

Nyugat-magyarországi Egyetem
Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi és Művészeti Kar
Faalapú Termékek és Technológiák Intézet

Faszerkezetek állapotvizsgálata

Készítette: Major Balázs
faipari mérnökjelölt

Konzulens: Prof. Dr. Divós Ferenc
egyetemi tanár

Tóth Árpád
okleveles faipari mérnök

Sopron

2013



NYUGAT-MAGYARORSZÁGI EGYETEM
Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi és
Művészeti Kar
H-9400 Sopron, Bajcsy-Zs. u. 4. Pf.: 132.
Tel: +36 (99) 518-101 Fax: +36 (99) 518-259

NYILATKOZAT

Alulírott (név) **Major Balázs** (neptun kód: **U4I3OS**) jelen nyilatkozat aláírásával kijelentem, hogy a **Faszerkezetek állapotvizsgálata** című (megfelelő rész aláhúzendő)

**házi dolgozat;
diplomadolgozat;
szakdolgozat/diplomamunka**

(a továbbiakban: dolgozat) **önálló munkám**, a dolgozat készítése során betartottam a szerzői jogról szóló 1999. évi LXXVI. tv. szabályait, különösen a hivatkozások és idézések tekintetében.

Hivatkozások és idézések szabályai:

Az 1999. évi LXXVI. tv. a szerzői jogról 34. § (1) és 36. § (1) első két mondata.

Kijelentem továbbá, hogy a dolgozat készítése során az önálló munka kitétel tekintetében a konzulens, illetve a feladatot kiadó oktatót **nem tévesztettem meg.**

Jelen nyilatkozat aláírásával tudomásul veszem, hogy amennyiben bizonyítható, hogy a dolgozatot **nem magam készítettem**, vagy a dolgozattal kapcsolatban szerzői jogsértés ténye merül fel, a Nyugat-magyarországi Egyetem **megtagadja a dolgozat befogadását és ellenem fegyelmi eljárást indíthat.**

A dolgozat befogadásának megtagadása és a fegyelmi eljárás indítása nem érinti a szerzői jogsértés miatti egyéb (polgári jogi, szabálysértési jogi, büntetőjogi) jogkövetkezményeket.

Sopron, 2014.

hallgató

A kutatás a TÁMOP-4.2.4.A/2-11/1-2012-0001 azonosító számú Nemzeti Kiválóság Program – Hazai hallgatói, illetve kutatói személyi támogatást biztosító rendszer kidolgozása és működtetése konvergencia program című kiemelt projekt keretében zajlott. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

1. Tartalomjegyzék

1.	Tartalomjegyzék	iv
2.	Bevezetés	vi
3.	A faszerkezetek állapotvizsgálatának gyakorlata és a jogosultság rendszere.....	1
3.1	A szerkezetek felmérésének menete	3
3.2	A felmérést követő további tevékenységek.....	4
3.3	A jogosultsági rendszer háttere ma Magyarországon	5
3.4	Faanyagvédelmi szakértés külföldön	6
4.	A faanyagvizsgálati módszerek és eszközök	6
4.1	Szerszámok, eszközök, felszerelések	6
4.2	Szemrevételezés, vizuális vizsgálat	7
4.3	Műszeres vizsgálatok	8
4.3.1	FAKOPP	8
4.3.2	Impedancia tomográfia	12
4.3.3	Fúrás.....	14
4.3.4	Resistograph.....	14
4.3.5	Csavarállóság-mérő	16
4.3.6	Pilodyn	19
4.3.7	Nedvességtartalom/ páratartalom/ hőmérséklet mérése	19
5.	A témával kapcsolatosan a TÁMOP 4.2.4.A/2-11-1-2012-0001 azonosító számú „Nemzeti Kiválóság Program” keretein belül elvégzett kísérletek	21
5.1	Terhelt tartó feszültségmeghatározása fél-roncsolásos vizsgálattal.....	21
5.2	Hiba meghatározása nagyfrekvenciás ultrahang segítségével	24
5.3	A söntölés mint mérési hiba vizsgálata.....	26
5.4	Tartó lamelláinak vizsgálata szilárdsági osztályozással	28
5.5	Rendkívüli szerkezet-felülvizsgálat egy szigetszentmiklósi templomban.....	29
6.	Útmutató a faszerkezetek állapotvizsgálatához	32
6.1	Előkészületek	32
6.2	Helyszínre érkezés	32
6.3	Szemrevételezés	33
6.4	További vizsgálatok egyszerű eszközökkel	33
6.5	Műszeres vizsgálatok	34
6.6	Egyéb vizsgálati tudnivalók	35

6.7	Dokumentálás és értékelés	36
7.	Az útmutató alapján bemutató vizsgálat végzése az NYME Bajcsy-Zsilinszky úti A épület tető- és fűdém szerkezetének egy részletén	38
7.1	A faszerkezet leírása	38
7.2	A vizsgálati eredmények kiértékelése	41
8.	Összefoglalás	46
9.	Abstract	47
10.	Ábrajegyzék	48
11.	Irodalomjegyzék	50
12.	Köszönetnyilvánítás	52
13.	Mellékletek	i
13.1	Ábrák	i
13.2	Táblázatok	iv
13.3	Rajzok	xvii

2. Bevezetés

A faszerkezetek állapotvizsgálata, felmérése egy bonyolult és építkezéseknél vagy felújításoknál megkövetelt folyamat. A faipari vagy a faanyagvédelmi szakértő mint mesterség elsajátításához nagyon sokrétű tudásra van szükség. Ismerni kell egy bizonyos szinten a szerkezetek szilárdságtani és statikai tulajdonságait, a károsító rovar- és gombafajokat és egyéb épületfizikai tulajdonságokat. Ezenkívül nincs két egyforma épület vagy két egyformán károsodott terület, minden vizsgálat más és más.

Ma már létezik a szerkezetek vizsgálatára sok módszer, közöttük régiek és újak is. Az új metodikák általában műszerek segítségével kivitelezhetőek. A használati helyet és módokat tekintve legtöbbjük roncsolásmentes faanyagvizsgálati módszerekre alapszik. Jelenleg is a magyar faipari vagy faanyagvédelmi szakértő képesítés kamarai jogosultsági rendszerének változása folyik. Szakmai irodalma sem teljes, nem találunk benne egy olyan mérési utasítást vagy leírást, mely a kezdők számára is megfelelően leírná, hogyan kell a szerkezetvizsgálatokat elvégezni.

Diplomamunkám segíteni szeretne e tudományterület jobb megismerésében, koncentrálva egy ilyen vizsgálati utasítás létrehozására a jelenlegi gyakorlat, a jogosultsági háttér és a módszerek figyelembevételével egy adott épületrészen.

3. A faszervezetek állapotvizsgálatának gyakorlata és a jogosultság rendszere

Az állapotvizsgálatoknál meg kell különböztetnünk a mechanikai vagy statikusi szerkezetvizsgálatot és a faanyagvédelmi szempontból végzett vizsgálatot. Mind a kettőhöz különböző képesítés szükséges, de a vizsgálatok bizonyos területein egymáshoz kapcsolódnak.

A faanyagvédelmi szakértői képesítés a kezdetektől fogva vizsgához kötött tevékenység volt. Régen a vizsgabizottság a soproni egyetemen kapott székhelyet, tagjai faanyagvédelemmel, jogi ismeretekkel és építészeti ismeretekkel foglalkozó személyek voltak. Természetesen vizsgakövetelmény volt az alapvető tetőszerkezetek felismerése, a legtöbb gomba- és rovarfaj, valamint a faanyagvédelmi eljárások felismerése és ismertetése. Ebben az időben még a Mezőgazdasági és Élelmezésügyi Minisztérium (MÉM) adta ki a szakértői jogosultságot, általában 5 évre, de voltak, akik határozatlan időre kaptak ilyen képesítést. Később ez a tevékenységi kör átkerült a Magyar Mérnöki Kamarához (MMK), és máig ott is van.

Manapság nagyon sokszor olyan faszervezetek vizsgálatával foglalkoznak a szakértők, melyek 70-80 évnél idősebbek és felújítás előtt állnak. Ekkor a felújításért felelős tervező, tervezőiroda, építész, egyház, önkormányzat, iskola vagy magánszemély stb. faanyagvédelmi felülvizsgálatot kér az adott szerkezetre. Az ekkor megállapított adatok szükségesek a további szilárdságtani számítások és egyben a szerkezet felújításának megtervezésében. A felkért faanyagvédelmi szakértő ezt követően a helyszínre megy, és szaktudása alapján ellenőrzi a szerkezetet.

A faanyagvédelmi szakértők feladata egy adott állapot, helyzet megítélése, véleményezése. Lehet ilyen eset, amikor új építményről van szó, és a faanyagot rosszul építik vagy tervezik be, ekkor javaslatot tehet a megfelelő beépítésre. Más esetekben a már meglévő építmények veszélyforrásainak feltárása, a károsodások megelőzésére vagy megszüntetésére javaslattétel. Sajnos manapság ezt a szaktudást már csak a baj bekövetkezése után szokták igénybe venni. (NÉMETH, 2003) Szakértőként lehet csak faanyagvédelmi vizsgálatokat végezni! Ez egy jogosultság! Ma Magyarországon ehhez több feltételt kell teljesítenie a szakértőjelöltnek:

- Magyar Mérnöki Kamarai (MMK) tagság,
- melyhez elvárás, hogy a jelölt Okleveles faipari mérnök vagy MSc.-s Faipari mérnök végzettséggel rendelkezzen,

- ha az illető a fentiek közül egyik képesítéssel sem rendelkezik, lehet még szerkesztőtervező mérnök, biológus, építész vagy vegyész, azzal a feltétellel, ha az NYME Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi és Művészeti Karán az előírt tantárgyakat teljesítette és a hozzájuk tartozó kredit mennyiséget megszerezte,
- valamint bizonyíthatóan legalább 5 év gyakorlattal kell rendelkeznie a faanyagvédelem bármely területén (pl.: faszerkezetek tervezése, építése, kivitelezése; faanyagvédelemmel is foglalkozó, faalapanyagot gyártó üzemnél eltöltött időszak; favédőszer-kereskedelemben, forgalmazásban, viszonteladásban eltöltött időszak; faanyagvédelmi szakértő mellett segédként eltöltött időszak stb.),

Ekkor beadja a jelentkezési kérelmét a jelölt a Magyar Mérnöki Kamarához, mely bekerül az Erdőmérnöki, Faipari és Agrárműszaki Tagozaton belül a Faipari szakosztályhoz. A tagozat minősítő bizottsága a megszerzett információk alapján javaslatot tesz a kamarának, hogy ezt a jogosultságot a jelölt megkaphassa. Az újonnan jogosultságot szerzett személy bekerül a kamara névjegyzékébe, amiért éves tagdíjat kell fizetni. A jelenlegi rendelkezések szerint az első évben az újonnan jogosultságot szerzettek úgy végezhetnek faanyagvédelmi szakértői tevékenységet, hogy egy régebbi, tehát többéves tapasztalattal rendelkező kamarai tag ellenőrzi, ellenjegyzzi a jegyzőkönyvüket. Egyrészt ez a kamara jó hírnevét hivatott megtartani, másrészt nagyon sok ilyen felülvizsgálaton akár emberéletek is múlhatnak a későbbiekben.

Fontos megérteni azt, hogy ezeknek a felméréseknek az eredményét statikusok, tartószerkezet-tervezők használják fel a felújítási utasítások elkészítéséhez és a teljes szerkezet szilárdságának újra meghatározásához. Mivel ezt ritkán szokták felülbírálni a tervezők, ezért a szakértő felelőssége, hogy valós adatokat közöljön. Sok esetben a tervezők úgy bírálják felül a szakértő által készített jegyzőkönyvet, hogy teljesen új tetőt készíttetnek. Általában ez olyan esetekben nem lehetséges, amikor műemlék jellegű építményről beszélünk, és a műemlék-védelemi hatóság ragaszkodik a lehető legtöbb, eredeti alkatrész megtartásához. A műemlék jellegű épületek szerkezeteinek megtartása cél, viszont a tető burkolatát mindig cserélik. A tető fedése szokott általában meghibásodni, ebből kifolyólag az azt tartó lécvázat, tetődeszkázatot is le kell cserélni. Ilyen esetekben kéri az ezt tartó szerkezet átvizsgálását is.

3.1 A szerkezetek felmérésének menete

Nagyon változó lehet a felmérés vagy vizsgálat folyamata, ahogy nincs két egyforma épület, tető vagy faszerkezet, úgy nem létezik két egyforma károsítás sem. Az alábbiakban egy összefoglalást láthatunk egy általános vizsgálat jelenlegi lefolyásáról.

A tervezőiroda elkészíti a fedélszéki tervet az adott előzetes felmérés alapján, melyet a szakértő használatára bocsájtanak. Ha nem olyan szerkezet a vizsgálat tárgya, hogy fedélszéki tervet kapnak hozzá, utánajárnak, vannak-e megfelelő tervrajzok az adott épületről pl. levéltárban, műszaki igazgatóságokon stb. Ha ilyen régi típusú épülettel van dolguk, és találunk is hozzá eredeti terveket, rajzokat, akkor szükség van az összes keresztmetszeti rajzra, fedélszéki alaprajzra (szarufakiosztás felülnézetben) és esetleg földémalaprajzra fafödém esetén. Arra számítani kell, hogy ezek a rajzok nagyméretűek is lehetnek, így kezelésük, digitalizálásuk nehézkes. Egyéb esetben a vizsgálatot végző személynek kell elkészíteni a megfelelő mennyiségű rajzot az adott szerkezetről. Ezeknek nem szükséges, hogy építészeti színvonalúak legyenek, a lényeg, hogy a szerkezeti elemek beazonosíthatóak legyenek a segítségükkel.

A szakértőnek az adott rajzokon be kell jelölnie, el kell neveznie a szerkezet elemeit (pl. fogópár, fiókkötő gerenda, szarufa stb.). A helyszínrre kiérkezésekor a szakértőnek először külső szemrevételezéssel meg kell néznie a szerkezet formáját, látható-e rajta valamilyen deformáció, valamilyen irányba történt elmozdulás, észrevesz-e estleges lyukat vagy lyukakat a tető fedésén. A szerkezethez megérkezvén, célszerű a rajzok alapján a fő szaruállásokat krétával bejelölnie. Egyrészt ez a saját tájékozódását, másrészt a javítást végző ács vagy egyéb munkás tájékozódását is segítheti, műemléki épületeknél kis papírokon az egyes szerkezeti elemek számozása sem kizárt.

