rendszerrel kapcsolatos konkrét kérdés (jelen esetben, hogy várható-e a fa kifordulása) megválaszolható akkor is, ha a vizsgált rendszer nem minden elemét, összetevőjét ismerjük részletesen.

A húzóvizsgálat ma már a favizsgálat egyik jól ismert, bejáratott eszköze, német területről terjedt el. Elsődleges célja a gyökérzet állapotának felmérése, ez egészülhet ki a törzsre vonatkozó méréssel [3, 4].

A fák dinamikus viselkedésének vizsgálata is több, mint egy évtizede kezdődött [5]. Első ránézésre nem teljesen triviális a széllökések és a fa mozgása közti kapcsolat, mivel a fa, rugalmassága révén, képes elnyelni, tárolni az energiát, majd egy nagyobb „lökéssel” leadni azt. A megfelelő statisztikai módszerekkel azonban megtalálható az összefüggés, mely képes becslést adni arra, hogy (a mérési időszakhoz képest) nagyobb szélben hogyan viselkedik majd a fa biztonságossági szempontból [6]. Másfajta kihívás elé állította a fejlesztőket a dinamikus vizsgálatához szükséges gyors és precíz szélmérés, hiszen a széllökések másodperces események, szerencsére ma már létezik és hozzáférhető megfelelő szélmérő.

A dinamikus mérések célja a húzóvizsgálatával azonos, a favizsgálati gyakorlatban ezzel a módszerrel is arra keressük a választ, hogy mennyire stabil az adott fa



1. ábra: A húzóvizsgálat sematikus rajza

gyökérzete, illetve, hogy számítani kell-e a törzs kettétörésére egy komolyabb vihar alkalmával.

## 2. A húzóvizsgálat

Nvének megfelelően a húzóvizsgálat során húzás történik, melynek célja szelet szimulálni, ezáltal pedig képet kapni arról, hogy mekkora a vizsgált fa teherbírása, hogy képes-e kiállni egy vihart [7]. A húzáshoz használt sodronykötelet hevederekkel rögzítik mind a vizsgált fán, mind a horgonyzásul szolgáló másik fán vagy más tereptárgyon. Hevederek hiányában a sodronykötél komoly kéregsérülést okozna. A vizsgálatot az 1. ábra szemlélteti.

A húzóvizsgálati rendszer további elemei a dőlésmérő és/vagy a megnyúlásmérő, erőmérő és vonszoló. A modern mérési összeállításokban egy megfelelő elektronika gyűjti be és továbbítja számítógép felé a mért adatokat. Természetesen a mérendő adatok közé tartozik a kötés magassága, a vizsgált fa és a horgonyzás közti távolság és szintkülönbség, valamint a fa koronaterülete is.

Mivel a mérés során azt vizsgáljuk, hogy adott húzóerőre hogyan reagál, dől/nyúlik meg a fa, így ez a mérés 25 km/h, vagy annál nagyobb szél esetén nem alkalmazható, hiszen a szél is mozgatja a fát. Ilyenkor ki kell várni, míg lecsendesül az idő [8].

## 2.1 Kivitelezés

A sodronykötelet (illetve az azt fogadó hevedert) a vizsgált fán lehetőség szerint a korona középmagasságában kell rögzíteni. Ha ebben a magasságban a rögzítés biztonságosan nem oldható meg, például túl vékonyak az ágak, fennáll az esély, hogy eltörnek, akkor a korona közepéhez lehető legközelebb érdemes elvégezni a rögzítést. Ez általában létráról vagy alpintechnikás famászás során történik. A mérési rendszer többi eleme talajszinten, illetve kényelmes magasságban használható. A kikötési pontot, ezáltal a húzás irányát lehetőség szerint az uralkodó széliránynak megfelelően kell megválasztani. Értelemszerűen itt kell rögzíteni a vonszolót egy megfelelő heveder segítségével.

A dőlésmérőt a talajhoz lehető legközelebb kell a törzsre (a gyökérnyakra) rögzíteni. Fontos, hogy ha a fa töben korhadt, akkor ne a korhadás területére kerüljön a dőlésmérő, mivel ez esetben a műszer nem fog együtt mozogni a törzsszel, a fával. Szintén fontos, hogy a dőlésmérőt a húzás, a sodronykötél síkjába helyezzük, vagy a húzás oldalán, vagy azzal pontosan szembe.

A megnyúlásmérőt a törzs vizsgálni kívánt, vizuálisan a leggyengébbnek értékelt, magasságába kell helyezni. Ennél az eszköznél is fontos, hogy az a húzás síkjában legyen rögzítve.

Az erőmérőt annak típusától függően vagy a sodronykötélre, vagy a sodronykötéllal egy vonalba, a vonszoló mögött kell a rendszerbe építeni.

Ha a mérési rendszerben szükséges, egyéb elektronikákat is csatlakoztatni kell, melyek tápot szolgáltatnak és/vagy a mért jeleket továbbítják. (Létezik a húzóvizsgálatnak teljesen manuális, mechanikus változata is, ekkor azonban a húzási görbének (lásd később) csak egy vagy kettő pontját veszik fel.)

Miután minden a helyére került, megkezdődik a húzás, a vonszolót használva egyre feszesebbé válik a sodronykötél. Az előkészítés során kiemelt fontosságú a vonszoló és a sodronykötél ellenőrzése. Ha például a vonszoló sorjás, a sodronykötél sérülhet és akár el is pattanhat, mely – feszített esetben – pillanatszerű, a sodronykötél pedig kiszámíthatatlan irányba csapódik. A húzási szakaszban elengedhetetlen a megfelelő biztonsági előírások betartása (ideértve a terület biztosítását).

A mért adatokat számítógépes program gyűjti, mely folyamatosan kijelzi a fa töben mért dőlését, így a húzást végző személy biztos lehet abban, hogy a dőlés mértéke nem haladja meg a  $0,25^\circ$ -ot, ezzel biztosítva a mérés roncsolásmentességét. A számítógépes program szintén kiírja a kötelerőt, és megfelelő beállítás esetén figyelmeztet, ha közeledik az adott kötél (esetleg a hevederek) vagy vonszoló maximális terhelhetősége.

A mérést érdemes a fa tövének  $0,2-0,25^\circ$ -os dőléséig, vagy nagy fa esetén a kötél vagy a vonszoló teherbírásának még megfelelő erő kifejtéséig végezni. Az adatgyűjtés befejeztével a kötél a vonszolóval lazítható, majd, amikor már a sodronykötélben nincs feszültség, a műszerek leszerelhetők, kikapcsolhatóak, a szükséges tisztítás után eltehetőek. Általában elmondható, hogy a húzóvizsgálat eszközígyényes, ugyan maga a mérés többnyire csak



2. ábra: Dőlésmérő egy fa tövén

néhány perc, a méréshez való felállás és leszerelés hosszabb ideig tart [9].

## 2.2 Méréstechnikai részletek

A húzóvizsgálat során dőlésmérővel és/vagy megnyúlásmérővel és erőmérővel kell dolgozni.

A dőlésmérőnél fontos az érzékenység, hiszen a húzás során a töben mért dőlés nem haladhatja meg a  $0,25^\circ$ -ot, s ahhoz, hogy dőlés-erő görbét kaphassunk, nagyon precíz,  $0,001^\circ$  felbontású dőlésmérőt kell használnunk (lásd 2. ábra). A mérési tartomány általában  $\pm 2^\circ$ , de kutatási célra létezik  $\pm 5^\circ$  tartományban mérő dőlésmérő is. Ha egy fa töben mért dőlése eléri a  $2,5^\circ$ -ot onnantól kezdve szinte nem kell több erőt fejteni ki ahhoz, hogy a fa kidőljön, kidöntéssel járó mérések során is elégséges a  $\pm 5^\circ$  tartomány [10].

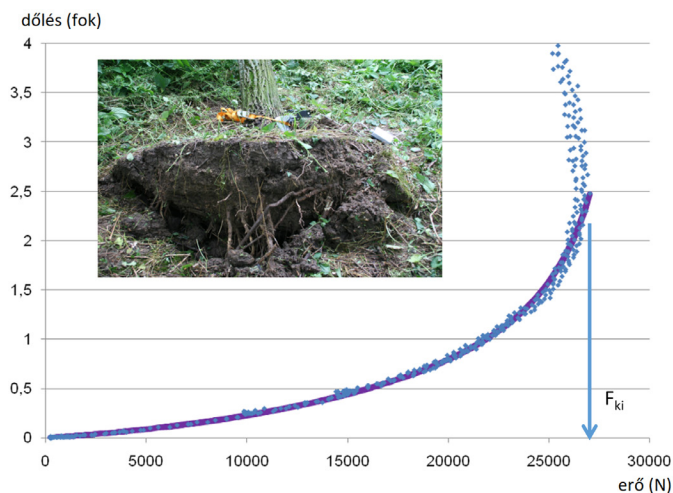
Mivel terepen használatos eszközről van szó, így a dőlésmérő hőmérséklet-kompenzált. A fa tövére történő felszerelés utolsó lépése a vízszintes kalibráció (hogy a teljes mérési tartomány használható legyen). Természetesen a dőlésmérőnek az időbeli felbontása is megfelelő kell, hogy legyen, hogy ne csak egy-két mérési adat jelenjen meg a görbén, ezt teljesíti az általunk használt 7Hz-es mintavételezési frekvencia.

A törzs egy-egy szeletét LVDT (Linear Variable Differential Transformer) típusú, 235mm-es bázistávolságú, 10mm-es méréstartományú,  $0,3\mu\text{m}$ -es



3. ábra: Megnyúlásmérő egy fenyő törzsén





4. ábra: Egy kidöntéses kísérlet során mért értékek, az azokra illesztett függvény (lilával) és a fát kifordítani képes erő ( $F_{ki}$ )

felbontású megnyúlásmérővel szereljük fel a mérés során. Természetesen ezek is hőmérséklet-kompenzáltak, időbeli felbontásuk pedig 1 Hz (lásd 3. ábra).

A sodronykötélben létrehozott erőt egy erőmérő méri, mely két omega séklivel (vonószemmel), egyikkel a vonzóhoz, a másikkal a rögzítési pont heveder köteléhez kapcsolódik. A mérhető maximális erő 50 kN, míg a felbontás 10 N, a mintavételezés pedig 1 Hz-cel történik.

### 2.3 A mért eredmények és értelmezésük – húzás alapján számítható biztonsági faktorok

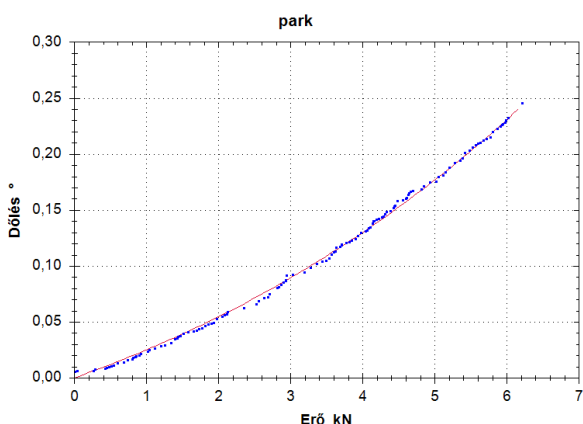
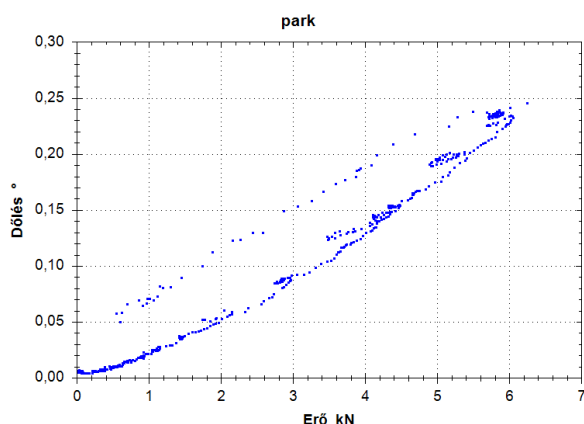
Elsőként nézzük meg a fa kifordulással szembeni biztonságosságát, húzóvizsgálat során ez a gyakoribb kérdés. Kifordításos kutatásokból tudjuk, hogy a fa tövének dőlése egy polinommal módosított tangens függvényt követ [11], lásd 4. ábra.

A húzásra jellemző függvény:

$$\varphi_c = 0,333 \tan\left(1,35 \frac{F}{F_{ki}}\right) + 0,333 \left(\frac{F}{F_{ki}}\right)^2 - 0,1 \left(\frac{F}{F_{ki}}\right), \quad (1)$$

ahol:

- $\varphi_c$  – az illesztett dőlés,
- $F$  – a mért erő [N],
- $F_{ki}$  – a fát gyökerestől már éppen kifordítani képes erő [N].



5. ábra: Egy húzóvizsgálat során mért nyers adatok (balra) és a szűrt adatok az illesztett görbével (jobbra)

Ezt tudjuk majd a mért adatokra illeszteni és extrapolációval meghatározni  $F_{ki}$  értékét.

A mérés során kapott nyers adatokat, a vonzóval történő, nem egyenletes húzás miatt először szűrni kell, különben mind a húzások, a rögtön utánuk történő relaxáció és a visszaengedés is látszik a görbén, melyekkel nem kell foglalkozni a függvényillesztés során, lásd 5. ábra.

A húzás közben mért dőlés és az erő adatokból megkapjuk a kifordításhoz elegendő, a húzással egyirányú erőt. (Vagyis, ha ugyanazt a fát más szögben húzzuk meg, más magasságba kötjük a kötelet és/vagy a horgonyzás helye megváltozik, akkor az itt kapott erő is megváltozik.) A további számítások során ezt kiküszöbölendő jelenik meg a húzás geometriájából származó  $\cos \alpha$  tényező, az  $\alpha$  a sodronykötél szöge, lásd 1. ábra.

Biztonsági tényezőt a teherbírás és a várható terhelés hányadosaként kapunk. Ez esetben tisztán szélterheléssel számolunk. A szélerő:

$$F_{szél} = 0,5 \rho_{levegő} c_{fafaj} A_{korona} v_{szél}^2, \quad (2)$$

ahol:

- $\rho_{levegő}$  – a levegő sűrűsége (a hőmérséklettől függ, de általában 1,2 kg/m<sup>3</sup>-t használunk),
- $c_{fafaj}$  – fafaj függő ellenállási tényező [-],
- $A_{korona}$  – a korona szélnek kitett felülete [m<sup>2</sup>],
- $v_{szél}$  – szélsébség [m/s] [12].

A szél forgatónyomatéka:

$$M_{szél} = 0,5 \rho_{levegő} c_{fafaj} A_{korona} v_{szél}^2 h_{kk}, \quad (3)$$

ahol  $h_{kk}$  a korona közepének magassága [m].

A biztonsági faktor:

$$SF_{gyökér\_húzás} = M_{ki} / M_{szél}, \quad (4)$$

ahol:

$M_{ki}$  – a fát tövestől kifordítani képes forgatónyomaték.

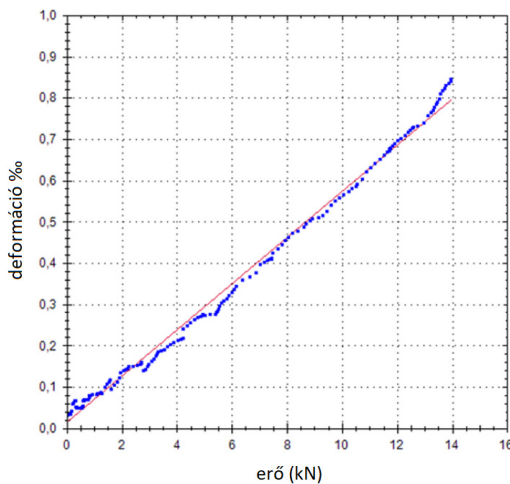
$$M_{ki} = F_{ki} L \cos \alpha, \quad (5)$$

ahol:

- $L$  – a kábel (kötél) magassága a vizsgált fán [m],
- $\alpha$  – a (sodrony) köté szöge,

vagyis a kifordulásra vonatkozó biztonsági faktor:

$$SF_{gyökér\_húzás} = (F_{ki} L \cos \alpha) / (0,5 \rho_{levegő} c_{fafaj} A_{korona} v_{szél}^2 h_{kk}). \quad (6)$$



6. ábra: Húzóvizsgálat során mért megnyúlás értékek, és az illesztett lineáris függvény

A számítás során általában 120 km/h szélsősebességet használnak, azonban, ha az adott területen vagy helyzetben (pl. szélcsatornaként működő utca) a várható szélsősebesség ennél nagyobb, akkor azzal kell számolni.

Ha a biztonsági tényező 1 alatti érték, az magas kockázatot jelent, a fa jelen állapotában valószínűleg kifordul, ha a számítás során használt nagyságú széllelőkések érik. A biztonsági tényező 1 és 1,5 közötti értékei közepes kockázatot jelentenek, a számolás során használt értékek bizonytalanságai miatt nem állítható biztosan egy fáról, hogy az biztonságos csupán azért, mert a biztonsági tényező 1 egész.

Ezek az értékek arra hívják fel a figyelmet, hogy (sürgős) beavatkozás szükséges, mely lehet a koronaterület és/vagy a magasság csökkentése is, nem csak a fa eltávolítása.

A biztonsági tényező 1,5 és afölötti értékei esetén alacsony annak a kockázata, hogy a fa kifordul adott sebességű széllelőkések esetén.

Ha megnyúlásmérővel (is) mértünk a húzóvizsgálat során, akkor a törzs ketté törésére (is) számolhatunk biztonsági tényezőt a faanyag rugalmas tulajdonságait használva fel. Természetesen itt is a teherbírás és a terhek hányadosát keressük, amihez a kettétöréshez szükséges erőt számítjuk ki, ezúttal egy matematikailag egyszerűbb, lineáris függvényt használva [13].

A húzóvizsgálat során a sodronykötélben ébredő erőt és a megnyúlásmérők által mért hosszváltozásokat (ami megnyúlás és összenyomódás is lehet) mérjük. Ez utóbiból relatív megnyúlást (összenyomódást) számolunk, majd a relatív deformáció-erő pontokra függvényt illesztünk, lásd 6. ábra.

A lineáris összefüggés általában a rugalmasság határáig áll fenn. Kísérletekből tudunk, hogy a törzs kettétörése a rugalmassági határ elérésekor következik be. A rugalmassági határ fafaj függő, értékét az ún. „stuttgarter” táblázatból vesszük, tipikus értéke 0,26 % [14]. A kettétöréshez szükséges erőt a függvény illesztés után könnyen számolható, melyből a korábbiakhoz hasonlóan kaphatjuk meg a forgatónyomatékot, a kötélmagasságának és szögének segítségével. Az így kapott  $M_{\text{törés}}$  az a forgatónyomaték,

mely képes kettétörni a törzset a mért magasságban (ahol a megnyúlásmérő volt).

Utolsó lépés a kettétöréshez szükséges és a szél forgatónyomatékainak összehasonlítása, vagyis a biztonsági tényező:

$$SF_{\text{törzs\_húzás}} = M_{\text{törés}} / M_{\text{szél}} \quad (7)$$

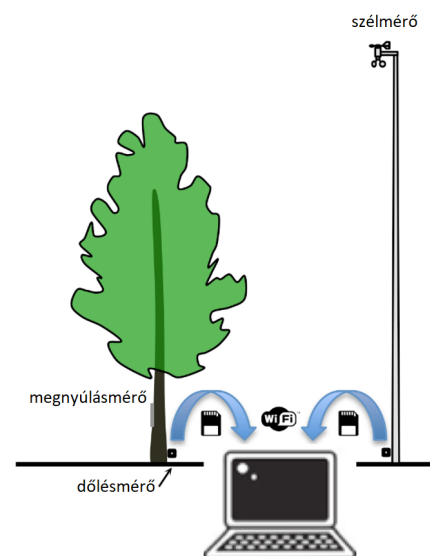
Értelmezése a kifordulásra vonatkozó biztonsági faktórhoz hasonló, az eltérés a lehetséges káresemény (jelen esetben a törzs kettétörése).

### 3. Dinamikus vizsgálat

A dinamikus vizsgálat, vagy néha dinamikus „húzóvizsgálat” célja azonos a húzóvizsgálatéval, itt is az a kérdés, hogy a vizsgált fa képes-e kiállni egy komoly vihart anélkül, hogy kifordulna vagy a törzse ketté törne. Ez a mérés széles időben történik, a kisebb széllelőkésekre adott válaszokból következtünk a viharosabb időben várható értékekre. A korábbihoz hasonlóan a törzs többi dőlését és/vagy a törzs egy magasságbeli deformációját, illetve, természetesen a szélsősebességet kell mérni, ahogy a 7. ábra mutatja [15].

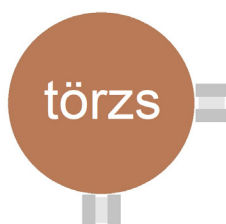
#### 3.1 Kivitelezés

A dőlésmérőt a vizsgálni kívánt fa törzsén, a talajhoz a lehető legközelebb kell elhelyezni. A dinamikus mérés során kettő megnyúlásmérőt kell a vizsgálandó (a leggyengébb) magasságban rögzíteni. Ennek az az oka, hogy míg a húzás során tudjuk, milyen irányból érkezik a húzás, a teher, addig a szélirány egyrészt előre nem is jósolható meg teljes bizonyossággal, másrészt, könnyen lehet, hogy a mérés ideje közben is megváltozik. A két megnyúlásmérőt egymásra „merőlegesen” (lásd 8. ábra), egymástól 90°-ra kell elhelyezni. Így az általuk mért deformációk már megfelelő információt szolgáltatnak. (Lehet több dőlésmérőt is használni, azonban a dőlésmérő két tengelyen képes egyszerre mérni, így nem szükséges egyenlő többlet helyezni fel [4].)



7. ábra: A dinamikus vizsgálat sematikus rajza





**8. ábra:** A dinamikus vizsgálat során a megnyúlásmérőket egymástól 90°-ban kell felrögzíteni a mért fa törzsére (azonos magasságban)

Szélesség adatokat akár meteorológiai mérőpontokról is kaphatunk; ha azok elég közel vannak a mérés helyszínéhez (szerencsés esetben ez akár néhány km-t is jelenthet), és az ott lévő szélmérő képes legalább másodpercenként mérni [16]. Általában azonban egy hordozható toronyra, pontosan 10m-es magasságba rögzítjük a szélmérőt. A toronynak a vizsgált fa közelében, nem szélárnyékban, az uralkodó széliránynak megfelelően (a szél előbb érje a szélmérőt, mint a fát) kell állni. Fontos, hogy a torony tetején a szélmérő ne lengedezzen, vagyis fontos, hogy a torony merev legyen és megfelelően legyen kikötve.

A mérés általában a szélmérő felhelyezésével és a torony felállításával kezdődik, majd rögzítjük az érzékelőket. Mivel egy területen több fa is állhat, így, ha több dőlés- és/vagy megnyúlásmérőnk van, akkor több fa is vizsgálható párhuzamosan. Miután elindult az adatgyűjtés, a rendszer magára hagyható. A mérést legalább egy órán át kell folytatni, de nem ritka, hogy egy-két nap után fejezik csak be [17].

### 3.2 Méréstechnikai részletek

A dinamikus vizsgálat során használt dőlésmérő és megnyúlásmérő érzékenységeiben, felbontásában azonos a húzóvizsgálatnál használtakkal. Mivel a dinamikus mérés időben sokkal hosszabb, és nem szükséges, hogy bárki felügyelje, ezért az egységek saját, külső akkumulátorral és belső adattároló egységgel rendelkeznek. A mérés kiértékelhetősége miatt nagyon fontos, hogy időben párosítani



**9. ábra:** 10 méteres pneumatikus torony, tetején a szélmérővel

tudjuk a dőlés és/vagy megnyúlás és a szélesség adatokat, ezért az érzékelők GPS-t is tartalmaznak és az óra-jel is tárolásra kerül az aktuálisan mért adatokkal együtt (a helyszín is tárolható, ez opcionális).

Többféle mechanikus, kanalas, illetve ultrahangos szél-mérőt is használnak dinamikus mérésekhez. Az elvárt paraméterek: másodpercenként legalább 1-szer mérjen, méréstartomány 0-150 km/h, pontosság 0,2 km/h és természetesen az időjárásállóság, hiszen dinamikus mérést gyakran végeznek esős, viharos időben.

### 3.3 A mért eredmények és értelmezésük – dinamikus vizsgálat alapján számítható biztonsági faktorok

A valós szélben történő mérés előnye, hogy az több, részben csak becsülhető tényezőt (pl. koronaterület) foglal magába, a számítás során látni fogjuk, hogy ennek megfelelően egyszerűsödnek a biztonsági tényezők. A másik oldalon viszont az a megfigyelés áll, mi szerint nincs közvetlen kapcsolat a szélesség és a fa reakciója, töben mérhető dőlése vagy épp törzsének deformációja között. Ez a fa rugalmasságával magyarázható, a fa, mint egész, mint rendszer képes energiát tárolni, majd viszonylag hirtelen, egy nagyobb „kilengéssel”, „kipattanással” adni le a felgyűlt energiát. A tárolt energia, ennek leadása, így a dőlés vagy deformáció egy 5-10 perces intervallumot vizsgálva már összefüggésben van a széllökésekkel. A dinamikus mérés kiértékelése tehát statisztikai alapokon nyugszik, a számításokat a megfelelő program végzi.

A mért adatok tehát a dőlés/deformáció és a széllökések sebességei, ez utóbbiakból szélnyomást számítunk. (A nyomás definíciója alapján a szélerőt osztjuk a felülettel, valamint a fafajfüggő ellenállástényezővel.)

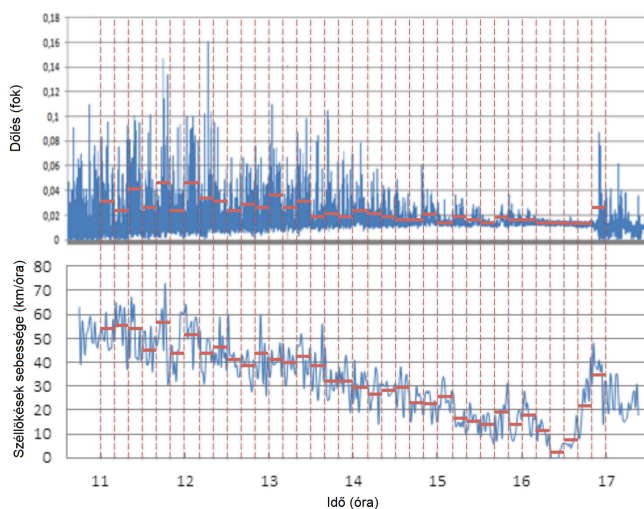
$$p_{\text{széllökés}} = 0,5 \rho_{\text{levegő}} v_{\text{széllökés}}^2, \quad (8)$$

ahol:

$\rho_{\text{levegő}}$  - a levegő sűrűsége [kg/m<sup>3</sup>],

$v_{\text{széllökés}}$  - az adott széllökés sebessége [m/s].

A dőlés/deformáció és a szélnyomás adatokat



**10. ábra:** A dőlés és a szélesség mért adatai azonos időintervallumban, pirossal a kiértékeléshez választott időablakok

intervallumonként rendezí párba a program, majd az így kapott pontokból készítf grafikont, illetve illeszt rájuk függvényt.

Amikor a dölést vizsgáljuk, a húzóvizsgálatnál bemutatott (1) egyenlethez hasonló tangens függvényt illesztünk, melyből extrapolálással megkapjuk a  $p_{ki}$  nyomásértéket, vagyis azt, amely szélnyomás képes tövestül kifordítani a fát.

Ahhoz, hogy biztonsági tényezőhöz jussunk, a korábbi logika mentén a terheléssel, vagyis a 120 km/h, vagy a várható maximális sebességű széllekeések által létrehozott szélnyomással kell összehasonlítani.

$$p_{szél} = 0,5 p_{levegő} v_{szél}^2 \quad (9)$$

A dinamikus vizsgálat során, a fa tövestül kifordulására vonatkozó biztonsági tényező:

$$SF_{dinamikus\_ki} = p_{ki} / p_{szél} \quad (10)$$

Érdekes lehet ennek összehasonlítása a húzóvizsgálat biztonsági tényezőjét bemutató (4) egyenlettel, majd a lehetséges egyszerűsítés elvégzése:

$$SF_{gyökér} = \frac{M_{ki}}{M_{szél}} = \frac{p_{ki} A_{korona} h_{kk} c_{fafaj}}{p_{szél} A_{korona} h_{kk} c_{fafaj}} = \frac{p_{ki}}{p_{szél}} \quad (11)$$

Ekkor világosan látszik, hogy a dinamikus mérés során nincs szükség a korona területének és középmagasságának mérésére, becslésre, ahogy a fafajfüggő ellenállás tényezőre sem.

A törzs deformációja is a húzóvizsgálatnál leírthoz hasonlóan viselkedik, lineáris az összefüggés, melyből meghatározható a  $p_{törés}$ , vagyis az a nyomás, mely már képes kettétörni a törzset az adott magasságban. Ezt is a viharos időben várható szél által létrehozott szélnyomással kell összehasonlítani. Így a törzs kettétörésére, dinamikus vizsgálatlal meghatározható biztonságossági tényező:

$$SF_{dinamikus\_törés} = p_{törés} / p_{szél} \quad (12)$$

A biztonsági tényezők értelmezése a húzóvizsgálatnál leírtakkal azonos.

## 4. Összefoglaló

Húzóvizsgálatl, vagyis azzal, hogy mi történik, ha egy fa lombjában valamelyik vázágra kötelet rögzítenek, majd meghúzzák a fát, már több, mint harminc éve foglalkoznak a favizsgáló szakemberek. Ha a vizsgálat során a törzs töben, a fa talajhoz a lehető legközelebb történő dölését vizsgáljuk, a gyökérzet állapotáról kapunk információt.

A húzóvizsgálat kiegészíthető nagyon pontos megnyúlásmérőkkel is, melyeket a törzs egy-egy rétegére helyezve az adott réteg állapotát mérhetjük fel annak rugalmas tulajdonságainak segítségével.

A dinamikus vizsgálat során szintén a töbeli dölést és/vagy a megnyúlást a törzs egy adott rétegén mérjük, a kötelet azonban valós szél váltja fel.

Mindkét mérés célja a gyökérzet és/vagy a törzs biztonságosságának felmérése, elsősorban szélterhelés szempontjából. A dinamikus mérés kiértékelése során jóval kevesebb paramétert kell megbecsülni, hiszen a mérés is valós helyzetben, valós széllal történt.

## Irodalomjegyzék

- [1] Dwyer, J.F., Nowak, D.J., Noble, M.H., Sisinni, S.M.: Connecting people with ecosystems in the 21st Century: An assessment of our nation's urban forests. In General Technical Report PNW GTR-490; Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station: Portland, OR, USA, 2000; pp. 486
- [2] Sinn, G., Wessolly, L.: A contribution of the proper assessment of the strength and stability of trees. *Arboric. J.* 13, 1989, pp. 45–65.
- [3] Kane, B., Clouston, P.: Tree pulling tests of large shade trees in Genus Acer. *Arboric. Urban For.* 34. 2008, pp. 101–109.
- [4] Bell, H. J., Dawson, A. R., Baker, C. J., Wright, C. J.: Tree stability. In: Hodge, S.J. (Ed.), *Research for Practical Arboriculture*. HMSO, London, University of York. 1991. Pp. 94–101.
- [5] James K. R., Kane B.: Precision digital instruments to measure dynamic wind loads on trees during storms. *Agricultural and Forest Meteorology* 148. 2008. pp. 1055–1061.
- [6] Fathi, S.: The reliability and applications of dynamic tree stability inspection, Dissertation for doctoral (PhD) degree University of Sopron József Cziráki Doctoral School, 2020.
- [7] Rahardjo, H., Harnas, F. R., Indrawan, I. G. B., Leong, E. C., Tan, P. Y., Fong, Y. K., Ow, L. F.: Understanding the stability of Samanea saman trees through tree pulling, analytical calculations and numerical models, *Urban Forestry & Urban Greening*, Volume 13, Issue 2, 2014, pp. 355-364, ISSN 1618-8667, <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2013.12.002>.
- [8] Előadás: Ferenc Divos: Tree dynamics - converting a static load test into a dynamic test, Wrocław, TREE ASSESSMENT CONGRESS, February 28 – March 1, 2019.
- [9] Manual for Pulling Test, Fakopp, 2021, <https://fakopp.com/docs/products/pullingtest/PullingTestManual202103.pdf>
- [10] Fathi, S., Divos F., Bejo L.: Comparison between Two Methods of Non-Destructive Evaluation of Standing Trees, 2019, [https://www.ndt.net/article/ndt-canada2019/papers/Fathi\\_2019136-2019\\_ShadabehFathi\\_Final.pdf](https://www.ndt.net/article/ndt-canada2019/papers/Fathi_2019136-2019_ShadabehFathi_Final.pdf)
- [11] szerk. Buza Ágnes Kinga: Haladó faápolás és favizsgálat – kézikönyv szakemberek számára: Haladó műszeres favizsgálatok, Dobre Kadry. Research and Training Centre Ltd, Wrocław 2021
- [12] Lajos Tamás: Az áramlástan alapjai. Előadás jegyzet, Budapest, 1992. <https://mek.oszk.hu/00500/00584/00584.pdf>
- [13] Brudi E., van Wassenae P. J.: Trees and Statics: Nondestructive Failure Analysis. In: *Tree Structure and Mechanics Conference Proceedings: How Trees Stand Up and Fall Down*. International Society of Arboriculture, Champaign, Illinois, 2002. pp.53-70.
- [14] Wessolly L., Erb M.: *Handbuch der Baumstatik und Baumkontrolle*. Patzer Verlag, Berlin, Germany. 1998.
- [15] Suchocka, M.: Advanced tress assessment techniques – possibilities and limitations. *Urban areas and Landscape*: 43.
- [16] Bejo L., Divos F., Fathi, S.: Dynamic root stability assessment-basics and practical examples. General Technical Report-Forest Products Laboratory, USDA Forest Service FPL-GTR-249, 2017. pp. 270-277.
- [17] Manual for the DynaTree dynamic root and trunk evaluation system, Fakopp, 2021, <https://fakopp.com/docs/products/dynaroot/UserManualDynaTree2021.pdf>



## A fűrészáru szilárdsági osztályozásának nemzetközi gyakorlata és hazai kutatási eredményei

International practice and Hungarian research regarding structural lumber grading

Bejó László<sup>a</sup>, Sismándy-Kiss Ferenc<sup>b</sup>, Divós Ferenc<sup>c</sup>

<sup>a</sup>egyetemi tanár, Soproni Egyetem, Faipari és Műszaki Intézet, bejo.laszlo@uni-sopron.hu

<sup>b</sup>folyamatmérnök, IKEA Industry Sopron, skferenc@gmail.com

<sup>c</sup>ügyvezető, Fakopp Enterprise Bt., divos@fakopp.com

### Kulcsszavak

EUROCODE 5,  
fűrészáru,  
faszerkezet,  
szilárdsági osztályozás,  
szilárdságbecslés,  
dinamikus rugalmassági  
modulusz

### Keywords

EUROCODE 5,  
lumber,  
wooden structures,  
strength grading,  
strength prediction,  
dynamic MOE

### Absztrakt

A faanyag alacsony sűrűségének és viszonylag magas szilárdságának köszönhetően kitűnő szerkezeti anyag, azonban természetes változékonyságának köszönhetően sokszor megbízhatatlannak tartják. Szilárdsági osztályozással biztosíthatók a mérnöki alapelveken történő szerkezettervezéshez szükséges tervezési értékek. A cikk bemutatja a fa szilárdsági osztályozásának jelenlegi európai rendszerét, a szilárdsági osztályokat, a vizuális szilárdsági osztályozás módját és a gépi szilárdsági osztályozás lehetőségeit. Ezután ismertetésre kerülnek a Soproni Egyetemen történt, hazai fejlesztésű szilárdsági osztályozó berendezés ki- és továbbfejlesztése érdekében végzett vizsgálatok. A cikk bemutatja a kifejlesztett PLG berendezést, az annak minősítése érdekében végzett vizsgálatokat és azok eredményét. Bemutatásra kerülnek a minősítő algoritmus továbbfejlesztése érdekében végzett vizsgálatok, melyek során különböző becslő paramétereket értékeltünk, kiválasztva a szilárdságbecslés javítása szempontjából optimális kombinációkat. Végül bemutatásra kerül a PLG+ berendezés, a korábbi osztályozóberendezés továbbfejlesztett változata.

### Abstract

Due to its low density and relatively high strength, wood is an excellent structural material, but designers often consider it unreliable due to its high degree of natural variability. Strength classification can ensure the design values needed for creating engineered structures. The article describes the current system of lumber strength grading in Europe, visual strength grading parameters, and the various principles of instrumental strength grading. After that, research done at the University of Sopron is described, directed towards creating and improving a Hungarian lumber grading instrument. The PLG (Portable Lumber Grader) equipment is introduced, along with the test results on various size lumber that will be used for the accreditation of the machine. The article also shows the research done in order to improve the testing algorithm by using a number of further prediction parameters, and choosing the optimal combinations for strength prediction. Finally, the new and improved PLG+ instrument is introduced that is better suited for testing in an industrial setting.

## 1. Bevezetés

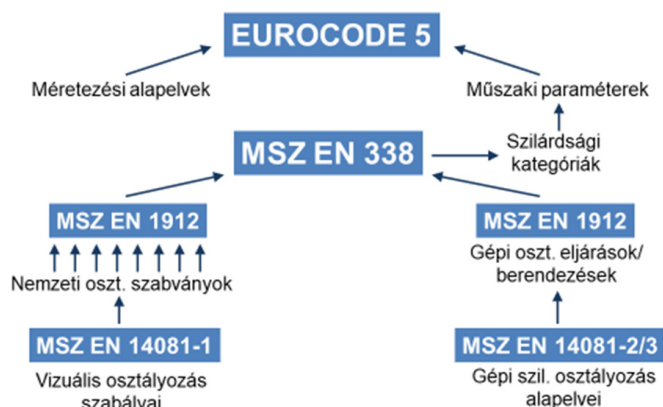
A faanyag a teherviselő szerkezeti anyagok között speciális szerepet tölt be. Egyfelől, kitűnő specifikus szilárdsági tulajdonságainak (a szilárdság sűrűséghez viszonyított értékének) köszönhetően nagyszerűen alkalmazható nagy méretű/fesztávú szerkezetek gyártásakor (alacsony önsúlyú teherviselő szerkezetek); nem véletlen, hogy több ilyen területen (pl. tetőszerkezetek gyártása) a mai napig közkedvelt alapanyag. Másfelől, a fa, mint természetes alapanyag, műszaki paraméterei nagy szórást mutatnak, így – nem teljesen indokolatlan módon – a statikus tervezők sokszor megbízhatatlannak tartják, és, a fa előnyei ellenére szívesebben dolgoznak a jól bevált és kiszámítható viselkedésű szilikát alapú, illetve fém építőanyagokkal [1, 2].

