

Új technológiák bemutatása a faszerkezetek felülvizsgálata területén

Szerzők:
Dr. Divós Ferenc
Dr. Németh László
Major Balázs

Magyar Mérnöki Kamara
2015

Tartalomjegyzék

1.) Bevezetés	2
2.) Faszervezetek felülvizsgálatának gyakorlata	3
3.) Szilárdság becslő eljárások:	6
- Hangsebesség mérés rostirányban	6
- Csavarállóság mérése	9
- Szeg behatolásos vizsgálat	13
- Mintavételes vizsgálat	14
- A csavarállóság és a hangsebesség mérés együttes használata	14
4.) Hibahely feltárássra irányuló vizsgálatok	16
- Fúrásos vizsgálat 1.	16
- Fúrásos vizsgálat 2.	17
- Nedvesség mérés	20
- Hangsebesség mérés rostra merőlegesen	21
- Akusztikus tomográfia	22
- Impedancia tomográfia	25
- Összefoglalás	27
- Hivatkozások	27

1.) Bevezetés

A faszerkezetek állapotának felülvizsgálata a faanyagvédelmi szakértők feladata. Munkájukat elsősorban vizuális jegyek értékelése alapján végzik. A mérés technika fejlődésével azonban számos műszerrel támogatott favi vizsgálati módszer jelent meg, melyek a faszerkezet értékelésével foglalkozó statikusoknak adnak segítséget. A műszeres vizsgálat a faszerkezet elemeinek pillanatnyi szilárdságát képes meghatározni illetve a károsodás mértékét és kiterjedését segít körülhatárolni. Kiadványunkban a szilárdság becslő eljárásokat és a hibahely felderítésére alkalmas eljárásokat mutatjuk be.

Faszerkezetek felülvizsgálatának jelenlegi gyakorlata

Az állapotvizsgálatoknál meg kell különböztetnünk a mechanikai vagy statikai vizsgálatot és a faanyagvédelmi szempontból végzett ellenőrzést. Mindkettőhöz különböző képesítés szükséges, de a vizsgálatok bizonyos területeken egymáshoz kapcsolódnak.

A hagyományos faanyagvédelmi szakértői képesítés kezdetektől fogva vizsgához kötött tevékenység volt. Régen a vizsgabizottság a Soproni Egyetemen működött, tagjai faanyagvédelemmel, jogi ismeretekkel és építészeti ismeretekkel foglalkozó személyek voltak. Vizsgakövetelmény volt az alapvető faszerkezet építési módok, stílusok, fogalmak ismerete, a beépített faanyag fafájának felismerése, a fakárosító gomba- és rovarfajok azonosítása, valamint a szükséges faanyagvédelmi feladatok, eljárások ismertetése. Jelenleg a Magyar Mérnöki Kamarán belül az Erdőmérnöki, Faipari és Agrárműszaki Tagozathoz kapcsolódó Tanúsítási rendszer része a faanyagvédelem szakterület. A faanyagvédelemmel összefüggő szakmai ismeretek színvonala és az elvárások a szakmagyakorlókkal szemben nem változtak.

A faanyagvédelmi szakterületen dolgozó Tanúsítvánnyal rendelkező szakemberek egyik kiemelt feladata a régi faszerkezetek állapotának ellenőrzése. A jogszabályok alapján a felújításért felelős tartószerkezet tervezőnek, építésznek, a régi faszerkezetet tartalmazó épület tulajdonosának vagy üzemeltetőjének, melyek például az állam, egyházak, önkormányzatok, iskolák, magánszemélyek, stb., faanyagvédelmi felülvizsgálatot kell kérnie az adott szerkezetre. Az ellenőrzés során megállapított adatok, tapasztalatok,

javaslatok szükségesek a további szilárdságtani számítások és egyben a szerkezet felújításának megtervezéséhez.

A felkért tanúsított faanyagvédelmi szakember feladata az adott faszerkezet állapotának megítélése, véleményezése.

A faanyagvédelmi szakvéleményt statikusok, tartószerkezet tervezők, építészek használják fel a felújítási tervek elkészítéséhez. A készítő kiemelt felelőssége, hogy helyes információkat adjon a döntések előkészítéséhez.

A szerkezetek felmérésének menete

A faszerkezetek ellenőrzése során az első pillanattól kezdve szoros együttműködés alakul ki a tartószerkezet tervezők és a faanyagvédelmi szakemberek között.