A vizsgálat folyamán megvizsgálja az összes szerkezeti elemet akár szemrevételezéssel, akár műszerekkel. A vizsgálatok során felhasznált szerszámok és műszerek a későbbi fejezetekben részletesebben kerülnek kifejtésre. A vizsgálat közben a rajzokon lévő darabjelölések felhasználásával listát készít, így a darabok a lista alapján a helyszínen is beazonosíthatóak lesznek. Ebben az alábbi mért vagy megállapított adatokat kell felsorolni:

- le kell írni, hogy mi a hiba,
- milyen a keresztmetszet-csökkenés az adott elemen,
- összességében olyan adatokat kell megadni, amelyekkel a statikus számolni tud,

- milyen rovar- vagy gombakárosító károsított az adott szerkezeti elemben vagy szerkezetben,
- szerinte mit kell csinálni a szerkezeti elemmel vagy a szerkezettel,
- mit kell csinálni a faszerkezettel vagy elemmel, hogy az egészségi állapota fennmaradjon,
- milyen megerősítést javasol a szilárdság növelésére
- milyen faanyagvédelmi megelőző és/vagy megszüntető védőkezelést alkalmazzanak a szerkezet javíthatóságának érdekében?

A szakértő a munka befejeztével jegyzőkönyvet készít, ebben összefoglalja a helyszínen tapasztaltakat, majd ehhez csatolja a fent említett listát. Az iratot aláírásával hitelesíti, és egyben felelősséget vállal az abban leírtakra. Ezt a dokumentumot több példányban átnyújtja a szerkezettervező mérnöknek. Ezzel együtt a dokumentum bekerül a rendszerbe, a műemlékvédelmi hatósághoz, ez egy kiindulási alap lesz a mérnöknek, mint ahogy az fentebb is írva lett.

Meg kell még említenünk, hogy ez nem veszélytelen munka, egyrészt magas helyeken kellhet dolgozni (pl. padlásokon történő munka; létrahasználat; esetleg beszakadhat a korhadt födém alattunk), a szűk vagy alacsony helyeken fejszerűséget is lehet szerezni. Akár egészségre káros anyagokkal is találkozhatunk (pl. gombák; csapadék által a faanyagokból kimosott vegyszerek) és egyéb élőlényekkel, melyek veszélyesek lehetnek az emberre (pl. egerek; patkányok; denevérek; vadgalambok és ezek tetemei; különböző rovarok, ezek között kiemelkednek a darazsak (1. *melléklet*) és a méhek). A szakértők szerint a legveszélyesebb helyeknek a templomtornyok mondhatók szűk feljáróik és nagy magasságuk miatt.

3.2 A felmérést követő további tevékenységek

A további mozzanatokat már nem a szakértő végzi, de érdemes említést tennünk róluk. A szerkezettervező mérnök készíti el a felújítási terveket és az ahhoz tartozó tervezői költségbecslést. Ez magában foglalja a beépítendő anyagokat, azok keresztmetszeteit, az azokhoz tartozó munkadíjakat és anyagköltségeket külön, valamint azok faanyagvédelmi kezelésének az utasításait, javaslatait. Ez a lista összességében egy komplex költségterv is egyben. Készül egy árazott és egy árazatlan költségbecslés is. Mivel az ilyen felújítások pályáztatás útján találnak kivitelezőre, az adott kivitelezőnek

az árazatlan költségvetéseket küldik el pályázatok benyújtásához, aki a saját árait illeszti a lista megfelelő helyeire, így automatikusan egy árajánlat jön létre.

A felújítás folyamán a tervező mérnöknek általában további, a pályázatba foglalt kötelezettsége van, melyet tervellenőrzésnek hívunk. Ez azért kell, hogy megbizonyosodjon arról, hogy az általa előírt utasításokat, feladatokat végrehajtották-e? Ezt főleg értékes, pl. műemlék jellegű épületeknél kérhetik. Lehetséges előírás még a kivitelezési és műszaki ellenőrzés. Műszaki ellenőr alkalmazása a közbeszerzéses megbízásoknál kötelező, az ő feladata a teljes építkezés folyamatos ellenőrzése. Nagyobb, komolyabb beruházásoknál, építkezéseknél kérhetnek faanyagvédelmi műszaki vezetőt, akinek az a feladata, ellenőrizze, hogy a faanyagvédelmi kezelések, utasítások, megoldások szakszerűen lettek-e alkalmazva. Általában ez az ember az szokott lenni, aki előzetesen a szakértést elvégezte a szerkezeten. Ezeknek a műszaki ellenőröknek is folyamatosan építési naplót kell vezetniük.

Az építési napló egy olyan hiteles dokumentum, amelyet az építőipari kivitelezési tevékenység megkezdésétől annak befejezéséig kell vezetni, hatósági vagy bírósági eljárásoknál felhasználható. Kötelező időrendben tartalmaznia a szerződés tárgy szerinti építőipari kivitelezési tevékenység és az építési-szerelési munkák adatit, továbbá a munka menetére, megfelelőségére és dokumentumaira vonatkozó vagy az elszámoláshoz szükséges jelentős tényeket. (EVOSZ, 2013) *Az építőipari kivitelezési tevékenységről szóló 191/2009 (IX.15.) kormányrendelet* szerint az építési naplót a 2013. október 1-je után induló építőipari kivitelezések esetében elektronikusan kell vezetni. (E-ÉPÍTÉS, 2013) Az építési napló vezetését köteles elvégezni a fővállalkozó, a megrendelő vállalkozó és az alvállalkozó kivitelező. Speciális esetben a naplóvezetés átadása lehetséges a felelős műszaki vezető számára is, ilyen esetben a naplóba ezt be kell jegyezni, és a műszaki vezető megbízását csatolni kell. (EVOSZ, 2013)

3.3 A jogosultsági rendszer háttere ma Magyarországon

Egy javaslatot dolgoztak ki a 266/2013. (VII. 11.) Korm. rendelet az építésügyi és az építésüggyel összefüggő szakmagyakorlási tevékenységekről szóló rendelet módosításához. Ezzel a kiegészítéssel az okleveles faipari mérnökök és az MSc.-s faipari mérnökök alanyi jogon jogosultak lennének az építőipari szakterülethez és azon belül a Faipari Szakosztályhoz tartozó faanyagvédelmi szakértői, faszerkezeti szakértői jogosultságra. Ezen kívül kaphatnának kamarai jogosultságokat mint felelős műszaki

vezető, építési műszaki ellenőr és energetikai tanúsító. Feltétele ezeknek jogi vizsgák letétele a kamaránál, mivel a kamara a szakmai tudást már az előképzettségéből adódóan feltételezi.

3.4 Faanyagvédelmi szakértés külföldön

Ausztriában nincs külön ilyen képesítés, de van egy intézmény, a Holzforschung Austria (HFA), mely főleg nagyobb volumenű építkezéseknél foglalkozik ilyen tevékenységgel is. Egyéb esetben a szerkezettervező mérnökök is rendelkeznek olyan jogosultsággal, ismerettel, hogy nekik nem kell faanyagvédelmi szakértőt felkérniük. Az a pár Ausztriában található faanyagvédelmi szakértő, aki tevékenykedik, Németországban végzett.

Németországban létezik olyan, hogy Faanyagvédelmi és Építőipari Szövetség, mivel rengeteg faanyag alapú épület található Németországban, itt sincs külön faanyagvédelmi szakértő, ugyanúgy az építészek is értenek hozzá megfelelő mértékben.

4. A faanyagvizsgálati módszerek és eszközök

A mai faszerkezet-vizsgálati folyamatok még mindig sok, a régi szakemberektől átvett módszert tartalmazznak. Természetesen ez az 5 éves kötelező szakmai gyakorlat pozitív eredménye, hisz a jelölt eltanulhatja, elsajátíthatja a gyakorlott szakértőtől a kisebb fogásokat, praktikákat. A vizsgálatok egy része viszont műszerekkel történik.

4.1 Szerszámok, eszközök, felszerelések

Mint ahogy fentebb is említettük ezek a munkahelyszínek különös odafigyelést igényelnek veszélyesség szempontjából. Biztonságunk érdekében érdemes a következő védőfelszerelésekkel készülni: munkavédelmi *sisak* a fejsérülés elkerülése végett, valamint szélsőséges esetben valamilyen *maszk* a száj elé (ennek lehet oka pl. nagy mennyiségű por vagy lefóliázatlan gyapotszigetelésből szálló, lebegő, karcinogén szemcsék). *Munkaruházat* szükséges, mivel ezek a helyek általában porosak, piszkosak.

A legtöbb ilyen hely sötét, és lehet, hogy világítás sincs, ilyenkor érdemes *fejlámpát* vagy *zseblámpát* vinni. Ha nem állnak rendelkezésre rajzok, szükség lehet *mérőszalagra* és esetleg *lézeres távolságmérőre* a szerkezet alapadatainak, keresztmetszeteinek, fesztávolságának meghatározásához. A lézeres távolságmérő előnye, hogy nagyon gyorsan lehet vele távolságadatokat megkapni ahhoz, hogy

előzetes tervrajzot készítsünk az épületről. Ezt a legcélszerűbb Auto CAD vagy valamilyen szerkezettervező program (SEMA, Dietrich's) segítségével létrehozni. *Acél mérőléc* is szükséges lehet repedésmélység-vizsgálathoz, mely minél vékonyabb és minél sűrűbb beosztású legyen a pontosabb leolvashatóság érdekében, rosszabb esetben egy *mérőszalagdarab* is megteszi. *Kisbalta*, mellyel a vélt korhadt gerendát megvághatjuk. Hasonló célra szoktak használni valamilyen szűrő szerszámot, pl. *árat*. Érdemes *krétával* megjelölni a fő szaruállásokat a jobb tájékozódás érdekében. Ha nem tudjuk pontosan eldönteni, hogy az épület melyik irányba néz, de a felméréshez szükségünk van a tájolására, használhatunk *iránytűt* is. Utolsónak említhetjük a gumi vagy fém fejű *kalapácsokat* és *seprűt* vagy *kefét* a szerkezet megtisztításához.

Kivételes esetekben lehet szükség emelőkosaras járműre is, mellyel biztonságosan meg tudjuk közelíteni szerkezetet (2. *melléklet*, 3. *melléklet*). Más szélsőséges esetben lehet, hogy beülő hámos és vele együtt alpinista technikát kell alkalmaznunk. Nagy-Britanniában alkalmazhatnak kutyákat is gombák keresésére.

4.2 Szemrevételezés, vizuális vizsgálat

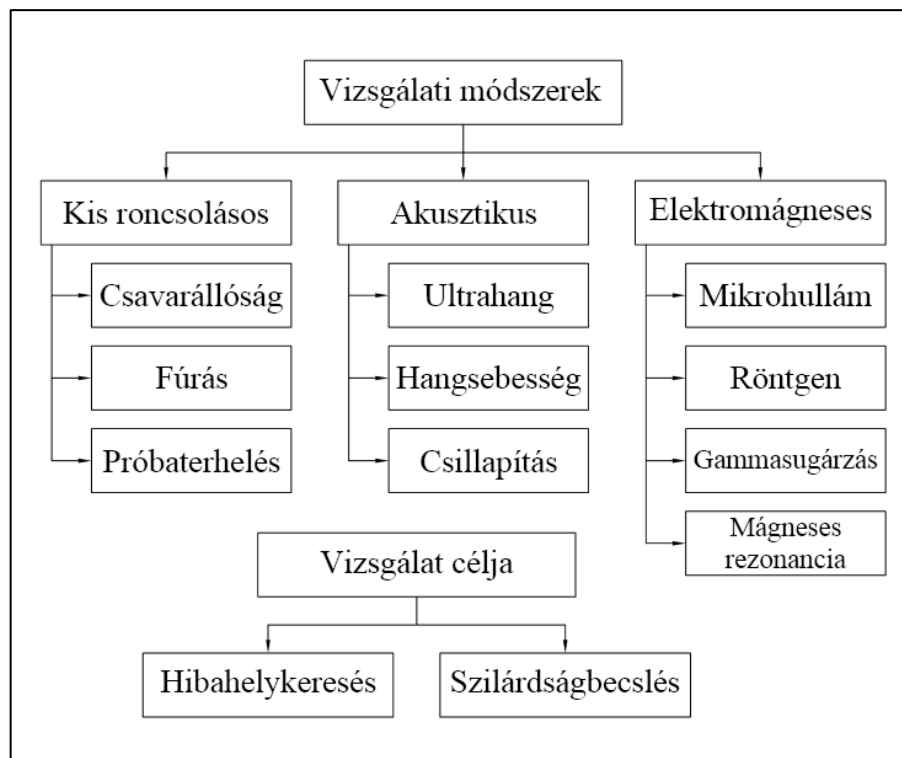
A szemrevételezést, mint kifejezést, sokkal tágabb értelemben kell venni annál, mint amit láthatunk. Kezdhetünk persze annak a leírásával, amit látunk, ez a módszer egyidős lehet a faanyag felhasználásával. A beázások és az abból adódó gombakárosítók felszíni megjelenése vagy termőteste, a rovarrágások, rágcsálék vagy liszt kúpjai általában azonnal szembetűnőek. Idetartozik maga a szerkezet felmérése is, ha nem rendelkezünk megfelelő rajzokkal. Továbbá a szerkezethez megérkezve rögtön használhatjuk az orrunkat is, hisz bizonyos gomba vagy rovarfajoknak saját illata, szaga lehet. Ezek mellett bizonyos esetekben használhatjuk még a kezünket, a tapintással érzékelni lehet a nedves vagy túl puha szerkezeti részeket.

És végül említést kell tennünk a fülről, mely már nagyon régóta a mesterek segítségére van a faanyagok osztályozásánál, kiválasztásánál. DIVÓS F. (2003) említést tesz egy Pinezits Máté nevű ácsmesterről, aki egy családi ház tetőszerkezetéhez megvásárolt faanyagot szekercéjének az anyag bütüjére való koppintásával minősítette megfelelőnek. Ezt a módszert mi is használhatjuk, egy kalapács segítségével a vizsgálni kívánt szerkezeti elemeket végigütogethetjük. A rosszabb minőségű vagy épp belülről üreges faanyag mélyebb hangot fog kiadni, míg a jobb minőségű magasabbat. A helyszínen nagy csend esetén, ha szerencsénk van, még a rovarrágás is hallható.

Furcsának tűnhet, de egyes helyeken ízleléssel is vizsgálják a salétromsav azonosítására.

4.3 Műszeres vizsgálatok

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 a 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 (DIVÓS, 2003)

Továbbiakban az egyes mérőműszerek bemutatása következik, besorolva őket az 1. ábra valamely csoportjába.