A faanyag mechanikai tulajdonságait számos tényező befolyásolja. A sűrűséget – melynek jelentős hatása van a szilárdságra – számos tényező befolyásolja, köztük elsősorban a fafaj, de szerepet játszanak pl. a fa növekedése során a termőhelyi viszonyok és klimatikus körülmények is. A fa makroszerkezeti sajátosságainak nagyon nagy szerepe van; fontos pl. a göcsök (ághelyek) jelenléte, a rostirány, az évgűrűszerkezet – ezek mindegyike jelentősen befolyásolja a faanyag teherbíró képességét. Még a fa szubmikroszkópikus szerkezete is fontos; különösképpen a sejtfal belső szerkezete, és azon belül is különösen az ún. mikrofibrilla szög (az elemi rostok lefutása a sejtfal hossz tengelyéhez viszonyítva). Végül, de nem utolsó sorban, a mechanikai tulajdonságokat jelentősen befolyásolja a fa károsodása, amelyet okozhatnak biotikus károsítók (gomba- és rovarfertőzés), de mechanikai behatások,

vagy akár technológiai okok is (pl. a vágásirány, vagy a fa száradása, aminek a során repedések alakulhatnak ki.)

A fenti okok miatt a faanyag szilárdságának (illetve a tervezéshez szükséges határfeszültségi értékeknek) a meghatározása nem egyszerű feladat. Erre nézve a világ, illetve Európa egyes országaiban eltérő gyakorlat alakult ki, amelynek során a fűrészárut általában különböző vizuális jegyek, vagy szilárdságbecslő paraméterek alapján szilárdsági osztályokba sorolják. A különböző országok eltérő gyakorlata azonban nem segíti elő az építőanyagok nemzetközi kereskedelmét. Emiatt az Európai Unióban olyan egységes szabványrendszert dolgoztak ki, amely keretet biztosít a faszerkezetek méretezésére, miközben nem írja felül az egyes országok nemzeti osztályozási módszereit (1. ábra) [3-7].

A faszerkezetek méretezésének szabályait az



1. ábra: A fűrészáru szilárdsági osztályozásának rendszere az MSZ EN szabványok alapján [3-7]

EUROCODE 5 szabvány [8] tartalmazza. A méretezéshez az egyes szilárdsági kategóriákhoz tartozó méretezési feszültség értékeket kell használni; ezeket az MSZ EN 338:2016 [3] szabvány adja meg. A faanyagokat a szabvány két fafajcsoportra osztja, és ezeken belül állapít meg szilárdsági kategóriákat: fenyő és nyár esetén 11 (C14, C16, C18, C22, C24, C27, C30, C35, C40, C45, C50), lombos anyagra pedig 6 (D30, D35, D40, D50, D60, D70) kategóriát, ahol a betűjelölés utáni szám a hajlítási határfeszültség értékével egyenlő.

A szilárdsági kategóriák megállapításához (azaz a szilárdsági osztályba soroláshoz) kétféle módszert használhatunk, melyeknek általános szabályait az MSZ EN 14081-es [5-7] szabványsorozat tartalmazza. A vizuális szilárdsági osztályozás általános szabályait az MSZ EN 14081-1 [5] rögzíti. A szabvány előírja, hogy a vizuális osztályozás során vizsgálni kell a faanyag göcsös-ségét, az évggyűrűszerkezetet, a rostlefutást, az esetleges tompaélűséget, a repedések jelenlétét, az alaki hibákat, a biológiai és mechanikai károsodásokat, az ún. reakciófa (a szélnyomás miatt megváltozott, eltérő tulajdonságú faszövet) jelenlétét, és bármilyen egyéb, a teherbírást potenciálisan befolyásoló tényezőt.

Az MSZ EN 14081-1 [5] szabvány nem határoz meg konkrét kritériumokat a fenti vizuális jellemzőkre vonatkozóan. Ezeket az egyes országok nemzeti osztályozási szabványai tartalmazzák. Minden ország gyakorlata eltérő, nem csak az osztályozási előírások, de a megállapított szilárdsági kategóriák tekintetében is, amelyek nem azonosak az MSZ EN 338-ban [3] előírt C illetve D osztályokkal. A nemzeti és nemzetközi osztályozási gyakorlat között a kapcsolatot az MSZ EN 1912-es [4] szabvány teremti meg. Ez a szabvány tartalmazza a megfeleltetéseket a nemzeti szabványban alkalmazott szilárdsági kategóriák és a nemzetközi szilárdsági osztályok között; pl. a német DIN 4074 szabvány [9] szerinti S13-as fenyő faanyag egyben megfelel a C24-es osztálynak, vagy a brit BS 4978 szabvány [10] GS kategóriája, amely fafajtól függően a C14-es vagy C16-os szilárdsági osztályba sorolható.

A vizuális megoldás mellett a másik lehetőség a gépi szilárdsági osztályozás, melynek általános leírását az MSZ EN 14081-2 [6] illetve 14081-3 [7] szabványok tartalmazzák. Ezek alapja valamilyen roncsolásmentesen mérhető szilárdságbecslő paraméter. Különböző kutatók és cégek többféle alapelven, vagy akár azok kombinációján alapuló eljárásokat dolgoztak ki, amelyek képesek a fűrészáru szilárdságának közvetlen becslésére, illetve – az EU országaiban – a szilárdsági kategória meghatározására. Ezeket az alapelveket és eljárásokat a következő fejezetben ismertetjük részletesen.

A gépi szilárdsági osztályozásnak több előnye is van a vizuális osztályozással szemben. E módszerek lényegesen gyorsabban és megbízhatóbban tudják meghatározni a szilárdsági kategóriát, mint a vizuális osztályozás, az üzemeltetésük pedig jelentősen olcsóbb mivel nincs, vagy csak nagyon alacsony munkaerő igényük van, és emellett magasabb szilárdsági osztályokba sorolást is lehetővé tesznek (a vizuális osztályozással elérhető legmagasabb

szilárdsági kategória egy kivétellel a C30). Hátrányuk elsősorban a jelentős beruházási költség. Ez főként annak köszönhető, hogy a kifejlesztésük során költséges vizsgálatokkal kell igazolni a megbízhatóságukat, mely jelentős számú fűrészáru szilárdságvizsgálatát (törésteszt) kívánja meg. Emellett egyes berendezések rendszeres kalibrációra is szorulnak, ami további költségtényező.

Magyarország a szerkezeti faanyag gyártása és alkalmazása tekintetében sajnos sok tekintetben le van maradva Európa többi országától. Az EU-s csatlakozást és szabványharmonizációt megelőzően Magyarországon is létezett fűrészáru osztályozási szabvány (MSZ 10144 [11]), ezt azonban nagyon ritkán alkalmazták. Eredeti formájában nem felelt meg az MSZ EN 14081:1 [5] szabvány követelményeinek sem, és nem volt elegendő érdeklődés a szabvány módosítására és harmonizálására az MSZ EN 1912-n [4] keresztül. Emiatt jelenleg nincs hazai nemzeti osztályozási szabvány. Az a kevés számú cég, amely Magyarországon fűrészáru szilárdsági osztályozással foglalkozik, a német nemzeti szabványt (DIN 4074 [9]) használja. Emellett sajnálatos az is, hogy a hazai statikus tervezők sok esetben csak egyetlen szilárdsági kategóriát (C24) ismernek, ami korlátozza a hazánkban termelhető és értékesíthető szerkezeti fűrészáru mennyiségét. Gépi szilárdsági osztályozást Magyarországon egyáltalán nem használnak.

A faanyag roncsolásmentes szilárdságbecslésével Magyarországon már a '90-es évek eleje óta foglalkoznak [12]. Ezeknek a vizsgálatoknak az eredménye lett a 2000-es években kifejlesztett PLG (Portable Lumber Grader) fűrészáru osztályozó berendezés [13]. A cikkben bemutatott kutatás célja ennek a berendezésnek a minősítése és további fejlesztése volt. A konkrét célkitűzések az alábbiak voltak:

- A meglévő osztályozó berendezés MSZ EN 14081 [5-7] szerinti minősítéséhez szükséges vizsgálatok elvégzése;
- A meglévő rendszer algoritmusának fejlesztése további becselő paraméterek bevonásával;
- Továbbfejlesztett osztályozó berendezés tervezése és megalkotása.

## 2. Műszeres fűrészáru osztályozási eljárások

A gépi fűrészáru osztályozás gyakorlata különböző szilárdságbecslő paraméterek roncsolásmentes vizsgálatán alapszik. Mint korábban említettük, számos tényező befolyásolja a faanyag szilárdságát. Ezek egy része – pl. a rostlefutás, bizonyos károsodások stb. – közvetlenül érzékelhető, más részük pedig a szilárdság mellett más, roncsolásmentesen értékelhető paramétereket is hasonlóan befolyásol (pl. rugalmassági modulusz), így ezek jó összefüggést mutatnak a szilárdsággal. Az alábbiakban bemutatjuk ezeket a paramétereket és a mérési alapelveket.

### 2.1 Az átlagos sűrűség mérése

A fűrészáru sűrűsége és szilárdsága közötti kapcsolat régóta jól ismert [1, 14]. Mikroszerkezeti szinten a fák



javarészt hosszúkas, csőszerű sejtekből épülnek fel. A sejtfa sűrűsége ( $1560 \text{ kg/m}^3$ ) fajfától és egyéb tulajdonságoktól független, állandó érték, a sejtüreg élő állapotban vízzel telített, az elhalt fában pedig általában üres. Ebből logikusan következik, hogy a nagyobb testsűrűség azt jelenti, hogy az adott anyagban nagyobb a sejtfa aránya, azaz a porózus anyag keresztmetszetében több anyag áll rendelkezésre a mechanikai terhelés felvételére.

Természetesen a fenti magyarázat általánosítás. Számos olyan egyéb tényező van, szubmikroszkópikus, mikroszkópikus, és makroszkópikus szinten egyaránt, ami szintén befolyásolja a szilárdságot, sok esetben jelentős mértékben. A sejtfa sűrűségén kívül annak szubmikroszkópikus szerkezete (és azon belül is elsősorban a korábban már említett mikrofibrilla szög), mikroszkópikus szinten pedig pl. a különböző típusú sejtek jelenléte és aránya (melyeknek csak egy része szolgálja a faanyag szilárdítását, míg a többi a víz és tápanyagok hossz- és keresztirányú szállítását, vagy azok tárolását végzi) is befolyásolja a szilárdságot, miközben nem feltétlenül befolyásolja jelentősen a sűrűséget.

A fentiekén túl átlagos sűrűség és a szilárdság összefüggését bizonyos makroszkópikus jellemzők is nagyon jelentősen rontják. Ezek közül is legfontosabb a göcsök jelenléte. A göcsök a fa növekedése során annak anyagába folyamatosan beágyazódó faszövet-részek. Jellegzetességük, hogy a rostirányuk jelentősen (jellemzően  $60-90^\circ$ -kal) eltér a fűrészáru hossz tengelyétől, és emellett sok esetben viszonylag lazán kapcsolódik a normál szöveti részekhez. Emiatt a hosszirányú mechanikai igénybevételekkel (különösen húzással) szemben elhanyagolható ellenállást mutat, tehát a szilárdságot jelentősen csökkenti. Ugyanakkor a göcsök szövete jellemzően nagy sűrűségű, azaz a fűrészáru átlagos szilárdságát ezzel párhuzamosan növeli.

A téglatest alakú fűrészáru átlagos sűrűsége nagyon egyszerűen mérhető; mindössze a fizikai méretek és a tömeg ismeretére van szükség. A fenti okoknál fogva azonban a sűrűség, mint szilárdságbecslő paraméter csak igen korlátozott pontossággal alkalmas a szilárdság becslésére ( $r^2 \approx 0,50 \dots 0,60$  [12]). Ennek ellenére a sűrűséget az egyszerű mérhetőség és egyéb okok miatt is előszeretettel alkalmazzák a szilárdság becslésekor, azért is, mert más eljárásokkal kombinálva nagyban pontosíthatja az eredményeit.

## 2.2 Szilárdságbecslés a fűrészáru lehajlásának mérésével

A sűrűség mellett az egyik legmegbízhatóbb szilárdságbecslő paraméter a faanyag rugalmassági modulusza (MOE). A MOE-t a faanyag fizikai, szubmikroszkópikus, mikro- és makroszerkezeti sajátosságai hasonlóan befolyásolják, mint a szilárdságot. Ezért a rugalmassági modulusz és a szilárdság között jellemzően igen jó összefüggés mutatkozik ( $r^2 \approx 0,75$  [12]).

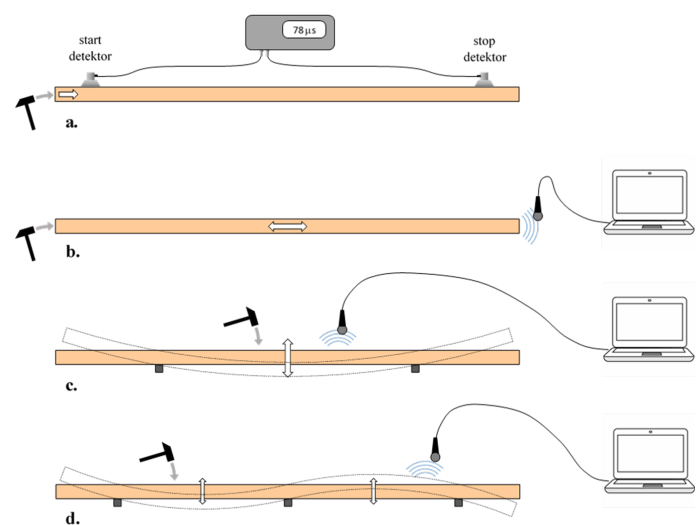
A MOE mérésére többféle lehetőség is kínálkozik. A hagyományos megoldás a faanyag fizikai deformációja. Mivel a faszervezetekben a mértékadó terhelés jellemzően

a hajlítás, így a legcélszerűbb a hajlító rugalmassági modulusz mérése. A gyakorlatban ezt gyártósori sebességgel mellett, terhelt görgők közötti átengedéssel szokták megvalósítani. Több gyártó is kínál ilyen alapelveken működő osztályozó berendezéseket, különböző mérési elrendezések alkalmazásával (3, 4 és 5 pontos hajlítás, kétirányú hajlítás stb.)

A hajlításra alapuló berendezéseknek is megvannak azonban a limitációi. A fűrészáru méretétől függően nem minden esetben lehet megfelelő deformációt létrehozni (különösen élükre hajlítani nehéz a pallókat, pedig a gyakorlatban ez a gyakoribb igénybevétel). Emellett az ismételt jelentős igénybevétel miatt a berendezések hajlamosak a mechanikai meghibásodásra, illetve az erőmérő cellák rendszeres (és általában elég költséges) kalibrációt igényelnek [15,16]. Emiatt a közvetlen hajlításos rugalmassági modulusz mérést ma már ritkábban alkalmazzák, a szerepét egyre inkább a vibrációs vizsgálatok veszik át.

Az MOE és a szilárdság közötti kapcsolat jó, de természetesen nem tökéletes. Bár a két paramétert a fizikai és szerkezeti sajátosságok hasonlóan befolyásolják, de a szilárdság szempontjából különösen meghatározó a faanyag jelentős inhomogenitása – a hirtelen sűrűségi és szerkezetbeli változások, amelyek feszültséggyűjtő helyként funkcionálnak és gyorsíthatják a tönkremenetelt.

(Fontos tudni, hogy a fa ún. viszkoelasztikus anyag. Ez azt jelenti, hogy az igénybevétel hatására létrejövő deformáció nagy része elasztikus, azaz a rugalmassági határon belül az igénybevétellel arányos, és azonnal megjelenő deformáció. A deformációnak viszont van egy viszkózus komponense is, amely lassabban megy végbe. Ennek megfelelően különbséget teszünk az ún. dinamikus és statikus rugalmassági modulusz között. A faanyag gyors hajlításával, és a vibrációs eljárásokkal is a dinamikus MOE mérhető, amely a viszkózus deformáció hiánya miatt



**2. ábra:** A fűrészáru rezgésein alapuló rugalmassági modulusz meghatározási eljárások:  
a) közvetlen hangsebesség mérés;  
b) longitudinális sajátrezgés mérés;  
c) és d) hajlítási sajátrezgés mérés, 1. ill. 2. módus

kb. 10 %-kal magasabb, mint a statikus MOE. Az eltérés a mérési eljárástól is függ. Szilárdságbecslés tekintetében ez általában nem jelent gondot, mivel az összefüggések megállapításakor mindig az adott módon mért rugalmassági moduluszra állítunk fel becslő modelleket.)

### 2.3 Szilárdságbecslés vibrációs eljárásokkal

A rugalmassági modulusz mérésére a közvetlen hajlítás mellett más, a faanyag rezgéseire alapuló eljárások is használhatók. Ezek kivitelezése sok esetben egyszerűbb és olcsóbb, mint a fizikai hajlítás, és kiküszöbölik az utóbbi hátrányait is (nincs szükség nagy terhelésekre, gyakori kalibrációra, és nem áll fenn a mechanikai meghibásodás veszélye.) Többféle vibrációs eljárás is létezik (2. ábra); mindezeknek megvannak a maga előnyei és limitációi [17].

A rugalmassági moduluszt legegyszerűbben közvetlen hangsebesség méréssel határozhatjuk meg. Ennek során az anyagban egy fizikai lökeshullámot indítunk el, és mérjük annak terjedési idejét két, ismert távolságú pont között, amiből kiszámíthatjuk a hang átlagos terjedési sebességét. A terjedési sebességből a rugalmassági modulusz hosszú, karcsú prizmatikus rudak (pl. fűrészáru) esetén az alábbi, nagyon egyszerű képlettel számítható:

$$E_{\text{long}} = \rho v^2, \quad (1)$$

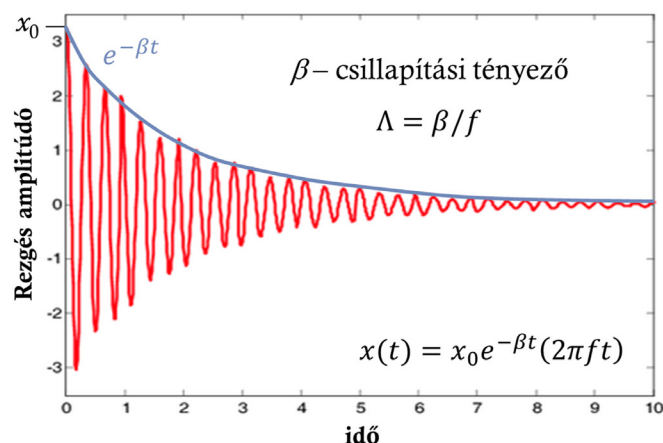
ahol  $\rho$  a faanyag sűrűsége, és  $v$  a hang terjedési sebessége.

A mérés kivitelezéséhez általában a fához rögzített gyorsulásérzékelőket használunk, a lökeshullámot pedig valamilyen fizikai behatással (pl. kalapácsütés) hozzuk létre. Mivel a lökeshullám terjedése során az anyag ismételtlen összenyomódik majd széthúzódik, a méréssel a húzó- és nyomórugalmassági modulusz egyfajta sajátos átlagát tudjuk meghatározni. A módszer hátránya, hogy viszonylag lassú és nehezen gépesíthető, ezért fűrészáru gyártás közbeni minősítésére ritkán használják (viszont például furnérok – a farönkök hámozásával előállított, 2-4 mm vastagságú, vékony falemezek – vizsgálatokhoz ezt a módszert alkalmazzák, furnéralapú szerkezeti termékek gyártásakor, ld. Brashaw [18]).

A hangsebesség meghatározására célszerűbb módszer a longitudinális sajátrezgési frekvencia mérése. A fűrészáruban terjedő hanghullám annak végei között oda-vissza pattanva rezgésbe hozza azt, és ennek a rezgésnek a frekvenciájából a hangsebesség egyszerűen meghatározható:

$$v = 2 f L, \quad (2)$$

ahol  $f$  a longitudinális sajátrezgési frekvencia, és  $L$  a fűrészáru hossza. A sajátrezgési frekvencia meghatározásához a rezgéseket általában mikrofonnal érzékeljük, amiből a frekvenciát gyors FFT analízissel határozzuk meg. A mérés során a lökeshullám mellett más forrásból származó rezgések (pl. felületi hullámok, nyíróhullámok, a belső szerkezetből adódó többszörös visszaverődések) is jelentkeznek. Ideális esetben a nyomó-húzó lökeshullámból származó frekvencia adja a legerősebb jelet, de érdemes előre kijelölni, hogy mely tartományban várható ennek a frekvenciának a jelentkezése.



3. ábra: Csillapítási tényező ( $\beta$ ) és logaritmusos dekrementum ( $\Lambda$ )

A hangsebességmérésen és longitudinális rezgéseken alapuló eljárás hátránya, hogy a faanyag keresztmetszetének csak egy részére kiterjedő, a szilárdságot jelentős mértékben befolyásoló jellegzetességek (pl. akár jelentős méretű göcsök) nem befolyásolják jelentősen a terjedési sebességet, mivel a hanghullám „elkerüli” a korlátozott kiterjedésű anomáliát (pontosabban szólva: a hullámfront csak minimális mértékű torzulást szenved). Így a számított MOE értékek és a hajlítószilárdság közötti összefüggés kevésbé szoros, különösen göcsös anyag esetében. Ezért a módszert érdemes kiegészíteni valamilyen további szilárdságbecslő eljárással, amely a göcsök és egyéb, helyi jellegzetességek kimutatására is alkalmas.

Míg ezek a korlátozott kiterjedésű anomáliák a rezgés frekvenciáját kevésbé befolyásolják, a rezgés energiájának egy jelentős részét el tudják nyelni. Ennek megfelelően a rezgés csillapodása alkalmasabb lehet az ilyen problémák kimutatására. Ilyenkor a csillapodó rezgés csillapítási tényezőjét, vagy az ún. logaritmusos dekrementumot (3. ábra) használjuk becslő paraméterként. A csillapodást sokan igyekeztek vizsgálni és bevonni a becslő paraméterek közé, azonban az energia elnyelésére számos egyéb tényező is hatással van, így ennek a megoldásnak is megvannak a korlátai.

További lehetőség a hajlító sajátrezgési frekvencia (és csillapodás) mérése. Ilyenkor az anyagot két (vagy több) rugalmas támaszra helyezzük, és a támaszok között, a hossz tengelyre merőlegesen rezgésbe hozzuk azt. A rezgési frekvencia alapján a hajlító rugalmassági modulusz meghatározható. A számításhoz leggyakrabban a rezgést leíró differenciálegyenlet másodfokú közelítéséből származó Euler egyenletet használjuk:

$$E_{\text{trans}} = \left( \frac{2f_n}{\gamma_n \pi} \right)^2 \frac{mL^3}{I}, \quad (3)$$

ahol:

- $n$  – a rezgés módusa (két alátámasztás esetén 1, három alátámasztásnál 2, stb.),
- $f_n$  – az  $n$ . módusban mért sajátrezgési frekvencia,
- $\gamma_n$  – a módustól függő tényező ( $\gamma_1 = 2,267$ ;  $\gamma_2 = 6,249$ ),
- $m$  – a fűrészáru tömege,
- $I$  – a keresztmetszet másodrendű nyomatéka.



A (3) képlet hátránya, hogy a nyírásból származó alakváltozást nem veszi figyelembe, így a mért érték kissé pontatlan, de a különbség karcsú rudaknál (magasság:támaszköz  $\leq 1:20$ ) elég csekély. A Timoshenko-féle, negyedfokú közelítés pontosabb eredményt ad, és a nyírórugalmassági modulus meghatározására is lehetőséget ad, de nincs zárt formájú megoldása (ehelyett numerikus eljárással számítható), és két különböző módusban mért sajátrezgési frekvenciát igényel [19].

A mérés kivitelezése a longitudinális sajátrezgés méréséhez hasonló, azonban az eredményül kapott hajlítórugalmassági modulus jobban korrelál a hajlítószilárdsággal. A fűrészáru karcsúságának köszönhetően az Euler egyenlet általában jól használható, azonban, ha élére állítva mérjük a fűrészárut, már nem biztos, hogy megfelelő eredményt kapunk. A csillapodás értékelése itt is tovább finomíthatja az eredményeket.

## 2.4 Szilárdságbecslés optikai és lézeres letapogatással

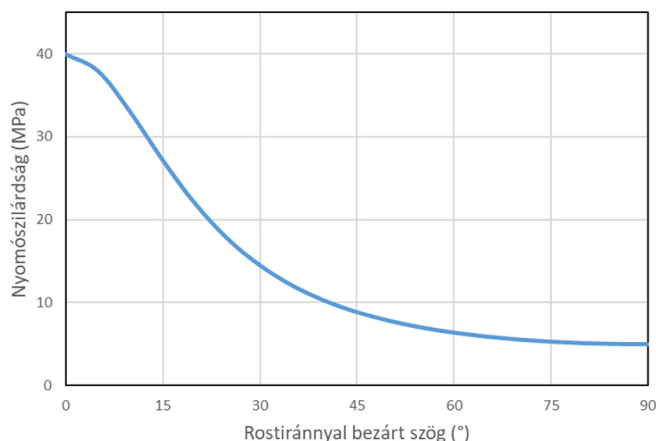
A fűrészáru lapfelületének, oldalfelületének, és a végeknek (az ún. bütüfelületnek) optikai letapogatásával gyakorlatilag ugyanolyan információt nyerhetünk, mint a vizuális értékeléskor. Ilyenkor a számítógépet „meg kell tanítani” az egyes fahibák és jellegzetességek felismerésére, és a szabályszerűségekre, ami alapján értékelheti, szilárdsági osztályba sorolhatja a fűrészárut. Ez utóbbi alapulhat valamelyik nemzeti osztályozási szabvány előírásain, vagy a berendezés fejlesztőjének a saját mérésein is.

A módszer alkalmazását a múltban nehezítették az informatikai rendszerek korlátai. Emiatt az osztályozás sokáig csak szűrkeskálás felvételeken alapult, ami nem mindig segítette a jellegzetességek pontos azonosítását, és elsősorban az egyszerűbb szerkezetű, fenyő faanyagon volt használható. A mai rendszerek sokkal kifinomultabbak, és a mesterséges intelligencia is sokat segített ezek fejlesztésében.

Az optikai módszerek pontosságát korlátozza, hogy a felületről csak kétdimenziós képet kapunk. Egyes jellegzetességek – pl. a repedések, tompaélűség stb. – felismeréséhez hozzájárul, ha a felület profiljáról is rendelkezünk információval. Erre biztosít lehetőséget a lézeres profil mérés, ahol egy, a felületre ferdén vetített (látható vagy infravörös) lézercsík parallaxikus eltolódásából számíthatjuk a felület kiemelkedéseit vagy besüllyedéseit. A két módszert gyakran alkalmazzák együttesen.

## 2.5 Lézeres rostirány térképezés

A faanyag szövete rostirányban a legerősebb; az ettől az iránytól való eltérés hatására a szilárdság meredeken csökken. Ezért a faanyag rostiránya erősen befolyásolja a szilárdságot (4. ábra). A rostirány jellemzően egy fűrészárun belül sem állandó; befolyásolja a különböző makroszerkezeti

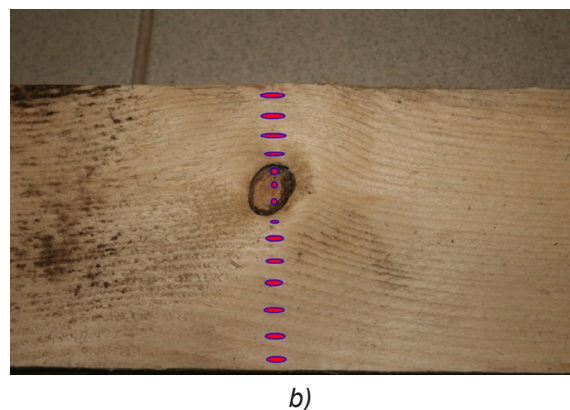
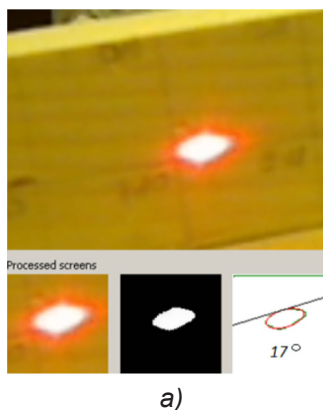


4. ábra: A faanyag nyomószilárdságának változása a rostirány függvényében (Hankinson [20] alapján)

sajátosságok. Különösen a göcsöknél és azok környezetében tapasztalható ún. zavarodott rostúság, a rostirány eltérése a longitudinálstól.

A rostirányt sok esetben nem egyszerű vizuálisan/optikailag értékelni, és az anyag sűrűségére sincsen hatással. A rostirány mérését az ún. tracheida effektus kihasználásával tudjuk elvégezni. Ennek lényege, hogy a faanyag felületére vetített kör alakú lézer pontot a fa rostszervezete eltorzítja, így egy többé-kevésbé elliptikus folt jelenik meg (5a. ábra). Az ellipszis hosszú tengelyének iránya megegyezik a rostirány felületi vetületével, a hosszú és rövid tengely arányából pedig az ún. bukási szögre, azaz a rostoknak a felszínnel bezárt szögére következtethetünk (bővebben ld. [21]).

A gyakorlatban a módszert úgy alkalmazhatjuk, hogy a fűrészáru áthaladásakor annak teljes szélességében lézer foltokat vetítünk (5b. ábra), majd az áthaladás során folyamatosan beolvassuk, és digitálisan kiértékeljük a foltok alakját. Így megrajzolhatjuk a fűrészáru teljes rostirány-térképét, amelyen látható a rostirány eltérése a hossz tengelytől. A módszer különösen jól alkalmazható a fenyő fűrészáru szilárdságát nagymértékben befolyásoló göcsök kimutatására. A göcsök közelében a fa rostszervezete zavarodott, magának a göcsnek a felülete pedig a meredek bukási szögekből érzékelhető.



5. ábra: a) A faanyag rostirányának vizsgálata a felületre vetített lézer folt torzulása alapján; b) a fűrészáru felületének szkennelése ([22, 23], a szerzők engedélyével)

## 2.6 A fűrészáru sűrűségprofiljának meghatározása

Míg, amint láttuk, a fűrészáru átlagos sűrűségéből a sok egyéb befolyásoló tényező miatt viszonylag kis pontossággal tudunk következtetni a fűrészáru szilárdságára, a sűrűség fűrészárun belüli eloszlása fontos információt jelent a szilárdsági osztályozás szempontjából. Az átlagosnál alacsonyabb sűrűségű részek a faanyagon belüli üregek (rovarrágás, repedések stb.) jelenlétére utalnak, míg a nagy sűrűségű göcsök jelenlétére a sűrűség hirtelen megnövekedése utal egy adott területen.

A sűrűségeloszlás meghatározása – csakúgy, mint más anyagok, vagy akár az orvosi alkalmazások esetében – az elektromágneses sugarak visszaverődése vagy elnyelése alapján történhet. Elméletileg erre a célra alkalmas lehet az alacsonyabb frekvenciájú mikrohullámú vagy infravörös sugárzás is, azonban ez, a nagyobb hullámhossznak köszönhetően viszonylag gyenge felbontást eredményez. A gyakorlatban ezért az alacsony hullámhosszú röntgen vagy – ritkábban – gamma sugárzást alkalmazzuk.

A fűrészáru sűrűségeloszlásának vizsgálatához használt nagy teljesítményű ipari röntgen berendezések jellemzően az átsugárzott energia jelerősségét mérik. A fűrészárut áthaladása közben teljes szélességében folyamatosan szkennelik, és megalkotják annak sűrűségértékét. A röntgenfelvételek segítségével mm-es, vagy annál jobb felbontású sűrűségértékét készíthetünk. Az eljárás önmagában ritkán alkalmazott a fűrészáru szilárdsági osztályozásához, mivel bizonyos jellemzőkről – pl. rostirány, mikrofibrilla szög stb. – nem ad információt, azonban nagyon jól kombinálható más eljárásokkal, a minél pontosabb szilárdságbecslés érdekében. (Megj.: a röntgensugárzáson alapuló tomográfia – CT – még jobb eredményeket szolgáltat, azonban a szilárdsági osztályozásra magas költsége miatt nem alkalmazzák. Létezik viszont a rönkök optimális felfűrészelését segítő nagyméretű ipari CT berendezés, melyekkel a nagy kapacitású óriás fűrészüzemekben olyan mértékű minőségjavulás érhető el, aminek köszönhetően a beruházási költség néhány év után megtérülhet).

## 2.7 Kombinált eljárások

A gyakorlatban az összes felsorolt mérési alapelvnek megvannak az előnyei és a korlátai. Emiatt önmagában egyik eljárással sem lehet a fűrészáru szilárdságát elég pontosan becsülni. Az eljárásokat szinte minden esetben kombinálni szokták egymással.

A leggyakoribb kombináció valamelyik rugalmassági modulusz mérési eljárás és az átlagos sűrűségmérés kombinálása. Ez gyakorlatilag elkerülhetetlen, hiszen a rugalmassági modulusz számításához a vibrációs eljárásokban mindig szükség van a fűrészáru sűrűségére vagy tömegére. Mivel az MSZ EN 338-as [3] szabványban a sűrűség és a rugalmassági modulusz karakterisztikus értéként szerepel, ez alapján a fűrészáru besorolása egyszerűen megoldható.

További eljárások beépítésével tovább pontosítható a becslés pontossága, elsősorban a göcsök méretére és

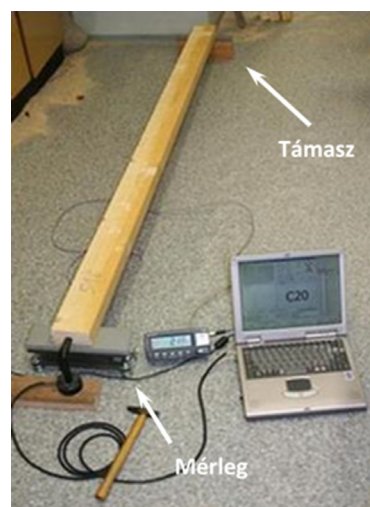
elhelyezkedésére vonatkozó információknak köszönhetően. Az eljárásoknak sokféle kombinációját használják. Ezek közül is kiemelkedik a Microtec cég Goldeneye rendszere, melynek legfejlettebb verziója akár hatféle eljárásból származó információk (longitudinális sajátrezgési frekvenciamérés, infravörös nedvességmérés, optikai és lézeres letapogatás, lézeres rostiránymérés és röntgen sűrűségmérés) kombinációjával nagyon pontos információt szolgáltat a fűrészáruról és annak szilárdságáról.

## 3. Anyagok és módszerek

A cikkben bemutatott kutatás egy nagy lélegzetvételű projektet ismertet, melynek során számos vizsgálat folyt, és rengeteg eredmény született. A cikk ezeknek a tömör és kivonatos összefoglalója. A kutatás két nagy fejezetből állt, amit az alábbiakban ismertetünk:

### 3.1 A PLG fűrészáru osztályozó berendezés minősítéséhez szükséges vizsgálatok elvégzése

A kísérletek során 436 db 5x10 cm keresztmetszetű 2 m hosszúságú légszáraz ( $16 \pm 2\%$ ), különböző szilárdsági osztályba tartozó lucfenyő (*Picea abies*), erdei fenyő (*Pinus sylvestris*) és vörösfenyő (*Larix decidua*) próbatesteken végeztünk kísérleteket. A fűrészáru osztályozására a korábbiakban kifejlesztésre került PLG hordozható fűrészáru osztályozó berendezést használtuk (6. ábra). A berendezés működése a longitudinális sajátfrekvencia mérésén alapul. A mért  $E_{long}$  értéket a berendezés korrigálja a statikus és dinamikus rugalmassági modulusz közötti különbségnek megfelelően, kiegészítve egy nedvességtartalom korrekcióval, valamint a göcsösség figyelembevételére egy további korrekciós paraméterrel. A korrekciós tényezők megállapítása korábbi magyarországi, illetve Japánban történt mérések alapján történt [24]. A berendezés a sűrűséget a fűrészáru méretei, és a tömeg mérése alapján határozza meg (a tömeget a berendezés a fűrészáru egyik végén elhelyezett támasznál méri, aminek a kétszerese adja a teljes tömeget, egyenletes



6. ábra: A PLG (Portable Lumber Grader) osztályozó berendezés



sűrűségeloszlást feltételezve). A rugalmassági modulusz számítása ezután a mért longitudinális sajátfrekvenciából az (1) és (2) egyenletek alapján történik, és a berendezés ezt korrigálja az alábbiak szerint:

$$E_{PLG} = \left[ E_{\text{long}} \left( 1 + \frac{u - 12\%}{50\%} \right) \right] 0,87 + 0,6 - 6,2 \text{ CKDR}, \quad (4)$$

ahol:

- $u$  – a fűrészáru nedvességtartalma (ellenállásos nedvességmérővel mérve);
- CKDR – koncentrált göcsátmérő arány (meghatározást ld. később, az (5) képleténél).

Az MSZ EN 338 [3] szerinti szilárdsági osztályba sorolás a fenti módon mért sűrűség és nedvességtartalom értékek alapján történt, a szabványban az egyes osztályokhoz megadott karakterisztikus sűrűség és rugalmassági modulusz értékek alapján. A besorolás alapja, hogy a fűrészárúnak mind a sűrűség, mind a szilárdság alapján teljesítenie kell az adott szilárdsági kategória előírásait.

### 3.2 További becsülő paraméterek vizsgálata fűrészáru osztályozó berendezés algoritmusának fejlesztéséhez

A vizsgált fűrészáruk osztályozását követően, a törésteszt elvégzése előtt, a vizsgált anyagok egy részén (243 próbatesten) további vizsgálatokat végeztünk. Ennek célja volt, hogy a PLG-s vizsgálati eredményeket további szilárdságbecslő paraméterekkel egészítsük ki, amelyekkel a szilárdságbecslés pontossága javítható. A mérések során a következő paraméterek felvételére került sor:

- **Göcssterület arány** (Knot Area Ratio, KAR). Ezt a paramétert gyakran alkalmazzák az európai vizuális szilárdsági osztályozási gyakorlatban, és a régi magyar osztályozási szabvány (MSZ 10144:1986 [11]) is ezt használta. A mérés azon alapul, hogy a göcsös részen a faanyagot képzeletben elvágjuk, és vizsgáljuk, hogy a keresztmetszetből mekkora arányt foglalnak el az átvágott göcsök. Mivel a fenyő anyag növekedése során az ágak általában azonos magasságban, ún. ágörvek formájában jelentkeznek, ezért a fenyő anyagban több göcsöt tartalmazó göcszónák jelennek meg (a 15 cm-es szakaszon belül található göcsöket úgy kell tekinteni, mintha egy keresztmetszetben lennének). A teljes keresztmetszetre értett

KAR-on túl külön kell vizsgálni a göcssterület-arányt a keresztmetszet alsó és felső 25 %-ában (azaz a hajlítás során kritikus, húzott és nyomott övben), és kiszámítani az ún. szegély göcssterület arányt (margin Knot Area Ratio,  $mKAR$ , 7a. ábra.)