A tervezők által készített felmérési rajzok, esetleg az épületről rendelkezésre álló eredeti tervek a kiindulási alapja a faanyagvédelmi vizsgálatoknak, amelynek megfelelően az összes faszerkezeti elemet ellenőrizni szükséges.

A hagyományos módszer a szemrevételezés, mely során a látható jelek alapján megállapítást nyer a biotikus és abiotikus károsodás oka, okozója és a károsodás mértéke. A vizsgálatokat követően elkészül egy faanyagvédelmi szakvélemény, mely az alábbiakat tartalmazza:

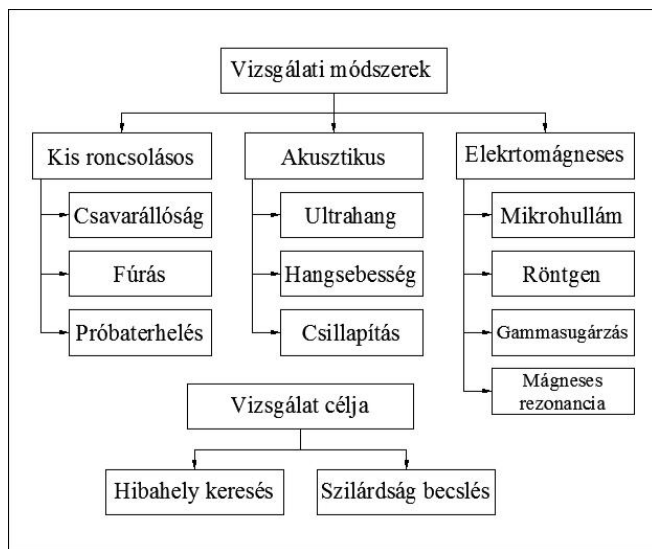
- általánosan bemutatja a vizsgált faszerkezetet,
- táblázatszerűen összegzi a faanyagvédelmi ellenőrzés adatait,
- a rendelkezésre álló terveken jelöli, fotódokumentációval szemlélteti a károsodott helyeket,
- majd javaslatot tesz a károsodások megszüntetésére,

az alkalmazandó faanyagvédelmi módszerre és a vegyszeres faanyagvédelemre a maradó és az újonnan beépítendő faanyagok esetében

A hagyományos módszert ma már új technológiák is kiegészítik.

Faszerkezetek műszeres roncsolásmentes vizsgálata

Ezeket a vizsgálatokat több csoportra tudjuk osztani az 1. ábra szerint. Egy vizsgálat akkor roncsolásmentes, ha a módszer elvégzése után a vizsgálat tárgya továbbra is képes ellátni eredeti funkcióját. Például egy tetőszerkezeten végzett csavarállósági vizsgálat nem számít roncsolásosnak, mert a csavar kihúzása után a tetőgerenda nem veszít a szilárdságából.



1. ábra: A roncsolásmentes faanyagvizsgálati módszerek csoportosítása

Szilárdság becslőeljárások

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 minőséget jelző paraméter. A dinamikus rugalmassági moduluszt az anyag sűrűsége és a hangsebesség négyzete ($E = \rho V^2$) formulával határozhatjuk meg. A mérnöki gyakorlatban a statikus rugalmassági moduluszt használjuk, ami faanyagok esetén 10%-kal kevesebb, mint a dinamikusan 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 a reológiai eredetű deformáció nem jelentkezik. Mivel a rugalmassági modulusz szilárdság jelző (MSz-EN-338), ezért a helyszínen is könnyen meghatározható hangsebesség fontos szerepet tölt be a gerendák pillanatnyi rugalmassági moduluszának és hajlító szilárdságának meghatározásában. Az 2. ábra egy hangsebesség mérést mutat tetőszerkezeti gerendán. Kettő tűskével felszerelt érzékelőt szúrunk a fába úgy, hogy a tűskék egymás fele néznek. A tűskék a felületre 45 +/- 15 fokos szögben kerülnek beütésre. A beütés mélysége a faanyag sűrűségétől függ: puhafába mélyebben, keményfába 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 100g-os fém kalapáccsal, koppintással keltjük. Hagyjuk, hogy a kalapács az érzékelőről visszapatтанjon. A

mért idő mikro-szekundumban 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 és 7000 m/s között alakul a fafaj és a termőhely függvényében, átlagértéke 5000 m/s körüli. A magas hangsebesség miatt az időmérő műszer idő felbontása 1 μ s. A rostirányú hangsebességet a farostok hossza és a mikrofibrilla szög befolyásolja. Hosszabb rostok és kisebb mikrofibrilla szög magasabb hangsebességet eredményeznek. A nedvesség tartalom növekedésével a hangsebesség csökken, egészen a rost-telítettségig (kb. 25-30% fafajtól függően), felette alig változik.