4.3.1 FAKOPP

A kopogtatással történő vizsgálatoknak nagy hagyománya van, gondoljunk csak a harkályra, ami így keresi meg a rovarokat a fában vagy az orvosra, aki kopogtatással vizsgál. (DIVÓS, 1999) Ez az eszköz is a kopogtatás segítségével használható. Ebből

kifolyólag megállapíthatjuk, hogy ezek hangsebességmérésen alapuló műszerek. Az érzékelők formája és száma szerint 4 fajtát lehet megkülönböztetni.

Az első 2 db háromszög alakú tappanccsal rendelkezik (itt az adó magától küld egy-egy jelet másodpercenként). Ez a műszer (2. ábra) inkább gyalult és/ vagy csiszolt lapokkal rendelkező gerendákhoz vagy rétegelt-ragasztott (RR) tartógerendákhoz ajánlott. Általános méréskor mindig meghatározunk egy fix távolságot a tappancsok között, így összehasonlítható eredményeket kapunk. A tappancsok használatánál valamilyen kapcsoló anyagot használnak, általában ultrahanggél, a pontosabb eredmények érdekében. Ugyanígy működik a henger alakú érzékelő is (2. ábra).



2. ábra: A 2 tappancsos típus használata RR tartó mérése közben és a henger alakú mérőszondák (a szerző felvételei)

A harmadik 2 db tüskével rendelkezik, melyek közül az egyik az adó, a másik a vevő (az adóra kell kalapáccsal rákoppintani).



3. ábra: A két beütő tüskés FAKOPP használata az NYME „A” épület egyik tetőszerkezeti elemének vizsgálata közben (a szerző felvétele)

A negyedik az akusztikus tomográf, mely 12 vagy annál több érzékelővel rendelkezik (4. ábra) (ennek az érzékelőit is kalapáccsal kell megkoppintani). A beütő tüskéket fém vagy gumi fejű kalapáccsal kell beütni a vizsgálandó anyagba.



4. ábra: A 12 szondás FAKOPP koppintása (bal oldal) és összeállítása (jobb oldal) (a szerző felvételei)

A 2 érzékelős műszer és az akusztikus tomográf között az a különbség, hogy míg a kétszondással hosszirányú terjedési időt mérhetünk, addig a másikkal teljes keresztmetszeti képet kaphatunk a vizsgált elemről számítógépes feldolgozással (4. melléklet). Mind a 3 esetben hangterjedési időt mér a műszer μs -ban.

Az egyszerű 2 szondás mérés esetén az alább következő kiértékelő számításokat végezhetjük el a rugalmassági modulus és a becsült hajlítószilárdság meghatározására. Először a hang terjedési sebességét számoljuk ki:

$$v_{hang} = \frac{1000 \cdot D}{i - 6,1}; \left[\frac{m}{s} \right]$$

[1]

ahol:

v_{hang} – a hang terjedési sebessége a fában $\frac{m}{s}$ -ban

D – a piezoelektromos érzékelők közötti távolság mm-ben

i – a FAKOPP Ultrasonic Timerrel mért terjedési idő μs –ban

A kapott eredményt felhasználva, a dinamikus hajlító rugalmassági modulus is kiszámítható:

$$E = \frac{\rho \cdot v_{hang}^2}{10^9}; [GPa] \quad [2]$$

ahol:

E – hajlító rugalmassági modulus GPa-ban

v_{hang} – a hangterjedési sebessége a fában $\frac{m}{s}$ –ban

ρ – a vizsgált faanyag sűrűsége $\frac{kg}{m^3}$ –ben

(BUDÓ, 1997)

Ahhoz, hogy statikus rugalmassági modulusot kapjunk a [2] egyenletet meg kell szorozni 0,92-vel. A kapott értéket osztályozhatjuk vagy értékelhetjük az MSZ EN 338: 2003 alapján (18. melléklet).

A tappancsok használatával, közvetlenül a repedések mellett, repedésmélység is mérhető. Ennek számítása:

$$L = 0,5 \cdot \sqrt{V^2 \cdot (T_c - T_i)^2 + 2 \cdot V \cdot (T_c - T_i) \cdot D}; [mm] \quad [3]$$

ahol:

L – Repedés mélysége mm-ben

T_c – terjedési idő repedésnél μs –ban

T_i – terjedési idő a referenciamérésnél (ép anyagnál) μs –ban

D – a piezoelektromos érzékelők közötti távolság mm-ben

V – a p-hullám (longitudinális hullám) sebessége rostokra merőlegesen referenciamérésnél (ép anyagban) $\frac{km}{s}$ –ban.

(BUCUR V., DIVÓS F. és mts, 2011)

4.3.2 Impedancia tomográfia

Az elektromos impedancia tomográfia (az angolból rövidítve EIT, de hívják még elektromos ellenállás tomográfiának is) egy vizsgálati módszer, melyet eredetileg 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 faszpecifikus anyagi tényezők.

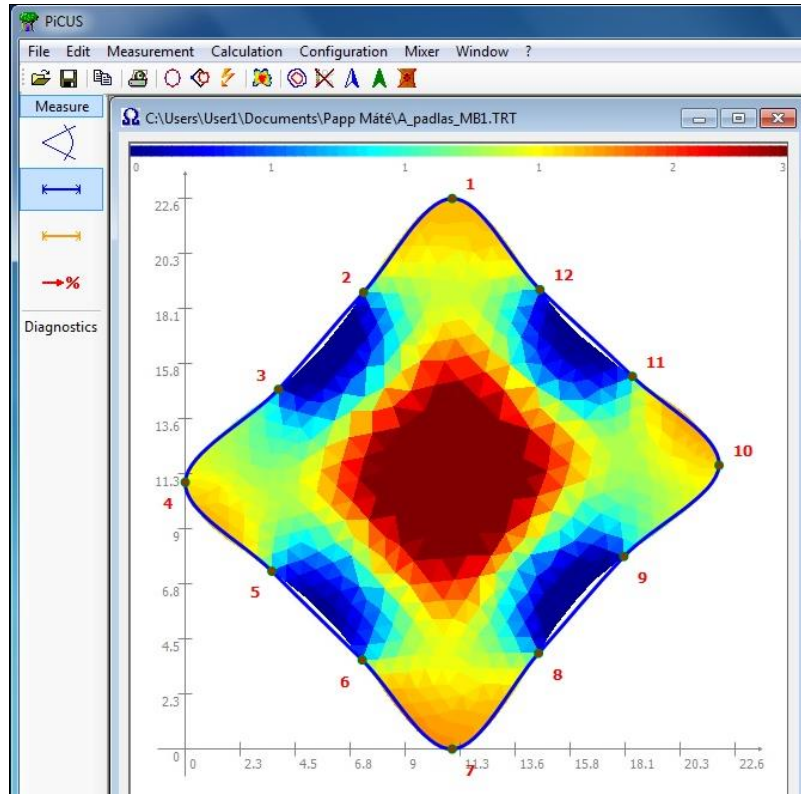
A PiCUS Sonic Tomográf megmutatja, hogyan terjed a hanghullám a faanyagban. Megméri a hang terjedési sebességét, amit a rugalmassági modulus (MOE) és a faanyag sűrűsége közötti kapcsolat határoz meg. Mivel mind a kettő jó kapcsolatban áll a faanyag hangzásával, így a hangsebesség mérésével jól ki lehet mutatni a faanyagban lévő belső problémákat.

Az elektromos ellenállás és ennek a fordítottja, a vezetőképesség, olyan fizikai tulajdonságok, melyek lehetővé teszik, hogy a vizsgált faanyag szerkezetéről megállapításokat 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.



5. ábra: Az impedancia tomográf központi vevő egysége a rákötött elektródákkal (bal oldal), az egy síkban a gerendába beütött szegek és a rájuk csatlakoztatott elektródák (jobb oldal) (a szerző felvételei)

A mérés közben a vizsgálandó anyag felületére, körben, pontszerű elektródákat (szegeket) teszünk (5. ábra). Az áram két ilyen elektródán keresztül folyik be a mérendő testbe. A kapott elektromos mező függ az ellenállás eloszlásától, valamint a potenciál változását párban méri a két elektróda.



6. ábra: Az impedancia tomográf számítógépes szoftverének kezelő felülete négyszög keresztmetszetű gerenda mérésekor

A mérés végén a PC felrajzolja az általunk beállított geometriát, majd ezt szétbontja részekre, melyekben a konstans ellenállást jelöli. Ismétlődő érték alakalmával az értékeket később megváltoztatja, és egy mérési ciklust szimulál. Amint a szimulált értékek megfelelnek a megfigyelt értékeknek, a modellt ábrázolja színskálás felosztás segítségével (6. ábra).

A mérés közben használt elektróda 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 keresztmetszetét (legyen az lábön álló fa vagy szerkezeti elem). Az EI Tomográf generált színskálájához tartozó értékek Ω m-ben értendők. EIT méréshez bármilyen elektróda használható, de a gyártó

elektromosan horganyzott szegeket ajánl, mert azok megfelelnek mind a hang vagy szónikus, mind az elektromos impedanciamérések végzéséhez. (PÍCUS T. I. I., 2010)

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

4.3.3 Fúrás

A fúrás egy nagyon egyszerű, kisoncsolásos formája a szerkezeti faanyagok 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 állapotra. A minősítéshez az 1. táblázat ad megfelelő segítséget.

1. táblázat: A fúrásos vizsgálat minősítése és az önkényesen választott jelölés rendszer (DIVÓS, 2003)

Minősítés:	Forgács állaga:	Jelölés:
Gyenge-beteg	Nincs, vagy por alakú forgács	0
Megfelelő	Széteső, de egészséges 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 elembe. Valamint fafödém vizsgálatokor a hosszú fúróval nem szerencsés a helyiségek plafonjának véletlen átfúrása.

A fúrásos technika továbbfejlesztett és kevésbé roncsoló változata a Resistograph nevű műszer. (DIVÓS, 2003)

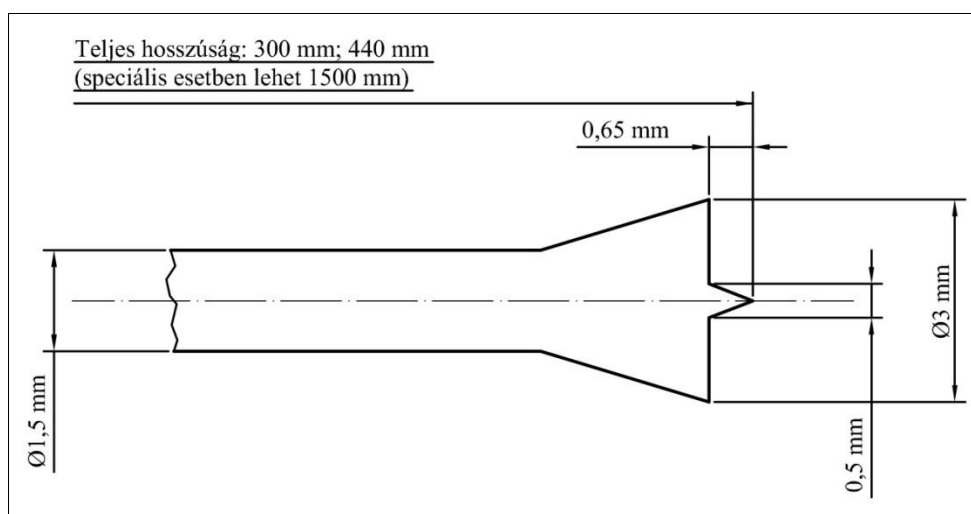
4.3.4 Resistograph

A Resistograph egy fúrásos alapú mérőműszer faanyagok vizsgálatára. A legújabb fejlesztés akkumulátoros kialakítású, és vezeték nélküli kapcsolatban van a nyomtató egységgel, mely azonnal, már a fúrás közben is diagramos formában nyomtatja ki a mért eredményeket. (RINNTech, 2013) Azon az elven működik, hogy a műszer a fúrás alatt folyamatosan méri a 3 mm átmérőjű, speciális fúrószár (8. ábra) behatolással szembeni ellenállását, mely érték kapcsolatban van a behatolási

mélységgel. A 3 mm-es átmérő lehetővé teszi faszerkezetek és kötéseik vizsgálatát azok észrevehető sérülése nélkül. (RINN, 1994) Meg kell jegyeznünk, hogy a fentebb említett normál fúrásos technikánál is érezhetjük a kezünkkel ezt az ellenállást.

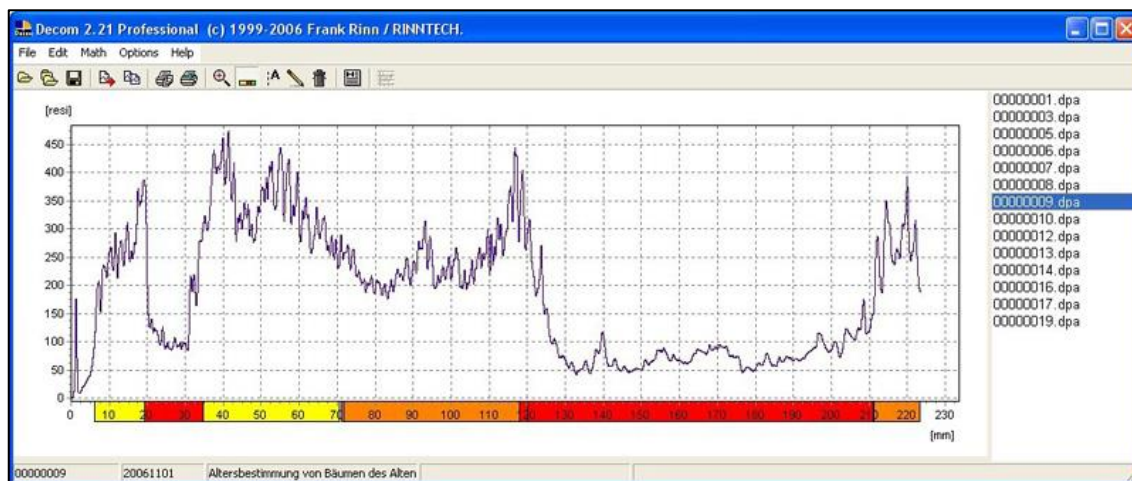


7. ábra: A Resistograph használata a soproni erdészeti múzeum székoszlopán
(a szerző felvétele)



8. ábra: A Resistograph fúrójának speciális hegye
(Divós, 2003)

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



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

A fúrószár hossza alapesetben 30 vagy 44 cm, de rendelhető 1,5 m hosszú is. A mérési pontosság is választható (0,1 és 0,01 mm). A PowerPack nevű egység akár 500 mérést is képes elmenteni, melyeket a mérés utáni jegyzőkönyv elkészítésekor a hozzá tartozó szoftverrel kielemezhetünk a számítógépen (9. ábra). (RINNTECH, 2013)

4.3.5 Csavarállóság-mérő

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 kifejlesztettek egy speciális műszert, ennek tesztelése során meghatároztak egy 5%-os kvantilishez tartozó egyenes. Ennek az egyenesnek az egyenletét felhasználva, annak a valószínűsége, hogy kisebb hajlítószilárdságot határozzunk meg, 5%.