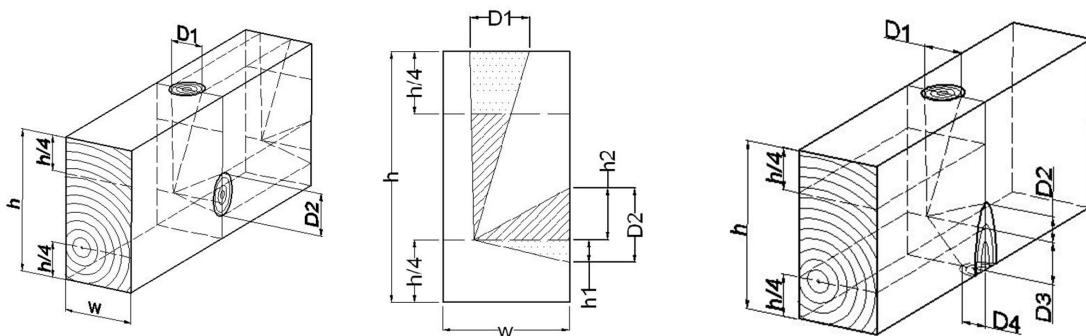
A KAR és az  $mKAR$  meghatározása nagy rutint és a faanyag növekedési sajátosságainak alapos ismeretét feltételezi. A kutatás során a minél pontosabb eredmények érdekében a göcsök méretét és elhelyezkedését minden esetben pontosan megmértük, és a keresztmetszetet ez alapján rekonstruáltuk, hogy a paraméterek pontosan számíthatók legyenek.

- **Koncentrált göcsátmérő arány** (Concentrated Knot Diameter Ratio, CKDR). Európában ritkábban alkalmazott paraméter, azonban pl. a japán osztályozási gyakorlatban ezt használják, könnyebb és egyértelműbb mérhetősége miatt. Ebben az esetben a felszínen látható (elliptikus göcsök esetében a fűrészáru hossz tengelyére merőlegesen mért) göcsátmérők összegét osztjuk a fűrészáru kerületével (ld. 7b. ábra):

$$CKDR = \frac{\sum D_i}{2(h+w)}. \quad (5)$$

A szegély göcssterület arányhoz hasonlóan itt is külön meghatároztuk a szegély göcsátmérő arányt ( $mCKDR$ ), ahol csak a fűrészáru alsó és felső negyedében látható göcsöket (átlógó göcsök esetén csak az átmérőnek a külső hányadát) vettük figyelembe.

- **Átlagos évgűrű szélesség** ( $a_{\text{átl}}$ )
- **Maximális évgűrű szélesség** ( $a_{\text{max}}$ )
- **Sűrűség** ( $\rho$ ) – tömeg és térfogat alapján
- **Statikus rugalmassági modulusz** ( $E_{\text{stat}}$ ) az EN 408-as [25] szabvány szerint
- **Dinamikus rugalmassági modulusz** ( $E_{\text{long1}}$ ) – longitudinális rezgéssel 1. módusban
- **Dinamikus rugalmassági modulusz** ( $E_{\text{long2}}$ ) – longitudinális rezgéssel 2. módusban
- **Dinamikus rugalmassági modulusz** ( $E_{\text{dyn1}}$ ) – hajlító rezgéssel 1. módusban, élére állított pozícióban
- **Dinamikus rugalmassági modulusz** ( $E_{\text{dyn2}}$ ) – hajlító rezgéssel 2. módusban, élére állított pozícióban
- **Csillapítás** ( $\Lambda \times 1000$ ) – mivel a logaritmusos dekrementum faanyag esetében alacsony érték, itt a tényező ezerszeresét használtuk. A csillapítást az  $E_{\text{dyn1}}$  mérés során értékeltük.



7. ábra: A KAR/ $mKAR$  és a CKDR/ $mCKDR$  meghatározásának alapelve

( $h$  – a próbatest magassági mérete;  $D_i$  – az egyes göcsök részleges vagy teljes átmérője, az ábrának megfelelően.)

A dinamikus tulajdonságok mérése során megfelelő, rugalmas támaszokat helyeztünk a próbatest alá (hajlító rezgések esetén a rezgési csomópontokba.) A rezgést kis fémkalapáccsal gerjesztettük, és mikrofon segítségével továbbítottuk a számítógépbe. A rezgéseket a számítógépre telepített FFT analízis program segítségével értékeltük, és a rugalmassági modulusz értékeket az így kapott frekvenciák alapján számítottuk az (1) és (3) képletek segítségével.

### 3.3 A hajlítoszilárdság és statikus rugalmassági modulusz mérése

A roncsolásmentes fűrészáru osztályozást és a további becslő paraméterek mérését követően került sor a próbatestek törésvizsgálatára. A törésteszteket 4 pontos hajlítási sémával végeztük, az MSZ EN 408:2010 [25] szabvány előírásainak megfelelően, a próbatestüket élükre állítva. A próbatestek méretétől függően a mérést kétféle anyagvizsgáló berendezésen végeztük. A kisebb, max. 2 m hosszúságú próbatestek méréséhez mechanikus meghajtású, FPZ 100/1 típusú anyagvizsgáló berendezést használtunk, 100 kN-os kapacitású erőmérő cellával határig mérő berendezés. A lehajlást nagy pontosságú, ME 46 típusú videoextensométerrel mértük.

A nagyobb próbatestek mérése a Soproni Egyetem faszervezetvizsgáló (TST) laboratóriumában, található MTS típusú anyagvizsgáló géppel történt. A berendezés hidraulikus meghajtású 200 bar-os üzemi nyomáson működő, 2 db 250 kN-ig terhelhető nyomófejjel rendelkezik. Az alakváltozás mérését e mérések során egy VA/100-as induktív elmozdulásmérővel mértük.

A töréstesztekre a roncsolásmentes vizsgálatokat követően néhány percen belül sor került, hogy az esetleges nedvességtartalom-változás hatásait minél inkább kiküszöböljük.

## 4. Eredmények és értékelés

### 4.1 A PLG fűrészáru osztályozó berendezés minősítése

A fűrészáru osztályozó berendezés minősítéséhez az MSZ EN 14081 [5-7] szabvány szerint 900 db próbatestre van szükség. Az itt bemutatott vizsgálatok ennek a mennyiségnek csupán szűk 50%-át jelentik.

A szabványnak való megfelelés tanúsításához a mérési eredményekből el kell készíteni az ún. Méret mátrixot és a Globális költség mátrixot (1. illetve 2. táblázat). A mátrixok az osztályozó berendezés által meghatározott szilárdsági osztályt (Mért osztály) hasonlítják össze a törésvizsgálattal meghatározott szilárdsági osztályokkal (Optimális osztály).

A Méret mátrix (1. táblázat) főátlójában azok a próbatestek találhatók, ahol az osztályozó berendezéssel ugyanazt a szilárdsági osztályt

határoztuk meg, mint a törésvizsgálattal. A főátló fölötti területen az ún. alulosztályozott próbatestek száma látható; ezeket az osztályozó berendezés az optimálisnál alacsonyabb osztályba sorolta, azaz a biztonság irányába tévedett. A méretezési szempontjából különösen kritikusak a főátló alatti, ún. felülosztályozott próbatestek – itt az osztályozó berendezés a valóságosnál magasabb szilárdsági osztályba sorolta a próbatesteket. A szabvány szigorú előírást tartalmaz, amely korlátozza a felülosztályozott próbatestek mennyiségét.

A Globális költség mátrixot (2. táblázat) a Méret mátrix alapján állítjuk elő, úgy hogy a próbatestek számát egy, a szabványban megadott súlyozó tényezővel szorozzuk. A súlyozó tényező annál nagyobb, minél nagyobb a felülosztályozás mértéke. Az adott szilárdsági osztályban akkor minősíthetünk, ha a Globális költség mátrix felülosztályozott tartományában (főátló alatti terület) egy érték sem éri el a 0,2-es határértéket. Ez a 0,2-es érték szintén a szabványban meghatározott állandó. A mi rendszerünk esetében ehhez az értékhez a legközelebb eső érték 0,16 (C35/C40), amely megfelel a szabvány előírásainak, így a műszer az előzetes eredmények alapján alkalmas bármelyik szilárdsági osztályban való mérésre.

1. táblázat: A vizsgált 432 próbatest alapján létrehozott Méret mátrix (R = reject, osztályon aluli)

| Optimális osztály | Mért osztály |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
|-------------------|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|
|                   | C50          | C45 | C40 | C35 | C30 | C27 | C24 | C22 | C20 | C18 | C16 | C14 | R  |
| C50               |              |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
| C45               |              |     | 1   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
| C40               |              |     | 1   | 5   | 4   |     | 1   |     |     |     |     |     |    |
| C35               |              |     | 1   | 1   | 4   | 3   | 1   |     |     |     |     |     |    |
| C30               |              |     |     | 2   | 7   | 7   | 2   | 4   | 2   |     |     |     |    |
| C27               |              |     |     |     | 1   | 4   | 2   | 6   | 0   | 2   | 2   |     |    |
| C24               |              |     |     |     | 1   | 3   | 6   | 10  | 2   | 1   | 1   | 1   |    |
| C22               |              |     |     |     |     | 1   | 3   | 19  | 9   | 6   | 10  | 5   |    |
| C20               |              |     |     |     |     |     |     | 7   | 7   | 7   | 9   | 3   |    |
| C18               |              |     |     |     |     |     |     | 2   | 4   | 2   | 23  | 11  | 4  |
| C16               |              |     |     |     |     | 1   |     | 1   | 1   | 1   | 12  | 20  | 45 |
| C14               |              |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 4   | 12  | 52 |
| R*                |              |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 1   | 66 |

2. táblázat: Az MSZ EN 14088 szabvány szerint elkészített Globális költségmátrix

| Optimális osztály | Mért osztály |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
|-------------------|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
|                   | C50          | C45  | C40  | C35  | C30  | C27  | C24  | C22  | C20  | C18  | C16  | C14  | R     |
| C50               | 0,00         |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
| C45               |              | 0,00 | 0,08 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
| C40               |              |      | 0,00 | 0,16 | 0,12 |      | 0,06 |      |      |      |      |      |       |
| C35               |              |      | 0,16 | 0,00 | 0,06 | 0,07 | 0,04 |      |      |      |      |      |       |
| C30               |              |      |      | 0,14 | 0,00 | 0,05 | 0,04 | 0,05 | 0,06 |      |      |      |       |
| C27               |              |      |      |      | 0,02 | 0,00 | 0,02 | 0,06 | 0,00 | 0,09 | 0,04 |      |       |
| C24               |              |      |      |      | 0,05 | 0,07 | 0,00 | 0,07 | 0,04 | 0,04 | 0,02 | 0,03 |       |
| C22               |              |      |      |      |      | 0,04 | 0,06 | 0,00 | 0,06 | 0,11 | 0,13 | 0,12 |       |
| C20               |              |      |      |      |      |      |      | 0,05 | 0,00 | 0,07 | 0,09 | 0,06 |       |
| C18               |              |      |      |      |      |      |      | 0,03 | 0,06 | 0,00 | 0,15 | 0,18 | 0,00  |
| C16               |              |      |      |      |      | 0,12 |      | 0,03 | 0,03 | 0,02 | 0,00 | 0,17 | -0,06 |
| C14               |              |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 0,03 | 0,00 | -0,08 |
| R*                |              |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 0,02 | 0,00  |



A felülosztályozás mellett érdemes szót ejteni az alulosztályozásról is. Míg az alulosztályozás nem jelent biztonsági kockázatot, gazdaságossági szempontból hátrányos, hiszen így nem használjuk ki megfelelően a fűrészáru teherbírási kapacitását. Mint az 1. és 2. táblázatból látható, a berendezés hajlamos a fűrészárut inkább alul-, semmint felülosztályozni. Mivel a faszerkezetek állékonysága kritikus, ezért ez voltaképpen így helyes, hiszen inkább legyen a szerkezet nagymértékben túlméretezett, semmint kismértékben alulméretezett és veszélyes. Ugyanakkor kívánatos az alulosztályozás mértékét csökkenteni, ami a minél pontosabb osztályozási eljárás alkalmazásával biztosítható. Ezt a célt szolgálja a kutatás második része, ahol a szilárdságbecslést további becslőparaméterek bevonásával igyekeztük pontosítani.

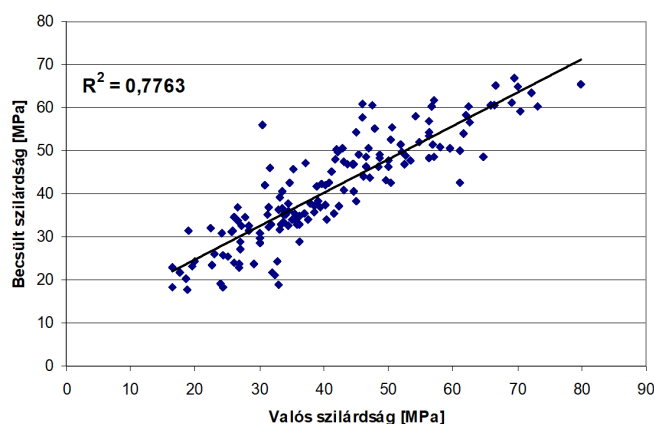
#### 4.2 Az osztályozás pontosságának javítása további becslő paraméterekkel

A becslő paraméterek meghatározása és a törővizsgálat után korreláció vizsgálatot végeztünk egyenként az összes vizsgált becslő paraméter és a hajlítószilárdság között. Az eredményeket a 3. táblázat mutatja. A táblázatból jól látható, hogy számos paraméter – köztük is elsősorban a különböző módon mért rugalmassági modulusz értékek – viszonylag jó korrelációt mutat a hajlítószilárdsággal. A legjobb eredményt ezek közül a dinamikus hajlítórugalmassági modulusz adta. Ez nem meglepő, hiszen a hajlítórezgések során létrejövő feszültségeket és deformációkat (és ezen keresztül a rezgési paramétereket) ugyanazok a tényezők befolyásolják, mint a statikus hajlítás esetén.

A becslés pontosságának javításához olyan optimális becslőparaméter-kombinációt érdemes létrehozni és használni, ami a lehető legjobb javulást eredményezi a lehető legegyszerűbb módon, azaz minél kevesebb extra mérés és hozzáadott költség nélkül. A becslés legjobban úgy javítható, ha olyan paramétereket kombinálunk, amelyek külön-külön jól korrelálnak a hajlítószilárdsággal, viszont egymással nincsenek szoros összefüggésben.

**3. táblázat:** Korrelációk az egyes közelítő paraméterek és a hajlítószilárdság között

| Paraméterek                                                                      | Korrelációs koefficiens (R) |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| Göcsterület arány (KAR)                                                          | 0,57                        |
| Szegély göcsterület arány (mKAR)                                                 | 0,59                        |
| Koncentrált göcsátmérő arány (CKDR)                                              | 0,51                        |
| Koncentrált szegély göcsátmérő arány (mCKDR)                                     | 0,54                        |
| Átlagos évggyűrű szélesség ( $a_{\text{atl}}$ )                                  | 0,50                        |
| Maximális évggyűrű szélesség ( $a_{\text{max}}$ )                                | 0,48                        |
| Csillapítás (logaritmusos dekrementum, $\Lambda \times 1000$ )                   | 0,72                        |
| Sűrűség ( $\rho$ )                                                               | 0,50                        |
| Statikus rugalmassági modulusz ( $E_{\text{stat}}$ )                             | 0,84                        |
| PLG-vel mért rugalmassági modulusz ( $E_{\text{stat}}$ )                         | 0,82                        |
| Rugalmassági modulusz, longitudinális rezgéssel, 1. módus ( $E_{\text{long1}}$ ) | 0,79                        |
| Rugalmassági modulusz, longitudinális rezgéssel, 2. módus ( $E_{\text{long2}}$ ) | 0,78                        |
| Rugalmassági modulusz, hajlító rezgéssel, 1. módus ( $E_{\text{dyn1}}$ )         | 0,83                        |
| Rugalmassági modulusz, hajlító rezgéssel, 2. módus ( $E_{\text{dyn2}}$ )         | 0,78                        |



**8. ábra:** A mért és a többparaméteres becslő modell segítségével számított szilárdsági értékek közötti összefüggés

PI. az egyes rugalmassági modulusz értékek egymással nagyon szoros kapcsolatban vannak ( $r^2 = 0,9...0,99$ ). Bár egyenként kitűnő becslő paraméterek, a kombinációjuk nem javítja jelentősen a becslés pontosságát.

A legjobb paraméterek kiválasztása érdekében elkészítettük a becslő paraméterek teljes mátrixát (ezt terjedelmi korlátok miatt itt nem adjuk közre, bővebben ld. Sismándy-Kiss [23]). A mátrix alapján kiderült, hogy a dinamikus hajlítórugalmassági modulusz mellett a becslést legjobban a szegély göcsterület arány és a csillapítás paraméterek bevonásával lehet javítani. Mivel a logaritmusos dekrementum a hajlítási sajátrezgés mérése során könnyen kiszámítható, így ez nem jelent extra mérést. A mKAR megállapítása vizuálisan, esetleg optikai letapogatással, rostírány méréssel, vagy a sűrűség térképezésével történhet – ennek során a teljes göcsterületarány (KAR) is könnyen számítható, így a végső becslő modellben érdemes e négy paramétert szerepeltetni. A többparaméteres lineáris modell illesztését STATISTICA® programmal végeztük, ennek eredménye a következő:

$$\sigma_h = 34,37 + 2,78 E_{\text{dyn1}} - 0,55 \Lambda - 10,06 \text{mKAR} - 23,19 \text{KAR} \quad (6)$$

ahol  $\sigma_h$  jelöli a fűrészáru 4 pontos terheléssel mért hajlítószilárdságát. Az ilyen módon előállított becslő paraméter és a hajlítószilárdság közötti kapcsolatot a 8. ábra mutatja. A korrelációs koefficiens 0,88, ami szignifikáns javulást jelent a PLG berendezéssel végzett becsléshez képest. A becslés hibája 8 MPa-ról 6,65 MPa-ra csökkent. Ennek megfelelően e becslőparaméterek kombinációjának alkalmazásával a fűrészáru osztályozó berendezés tovább fejleszthető, és mind az alul-, mind a felülosztályozási hiba jelentősen csökkenthető.

#### 4.3 A fűrészáru osztályozó berendezés továbbfejlesztése

A gyakorlati tapasztalatok alapján a PLG osztályozóberendezés továbbfejlesztésére kétféle lehetőség kínálkozik. Egyrészt, a többparaméteres regresszióvizsgálat alapján lehetőség van a szilárdság pontosabb becslésére, a (6) összefüggésnek megfelelően. Ehhez fejleszteni kell a mérések értékelését végző programot (ami viszonylag egyszerű feladat), és újból el kell végezni a minősítéshez



9. ábra: A PLG+ ipari környezetben használható fűrészáru osztályozó berendezés

szükséges vizsgálatokat, ami jelentős munka befektetését és költségeket jelent. Emiatt a becslési eljárás fejlesztésére egyelőre nem kínálkozik lehetőség.

Az ipari körülmények között végzett mérések rávilágítottak a PLG berendezés néhány gyakorlati gyengeségére is. Ez alapján a műszer gyakorlati szempontok figyelembevételével fejleszthető, az alábbi módon:

- A gyakorlatban a deszkák és pallók hosszmérete nem egyforma, akár több cm-t is ingadozhat. Ez a sokszor akár 4-5 méteres anyag vizsgálatakor hosszadalmas méricskélést és adatbevitelt jelent, ami nagyban lelassítja a mérést.
- A gyakorlati próbák során kiderült, hogy az anyagok mozgatása és a mérés előkészítése során a támaszok könnyen elmozdulhatnak. Ha a fűrészáru alátámasztása nem szimmetrikus, az a tömeg mérése, és ennek következtében a sűrűség meghatározása során jelentős hibához vezethet.
- Az üzemi körülmények (szálló por, rezgések stb.) között végzett mérések során a szokványos informatikai eszközök (laptop) megsérülhetnek, viszonylag hamar tönkremehetnek.

A berendezést a fenti pontoknak megfelelően fejlesztettük tovább. Így készült el a PLG+ berendezés, kimondottan ipari körülmények között végzett méréshez optimalizálva (9. ábra). A berendezés egy mérleg helyett mindkét alátámasztásnál méri a fűrészáru tömegét robusztus ipari mérlegekkel. A hosszmerést lézeres távolságmérő segíti, mely bluetooth kapcsolattal csatlakozik a számítógéphez. A mért adatok kiértékelését sérülékeny laptop helyett egy megfelelő por- és rezgésvédelemmel rendelkező ipari tablet végzi, amelyet egy megfelelő állványzatra szerelt házba ágyaztunk be. Így a mérés ipari körülmények között is megbízhatóan végezhető, a meghibásodás veszélye nélkül.

Az új berendezés már sokkal alkalmasabb az ipari körülmények között végzendő mérésekhez, azonban természetesen számos továbbfejlesztési lehetőség is kínálkozik. Egyrészt, a becslés pontossága javítható az előző fejezetben említett módszerek és becslő paraméterek alkalmazásával. Másrészt, gyakorlati szempontból a módszer gyengesége a CKDR és KAR paraméterek hosszadalmas vizuális meghatározása; ezek automatizálásával a mérés gyorsítható, automatizálható. Ilyen módon elkészíthető

lehet a berendezés gyártósorra telepíthető változata is.

## 5. Összefoglalás és következtetések

Cikkünkben bemutattuk a fűrészáru osztályozásának Európában használt rendszerét, beleértve a szilárdsági osztályokat, és a vizuális és gépi szilárdsági osztályozási megoldásokat. Az utóbbi megoldások alapelveit részleteiben is ismertettük. Ezután bemutatásra kerültek saját kutatásaink, melyek részben egy már meglévő osztályozó berendezés minősítéséhez szükséges vizsgálatokra, részben az osztályozási módszer továbbfejlesztésére, becslési pontosságának javítására fókuszáltak. A kutatás eredményeiből az alábbi következtetések vonhatók le:

- Az előzetes vizsgálati eredmények alapján a PLG osztályozó berendezés megfelel az MSZ EN 14081-es szabvány [5-7] előírásainak, és várhatóan alkalmas a fenyő fűrészáru osztályozására a C40-es osztálytól lefelé minden szilárdsági kategóriában. A felülosztályozás mértéke a szabvány által megengedett határon belül marad.
- A berendezés sok esetben jelentősen alulosztályozza a fűrészárut, ami biztonsági szempontból előnyös, azonban a gazdaságosság szempontjából hátrányt jelent. Kíváncsú a becslés pontosságának javítása, amivel az alulosztályozás mértéke csökkenthető.
- A 13 további becslő paraméter bevonásával végzett kísérletek alapján az osztályozás pontossága jelentősen javítható további paraméterek segítségével. A legjobb becslést a hajlítórezgésekkel mért rugalmasági modulusz, a csillapítás (logaritmikus dekrementum) és a göcsterületarány paraméterek kombinálásával érték el; ezekkel a becslés hibája jelentősen csökkenthető.

A gyakorlati tapasztalatok alapján továbbfejlesztett PLG+ berendezés célszerűen alkalmazható ipari körülmények között. A rendszer további fejlesztésére az új becslőparaméter-kombináció, illetve a göcsösségre vonatkozó paraméterek automatikus meghatározása nyújtja a legjobb lehetőséget.

## Köszönetnyilvánítás

A publikáció a TKP2021-NKTA-43 számú projekt keretében, az Innovációs és Technológiai Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

## Irodalomjegyzék

- [1] Molnár S., Varga F.-né, Fehér S., Németh R. 2000. A faanyag műszaki tulajdonságai. In.: Molnár S. (szerk.) Faipari Kézikönyv I. Faipari Tudományos Alapítvány, Sopron, 59-82. old.
- [2] Szalai J. 2001. Faszervezetek méretezését és gyártását befolyásoló sajátosságok. In: Wittmann Gy. szerk. Mérnöki Faszervezetek. II. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó. Bp. 143-262. old.
- [3] MSZ EN 338:2016 Szerkezeti fa. Szilárdsági osztályok. Magyar Szabványügyi Testület, Bp. 44 old.



- [4] MSZ EN 1912:2012 Szerkezeti fa. Szilárdsági osztályok. A vizuális szilárdsági osztályok és a fajok kapcsolata. Magyar Szabványügyi Testület, Bp. 18 old.
- [5] MSZ EN 14081-1:2016. Faszervezetek. Szilárdság szerint osztályozott, téglalap keresztmetszetű szerkezeti fa. 1. rész: Általános követelmények. Magyar Szabványügyi Testület, Bp. 44. old.
- [6] MSZ EN 14081-2:2019. Faszervezetek. Szilárdság szerint osztályozott, téglalap keresztmetszetű szerkezeti fa. 2. rész: Gépi osztályozás; a típusvizsgálat kiegészítő követelményei. Magyar Szabványügyi Testület, Bp. 39. old.
- [7] MSZ EN 14081-3:2012+A1:2019. Faszervezetek. Szilárdság szerint osztályozott, téglalap keresztmetszetű szerkezeti fa. 3. rész: Gépi osztályozás; az üzemi gyártásellenőrzés kiegészítő követelményei. Magyar Szabványügyi Testület, Bp. 15. old.
- [8] MSZ EN 1995-1-1:2004/A2:2015. Eurocode 5: Faszervezetek tervezése. 1-1. rész: Általános szabályok. Közös és az épületekre vonatkozó szabályok. Magyar Szabványügyi Testület, Bp. 11. old.
- [9] DIN 4074-1:2012-06 Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit - Teil 1: Nadel-schmitt-holz. Beuth Verlag, Berlin, p. 15.
- [10] BS 4978:2007+A2:2017 Visual strength grading of softwood. Specification. The British Standards Institution, p. 14.
- [11] MSZ 10144:1986 Teherhordó faszervezetek anyagai. Magyar Szabványügyi Testület, Bp., p. 14.
- [12] Divos F., Daniel I., Hodasz E., Jarasi J. 1994. Experimental Investigation of Thirteen Strength Predictor Parameters of Coniferous Wood. Proc. 1st European Symposium on Nondestructive Testing of Wood. Sopron, 1994. Szeptember 21-23. pp. 341-349.
- [13] Divos, F. 2002. Portable Lumber Grader. Proc. 13th International Symposium on Non-destructive Testing of Wood. Berkeley, California, USA. 2002. augusztus 19-21. USDA FPL Proc. no. 7246, 335. old.
- [14] Panshin, A. J. és de Zeeuw, C. 1980. Textbook of Wood Technology: Structure, identification, properties, and uses of the commercial woods of the United States and Canada. 4th ed. McGraw-Hill Series in Forest Resources. New York, McGraw-Hill Book Co., pp. 722.
- [15] Wittmann Gy. 2001. Szerkezeti faanyagok szilárdsági kategorizálása. In: Wittmann Gy. szerk. Mérnöki Faszervezetek. I. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó. Bp. 38-53. old.
- [16] Galligan, W., J. Kerns, B.K. Brashaw. 2015. Machine Grading of Lumber. In. R.J. Ross szerk. Nondestructive Evaluation of Wood. 2nd ed. USDA FPL GTR 238, 87-102. old.
- [17] Ross, R.J., 2015. Static Bending, Transverse Vibration, and Longitudinal Stress Wave Nondestructive Evaluation Methods. In. R.J. Ross szerk. Nondestructive Evaluation of Wood. 2nd ed. USDA FPL GTR 238, 5-20. old.
- [18] Brashaw., B.K. 2015. Ultrasonic testing of veneers. In. R.J. Ross szerk. Nondestructive Evaluation of Wood. 2nd ed. USDA FPL GTR 238, 109-113. old.
- [19] Weaver W., Jr, S.P. Timoshenko, D.H. Young. 1990. Vibration Problems in Engineering. 5th ed. John Wiley & Sons, ISBN: 0471632287. 624 old.
- [20] Hankinson, R. L. 1921. Investigation of Crushing Strength of Spruce at Varying Angles of Grain. Air Service Information Circular No. 259, U.S. Air Service, 1921.
- [21] Olsson, A., J. Oscarsson. 2014. Three dimensional fibre orientation models for wood based on laser scanning utilizing the tracheid effect. In: Proc. 2014 World Conf. on Timber Eng. (WCTE), Quebec City, Canada, August 10-14, 2014.
- [22] Szalai L. és Pödör Z. 2015. Laser based optical nondestructive method for evaluation of the pine timber strength. Proc. 19th International Nondestructive Testing of Wood Symposium. Rio de Janeiro, Brazil. USDA FPL-GTR 239. 205-211. old.
- [23] Sismándy-Kiss F. 2012. Fűrészáru szilárdsága és fizikai tulajdonságainak kapcsolata. PhD. Disszertáció, NyME Cziráki József Faanyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola. 103. old.
- [24] Divos F. és T. Tanaka. 1997. Lumber Strength Estimation by Multiple Regression. Holzforschung 51:467-471.
- [25] MSZ EN 408:2010+A1:2012. Faszervezetek. Szerkezeti fa és rétegelt-ragasztott fa. Egyes fizikai és mechanikai tulajdonságok meghatározása. Magyar Szabványügyi Testület, Bp. 39 old.



## ANYAGVIZSGÁLÓK LAPJA ÚJRA NYOMTATOTT VÁLTOZATBAN

**16 év után újra kézbe vehetik**

az olvasók

**az Anyagvizsgálók Lapját!**

A lap újjászerveződött csapatának köszönhetően az első nyomtatott verzió **2022-től** elérhető.

A **nyomtatott kiadvány negyedévente** – teljesen megegyező tartalommal, mint az online letölthető számok – **előfizetéses formában** jelenik meg.

Amennyiben igényt tartana rá, kérem jelezze a MAROVISZ felé az alábbi email címen:

**marovisz@marovisz.hu**



## A sűrűség és nedvességtartalom egyidejű mérése mikrohullámú radar alkalmazásával

Measuring wood density and moisture content simultaneously using microwaves

Bejő László<sup>a</sup>, Jakócs Mihály<sup>b</sup>, Divós Ferenc<sup>c</sup>

<sup>a</sup>egy. tanár, Soproni Egyetem, Faipari és Műszaki Intézet, bejo.laszlo@uni-sopron.hu

<sup>b</sup>MSc hallgató, Soproni Egyetem, Faipari és Műszaki Intézet, alceyaon@gmail.com

<sup>c</sup>ügyvezető, Fakopp Enterprise Bt., divos@fakopp.com

### Kulcsszavak

faanyag,  
sűrűség,  
nedvességtartalom,  
mikrohullámú sugárzás,  
többváltozós regresszió

### Keywords

wood,  
density,  
moisture content,  
microwave,  
multi-parameter regression

### Absztrakt

A cikk egy új, a faanyag egyidejű sűrűség- és nedvességtartalom mérésére alkalmas eljárás kifejlesztésének kezdeti lépéseiről számol be. Az eljárás alapja a faanyagon áthaladó mikrohullámú jel csillapodásának és időkésettetésének mérésén alapszik. A két, függetlennek tekintett változó lehetőséget biztosít mindkét paraméter egyidejű becslésére, egyetlen méréssel. A cél egy fajtától függetlenül működő, megfelelő precizitású becslési eljárás kifejlesztése.

A kutatás során számos, különböző fajtából készült próbatest mérésére került sor, melyeket különböző nedvességtartalomra kondicionálva mértünk. A mért csillapodás és időkésettetés értékek, valamint a valós sűrűség és nedvességtartalom alapján, többparaméteres regresszió alkalmazásával becslő modelleket állítottunk fel a sűrűség és a nedvességtartalom becslésére. Az eredmények alapján a módszer – a faanyagra jellemző, nagy változékonyságot is tekintetbe véve – alkalmas a nedvességtartalom nagy pontosságú, és a sűrűség kielégítően pontos mérésére. További mérések szükségesek az anyagvastagság, az antennák pozíciójának hatása, valamint az eredmények hőmérséklet-függése tekintetében.

### Abstract

A new method of measuring the density and the moisture content of wood using a single measurement is being developed. The method is based on using both signal attenuation and time lag of a microwave signal transmitted through the material. The two independent variables allow the simultaneous prediction of both parameters. The ultimate goal is to develop an instrument for predicting the parameters with acceptable precision, regardless of species.

Several wood species have been measured at various moisture content levels, and two-parameter linear regression models were fit on the experimental data. Based on the preliminary results, the method seems to be working very accurately for moisture content determination, and reasonably well when estimating density. Further experimentation is required to assess the effect of specimen thickness and temperature.

## 1. Bevezetés

A faanyag sűrűségét számos tényező befolyásolja; elsődlegesen a faj, de emellett jelentős hatása van a növekedés során a termőhelyi és klimatikus viszonyoknak, valamint a törzsön belüli helyzetnek, és más tényezőknek is. Emellett a fa higroszkópos anyag; a levegő relatív páratartalma és hőmérséklete függvényében képes abból nedvességet felvenni vagy leadni. A sűrűség és a nedvességtartalom jelentősége ugyanakkor meghatározó számos egyéb tényező – pl. a mechanikai tulajdonságok, méretmozgások, megmunkálhatóság stb. – tekintetében [1, 2].

A fentiek miatt a sűrűség és a nedvességtartalom mérése kritikus fontosságú a faipar számos területén. E paraméterek gyors, megbízható és pontos mérése többek között kritikus a szárítás, ragasztás, felületkezelés, faalapanyagok gyártása, és számos egyéb területen.

E paraméterek közvetlen mérése a faanyag tömegének és térfogatának meghatározásával, majd annak kiszáritásával történik. Ez a megoldás időigényes és a gyakorlatban sokszor nem alkalmazható. Emiatt számos alternatív (jellemzően roncsolásmentes) becslési módszert alkalmaznak e célra. Az ellenállásos és kapacitív nedvességmérők széles körben elterjedtek a nedvességtartalom mérésére, a felületi nedvességméréshez pedig jól alkalmazhatók az NIR (Near Infrared, azaz a közeli infravörös tartományban működő) szkennerek. A sűrűséget általában elektromágneses, jellemzően radar vagy gammasugárzáson alapuló méréssel értékeljük. Számos elfogadható pontosságú módszer és berendezés alkalmazható a két paraméter egyikének becslésére, azonban sok esetben igény lenne mindkét jellemző egyidejű mérésére is.

Az ismertetett kutatás célja egy új roncsolásmentes faanyagvizsgálati eljárás kifejlesztése volt, ami a fa sűrűségének és nedvességtartalmának egyidejű mérésére irányul, az anyag dielektromos tulajdonságai alapján. A végső cél olyan gyakorlatban is alkalmazható műszer fejlesztése, amely megbízhatóan tudja becsülni e két paramétert, fajtától függetlenül. Ez a cikk a kutatás első lépéseiről számol be.

## 2. Irodalomáttekintés

Az 1950-es évektől kezdve számos tanulmány jelent meg a fa dielektromos tulajdonságaival kapcsolatban [3-6]. Az elektromágneses sugárzás számos különböző alkalmazását tesztelték, beleértve a göcsök kimutatását [7], vagy akár a faanyag rostirányának a meghatározásának lehetőségét [8].

1993-ban Torgovnikov egy átfogó monográfiát tett közzé [9], amely szisztematikusan összefoglalja a különböző fajok dielektromos állandóit, és azok függését a faanyag sűrűségétől, nedvességtartalmától, a hőmérséklettől, illetve a sugárzás frekvenciájától. Az általa leírtak alapján az elektromágneses hullámok mind a faanyag sűrűségének, mind a nedvességtartalmának a becslésére alkalmasak lehetnek.

A közelmúltban több japán tanulmány foglalkozott a fa nedvességtartalmának meghatározásával mikrohullámú radar alkalmazásával. Az egyik ilyen kutatás japán cédrus (*Cryptomeria japonica*) fűrészáru nedvességmérésére alkalmas szenzor kifejlesztésére irányult, a radarjel fáziseltolódása alapján [10]. Később 52 MHz-es jel csillapodása és fáziseltolódása alapján mérték a nedvességtartalmat



nagy átmérőjű rönkökben. Az eredmények alapján a jelentősebb nedvességtartalmak így roncsolás- és érintésmentes módszerrel kimutathatók [11]. Egy magyar tanulmány is született, mely különböző fafaják, nagy átmérőjű rönkök és rönkmáglyák nedvességtartalmának mérésére irányult a rosttelítettségi határérték felett, nagyteljesítményű mikrohullámú radar segítségével, ami megfelelő pontossággal becsülte az anyagok nedvességtartalmát [12].

Amerikai kutatók [13] mikrohullámú radart használtak duglászfenyő gerendák nedvességtartalmának meghatározására és a rejtett gombakárosodás kimutatására. Hasonló berendezéssel becsülték a nedves faanyag sűrűségét a rosttelítettségi határérték felett [14]. Egy másik kutatásban különböző fajok nedvességét becsülték mikrohullámú radarral, és hasonlították össze a mért és irodalmi értékekkel [15].

### 3. Elméleti háttér

Kutatásunk célja két változó, nevezetesen a sűrűség és a nedvességtartalom egyidejű meghatározása volt. Mindkét paraméter hatással van a faanyag dielektromos tulajdonságaira. A geometria mellett az elektromágneses hullámok áthaladása és visszaverődése az anyagról annak dielektromos jellemzőitől függ. Így az áthaladó és visszaverődő sugárzás különböző mérhető paramétereit a dielektromos tulajdonságok, és ezen keresztül közvetetten a faanyag sűrűsége és nedvességtartalma is befolyásolja.

A sűrűség és a nedvességtartalom egyidejű meghatározásához két független becselőparaméterre van szükség. Az elektromágneses sugárzás esetében az áthaladási sebesség és az áthaladó jel csillapodása (elnyelése) többé-kevésbé függetlennek tekinthető. Ezeket a paramétereket használtuk a becsüléshez.