2. ábra: Hangsebesség mérés tetőszerkezetben.

A pontos hangsebesség mérés érdekében a készülék leírásában szereplő időkorrekciót kell alkalmazni. Jellemzően néhány mikro-szekundumot 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. Több megoldás kínálkozik:

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

Ha nem áll módunkban műszeres sűrűség becslést végrehajtani, akkor a következő fa sűrűségeket vehetjük figyelembe:

1. táblázat: Jellemző fa sűrűségek

Fafaj	sűrűség (kg/m ³)
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/m³-rel is eltérhetnek a megadott adatoktól.

Csavarállóság mérése

A csavarállóság az az erő, mely egy csavar faanyagból való kitépéséhez szükséges. Az MSZ 2364-80-as szabvány írja le a szeg- és csavarállósági vizsgálatokat, de ez anyagvizsgáló gépet követel meg, így szerkezetek helyszíni vizsgálatára alkalmatlan. A helyszíni vizsgálatra kifejlesztettünk egy speciális műszert, ennek tesztelése során meghatároztuk egy 5%-os kvantilishez tartozó egyenest. Ennek az egyenesnek az egyenletét felhasználva, annak a valószínűsége, hogy kisebb hajlítoszilárdságot határozzunk meg a ténylegesnél 5%. A hajlítoszilárdság becsülő egyenesének egyenlete a következő:

$$\sigma_{hajlító}[MPa] = 36,5 F_{csavar}[kN] - 5,3$$

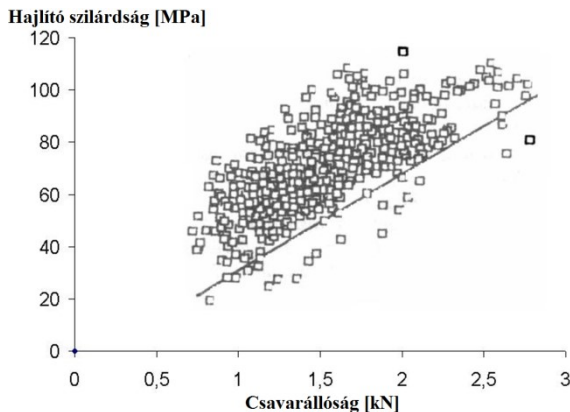
ahol: $\sigma_{hajlító}$: a hajlító szilárdság

F_{csavar} : a facsavar kitépéséhez szükséges erő

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

$$F_{csavar} = F_{mért} \frac{4}{D} \frac{18}{L}$$

ahol D a csavar átmérője mm-ben, L pedig a menet hossz. A csavarállóság és a hajlító szilárdság között talált összefüggést a 3. ábra szemlélteti.



3. ábra: A csavarállóság és a hajlító szilárdság közti kapcsolat.

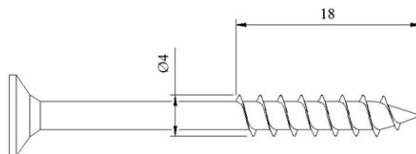
Fenyő faanyag vizsgálatára a 4 mm-es csavar kiválóan megfelel. Nyárfa esetén 5 mm átmérő, akác és tölgyfa esetén a 3 mm átmérő lehet indokolt. Egy csavar többször, jellemzően 100-200 alkalommal használható. Leggyakrabban a behajtás során a csavarfej kopik el. Ha ez nem következne be, akkor a csavar kopása miatt az átmérője lecsökken.

A helyszíni vizsgálatokhoz kifejlesztett műszer a 4. 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 kihúzni. Működés közben egy beépített Wheatstone-hídba 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 +/-

7%. A mérést meghamisíthatja, ha a gyorsnövekedésű – 4 mm-t meghaladó évgyűrű –fa vizsgált felületére merőlegesek az évgyűrűk. Ekkor lehetséges, hogy csak késői pásztába csavarjuk a facsavart. Ez az eset szerencsére nagyon ritka.