A hajlítószilárdság becslő egyenesének egyenlete a következő:

$$\sigma_{hajlító} = 36,7 \cdot F_{csavarállóság} - 5,3; [MPa]$$

[4]

ahol:

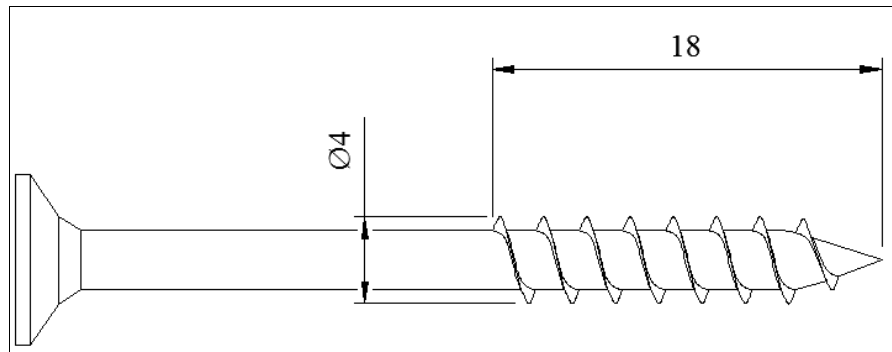
$\sigma_{hajlító}$ – a hajlító szilárdság MPa-ban

$F_{csavarállóság}$ – a csavarállóság-mérő által mért legnagyobb erő kN-ban

A helyszíni vizsgálatokhoz kifejlesztett műszer a 10. ábrán látható. A műszer beállítható úgy, hogy a kijelzőn mindig a kihúzás során ébredő legnagyobb erőt láthassuk. A csavarorsót manuálisan működtetve tudjuk a speciális kialakítású csavart (11. ábra) kihúzni. Működés közben egy beépített Wheatstone-hídba kapcsolt nyúlásmérő bélyeg változását méri a műszer. (DIVÓS, 2003)



10. ábra: Csavarállóság mérése, a kijelzőn a mért legnagyobb érték, 1060 N-os kihúzással szembeni ellenállás és a megfogó fej
(a szerző felvétele)



11. ábra: Speciális kialakítású csavar, melynek csak 18 mm-es a menethossza, hogy mélyebbre behajtva is csak 18 mm-en fogjon a fában

A fentebb említett szabvány előírja az előfúrást, a 2. táblázat szerint érdemes a furatokat elkészíteni, ha szükségesnek ítéljük meg. Mérésekkel bebizonyították, hogy nincs jelentős különbség előfúrással és anélkül kihúzott csavarok esetében. Bizonyos esetekben (pl. ha a vizsgálandó faanyag kemény lombos) érdemes előfúrni és/ vagy nagyobb átmérőjű csavart használni (nehéz lehet behajtani a csavart, vagy kihúzáskor leszakadhat a csavar feje).

2. táblázat: A 4 mm-es facsavarhoz ajánlott átmérők előfúráshoz, a faanyag sűrűsége alapján (DIVÓS, 2003)

Faanyag sűrűsége [kg/m ³]:	Ajánlott furatátmérő [mm]:
$x > 600$	2
$600 < x < 700$	3
$700 < x$	3,5

A csavarállóság-mérő felhasználható a sűrűség mérésére is, ekkor az alábbi képletet kell alkalmaznunk:

$$\rho_{fa} = F_{csavarállóság} \cdot 0,24 + 122; \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

[5]

ahol:

$F_{csavarállóság}$ – a csavarállóság-mérő által mért legnagyobb erő N-ban

ρ_{fa} – a vizsgált faanyag sűrűsége $\frac{kg}{m^3}$ -ben

A mérési hibák elkerülése érdekében a mérést nem szabad göcsös vagy repedt faanyagrészen elvégezni, mert ez a többi mért adathoz képest mérési hibát okoz.

4.3.6 Pilodyn



**12. ábra: A Pilodyn használat közben, felhúzott állapotban
(a szerző felvétele)**

A japán gyártmányú Pilodyn műszer segítségével sűrűség mérhető. Az eszköz egy meghatározott átmérőjű fém pálcát, egy adott távolságról, meghatározott erővel üt bele a vizsgálandó anyagba (ebben az esetben fába). A leolvasható adat a benyomódási mélység mm-ben 0,5 mm pontossáig. A kapott mélységekből a következő (tapasztalati) képlettel számolva adható meg a sűrűség:

$$\rho = -45,5 \cdot m + 1073; \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

[6]

ahol:

ρ – a vizsgált faanyag sűrűsége $\frac{kg}{m^3}$ -ben

m – a benyomódási mélység mm-ben

A kapott érték szórása $\pm 80 \frac{kg}{m^3}$.

A rugalmassági modulus számításához ez a sűrűség jól beilleszthető a [2] képletbe.

4.3.7 Nedvességtartalom/ páratartalom/ hőmérséklet mérése

A nedvességtartalom mérésére ma már nagyon sok típusú készüléket lehet használni. Az egyszerűbb szerkezetek a mérési hőmérséklet és a fafaj beállítása után

vagy ellenálláson alapuló vagy dielektromos állandón alapuló mérést végeznek. A komolyabb műszerekhez ezen felül különböző, kiegészítő „mérőfejek” is rendelhetők. Azokkal lehet mérni magát a faanyag nedvességét, léghőmérsékletet, légnedvességet. Hasznos lehet szerkezetek felméréséhez az a kiegészítő, mellyel a falszerkezet nedvességtartalmát is megmérhetjük. Minden mérést gyorsan és precízen elvégeznek, párhuzamosan működhet együtt több mérőfej is.

A mai mérnöki gyakorlatban a nedvességtartalom megadása nettó nedvességtartalmi formában történik. A nedvességtartalom ISO 3130/1975 szabvány szerinti meghatározása a következő:

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

[7]

ahol:

m_n – a nedves faanyag tömege kg-ban

m_0 – az abszolút száraz faanyag tömege kg-ban

m_v – a faanyagban található víz/ nedvesség tömege kg-ban

(MOLNÁR, 2004)

Ez azt jelenti, hogy a faanyagban lévő vizet viszonyítjuk a száraz faanyaghoz. Alap esetben ugyanezt az értéket írják ki a nedvességmérők is.

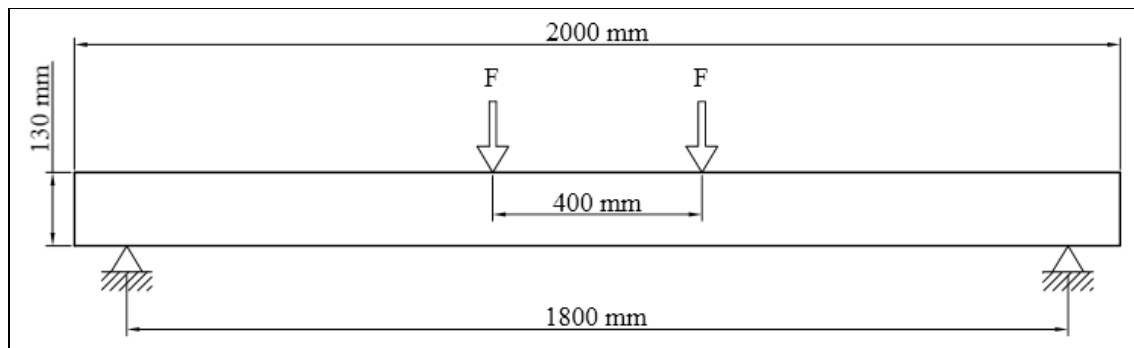
5. A témával kapcsolatosan a TÁMOP 4.2.4.A/2-11-1-2012-0001 azonosító számú „Nemzeti Kiválóság Program” keretein belül elvégzett kísérletek

A TÁMOP-4.2.4.A/2-11-1-2012-0001 azonosító számú Nemzeti Kiválóság Program keretei között több a szerkezetvizsgálatokhoz szorosan kapcsolódó kísérletet végeztünk, ezek ismertetésével foglalkozik ez a fejezet.

5.1 Terhelt tartó feszültségmeghatározása fél-roncsolásos vizsgálattal

Többször volna szükség szerkezetvizsgálatkor a vizsgálattal a szerkezet valós terhelésének meghatározására. Ezzel a kísérlettel egy terhelés alatt lévő rétegelt-ragasztott tartó feszültségi állapotát vizsgáltuk nyúlásmérő bélyeg segítségével.

A kísérleti tartó kialakításához előzetesen vásároltunk a soproni TAEG Zrt. telephelyén egy száraz fenyőgerendát. A gerenda két oldala egyenesre és simára lett gyalulva. Ahhoz, hogy a tartó minél jobban hasonlítson egy rétegelt-ragasztott tartóra, a nyúlásmérő bélyeg későbbi helyét felületkezeltük. Végül a négy pontos hajlítás felfekvési közei lettek bejelölve az alább látható módon (13. ábra).



13. ábra: A felfekvési pontok kiosztása és a terhelő erők ($F=4$ kN) (a szerző rajza)

Ezeket az előkészítő és megmunkáló műveleteket a FAIMEI Anyagvizsgáló Laboratórium előkészítő műhelyében hajtottuk végre.

A mérés elején HBM 60/120-LY11 típusú nyúlásmérő bélyeget ragasztottunk egy speciális ragasztóval a tartó lakkal felületkezelt majdani húzott oldalára oly módon, hogy a nyúlásmérő bélyeg az anyag húzófeszültségével egyenértékű megnyúlást biztosítson. A nyúlásmérő bélyeg a vezérlő számítógéppel fél-híd kapcsolatban volt összekötve. A bélyegre kötött vezeték a tartó oldalához rögzítettük, hogy az imbolygása vagy egyéb véletlen mozgása ne okozzon mérési hibát a bélyeg nagy

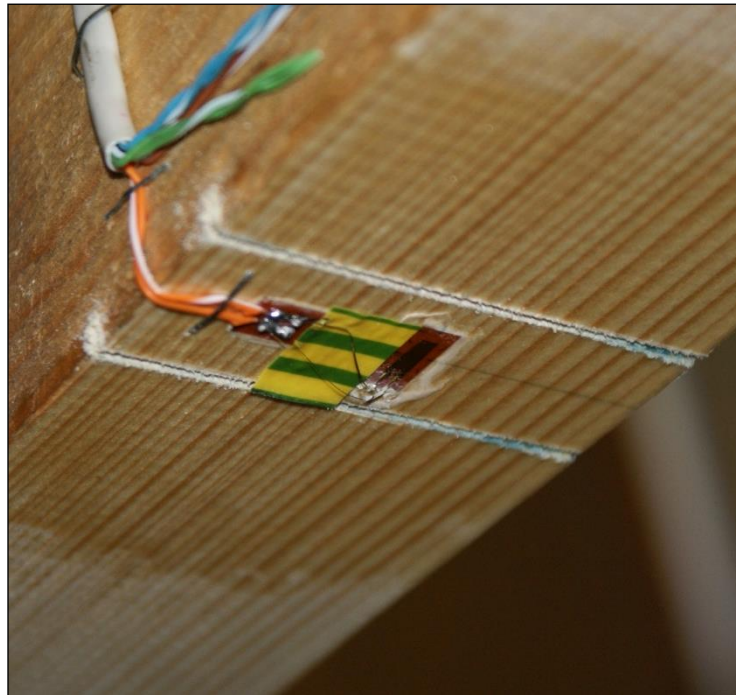
érzékenysége miatt. A kísérlet során az egyetemünk Műszaki Mechanikai és Tartószerkezetek Intézetének FPZ 10-es anyagvizsgáló gépével 4 pontos hajlítással terheltük 8 kN terheléssel a tartót (14. ábra).



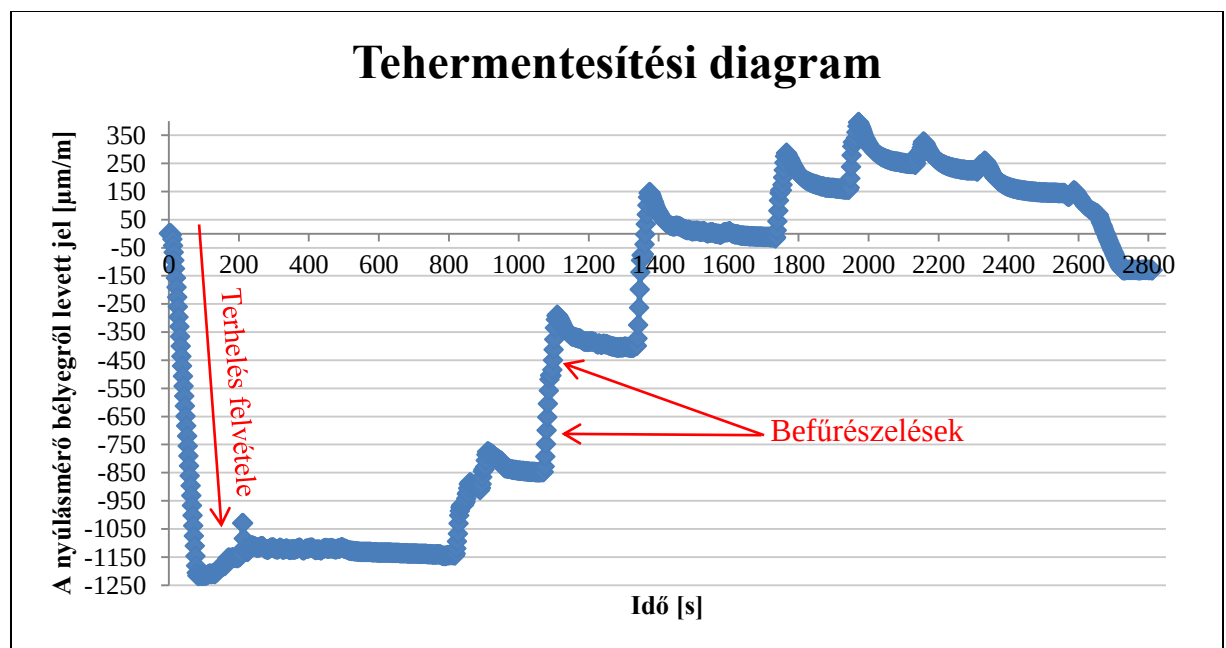
14. ábra: A kísérleti mérés összeállítása (a szerző felvétele)

A terhelt tartón ébredő feszültségből adódó ellenállás-változását mérte a műszer a nyúlásmérő bélyegnek $\mu\text{m}/\text{m}$ -ben, emellett a terhelés erejét (kN) és a lehajlást (mm) is. Kis visszarugózással, de tartotta a gép a folyamatos 8 kN körüli terhelést, a visszarugózást folyamatosan korrigáltuk a mérés alatt.