Az elektromágneses hullámok terjedési sebessége függ az anyagtól, amelyen áthaladnak. Vákuumban ez megegyezik a fény terjedési sebességével, és gázokban sem sokkal lassabb. Szilárd anyagokban az anyag dielektromos tulajdonságai függvényében változik a sebesség. A jel áthaladása során ez időkéscsökkentést, valamint a jel fáziseltolódását okozza a vákuumban (vagy, esetünkben, a levegőben) terjedő jelhez képest.

Mialatt a jel áthalad az anyagon, a besugárzott energia

egy része elnyelődik az anyagban, és hőenergiává alakul. Ez a csillapodás a beérkező jel energiájának csökkenését eredményezi, azaz a jel amplitúdója csökken. A beérkező és a sugárzott jel energiájának a hányadosa az alábbi képlettel számítható [9]:

$$\frac{W}{W_0} = e^{-2\alpha d}, \quad (1)$$

ahol:

$W, W_0$  – a beérkező, illetve a kibocsátott energia,

$\alpha$  – csillapítási együttható,

$d$  – vastagság,

$\rho$  – sűrűség.

Az (1) egyenlet alapján a jelerősség csökkenése függ közvetlenül a sűrűségtől, illetve a csillapítási együtthatótól ( $\alpha$ ) keresztül közvetetten a hullámhossztól, valamint az anyag dielektromos állandójától ( $\epsilon$ ) és a veszteségi tényezőjétől ( $\tan \delta$ ). Mindkét utóbbi paraméter függ a nedvességtartalomtól és a sűrűségtől, valamint a hőmérséklettől is.

A mikrohullámú jel áthaladási sebessége és a csillapítása erősen függ mind a sűrűségtől, mind a nedvességtartalomtól. A jel sebessége és energiája a gyakorlatban jellemzően nem mérhető közvetlenül. Ugyanakkor az áthaladási idő (nagyon kis időkéscsökkentés esetén közvetetten, a jel fáziseltolódása alapján meghatározva), valamint a jel energiájával arányos amplitúdó ( $W \sim A^2$ ) azonban közvetlenül is mérhető.

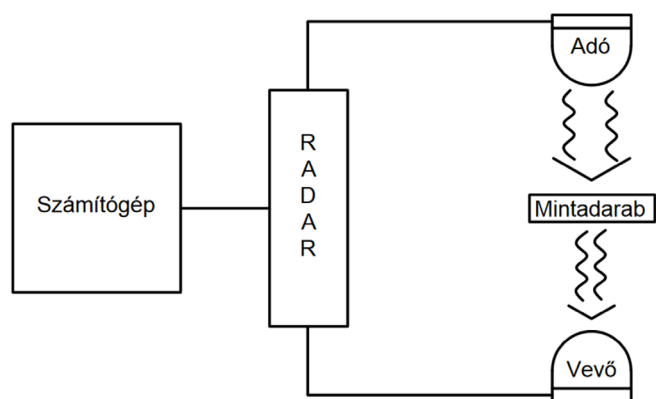
A hőmérséklet, az anyag vastagsága, valamint a jel frekvenciája/hullámhossza szintén befolyásolják a jel haladási sebességét és az átsugározott jel erősségét. Ezeket a változókat kontrollálni kell a kísérletek során. Nincs okunk feltételezni, hogy a fajoknak (a fajokra jellemző sűrűségi értékek eltérésein túl) jelentős hatása lenne a mért paraméterekre.

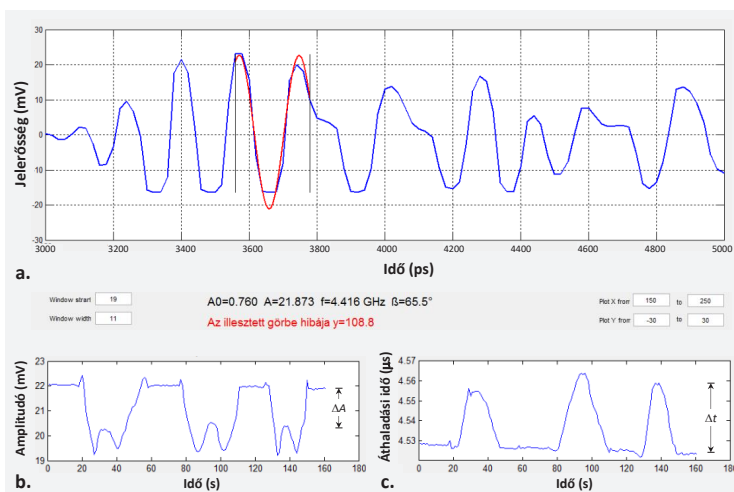
### 4. Anyagok és módszerek

A méréseket két, egymástól 110 mm távolságban elhelyezett 4,4 GHz-es Novelda RFBeam Microwave Radar antennával végeztük (1. ábra). Az antennákra szerelt lencsék a jel fókuszálását és az esetleges interferenciák elleni árnyékolást szolgálják. A beeső jel elemzése során



1. ábra: A fókuszáló lencsékkel felszerelt antennákból álló mérőrendszer fényképe és sematikus ábrája





**2. ábra:** Az átsugárzott mikrohullámú jel értékelése. Az a. ábra a szinuszgörbe illesztését mutatja a mért beeső jelre. A b. és c. diagrammok mutatják az amplitúdót, illetve az áthaladási időt. A völgyek, illetve a csúcsok az amplitúdó csökkenését, illetve az áthaladási idő növekedését mutatják a próbatest behelyezésekor

annak egy szakaszára szoftver segítségével szinusz jelet illesztettünk (2. ábra). Ez alapján határoztuk meg az áthaladási sebességet és a jel amplitúdóját.

A kísérlethez 36 próbatest készült, 18 különböző fafajból. Az 1. táblázat mutatja a vizsgált fafajokat, és azok átlagos sűrűségét. A próbatestek mérete 20×80×300 mm volt, az átsugárzás a vastagsági méret irányában történt.

A 2. ábrán a felső diagram a szinuszgörbe illesztését mutatja. A bal- és jobboldali alsó diagrammok mutatják az amplitúdót, illetve az áthaladási időt. A völgyek és a csúcsok az amplitúdó csökkenését, illetve az áthaladási idő növekedését mutatják a próbatest behelyezésekor.

Minden próbatestet 4 alkalommal mértünk, különböző nedvességtartalomra történő kondicionálást követően ( $u_e$  = egyensúlyi fanedvességtartalom):

- $T = 20^\circ\text{C}$ ,  $\varphi = 65\%$ ,  $u_e \cong 12\%$ ;
- $T = 20^\circ\text{C}$ ,  $\varphi = 45\%$ ,  $u_e \cong 5\%$ ;
- $T = 20^\circ\text{C}$ ,  $\varphi = 20\%$ ,  $u_e \cong 2\%$ ;
- Abszolút száraz (100 °C-on történő szárítás után).

**1. táblázat:** A vizsgált fafajok átlagos sűrűség értékei (5% átlagos nedvességtartalom mellett)

| Fafaj                                 | $\rho$<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Fafaj                             | $\rho$<br>(kg/m <sup>3</sup> ) |
|---------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|
| Vörös tölgy (Quercus rubra)           | 0,759                          | Vörösfenyő (Larix decidua)        | 0,584                          |
| Akác (Robinia pseudoacacia)           | 0,753                          | Juhar (Acer)                      | 0,578                          |
| Gőzölt bükk (Fagus sylvatica)         | 0,744                          | Csertölgy (Quercus cerris)        | 0,555                          |
| Fehér bükk (Fagus crenata)            | 0,703                          | Éger (Alnus glutinosa)            | 0,554                          |
| Kóris (Fraxinus excelsior)            | 0,647                          | Kisleveű hárs (Tilia cordata)     | 0,543                          |
| Kocsányos tölgy (Quercus robur)       | 0,623                          | Ezüst hárs (Tilia tomentosa)      | 0,423                          |
| Erdei fenyő (Pinus sylvestris)        | 0,617                          | Lucfenyő (Picea abies)            | 0,391                          |
| Dió (Juglans regia)                   | 0,604                          | Rezgő nyár (Populus tremula)      | 0,376                          |
| Dabema (Piptadeniastrum africanum)    | 0,594                          | Abachi (Triplochiton scleroxylon) | 0,376                          |
| Szibériai vörösfenyő (Larix sibirica) | 0,586                          |                                   |                                |

A próbatestek mérése minden kondicionálási lépést követően megtörtént a radar érzékelők közé helyezve azokat. Az abszolút száraz próbatestek vizsgálatához a próbatesteket először deszikkátorban lehűtöttük, mivel a magas hőmérséklet befolyásolta volna a mérési eredményeket. A mérés során feljegyeztük az amplitúdó és az áthaladási idő változását ( $\Delta A$ , illetve  $\Delta t$ ) a próbatest behelyezése nélkül mért értékekhez képest (ld. 2. ábra). A radaros mérést követően a próbatest tömegét is megmértük laboratóriumi mérleggel, 0,01 g pontossággal. A próbatestek méreteit szintén megmértük a 2. és 3. mérést követően, ( $u_e \cong 5\%$ , illetve  $2\%$ ) a sűrűség számításához. A mérés tolómérővel történt, 0,05 mm pontossággal. Az  $u_e \cong 12\%$ -ra kondicionált és az abszolút száraz próbatestek sűrűségéhez a méreteket lineáris extrapolációval határoztuk meg. A különböző nedvességtartalmi szinteken a tényleges nettó nedvességtartalom számításához a nedves és abszolút száraz tömeget használtuk:

$$u = \frac{m_n - m_0}{m_0}, \quad (2)$$

ahol:  $m_n$  – a próbatest nedves tömege,  
 $m_0$  – a próbatest abszolút száraz tömege.

## 5. Eredmények és értékelés

A mérések elvégzése után a mért adatokon kétparaméteres lineáris regresszió elemzést végeztünk, a  $\Delta A$  és  $\Delta t$  paraméterek, mint független változók használatával. A regresszió-analízist a Statistica® programmal (www.statistica.com) végeztük el sűrűség és nedvességtartalom függő változókra az alábbi modell használatával:

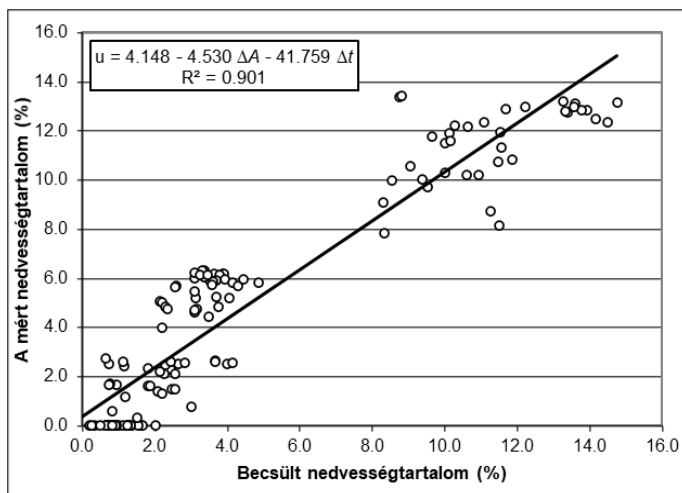
$$V = a \cdot \Delta A + b \cdot \Delta t + c, \quad (3)$$

ahol:  
 $V$  – a független változó (sűrűség, illetve nedvességtartalom),  
 $a, b, c$  – az illesztett lineáris modell együtthatói.

Az illesztést a teljes adathalmaz felhasználásával végeztük, így empirikus becslő modelleket állítottunk fel a sűrűség és a nedvességtartalom becslésére. (Megj.: az (1) egyenletnek megfelelően az amplitúdók különbsége helyett elméletileg helyesebb az amplitúdónégyzetek hányadosának használata, azonban a függvényillesztés során ez nem vezetett jobb eredményre a fenti modellhez képest.) A 3. és 4. ábra mutatja az eredményeket, beleértve a lineáris regresszióval felállított modelleket.

A biológiai anyagok jelentős változékonysága miatt azok tulajdonságait számos tényező befolyásolja. Ennek megfelelően az ilyen anyagok esetén a becslési pontosságok alacsonyabbak, mint más anyagok (pl. fémek, szilikátok, szintetikus anyagok) esetén. Az ilyen anyagok esetén a 0,5 feletti determinációs koefficiens értékek sokszor már elfogadhatók, 0,75 felett pedig már kifejezetten jónak mondhatók.





**3. ábra:** A kiszáritásos módszerrel mért és a mikrohullámú sugárzás amplitúdója és időkésltetése alapján becsült nedvességtartalom értékek összefüggése

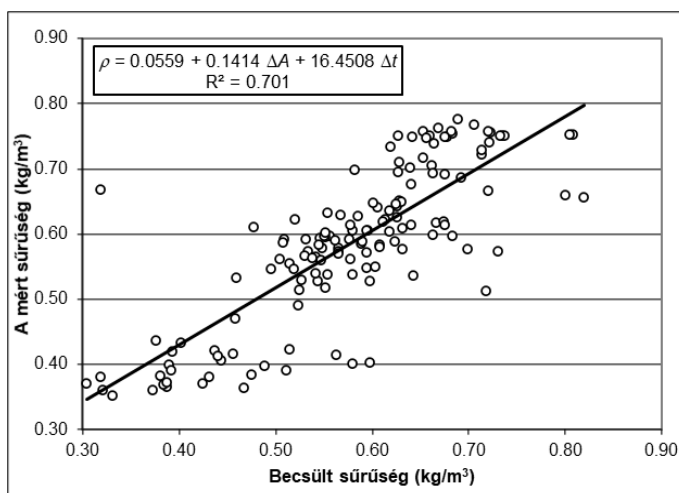
A 3. ábrán látható eredmények alapján az alkalmazott módszer a faanyag nedvességtartalmát kimondottan pontosan képes becsülni. A 0,9 feletti  $r^2$  érték fa és egyéb biológiai anyagok esetén kitűnőnek mondható. Az eljárással 1-2% pontossággal meg lehet becsülni a nedvességtartalmat az esetek túlnyomó többségében, ami a legtöbb gyakorlati alkalmazás esetében megfelelő pontosságot jelent.

A 4. ábrán a próbatetek mért és becsült sűrűség értékeinek összehasonlítása látható. Az összefüggés ebben az esetben nem olyan szoros, mint a nedvességtartalom esetében, de a sűrűség így is elfogadható pontossággal becsülhető a mért amplitúdó és áthaladási idő adatok alapján. Az eredményekből látható, hogy a faanyag dielektromos paraméterei kevésbé érzékenyek a sűrűség változására, mint a nedvességtartalomra, legalábbis az adott frekvenciájú mikrohullámú sugárzás esetén. (Megj.: mivel a függvény illesztése minden esetben a nedves sűrűség értékekre történt, a nedvességtartalom kis mértékben befolyásolja a sűrűséget is, így a két paraméter nem teljesen független egymástól.)

A fenti eredmények viszonylag kis méretű, légszáraz és annál alacsonyabb sűrűségű próbatetek mérése alapján adódtak. Az eredmények egyértelműen biztatóak, azonban csak a mért nedvességtartalom tartományban, és kisméretű próbatetek esetén igazolják a módszer működőképességét. Az eredmények alátámasztják az eljárás alkalmazhatóságát, de további mérésekre van szükség a nedvességtartomány kiterjesztésére (különösen a rosttelítettségi határértéken túl), és különböző faipari alkalmazásokban (pl. különböző vastagságú anyagok mérése, rönk nedvességmérés, forgácsok, farostok és faalapú anyagok mérése) használható berendezések kifejlesztéséhez.

## 6. Összefoglalás és következtetések

A bemutatott kutatás során a mikrohullámú sugárzás terjedési ideje és a jel amplitúdója alapján kíséreltük meg különböző sűrűségű és fafajú próbatetek sűrűségének és a nedvességtartalmának egyidejű becsülését. Az eredmények alapján az alábbi következtetéseket vonhatjuk le:



**4. ábra:** A próbatetek mért tömege és térfogata alapján számított és a mikrohullámú sugárzás amplitúdója és időkésltetése alapján becsült sűrűségértékek összefüggése

- A faanyag nedvességtartalma nagyon pontosan becsülhető a mért roncsolásmentes paraméterek használatával.
- A faanyag sűrűsége elfogadható pontossággal becsülhető a mikrohullámú sugárzás amplitúdója és időkésltetése alapján.
- Az alkalmazott mikrohullámú sugárzási frekvencia esetén a faanyag dielektromos paraméterei kevésbé érzékenyek a sűrűség változásaira, mint a nedvességtartalomra.

A mikrohullámú sugárzás terjedési idejének és amplitúdójának mérése ígéretes lehetőséget kínál a fa nedvességtartalmának és a sűrűségének egyidejű mérésére. További vizsgálatokra van szükség az anyagvastagság és hőmérséklet hatásának a megállapítására, valamint a gyakorlatban is alkalmazható mérési eljárások (pl. különböző vastagságú anyagok mérése, rönk nedvességmérés, forgácsok, farostok és faalapú anyagok mérése, stb.) kifejlesztéséhez.

## Köszönetnyilvánítás

A publikáció a TKP2021-NKTA-43 számú projekt keretében, az Innovációs és Technológiai Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg. A szerzők köszönetet mondanak Dr. Pödör Zoltánnak a statisztikai elemzések elvégzéséhez nyújtott segítségért.

## Irodalomjegyzék

- [1] Panshin, A. J. és de Zeeuw, C. 1980. Textbook of Wood Technology: Structure, identification, properties, and uses of the commercial woods of the United States and Canada. 4th ed. McGraw-Hill Series in Forest Resources. New York, McGraw-Hill Book Co.
- [2] Molnár S., Varga F.-né, Fehér S., Németh R. 2000. A faanyag műszaki tulajdonságai. In.: Molnár S. (szerk.) Faipari Kézikönyv I. Faipari Tudományos Alapítvány, Sopron, 59-82. old.

- [3] Trapp, W.; Pungs, L. 1956. Einfluss von Temperatur und Feuchte auf das dielektrische Verhalten von Naturholz im grossen Frequenzbereich. Holzforschung 10(5):144-150.
- [4] Tsusumi, J.; Watanabe, H. 1965. Studies on Dielectric Behavior of Wood. I. Effects of frequency and temperature on  $\epsilon'$  and  $\tan \delta$ . Journal of Japanese Wood Research Society 11(6):232-236.
- [5] Tsusumi, J.; Watanabe, H.: 1966. Studies on Dielectric Behavior of Wood. II. Effects of Moisture Content on Dielectric Constant  $\epsilon'$  and Dielectric Loss Factor  $\epsilon''$ . Journal of Japanese Wood Research Society 12(3):115-118.
- [6] Beldi, F.; Balint, J.; Szabo, J.; Ruzsa, B. 1968. Die dielektrischen Eigenschaften verschiedener Eichenholzarten. Holz Roh-Werkst. 26(3):89-95.
- [7] Kaestner, A.P.; Baath, L.B. 2005. Microwave polarimetry tomography of wood. Sensors Journal, IEEE. 5(2): 209-215.
- [8] Schajer, G.S.; Orhan, F.B. 2006. Measurement of wood grain angle, moisture content and density using microwaves. Holz Roh-Werkst. 64(6): 483-490.
- [9] Torgovnikov G. I.: 1993. Dielectric Properties of Wood and Wood-Based Materials (Springer Series in Wood Science); 196 S. ISBN 3-540-55394-0. Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York
- [10] Ikeda, K.; Hoshikawa, T.; Watai, J.; Suzuki, Y.; Sugiyama, A. 2013. Evaluation of high moisture content of Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) log using the phase detector of electromagnetic wave transmitter. Proc. 18th Int. NDTE of Wood Symposium, Madison, WI, USA, Sept. 24-27, 2013. pp. 723-728.
- [11] Ikeda, K.; Hoshikawa, T.; Suzuki, Y.; Sugiyama, A. 2017. Estimation of the Moisture Content of Japanese Cedar (*Cryptomeria japonica*) Large Diameter Logs by Measuring Relative Permittivity and Phase Attenuation of Low Frequency (52 Mhz) Electromagnetic Wave. Proc. 20th Int. NDTE of Wood Symposium, Madison, WI, USA, on Sept. 12-15, 2017. pp. 488-495.
- [12] Major, B.; Divos F. 2016. Sarangolt fa nedvességtartalom mérési lehetősége elektromágneses hullámokkal. (Moisture content measurement of stacked wood with electro-magnetic waves) Faipar 64:2, <http://dx.doi.org/10.14602/WOODSCI.2016.2.67>
- [13] Senalik, C.A.; Wacker, J.P.; Wang, X.; Rodrigues, B.P.; Jalinoos, F. 2017. Assessing Ability of Ground-Penetrating Radar to Detect Internal Moisture and Fungal Decay in Douglas-Fir Beams. Proc. 20th Int. NDTE of Wood Symposium, Madison, WI, USA, on Sept. 12-15, 2017. pp. 278-289
- [14] Divós F., Tsalagkas D., Koutsianitis D. (2013) Wood Density determination of Trees by Microwave Impulse Radar Device. Proc. 18th Int. NDTE of Wood Symposium, Sept. 24-27, 2013. pp. 143-149.
- [15] Divos, F.; Buza, A.K. 2015. Wood density measurement by microwave. Proc. 19th Int. NDTE of Wood Symposium, Rio de Janeiro, Brazil, Sept. 22-25, 2015. pp. 192-196.



## SOPRONI EGYETEM | KÖZPONTI VIZSGÁLÓLABORATÓRIUM

A Soproni Egyetem Központi Vizsgálólaboratóriuma (SOE KVL) mintegy 70 éve szolgálja a hazai gazdaságot akkreditált vizsgálatok teljesítésével. Olyan nagy múltú szervezetek örököse, mint a FAIMEI Faipari Minőségellenőrző Intézet, a PKI Papíripari Kutatóintézet, valamint a EFVL Erdészeti és Faipari Vizsgálólaboratórium. Tevékenységünket az MSZ EN ISO/IEC 17125:2018 szabvány szerint nemzetközi akkreditáció keretei között végezzük. Ma ez egyetlen faipari fókuszú akkreditált vizsgálólaboratórium Magyarországon!

### ANYAG ÉS FAANYAGVÉDELMI RÉSZLEG

### KOMPOSIT ÉS FÉLKÉSZTERMÉK-VIZSGÁLÓ RÉSZLEG

### TERMÉKVIZSGÁLÓ RÉSZLEG

### TALAJTANI RÉSZLEG

**Faanyagok** – hengeresfa- és fűrészáru, faanyagok anatómiai jellemzőinek meghatározása, fafaj meghatározás

**Fa tartószerkezetek** – alakváltozás- és feszültségmérés szerkezeten, vagy szerkezeti elemén

**Faanyagvédelem** – faanyag tartósságának vizsgálata, favédőszer hatásosságának vizsgálata, védőszer kimutatása a faanyagban

**Vasút** – vasúti talpfák, hídfák, faoszlop vizsgálata, vasúti rögzítő szerkezetek vizsgálata

**Bútorok** – mintavétele, esztétikai, fizikai és mechanikai vizsgálata

**Növényvizsgálatok** – tápelemtartalmi vizsgálatok



**Faalapú lemezek** (forgácslap, MDF/ HDF, rétegelt lemez, OSB, CK...) – felületbevonatok, formaldehid kibocsátás, fa padlóburkolatok, rétegelt padlóburkoló anyagok, faipari ragasztóanyagok vizsgálata

**Hőkezelőüzemek ellenőrzése** – FAO IPPC ISPM 15 szabvány szerinti vizsgálat

**Építőanyagok tűzállósága** – építőanyagok (kivéve padlóburkoló anyagok) tűzvédelmi vizsgálatai

**Talajvizsgálatok** – kémhatás, kötöttségi szám, humusztartalom, hidrolitos aciditás, kicserélődési savanyúság, összes karbonát tartalom, fenoltalein lúgosság, vízben oldható összes sótartalom, báziscsere vizsgálat, toxikus elemtartalom, mechanikai összetétel vizsgálata, a talaj tápanyag-tartalom vizsgálata



## A fa nedvességtartalmának mérése NIR lézer diódák alkalmazásával

Wood Moisture Content Determination Using NIR laser

Bejó László<sup>a</sup>, Ahmed Altaher Omer<sup>b</sup>, Divós Ferenc<sup>c</sup>

<sup>a</sup> egyetemi tanár, Soproni Egyetem, Faipari és Műszaki Intézet, bejo.laszlo@uni-sopron.hu

<sup>b</sup> PhD hallgató, Soproni Egyetem, Faipari és Műszaki Intézet, ahmed.almash@gmail.com

<sup>c</sup> ügyvezető, Fakopp Enterprise Bt., divos@fakopp.com

### Kulcsszavak

faanyag,  
nedvességtartalom,  
NIR,  
lézer,  
érintésmentes nedvességmérés

### Absztrakt

A gyors, érintésmentes nedvességtartalom meghatározás sok területen fontos a gyakorlatban. A közeli infravörös tartomány egyes hullámhosszain a vízmolekulák hatékonyan el tudják nyelni a sugárzás energiáját, így ez a tartomány jól használható nedvességmérésre. Több ipari alkalmazás is létezik, amely ezen az alapelven működik. Ezek a berendezések jellemzően forgó szűrők segítségével állítják elő a kívánt hullámhosszú infravörös sugárzást. Infravörös lézer alkalmazásával ezek a mérések, egyszerűbb, megbízhatóbb módon végezhetők el, és kisebb a mechanikai meghibásodás veszélye.

E tanulmányban három különböző hullámhosszú NIR lézerforrást alkalmaztunk, négy különböző fajfa nedvességtartalmának a meghatározásához. A próbatesteket három különböző nedvességtartalomra kondicionáltuk, majd 1450, 1310 és 980 nm-es lézer fényforrás visszaverődési intenzitását vizsgáltuk a felületről egy erre a célra kialakított berendezés segítségével. A mért intenzitás értékek hányadosait összehasonlítottuk a kiszáritásos eljárással mért referencia nedvességtartalom értékekkel. Az egyes hányadosok alapján mért korrelációs együtthatók mellett többparaméteres lineáris becslő modelleket is felállítottunk az egyes fafajok esetében, az összes hányados felhasználásával. A modellek együtthatói értékei eltérőek voltak a vizsgált fafajoktól függően. A determinációs együtthatók értékei 0,77 és 0,90 között változtak.

### Keywords

wood,  
moisture content,  
NIR,  
laser,  
non-contact moisture  
measurement

### Abstract

Fast, non-contact moisture content determination is useful in many applications. Water molecules absorb electromagnetic waves of various wavelength, especially in the NIR range. Several industrial applications exist based on this principle. These instruments typically employ rotating filters to create the NIR light of the desired wavelengths. NIR lasers could achieve the same results, and make the applications simpler, more reliable and less prone to mechanical failure.

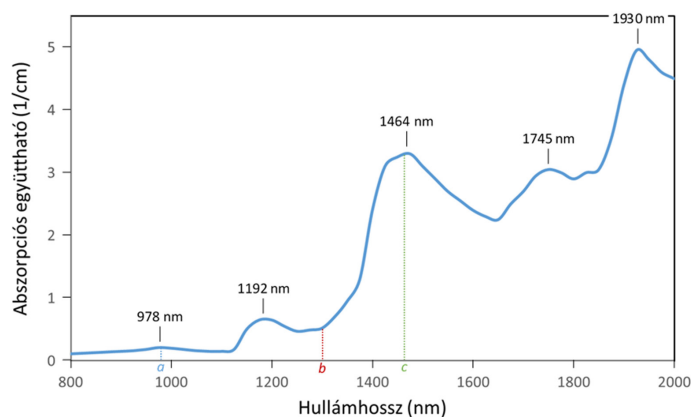
The reflection intensity of NIR laser light of three different wavelengths was used in this study to measure the moisture content of four different wood species. Specimens were conditioned to three different target moisture content values, and exposed to NIR laser light of 1450 nm, 1310 nm and 980 nm, measuring the intensity of the reflected light, using a specially constructed device. Ratios of the measured intensity values were correlated against the experimentally measured moisture content of the specimens. Multi-parameter linear prediction models were created for each species for the best possible moisture content estimation. The models were markedly different for the examined species, and the determination coefficient values varied between 0.72 and 0.94.

## 1. Bevezetés

A gyors, érintésmentes nedvességtartalom meghatározás sok területen fontos a faipari gyakorlatban, pl. a fűrészipar, ragasztott faszerkezet gyártás, bútorgyártás, faalapú termékek gyártása során, stb. Erre a célra jól alkalmazhatók az elektromágneses sugárzáson alapuló berendezések, különösen a közeli infravörös tartományban.

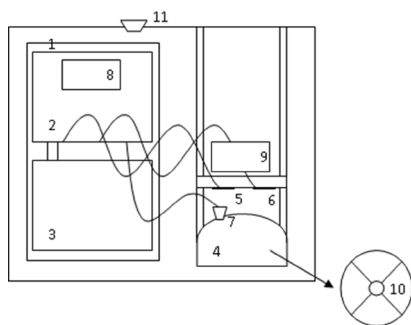
A vízmolekulák különböző sajátrezgési módusainak (az O-H kötések szimmetrikus és aszimmetrikus nyújtása és hajlítása) megfelelően bizonyos hullámhosszú sugárzások esetében különösen magas elnyelést mutatnak. Ezek rendre megfelelnek a 2,734 mm, 2,662 mm, illetve 2,269 mm-es hullámhossznak. Az ilyen hullámhosszú elektromágneses sugárzások, illetve azok felharmonikusait a vízmolekulák hatékonyan nyelik el, ami lehetőséget teremt a nedvességtartalom pontos meghatározására. Ez különösen jól működik a gáznemű fázisban (vízgőz, ld. 1. ábra). Az összefüggés kevésbé egyértelmű folyékony halmazállapotban, ahol a molekulák rezgése korlátozott. A helyzet még kevésbé egyértelmű a faanyag sejtfalaiban található, ún. kötött víz esetében. A fa felületi nedvességtartalma és az adott hullámhosszú infravörös sugárzás elnyelése között ennek ellenére nagyon jó összefüggés található [1].

A (közeli) infravörös sugárzáson alapuló berendezéseket régóta használják az ipari gyakorlatban, faanyagok, illetve sok esetben faforgácsok nedvességtartalmának meghatározására. Számos gyártó kínál ilyen berendezéseket



1. ábra: A vízgőz abszorpciós spektruma a közeli infravörös tartományban. (Saját szerk., Torgovnikov 1993 alapján. a, b, c – az alkalmazott lézervedődiók hullámhossza)

(pl. GreCon, NDC Technologies, US, JWII, Ausztrália, M.C.Tec, Hollandia stb). Ezek a berendezések jellemzően IR lámpákat használnak, amely elé forgó szűrőt szerelnek, amellyel adott hullámhosszú IR sugárzást állítanak elő. Míg ezek általában elfogadható pontosságú méréseket eredményeznek, viszonylag széles hullámhossz tartományban mérnek, és a forgó szűrőknek köszönhetően a mechanikai tönkremenetel veszélye viszonylag magas. NIR lézer sugárzás alkalmazásával ezek a hátrányok jól kiküszöbölhetők.



**2. ábra:** Az NIR lézer mérési összeállítás működési vázlatja és fényképe  
(1 – Elektronika; 2 – Áramforrás; 3 – Processzor; 4 – Parabola tükör; 5, 6, 7 – a, b és c dióda; 8 – Áramforrás hűtése; 9 – Diódák hűtése; 10 – Érzékelő dióda a parabolatükör fókuszpontjában; 11 – Soros kimenet)

A NIR lézerek alkalmazása a faanyag nedvességtartalmának a mérésére több előnyt is kínál. A lézerek természetüknél fogva nagyon keskeny hullámhossz tartományban sugároznak. Nincs szükség szűrőkre egy adott hullámhossz előállításához. A besugárzás iránya és a kibocsátott sugárzás intenzitása nagyon pontosan szabályozható.

A szakirodalomban az utóbbi időben számos cikk jelent meg az infravörös spektroszkópia alkalmazásáról, többek között a fa sűrűségének, szilárdsági tulajdonságainak, anatómiai jellegzetességeinek, kémiai összetételének és egyéb paramétereinek becslésével kapcsolatban [2-5]. A NIR spektroszkópia további alkalmazásai között megtalálható a fafajmeghatározás [6, 7], nedvességaframlás követése [8], a fa biodegradációjának vizsgálata [9], és számos egyéb terület.

A korábban bemutatott előnyök dacára az infravörös lézer alkalmazására a nedvességmérés területén más kevesebb példát találunk a szakirodalomban. Beguš és tsai [10] NIR lézer szenzorokat használtak különböző polimerek felületi nedvességeteloszlásának a vizsgálatára. Vizsgálataik alapján a minták nedvességtartalma az alacsony (2 % alatti) tartományban nagy pontossággal (0,1 %) becsülhető ezzel a módszerrel. Egy másik tanulmányban [11] 8 különböző hullámhosszú NIR lézer diódákból álló műszert használtak gabonafélék keménységének, nedvességtartalmának és viaszosságának a mérésére. A nedvességtartalmat 0,5 %-os pontossággal tudták becsülni.

Han és Fang [12] tanulmányában elosztott visszacsatolású (DFB) lézer diódákat használtak nyár faanyag nedvességmérésére. Az eredmények nagyon jó egyezést mutattak a visszaverődő sugárzás energiája és a faanyag nedvességtartalma között ( $r^2 > 0,9$ ), bár a szerzők rámutattak, hogy ez az eredmény egy fafaj szíjácsának vizsgálatán, és viszonylag alacsony mintaszámú mérésen alapszik. További NIR lézeres tanulmányok, melyek a faanyag sejtszerkezetének és optikai tulajdonságainak a tanulmányozására [13], vagy bizonyos kémiai összetevők kimutatására irányultak a faanyagban [14], kevésbé relevánsak az itt bemutatott kutatás szempontjából.

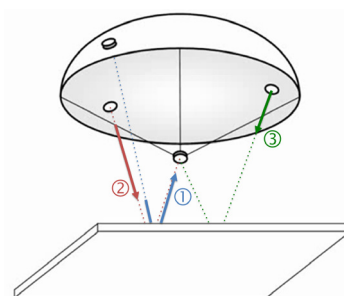
A közeli infravörös sugárzás, a sugárzás intenzitásától is függően az anyagba behatolva viszonylag gyorsan disszipálódik, így a visszavert sugárzás elsősorban az anyag felületi rétegeinek nedvességtartalmáról szolgáltat információt. Az itt bemutatott kutatás célja egy nagyon egyszerű mérési eljárás kifejlesztése, amely több különböző

fafaj nedvességmérésére is alkalmazható. A nedvességmérés pontosságát több különböző fafaj vizsgálatával kívántuk igazolni.

## 2. Anyagok és módszerek

A vizsgálatokat egy erre a célra speciálisan készített berendezés segítségével végeztük. Az infravörös jelet 3 lézer dióda szolgáltatta, 980, 1310, és 1450 nm-es hullámhosszon (a cikkben rendre a, b és c betűvel jelölve). A faanyag felületéről visszaverődő jelek egy parabolatükörre érkeztek, és a tükör fókuszpontjába helyezett érzékelődióda mérte azok amplitúdóját. A berendezés működési sémáját és fényképét a 2. ábra mutatja.

A mérések során a berendezés 2 s-ként küldött 1-1 jelet mindhárom lézerdiódából, felváltva (3. ábra). A mérések során minden próbatesten minden alkalommal legalább 10 mérés történt, és a mért értékekből átlagot számítottunk. A mérési eredményeket erősen befolyásolja a próbatestek és a diódák távolsága. Esetünkben a műszer állandó, 60 mm-es távolságban volt a mért próbatestektől (4. ábra).



**3. ábra:** A parabolatükör a diódákkal és a mérés elvi vázlatja



**4. ábra:** NIR lézer mérési összeállítás



A vizsgálatokat 4 különböző fafajból készült próbatesteken végeztük (magas kőris – *Fraxinus excelsior*, kocsányos tölgy – *Quercus robur*, erdei fenyő – *Pinus sylvestris* és Sapelli mahagóni - *Entandrophragma cylindricum*). A négy faj három markánsan különböző anatómiai struktúrát (keménylombos, fenyő és egzóta) képvisel, ami hatással lehet a mérési eredményekre. 12 db kőris és tölgy, 6 db fenyő és 11 db mahagóni próbatestet használtunk. A próbatestek mérete 20×80×200 mm volt.

A próbatesteket szobahőmérsékleten, különböző relatív páratartalomra beállított klímakamrában három különböző nedvességtartalmi értékre kondicionáltuk. Először 80%-os relatív páratartalomra tárolva, kb. 20% nedvességtartalomra, majd 50%-os relatív páratartalom mellett kb. 8%-os nedvességtartalomra, végül 0%-os relatív páratartalom (deszikkátorban) tárolva közel abszolút száraz értékre szárítottuk a próbatesteket. A kondicionálás során a próbatestek nedvességtartalmát folyamatosan nyomon követtük a tömegállandóság eléréséig. Az egyes kondicionálási lépéseket követően rendre elvégeztük a méréseket az NIR lézer berendezéssel, valamint mértük a próbatestek tömegét laboratóriumi mérleggel, 0,01 g pontossággal.

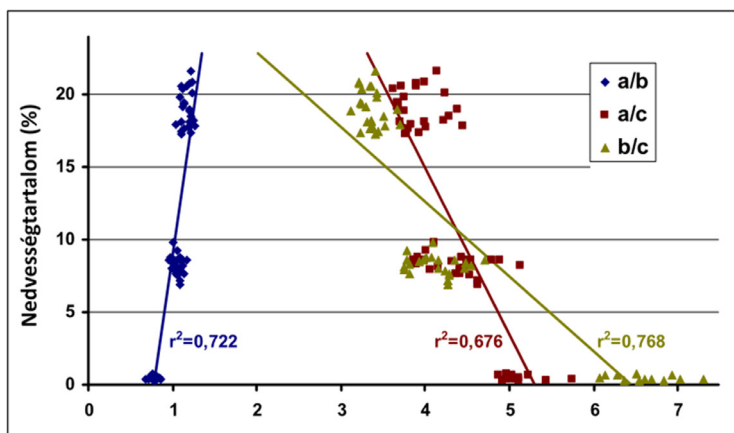
A referencia nedvességtartalom értékeket kiszáritásos eljárással állapítottuk meg. Ennek során a próbatesteket szárítókamrában 24 h-n keresztül szárítottuk 100±3 °C-os hőmérsékleten, a faiparban megszokott gyakorlatnak megfelelően. A szárítást követően a próbatestek tömegét a korábbiakban leírtaknak megfelelően mértük.