4. ábra: Csavarállóság vizsgáló berendezés



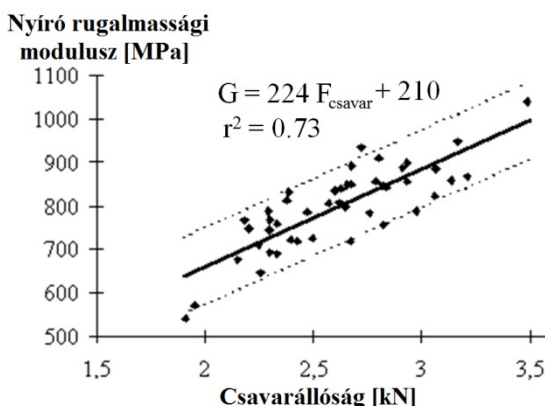
5. ábra: A menethosszban módosított facsavar.

Mivel a csavarnak csak az első 18 mm-es szakasza dolgozik, ezért lehetőség kínálkozik arra, hogy mélységi információt szerezzünk a gerendából (5. ábra). A felszínhez közeli részek esetenként bontottak lehetnek.

A csavarállóság alkalmas a faanyag sűrűségének +/- 70 kg/m³ szórással történő becslésére is a következő formula segítségével:

$$\rho \left[\frac{kg}{m^3} \right] = 0,24 F_{csavar} [kN] + 122$$

A csavar kitépésekor a meghatározó igénybevétel a nyírás. Éppen ezért jó összefüggést tapasztaltunk a nyíró rugalmassági modulusz és a csavarállóság között. Ezt mutatja be a 6. ábra.



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

A sűrűség és a csavarállóság között a korrelációs együttható 0,79, míg a nyíró rugalmassági modulusz és a csavarállóság között 0,86! A csavarállóság mérése kielégítő pontosságot biztosít, de a vizsgálat viszonylag időigényes, 1-2 percbe telik. Gyorsabban juthatunk eredményre, valamivel nagyobb szórások mellett a szeg behatolásos vizsgálattal a Pilodyn nevű eszközzel.

Szeg behatolásos vizsgálat

A szeg behatolásos módszert eredetileg fa telefonoszlopok gyors vizsgálatára fejlesztették ki Svájcban, jelenleg Japánban gyártják. Felhúzott rugó állandó energiával lök a fába egy szeget. A behatolás mélység a faanyag minőségétől, sűrűségétől függ. Az eszközt Pilodyn-nak nevezték el.



7. ábra: A Pilodyn használat közben, felhúzott állapotban

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

$$\rho \left[\frac{kg}{m^3} \right] = -45.5 \cdot b [mm] + 1073$$

ahol b a szeg behatolási mélysége mm-ben.

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

Mintavételes vizsgálat

Ha a faanyag mechanikai tulajdonságainak laboratóriumi vizsgálatára kerül sor, akkor a faszerkezetből mintát kell venni. Természetes módon ezek a vizsgálatok csak nagy keresztmetszetű tartók esetében használhatók, ahol a mintavétel nem okoz számottevő szilárdság csökkenést. Különféle mintavevő berendezések állnak rendelkezésre:

- Presler fúró, ami néhány mm átmérőjű pálcát vesz ki és 10-13 mm átmérőjű furatot hagy maga után.
- Dugó fúró, ami 30-40 mm átmérőjű lyukat hagy maga után.

A mintákat laboratóriumban anyagvizsgáló gépen elemzik. Tipikusan ilyen módon lehet megvizsgálni a ragasztott tartók ragasztási rétegének szilárdságát. A módszer lassú és költséges, ezért ritkán alkalmazott.

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 $E = \rho V^2$ formula analógiájára szerkesztettük meg a

következő szilárdság becslő függvényt, ami a sűrűség helyett a csavarállóságot tartalmazza:

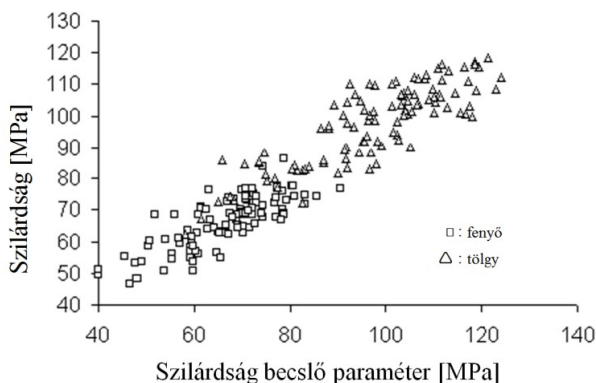
Fenyőkre: $\sigma_{becsült}[MPa] = 0,809 F_{csavar} V^2 + 27$

Lombos fára: $\sigma_{becsült}[MPa] = 1,258 F_{csavar} V^2 + 37$

ahol $\sigma_{becsült}$: a hajlító szilárdság becsült értéke MPa-ban

F_{csavar} : csavarállósági erő kN-ban

V: hangsebesség km/s-ban



8. ábra: A hajlító szilárdságbecsült értéke és a tényleges hajlító szilárdság kapcsolata

A két paraméterrel becsült hajlító szilárdság +/- 9 MPa hibával becsli a tényleges, anyagvizsgáló gépen meghatározott szilárdságot.