Vékony lapkás vasfűrészszel mm-enkénti bemetszéseket fűrészeltünk a gerenda húzott övében, a tartó közepére ragasztott nyúlásmérő bélyeg mindkét oldalán a középvonaltól 12-12 mm-re (15. ábra).



15. ábra: A 3-3 mm mély bevágások a közük, a felületkezelte felületre felragasztott nyúlásmérő bélyeggel (a szerző felvétele)



16. ábra: A feszültségmentesítés korrigált diagramja. Látszik a páronkénti befűrészelések utáni relaxáció, valamint a fűrészáru saját feszültségeinek relaxációja

Sikerült közel 1-1 mm-t befűrészelni mindkét oldalon, ezt vékony skálázott fém lappal mértük. Ezzel a két vágás közötti szakaszt tehermentesítettük, hisz ott a terhet is

hordozó megfeszített felszíni rostokat elvágtuk. Ez után a terhelést visszakorrigáltuk újra 8 kN körüli értékre. Ezt a folyamatot többször megismételtük.

A nyúlásmérő bélyeg egyfajta mérés közbeni kúszását tapasztaltuk, de lineáris voltából adódóan egyenletének meghatározásával kalibrálni lehetett a mért értékeket. A mérés több ezer adatából készített diagramon (16. ábra) látszanak az egyes befűrészelések tehermentesítő görbéi. Utólagosan megállapítottuk, hogy a befűrészelések után a faanyag az adott terhelésnél a két fűrészsér között relaxál, és ebből kifolyólag a már elméletileg tehermentesített szakasz is újra terhet vesz fel.

A mérés során a tehermentesüléssel nem csak a tartó terheléséből adódó feszültségek szűntek meg, hanem a fűrészáruban a faanyag növekedése és a felfűrészelés kapcsán keletkezett feszültségek is relaxálódtak. Ez látszik a diagramon, amikor a mért értékek 0 $\mu\text{m/m}$ fölötti értékeket mutattak. A kezdeti bevágásnál a feszültségrelaxáció kisebb volt, mint a többi érték, ami arra utal, hogy a vizsgált faanyagban kismértékű rostkifutás volt.

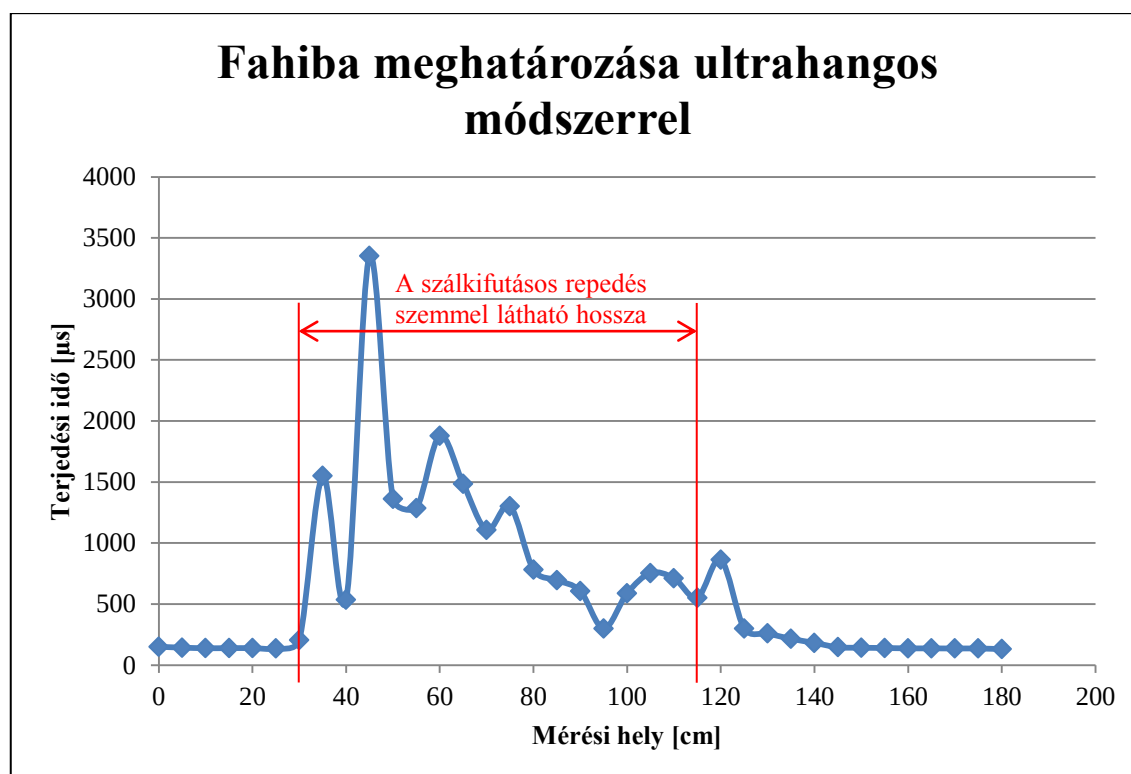
Az így kapott diagramon látszik, hogy a 10. befűrészelés, vagyis 1-1 10 mm mély vágás a bélyeggel vizsgált terület két oldalán már feszültségmentesítést eredményezett. Felmerül a kérdés, hogy egy valós tartónál egy 10 mm vágás a húzott övben megengedhető-e, gyakorlati mérésenként bevezethető-e? Az ilyenfajta vizsgálatoknál a tartó gyártójának a beleegyezése szükséges.

5.2 Hiba meghatározása nagyfrekvenciás ultrahang segítségével

A műszeres vizsgálatok gyakorlatában ez az egyik legelterjedtebb mérési módszer a hang terjedési sebességének mérése a faanyagban. A korábban már általam ismertetett FAKOPP műszerrel (4.3.1 fejezet) többféle mérést elvégezhetünk. Az általunk végrehajtott kísérletben nagyfrekvenciás ultrahang segítségével azt vizsgáltuk, hogy képesek vagyunk-e kimutatni egy gerenda szálfifutásos repedését.

A kísérlethez 2000 x 145 x 50 mm-es méretekkkel rendelkező lucfenyő (*Picea abies*) gerendát használtunk, melynek egyik oldalán szálfifutásból származó tönkremenetel során keletkezett repedés volt található. A próbatesten semmilyen megmunkáló vagy előkészítő műveletet nem hajtottunk végre, felülete szálkásan, „szőrösen” maradt, mintha egy régi típusú fedélszék hirtelen terhelés miatt tönkrement szerkezeti eleme lenne. A mérés kivitelezéséhez 5 cm-enként mérési pontokat vetünk fel 0-tól 180 cm-ig, melyek magukban foglalták a repedt szakaszt is (5. melléklet).

Ezt követően henger alakú érzékelőkkel (2. ábra) megmértük az egyes mérési pontokon a hang rostra merőleges terjedési sebességét. A tappancsok megfelelő felülettapadásához/ rezgésátadásához csatoló anyagot – közönséges ultrahang gél – alkalmaztunk. Egyéb szerkezeteknél pl. a rétegelt-ragasztott szerkezetek gyalult és felületkezelt felületeihez is szükség van csatoló anyagra, de itt a szálkás felület miatt ez különösképpen fontos volt.



17. ábra: Az ábrán jól látszanak a kiemelkedően magas hangterjedési idők, ezek a repedés helyét kirajzolják

A 17. ábra mért adatainál a kiugró értékek cm pontossággal kirajzolják a károsodás helyét hosszanti irányban. A 45 cm-nél mért 3353 µs azért olyan kimagasló, mert ott volt a legszélesebb a repedés. Jól felismerhető a repedés szélességének csökkenése a 60 cm-es mérési ponttól 160 cm-ig.

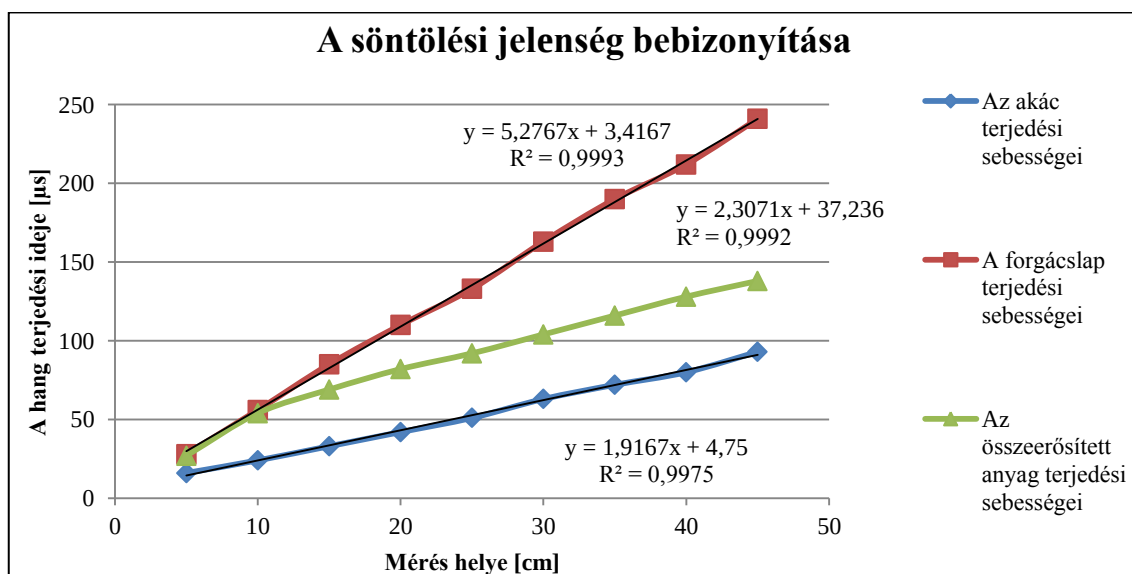
Megállapítható, hogy például rejtett fahibánál ugyanezt a módszert alkalmazva a fahiba helye meghatározható. Olyan helyen használható ez a módszer, ahol szemmel nem láthatjuk a szerkezeti elem hibáját, de egy ilyen méréssort lefolytatva a nem látható károsodást is felfedhetjük.

5.3 A söntölés mint mérési hiba vizsgálata

A roncsolásmentes faszerkezet-vizsgálatok egyik nagyon gyakran használt típusa vagy eszköze az ultrahanggal történő hangsebességmérés fában (4.3.1 fejezet). Ha ezt a módszert rétegelt-ragasztott tartók egyes lamelláiban alkalmazzuk, mérési hibát ejthetünk, ennek a neve söntölés. Feltételezésünk szerint ez akkor történhet meg, ha a vizsgált lamella rosszabb vezetési képességekkel rendelkezik (extrém esetben a tartó szerkezetén belül pl. korhadtt), mint a mellette lévő. Így a mérésakor nem a vizsgált lamella hangvezetési képességét tudjuk meg, hanem a mellette lévő jobb tulajdonságokkal rendelkező lamelláét.

MAJOR B. (2011) szakdolgozatában a hang terjedési irányának egy ideális esetet alapul véve, az irodalmi minimum és maximum hangterjedési sebességet felhasználva egy kalibrációs egyenest hoz létre az adott lamellaszélesség függvényében a helyes, maximális érzékelő távolság kiválasztásához. Ennek bizonyítására a következő kísérletet hajtottuk végre.

A hiba bebizonyítása csak egy nagyon extrém eset létrehozásakor volt sikeres. Egy jó minőségű akác (*Robinia pseudoacacia*) és egy faforgácslap elemet erősítettünk össze, egy rétegelt-ragasztott tartó két szomszédos lamelláját szimulálva. Először az elemekben a hang terjedési idejét külön mértük meg. A faforgácslap szerkezetéből adódóan nem rendelkezik folytonos rostokkal, hisz egyfajta darálékból épül fel, így a rajta mért idő jóval több volt, mint az Akácra. Összeerősítésük után 5 cm-enként vettünk fel a beütő szondás FAKOPP mérőműszernek mérési helyeket.

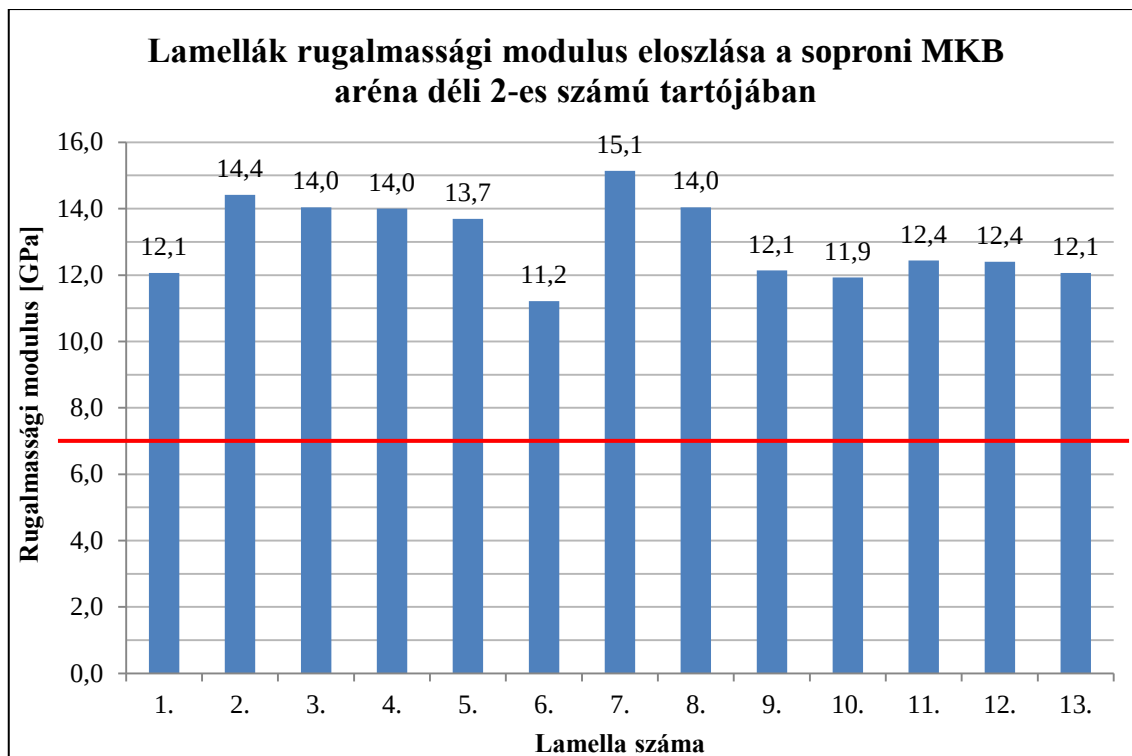


18. ábra: A söntölési jelenség bebizonyítása, zöld vonallal a forgácslap mérésekor a söntölés miatt kapott mérési hiba

A két anyag összeerősítése után már a 10 cm-es mérési távolságnál elkezdődött az a folyamat, amikor a forgácslap mérése közben a hangnak gyorsabb volt a hosszabb úton, az akác sűrűbb, jobban vezető szerkezetén belül terjednie. Ezt a jelenséget mutatja a 18. ábra zöld görbéjének törése. Azt állapíthatjuk meg, hogy a 10 cm-es mérési pontig nem vétettünk mérési hibát a forgácslap mérésekor. 10 cm felett a görbe új meredeksége megközelíti az akácfa meredekségét. Ez azt mutatja, hogy a jobb lamella (az akác) vezette a hangot, de hosszabb úton, mintha magában csak az akácban terjedt volna, mert a jeladótól a forgácslapból át kellett lépnie az akác anyagába és onnan vissza a forgácslapon keresztül az érzékelőbe. Ezzel kísérletileg sikerült igazolni az akusztikus söntölés jelenségét.