### 3. Eredmények és értékelés

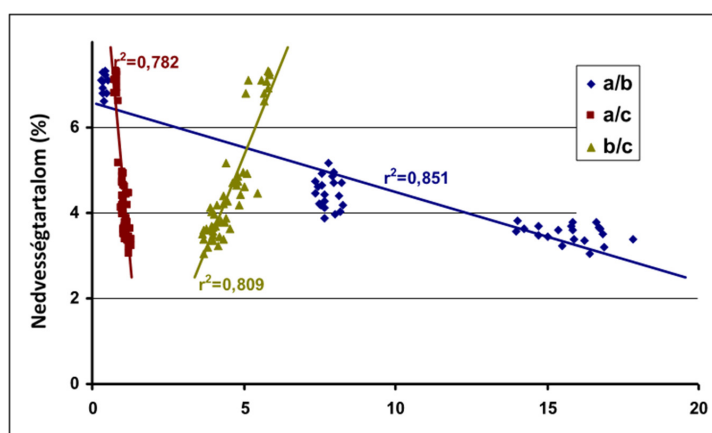
A mérések értékelése során a mért amplitúdók abszolút értékei (a, b, c) kevésbé alkalmasak a nedvességtartalom becslésére. Az alkalmazott lézerek hullámhossz értékei közül a 980 nm és az 1450 nm-es hullámhosszak közel vannak a vízmolekulák sajátrezgési frekvenciáihoz, míg 1310 nm-nél viszonylag alacsony a vízmolekulák elnyelése (ld. 1. ábra). A nedvességtartalom meghatározásához ezért a különböző hullámhosszokon mért intenzitások relatív értékeit (azaz a jelamplitúdók hányadosát, a/b, a/c, b/c) alkalmaztuk becselő paraméterként.

Az értékelés során először közvetlenül vizsgáltuk az amplitúdók hányadosa és a nedvességtartalom közötti összefüggést. Az összefüggés jó közelítéssel minden esetben lineáris volt; a determinációs koefficiens értékek 0,61 és 0,85 között változtak fafajtól és a számított hányadostól függően, ami elfogadható pontosságú becslést jelent faanyag esetében. Az eredményeket az 5. és 6. ábra szemlélteti tölgy illetve mahagóni anyag esetén.

A becslés pontosságának javítása érdekében a három becselő paraméter bevonásával többparaméteres lineáris regressziót végeztünk. A regresszió-analízist a Statistica® programmal végeztük el. Az 1. táblázat mutatja a felállított lineáris modelleket, és a hozzájuk tartozó determinációs koefficiens értékeket.



5. ábra: A kocsányos tölgy faanyagban mért amplitúdó hányadosok és a nedvességtartalom összefüggése



6. ábra: A mahagóni faanyagban mért amplitúdó hányadosok és a nedvességtartalom összefüggése

Mint az 1. táblázatból látható, a többparaméteres regresszió alkalmazásával felállított modellek nagy pontossággal becsülték a keménylombos és egzóta próbatestek nedvességtartalmi értékeit ( $r^2 = 0,87 \dots 0,90$ ). Fenyő anyag esetében az összefüggés kevésbé volt szoros ( $r^2 = 0,77$ ).

Érdekes eredmény, hogy az egyes becselő paraméterekhez tartozó koefficiens markánsan eltérnek az egyes fafajcsoportok között. Míg a két keménylombos fafaj esetében az együtthatók hasonlóak, a fenyő és az egzóta fafajhoz tartozó koefficiens nagymértékben eltérnek ezektől, és egymástól is. Az utóbbi esetben különösen szembetűnő az eltérés a keménylombosokhoz képest; a

1. táblázat: A különböző fafajok nedvességtartalma és NIR paramétere közötti összefüggést leíró többparaméteres becselő modellek ( $u$  = nedvességtartalom, %)

|                  |                                                                           |              |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Kocsányos tölgy: | $u = 82,06 \frac{a}{b} - 18,12 \frac{a}{c} + 11,17 \frac{b}{c} - 44,07$   | $R^2 = 0,90$ |
| Magas kőris:     | $u = 63,42 \frac{a}{b} - 14,44 \frac{a}{c} + 7,12 \frac{b}{c} - 23,16$    | $R^2 = 0,87$ |
| Erdei fenyő:     | $u = -368,13 \frac{a}{b} + 49,1 \frac{a}{c} - 89,12 \frac{b}{c} + 674,66$ | $R^2 = 0,77$ |
| Mahagóni:        | $u = 33,73 \frac{a}{b} - 8,41 \frac{a}{c} + 3,06 \frac{b}{c} - 0,90$      | $R^2 = 0,89$ |

koefficiensek előjele rendre ellentétes. Ez valószínűsíti, hogy a NIR jelek visszaverődését a nedvességtartalom mellett jelentősen befolyásolják az egyes faanyagok mikroszerkezeti, anatómiai jellegzetességei is.

A fenti eredmények biztatóak a tekintetben, hogy az egy fafajcsoportba tartozó (lombos, fenyő, egzóta) anyagok vélhetően hasonlóan reagálnak az infravörös sugárzásra. Mivel azonban e vizsgálat során mindössze két lombos, egy fenyő és egy egzóta fafajon végeztünk méréseket, további mérésekre van szükség annak igazolására, hogy ezek a mérések elsősorban a fafajcsoportok közötti eltérésekből fakadnak-e, vagy az egyes fafajok közötti eltérések is jelentősen módosíthatják az együtthatókat (azaz az eljárást minden fafajra külön kell-e kalibrálni.)

#### 4. Összefoglalás és következtetések

Kutatásunk során különböző hullámhosszú NIR lézer visszaverődési intenzitása alapján becsültük a faanyag nedvességtartalmát. A négy fafajon végzett kísérletek eredményei alapján az alábbi következtetések vonhatók le:

- A különböző hullámhosszon mért visszaverődési intenzitás értékek hányadosai alapján a különböző fafajok nedvességtartalma eltérő, de elfogadható pontossággal becsülhető.
- A hányadosok kombinálásával generált többparaméteres lineáris regressziós modell kitűnő pontossággal illeszkedik a lombos és egzóta fafajok valós nedvességtartalmi értékeire, míg fenyő esetében az illeszkedés kevésbé szoros.
- A keménylombos fafajok esetén a többparaméteres regressziónál adódó együttható értékek hasonlóak, míg a fenyő és egzóta anyag koefficiensei markánsan eltértek a lombos anyagtól és egymástól is. További vizsgálatok szükségesek annak igazolására, hogy a különböző fafajcsoportok összevontan kezelhetők-e, vagy a fafaji sajátosságok eltérései miatt minden fafajra külön kell-e kalibrálni az eljárást.

#### Köszönetnyilvánítás

Jelen publikáció az „EFOP-3.6.1-16-2016-00018 – A felsőoktatási rendszer K+F+I szerepvállalásának növelése intelligens szakosodás által Sopronban és Szombathelyen” című projekt támogatásával valósult meg. A szerzők köszönik Miriam Bradley hozzájárulását a kísérletek elvégzéséhez.

#### Irodalomjegyzék

- [1] Torgovnikov G. I.: 1993. Dielectric Properties of Wood and Wood-Based Materials (Springer Series in Wood Science); 196 S. ISBN 3-540-55394-0. Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York
- [2] Inagaki, T.; Ahmed, B.; Hartley, I.D.; Tsuchikawa, S.; Reid, M.

2014. Simultaneous prediction of density and moisture content of wood by terahertz time domain spectroscopy. *Journal of Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves*. 35(11): 949–961.

- [3] Karlinsari, L., M. Sabed, I.N.J. Wistara, Y.A. Purwanto. 2014. Near infrared (NIR) spectroscopy for estimating the chemical composition of (*Acacia mangium* Willd.) wood. *J. Indian Acad Wood Sci* 11:162–167 <https://doi.org/10.1007/s13196-014-0133-z>
- [4] Raturi, A., V. Kothiyal, P.D.Semalty. 2000. FT-NIR Spectroscopic Assessment of Compressive Strength of Wood of *Eucalyptus tereticornis*. *Proc. 21st Int. Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium.*, Freiburg, Germany, September 24-27, 2019. USDA FPL–GTR–272. pp. 341-357
- [5] Iki, T., T. Iwate, T. Fujimoto, Y. Hiraoka, Y. Takashima, E. Fukatsu. 2020. Estimating Microfibril Angle of S2 Layer Tracheids in Japanese Cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don) with Near Infrared Spectroscopy. *Proc. 21st Int. Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium.*, Freiburg, Germany, September 24-27, 2019. USDA FPL–GTR–272. p. 680 (Abstract only)
- [6] Russ, A., M. Fišerová, J. Gigac. 2019. Preliminary Study of Wood Species Identification by NIR Spectroscopy. *Wood Research* 54(4):23–32
- [7] Pan, X., J. Qiu, Y. Zhu, Z. Yang. 2000. Rapid Identification of Five Similar Wood Species of *Cinnamomum* Using Near Infrared Spectroscopy. *Proc. 21st Int. Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium.*, Freiburg, Germany, September 24-27, 2019. USDA FPL–GTR–272. pp. 325-332
- [8] Alkadri, A., D. Coquillat, O. Arnould, D. Jullien, J. Gril. 2019. TeraHertz Observation of Moisture Convection - Diffusion in Wood. *Proc. 21st Int. Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium.*, Freiburg, Germany, September 24-27, 2019. USDA FPL–GTR–272. pp. 317-324.
- [9] Stirling, R., T. Trung, C. Breuil, P. Bicho. 2007. Predicting Wood Decay and Density Using NIR Spectroscopy. *Wood and Fiber Science*, 39(3):414–423
- [10] Beguš, S., G. Begeš, J. Drnovšek, D. Hudoklin. 2015. A novel NIR laser-based sensor for measuring the surface moisture in polymers. *Sensors and Actuators A: Physical* 221(1):53-59. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2014.10.032>
- [11] Dowell, F.E., E.B. Maghirang, V. Jayaraman. (2009) Measuring Grain and Insect Characteristics Using NIR Laser Array Technology. Technical Note. *Applied Engineering in Agriculture*. 26(1):165-169. (doi: 10.13031/2013.29464)
- [12] Han, Y. és J. Fang 2020. Spectral Detection of Wood Moisture Content at 1899.703 Nm. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 598 012011
- [13] Tsuchikawa, S. és S. Tsutsumi. 2002. Application of Time-of-Flight Near-Infrared Spectroscopy to Wood with Anisotropic Cellular Structure. *Applied Spectroscopy* 56(7):869-876
- [14] Holmgren, A., B. Bergström, R. Gref és A. Ericsson. 1999. Detection of Pinosylvins in Solid Wood of Scots Pine Using Fourier Transform Raman and Infrared Spectroscopy, *Journal of Wood Chemistry and Technology*, 19(1-2):139-150, DOI: 10.1080/02773819909349604



## A Magyar Anyagvizsgálók Egyesülete (MAE) elnökeinek portréja

Presidents of the Hungarian Association for Material Testing

Tetmajer Lajos (vagy ahogyan a mérnöki tanulmányok során megismertük, Ludwig von Tetmajer) 126 éve, 1895. szeptember 9-11. között Zürichben életre hívta az Anyagvizsgálók Nemzetközi Szervezetét. A MAGYAR ANYAGVIZSGÁLÓK EGYESÜLETE másodikként, 1897. június 16-án alakult meg azzal az alapvető céllal, hogy hazánkat a nemzetközi rendezvényeken ez, és ne az osztrák-magyar egyesület képviselje. A II. Világháború végéig szervezetünk folyamatosan működött, majd az alapítás 100. évfordulóján, a Miskolc-tapolcán elindult kezdeményezés hosszasan vajúdást követően (Anyagvizsgálók Lapja, 2013/3-4) végül 2012-ben beérett. Az eltelt – immáron történelmi – kor nem csupán lehetőséget biztosít a Felelős Szerkesztőnek a visszatekintésre, hanem fel is szólítja arra, hogy megemlékezzünk dicső elődeinkről. Az alapvető kérdés ebben a helyzetben: hogyan, milyen módon, miképpen? A történelem megismételhetetlen. Ami elmúlt, visszahozni nem lehet, még törekedni sem szabad erre, hiszen a kudarc eleve adott. Mégis kapaszkodóként szolgálhat az a tény, hogy mindig és mindenkor voltak olyan emblemikus személyek, akik többet vállaltak a szakmáért, annak fennmaradásáért, a szakemberek összefogásáért, a tudás népszerűsítéséért.

Ezek voltak az Egyesület elnökei. Álljon itt a névsoruk:

|                  |                                      |
|------------------|--------------------------------------|
| 1897-1904        | Czigler Győző (műegy. tanár)         |
| 1904-1910        | Nagy Dezső (műegy. tanár)            |
| 1910-1914        | Czékus Aurél (min. tanácsos)         |
| 1914-1917        | Rejtő Sándor (műegy. tanár)          |
| 1917-1924        | Zielinski Szilárd (műegy. tanár)     |
| 1924-1927        | Gállik István (alelnök, államtitkár) |
| <b>1927-1930</b> | <b>Czakó Adolf (műegy. tanár)</b>    |
| 1930-1934        | Zorkóczy Samu (műsz. vezérig.)       |
| 1934-1939        | Mihailich Győző (műegy. tanár)       |
| 1939-1942        | Quirin Leo (műegy. tanár)            |
| 1942-1944        | Misángyi Vilmos (műegy. tanár)       |
| 2012-2014        | Gillemot László, Dr.                 |
| 2014-2019        | Czinege Imre (professzor emeritus)   |
| 2019 -           | Biró Gyöngyvér, Dr. habil            |

A 14 nevet felsorakoztató névsorból lapunk korábbi számaiban már hét szakember életének mozzanataival találkozhattak. Most Czakó Adolf (1860 - 1942) a „műegyetemi tanár”, a Királyi József Műegyetem 1918/19 - 1919/20 tanéveiben rektori feladatokat is ellátó szakember életének egyes részleteibe tekinthetünk be.

### Czakó Adolf (1927-1930)

Az igazán szép kort, majdnem pontosan 82 évet megélt Czakó Adolf anno még Pesten született, hiszen Pest, Buda és Óbuda egyesítését 1872 decemberében fogadták el a vezetők és a mai Budapest 1873 őszén jött létre. Eredeti neve 1884-ig Zwick Róbert (szülei Zwick Mihály és Hirsch Alojzia) [2]. A névváltás indítékaira hosszasan kutatást követően sem találtunk információt. Igaz a Culmann Károlyról Zürichben 1882-ben írt nekrológját [12/1] még Zwick Adolf néven jegyzi.

Életének főbb mozzanatai a különböző lexikonok, újságcikkek, online források alapján [2-9] időrendi sorrendben röviden így foglalhatók össze:

- a reáliskola elvégzése után (1878-1884) Zürichben a tartószerkezetek, hidak tervezése területén világhírű Culmann Károly, majd Budapesten a Joseph Polytechnicum (József Műegyetem) diákja,
- 1884-ben Budapesten mérnöki diplomát szerez, miközben
- 1882-1885 között a Műegyetem Hídépítéstani Tanszékén tanársegéd a hídépítéstan kiváló professzora Kehrdl Antal mellett, aki ugyancsak a zürichi Műegyetem Mérnöki karán tanult.
- 1885-1886 között a MÁV segédmérnöke Budapesten,



Czakó Adolf portréja [1]  
(1860. február 4., Pest – 1942. január 28., Budapest)

- 1886-tól a Közmunka- és Közlekedésügyi Minisztérium Hídszerkesztő Osztályának I. osztályú (miniszteri) mérnöke,
- 1889-től a Közmunka- és Kereskedelmi Minisztérium Hídszerkesztő Osztályának I. osztályú (miniszteri) mérnöke,
- 1894-1895-ben ugyanitt miniszteri főmérnök, miközben
- 1893-1895 között egyben a Műegyetem konstruktöre,
- 1895-től nyugdíjazásáig (1931. november 1-ig) a Műegyetem munkatársa különböző beosztásokban:
  - 1895-1900 – nyilvános rendkívüli tanár (1898-ig a József Műegyetemen),
  - 1900-1931 – nyilvános rendes tanár (1898-tól a Királyi József Műegyetemen),
  - 1912-1914 – két tanévben a Műegyetem Gépészeti Osztályának dékánja,
  - 1916/17 tanév – a Műegyetem Mérnöki és Építészeti Osztályának dékánja,
  - 1918-1920 – két tanévben az egyetem rektora,
  - 1902 – a műegyetemi mérnökképzésbe bevezette a szilárdságtani laboratóriumi gyakorlatot (jelenleg a Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszék laboratóriuma Czakó Adolf nevét viseli).

Az oktatás területén a gépészmérnök hallgatóknak 20 éven át a grafosztatika (grafikus statika) és a vas-szerkezetek tárgyköréből, az építészhallgatóknak pedig 33 éven át adott elő szilárdságtani témaköröket. Átható jelentőségű volt a laboratóriumi gyakorlatok bevezetése, ami igen nagymértékben hozzájárult a mérnöki szemlélet formálásához, a gyakorlat és elmélet szerves kapcsolatának kialakításához.

Jelentős szerepet vállalt a műszaki jellegű társadalmi tevékenységekben is. Ezek címszavakban:

- Országos Középítési Tanácsban:
  - 1906-tól tag (alelnök Kherndl Antal),
  - 1922-1928 alelnök,
  - 1928-1932 elnök.
- Országos Vízügyi Nagytanács tagja 1911-1918 között,
- Országos Természettudományi Tanács tagja 1931-től,
- Haditechnikai Tanács alelnöke 1924-től,
- A Magyar Mérnök és Építész Egyletben (egyik alapítója Kherndl Antal, első titkára 1869-1870 periódusban):
  - 1910-1913 között az út-, vasút-, és hídépítési szakosztály elnöke, majd
  - az Egylet választmányának tagja,
  - a hegesztő bizottság elnöke.
- A Budapesti Mérnöki Kamarában:
  - 1925-1933 között választmányi tag,
  - 1933-tól állandó választott bírósági tag.
- Magyar Anyagvizsgálók Egyesületének elnöke 1927-1930 között,
- A Balatoni Intézőbizottság mérnöki osztályának elnöke,
- Szabványosító Intézet építésügyi szakosztályának elnöke,
- Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat alapító tagja [13].

A szakmai közéletben betöltött szerepének eddigi felsorolását csak folytatni lehetne. Mindezek eredménye, hogy



Czakó Adolf sírhelye [18]

70. születésnapján [12/13] számos, a mérnöki társadalmat képviselő szervezet tiszteletbeli tagjává választotta.

A Magyar Mérnök és Építész Egylet Közleményeiben rendszeresen publikált [12]. A „Téglafalak szilárdsága” és a „Táblázatok vasszerkezetek méretezéséhez és súlysámitásához” c. munkái az antikváriumok keresett darabjai. Munkásságát számos elismerés követte. Ezek közül a legjelentősebbek:

- 1932-ben legfelsőbb kormányzói elismerés a Haditechnikai Tanács alelnöki tevékenységért,
- 1933-ban II. osztályú Magyar Érdemkereszt az Országos Középítési Tanács elnökeként végzett munkájáért,
- 1938-ban Magyar Királyi József Nádor Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Mérnöki és Építészmérnöki Karának tiszteletbeli doktora cím az oktatásban és a szakmai közéletben végzett tevékenységéért [10].

Anekdotának tűnhet, de annak, aki megélte, „véres valóságot” jelentett Várnay-Sternberg Marianne esete, aki Czakó Adolf rektorságának időszakában iratkozhatott be elsőként a Műegyetemre építész hallgatónak [14]. Igaz nőként diplomáját másodikként kaphatta meg, mert Pécsi Eszter elsőként 1920. március 8-án már átvehette azt. Az ok egyszerű, Pécsi Eszter 1915-1919 között a korábbi tanulmányait Berlin-Charlottenburgban folytatta a Technische-Hochschulében és csupán az utolsó évet a Műegyetemen, miközben annak már volt beiratkozott női építész hallgatója Várnay-Sternberg Marianne személyében.

Czakó Adolf 1942. január 28-án hunyt el Budapesten. Halálhírért méltatásokkal a napilapok is közölték [15]. Temetésére két nap múlva, január 30-án került sor. A mérnökök társadalmára részéről Schilling Zoltán mondott búcsúbeszédet [17], amely nyomtatásban is megjelent Csonka Pál méltatásával együtt a Magyar Mérnök és Építész Egylet Közleményében [16, 17]. A Bory Jenő által készített síremléke a Kerepesi temető 11-es parcellájában található [18].

## Irodalomjegyzék

- [1] Magyar Digitális Képkönyvtár: Czakó Adolf: <http://www.kepkonyvtar.hu/?docId=89530> (Letöltve: 2022.01.26.)
- [2] Wikipédia: Czakó Adolf élete: [https://hu.wikipedia.org/wiki/Czakó\\_Adolf](https://hu.wikipedia.org/wiki/Czakó_Adolf) (Letöltve: 2022.01.26.)
- [3] Új magyar életrajzi lexikon. Magyar Könyvklub 2001.
- [4] Révai nagy lexikona V. köt. 1912. Faximile kiadás 1990.
- [5] A Műegyetemtől a világhír. Műegyetemi kiadó, 2007.
- [6] Tudósnaptár, História: Czakó Adolf: <https://tudosnapr.kfki.hu/localhost/webdok.php?nanev=czako&nev5=Czak%F3+Adolf> (Letöltve: 2022.01.26.)
- [7] A mechanika tudományának jelentős személyiségei. <http://mek.oszk.hu/02100/02185/html/640.html> (Letöltve: 2022.01.26.)
- [8] Wikipédia: Kherndl Antal: [https://hu.wikipedia.org/wiki/Kherndl\\_Antal](https://hu.wikipedia.org/wiki/Kherndl_Antal) (Letöltve: 2022.01.26.)
- [9] Magyar Elektronikus Könyvtár: Czakó Adolf: <http://mek.oszk.hu/00300/00355/html/ABC02469/02916.htm> (Letöltve: 2022.01.26.)
- [10] Minisztertanácsi jegyzőkönyvek 1867 -1944. (1938. 04.06.) <https://adatbazisonline.hu/adatbazis/minisztertanacsi-jegyzokonyvek-1867-1944/adatlap/60247> (Letöltve: 2022.01.26.)
- [11] Eötvös Loránd Fizikai Társulat alapító tagjai a Nemzeti Pantheonban: <http://elft.hu/tarsulatrol/tarsulatunk-alapito-tagjai-a-nemzeti-pantheonban/> (Letöltve: 2022.01.26.)
- [12] Czakó Adolf és a vele kapcsolatos cikkek a Magyar Mérnök és Építész Egylet Közlönyében:
- 1882/16/3 149-153 Zwick Adolf: Culmann Károly (nekrológ)
  - 1887/21/11 513-516 Czakó Adolf: A csúszó lap egy tulajdonságáról a támasztott földtest egy speciális határolása esetén.
  - 1888/22/1 20-29 Czakó Adolf: Bosznia és Hercegovina építészügye az okkupáció kezdetétől 1887-ig I.
  - 1888/22/2 81-89 Czakó Adolf: Bosznia és Hercegovina építészügye az okkupáció kezdetétől 1887-ig II.
  - 1904/38/8 313-319 Czakó Adolf: A tartók grafosztatikája.
  - 1911/45/51 659-664 A második Műegyetem (Cholnoky Jenő beszéde, Kájlínger Mihály, Forbáth Imre, Méhely Kálmán, Czakó Adolf, Jendrassik Kornél, Bánki Donát, Finály István hozzászólása).
  - 1912/46/20 353-353 Czakó Adolf: Kherndl Antal ünneplése 70. születésnapján. - Kherndl Antal válasza.
  - 1912/46/50 797-814 A "M. Kir. Ipari Kísérleti és Anyagvizsgáló Intézet" (az MMÉE egyetemes szakülésén 1912. november 28-án tartott ismertetés és felszólalások: Czakó Adolf előadása, Pompéry Elemér és Grittner Albert kiegészítése, Szilágyi Gyula, Gerster Miklós, Munkácsi Andor, Gálócsy Árpád, Nagy Dezső, Gáti Béla, Bermann Miksa, Méhely Kálmán, Varsányi Emil, Rejtő Sándor, Pfeifer Ignác, Bánki Donát, Bartel János hozzászólása).
- 1918/52/42 345-350 A József Műegyetem 1918/19. tanévi megnyitása (Kürschák József leköszönő és Czakó Adolf új rektor beszéde).
- 1919/53/7 49-52 Az Országos Munkaügyi Tanács alakuló ülése (Czakó Adolf, Méhely Kálmán, Károlyi Mihály, Berinkey Dénes, Garami Ernő beszéde).
- 1920/54/44-45 169-174 A József Műegyetem 1920/21. tanévének megnyitása október 10-én (Czakó Adolf prorektor beszámolója).
- 1927/61/51-52 326-334 Az MMÉE 1927. december 8-i ünnepi közgyűlésén elhangzott beszédek, felszólalások (Buday Béla, Herrmann Miksa, Rumbach Dezső, Berzeviczy Albert, Schimanek Emil, Tettamanti Jenő, Szontagh Tamás, Ilosvay Lajos, Rihmer Béla, Gerlóczy Zsigmond, Kossalka János, Czakó Adolf, Maurer Gyula, Dalmady Ödön, Schiffer Miksa, Chatel Vilmos, Zorkóczy Samu, Bund Károly, Szesztay Sándor, Szávay Gyula, Szabó Gusztáv, Chorin Ferenc, Györgyi Kálmán, Gillyén Sándor, Marton Pál).
- 1930/64/27-28 253-255 Egyleti közlemények (közte a 70 éves Czakó Adolf műegyetemi tanár ünnepléséről).
- 1931/65/31-34 197-201 Közgyűlési beszédek április 6-án (Forster Gyula, Hoepfner Guidó, Hüttl Dezső, Czakó Adolf, Dalmady Ödön, Farkass Kálmán, Boleman Géza beszéde és Orphanides János levele).
- [13] Eötvös Loránd Fizikai Társulat. Társulatunk alapító tagjai a Nemzeti Pantheonban. <http://elft.hu/tarsulatrol/tarsulatunk-alapito-tagjai-a-nemzeti-pantheonban/> (Letöltve: 2022.01.26.)
- [14] Várnay Mariann első nőként beiratkozhatott a Műegyetem építészhallgatói közé. <https://www.octogon.hu/epiteszet/varnay-marianne-az-első-noi-epiteszhallgato/> (Letöltve: 2022.01.26.)
- [15] Czakó Adolf elhunytával kapcsolatban megjelent cikkek:
- Nemzeti Újság, 1942. 01. 29.
  - Új Magyarország, 1942. 01. 29.
  - Pester Lloyd, 1942. 01. 29. (német nyelven)
  - Pester Lloyd, 1942. 01. 31. (német nyelven - életrajz)
- [16] Csonka Pál: dr. h. c. Czakó Adolf: Magyar Mérnök és Építész Egylet Közlönye. 1942. 7-8 szám. p.25-27.
- [17] Schilling Zoltán: A magyar mérnöki szervezetek nevében dr. Czakó Adolf temetésén 1942. január 30-án mondott búcsúztatója. Magyar Mérnök és Építész Egylet Közlönye. 1942. 7-8 szám. p.27.
- [18] Köztérkép: Czakó Adolf síremléke: <https://www.kozterkep.hu/16042/czako-adolf-siremlke-a-tudos> (Letöltve: 2022.01.26.)



## Beszélgetés a Gyimes családdal

*Ha jól emlékszem, éppen tíz éve, hogy kihelyezett elnökségi ülést tartottunk Nagykanizsán egyik tagszervezetünknel, a Röntgen Kanizsa Kft.-nél. Ennek keretében, mint más hasonló alkalommal, az Elnökség közelebből is megismerkedhetett vendéglátóink szakmai tevékenységével, sike-reivel, problémáival. Számomra a jó hangulat, a mosolygás, amit ennél az igazi családi vállalko-zásnál tapasztaltam, maradt emlékezetes mind-máig. Talán ebből a beszélgetésből, amelyben – a család nevében – partnerem az alapító, Gyimes Gyula Zoltán, kiderül, mi minden van ennek hátterében.*



### Hogyan jött létre a RÖNTGEN KANIZSA Kft.?

1998-ban alapítottam meg a RÖNTGEN KANIZSA Bt.-t főfoglalkozású munkám mellett, és a későbbiekben alakultunk át kft.-vé. Ez még a privatizáció időszaka volt, rövidesen – nem saját akaratomból – munkanélküli lettem. Mivel 20 éves koromtól végig egy munkahelyen dolgoztam, mindig ipari radiológusként, így nem is értettem máshoz. Egy SL-200-as, bérelt röntgengéppel kizárólag helyszíni radiográfiai vizsgálatokat végeztem, saját lakásom egyik szobáját irodaként, a fürdőszobát sötétkamraként használva. Nehéz időszak volt. Ezekben az években sok szakmai segítséget kaptam néhai Füles Lajostól, akire a mai napig nagy szeretettel és hálával gondolok.

### Milyen út vezetett a máig?

A vizsgáló eszközeink állományát, az évenkénti nyereséget visszaforgatva, kis lépésekben folyamatosan bővítettük. Tevékenységünket akkreditáltattuk, a státuszt azóta is folyamatosan fenntartjuk és fejlesztjük.

Nálunk a család különösen összetartó. A magánéletben is állandó kapcsolatban vagyunk és egymáshoz közel, nagy szeretetben élünk. Ezt a családi légkört a mindennapokban, kiterjesztve a RÖNTGEN KANIZSA Kft. többi munkavállalójára is, sikerült a mai napig megőrizni. Első munkatársaim lányom Gyimes Magdolna, sógorom Nagy Lajos (aki sajnos három éve elhunyt), unokaöcsém Szőlősi Csaba, majd fiam Gyimes Gyula voltak, anyagvizsgálóként. Később csatlakozott hozzánk a gyed és gyes után, szintén anyagvizsgálóként, a menyem Gyimes Tünde. Feleségem Magdi, a tanári pályáról nyugdíjba vonulva, beszerzőként dolgozik nálunk. Így jelenleg öt családtag erősíti cégünknel a szakmát.

Folyamatosan vezettünk be új vizsgálati módszereket, laboratóriumot építettünk, tovább növeltük vizsgálóink számát és roncsolásos vizsgálatokkal bővítettük a tevékenységünket. Töretlen, egyenletes fejlesztés és fejlődés során jutottunk el a mai állapotig.

2017-től integrált irányítási rendszert működtetünk,

mely egy rendszerbe foglalja a vizsgáló laboratórium MSZ EN ISO/IEC 17025:2018 szerinti akkreditációját, valamint a MIR, KIR, MEBIR és VCA/SCC tanúsításokat. Rendelkezünk jól karbantartott, munkatársaink és vizsgálóeszközeink szállítására alkalmas gépkocsiflottával. Négykerék-meghajtású járműveink terepen is nagy biztonsággal közelíthetik meg a vizsgálati helyszíneket.

### A család öt tagjának van egy vagy több anyagvizsgáló tanúsítványa. Minek köszönhető nálatok ez a komoly érdeklődés a szakmánk iránt?

A család öt tagjának összesen 26 db anyagvizsgáló tanúsítványa van, melyből 7 db 3-as szintű. El kell mondanom, hogy én a kevésbé képzettek közé tartozom 3 db 2-es szintű tanúsítványommal. A RÖNTGEN KANIZSA Kft. ügyvezetői irányítási feladatai mellett én már csak ritkán végzek anyagvizsgálatokat. Fiam, aki a laboratóriumunk vezetője, gyakorlati és elméleti szinten jól irányítja a szakmai munkát.

A szakma iránti érdeklődést, szerintem, a vevői igényeket követő, folyamatos fejlesztések generálják. Új eszközök, új vizsgálati módszerek és ezek megismerése folyamatosan újabb kihívást jelent, amire munkatársaink és a család mindig fogékony volt és ma is az.

### Milyen tanulmányok után jutottatok el a roncsolásmentes anyagvizsgálatig?

Én kőolaj-bányászati és mélyfúró-ipari technikus vagyok. Fiam, lányom, menyem, unokaöcsém több diplomával rendelkeznek – a német tanáritól a közgazdászint az informatikusig. Milyen érdekes, hogy egyikőjük sem kifejezetten műszaki végzettségű, mégis magas szintű munkát végeznek. Talán pályaválasztáskor tévedtek? Sohasem késő alapon, lányom és fiam munka mellett gépészmérnöknek tanul.

**Lehet persze a pályaválasztáskor tévedni, de hol van még egy család, amelynek tagjai ilyen nagy arányban választják másodjára az anyagvizsgálatot (vagy egyáltalán, egy teljesen más jellegű területet)? Ehhez, szerintem, komoly érzelmi motiváció (is) kell. Tévednék?**

Nem tévedsz, ez természetesen így van. A 2000-es évek elején már látszott, hogy a RÖNTGEN KANIZSA Kft. széles körben sikeres lehet, ha elegendő és kellő mértékben elhivatott ember dolgozik a közös célok elérésén. Az elhivatottság pedig annál nagyobb, minél inkább érintett az ember személyesen. Elmondhatjuk, hogy az évek (most már évtizedek) során a család sok tagja megpróbálta hozzátenni a maga erősségeit a nagy egészhez.

**Hogyan értékelitek gazdasági és szakmai szempontból a cégetek által mostanáig megtett utat?**

A RÖNTGEN KANIZSA Kft. 24 éves fennállása óta gazdaságilag stabil, veszteséges évünk nem volt. Cégvezetőként és tulajdonosként mindig a pénzügyi biztonságra törekedtem, ezért fontos, hogy pénzügyi tartalékot képezzünk. Fejlesztéseinket többnyire saját erőből finanszírozzuk. A megtermelt nyereség nagy részét évről-évre visszaforgatjuk.

Szakmai szempontból nem győzöm hangsúlyozni a folyamatos fejlesztés jelentőségét, mely magában foglalja – a teljesség igénye nélkül – az irányítási rendszerünket, a munkatársaink képzettségét, a korszerű vizsgáló berendezések beszerzését stb.

Büszke vagyok, hogy irányításommal a RÖNTGEN KANIZSA Kft. országosan ismertté és elismertté vált. Amivel elértük:

- hozzáértés (folyamatos képzés)
- megbízhatóság
- minőség
- felelősségvállalás (munkatársak, megrendelők, környezetvédelem, egészség és biztonság stb. irányában)
- társadalmi szerepvállalás (szponzorálás, adományozás).

**Milyen körből jönnek a megrendelőitek, partnereitek? Földrajzilag mekkora területet fed le a tevékenységetek?**

Megrendelőink jórészt fémtermékek, nyomástartó berendezések, hegesztett szerkezetek gyártói, de az energia- és a vegyipar területéről is vannak megrendelőink, szerződött partnereink. Határon átnyúló kapcsolatokkal is rendelkezünk.

Egész Magyarországon vállalunk és végzünk anyagvizsgálatokat, jellemzően a Dunántúlon.

**Hogyan látják a hazai anyagvizsgálat helyzetét, jövőjét a család idősebb, illetve ifjabb tagjai?**

A piacon sajnos időnként találkozunk olyan versenytársakkal, akik irreálisan alacsony vizsgálati árakkal nyernek el megbízásokat, ami megkérdőjelezi a tisztességes és szakszerű munkavégzést. Az anyagvizsgálathoz kevésbé értő megrendelő persze szívesen választja az olcsóbb ajánlatot. Az ilyen piaci magatartást mélységesen elítélem. A tisztességes, szakszerű anyagvizsgálat költségei egy adott szint alá nem csökkenthetők.

**Hadd kérdezzek most közbe! Van-e elképzeléseitek, javaslatotok, miként tudná a szakmai közösség előmozdítani, hogy a nem etikus, tisztességtelen piaci magatartás visszaszoruljon? Mi lenne ebben a szerepe a MAROVISZ-nak?**

Igazán használható javaslatom nincs. Talán a megrendelők szemléletének kellene megváltoznia, de arra a labornak nincs ráhatása. Viszont a MAROVISZ-nak, mint szakmai szervezetnek, fontos szerepe lehetne az etikus piaci magatartás, a szakmai becsület védelmében, vagy épp elismertetésében.

**Térjünk vissza a jövőhöz!**

Mindig optimistán tekintetem a jövőbe. Ma is ezt teszem. A sikeres múlt gyökereiből építjük jövőnket. Úgy gondolom, hogy azok az anyagvizsgáló vállalkozások, melyek időben felismerik megrendelőik egyre magasabb szintű, a legújabb vizsgálati technikát, technológiát követelő igényeit, és annak vizsgálóeszközök és szakemberek szintjén is képesek megfelelni, van jövőjük.

Szeretném, ha tevékenységünkkel, munkakultúránkkal értéket képviselnénk.

**Meggyőződésem, hogy olvasóinknak nyilvánvaló az alapján, amit itt megtudhattak a cégetekről, a családokról, hogy értéket teremtettetek és az értéket képviselitek mind a mai napig. De vajon a fiatalabb családtagok is ilyen optimisták a jövőt illetően?**

(Ezúttal Ifj. Gyimes Gyula válaszol.)

Mindenképpen. Meggyőződésem, hogy csak a cég jövőjébe vetett hittel és folyamatosan új célkitűzésekkel lehet és érdemes egy vállalkozást üzemeltetni. E nélkül és új kihívások nélkül a minőség romlik, és a munka iránti alázat is lassan kiveszik. Remélem továbbá, hogy ezt a szemléletet és a szakma szeretetét a következő generációnak is sikerül örökölni.

**Miután a család legkisebb tagjait is láttam már Egerben, RAKK idején, azt gondolom, minden esély megvan rá, hogy ez a remény valósággá váljék. További sok sikert és hozzá jó egészséget kívánok az egész családnak!**

Skopál István

## Állásfoglalás

Pusztító, értelmetlen háború folyik Európa szívében a 21. században. Katonák és civilek ezrei halnak meg, egy ország infrastruktúrája a megsemmisülés közelében van. Mindannyian döbbenet hallgatjuk ezeket a hihetetlen híreket, de egyúttal reméljük, hogy a harcoló felek tárgyalások eredményeként mielőbb eljutnak a háború befejezéséhez. A támadást megindító Oroszország ellen a világ a legkülönbözőbb gazdasági, pénzügyi és egyéb szankciókat vezet be. A helyzet rendkívüli, ennek megfelelően a helyzettel kapcsolatos reakciók is rendkívüliek.

Az Anyagvizsgálók Lapja olvasói több nemzetközi szakmai szervezethez tartoznak, mint azok nemzeti csoportja, társasága tagjai. Ezek az Európai Roncsolásmentes Vizsgálati Szövetség (EFNDT) és az Európai Szerkezetintegritási Társaság (ESIS), amely szervezeteknek – természetesen – orosz tagjai is vannak. Az elmúlt hetekben az említett szervezetek vezetését egyes tagok (tagszervezetek vezetői) arra szólították fel, hogy zárják ki tagjaik közül az orosz tagszervezetet.