Az eddig bemutatott módszerekkel lehetőség nyílik faszerkezetek gerendáinak sűrűsége, rugalmassági modulusza és a hajlító szilárdság kellő pontosságú becslésére. Azonban ezek az értékek csak akkor alkalmazhatók a statikai

számításokban, ha bizonyítható, hogy a gerendában nincsen veszélyes hiba. A következőkben a hibahely feltárásával foglalkozunk.

Hibahely feltárásra irányuló vizsgálatok

Fúrásos vizsgálat 1.

A fúrás egy nagyon egyszerű, kisonrcsolásos formája a szerkezeti faanyagok belső vizsgálatának. Lényege, hogy 30 cm hosszú és 5 mm átmérőjű fúrószárat alkalmazunk, akkumulátoros fúróba illesztve a könnyebb kezelhetőség érdekében. Ezzel megfúrjuk a vizsgálandó faanyagot úgy, hogy 2-3 cm-enként kiemeljük a forgácsot. A forgács állapotából lehet következtetni a felszín alatti állapotr. A minősítést a 2. táblázat mutatja be.

2. táblázat: A fúrásos vizsgálat minősítése és az önkényesen választott jelölés rendszer

Minősítés	Forgács állapota	Jelölés
Gyenge	Nincs vagy por alakú forgács	0
Megfelelő	Széteső forgács	1
Kiváló	Összeálló forgács	2

A módszer előnye hogy gyors és olcsó, hisz csak egy fúrószárra és egy akkumulátoros fúróra van szükségünk. Hátránya, hogy csak a vizsgált pont minőségi információit kapjuk meg. Könnyen előfordulhat, hogy a fúrástól akár 4-5 cm-re súlyos belső hiba van a vizsgált szerkezeti elemben. Az ilyen nem kívánatos mellé fúrásokat kellő tapasztalattal és gondos vizuális vizsgálattal el lehet kerülni. Természetesen a fafödém

vizsgálatokor a hosszú fúróval nem szerencsés a helyiségek plafonjának véletlen átfúrása.

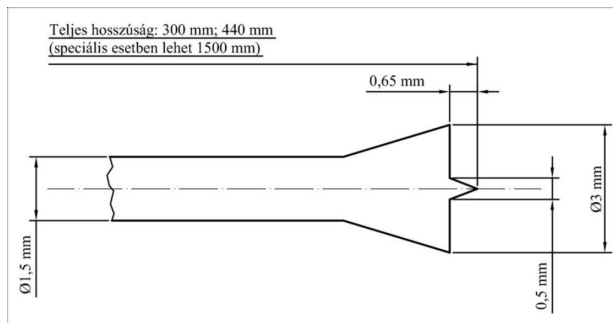
A fúrásos technika továbbfejlesztett és kevésbé roncsoló változata a Resistograph nevű műszer.

Fúrásos vizsgálat 2.

A Resistograph illetve az IML-rezi berendezések fúráson alapuló mérőműszerek faanyagok belső vizsgálatára. Állandó előtolás mellett mérik és regisztrálják a fúrás közben felvett teljesítményt. A speciális fúrószár átmérője 3 mm, alakját a 9. 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 (RINNTECH, 2013), lásd a 9. ábrát. A 3 mm-es átmérő lehetővé teszi faszerkezetek és kötéseik vizsgálatát, azok észrevehető sérülése nélkül. (RINN, 1994) Meg kell jegyeznünk, hogy a korábban említett egyszerű fúrásos technikánál is érezhetjük a kezünkkel ezt az ellenállást.



9. ábra: Resistográf fúrógép munka közben.



10. ábra: A Resistograph fúrójának speciális hegye

A nyomtató egy hosszú szalagon rajzolja meg a diagramot $M=1:1$, az-az valós méretarányban. A mérés nagyon

gyors, 1-2 perc alatt elvégezhető egy fúrás. Mivel egyértelmű és könnyen értékelhető a kapott ábra, lehetővé teszi a szerkezeteknél az azonnali hiba felismerést és a hiba helyének meghatározását.