Az, hogy ilyen extrém körülményeket kellett létrehoznunk a söntölési jelenség előidézésére, azt jelenti, hogy a gyakorlatban egy tartó lamelláinak a vizsgálatokkor nagy fahibának, károsodásnak kell lennie a fában vagy egyéb, a hangterjedési időt módosító tényezőnek, hogy fals értéket mérhessünk. Mivel a gyakorlatban viszonylag rövid távolságokat alkalmazunk a mérőszondák vagy tappancsok között, így a söntölés nem fordulhat elő, ha mégis előfordul, ebből a mérésből megállapítható, hogy fahibával van dolgunk. A hiba biztos kizárására mégis ajánlott korlátoznunk az érzékelők maximális távolságát.

5.4 Tartó lamelláinak vizsgálata szilárdsági osztályozással



19. ábra: A déli 2-es tartólamelláinak rugalmassági modulus szerinti eloszlása, az MSZ EN 338: 2003 szabvány szerint szilárdsági osztályba sorolhatók a 7 GPa rugalmassági moduluszt elérő alapanyagok

Egy álló és működő szerkezet, a soproni MKB Aréna tartógerendája került vizsgálat alá. A lamellákon szilárdsági, besorolási vizsgálatot végeztünk. A FAKOPP műszer segítségével hangterjedési sebességet mértünk lamellánként (2. ábra) olyan módon, hogy a megmért lamellákra helyezett háromszög alakú FAKOPP tappancsok 34 cm távolságban voltak egymástól (így a söntölési hiba nem lépett fel). A minél jobb rezgésátvitel érdekében csatolóanyagot (ultrahanggél) alkalmaztunk.

Az MSZ EN 338: 2003 szabványt a szerkezeti használatú lombos és fenyő faanyagok szilárdsági osztályozására használják (az osztályozó táblázat a 18. mellékletben található). Segítségével a rugalmassági modulus alapján megállapítható, hogy a tartó legalacsonyabb szilárdságú lamellája is jobb tulajdonságokkal rendelkezik, mint a szabvány szerinti minimum követelmény (7 GPa).

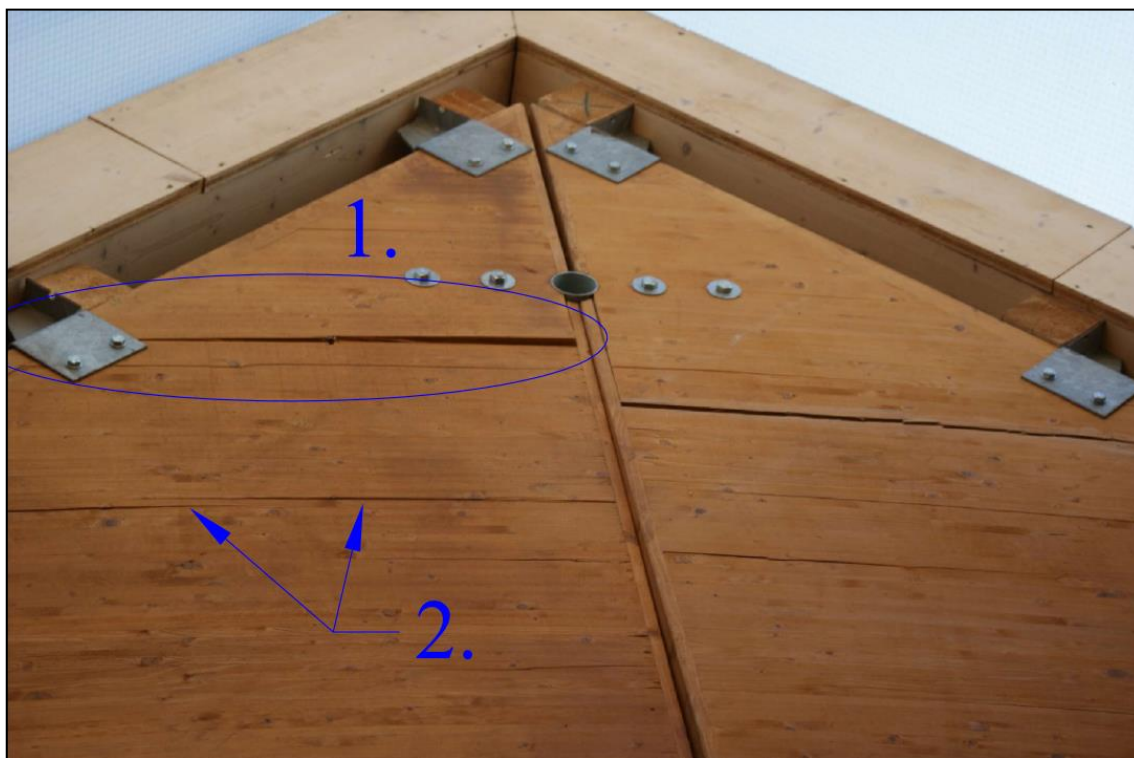
A tartó lamellái nem vettek részt mai korszerű szilárdság szerinti osztályozásban, a tartó nem tudatosan¹ lett ilyen szilárdságú alapanyagokból

¹ A tudatosság alatt itt azt értjük, hogy a jobb tulajdonságokkal rendelkező alapanyagot kellett volna a külső részekbe tenni, hisz ezeket éri a legnagyobb húzás és nyomás.

összeállítva. Viszont előnyére válik tartónak, hogy 11,2 GPa-nál nincs gyengébb lamella benne.

5.5 Rendkívüli szerkezet-felülvizsgálat egy szigetszentmiklósi templomban

2013. december 21-én Szigetszentmiklóson a Szent Erzsébet tér 1. alatti katolikus nagytemplom íves rétegelt-ragasztott tartószerkezetének rendkívüli felülvizsgálatánál jelen voltam mint megfigyelő. Ez a folyamat a mai gyakorlatban bevett vizuális vizsgálat volt, saját megállapításaim és tapasztalataim az alábbiak.

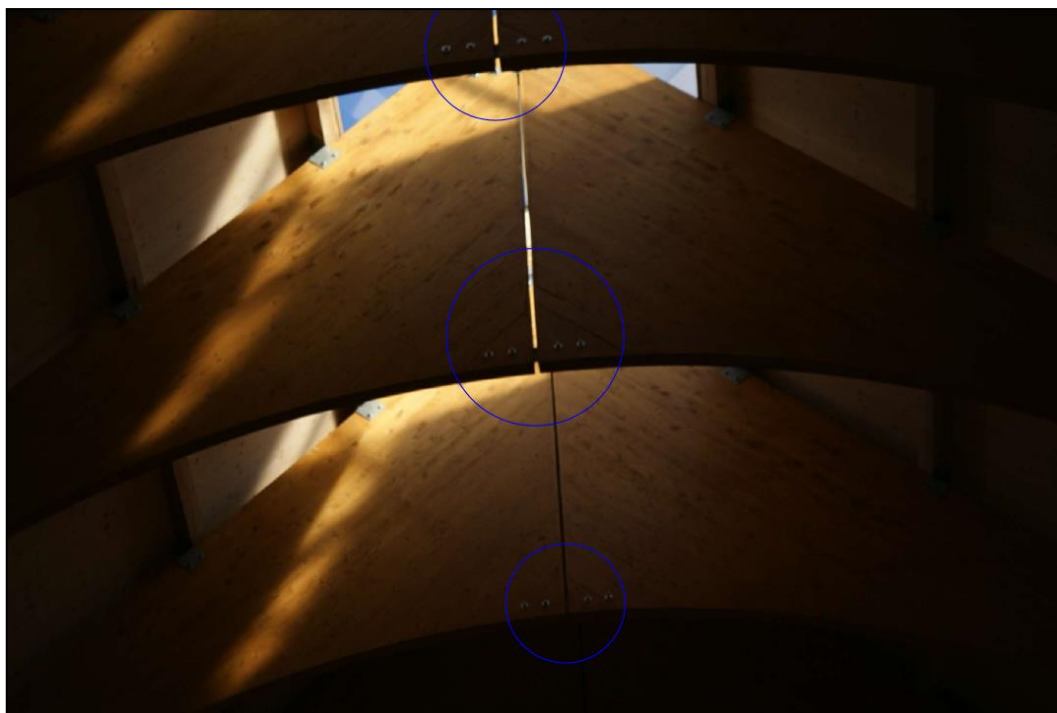


20. ábra: A szigetszentmiklósi katolikus templom tipikus tönkremenetelei 1.: a csavaroktól kiinduló repedés; 2.: rétegelválás (a szerző felvétele)

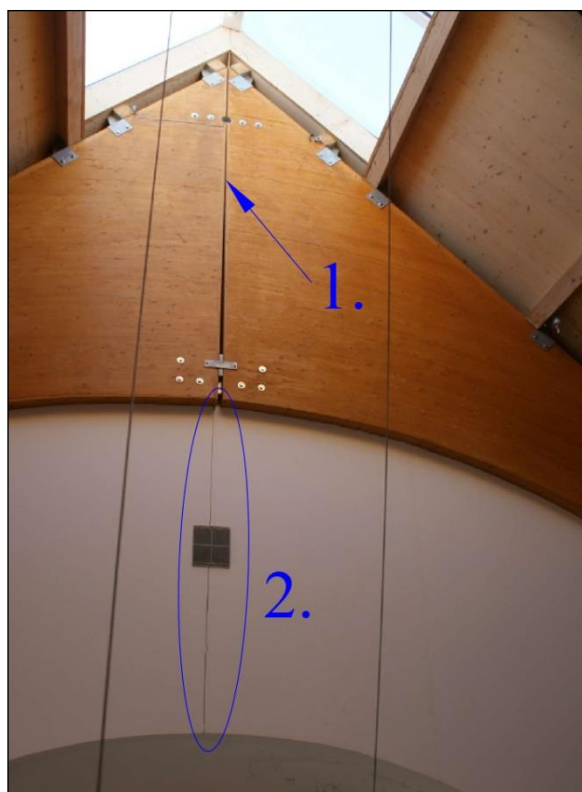
Fényképeket készítettem a szerkezetről, a közelebbi felvételek egy emelőkosaras jármű segítségével készültek (2. melléklet, 3. melléklet). A helyszínen megállapítható, hogy a nagyfeszítávolságú íves tartók többsége mind a fő- és mind a mellékhajókban repedéses tönkremenetelt szenvedett, valamint egy részük a síkjukban elcsavarodott/kihajlott. A repedések között vegyesen megfigyelhető volt rétegelválás és a faanyag repedése is.

A faanyag repedése sokszor a tartón átmenő csavaroktól indult ki. Az amúgy is nagyon karcsú tartókat a fém szerkezeti elemek és azok furathelyei elgyengítették, ennek következtében az alsó (21. ábra) és a felső részeken is itt történt tönkremenetel

(20. ábra/1.). További probléma volt, hogy az egyes egymáshoz erősített tartók



21. ábra: Az egymás utáni tartók repedéses tönkremenetele az alsó fém kapcsoló elemekkel gyengített részekben (a szerző felvétele)



22. ábra: A tartók összezáródása (1.) és a falszerkezet húzásra történő repedése (2.) (a szerző felvétele)

lecsúsztak, lesüllyedtek, végül emiatt a két fémszerkezeti elemekkel összeerősített tartó közepén összezárult (20. *ábra* és 22. *ábra*/1.). A vizsgálat közben kiderült, hogy a szelemeneket élőnedves állapotban építették be, ennek következtében hosszanti és keresztirányú repedések keletkeztek a felületén visszaszáradás közben, ami egyes helyeken a szerkezeti kapcsolatok megszűnését eredményezte.

Az eddig felsorolt hibák, tönkremenetelek eredménye, hogy a tető tartói két oldalra le/ szét szeretnének csúszni a falakról, ezzel együtt a falakat is szétnyomják. Ennek a hatásnak a következtében több helyen a falakon előfordult a 22. *ábra* 2. pontjának megfelelő falrepedés.

A szerkezet rendszeres használói az épület használatba vételétől kezdve egyre nagyobb zörejeket tapasztaltak szélterhelés esetén a nyugati mellékhajó tartószerkezte felől. Ezzel párhuzamosan indult meg a tartók tönkremenetele egyéb helyeken.

A hibák gyökér okának és a felelősök megtalálásához további vizsgálatokra lesz szükség főleg szeles időben. A NYME Fa- és Papíripari Technológiák Intézete felajánlott egy akusztikus tomográfiával történő rezgésmérést, mellyel be tudjuk határolni, melyik tartó melyik része adja a nagy zörejt szeles időben, ezzel is elősegítve a vizsgálatokat.

A vizsgálatban való részvétel gyakorlati tapasztalat gyűjtésére megfelelő volt. Egyrészt valós tönkremenetel volt látható, másrészt a tartók gyártója is jelen volt, így az ő nézőpontjukat és véleményüket is meg lehetett hallgatni.

6. Útmutató a faszerkezetek állapotvizsgálatához

A mai gyakorlatban az állapotvizsgálat metódusa, felhasznált eszközei és kiértékelése nem egységes. Az egyéntől függ, hogy az általános szabályokat és elvárásokat betartva, hogyan alakítja ki a saját vizsgálati rendszerét. A dolgozat következő része több forrás alapján egy részletes útmutatót ír le, magában foglalva interjúk alapján szakértők módszereit, elveit, véleményét.