A nemzetközi szervezetek vezetői nehéz helyzetbe kerültek. A tagok közös érdeklődési területét egy adott technológia, illetve tudományterület jelenti. A tagság alapja nem a nemzetiség, a kor, a nem, a vallás, a bőrszín, a politikai hovatartozás és hasonlóak, hanem az említett szakmaiság. A működés elveit az alapszabályok rögzítik. Nem tartalmazzák viszont az alapszabályok azt, hogy egy ilyen rendkívüli, háborús helyzetben mi a helyes politikai megnyilvánulás, ha egyáltalán meg kell nyilvánulniuk.

Az Anyagvizsgálók Lapja felelős szerkesztőjének és kiadójának együttes álláspontja a következő:

- Hatalmas a hazai és nemzetközi szakmai szervezetek vezetőinek (vezető testületeinek) a felelőssége abban, hogy rendkívüli esetekben milyen döntést hoznak.
- A technológia / tudomány bázisára épülő szervezetek alapszabályai nem rendelkeznek arról, hogy milyen esetben hozzanak politikai állásfoglalást. Amennyiben mégis erre az útra lépnének, akkor ezt az alapszabályban rögzíteni kell.
- A szabályozás megszületéséig, illetve a háborús konfliktus diplomáciai úton történő rendezéséig az orosz tagszervezetek nemzetközi szervezetekben lévő szavazati jogának a felfüggesztése képzelhető el.
- Az által vezérelve és annak reményében, hogy a háború befejezését követően a tudomány és a technológia orosz és ukrán képviselői ismét együtt fognak működni a nemzetközi szervezetekben, az Anyagvizsgálók Lapja felelős kiadója és szerkesztője – igény esetén – kész részt venni az említett nemzetközi szervezetekben kialakult konfliktus kezelésében.

Bízunk abban, hogy a „Közleményben” megfogalmazott állásfoglalással hozzájárulhatunk a hazai szakembergárda szélesebb és egyértelműbb részvételére a legkülönbözőbb nemzetközi tudományos/szakmai szervezetek tevékenységében erősítve a magyar tudomány széleskörű ismertségét és elismertségét.

Budapest, 2022.03.24.

*Anyagvizsgálók Lapja (Hungarian Journal of Materials Testing)*

*Felelős szerkesztője (Editor-in-Chief)*

**Prof. Dr. Tóth László**

## Declaration

Devastating and senseless war takes place in the heart of Europe in the 21. century. Thousands of soldiers and civilians have been killed and the infrastructure of a country is close to destruction. Astonished we are listening to the news but with hope that the involved parties soon reach the end of war through negotiations. The world is implementing various economic, financial and other sanctions against the aggressor Russia. The situation is extraordinary, consequently the relevant reactions are extraordinary too.

Readers of the Hungarian Journal of Materials Testing belong to more international organisations as members of national societies/chapters of these organisations. As examples, let us mention the European Federation for Non-Destructive Testing (EFNDT) and the European Structural Integrity Society (ESIS) which, of course, also have Russian members. Recently some members or some member organisations asked the leaders of these organisations to cancel the membership of the Russian organisations.

The leaders of the international organisations face a very difficult situation. These organisations are based on given technological, scientific areas that determine the common interest of their members. The membership is not based on nationality, age, religion, gender, colour of skin, political affiliation or similar but the basis is the professionalism referred. Operational principles are laid down in the Statute of these organisations. The Statutes, however, do not deal with the rules to follow in such a wartime situation, or with what the right political manifestation should be, if any at all.

Concerning this situation, the common position of the Editor-in-Chief and the Publisher of the Hungarian Journal of Materials Testing is as follows:

- The leaders (leading bodies) of international organisations have huge responsibility in their decision in this unprecedented situation.
- The Statutes of technology/science-based organisations do not outline rules about making political decisions. In case the leaders of international organisations decide for it, these rules have to be included in the Statutes.
- Until having such rules or until the termination of the war by diplomatic way, we may recommend the suspension of the voting right of the Russian member societies.
- Driven by the hope that after the war the Russian and Ukrainian representatives of technology and science will collaborate again in international organisations, the Editor-in-Chief and the Publisher of Hungarian Journal of Materials Testing are ready, if requested, to participate in management of related conflicts arising in international organisations.

We hope that the common position expressed in this Declaration can strengthen the role of the Hungarian experts in the activity of the technology/science-based international organisations.

*Felelős kiadója (Publisher)*

**Prof. Dr. Trampus Péter**



## Virággal a Nobel-díjért

With flowers, for the Nobel Prize

Hargittai István

Mély benyomást tett rám Csanády Ágnes cikke, amelyet a Fémipari Kutató Intézet megalapításának (meg nem ért) 70. évfordulójára jelentetett meg az Anyagvizsgálók Lapja [1]. Az egyébként informatív és olvasmányos beszámoló nem térhetett ki minden részletre, és különösen nem a szerző érdemeire. Ezt kiegészítendő, szeretném jobban kiemelni Csanády Ágnes, az MTA doktora nemzetközi jelentőségű eredményeit a „kvázikristályokkal” (pontosabban kváziperiodikus kristályokkal) kapcsolatos úttörő munkáiban. A beszámoló is megemlíti a 2014-es Nemzetközi Krisztallográfiai Év és Dan Shechtman 2011-es Nobel-díjának tiszteletére kiadott izraeli bélyeget, amelyen Csanády által készített minta képe látható. Ez már a Nobel-díj után történt.

Hamarosan Shechtman felfedezése után már találkoztam az irodalomban Csanády mintáinak imázsával és megállapítottam, hogy a világ legszebb kvázikristály felvételei, szinte virágok születtek meg munkája nyomán.



A Chemical Intelligencer (Springer) 1997. októberi számának címlapja [2]

Egyetemen. Shechtman előadást tartott, látogatását a BME és a Neumann János Számítástudományi Társaság szervezte és Shechtmant Neumann János professzori címmel tüntette ki a Műegyetem.

Shechtman felfedezése forradalmat hozott a krisztallográfiában és a kondenzált fázisú anyagok fizikájában és anyagtudományában. Kiterjesztette a krisztallográfia fogalmát és még a kristály definícióját is. De ezekhez a jelentős változásokhoz rögzös út vezetett. Az egyik tényező abban, hogy a tudományos közösség végigmehetett ezen az úton, Shechtman makacssága, kitartása és biztos tudása volt. Erről részletesebben írtam az Ambíció és kíváncsiság [4] című könyvemben, amelyben az erre vonatkozó 8. fejezet címe „Állhatatosság”, az alcíme

„Lehetetlen” anyag volt. A fejezetet indító illusztrációul a fentebb már idézett gyönyörű Csanády-kvázikristályt választottam. A világ legismertebb és legtiszteltebb kémikusa, Linus Pauling egészen haláláig (1994) nem ismerte

el a kvázikristályok létezését és Shechtman vonatkozó megfigyeléseit nagyméretű ikerkristályok jelenlétével értelmezte. Abban, hogy a felfedezés nem sikkadt el és végül teljes elismerésre jutott, Csanády Ágnes nagyszerű munkája, gyönyörű mintái, amelyeket anyagtudományi virágoknak tekinthetünk, fontos szerepet játszott.



A két találkozás időpontja 1995 és 2019 között történt, hogy Shechtman elnyerte a 2011-es kémiai Nobel-díjat (Hargittai István és egy ismeretlen fotográfus felvétele)

Amikor egy nagyszabású összeállítást közöltünk a Chemical Intelligencer kémiai magazinban a kvázikristály-felfedezés történetéről 1997 őszén, a Csanády-mintáról készült felvételt választottuk a címlapra [3]. Csanády Ágnes és a felfedező, Shechtman 1995-ben Balatonfüreden találkoztak abból az alkalomból, hogy nemzetközi iskolát/konferenciát szervezzünk a kvázikristályokról. A konferencia fő szervezője Farkasné Jahnke Mária volt, én a tudományos programért feleltem. Egy másik alkalom, amikor Csanády és Shechtman találkoztak 2019-ben volt a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi

**Köszönet és elismerés érte!**

### Irodalomjegyzék

- [1] Csanády Andrásné Dr. Bodoky Ágnes: A Fémipari Kutató Intézet (FKI) 70 éves jubileuma (1951-2021), Anyagtudományi töredékek (1971-1997), Anyagvizsgálók Lapja 2021/IV. lapszám, pp. 61-65.
- [2] The Chemical Intelligencer Vol. 3 No. 4 / October, 1997, Springer
- [3] H.-U. Nissen, R. Wessicken, C. Beeli, A. Csanady: Al-Mn quasicrystal aggregates with icosahedral morphological symmetry, Philosophical Magazine B 1988, 57, pp. 587-597.
- [4] Hargittai István: Ambíció és kíváncsiság, Akadémiai Kiadó, 2012

## Kiváló Kutatási Infrastruktúra címetek adományozott az Innovációs Hivatal

A Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal (NKFIH) kezdeményezésére 2021-ben a „TOP 50 Kiváló Kutatási Infrastruktúra” pályázaton összegyűjtötték Magyarország kutatóhelyeinek és infrastrukturális hálózatainak legjobb laboratóriumait, és a kiválasztottak elnyerték a „Kiváló Kutatási Infrastruktúra” címet. Emellett bekerülnek az NKFIH Hivatal honlapján elérhető, többféle paraméter alapján kereshető adatbázisba. Ezzel a minősítéssel az Innovációs Hivatal célja, hogy nemzetközi ismertséget és több lehetőséget biztosítson számukra nemzetközi kutatási együttműködésekhez is.

Az elismerő okleveleket Prof. Dr. Palkovics László innovációs és technológiai miniszter, Dr. Szabó István, a NKFIH alelnöke, és Dr. Fülöp Zsolt, a Nemzeti Kutatási és Infrastruktúra Bizottság elnöke közösen adta át 2021. december 16-án, a Pécsi Tudományegyetemen.

Az eseményen összesen 52 K+F infrastruktúra képviselői vették át az okleveleket: 2 Kiemelt Kutatási Infrastruktúra (ELI és ZalaZone), 40 Kiváló Kutatási Infrastruktúra és 5 db Ígéretes Kutatási Infrastruktúra címet osztottak ki.

A kitüntetettek között megtalálható valamennyi természettudományos kutatással foglalkozó egyetem, számos ELKH (Eötvös Loránd Kutatási Hálózat) kutatóintézet, illetve a Bay Zoltán Kutatóközpont is.

A kitüntetettek között van a **Bay Zoltán Kutatóközpont Mérnöki Divíziójának miskolci Üzemelési Biztonság Laboratóriuma** (vezetője: Dr. Biró Gyöngyvér) is, ami a mérnöki szerkezetek, berendezések, járművek üzemelési biztonságához kapcsolódó vizsgálati és mérnöki modellezési lehetőségeket integrálja. Magában foglalja a mechanikai-, roncsolásmentes- és anyagszerkezeti vizsgálatok, ill. a mérnöki szimulációs és virtualizációs módszerek széles körét. Hazai viszonylatban különleges és komplex szolgáltatásokat tud nyújtani ipari partnereknek, valamint nemzetközileg is versenyképes KFI tevékenységeket tud végezni és támogatni.

### A laboratórium három egységből áll:

#### **Mechanikai anyagvizsgáló laboratórium (akkreditált):**

**Laborvezető: Rózsahegyi Péter** (peter.rozsahegyi@bayzoltan.hu)

Alapvetően alapanyagok és termékek szabványos és nem szabványos minősítő vizsgálatait, termék- és technológia fejlesztéshez kapcsolódó vizsgálatokat végez. Ezek magában foglalják a mechanikai-, az anyagösszetétel- és az anyagszerkezeti vizsgálatok széles körét. Ezen túlmenően anyagvizsgáló módszerek és eljárások fejlesztését, szerkezeti anyagok károsodási folyamatainak elemzését, valamint komplex káresetelemzést is végeznek.



#### **Digitális valóság és mérnöki szimulációk laboratórium:**

**Laborvezető: Dr. Szávai Szabolcs** (szabolcs.szavai@bayzoltan.hu)

Tudásintenzív szolgáltatást nyújt a tervezéstől a gyártásig korszerű numerikus módszereket alkalmazva a technológia-tervezésben, a szerkezeti anyagok károsodási folyamatainak modellezésével, üzemelés biztonsági elemzésekkel. Unikális hardver és szoftverparkkal segített tudástranszfert szolgáltat, mely során a digitális térben vezeti végig a fejlesztési folyamatot. Korszerű információs technológiával segített mérnöki tevékenységeket alkalmaz a gyártási folyamat- és termék optimalizálása, a valós és teszt körülmények közti különbségek elemzése, a valósághű digitális prototípus előállítás, valamint az üzemelés közbeni viselkedés elemzése során.

#### **Roncsolásmentes vizsgálati laboratórium:**

**Laborvezető: Takács Csaba** (csaba.takacs@bayzoltan.hu)

A különböző roncsolásmentes vizsgálati módszerek alkalmazásán túl modellezéssel támogatott vizsgálatfejlesztéssel, hatékonyságelemzéssel és vizsgálati tervek kidolgozásával foglalkozik.

A „TOP50 KI” kiadvány online formában itt érhető el: <https://nkfi.gov.hu/english/top-50-hungary2021>

**Dr. Biró Gyöngyvér**

Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft.  
tématerületi igazgató



## Könyvismertetés

### Hargittai István, Hargittai Magdolna: Londoni séták a tudomány körül

Book review: I. Hargittai, M. Hargittai: Science in London. A Guide to Memorials

Az Akadémiai Kiadó 2021. év végén a pandémiás időszak újabb hullámában kellemes meglepetést okozott a tudománytörténet kedvelőinek a címében szereplő könyv megjelentetésével. Miért is? Aki a Hargittai házaspár – de teljesen megalapozottan mondhatom, hogy a Hargittai család – írásait követi, olvassa és a leírtakat fejében is összerakja a tudománytörténet csodálatos szépségű tisztására jut. Az emberiséget körülvevő világról szerzett ismereteink – amit nevezhetünk akár tudománynak is amennyiben a mi (?), miért (?) és hogyan (?) kérdésekre elménkben megválaszolható – ugyanis folyamatosan gyarapszanak, bővülnek, miközben az egyes részterület művelőjének élethossza kvantumnyi méretű csupán. Hogy miért is képes az emberi elme a környezetének működését, jelenségeit egyre részletesebben megismerni, „működésének ok-okozati összefüggéseit feltárni”? Egyrészt a kíváncsiság hajtja, másrészt megismeri az adott szűk területen felhalmozott ismereteket, harmadrészt pedig az adott történelmi periódus legújabb eszközrendszerét használja az addigi érzékelések kiegészítésére. Ezek birtokában állít fel gondolati modelleket a megfigyelték magyarázatára. Minden korban és földünk „minden zugában” voltak, vannak és lesznek olyan emberek, akiknek megvan az a kivételes adottsága, amit kreativitásnak is nevezhetünk, akik valóban mérföldköveknek tekinthetők egy-egy tudományterületen. A Hargittai házaspár (mindkét tagja többek között Magyar Tudományos Akadémia rendes tagja is) könyvsorozatában, amolyan útikönyv, tudománytörténeti bedekker formában tárja elénk egy-egy település világformáló egyéniségeinek történelmi emlékeit.

Most, amikor a Londonhoz kötődő tudománytörténeti emlékeket vettem kézbe, két maradandó élményhez jutottam. Az első az volt, hogy nem tudtam letenni a mintegy 300 oldal terjedelmű könyvet. Amikor a végére jutottam,



A Hargittai házaspár

a lelkiismeret-furdalás vett erőt rajtam, mert korábban már a másik hármát is olvastam, amelyek a könyvespolcom kedvenc – de nem is régi, még nem is porosodó – darabjai. A 2017-ben megjelent könyvek New York és Budapest, valamint a 2018-ban megjelent könyv Moszkva tudománytörténeti emlékeit mutatja be közel azonos terjedelemben.

Hogyan születhetnek ilyen gyors egymásutániságban e könyvek, amelyek hihetetlen mennyiségű információt foglalnak magukba? Hosszú évek gyűjtő munkájának és rendszerezésének eredménye mindaz, amit a Tisztelt Olvasó a kezébe vehet. Ezeket először angol

nyelven olvashatta az érdeklődő, majd kiváló fordításban jelentethette meg az Akadémiai Kiadó.

Ha a néhai Brit Birodalomról beszélünk, amelyet így jellemeztek: „az ország, ahol a nap soha nem nyugszik le”, mert mindig volt legalább egy gyarmat, ahol éppen nappal volt és sütött a Nap, akkor merész vállalkozásnak tűnik a birodalom központjában, Londonban felhalmozott tudományos ereklyék bemutatása. A birodalom fénykorában 458 millió alattvalót mondhatott magáénak, ami hozzávetőlegesen Európa 1920-as években élt lakosságának felelt meg. Ennyi ember között mindig, minden tudományterületen lehet igazán kreatív elméket találni. És volt is számos olyan kiművelt emberfő, aki az adott tudományterület mérföldkövét, avagy kiindulópontját testesítette meg. Ezek között valamilyen elv, elvek mentén rendet vágni, őket csoportosítani már önmagában is kihívást jelent. A Hargittai házaspár ragyogóan oldotta meg ezt az alapvető kérdést azzal, hogy felfedezők, tudósok, gyógyítók, mérnökök és feltalálók kategóriákat definiált. Sokáig hezitáltam azon, hogy milyen más kategóriákat állítanék fel, hiszen egy – a tudósok – kivételével mindenki egyértelműen definiálni tudja a besoroláshoz kötődő tevékenységet. A „Szerzői előszó” olvasása kapcsán



A Hargittai házaspár tudománytörténeti sétáinak útikönyvei



azonban feladtam a további őrlődést, mert a következőket olvastam: „3. Fejezet. Tudósok – fizikusok, kémikusok, természetbúvárok”. Ez utóbbi kifejezés pedig olyan széles kör jellemzője, amely magába foglalja a biológia legkülönbözőbb területének művelőit is Charles Darwin, a „darwini fejlődéstudomány” megalkotójától egészen Francis Crick vagy James D. Watson a DNS tudományban fontos szerepet játszóig.

A könyv egyik értékének érzékeltetésére hozzákezdtem a benne foglalt nevek, emlékművek, fényképek számlálásához, de – őszintén – be kell vallanom, hogy mindezekkel fel kellett hagynom, mert reménytelenné vált a pontos számok megadása. Biztossá csupán az maradt számomra, hogy bármilyen számot, számokat leírok az feltehetően nem lesz egzak. Csak azt mondhatom teljes meggyőződéssel, hogy átlagosan oldalanként 2-3 képpel számolva bizonyára meghaladja a félezret a tudásunkat bővítő, ismereteinket tágitó fényképek száma. Ha mégis szeretném valamilyen formában a könyv igazi értékét, s ezáltal a Szerzők megbecsültségét jellemezni, akkor

hivatkozom az „Előszó” írójára, Paul Nurse nevére, aki 2001-ben az élettani/orvosi Nobel-díj kitüntetését kapta és a Francis Crick Intézet igazgatója, a Royal Society korábbi elnöke volt.

Zárszóként engedje meg a Tisztelt Olvasó, hogy a magyar nyelvet felmagasztaljam. Nyelvünkben minden élethelyzethez kötődik olyan szó, amely egyetlen mondatban kristálytisztán visszaadja a pillanat lényegét. A röviden bemutatott könyv kapcsán „Az egyik szemem sír, a másik pedig nevet” - mondat ötlött fel bennem. A „nevet” kifejezés nem szorul magyarázatra, csupán kézbe kell venni a könyvet. A „sír” kifejezést pedig a Szerzők „Köszönetek” fejezetében olvasottak eredményezik, mert ezzel szembesültem: „a sorozat negyedik, befejező kötetének.....”. Az első három kötetet is olvasva biztos állítom, hogy hasonlóan tartalmas, érdekfeszítő, ismereteinket bővítő tudományos élethez kötődő bedekkerrel járhatna be a Tisztelt Olvasó Párizst, a Benelux államok fővárosait, avagy a Nobel-díj szülővárosát, Stockholmot is.

Tóth László

A Magyar Roncsolásmentes Vizsgáló Szövetség kiadványa

# Anyagvizsgálók Lapja

Az Ország vezető szaklapja

HUNGARY'S NATIONAL HYDROGEN STRATEGY

MAGYARORSZÁG NEMZETI HIDRÓGENSTRATÉGIÁJA

**ELŐZETES!**

A lap kiemelt támogatója: **MAE** Magyar Anyagvizsgálók Egyesülete (MAE)

**2020. április**  
Nemzeti Hidrogéntekológiai Platform megalakulása

**2021. április**  
Első magyar hidrogén töltőállomás

**2021. május**  
Elfogadta a kormány a Nemzeti hidrogénstratégiát

**2022**  
Balatoni ANKÉT Hidrogén Szekció

Ipari  
NHTP Munkacsoportok  
Oktatás és KFI  
Közlekedés  
Hidrogén és villamos energetika  
Hidrogén és gázhálózatok

**2022/II. lapszám**

## SZABVÁNYÜGYI TÁJÉKOZTATÓ – 2021

Standardisation information – 2021

## Megjelenet az ISO 9712:2021

Az ISO 2021. decemberében kiadta a roncsolásmentes anyagvizsgálók minősítésére és tanúsítására vonatkozó szabvány új verzióját. Már elérhető az új EN ISO 9712 is, ami után rövidesen magyar szabványként is megjelenik. A tervek szerint – az MHTe (Magyar Hegesztéstechnikai és Anyagvizsgálati Egyesület) és a MAROVISZ (Magyar Roncsolásmentes Vizsgálati Szövetség) közös támogatásával – a lehető leghamarabb rendelkezésünkre áll majd a magyar fordítás.

A szabvány 2017-ben esedékes felülvizsgálata során több, mint 300 észrevétel, módosító javaslat érkezett az ISO/TC 135/SC 7 albizottsághoz az érdekelt szakmai szervezetektől. (Ez az albizottság foglalkozik a személyzet tanúsításával a roncsolásmentes vizsgálatok területén.) A javaslatokat, témakörökre osztva, hét munkacsoport dolgozta fel – online megbeszélések keretében és e-levelezés útján, több fordulóban. (A csoportok önkéntes alapon szerveződtek, elsősorban az albizottság tagjaiból.) A munkacsoportok vezetői és az albizottság elnöke külön is egyeztettek egymással az újabb tartalmakról és szövegváltozatokról.

Mintegy kétévi munka után, 2020. januárjára született meg a bizottsági szavazásra bocsátott tervezet (CD = Committee Draft), és újabb egy évvel később kapták meg széles körű véleményezésre a szabványtervezetet (DIS = Draft International Standard) az ISO tagszervezetek. A végső tervezethez (FDIS = Final DIS)

tavaly ősszel lehetett megjegyzéseket fűzni, de ezek közül már csak a szerkesztési jellegűeket vette figyelembe az albizottság vezetősége. (Megjegyzés: Ez a három szavazási lépcső a szokásos menetrend a szabványoknál. A véleményezésre 2, 5, illetve ismét 2 hónap áll rendelkezésre.)

A lényeges változások – a 2012/2013-as verzióhoz képest – a következők:

- a tanúsító testület, a meghatalmazott minősítő testület, a vizsgaközpont és a munkáltató pontosabban megfogalmazott felelősségei;
- bővített és átdolgozott definíciók;
- a vizsgáztatók és az ipari jártasságot igazoló személyek definiált felelősségei;
- átdolgozott követelmények a képzés és az ipari jártasság megszerzésének időtartamára;
- módosított követelmények a látásvizsgálatra;
- átdolgozott vizsgakövetelmények;
- pszichometriai eljárás opcionális alkalmazása a tanúsító testület döntése alapján;
- a tanúsítási dokumentumok átdolgozott követelményei;
- átdolgozott tanúsítási feltételek;
- a tanúsítványok megújításának bővített követelményei;
- átdolgozott kreditrendszer a 3-as szintű újratanúsításhoz;
- új melléklet egyes módszerekre vonatkozóan;
- új melléklet a pszichometriai elvekre vonatkozóan.

## Beszámoló jelentés

## MSZT/MB 410 Roncsolásmentes vizsgálatok

## 2021. évi tevékenység

**1. táblázat:** Jóváhagyó közleménnyel, angol nyelven bevezetett szabványok

|                         |                                                                                                                                                               |
|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| MSZ EN ISO 3452-2:2021  | Roncsolásmentes vizsgálat. Folyadékbehatolási vizsgálat. 2. rész: A behatoló anyagok vizsgálata (ISO 3452-2:2021)                                             |
| MSZ EN ISO 3452-1:2021  | Roncsolásmentes vizsgálat. Folyadékbehatolási vizsgálat. 1. rész: Általános alapelvek (ISO 3452-1:2021)                                                       |
| MSZ EN 12543-2:2021     | Roncsolásmentes vizsgálat. A roncsolásmentes vizsgálatok alkalmazott ipari röntgensövek fókuszfoltjának jellemzői. 2. rész: Furatkamerás radiográfiai módszer |
| MSZ EN ISO 23243:2021   | Roncsolásmentes vizsgálat. Rezgősoros ultrahangos vizsgálatok. Szakszótár (ISO 23243:2020)                                                                    |
| MSZ EN ISO 22232-3:2021 | Roncsolásmentes vizsgálat. Az ultrahangos vizsgálóberendezés jellemzése és igazoló ellenőrzése. 3. rész: Összetett berendezés (ISO 22232-3:2020)              |
| MSZ EN ISO 22232-2:2021 | Roncsolásmentes vizsgálat. Az ultrahangos vizsgálóberendezés jellemzése és igazoló ellenőrzése. 2. rész: Vizsgálófejek (ISO 22232-2:2020)                     |
| MSZ EN ISO 21432:2021   | Roncsolásmentes vizsgálat. Szabványos vizsgálati módszer a maradó feszültség neutrontdiffrakciós meghatározására (ISO 21432:2019)                             |

**2. táblázat:** Magyar nyelven kiadott szabványok  
Nem készült magyar nyelvű szabvány.

### 3. táblázat: Visszavont szabványok

|                        |                                                                                                                                                                 |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| MSZ EN ISO 3452-2:2014 | Roncsolásmentes vizsgálat. Folyadékbehatolásos vizsgálat. 2. rész: A behatoló anyagok vizsgálata (ISO 3452-2:2013)                                              |
| MSZ EN 12668-3:2014    | Roncsolásmentes vizsgálat. Az ultrahangos vizsgálóberendezés igazoló ellenőrzése és jellemzése. 3. rész: Összetett berendezés                                   |
| MSZ EN ISO 3452-1:2013 | Roncsolásmentes vizsgálatok. Folyadékbehatolásos vizsgálat. 1. rész: Általános alapelvek (ISO 3452-1:2013, 2014. 05. 01-jei helyesbített változat)              |
| MSZ EN 16018:2012      | Roncsolásmentes vizsgálat. Terminológia. A fázisvezérelt ultrahangos vizsgálatok szak kifejezései                                                               |
| MSZ EN 12668-2:2010    | Roncsolásmentes vizsgálatok. Az ultrahangos vizsgálóberendezés ellenőrzése és jellemzése. 2. rész: Vizsgálófejek                                                |
| MSZ EN 12543-2:2009    | Roncsolásmentes vizsgálat. A roncsolásmentes vizsgálathoz alkalmazható ipari röntgensövek fókuszfoltjának jellemzői. 2. rész: Furatkamerás radiográfiai módszer |

## 2020. évi ülések

Az MSZT/MB 410 2020-ban nem tartott ülést.

## 2022. évben várható tevékenység

**A következő szabványok magyar nyelvű kiadása várható:**  
Az igények szerint.

## Beszámoló jelentés

### MSZT/MB 318 Kazánok és nyomástartó edények

#### 2021. évi tevékenység

**1. táblázat:** Jóváhagyó közleménnyel, angol nyelven bevezetett szabványok

|                         |                                                                                                                                                                                                              |
|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| MSZ EN ISO 20257-2:2021 | Cseppfolyósított földgázhoz használt szerelvények és berendezések. Az úszó LNG-szerelvények kialakítása. 2. rész: Úszó tároló és visszagázosító LNG-szerelvények (FSRU) jellemző kérdései (ISO 20257-2:2021) |
| MSZ EN 303-5:2021       | Fűtőkazánok. 5. rész: Szilárd tüzelőanyagokkal üzemelő, kézi és automatikus táplálású, legfeljebb 500 kW névleges hőteljesítményű fűtőkazánok. Terminológia, követelmények, vizsgálat és megjelölés          |
| MSZ EN 1473:2021        | Cseppfolyósított földgázhoz használt szerelvények és berendezések. Szárazföldi szerelvények tervezése                                                                                                        |
| MSZ EN 13445-8:2021     | Nem fűtött nyomástartó edények. 8. rész: Alumíniumból és alumínium-ötvözetből készült nyomástartó edények kiegészítő követelményei                                                                           |
| MSZ EN 13445-6:2021     | Nem fűtött nyomástartó edények. 6. rész: Gömbgrafitos öntöttvasból kialakított nyomástartó edények és a nyomással terhelt részek tervezési és gyártási követelményei                                         |
| MSZ EN 13445-5:2021     | Nem fűtött nyomástartó edények. 5. rész: Ellenőrzés és vizsgálatok                                                                                                                                           |
| MSZ EN 13445-4:2021     | Nem fűtött nyomástartó edények. 4. rész: Gyártás                                                                                                                                                             |
| MSZ EN 13445-3:2021     | Nem fűtött nyomástartó edények. 3. rész: Tervezés                                                                                                                                                            |
| MSZ EN 13445-2:2021     | Nem fűtött nyomástartó edények. 2. rész: Szerkezeti anyagok                                                                                                                                                  |
| MSZ EN 13445-10:2021    | Nem fűtött nyomástartó edények. 10. rész: Nikkel és nikkel-ötvözetű nyomástartó edények kiegészítő követelményei                                                                                             |
| MSZ EN 13445-1:2021     | Nem fűtött nyomástartó edények. 1. rész: Általános követelmények                                                                                                                                             |
| MSZ EN 17127:2021       | Kültéri hidrogén-töltőállomások hidrogéngáz-üzemanyag tankolására, a művelet leírásával                                                                                                                      |
| MSZ EN 1474-2:2021      | Cseppfolyósított földgázhoz használt szerelvények és berendezések. Tengeri szállítórendszerek tervezése és vizsgálata. 2. rész: Szállító-tömlők tervezése és vizsgálata                                      |

**2. táblázat:** Magyar nyelven kiadott szabványok  
Nem készült magyar nyelvű szabvány.

**3. táblázat:** Visszavont szabványok

|                              |                                                                                                                                                                      |
|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| MSZ EN 13445-3:2014 /A8:2019 | Nem fűtött nyomástartó edények. 3. rész: Tervezés                                                                                                                    |
| MSZ EN 13445-3:2014 /A7:2019 | Nem fűtött nyomástartó edények. 3. rész: Tervezés                                                                                                                    |
| MSZ EN 13445-3:2014 /A6:2019 | Nem fűtött nyomástartó edények. 3. rész: Tervezés                                                                                                                    |
| MSZ EN 17127:2019            | Kültéri hidrogén-töltőállomások hidrogéngáz-üzemanyag tankolására a művelet leírásával                                                                               |
| MSZ EN 13445-6:2014 /A2:2019 | Nem fűtött nyomástartó edények. 6. rész: Gömbgrafitos öntöttvasból kialakított nyomástartó edények és a nyomással terhelt részek tervezési és gyártási követelményei |
| MSZ EN 13445-3:2014 /A5:2019 | Nem fűtött nyomástartó edények. 3. rész: Tervezés                                                                                                                    |
| MSZ EN 13445-5:2014 /A1:2019 | Nem fűtött nyomástartó edények. 5. rész: Ellenőrzés és vizsgálatok                                                                                                   |
| MSZ EN 13445-2:2014 /A3:2019 | Nem fűtött nyomástartó edények. 2. rész: Szerkezeti anyagok                                                                                                          |

|                              |                                                                                                                                                                                                     |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| MSZ EN 13445-2:2014 /A2:2018 | Nem fűtött nyomástartó edények. 2. rész: Szerkezeti anyagok                                                                                                                                         |
| MSZ EN 13445-3:2014 /A4:2018 | Nem fűtött nyomástartó edények. 3. rész: Tervezés                                                                                                                                                   |
| MSZ EN 13445-1:2014 /A2:2018 | Nem fűtött nyomástartó edények. 1. rész: Általános követelmények                                                                                                                                    |
| MSZ EN 13445-4:2018          | Nem fűtött nyomástartó edények. 4. rész: Gyártás                                                                                                                                                    |
| MSZ EN 13445-1:2018          | Nem fűtött nyomástartó edények. 1. rész: Általános követelmények                                                                                                                                    |
| MSZ EN 13445-3:2014 /A3:2018 | Nem fűtött nyomástartó edények. 3. rész: Tervezés                                                                                                                                                   |
| MSZ EN 13445-2:2014 /A1:2017 | Nem fűtött nyomástartó edények. 2. rész: Szerkezeti anyagok                                                                                                                                         |
| MSZ EN 13445-3:2014 /A2:2017 | Nem fűtött nyomástartó edények. 3. rész: Tervezés                                                                                                                                                   |
| MSZ EN 1473:2016             | Cseppfolyósított földgázhoz használt szerelvények és berendezések. Szárazföldi szerelvények tervezése                                                                                               |
| MSZ EN 13445-10:2016         | Nem fűtött nyomástartó edények. Nikkel és nikkel-ötvözetű nyomástartó edények kiegészítő követelményei                                                                                              |
| MSZ EN 13445-6:2014 /A1:2016 | Nem fűtött nyomástartó edények. 6. rész: Gömbgrafitos öntöttvasból kialakított nyomástartó edények és a nyomással terhelt részek tervezési és gyártási követelményei                                |
| MSZ EN 13445-3:2014 /A1:2015 | Nem fűtött nyomástartó edények. 3. rész: Tervezés                                                                                                                                                   |
| MSZ EN 13445-8:2014 /A1:2015 | Nem fűtött nyomástartó edények. 8. rész: Alumíniumból és alumínium-ötvözetből készült nyomástartó edények kiegészítő követelményei                                                                  |
| MSZ EN 13445-8:2014          | Nem fűtött nyomástartó edények. 8. rész: Alumíniumból és alumínium-ötvözetből készült nyomástartó edények kiegészítő követelményei                                                                  |
| MSZ EN 13445-6:2014          | Nem fűtött nyomástartó edények. 6. rész: Gömbgrafitos öntöttvasból kialakított nyomástartó edények és a nyomással terhelt részek tervezési és gyártási követelményei                                |
| MSZ EN 13445-5:2014          | Nem fűtött nyomástartó edények. 5. rész: Ellenőrzés és vizsgálatok                                                                                                                                  |
| MSZ EN 13445-3:2014          | Nem fűtött nyomástartó edények. 3. rész: Tervezés                                                                                                                                                   |
| MSZ EN 13445-2:2014          | Nem fűtött nyomástartó edények. 2. rész: Szerkezeti anyagok                                                                                                                                         |
| MSZ EN 303-5:2013            | Fűtőkazánok. 5. rész: Szilárd tüzelőanyagokkal üzemelő, kézi és automatikus táplálású, legfeljebb 500 kW névleges hőteljesítményű fűtőkazánok. Terminológia, követelmények, vizsgálat és megjelölés |
| MSZ EN 1474-2:2009           | Cseppfolyósított földgázhoz használt szerelvények és berendezések. Tengeri szállítórendszerek tervezése és vizsgálata. 2. rész: Szállító-tömlők tervezése és vizsgálata                             |
| MSZ EN 14222:2003            | Kazánok korrózióálló acélból                                                                                                                                                                        |

#### 2021. évi ülések

A műszaki bizottság 2021-ben nem tartott ülést.

#### 2022. évben várható tevékenység

**A következő szabványok magyar nyelvű kiadása várható:**

MSZ EN 13445-2:2021 – Nem fűtött nyomástartó edények.  
2. rész: Szerkezeti anyagok, valamint a további igények szerint.



## Beszámoló jelentés MSZT/MCS 903 Megfelelőségértékelés

### 2021. évi tevékenység

**1. táblázat:** Jóváhagyó közleménnyel, angol nyelven bevezetett szabványok

|                       |                                                                                                                 |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| MSZ EN ISO 20387:2021 | Biotechnológia. Biobank-tevékenység. A biobank-tevékenységre vonatkozó általános követelmények (ISO 20387:2018) |
| MSZ EN ISO 26000:2021 | Útmutató a társadalmi felelősségvállaláshoz (ISO 26000:2010)                                                    |

**2. táblázat:** Magyar nyelven kiadott szabványok

|                       |                                                              |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------|
| MSZ EN ISO 26000:2021 | Útmutató a társadalmi felelősségvállaláshoz (ISO 26000:2010) |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------|

**1. táblázat:** Az MCS gondozásban megjelent, jelenleg érvényben lévő szabványok (#M = magyar nyelvű)

|                             |                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| MSZ EN 45020:2007           | A szabványosítás és az azzal kapcsolatos tevékenységek. Általános szakszótár (ISO/IEC Guide 2:2004) #M                                                                                                                                               |
| MSZ EN ISO 17034:2017       | Referenciaanyag-gyártók/referenciaanyag-előállítók felkészültségének általános követelményei (ISO 17034:2016) #M                                                                                                                                     |
| MSZ EN ISO 20387:2021       | Biotechnológia. Biobank-tevékenység. A biobank-tevékenységre vonatkozó általános követelmények (ISO 20387:2018)                                                                                                                                      |
| MSZ EN ISO 26000:2021       | Útmutató a társadalmi felelősségvállaláshoz (ISO 26000:2010) #M                                                                                                                                                                                      |
| MSZ EN ISO/IEC 17000:2020   | Megfelelőségértékelés. Szakszótár és általános alapelvek (ISO/IEC 17000:2020, 2020. decemberi helyesbített változat)                                                                                                                                 |
| MSZ EN ISO/IEC 17011:2018   | Megfelelőségértékelés. Megfelelőségértékelést végző szervezeteket akkreditáló testületekre vonatkozó követelmények (ISO/IEC 17011:2017) #M                                                                                                           |
| MSZ EN ISO/IEC 17020:2012   | Megfelelőségértékelés. Ellenőrzést végző különféle típusú szervezetek működésének követelményei (ISO/IEC 17020:2012) #M                                                                                                                              |
| MSZ EN ISO/IEC 17021-1:2016 | Megfelelőségértékelés. Irányítási rendszerek auditját és tanúsítását végző testületekre vonatkozó követelmények. 1. rész: Követelmények (ISO/IEC 17021-1:2015) #M                                                                                    |
| MSZ EN ISO/IEC 17021-2:2019 | Megfelelőségértékelés. Irányítási rendszerek auditját és tanúsítását végző testületekre vonatkozó követelmények. 2. rész: Kompetenciakövetelmények környezet-központú irányítási rendszerek auditálásához és tanúsításához (ISO/IEC 17021-2:2016) #M |

|                             |                                                                                                                                                                                                                                          |
|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| MSZ EN ISO/IEC 17021-3:2019 | Megfelelőségértékelés. Irányítási rendszerek auditját és tanúsítását végző testületekre vonatkozó követelmények. 3. rész: Kompetenciakövetelmények minőségirányítási rendszerek auditálásához és tanúsításához (ISO/IEC 17021-3:2017) #M |
| MSZ EN ISO/IEC 17024:2013   | Megfelelőségértékelés. Személyek tanúsítását végző testületek általános követelményei (ISO/IEC 17024:2012) #M                                                                                                                            |
| MSZ EN ISO/IEC 17025:2018   | Vizsgáló- és kalibrálólaboratóriumok felkészültségének általános követelményei (ISO/IEC 17025:2017) #M                                                                                                                                   |
| MSZ EN ISO/IEC 17029:2020   | Megfelelőségértékelés. Validálást és verifikálást végző testületekre vonatkozó általános elvek és követelmények (ISO/IEC 17029:2019)                                                                                                     |
| MSZ EN ISO/IEC 17030:2022   | Megfelelőségértékelés. A harmadik féltől származó megfelelési jelek általános követelményei (ISO/IEC 17030:2021)                                                                                                                         |
| MSZ EN ISO/IEC 17040:2005   | Megfelelőségértékelés. A megfelelésértékelő testületek és az akkreditáló testületek által végzett társértékelés általános követelményei (ISO/IEC 17040:2005)                                                                             |
| MSZ EN ISO/IEC 17043:2010   | Megfelelőségértékelés. Jártassági vizsgálatok általános követelményei (ISO/IEC 17043:2010)                                                                                                                                               |
| MSZ EN ISO/IEC 17050-1:2010 | Megfelelőségértékelés. A szállító megfelelési nyilatkozata. 1. rész: Általános követelmények (ISO/IEC 17050-1:2004, 2007. 06. 15-ei helyesbített változat) #M                                                                            |
| MSZ EN ISO/IEC 17050-2:2004 | Megfelelőségértékelés. A szállító megfelelési nyilatkozata. 2. rész: Támogató dokumentáció (ISO/IEC 17050-2:2004) #M                                                                                                                     |
| MSZ EN ISO/IEC 17065:2013   | Megfelelőségértékelés. Szakszótár és általános alapelvek (ISO/IEC 17000:2020, 2020. decemberi helyesbített változat) #M                                                                                                                  |
| MSZ EN ISO/IEC 17067:2013   | Megfelelőségértékelés. Megfelelőségértékelést végző szervezeteket akkreditáló testületekre vonatkozó követelmények (ISO/IEC 17011:2017)                                                                                                  |
| MSZ ISO/IEC TS 17023:2014   | Megfelelőségértékelés. Ellenőrzést végző különféle típusú szervezetek működésének követelményei (ISO/IEC 17020:2012) #M                                                                                                                  |

### 2021. évi ülések

A műszaki bizottság 2021-ben nem tartott ülést.