11. ábra: A Resistograph egy mért eredménye számítógépes szerkesztőben (ALMSTED, 2013)

A fúrószár hossza alap esetben 30 vagy 44 cm, de rendelhető 1,5 m hosszú is. A mérési pontosság is választható (1mm és 0,1 mm). A PowerPack nevű egység akár 500 mérést is képes elmenteni, melyeket a mérés utáni jegyzőkönyv elkészítésekor, a hozzátartozó szoftverrel kielemezhetünk a számítógépen, 11. ábra, (RINNTECH, 2013). A vízszintes tengelyen a távolság, függőleges tengelyen a felvett teljesítmény látható. Ahol a fúró kis teljesítmény felvétellel haladt előre, ott a faanyag korhadt vagy üreges. Ezeket a szakaszokat pirossal jelölték. Az egészséges szakasz sárga. A berendezés kiválóan alkalmas csomópontok vizsgálatára.

Nedvesség mérés

A nedvesség tartalom mérésére ma már több féle készülék áll rendelkezésre. A faanyag hőmérsékletének kiválasztása és a fafaj beállítása után elektromos ellenállást vagy dielektromos állandót mérnek. Egyes eszközökkel a faanyag nedvesség tartalmán kívül a léghőmérsékletet, 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 3130/1975 szabvány szerinti meghatározása a következő:

$$u [\%] = \frac{m_n - m_0}{m_0} 100$$

ahol: m_n : a nedves faanyag tömege kg-ban

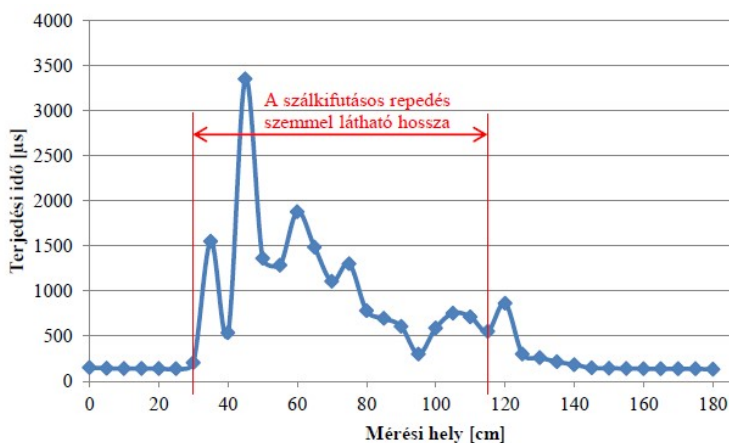
m_0 : az abszolút száraz faanyag tömege kg-ban

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 faszerkezet vizsgálatban a nedvességtartalom ismerete azért fontos, hogy a gombák és rovarok „működésének” feltételeit ellenőrizni tudjuk. Száraz faanyagnak korlátozott számú kártevője van, míg a nedves faanyagban gyorsan megjelennek a gomba- és rovarkárosítók.

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 hosszú repedés. Ezt a technikát már több mint 20 éve sikerrel alkalmazzák élő fák rejtett korhadásinak feltárásában. Példánkban szálfifutásos repedés esetét látjuk a 12. ábrán.



12. ábra: A rostra merőleges hangsebesség alakulása hibahely környezetében

Az ép fában a rostra merőleges hangsebesség 1800-2000 m/s. Ez jelentősen lecsökken a rostkifutásos repedés környezetében és ezért nő meg a mért terjedési idő.

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

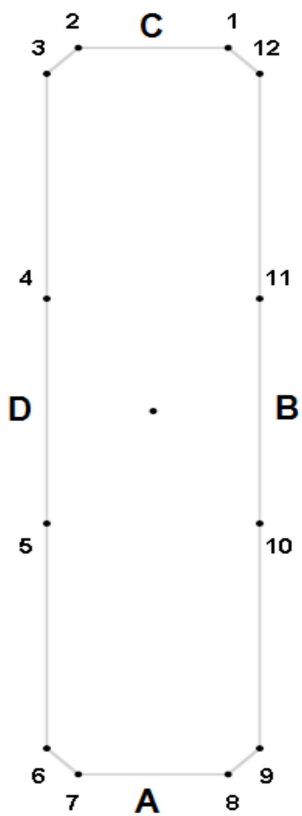
között, amit egy repedés választ el egymástól, akkor legyen a mért repedési idő: T_{rep} Ismételjük meg a mérést azonos érzékelő távolság esetén, de repedés ne legyen közöttük. Jelöljük ezt az időt $T_{ép}$ -nek. Ez esetben a repedés mélység (R) a következő formulával határozható meg:

$$R = \frac{S}{2} \sqrt{\left(\frac{T_{rep}}{T_{ép}}\right)^2 - 1}$$

A fenti formulával rendszeresen nagyobb repedés mélységek jönnek ki, mint amit lemez behatolásos módszerrel kapunk.