6.1 Előkészületek

- 1) Egyeztetni kell a megbízóval, hogy milyen állapotban van a vizsgálat tárgya (pl. volt-e ott tüzeset, megközelítés stb.), milyen felszerelésre lesz valószínűleg szükségünk, ezenfelül milyen dokumentációval rendelkezik a megbízó az adott faszerkezetről.
- 2) A dokumentáció megszerzése történhet a szerkezet gyártójától, a megbízótól, hivatalból (levéltár, könyvtár stb.) vagy saját rajz készítésével felmérés alapján.
- 3) A felszerelés nagyon változatos lehet, függ a szerkezet helyzetétől (pl. templom belső tartói, padlástető, toronytető stb.) és ebből adódóan a megközelíthetőségéből (létra, emelőkosaras jármű, beülő hám kötéllel, lépcső stb.) és az elvégzendő vizsgálatoktól (műszerek, szerszámok, védőfelszerelések stb.).

6.2 Helyszínre érkezés

- 4) A helyszínre érkezéskor mindig a külső szemrevételezéssel kezdjük, ha van rá lehetőség. A szerkezet szenvedett-e olyan sérülést, melynek kívülről is látható nyoma van, pl. behajlás, a falakról való ki- vagy lecsúszás, lyukak a fedésen stb.
- 5) A vizsgálati területre érkezéskor először tisztítsuk le a port, szennyeződéseket, pókhálót stb. a vizsgálati területről. Majd jelöljük a rajzunkon a szerkezet fő részeit/ könnyen azonosítható pontjait (pl. fő szaruállások, RR tartós szerkezetnél lehetnek ezek a fő tartók, oszloppal alátámasztott részek stb.). Majd magán a szerkezeten is valamilyen módon, ha megtehetjük ezt (pl. kréta, feltűzött kis papíros számozás stb.). Az általunk létrehozott jelölésrendszer könnyen érthető és gyorsan azonosítható legyen (a felújításkor a munkás is értse, és azonnal munkához tudjon látni).

6.3 Szemrevételezés

- 6) A vizsgálatokat először érdemes az épület vagy szerkezet északi oldalán kezdeni, mert az időjárás hatásai jobban befolyásolják az épületek ezen részét.
- 7) A szemrevételezés során először olyan „árulkodó jeleket” kell keresnünk, amelyek azonnal szembetűnőek pl.:
 - a) gombakárosítás termőtestjei, rovarkárosítás kirepülő nyílásai vagy rágsálékkúpok stb.,
 - b) vizes felületek vagy korábbi vizesedés folt nyomai,
 - c) a szerkezeti elemek deformációi, repedései, tűzeset nyomai,
 - d) speciális szagok (pl. gombák), különböző pl. dinamikus szélterhelésből adódó zajok stb.
- 8) A 6) és 7) pontok alkalmazásával sok elemről azonnal kiderül, hogy sérült vagy károsodott.
 - a) Ha károsításról van szó, el kell dönteni, hogy mi az okozója: gomba, rovar vagy mindkettő? Majd pontosan meg kell neveznünk a károsítót, és hogy mekkora a károsítás mértéke (mind területre/ térfogatra, mind pedig súlyosságra [gyenge, közepes, erős]).
 - b) Ha sérülésről vagy tönkremenetelről van szó, alapvető következtetéseket statikusi képesítés nélkül is le tudunk vonni, értem ez alatt, hogy milyen irányban és milyen tönkremenetelt szenvedett a szerkezeti elem. Lehetnek ezek: húzás, nyomás, nyírás, különböző deformációk, repedések, rétegelválások, szerkezet szétnyílása vagy összezáródása stb. Ezekből a megállapításokból további károsításokra vagy sérülésekre következtethetünk, amik talán nem látható helyen vannak.

6.4 További vizsgálatok egyszerű eszközökkel

- 9) A legáltalánosabb a kisbalta (vagy más éles szerszám), a kalapács és az ár (vagy más szúrószerszám) használata. A szakzsargonban a kopogtató szerszámot is „műszernek nevezik”. A kisbaltával és az árral közel azonos a cél.
 - a) A *baltával* megsértjük a láthatóan vagy vélten károsított anyagot, és megnézzük, hogy a károsodás miatt a faanyag szövetszerkezete mennyire jó állapotban van (pl. ha porlik vagy vizesen és könnyen törik stb., akkor rossz, de lehet olyan felületi a károsítás, amely alatt ép faanyag van).

- b) Az *árral* hasonlóan beleszúrhatunk a faanyagba, és a behatolás mélységéből megítélhetjük a kártétel minőségét és mélységét (minél nagyobb és könnyebb a behatolás, annál nagyobb/ mélyebb a károsítás).
- c) A *kalapáccsal* kopogtatni szoktál a faanyagot. A fizikai magyarázata egyszerű: a nedves/ károsított/ üreges faanyagnak más a hangja, mint az ép fának. A gyakorlott fül a hang megváltozását rögtön azonosítani tudja.

Ha ezekkel az eszközökkel sem tudtunk teljes biztonsággal megvizsgálni adott szerkezeti elemeket/ helyeket, netán a statikusnak valós számolási alapadatokra van szüksége, használhatunk műszereket a vizsgálataink elvégzéséhez. Ezek széles skáláját a 4.3-as fejezet ismertette.

6.5 Műszeres vizsgálatok

- 10) A szerkezetvizsgálatban használható műszerek roncsolásmentes vizsgálatokat tesznek lehetővé. Vannak közöttük olyanok is, amelyek látható felületeken is még kis sérülés nélkül használhatóak.
 - a) Az egyszerű *fúrás*ra olyankor van szükségünk, mikor kopogtatás alapján sejteni lehet, hogy üreg vagy károsodás van a vizsgált elemben. Ekkor belefúrunk, hogy a forgács alapján értékelni lehessen a szerkezeti elemet.
 - b) A *RESISTOGRAPH*[®] használata is hasonló helyeken ajánlott. De nagy érzékenységenek köszönhetően fakötések belső, nem látható részeinek állapotáról is kaphatunk pontos információt. Jól alkalmazható még fal vagy födém szerkezet vizsgálatára is.
 - c) A *hangsebesség mérése* rosttal párhuzamos irányban FAKOPP műszerrel, pl. gerendák, oszlopok, szarufák stb. rugalmassági modulusának meghatározására. Az érzékelők/ tappancsok kiválasztása szerkezetfüggő (RR² tartóhoz másfajta kell, mint egy szarufához).
 - d) A FAKOPP vagy az *Impedancia Tomográf* több csatornás rendszerével a vizsgált elem egy keresztmetszetéről kaphatunk teljes képet (vastagabb oszlopoknál érdemes használni, vagy zajforrás helyének meghatározásához).
 - e) A *Pylodinnal* gyorsan sűrűséget mérhetünk a további számításokhoz.
 - f) A *csavarállóság-mérő*vel a sűrűség mellett a hajlító szilárdság is számolható.

² RR – rétegelt-ragasztott

- g) A komolyabb *nedvességtartalom-mérőkkel* fanedvesség, léghőmérséklet és páratartalom mérhető a helyszínen.
- h) *Egyéb* hazánkban kevésbé elterjedt műszerek (pl. röntgennel történő faszerkezet-vizsgálat).

6.6 Egyéb vizsgálati tudnivalók

Bizonyos esetekben, ha van rá lehetőség, a vizsgálat tovább folytatásához szükséges a falazatnak, a födémnek vagy magának a szerkezetnek a megbontása. Továbbá érdemes különös figyelmet fordítani vizsgálat közben az alábbiakra:

- *a bádогоzásokra* – beázások után kutatva, a bádогоzás nagyon sérülékeny,
- *a hófogók felfogatására* – nagy hőteher esetén kiszakadhatnak a szarufából, és beázási helyeket hozhatnak létre,
- *a szerkezet előző javításaira* – szakszerű volt-e a javítás (pl. tüzeset után a fent maradt megpörköltödött gerendák szakszerű megerősítést kaptak-e stb.),
- *a fáfödémre* – a födémmel érintkező károsodott vagy beázott faanyag esetén a födém is fel kell bontani, meg kell vizsgálni legalább 50 cm-es sávban (a külső falsíktól mérve),
- *a vápákra és vápadeszkákra* – sokszor a bonyolult ácskapcsolatok beázás veszélyét rejthetik,
- *csak a cseréprétegbe beépített kis ablakokra* – igaz közvetlenül nem érintkeznek a szerkezettel, de rossz záródás esetén vízbefolyást eredményezhetnek,
- *fém szerkezeti elemekre* – egyrészt az RR tartóknál sokszor ezek a tönkremenetelek kiindulási okai és/ vagy helyei (feszültséggyűjtő helyek); másrészt nedves környezetben (pl. uszodák) a pára lecsapódhat rájuk, ami rozsdásodásukat okozhatja, a környezetükben nedvesedhet a faanyag, ami gombásodás kiindulása lehet,
- *nedvességlecsapódási helyekre* – hidegebb helyek, fém vagy műanyag felületek, üveg stb., ahonnan a lefolyó víz érintkezhet a faanyaggal (erre utaló jel lehet bizonyos anyagok kimosódása is),
- *a felületkezelésekre* – bizonyos vastagság felett már megbújhat alatta gomba vagy rovar károsítása, amelyet nem vehetünk észre,

- ***a бүтүfelületekre*** – a szerkezeti elemek, főleg tartók végein a бүтү mindig nagy dagadásnak és zsugorodásnak van kitéve, mely repedéseket eredményezhet (különösen fontos ez mikor kültérben van az adott бүтү felület),
- ***kültéri tartóvégek fedésére*** – sok esetben az RR tartó kültéri vége nem szakszerűen bádogozott és megállhat a bádog és a faanyag között a víz,
- ***a szerkezet megfelelő működésére*** – pl. 3 csuklós tartó biztosan 3 forgáspontú-e, mert ha ezt szakszerűtlen beépítéssel megakadályozzák, megváltozik az épület statikája,
- ***a nem látható vagy belső károsításokra*** – bizonyos gomba- és rovarfajok károsítása csak a szerkezet belsejében játszódik le, ha sejtjük, hogy ilyenről van szó, a műszeres vizsgálatokat kell előtérbe helyezni az adott területen.

6.7 Dokumentálás és értékelés

A mai gyakorlatban az értékelés formája ugyanúgy szakértőfüggő, mint az előzőekben leírt tevékenységek. Az itt létrehozott dokumentációs lapok és azok leírása egy alapnak tekinthető, melyet az adott végfelhasználó bővíthet.

11) A megállapított információkat (nedvességtartalom, alakváltozás, károsodások stb.) a vizsgálati terület minden egyes szerkezeti elemére külön le kell írni. Ehhez készítenünk kell egy táblázatot, melyben az 5) pont alapján érdemes elkülöníteni az elemeket (pl. főszaruállásonként), emellett az alábbi oszlopoknak kell szerepelnie:

- ***sorszám*** – ha az elem jele nem szám, akkor a darabszám érdekében sorszámoznunk kell,
- ***szerkezeti elem jele*** – valamilyen jellel kell ellátni minden egyes darabot (erre a legegyszerűbb a számozás),
- ***szerkezeti elem neve*** – el kell nevezni a szerkezeti elemeket (pl. taréjszelemen, fő tartó, vápa stb.),
- ***elvégzett mérés*** – az elvégzett műszeres vizsgálatok típusait kell itt feltüntetni (pl. nedvességtartalom-mérés, csavarállóság-mérés stb.),
- ***megjegyzés*** – bármilyen észrevétel ide írható (pl. a közepszelemen toldása funkcióját veszítette stb.),
- ***javaslatok*** – javaslat tétel a javítás, bontás/ csere, károsításmegszüntetés mikéntjére.

Az így, a helyszínen kapott adatokat le lehet az irodánkban tisztázni.

- 12) Az összegyűjtött adatok alapján, részletesen kifejtve és leírva, a szakértő szakvéleményt ad, melyben az alábbi vázlatpontok szerint halad:

cím – pl. FAANYAGVÉDELMI SZAKVÉLEMÉNY, alcímként megnevezhető az épület és a rajta végzett tevékenység (pl. A kiskunhalasi katolikus templom tető- és födémszerkezetének faanyagvédelmi felülvizsgálatáról).

- a) *megbízás* – ki bízott meg kit és pontosan milyen feladattal?
- b) *előzmények* – mi az oka a megbízásnak (pl. gombatermőtest jelent meg a teljesen felújított ház pincéjében)?
- c) *a faszerkezet leírása* – a vizsgálandó faszerkezet felépítésének bemutatása fedélszéki- és födémalaprajzokkal, megnevezésekkel, statikai kapcsolatokkal.
- d) *a ránk bízott feladat leírása* – a feladatnak mi volt a célja, mikor és milyen módszerekkel teljesítettük?
- e) *a vizsgálati eredmények kiértékelése* – a károsodások/ sérülések részletes okai, károsítói, a károsítás/ sérülés mértéke, javaslat a károsítás/ sérülés megszüntetésére. Ez a legfontosabb rész. Minden károsodott/ sérült szerkezeti elemre ki kell terjednie és részletesen le kell írni a megállapításokat.
- f) *a szakvélemény* – a vizsgálati eredmények összefoglalása, a tapasztalatok alapján összefoglaló szaktanácsadás a vizsgált faszerkezet felújítására, a faanyagvédelem módjának meghatározása. Favédőszer javasolásakor azok leírása a műszaki adatlapokkal.
- g) *ábramelléklet* – a mérések, vizsgálatok során készített illusztráló fényképek és egyéb ábrák.
- h) *rajzmelléklet* – a szerkezetről előzetesen összegyűjtött vagy általunk elkészített rajzok összessége. Ha van rá lehetőség a kiértékelés elkészítése után, a fedélszéki terven/ felülnézeti rajzokon érdemes a rajzprogramunkkal (saját készítésű vagy digitalizált rajz esetén) vagy színes ceruzával egy általunk önkényesen választott színskála alapján jelölni a károsításokat és sérüléseket/ tönkremeneteleket súlyosság alapján a teljes alkatrész beszínezésével. Ez is segíti a munkások gyors tájékozódását. Az alábbi táblázatban láthatunk erre egy egyénileg is bővíthető példát.