### 2022. évben várható tevékenység

**A következő szabványok megjelenése várható:**

EN ISO/IEC 17043:2022 – Megfelelőségértékelés. Jártassági vizsgálatok általános követelményei. (A szabvány revíziója folyamatban van.)

**Skopál István**  
MAROVISZ képviselő az MSZT-ben

## A Vasipari Kutató Intézet 70 éves-jubileuma (1952-2022) – I. rész

70th anniversary (1952-2022) of the Research Institute for Ferrous Metals – Part I.

Fehérvári Attila

**A lap előző számában Csanády Andrásné Dr. Bodoky Ágnes ismertette a Fémipari Kutató Intézet (1951-2021) történetét, alapításának 70 éves jubileuma alkalmából. A lap szerkesztői úgy vélték, indokolt a Vasipari Kutató Intézet (1952-2022) 70 éves jubileumáról is megemlékezni, amellyel engem bíztak meg.**

A Vasipari Kutató Intézet (VASKUT) az ipar kutatási feladatainak támogatására alakult 1952-ben. Hat technológiai és két vizsgálati osztálya volt. 1974 után az intézet vállalattá alakult, és termelő-fejlesztő szervezetekkel bővült (zagyvarónai telephely, mágnesüzem, porbeles huzalgyártás).

A VASKUT által végzett munkát – amelyet az ipari feladatok megoldására és az egyetemes műszaki kultúra színvonalának emelésére végzett – általános megbecsülés övezte. Ugyanakkor a VASKUT a magyar kohászat és gépipar fontos iskolája is volt. Csupán az általam legközelebből ismert Hegesztési Osztályon kb. 100 munkatárs dolgozott, akik több – kevesebb gyakorlat után ipari munkahelyekre kerültek, ahová magukkal vitték megszerzett tudásukat, és a VASKUT szellemiségét.

Mindezt indokolt visszatekinteni az intézmény tevékenységére. A visszatekintés nem nélkülözheti a korabeli politikai események felidézését, mert a VASKUT alapítása, majd tevékenysége azokból vezethető le. Munkám sajnos töredékes, hiszen csak a hegesztés – és részben az anyagvizsgálat – tevékenységét ismerem. A visszatekintésben az interneten és az irattárban elérhető adatokra és emlékeimre támaszkodtam. Remélem, hogy az igazság és a személyek sérelmére esetlegesen elkövetett tévedéseimmel nem bántottam meg senkit.

A rendszerváltást követően felszámolták a minisztériumokhoz tartozó kutatóhelyeket. A továbbiakban csak az egyetemekhez, a Bay Zoltán alapítványhoz, vagy vállalatokhoz tartozó kutatóhelyek maradhattak fenn. A VASKUT felszámolása 1992-ben kezdődött.

Fehérvári Attila – az ipar által igényelt szolgáltatások megmentése céljából – megalapította a WELMAT Kft.-t. A Paksi Atomerőmű által folyósított kölcsönből kivásárolta a VASKUT fa. Hegesztési Osztályának, Anyagvizsgáló Osztályának, Forgácsoló Műhelyének, Hőkezelő Műhelyének eszközeit, továbbá a VASKUT és a FÉMKUT könyvtárát. Állományba vette vagy szerződéssel foglalkoztatta az ott dolgozó szakembereket, sőt új munkatársakat is alkalmazott. Az atomerőmű kölcsönét a WELMAT tevékenységének eredményéből maradéktalanul visszafizette.

A WELMAT az Államtól bérelte a tevékenységének területét. A bérleti díjak folyamatosan emelkedtek, ezért – a csőd elkerülése érdekében – 1993-ban Fehérvári Attila szerződést kötött a Ganz Holding vezérigazgatójával, Fitos Zoltánnal. A szerződés értelmében átadja a WELMAT

minden eszközét a Ganz Holdingnak, amely a WELMAT dolgozóit jogfolytonosan állományba veszi, az eszközöket pedig saját területére szállítja és telepíti. Az így létrejövő laboratóriumot a WELMAT a nyereség 50 %-ért üzemelteti. A szállítás elhúzódott. Közben az eszközök részben tönkrementek, részben a termelésbe kerültek. Ezért Fehérvári Attila felszámolást kért a WELMAT ellen, amelynek összes költségét saját vagyonából megfizette.

### A VASKUT megalakulásának történelmi előzményei

1944. november 5-én, Szegeden megalakult a Magyar Kommunista Párt Központi Vezetősége. Főtitkára Rákosi Mátyás lett, tagjai Gerő Ernő, Farkas Mihály, Nagy Imre, és Révai József voltak. December 22-én, Debrecenben Ideiglenes Nemzeti Kormány alakult Dálnoki Miklós Béla vezérezredes vezetésével. A minisztériumok többségét a Szociáldemokrata Párt, a Független Kisgazda Párt és a Magyar Kommunista Párt kapta.

1945. május 9-én véget ér a háború Európában. Július 17. - augusztus 2. között ülésezett a Potsdami Konferencia, amelyen a győztes hatalmak döntenek Európa sorsáról. Szeptember 2-án befejeződtek a hadműveletek a Csendes Óceáni térségben. November 20-án megkezdődött a háborús főbűnösök nürnbergi pere, amely 1946. október 1-jén fejeződött be.

1945. november 4-én megtartották az első választást Magyarországon. A sors fintora: a választás 11. évfordulóján vonultak be a szovjet csapatok a forradalom leverésére. A november 15-én megalakult, Tildy Zoltán (FKgP) által vezetett kormányban a Független Kisgazda Párt, a Szociáldemokrata Párt és a Magyar Kommunista Párt kapta a fontos minisztériumokat.

1946. február 1-jén megalakult a Második Magyar Köztársaság (az első a Tanácsköztársaság volt) Tildy Zoltán elnökletével. Február 4-én Nagy Ferenc (FKgP) alakított kormányt, a Független Kisgazda Párt, a Szociáldemokrata Párt és a Magyar Kommunista Párt részvételével.

Rákosi – Nagy Ferenc kormányának tagja – megkezdte intrikáit a hatalom megszerzéséért (szálamitaktika). Február 23-án az FKgP vezetőjét, Kovács Bélát szovjet csapatok elhurcolták. A párt vezetését később a 6 elemi iskolát végzett, Dobi István vette át. A Szociáldemokrata Párt vezetői közül Kéthly Anna emigrált, többen börtönben haltak meg. A Szociáldemokrata Párt vezetését Marosán György (pék) és Szakasits Árpád (kőfaragó) vette át. A tisztogatásokat Kádár János belügyminiszter és Rajk László, az állambiztonsági rendőrség vezetője irányította.

1946. március 6-án elhangzott Churchill fultoni beszéde, kezdetét vette a hidegháború időszaka.

1946-ban állami tulajdonba vették a bányákat és a legnagyobb hazai iparvállalatokat, közöttük a Diósgyőri Acélműveket (alapítva: 1870), a Rimamurányi-Salgótarjáni

Vasművet (alapítva: 1881), a győri Magyar Vagon- és Gépgyárat (alapítva: 1896), a Weiss Manfréd Acél- és Féműveket (alapítva: 1897), a MÁVAG (Magyar Állami Vas- Acél- és Gépgyár) Kombinátot (alapítva: 1925), a Ganz és Társa Villamossági- Gép- Vagon- és Hajógyárat (alapítva: 1929). A borsodi MÁVAG vezérigazgatója 1945-48 között Korán Imre volt, aki 1962 és 1971 között a VASKUT főmunkatársa lett. Ő hozta létre és szerkesztette a VASKUT Évkönyvet.

1946. decemberben megalakult a Nehézipari Központ (NIK), amelyben az Ipari Minisztérium (ok), a Pénzügyminisztérium, a Magyar Kommunista Párt és a legnagyobb ipari vállalatok képviselői vettek részt. A NIK a fordulat évéig (1948) létezett. Ezen idő alatt államosították a bankokat, a közműveket, az iskolákat, a bérházakat, és átszervezték a nagyüzemeket. Létrejött az OKÜ, az SKÜ, a Ganz MÁVAG, a Ganz Hajó- és Darugyár, és a Ganz Villamossági Művek. A NIK Műszaki Fejlesztési Osztály vezetője Dr. Gillemot László, a Budapesti Műszaki Egyetem Mechanikai Technológiai Tanszékének egyetemi tanára volt.

1947. június 5-én létrejött a Marshall terv Európa újjáépítésének támogatására. A támogatást a szovjet övezet országai visszautasítják.

1947. augusztus 1-jén törvénybe iktatták a hároméves tervet az újjáépítés és az iparosítás céljából. Augusztus 31-én megtartották a háború utáni második választást, amely kék cédulás választásként híresült el. A kék cédulával bárhol lehetett szavazni, ezért az MKP teherautóval szállította aktivistáit az országban, akik több helyen is leadták szavazatukat. Ezzel a csalással az MKP megnyerte a választást, de nem abszolút többséggel.

1948. május 1-jén megalakult a Vas- és Fémipari Kutató Intézet Dr. Gillemot László professzor vezetésével. Technológiát fejlesztettek ki vas ötvözetek hegesztéséhez Zorkóczy Béla, és alumínium ötvözetek hegesztéséhez Buray Zoltán vezetésével. Székház hiányában a kutató-fejlesztő tevékenység vállalatok és intézmények laboratóriumában folyt. Ilyen volt a Csepel Vas- és Féművek Elektrodagyára, a Magyar Vagon- és Gépgyár, 1952 után pedig a Nehézipari Műszaki Egyetem Mechanikai Technológiai Tanszéke.

A vas ötvözetek technológia fejlesztése keretében bevonat ötvözzel elektródákat dolgoztak ki forgácsoló szerszámok – ezen belül hidegalakító szerszámok (K), melegalakító szerszámok (W) és gyorsacél szerszámok (R) – hegesztésére. Elektródát fejlesztettek ki sínvégek (Mn14) felrakó hegesztésére, molibdén, króm-molibdén és króm-molibdén-vanádium acélok hegesztésére. Kísérleteket végeztek védőgázos és fedettívű hegesztés ipari bevezetésének elősegítésére. A munkában olyan jeles szakemberek vettek részt, mint Béres Lajos, Beck András, Gyenes István, Kopasz Lajos, Megyeri Béla, Pogány Miklós.

1948. június 12-én az MKP és az SZDP egyesülésével létrejön a Magyar Dolgozók Pártja (MDP) Rákosi Mátyás elnökletével. Az egypártrendszer miatt 1948 a fordulat éve lett.

Megkezdődött a nehézipar – ezen belül elsősorban a kohászat, másodsorban a gépipar – intenzív fejlesztése a hidegháborúra való felkészülés jegyében. Gerő Ernő: Magyarországot a vas és acél országává kell tenni. 1949. februárjában megalakul a Nehézipari Beruházási Nemzeti Vállalat (NEB), amelynek szakértői, Éles László, Szeles László, Pilter Pál kohászati üzemek vezetői, majd a VASKUT vezető munkatársai lesznek.

1949. április 4-én, Washingtonban megalakul a NATO. A sors fintora: „felszabadításunk” negyedik évfordulóján. Augusztus 20-án törvénybe iktatják a Magyar Népköztársaság alkotmányát. Szept. 18-án megindul a miskolci műegyetemi oktatás a Földes Ferenc Gimnázium épületében 500 hallgató felvételével.

1950. január 2-án törvénybe iktatják az első öt éves tervet. A kohászati fejlesztések keretében megkezdődik a Sztálin Vasmű (1956 után Dunai Vasmű), és a Rákosi Mátyás Nehézipari Műszaki Egyetem (1953 után NME), valamint a Vas- és Fémipari Kutató Intézet, és székházának építése. Az Intézet székházát 1951. szeptember 1-jén adták át.



*A Vas- és Fémipari Kutató Intézet épülete*

Az Intézet jelentőségét mutatja, hogy az átadó ünnepségen részt vett Gerő Ernő államminiszter, Farkas Mihály honvédelmi miniszter, Czottner Sándor bányá- és energiaügyi miniszter, Szabó Piroska az MDP Központi Ellenőrző Bizottság tagja. Az intézet igazgatójává Dr. Gillemot Lászlót a Budapesti Műszaki Egyetem Mechanikai Technológiai Tanszékének egyetemi tanárát nevezték ki.

1952-ben az intézetet két részre osztják. A Bányá- és Energiaügyi Minisztérium kutatási feladatait a Fémipari Kutató Intézet (FÉMKUT) látta el, Dr. Gillemot László igazgató vezetésével. A Kohó- és Gépipari Minisztériumi kutatási feladatainak elvégzésére megszervezték a Vasipari Kutató Intézetet (VASKUT), amelynek vezetésére Dr. Verő József tanszékvezető egyetemi tanárt, a Nehézipari Műszaki Egyetem Metallográfia Tanszék vezetőjét, a Magyar Tudományos Akadémia rendes tagját nevezték ki.



*Dr. Verő József  
(1904-1985)*



Verő professzor úr vázlatos életútja:

- 1926-1934: Bánya- és Erdőmérnöki Főiskola (Sopron),  
tanársegéd,  
1934-1951: József Nádor Műegyetem Soproni Kara,  
1934: doktori oklevél, adjunktusi kinevezés,  
1943: tanszékvezető egyetemi tanár, Metallográfiai  
Tanszék,  
1949: akadémikus, Kossuth díj,  
1952-1968: Nehézipari Műszaki Egyetem (Miskolc)  
Kohómérnöki Kar, Metallográfia Tanszék,  
tanszékvezető egyetemi tanár,  
1952-1974: Vasipari Kutató Intézet, igazgató,  
1958: Kossuth-díj.

### A VASKUT szervezete 1952-ben:

Igazgatóság  
Személyzeti és Munkaügyi Osztály  
Könyvelés  
Könyvtár  
Üzemfenntartási Osztály (és próbatestgyártás)

- 1 Acélmetallurgiai Osztály
- 2 Ércmetallurgiai Osztály
- 3 Képlékeny Alakítási Osztály
- 4 Hegesztési Osztály
- 5 Öntészeti Osztály
- 6 Porkohászati Osztály
- 7 Anyagvizsgálati Osztály
- 8 Vegyészet Osztály

Osztályvezetők: Éles László, Visnyovszky István, Szeles László, Zorkóczy Béla, Mester István, Sajó István.

### A VASKUT Hegesztési Osztály tevékenysége: 1952-1962

A VASKUT Hegesztési Osztály vezetésére Dr. Zorkóczy Béla egyetemi tanárt, a Nehézipari Műszaki Egyetem Mechanikai Technológiai Tanszék vezetőjét kérték fel, aki már a Gillemot László professzor által alapított, Vas- és Fémipari Kutató Intézetnek is dolgozott. Ő volt a VASKUT egyetlen osztályvezetője, aki munkásságáért Kossuth-díjat kapott. Zorkóczy professzor úr vázlatos életútja:



Dr. Zorkóczy Béla  
(1898-1975)

- 1924-1934: József Nádor Műegyetem Mechanikai Technológiai Tanszéke, tanársegéd, majd adjunktus,  
1934-1944: Hubert és Sigmund Acél- és Fémárugyár műszaki- majd vezérigazgatója,  
1945-1949: gyárigazgató és egyetemi oktató,  
1950-1969: a Nehézipari Műszaki Egyetemen (Miskolc) Mechanikai Technológiai Tanszék vezetője,  
1950-1966: a VASKUT Hegesztési Osztály vezetője, majd tanácsadója,  
1956: Kossuth-díj,  
1975: az MTA doktora.

A Hegesztési Osztályon folytatódott a Zorkóczy professzor úr által 1948-ban megkezdett munka a hegesztési technológia fejlesztésére, amelyben a külső munkatársakon kívül több – a VASKUT állományába került – kutató vett részt. Közéjük tartozott Beck András, aki forradalom után elhagyta az intézetet, és Csepelen hozott létre korszerű hegesztési laboratóriumot, Hajagos Ferenc, aki a króm-molibdén acélok fejlesztésében ért el eredményeket, Szegedi Varga József, aki a kohászati hengerek felrakó hegesztésével foglalkozott, és Barna Györgyné, akinek férje a VASKUT dolgozója és az Országos Műszaki Könyvtár szakértője volt.

A forradalom után lett az osztály kutatómérnöke Györgyi Ferenc, mint a hegesztett szerkezetek fázadásának, Szunyogh László, mint a hegesztés technológiájának, és Varga Oszkár, mint a hegesztőgépek üzemeltetésének szakértője. Az osztály titkárja Bertalan Géza, laboránsa Takács Jánosné volt. A műhelyben Megyesi Sándor művezető irányítása mellett több hegesztő és segédmunkás dolgozott.

1959-ben Ungvárszky Miklós vegyészmérnök – aki a hegesztőporok fejlesztésével foglalkozott – 1960-ban pedig Kálmán György gépészmérnök lett az osztály munkatársa.

1960-ban Zorkóczy professzor úr kezdeményezésére a VASKUT ösztöndíjat alapított azzal a céllal, hogy a Nehézipari Műszaki Egyetemen oktatott, korszerű elméleti ismeretek jobban hasznosuljanak a hegesztés fejlesztésében. Az ösztöndíjat elsőként egyetemi tanítványai, Rittinger János és Fehérvári Attila kapták meg. (Rittinger János népköztársasági ösztöndíját cserélte fel a VASKUT ösztöndíjával).

1961-ben Zorkóczy professzor úr kezdeményezésére megindult a hegesztő szakmérnök képzés Miskolcon. A Hegesztési Osztály több munkatársa megkezdte tanulmányait, amelyhez 1962-ben korengedéllyel Rittinger János és Fehérvári Attila is csatlakozott.

1962-ben Zorkóczy professzor úr Molnár Lászlónak – aki korábban a Láng Gépgyárban öntöttvas hegesztésével foglalkozott – átadta az osztály vezetését, de tanácsadóként továbbra is az intézetben maradt. Rittinger János és Fehérvári Attila – diplomájuk megszerzése után – az osztály dolgozója lett, mint tudományos gyakornok.

### A Hegesztési Osztály tevékenysége: 1962 – 1968

Osztályvezető: Molnár László

Az osztály fő tevékenysége a hegesztési (főleg ívhegesztési és ellenálláshegesztési) technológia fejlesztése, a hegesztés eszközeinek (áramforrásoknak, lánghegesztő berendezéseknek) fejlesztése, a hegesztőanyagok (huzalok, fedőporok) fejlesztése és a hegesztett szerkezetek fejlesztése volt.

1963-ban Rittinger János és Fehérvári Attila segédmunkatársak lettek. A fiatal kutatók pályakezdése egybe esett a szerkezeti acélok alkalmazásánál szerzett, kedvezőtlen ipari tapasztalatokkal. Ilyen volt az Erzsébet híd (átadás: 1964) lágyacélból (36.24-S) hegesztett, és a daru

által leejtett pályalemezeinek rideg törése (amelynek okait Rittinger János a Ganz MÁVAG mérnökével Domanovszky Sándorral együtt működve vizsgálta), továbbá a titánöt-vözzel gyártott, növelt folyáshatárú acélok (MTA 50) hegesztési hőhatásövezetének repedése. Az Ózdi Kohászati Üzemek martin kémények feszültségkorróziós károsodásának vizsgálata során Fehérvári Attilának lehetősége volt Verő és Zorkóczy professzor urak közvetlen szakmai irányítása mellett dolgozni.

1963-ban a Nehézipari Műszaki Egyetemen (Miskolcon) Zorkóczy professzor úr vezetésével megindult a hegesztő szakmérnökök hazai képzése, amelyben a Hegesztési Osztály csaknem minden kutatója részt vett. 1965-ben az egyetem felkínálta a végzős szakmérnök hallgatóknak diplomatervezés benyújtásának lehetőségét, doktori cím elnyerése céljából. Szunyogh László, Kálmán György és Rittinger János élt a lehetőséggel. A VASKUT Rittinger János és Fehérvári Attila munkaköri besorolását tudományos munkatárssá változtatta.

1966-ban a Hegesztési Osztály munkatársai átvették szakmérnöki diplomájukat. A kitüntetéses diplomával végzet fiatal kutatók, Rittinger János és Fehérvári Attila lehetőséget kaptak távlati kutatási témák kidolgozására.

Az acélok hegeszthetősége tárgyú, Dr. Rittinger János vezetésével kidolgozott téma (4-1-060/66-67) a hőhatásövezeti repedések elkerülését biztosító hegesztési feltételek meghatározására irányult. A téma keretében megvalósult egy eszközfejlesztés a hegesztési hőfolyamat modellezésére. A téma módszereit és eredményeit az 1. sz. melléklet ismerteti.

A hegesztőanyagok varratulajdonságai tárgyú, Fehérvári Attila vezetésével kidolgozott téma (4-1-070/67-68) a varrathibák – ezen belül a repedések – stabilitásának vizsgálatát tűzte célul. A téma keretében kidolgozták az ütvizsgálati eredmények matematikai statisztikai mintavételi és számítási módszerét. A téma eredményeit a 2. sz. melléklet tartalmazza.

Fenti témákban végzett kutatások alapvetően változtatták meg a hegeszthetőséggel kapcsolatos felfogásunkat, a hegesztés hazai gyakorlatát, és a hegesztett szerkezetek anyagainak gyártásával szembeni követelményeket.

A téma eredményeinek alkalmazását segítette a hegeszthetőség IIW definíciójának szabványosítása (MSZ 4305-68), amely Györgyi Ferenc, Gállik István és Rittinger János munkája volt. E szerint a hegeszthetőség az acélok technológiától függő alkalmassága arra, hogy a hegesztett kötés helyi tulajdonságaitól és a hegesztés szerkezetre gyakorolt hatásától függően megfeleljen az üzemelés követelményeinek.

1968-ban Nyers Rezső vezetésével kidolgozzák az új gazdasági mechanizmust, amelynek értelmében fokozatosan meg kell szüntetni az ipar központi

irányítását, csökkentve az ipari kutatóintézetek támogatását. Ez vezetett később – a tudományos ambíciók háttérbe szorításával – a kutatók személyre szóló bevételi tervének előírásához.

1968-ban Molnár László kilép a VASKUT kötelékéből, hogy az ipar egyik zászlóshajójának számító Gyár- és Gépszerelő Vállalatnál folytassa tevékenységét. A VASKUT igazgatósága nem talál osztályvezetésre alkalmas személyt, ezért a Hegesztési Osztályt megszüntette. A kutatók részben az Anyagvizsgálati Osztályra, részben – a hegesztő műhely dolgozóival és eszközeivel együtt – az Acélmetallurgiai Osztályra kerültek.

## Hegesztési Kutatások Acélmetallurgiai Osztályon: 1969 - 1973

Osztályvezető: Éles László,

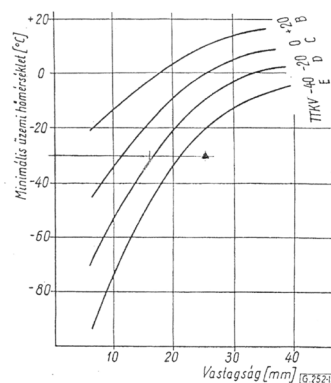
Csoportvezető: Dr. Rittinger János

1969. jan. 3-án a répcelaki szénsavtermelő és palackozó vállalatnál robbanás történt, amely kilenc ember életét követelte. A bíróság valamennyi szakmailag érintett intézmény véleményének mérlegelése után a VASKUT álláspontját fogadta el, amelyet Dr. Rittinger János képviselt.

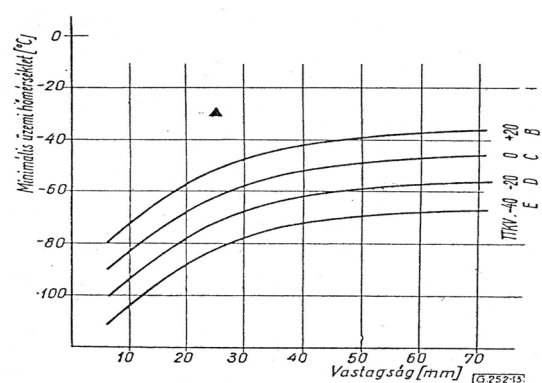
Ezt követően az Országos Kőolaj- és Gázipari Tröszt (OKGT) megbízást adott a „Hegesztett nyomástartó szerkezetek acéljainak kiválasztása és a feldolgozás körülményeinek hatása olajipari szerkezetek megbízhatóságára” című téma (1/4-2-035/70-71) kidolgozására. A téma keretében Dr. Rittinger János és Fehérvári Attila kidolgozta a nyomástartó szerkezeteknek a rideg törés elkerülését biztosító acélkiválasztási rendszerét.

1971-ben publikálták – először a Gép című folyóiratban, majd számos hazai és külföldi folyóiratban és konferencián – az acélkiválasztási rendszert, amely az alábbi ábrán látható. Az ábra a minimális üzemi hőmérsékletet mutatja, amely fölött egy gondosan tervezett és gyártott, azaz súlyos hibákat nem tartalmazó nyomástartó edény rideg törésére nem kell számítani. A minimális hőmérséklet függ az edény vastagságától és az edény anyagának rideg törési érzékenységétől (TTKV: átmeneti hőmérsékletétől) és – legnagyobb mértékben – az edény hőkezelési állapotától.

A diagramokba rajzolt háromszögek jelzik a Répcelakon ridegen tört tartály vastagságát és üzemi hőmérsékletét.



Minimális üzemi hőmérséklet hegesztett állapotban



A feszültségoldó hőkezelés lényegesen megváltoztatja a rideg törés feltételeit, amint az a fenti diagramon látható

Látható, hogy a hegesztett állapotú tartálynak szükségképpen el kellett törnie, de feszültségoldó hőkezeléssel a törés megbízhatóan elkerülhető lett volna.

A törés által okozott tragédia miatt többeket felelősségre vontak. A felelősség kérdése azonban vitatható, mert a VASKUT kutatásait megelőzően – a mérnökök számára rendelkezésre álló információs bázison – semmi nem utalt a bekövetkezett tragédiára.

Az acélkiválasztási rendszer kidolgozása alapvetően megváltoztatta a hegesztett nyomástartó szerkezetekre vonatkozó ismereteket. A diagram bekerült a nyomástartó edények gyártásának és tervezésének szabványába (MSZ 13 802), így alkalmazása kötelezővé vált. A rideg törés elkerülésére kidolgozott módszer az egyetemi tananyagba is bekerült. A kutatási eredmények hatást gyakoroltak a hegesztett szerkezeti acélok szabványának módosítására (MSZ 6280-74) és a növelt folyáshatárú acélok fejlesztésére. Az acélkiválasztási rendszert kidolgozó hazai és nemzetközi fórumokon széleskörűen publikálták. 1971-ben csatlakozott a Hegesztési Csoport munkájához Tóth Károly.

Az uniós normák bevezetésével a VASKUT acélkiválasztási rendszerét felváltotta az MSZ EN 10 028-1...6:2010 szabvány. Teljes körű összehasonlító elemzés nem készült, de néhány esettanulmány azt mutatja, hogy a mindkét követelményrendszer alkalmazása gyakorlatilag azonos eredményre vezet.

Dr. Rittinger János és Fehérvári Attila kidolgozta „Az 52 C, 52 D, 58 C acélok tulajdonságainak megismerése” című kutatási témát (4-1-265/68-70). Ennek keretében kidolgozták és bevezették a COD és egyéb törésmechanikai paraméterek vizsgálatát és alkalmazását a diszkontinuitások hatásának becslésére. A kutatási eredményeket a VASKUT Tudományos Tanácsa megvitatta. A téma opponense, Gillemot professzor úr úgy nyilatkozott, hogy ilyen újszerű és színvonalas munkát hazai kutatóintézet még nem végzett.

Dr. Rittinger János és Fehérvári Attila kidolgozta a „Növelt folyáshatárú acélok továbbfejlesztése” című kutatási témát (1/4-1-229/71-74). A téma eredményeként módszert vezettek be a diffúzibilis hidrogéntartalom hatásának (implant vizsgálat) és a hegesztési feszültségek hatásának (TRC vizsgálat) megállapítására. Az alacsony hidrogéntartalmú hegesztőanyagok lehetőségeinek kihasználása érdekében diagramot dolgoztak ki és vezettek be az MSZ 6280 szabványba az előmelegítési hőmérséklet korrigálására. Kutatásokat végeztek a mikroötvöztetés hatásának megismerésére.

A mikroötvöztetés hatásának kutatását azért kezdeményezték, mert a hazai titánvagyron hasznosítására kidolgozott acél (MTA 50) és szabadalommal védett hegesztőanyagok (VTi 1 és VTi2) ipari alkalmazásának tapasztalatai nagyon kedvezőtlenek voltak. (Az acélok és varratok ridegek voltak, a hőhatásövezetben repedések keletkeztek). Ugyanakkor a Welding Institute (Cambridge) kutatói a titán ötvöztetésnek a varratokra gyakorolt kedvező hatásáról számoltak be.

1971-ben, az IIW stockholmi közgyűlésén – az angol

szakemberekben jobban bízó egyetemi oktatók és a szabadalom hasznosításában érdekelt kutatók heves tiltakozása ellenére – beszámoltak a titán hatásának kedvezőtlen hazai tapasztalatairól. 1972-ben pedig, a IIW XII. Bizottság budapesti évközi ülésén kísérletet tettek az ellentmondás feloldására.

Bevezették a kiegyenlítési tényezőt (B), amely a mikroötvöző elemek és a nitrogén sztöchiometriai arányát hasonlítja össze.

ha  $B=0$ , akkor TiN és AlN van jelen a mátrixban, ami csökkenti a szemcseméretet, ezáltal növeli a szilárdságot és a szívósságot,

ha  $B>0$ , akkor a mikroötvöző elemek egy része szilárd oldatban van, ami növeli a szilárdságot, de csökkenti a szívósságot,

ha  $B<0$ , akkor a nitrogén egy része szilárd oldatban van, ami csökkenti a szívósságot.

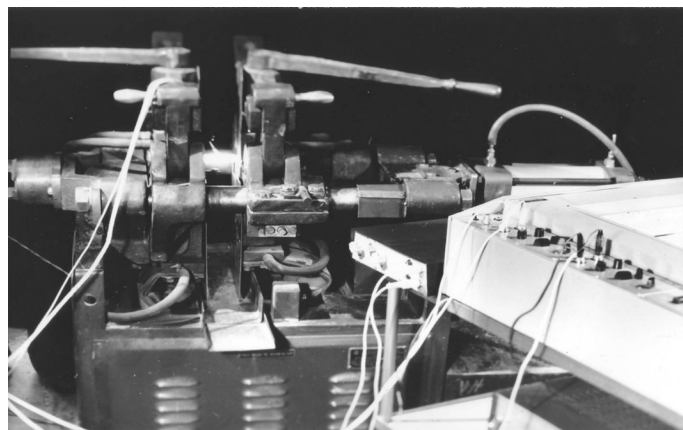
1972-ben a Szovjetunióban végzett Kern Ferenc és felesége Olga, valamint Takács Gyula és felesége Zsuzsa, beléptek az Acélmetallurgiai Osztály Hegesztési Csoport tagjai közé. Zsuzsa lett a csoport titkárja.

## 1. sz. melléklet: a hegesztési hőfolyamat modellezésére

A hegeszthetőség összefügg a hőhatásövezetben keletkező átalakulásokkal, illetve az átalakulási termékek tulajdonságaival. Rideg szövetelemek keletkezése – repedés keletkezésének veszélye miatt – határt szab a hegesztés alkalmazásának, illetve a rideg szövetelemek elkerülése követelményeket támaszt a hegesztési technológiával szemben.

Az 1-4-066/66-67 téma kidolgozását megelőzően az acélok hegesztési technológiájának tervezéséhez a hőkezelésre vonatkozó átalakulási diagramok (C-görbék) adtak támpontot. Ezek a diagramok azonban alacsony hőmérsékleten homogenizált ausztenit átalakulására vonatkoztak, amely eltért a hegesztés hőhatásövezetében bekövetkező átalakulásoktól.

Rittinger János létrehozott egy berendezést, amely alkalmas volt a hegesztés hőhatás övezetében végbeménő fázisátalakulások tanulmányozására, és lehetővé tette az átalakulási termékek mechanikai tulajdonságainak



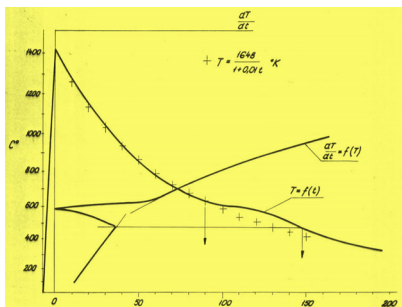
A VASKUT hőszimulátora és a termoanalízis céljára szolgáló eszközök



(ütőmunka, keménység) vizsgálatát is. A berendezés az alábbi ábrán látható.

A berendezés egy 12X12 mm keresztmetszetű hasáb tengelyére merőleges síkban hozta létre azt a hőciklust, amely hegesztésnél a hővezetés irányára merőleges, görbült felületen keletkezik nagy hőmérsékleti gradiens mellett. A hevítésre egy 100kVA teljesítményű tompahegesztő gép transzformátora szolgált, amely max. 250 °C/s sebességgel hevítette fel a próbatestet max. 1375 °C hőmérsékletre. A hűtést fűt levegő, ill. vízpermet biztosította, amellyel a 850 °C-ról 500 °C-ra történő hűlés idejét 1,6...100 s között lehetett változtatni. A berendezés tartalmazott egy pneumatikus hengert, amellyel a próbatestet a hőciklus alatt max. 20 kN erővel meg lehetett terhelni. A hőciklus rögzítésére szolgáló jeladó a próbatestre hegesztett termoelem volt. A termoelem jelét analóg műszer regisztrálta. (1966-ot írunk, a digitális technikát még nem ismerjük). Az ábrán látható egy analóg készülék is, amely a lehűlési görbét deriválta.

Az ausztenit átalakulásának hőmérséklete a látens hő felszabadulása, vagy a fajtérfogat változása révén jelölhető ki. A ferritkiválás és a bomlási termékek (perlit, bainit) keletkezése jelentős hőfelszabadulással jár, így azok hőmérsékletének kijelölésére a hőmérséklet-idő diagramot célszerű használni. Az alábbi ábra – példaként – egy tipikus lehűlési görbét mutat be, annak derivatogramjával együtt.



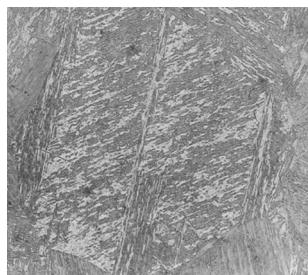
A hőmérséklet és deriváltja az idő függvényében (a vízszintes tengelyen szekundum)

A hűlési sebesség hatását a következő képek mutatják a beolvadási vonal közelében kialakuló szövetszerkezetre és a repedés keletkezésére egy növelt folyáshatárú acél esetén (0.20 C, 1.18 Mn, 0.40 Si, 0.25 Cu, 0.020 S, 0.020 P, 0.025 Al, 0.008 N).

Gyors hűtésnél kristályközi repedések keletkeztek. Lassú hűtés lágyabb szövetet, de nagyobb szemcséket okoz.

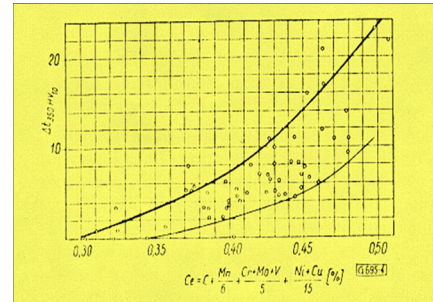
$$T_{\max} = 1375^{\circ}\text{C}, \Delta t_{850-500} = 1,6\text{ s}$$

$$T_{\max} = 1375^{\circ}\text{C}, \Delta t_{850-500} = 76,5\text{ s}$$



A martenzites átalakulás látens hője kicsi, így érzékelésére a fajtérfogat változásának (próbatest keresztirányú expanziójának) mérése célszerű. A téma kidolgozása idején már léteztek erre is alkalmas hőszimulátorok – mint az amerikai gleeble és a japán thermorestor – azonban a VASKUT készüléke – hasonlóan a holland smitweld készülékéhez – erre nem volt alkalmas.