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, rétegelt ragasztott tartók vizsgálatánál van jelentősége. Egy ilyen példát látunk a 13. ábrán 12 db érzékelő elhelyezésével a rostokra merőleges síkban.

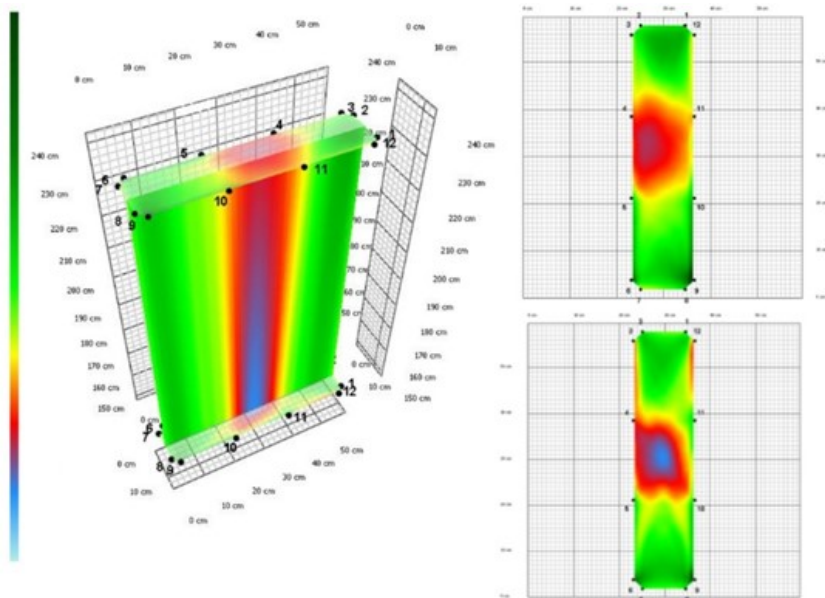


13. ábra: Kilátó torony lábának akusztikus tomográfus vizsgálata. A 12 érzékelő elhelyezkedését mutatja a jobb oldali ábra

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 a Fakopp 3D berendezés a vizsgált keresztmetszet hangsebesség térképét. Ezt látjuk a 14. 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.



14. ábra: Akusztikus tomográfus vizsgálat eredménye. A jobb oldalon levő 2 db 2 dimenzós képből származik a 3 dimenziós kép.

A mérés jelentősége, hogy rejtett korhadások is kideríthetők. A korhadások miatt a sérült keresztmetszetben a nyomószilárdság növekedése számolható.

Az akusztikus tomográfia viszonylag időigényes, egy vizsgálatot 2 fő 20-30 perc alatt végez el.

Impedancia tomográfia

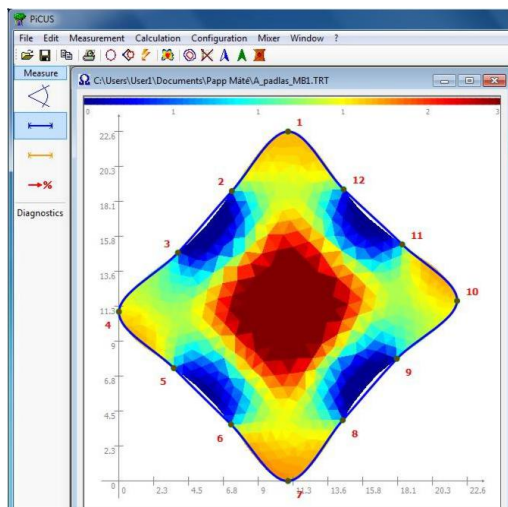
Az elektromos impedancia tomográfia (az angolból rövidítve EIT, de hívják még elektromos ellenállás tomográfiának is) egy vizsgálati módszer, melyet eredetileg a geofizika területére fejlesztettek ki. Elektromos áram és a földre vagy furatokba elhelyezett elektródák segítségével lehet meghatározni a földalatti vizet az általa okozott ellenállási anomáliák mérésével. Az EIT módszert faanyagra először 1998-ban alkalmazta két geofizikus, Just és Jacobs. A PiCUS: Treetonic® Tomográf a faanyagok vizsgálatára az EIT működési elveit használja. A mért ellenállást faanyagnál befolyásolhatják a faanyag víztartalma, a sejt szerkezete, az ionkoncentrációja és egyéb fa specifikus anyagi tényezők.

Az elektromos ellenállás és ennek a fordítottja, a vezetőképesség, olyan fizikai tulajdonságok, melyek lehetővé teszik, hogy a vizsgált faanyag szerkezetére vonatkozó következtetéseket vonhassunk le. Az elektromos ellenállás tomográfiát arra használják, hogy meghatározzák a térbeli ellenállás eloszlását roncsolásmentes módon. Az alacsony ellenállás utalhat megnövekedett nedvességtartalomra, míg a magas ellenállás belső lyukas vagy gyengébb, esetleg korhadt szerkezetre.



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

A mérés közben a vizsgálandó anyag felületére körben elektródákat (szegeket) ütünk a fába (15). 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 16. ábrán.



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

A mérés végén a PC felrajzolja az általunk beállított geometriai alakzatot, majd színskálás felosztás segítségével ábrázolja a vizsgált síkban az elektromos ellenállás eloszlását. (15).

A mérés közben használt elektródák száma meghatározza a megbízhatóságot és a felbontást. Minél pontosabbak és sűrűbbek a méréseink, annál jobban képesek vagyunk meghatározni az ellenállás eloszlást. A pontos mérés

érdekében, a kezdeti adatokhoz minél pontosabban meg kell határoznunk a vizsgálandó test keresztmetszetének alakját (legyen az lábon álló fa vagy faszerkezeti elem). Az EI Tomográf generált színskálájához tartozó értékek Ω m-ben értendők. EIT méréshez bármilyen elektróda használható, de a gyártó elektromosan horganyzott szegeket ajánl. (PICUS T. I. I., 2010)

A műszert eredetileg lábon álló fákhoz fejlesztették ki, de feldolgozott faanyagnál is tökéletesen alkalmazható, így a szerkezeti faanyagoknál is.

Összefoglalás

A faszerkezetek vizsgálatával foglalkozó szakemberek számos roncsolásos és kis roncsolásos vizsgálat közül válogathatnak, az aktuális feladat minél precízebb elvégzése érdekében. Ezek a technikák, ezek a mérő eszközök rendelkezésre állnak a Nyugat-magyarországi Egyetem, Simonyi Károly Kar, Bódig József roncsolásmentes faanyagvizsgáló laboratóriumában. Bármikor szívesen állunk rendelkezésre bemutatókkal illetve veszünk részt közös munkákban, tel: 0699518233.

Bízunk abban, hogy a műszeres vizsgálatok segítségével, idős, nagy értékű faszerkezetek menthetők meg és ezzel együtt az élet és vagyon védelem semmit sem sérül.

Hivatkozások

BUCUR V., DIVÓS F. és mts. (2010), Delamination in Wood, Wood Products and Wood-Based Composites, Springer, ISBN-13: 978-9048195497

DIVÓS, F. (1999): Fahibák, bélkorhadás feltárása a hangsebesség mérésével, In: DIVÓS, F. (szerk.): Roncsolásmentes faanyagvizsgálat, Mérési útmutató, Soproni Egyetem, 1-5. old.

DIVÓS, F. (2003): A fűrészárúk gépi szilárdsági osztályozásának módszerei és gyakorlata, In: NÉMETH L. (szerk.): Faanyagok és faanyagvédelem az építőiparban, AGROINFORM Kiadó, ISBN 963 502 795 8, 88-102. old.

NÉMETH, L. (2003): A faanyagvédelem tervezése, In: NÉMETH L. (szerk.): Faanyagok és faanyagvédelem az építőiparban, AGROINFORM Kiadó, ISBN 963 502 795 8, 165-202. old.

PICUS T. I. I. (2010): PiCUS Tree Inspection Instruments, PiCUS : Treetric® Electrical Impedance Tomograph for trees, argus electronic gmbh, Germany, February 2010, 3-6. old.

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.

MSZ EN 338: 2003: Szerkezeti fa. Szilárdsági osztályok

ALMSTEAD (2013): A RESISTOGRAPH® műszer DECOM szoftverének képernyő képe,
<<http://www.almstead.com/images/resistograph2.jpg>> (Megtekintve: 2013.12.13., 01:51)

Resistograph_Sheet_E_Web_RIN270308.pdf> (Megtekintve: 2013.12.13., 01:25)

RINNTECH (2013): RESISTOGRAPH® Series 4 Drill resistance measuring unit, brossúra,
<<http://www.rinntech.de/images/stories/PDF/>>