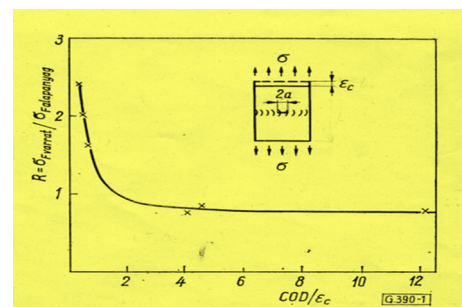
A normalizált C+Mn acélok hőhatásövezetének repedése – a diffúzióképes hidrogéntartalomtól függően – 300 HV, ill. 350 HV maximális keménységet okozó hegesztési munkarenddel kerülhető el. A következő ábrán az ehhez tartozó hűlési sebesség látható.



Lehűlési idő a hőhatásövezet repedéseinek elkerülésére

## 2. sz. melléklet: a varrathibák stabilitásának vizsgálata

A hegesztett szerkezetek törése sok esetben varrathibákból indul ki. Az alábbi ábra a varrat szilárdságának hatását mutatja egy hosszirányú varrathiba stabilitására a Welding Institute (Cambridge) széles (500 mm) lemez vizsgálatai alapján. A vizsgálatokat különböző szívósságú varratokkal végezték ( $\epsilon_c$  a fajlagos nyúlás átlagértéke a varratra merőleges  $\sigma$  feszültség hatására, COD pedig a töréshez tartozó repedés kinyílás).

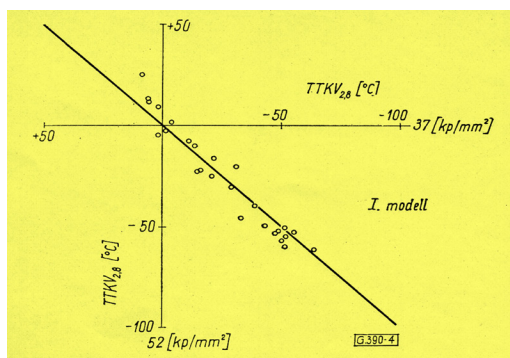


Szilárdság hatása a varrat repedéseinek elkerülésére

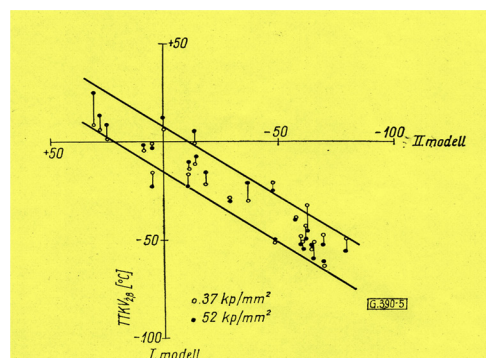
Ha a keresztirányú varrat folyáshatára kisebb az alapanyagénál ( $R > 1$ ), akkor az alakváltozás a varratra korlátozódik, ahol fajlagos értéke nagy. Ilyen esetben a varratok akkor is eltörhetnek, ha anyaguk alakváltozó képessége nagy (ellenkező esetben csak a rideg varratok törnek el). A varratra merőleges repedések stabilitását az alapanyag szívóssága általában biztosítja.

Következésképpen a varratok minimális folyáshatárával szemben követelményt kell támasztani. Ugyanakkor a varratok maximális folyáshatárát is korlátozni kell, mert a hegesztett kötésen belüli szilárdságugrás rideg vagy fáradásos törés kiindulópontja lehet.





Alapanyag hatása 12 mm vastag lemezek varratának átmeneti hőmérsékletére



Hegesztési feltételek hatása varratok átmeneti hőmérsékletére

| A rideg törési kategóriák teljesülésének valószínűsége<br>bázikus elektródánál (II. modell) |     |     |     |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|
| Elektródaátmérő: 4 mm (*3,25 mm, **5 mm)                                                    |     |     |     |     |
| Típus                                                                                       | B   | C   | D   | E   |
| Special                                                                                     | 66  |     |     |     |
| Univers                                                                                     | 97  | 72  |     |     |
| Supercito                                                                                   | 98  | 79  |     |     |
| Extra                                                                                       | >99 | 96  | 70  |     |
| Fox EV 47                                                                                   | *   | >99 | 99  | 87  |
| OK 48.00                                                                                    | >99 | 98  | 83  |     |
| Hera 5520                                                                                   | >99 | >99 | 99  | 88  |
| Tenacito                                                                                    | >99 | >99 | 99  | 88  |
|                                                                                             | >99 | >99 | 95  | 68  |
|                                                                                             | *   | >99 | >99 | 95  |
|                                                                                             | >99 | >99 | >99 | 90  |
|                                                                                             | **  | >99 | >99 | 94  |
| EB 1                                                                                        | >99 | >99 | 99  | 88  |
|                                                                                             | >99 | >99 | 91  | 67  |
|                                                                                             | >99 | >99 | 94  | 66  |
|                                                                                             | >99 | >99 | 96  | 72  |
|                                                                                             | *   | >99 | >99 | 91  |
|                                                                                             | >99 | >99 | 92  | 59  |
|                                                                                             | *   | >99 | >99 | 95  |
| Bors                                                                                        | >99 | >99 | 95  | 68  |
| OK 55.00                                                                                    | >99 | >99 | 95  | 68  |
| Tenacito 65                                                                                 | >99 | >99 | 99  | 88  |
| Fox 2,5 Ni                                                                                  | >99 | >99 | >99 | 92  |
| Tenacito 55                                                                                 | >99 | >99 | >99 | 99  |
| Cash EB 125                                                                                 | *   | >99 | >99 | >99 |
| OK 53.00                                                                                    | >99 | >99 | >99 | 96  |
| OK 48.43                                                                                    | >99 | >99 | >99 | 99  |
| Tenacito 70                                                                                 | >99 | >99 | >99 | 90  |
| OK 74.75                                                                                    | >99 | >99 | >99 | 92  |
| Tenacito 80                                                                                 | >99 | >99 | >99 | 96  |

Bevont elektródákkal hegesztett varratok alkalmazási határai

Általános irányelv:

$$R_{eH \text{ varrat}} = (1,1-1,3) R_{eH \text{ alapanyag}}$$

A következő ábrák a hegesztési feltételek hatását mutatják bevont elektródával hegesztett varratok tulajdonságaira. Az I. modell 12 mm vastag lemezek V-varrata, a II. model szabványos hegesztési ömledék. A 37 jelű lemez 365 MPa szakító szilárdságú lágyacél, az 52 jelű lemezé 510 MPa szakító szilárdságú C+Mn acél. Látható, hogy a varratok átmeneti hőmérséklete általában magasabb a katalógusokban szereplőnél.

| A rideg törési kategóriák teljesülésének valószínűsége<br>Fedett ívű hegesztés |                  |     |     |     |     |
|--------------------------------------------------------------------------------|------------------|-----|-----|-----|-----|
| Modell                                                                         | Hegesztőanyag    | B   | C   | D   | E   |
| I./37                                                                          | AN 348 A — FMn 2 | 99  | 84  |     |     |
|                                                                                | S 45 — FMn 2     | 97  | 76  |     |     |
|                                                                                | AN 20 — FMn 2    | 96  | 88  |     |     |
|                                                                                | UM 80 — FMn 2    | >99 | 91  | 57  |     |
|                                                                                | BBC 600 — FMn 0  | >99 | 96  | 73  |     |
|                                                                                | BBC 600 — FMn 1  | >99 | 98  | 84  |     |
|                                                                                | BBC 600 — FMn 2  | >99 | >99 | >99 | 95  |
|                                                                                | BBC 772 — FMn 2  | 97  | 78  |     |     |
| I./52                                                                          | AN 348 A — FMn 2 | 98  | 83  |     |     |
|                                                                                | S 45 — FMn 2     |     | 86  |     |     |
|                                                                                | AN 20 — FMn 2    | >99 | 94  | 64  |     |
|                                                                                | UM 80 — FMn 2    | >99 | >99 | 95  | 69  |
|                                                                                | BBC 600 — FMn 0  | >99 | >99 | >99 | >99 |
|                                                                                | BBC 600 — FMn 1  | >99 | >99 | >99 | 92  |
|                                                                                | BBC 600 — FMn 2  | >99 | >99 | >99 | >99 |
|                                                                                | BBC 772 — FMn 2  | >99 | 96  | 73  |     |
| II.                                                                            | AN 348 A — FMn 2 | 81  |     |     |     |
|                                                                                | S 45 — FMn 2     | 93  | 62  |     |     |
|                                                                                | AN 20 — FMn 2    | 90  | 55  |     |     |
|                                                                                | UM 80 — FMn 2    | >99 | >99 | 96  | 72  |
|                                                                                | BBC 600 — FMn 0  | >99 | >99 | >99 | 92  |
|                                                                                | BBC 600 — FMn 1  | >99 | >99 | 95  | 67  |
|                                                                                | BBC 600 — FMn 2  | 99  | 88  |     |     |
|                                                                                | BBC 772 — FMn 2  | >99 | 94  | 65  |     |

Védőgázos és fedettívű eljárással hegesztett varratok alkalmazási határai

| A rideg törési kategóriák teljesülésének valószínűsége<br>Védőgázas hegesztés |               |       |      |      |    |    |
|-------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------|------|------|----|----|
| Modell                                                                        | Hegesztőanyag | B     | C    | D    | E  |    |
| I./37                                                                         | VTi 1         | 5     |      |      |    |    |
|                                                                               |               | 6     |      |      |    |    |
|                                                                               |               | 7     | 62   |      |    |    |
|                                                                               |               | 8     |      |      |    |    |
|                                                                               |               | K     | 67   |      |    |    |
|                                                                               | V 1           | 1     | > 99 | 90   | 53 |    |
|                                                                               |               | 2     | > 99 | 94   | 65 |    |
|                                                                               |               | 3     | > 99 | 97   | 75 |    |
|                                                                               |               | 4     | > 99 | 93   | 60 |    |
|                                                                               | EMK 6         | D     | > 99 | 94   | 64 |    |
|                                                                               | I./52         | VTi 1 | 5    |      |    |    |
|                                                                               |               |       | 6    |      |    |    |
| 7                                                                             |               |       |      |      |    |    |
| 8                                                                             |               |       |      |      |    |    |
| K                                                                             |               |       |      |      |    |    |
| V 1                                                                           |               | 1     | 87   |      |    |    |
|                                                                               |               | 2     | 92   | 60   |    |    |
|                                                                               |               | 3     | 97   | 74   |    |    |
|                                                                               |               | 4     | 81   |      |    |    |
| EMK 6                                                                         |               | D     | 95   | 67   |    |    |
| II.                                                                           |               | VTi 1 | 5    | 56   |    |    |
|                                                                               |               |       | 6    | 96   | 70 |    |
|                                                                               | 7             |       | 93   | 81   |    |    |
|                                                                               | 8             |       | 83   |      |    |    |
|                                                                               | H             |       | 87   |      |    |    |
|                                                                               | K             |       |      |      |    |    |
|                                                                               | V 1           | 1     | 84   |      |    |    |
|                                                                               |               | 2     | 97   | 74   |    |    |
|                                                                               |               | 3     | > 99 | 91   | 57 |    |
|                                                                               |               | 4     | 94   | 63   |    |    |
|                                                                               |               | P     | 93   | 62   |    |    |
|                                                                               |               | R     | 97   | 76   |    |    |
|                                                                               |               | S     | 95   | 67   |    |    |
|                                                                               |               | BM 65 | N    | 94   | 83 |    |
|                                                                               | EMK 6         | D     | > 99 | > 99 | 92 | 58 |
|                                                                               | EMK 7         | E     | > 99 | 97   | 76 |    |

Több mint egy hónap telt el szeretett tanárunk és munkatársunk, Dr. Sárvári József végső búcsúztatása óta, és én ugyanannál az asztalnál és ugyanaz előtt a számítógép előtt ülök, mint akkor, amikor a temetésén elmondott beszédemet írtam. Nekem – és úgy gondolom, hogy sokunknak –, Ő olyan volt, mint ahogyan azt megfogalmaztam, tisztelető és szerethető, csupa szív és érzelm, életének végéig tanítani akaró, IGAZ EMBER. Ő is tisztelt és szeretett bennünket, lehetett vele vitatkozni, de meggyőzni csak kristálytiszta logika és megalapozott érvek mellett, „nem középiskolás fokon”, hagyta magát. Ebből is tanultunk!



Állami Mezőgazdasági Gépállomás  
 -on töltött, esztergályos és motor-  
 szerelő beosztásban. Nem volt  
 véletlen tehát, hogy műszaki pályára  
 adta a fejét.

Az egyetemi oktatói évek során a Tanszék mindegyik alapozó tárgyát oktatta. Ideje legnagyobb részét a képlékeny hidegalakítás témájú tantárgyak fejlesztésére és oktatására fordította; az ilyen témájú tárgyaknak 30 éven át volt előadója. Azt nevelte belénk, amilyen maga is volt: *nem elég megtanulni valamit, annál sokkal fontosabb meg is érteni azt.* Ha valamit nem értett, addig nem volt nyugalma sem neki, sem a kör-

Szilárd meggyőződése, hogy ez a tisztelet és szeretet vitt el oly sokunkat 2021. december 22-én Dunakeszibe, hogy elkísérjük Őt utolsó útjára. Az Anyagvizsgálók Lapja olvasói előtt, másodszor is búcsúzom Tőle, a temetőben elmondott szavaimmal, el nem múló hálával gondolva mindarra, amit számunkra adott.

nyezetének, amíg a részek nem álltak össze, megingathatatlan egésszé. Az ilyen pillanatokig az volt számára a fontos, hogy a puzzle minden apró eleme a helyére kerüljön, utána pedig az, hogy ezt a tudást minél többeknek átadhassa. Színes előadásokat tartott, példáit saját szakmai tapasztalataiból merítette, az Ő előadásain nem lehetett nem figyelni. Neki nem volt szüksége mikrofonra, lénye és hangja megtöltötte az egész előadótermet, és az utolsó sorból is láttuk mindazt, ami a táblára került.

Megrendülten állunk Dr. Sárvári József nyugalmazott egyetemi főtanácsos, főiskolai docens ravatalánál, aki életének 83 évéből több mint hat évtizeden át kötődött a Miskolci Egyetemhez. A debreceni Mechwart-os évek után került Miskolcra, az akkori Nehézipari Műszaki Egyetemre, ahol 1962-ben szerzett gépészmérnöki oklevelet. Egyetemi tanulmányai utolsó két évében a Gépészmérnöki Kar társadalmi ösztöndíjasa volt, a legkiválóbb diákok egyike. Végzése után közvetlenül, a Mechanikai Technológiai Tanszéken kezdődött el egyetemi oktatói pályafutása, amely – de jure – nyugdíjazásáig, vagyis 41 éven át, de facto azonban élete végéig tartott. „*Ha Miskolc hív, mi ott leszünk*”, mondja az egyetemi diákdal, és Ő, – ha hívtuk –, mindig ott is volt. Doktori disszertációját, amelyben a jól alakítható anyagokból készült rudak nyírásos darabolásának elméleti és kísérleti vizsgálatával foglalkozott, és amelyben a gyakorlati részt tartotta hangsúlyosabbnak, 1979-ben védte meg. *summa cum laude* minősítéssel.

Fiatal tanársegédként, két kollégájával összefogva vállalkoztak arra, hogy a képlékeny alakítással foglalkozó tantárgyat átalakítsák. A munka első eredménye volt az 1967-ben megjelent, „Forgácsolás nélküli megmunkálás” című, hiánypótló jegyzet. Miután szerzőtársai elhagyták az Egyetemet, a további tananyag korszerűsítés vezetője lett, igazi tanítómester nélkül. Hatalmas energiát mozgósítva összegyűjtötte a vonatkozó ismereteket, majd szerkesztésében, 1980-ban megjelent a „Képlékeny hidegalakítás” című, újabb jegyzet. Jól emlékszem, mindenkit arra kért, ha bármilyen hibát talál benne, akkor jelezze, hogy a következő kiadásokra kijavíthassa azokat. Mindig arra törekedett, hogy tökéletes munka kerüljön ki a kezei közül. Az 1970-es években alakultak meg az egykori Mechanikai Technológiai Tanszék szakcsoportjai, Ő a hidegalakító szakcsoport vezetője lett, hosszú éveken át irányította a szakmai munkát, sikeresen.

Mindig büszke volt, és jogosan, családi és szakmai indíttatására, amelyet gyakran emlegetett. Gépész- és kovácmester családban nevelkedett, általános iskolásként sokat dolgozott együtt Édesapjával, egyetemista korában pedig minden nyári szünetet a Biharkeresztesi

A Tanszék által és az általa művelt szakterületek egyaránt műhely és laboratórium igényes területek voltak, és azok ma is. Hosszú éveken át volt a tanszéki műhely vezetője, számos ipari és tudományos kutatási feladat megoldásához biztosítva kiegyensúlyozott hátteret.



Ha valaki úgy gondolta, hogy egy feladatot a műhely nem tud elvégezni, Ő megmutatta, hogy igen. Ennek a tanszéki területnek a gyökerei Tőle erednek, fiatalabb kollégáink talán nem is érzik, hogy ennek mekkora a jelentősége.

Szerette az oktató munkát és a szerette a hallgatókat; a hallgatók is szerették őt. A végzős évfolyamok kétszer, 1980-ban és 1993-ban választották meg „tiszteletbeli évfolyamtárs”-uknak, és szintén kétszer, 1981-ben és 2006-ban „az előadók előadója”-nak. Szinte közfelkiáltással és nem érdemtelenül, pedig szigorú volt, de mindig igazságos. Mint az 1981-ben végzett évfolyam egyik tagja, őszintén mondhatom, hogy rá igazán illik az a megfogalmazás, hogy mérnök generációk oktatója és nevelője volt.

Mi, 81-esek, 42 éve, a felejtethetetlen szabolcsi almaszedések egyikén kerültünk Vele szorosabb kapcsolatba, ahol egy új oldaláról is megismerhettük. Értette és tudta, hogy mi a feladat, értette és tudta, hogy talán nem mi vagyunk a leglelkesebbek, de tudott ránk hatni, tudott minket motiválni, és kérielhetetlen szilárdsággal védte az érdekeinket. És mi, nem beletörődtünk a helyzetbe, hanem „átálltunk” az Ő oldalára.

A másik életre szóló élményünk a 24 órás stúdiós-vetélkedőhöz kötődik. A feladat az volt, hogy készítsünk működő faliórát, kizárólag fából, méghozzá 12 óra alatt. A „Mech-Techn” Tanszék műhelye kitért, a fémmegmunkáló gépek a kezei között elkezdtek fát forgácsolni, hullott a forgács, az óra elkészült. A mi óránk lett a legjobb és a legszebb, megnyertük az egész vetélkedőt, tanár és diák együtt örült. Az óra ma is a szobám falán lóg, pedig mindez 41 éve történt. A tanár – a mi Tanárunk – nemcsak tanár, hanem igazi mester is volt, nemcsak tanítani tudta a szakmát, hanem művelni is.

Talán ezek voltak azok a napok, amikor mi, az akkori G-503-as tankör, igazán közel kerültünk hozzá, és viszont. Tiszteletbeli tankörtársunkká fogadtuk, így lett vérbeli „spucnis”-ból egy kicsit „hórukk”-os is. Nem véletlen, hogy az egykori tankörünk közel fele most is itt van.

1979-ben a Kohó és Gépipari Minisztériumtól hivatásos gépészeti szakértői engedélyt kért és kapott, majd elhatározta, hogy megszerzi a gépjármű szakértő engedélyt is. Jelentkezett, bújt a Budapesti Műszaki Egyetem gépjárműves tankönyveit és 1980-ban sikeresen levizgázott. Ezt követően, 23 éven át dolgozott igazságügyi gépészeti és gépjármű szakértőként, elsősorban a gépszerkezettan és az anyagtudomány határterületén. Ezt a munkát is nagyon szerette, szívvel-lélekkel tette

a dolgát, egy országos horderejű ügyben tőle tudhatták meg a magyar tévévezők, hogy mi is történt valójában. És, hogy ez a tudás, ez a kincs se felejtődjek el, közel 80 évesen és közel 100 oldalon, közzétette tapasztalatait a Facebook-on. Ő még ekkor is tanított bennünket, mi pedig – és ezt sokak nevében mondhatom – hálás diákok voltunk.

Szerencsés embernek tekintem magamat, mert az egyetemi oktatói pályafutásomat mellette kezdhettem el. Júniusban, még végzős diákként, gondtalanul szalonnáztunk a tankörtársaimmal együtt a hétvégi telkén, augusztusban aztán az Ő íróasztala melletti asztalnál találtam magamat. Nehezítő körülményként fia, Gabi osztályfőnöke és gyakorlatvezetője lettem. Ekkor és Tőle tanultam meg azt, hogy hogyan lehet és kell a fiatal kollégák beilleszkedését segíteni, majd pályájukat egyengetni. Teljes szívvel fogadott, mindenkinek bemutatott és mindent megmutatott. Én pedig csak kapkodtam a fejem, az első önállóan megtartott órán, az első műhelyben tartott bemutatón, az első ipari munka keretében végzett feladat megoldása során. Mindig egyenesen és őszintén fogalmazott, akkor is, ha jól csináltam valamit, és akkor is, ha rosszul.

De, nemcsak velem volt ez így. Tudott örülni a kollégái és a tanítványai eredményeinek és sikereinek, a szakmában, a tudományban és a magánéletben egyaránt. Amikor professzor lettem, vagyis kedves humorával szólva „egy technológiától kissé eltávolodott írástudó”, olyan szeretettel gratulált, hogy én voltam zavarban.

Öt éve, a 35 éves évfolyamtalálkozónkon, felgyógyulva a súlyos betegségből, végig velünk volt. Előterjesztésünkre kapta meg a Kari Jubileumi Emlékérmet, legjobb meggyőződéssel állítom, hogy megérdemelten. Idén nyáron, a 40 éves évfolyamtalálkozónk előtt beszélünk utoljára hosszan. Nem vállalta a miskolci utazást, de mindenről és mindenkiről kikérdezett, őszinte érdeklődése mit sem változott. Aztán, már az évfolyamtalálkozó után beszélünk utoljára, majd jöttek az egyre rövidebb és egyre nyugtalanítóbb hírek. Az utolsó, és a legfájdalmasabb, december 9-én, délután.

Kedves Charpy! Aki egyszer is beszélhetett Veled, aki egyszer is hallhatta az előadásaidat, aki valamit is tanulhatott Tőled, akinek egyszer is megszorítottad a kezét, az soha nem felejtje el azt. Mi, itt és most, mindannyian ilyenek vagyunk. Együtt már nem énekeljük el többet a „Charpy bátyánk egyszer régen azt mondta nekünk” kezdetű diákdalt, de amikor az felhangzik majd, Te is közöttünk leszel.

*Isten veled, nyugodj békében!*

**Lukács János**

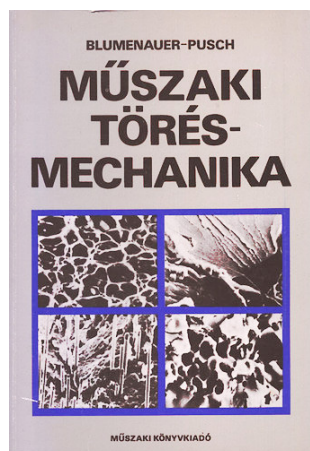
## Prof. Dr.-Ing. habil Gerhard PUSCH (1940-2021)

A Freibergi Műszaki Egyetem Anyagtechnikai Intézetéből kapott szomorú hír<sup>1</sup> készítetett arra, hogy a mindennapi rohanást megszakítsam és végig gondoljam a – most már úgy mondanám – volt NDK-s kollegákhoz kötődő kapcsolatokat. Ezt nem is olyan régen meg kellett tennem Prof. Horst Blumenauer nekrológjának<sup>2</sup> megírásánál is, de a mostani hírrel életem egy jelentős szakasza vonul azon emlékek tárházába, amely nem bővíülhet a jövőben. A hazai szakmai életbe a két említett név a törésmechanika témakörében megjelent első magyar nyelvű könyv kapcsán robant be. Átnézve az antikváriumok kínálatát még napjainkban találhatók példányok, miközben már mindkét szerző az örök végtelenségek mezején bandukol. Beilleszthettem volna a saját, a szerzőktől kapott példányomat is, de inkább



majd 1978-ban habilitált. Ez utóbbi már a törésmechanika alkalmazási területeihez kötődött. E munka eredményezte a Blumenauer professzorral közösen írt és magyarul is megjelent 1987-ben a Műszaki Könyvkiadó által útjára bocsátott 208 oldal terjedelmű könyvét. A könyv kiadását Romvári Pál professzor kezdeményezte a Nehézipari Műszaki Egyetem és az Technische Hochschule Otto von Guericke tradicionális és kiváló együttműködése alapján<sup>3</sup>. A kiváló fordítás Michelberger Pál és Burayné Mihályi Erika (FÉMKUT munkatársai) nevéhez fűződik, de a nüánszok egzakt magyar nyelvű megfogalmazásaihoz sokban hozzájárult Rittinger János és

Fehérvári Attila (VASKUT munkatársai) barátaim mély szakmai tudása. A FÉMKUT és VASKUT közös ebédülője az épületek alagsorában sokban segítette a „nüánszok közös megfogalmazását”. Gerhard Push habilitációját követően széleskörű tudását a szabványosítás területén hasznosította, az ASMW (Amt für Standardisierung Meßwesen und Warenprüfung) a színesfém és porkohászati osztály vezetőjeként. Freibergbe 1979-ben kapott meghívást a törésmechanikai tudományterület megerősítésére. Érdekességgé lehet megemlíteni, hogy e tudományterületnek az oktatásban történő megjelenítésére Freibergben Dr. Günter Michalzik kezdeményezésére került sor 1975-ben. Ő a lágyacélok szívós-rideg átmeneti hőmérsékletének roncsolásmentes vizsgálattal történő meghatározására fókuszált kutatásaiban. Gerhard Pusch egy szélesebb körű törésmechanikai szemléletet importált a Bergakademie közegébe. Itt 1987-ben docensi kinevezést kapott, majd 1992-ben az anyagtudomány és anyagdiagnosztika tématerületen kapta meg a professzori titulust. Ezen belül a „Kísérleti törésmechanika” munkacsoport nemzetközi mércével is mérhető színvonalú vezetője. Sikeresen védett doktórandszainak száma meghaladja a 15 főt. Az 1993-2000 közötti periódusban az Anyagmérnöki Intézet (Institut für Werkstofftechnik) igazgatója. Kiváló oktatói munkáját Julius Weisbach díjjal, szakmai tevékenységét August Wöhler emlékéremmel ismerte el a Német Anyagvizsgáló Egyesület 2005-ben<sup>4</sup>.



jelezni kívántam a relikviákat őrizni kívánó gyűjtőknek, hogy még megvan a lehetőségük az esetleges kiegészítésre. Engedje meg a Tisztelt Olvasó, hogy a 81 évet (29882 napot) meg- és átélt Pusch professzor életét alapvetően „két szemüvegen” szemlélve foglalam össze, röviden. Az egyik szemléletben a szakmai munkásságot értékeljem teljesen objektíven, a másikban személyes kapcsolataink is felvillanhassanak.

Gerhard Pusch Magdeburgban született 1940. január 25-én, elemi és középiskolai tanulmányait is itt folytatta, majd 1959 és 1965 között az Technische Hochschule Otto von Guericke hallgatója volt. Végzését követően az Anyagtudományi és Anyagvizsgáló Intézetben dolgozott 1976-ig. Az intézet vezetői feladatát H. Blumenauer látta el 1971-1990 között. Gerhard Pusch 1970-ben doktorált a szinterelt anyagok egytengelyű húzás hatására bekövetkező megnyúlási folyamatainak elemzésével,

<sup>1</sup> Technische Universität Bergakademie Freiberg honlapja: <https://tu-freiberg.de/fakult5/iwt> (Letöltés dátuma: 2022.02.12.)

<sup>2</sup> Tóth László: Emlékezzünk Prof. Horst Blumenauerre, Anyagvizsgálók Lapja, 2019/1. lapszám, pp. 62-64.

<sup>3</sup> A Bergakademie Freiberg és a Nehézipari Műszaki Egyetem közötti együttműködési szerződés aláírására 1961. január 6-án került sor.

<sup>4</sup> Deutscher Verband für Materialforschung und -prüfung (DVM) honlapja: <https://dvm-berlin.de/ueber-den-dvm/ehrungen> (Letöltés dátuma: 2022.02.12.)

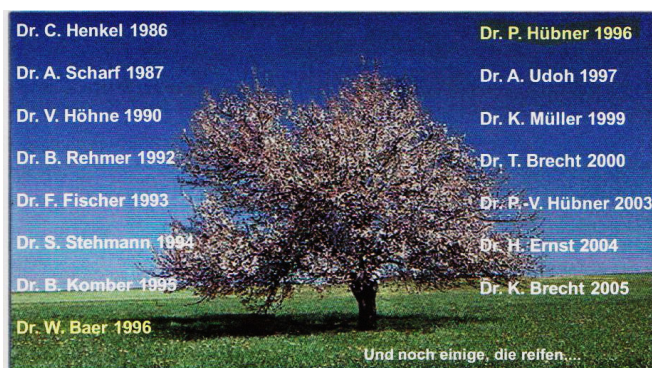




Prof. Gerhard Pusch 70. születésnapja is alkalmat adott arra, hogy a törésmechanika tudományterületén Freibergben 35 év alatt (1975-2010) bekövetkezett fejlődést áttekintse az érintett szakmai kör. Az eredményeket foglalja össze az alábbi kiadvány<sup>5</sup>.

*Prof. Pusch 70. születésnapjára összeállított jubileumi kiadvány*

Erre meghívást kaptam én is, aki közvetlenül láthattam, illetve részese lehettem e folyamat egyes lépéseinek. Együttműködésünk az NDK-s időkben indult Joachim Spies professzorral, aki azt a célt tűzte ki az 1970-es évek legelején, hogy a Freibergben folyó anyagtudományi képzést az akkori NDK területén a legmagasabb színvonalra emeli. Számos hazai és nemzetközi együttműködés megszervezésével ezt a célt egy-másfél évtized alatt el is érte olyannyira, hogy a német-egyesülést követően is így értékelte a most már egységes német szakma. A Miskolci Egyetem Romvári Pál vezette Mechanikai Technológiai Tanszéke is így került közvetlen kapcsolatba Spies professzor e célkitűzésének elérésében. Jómagam pedig előbb a Dr. Günter Michalzik, majd Gerhard Pusch által fémjelzett törésmechanikához kötődő szakmai területen. Az együttműködés keretében Freibergből részképzésre (3 hónapra) hallgatók érkeztek Miskolcra kísérleteik elvégzésére. Az eredmények részben közös publikációkban láttak napvilágot, részben pedig a Gerhard Pusch és Prof. Spies professzor vezette doktori képzés eredményességét tükröző közleményekben. Az érintett kört talán legjobban a jubileumi kiadvány alábbi ábrája szemlélteti, ahol a sikeresen végzett doktoranduszok nevei olvashatók. Az itt látható neveket viselők közül számosan töltöttek huzamosabb időt Miskolcon a régi szép „diák-időkben” és sikeres



*Prof. Pusch (fehér színnel jelzett nevek) és Prof. Spies (sárga színnel jelzett nevek) sikeresen védett doktoranduszai törésmechanikai témakörökből*

életpályát futottak be, pl. Wolfgang Beer, Peter Hübner (August Wöhler emlékérem, 2018).

A szakmai és személyes kapcsolatot talán a kiadvány dedikálása is jellemezheti.

*Meinem lieben Freund und Fachkollegen  
Prof. L. Tóth zur Erinnerung an eine  
lange Freundschaft und Zusammenarbeit  
gewidmet*

*Freiberg, 5.3.2010*

*L. Tóth*

*A jubileumi kiadvány dedikációja*

Tisztelt Pusch Professzor Úr, kedves Gerhard! Engedd meg, hogy két olyan fényképpel búcsúzzak Tőled, amelyeken a 70. születésnapodon köszöntöttünk Freibergben a „am Banhof” szállodában. A résztvevők közül néhányan már a végtelenség útján bandukolnak Veled együtt. Mi még élők egyrészt szomorúan búcsúzzunk Tőled, de a természet örök és megmásíthatatlan törvényét tudomásul véve hamarosan csatlakozunk hozzád.

*Freiberg, 2010.03.05  
Utolsó személyes  
találkozásunk*



*Freiberg, 2010.03.05. (balról-jobbra:  
Tóth Lászlóné, Prof. Blumenauer, Prof. Stroppe)  
a "Verformung und Bruch" rendezvénysorozat  
két "motorja"*

**Nyugodj békében!**

**Tóth László**

<sup>5</sup> Bruchmechanische Charakterisierung des Werkstoff- und Bauteilverhaltens. 1975-2010. p. 406.



## XXXI. Nemzetközi Hegesztési Konferencia

A Magyar Hegesztési Egyesület a Magyar Hegesztéstechnikai és Anyagvizsgálati Egyesüléssel, a Magyar Roncsolásmentes Vizsgálati Szövetséggel, és a Magyar Acélszerkezeti Szövetséggel együttműködésben a Neumann János Egyetem partnerségével, 2022. május 19-21. között rendezi meg személyes megjelenés mellett, a XXXI. Nemzetközi Hegesztési Konferenciát.

A szervezők a kétevente megrendezésre kerülő konferencia tematikájának középpontjába „A kötés, a termikus és vízsugaras vágás -technológiák korszerű anyagai és eljárásai az IPAR 4.0 tükrében” kérdéskört helyezték. A szakmai programot a konferencia fő témaköréhez kapcsolódó plenáris, a Programbizottság által felkért előadók előadásai (25-30 perc időtartamban), bejelentkezett előadások (15-20 perc időtartamban), és szakterületi fórumok képezik.

A konferencia – Palkovics László akadémikus, innovációs és technológiai miniszter fővédnöksége mellett – 2022. május 19-én, csütörtökön délelőtt fakultatív gyárlátogatási lehetőséggel (KÉSZ Kft., Hilti Szerszám Kft., Mercedes-Benz Manufacturing Hungary Kft., Autoflex Kft.), illetve a Neumann János Egyetem a laboratóriumlátogatásával kezdődik, amelyet csütörtök délután, péntek egész nap, valamint szombat délelőtt szekcióülések követnek. A konferencia alkalmat biztosít a MAHEG által kiírt diplomafeladat pályázatok díjainak, valamint az Egyesület kitüntetései átadására. Az előadásokat követően mód lesz szakmai vitára.

|                                                                                                                                        |                   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| A konferencia részvételi díja                                                                                                          | 95.000 +ÁFA Ft/fő |
| A MAHEG, MAROVISZ, MAGÉSZ egyéni tagjainak, jogi tagvállalat dolgozóinak, az MHTÉ tagvállalat dolgozóinak kedvezményes részvételi díja | 85.000 +ÁFA Ft/fő |
| Doktoranduszok részvételi díja                                                                                                         | 55.000 +ÁFA Ft/fő |
| Nyugdíjasok, felsőoktatási intézmények hallgatói* díja                                                                                 | 35.000 +ÁFA Ft/fő |

\* abban az esetben, ha MAHEG, MAROVISZ, MAGÉSZ egyéni tagja

**Résztvevők jelentkezési határideje 2022. május 6.** A rendezvény helyszíne: Neumann János Egyetem, 6000 Kecskemét, Izsáki út 10. További információ, így a letölthető jelentkezési lap, a szálláslehetőségek, az aktuális információk a <http://maheg.hu/> felületen érhető el.

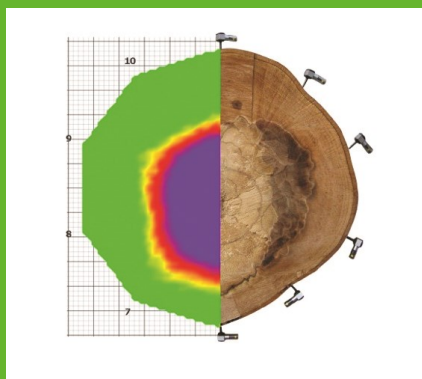


Diplomaterv pályázat díjátadása  
a XXIX. Nemzetközi Hegesztési Konferencián

Személyes megjelenés mellett  
2018-ban megrendezett  
konferencia megnyitása



Hallgatóság a szekció ülésen



Akusztikus  
Tomográfia



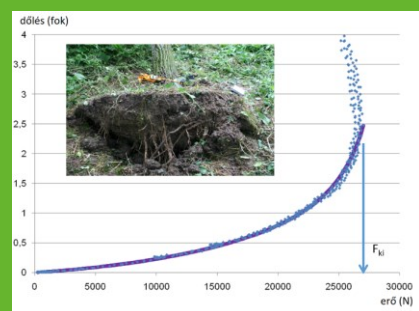
Impedancia  
Tomográfia



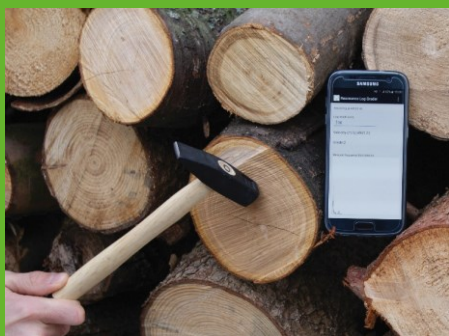
Műszeres  
Favizsgálat



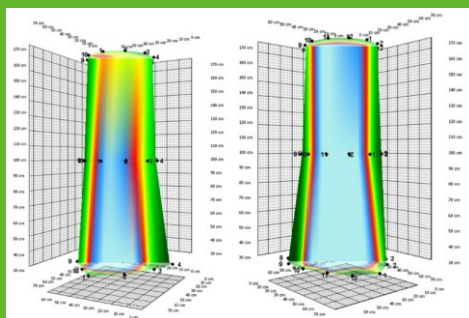
Faszerkezet-vizsgálat



Biztonsági faktor  
Számítás



Faanyag-vizsgálat



Képalkotás



Nagyfelbontású  
Műszerek



**FAKOPP**

[www.fakopp.com](http://www.fakopp.com)

office@fakopp.com

A Fakopp csapata több, mint 25 éve  
- műszerfejlesztéssel  
- szoftver és hardver fejlesztéssel  
- érzékelő- és műszergyártással  
foglalkozik.

Tapasztalataink Önnek is értékesek lehetnek.  
Keresse kollégáinkat és dolgozzunk együtt!