3. táblázat: A felülnézeti rajzok színezéséhez egy önkényesen felvett színskála és a színekhez tartozó értelmezés

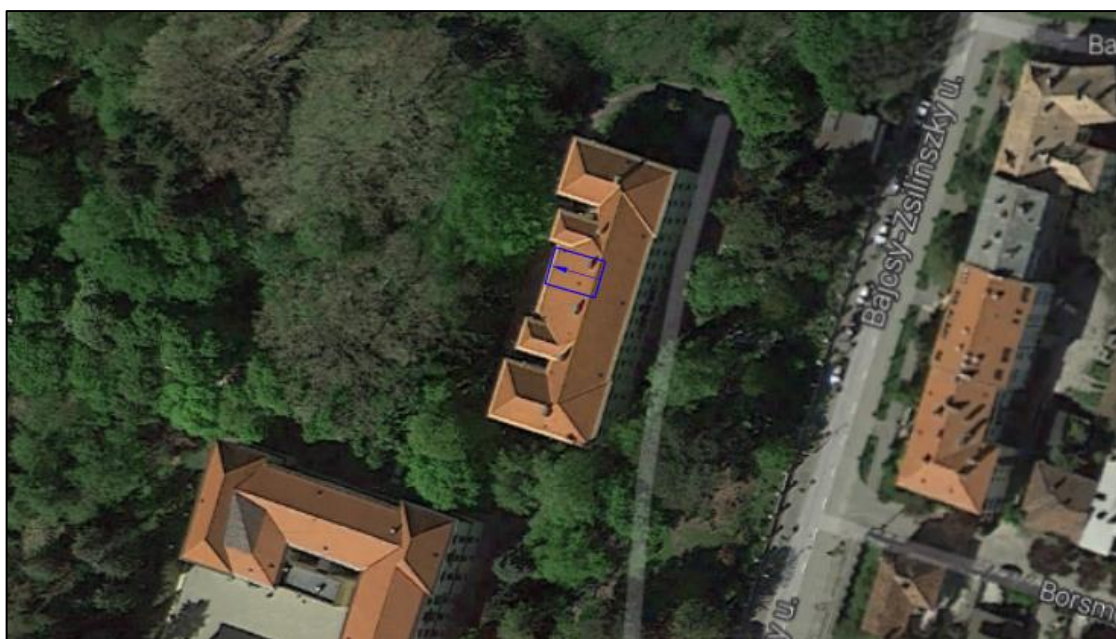
Károsított/ sérült		Kiváló
Súlyos károsodás/ sérülés	Megfelelő (károsodott vagy sérült, de a funkcióját még betölti)	Kiváló

7. Az útmutató alapján bemutató vizsgálat végzése az NYME Bajcsy-Zsilinszky úti A épület tető- és födémszerkezetének egy részletén

Az előző fejezet útmutatóját követve egy faszerkezet-vizsgálati felmérést végeztünk a Nyugat-magyarországi Egyetem Bajcsy Zsilinszky úti A épület tetőszerkezetének egy részletén. Az útmutató bizonyos megkötéseit, szabályait figyelmen kívül kellett hagynunk, mert a szerkezetben, a héjazatban, a födémbe és egyéb a vizsgálat szempontjából fontos helyeken nem tehattünk nagyobb kárt (pl. a födém felső téglarétegének megbontása).

A fedélszéki felülnézeti rajzok hiányában nekünk kellett rajzokat készíteni (20-24. mellékletek). Ehhez saját jelölési és megnevezési rendszert hoztam létre (19. melléklet). Ezek segítségével a tapasztalatok leírása következik a Nyugat-magyarországi Egyetem A épület tető- és födémszerkezet nyugati részletének felülvizsgálatáról.

7.1 A faszerkezet leírása



23. ábra: Az NYME A épülete, a tetőn a bejelölt vizsgálati terület és a lejtés iránya (GOOGLE MAPS, 2014)

A szerkezet a Faalapú Termékek és Technológiák Intézet eddigi vizsgálataiban még nem szerepelt. A cél a felújított tetőszerkezet és héjazat felújításának felülvizsgálata és bemutató műszeres vizsgálatok elvégzése volt.

Az A épületről nem maradt fenn használható fedélszéki, felülnézeti rajz, függőleges metszet is csak egy, ezért saját felmérés alapján magunknak kellett megrajzolni a jelenlegi állapotot. A levéltárban talált homlokzati rajzon a függőleges metszet szerint az épület teljes magassága 16,1 m, melyből a tető magassága a csúcsáig 5,9 m. Ez egy 1879-es adat (MAGYAR N. L., 2013), a saját felméréseink során a lézeres távolságmérő 6 m-t mutatott a taréjszelemen aljáig. Sem ezért, sem pedig a többi fontos rész hiánya miatt ezt a dokumentumot nem használhattunk. A felmért főbb méretek a rajzi mellékleten megtalálhatóak.

Az 20-24. mellékleteken látható szerkezet egy süllyesztett gerendasoros, 3 állószékes, szelemenes fedélszék, mely 4 méterenként kiosztott főszeruállásokkal épült. Alapanyaga erdeifenyő (*Pinus silvestris* L.). A födém felső síkját 0 m magasságnak véve, főszeruállásonként az alábbiak mondhatóak el.

0,44 m-en helyezkedik el a 175x235 mm keresztmetszetű kötőgerenda alsó síkja, mely a falakon körben elhelyezkedő koszorú hiányában merevíti a szerkezetet a szétcsúszás ellen. A kötőgerenda egy ponton, a folyosó fala fölött lehajlás ellen alá van támasztva, két vége a falba ágyazva sárgerendákon rovással fekszik fel. A kg III. jelölésű kötőgerenda ferde lapolással és ácskapoccsal toldott a nyugati végén. A sárgerendával párhuzamosan a kötőgerenda felett fekszik a talpszelemen (250x250 mm). A kötőgerendákra csapolva székoszlopok (155x160 mm) állnak, valamint ferde dúcok támaszkodnak.

A székoszlopokat 0,92 m magasságban két oldalról rovással és átmenő csavarral egy pár bekötő gerenda vagy alsó fogópár merevíti. Ezek a bekötő gerendák szintén rovással és átmenő csavarral közrefogják a ferde dúcot és a végükön a szarufát. Továbbá rovással fekszenek fel a talpszelemenre, бүтүjükre pedig az ereszdeszkázatot rögzítették. A székoszlopok tetején futnak a középszelemenek (160x160 mm), ezek akadályozzák meg a tető behajlását középen. A fogópárok a székoszlopokhoz rovással, a szarufákhoz átmenő csavarokkal, a ferde dúchoz pedig rovással és átmenő csavarokkal kapcsolódnak, így osztják el a terhelést. Ezek alsó síkja 3 m-en helyezkedik el, keresztmetszetük 10x175 mm. A székoszlopok merevítésére a szelemenekkel

párhuzamos irányban könyökfákat helyeztek el, melyek csapolással és fa csapokkal kapcsolódnak a székoszlop két oldalán a középszelemenhez.

A függesztő oszlop (160x160 mm) a taréjszeleмент tartja, és a székoszlopokhoz hasonló módon könyökfákkal kapcsolódik. A taréjszelemen alsó síkja 6 m, ezen fekszenek fel a szarufák végei. A függesztő oszlop alsó vége a fogópárok közé rovat és átmenő csavarral erősített. A ferde dúcok végei a függesztő oszlopra támaszkodnak.

A főszaruállások között a bekötő gerendákba csapolva találhatóak a fiókváltó gerendák, ezek gyűjtik össze a mellékszaruállások terhet úgy, hogy a fiókváltó gerendába belecsapolt és a talpszelemenre rovással felfekvő fiókgerendák végére támaszkodnak fel a szarufák. Az ereszdeszkákat a fiókgerendák végére is felerősítették.

Ezen az oldalon két kémény is található, ezek körül kéménykiváltó deszkák és rövidebb szarufák helyezkednek el. Ezek elősegítik a teher átadását és elosztását a szomszédos szarufákra. A szarufákról még el kell mondani, hogy az alsó végeiken vízcsendesítő van a tetőfedés dőlésszögének csillapítására, a felső végeik horgolással fekszenek a taréjszelemenre, bütüik pedig a szemben lévő szarufákkal síkba vágottak.



24. ábra: Az utólagos alátámasztások (pótszelemenek) elhelyezkedése az I. és II. főszaruállás között (a szerző felvétele)

A szerkezetet utólag felújították, ekkor több kiegészítő, merevítő szerkezeti elemet raktak be. Az I-II. főszaruállások közötti kémény kéménykiváltói alá pótdúclábakon álló pótszelemeneket raktak. Ugyanilyen kialakítású pótszelemenrendszer került, mind 3 főszaruállás közé a szarufák közepénél és alsó végükénél is. Az alsó részen kialakított pótszelemenrendszer pótdúcokkal hozzá van ácskapcsolva a ferde dúchoz. Egy ilyen alátámasztás két pótdúcból úgy épül fel, hogy a fellépő erőket a bekötőgerendák és a székoszlop találkozásához vezesse, így az erők a székoszlopon keresztül a kötőgerendának adódjanak át. A felújítás során a héjazat került lecserélésre, az új tetőlécek alá vízzáró fólia került behelyezésre. Továbbá 2 db kisméretű, egyszerű szerkezetű ablak került a héjazatba beszerelésre. Egyik az I.b és az I.d szarufák közé alulra az fvg1-es elem fölé, a másik a II.d és a II.f szarufák közé, a psz5-ös pótszelemen fölé.

7.2 A vizsgálati eredmények kiértékelése

A vizsgálatot több alkalommal végeztem 2013. november 19. és december 2. között. A vizsgálati terület az épület 3 főszaruállás és a köztük lévő mellékszaruállások nyugati részét foglalta magába. A mért eredmények és a megállapítások a 19. *melléklet*ben láthatóak. A vizuális vizsgálat során megállapítottam, hogy a szerkezet egy része felújítás alá került, mely szerkezeti elemek cseréjét és egyéb alátámasztó és megerősítő munkákat jelentett. A vizsgálati alkalmakkor többször is esős idő volt, a páratartalom- és hőmérsékletmérő műszerrel a következő adatokat mértük a szerkezet környezetében: november 20.: 65% és 10°C, november 21.: 69,9% és 15-17°C, december 2.: 8-9 °C és 63-64% páratartalom.

Az esőzés következtében nagyon sok helyen a szarufák alsó vége és a fiókgerendák találkozásánál beázások találhatók, ilyen példát mutat a 25. *ábra* is. Több ilyen beázás nagy felületű és olyan intenzív, hogy a vízzáró fólián vízcseppek is észrevehetőek voltak. Fokozattan figyelni kell az ilyen hibákra, mert ilyen esetben a fűdém is fel kell bontani.

Több szerkezeti elem nedvességének mérését végeztük el, az eredmények táblázatos formában a *melléklet*ben találhatóak.



25. ábra: Erős beázás az I.d_{alsó} jelű szarufa alsó végénél (a szerző felvétele)

Azok a helyek, amelyeket folyamatosan nedvesség ér, gombakárosítás lehetőségének vannak kitéve. Az ilyen területeken kezdhet el károsítani a fenyő lemezes tapló (*Gloeophyllum abietinum*), a házi kéreggomba (*Poria vaporaria* csoport) vagy a könnyező házigomba (*Serpula lacrymans*). A beázott részekben mért extrém nedvességtartalmakat a 10. melléklet tartalmazza. Az I.e jelű szarufa alsó részén a fűdém felső síkjától 2,5 m magasságban egy beázásnál fehéres penészfolt található.

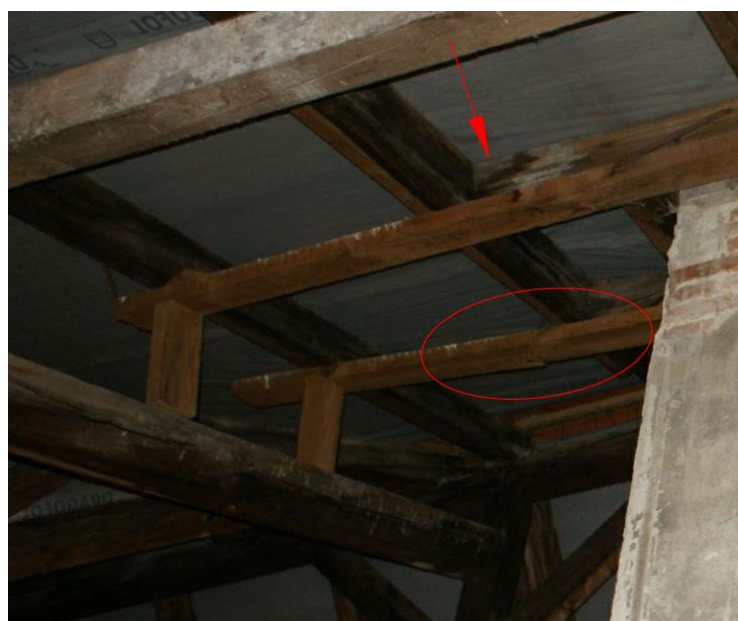
Korábbi beázások nyomai találhatók az fvg1-es és a psz5-ös elemeken a fölöttük lévő ablak rossz vízzárásának köszönhetően (26. ábra). Az fvg1 jelű fiókváltó gerendán az ablak alatti részen korábbi korhadás nyomai láthatóak, mely a vizsgálatkor száraz állapotú volt, a gerenda átlagos nedvességtartalma nedvességtartalom 16,7 % volt. Emellett mértünk rajta hangterjedési időt (229 μ s) és csavarállóságot (850 N). A számítások alapján a rugalmassági modulusa 9,3 GPa, az MSZ EN 338: 2003 szabvány szilárdságosztályozó táblázata szerint C18-as szilárdsági osztályba kerül, vagyis szerkezeti anyagnak megfelelő.

Az I.d szarufát megszakítja egy kémény, itt található 2 db, a szarufa terhelését 2-2 felé osztó kéménykiváltó (kk1, kk2). Ezek felületén is esős időben beázás, nedves foltok láthatóak (27. ábra), valamint a róluk lecsöpögő víz nyomai láthatóak a padlón.

A kk2-es elem és az I. b szarufa kapcsolat megszűnt, nem látja el a funkcióját. Ez is lehet az oka, hogy az alatta lévő pótszelemen lehajlott és rostkifutás mentén eltörött.



26. ábra: A vízzáró fólián a beázás nyomai láthatóak; a bekarikázott részen szintén beázás nyomai észlelhetők feltételezhetően a fölötte lévő kis ablak rossz zárása miatt (a szerző felvétele)



27. ábra: A psz1 jelű pótszelemen szálkifutásos tönkremenetele és a kk1 jelű elem beázás miatti foltosodása (a szerző felvétele)

Házicincér (*Hylotrupes bajulus* L.) károsítása látható a 28. ábrán, feltételezett kiindulási pontja a korábbi felújításkor már kicserélt ferde dúc. Szakszerűtlen volt a ferde dúc pótlása elsősorban azért, mert védőszeres kezelés nélkül raktak be új szerkezeti elemeket, amelyek repedéseibe a nőstény állat belepetézhet, és ez a károsítás továbbterjedésével járhat. Ráadásul a károsított szakaszból bent maradt egy rész, és erre fektették rá az új gerendát (29. ábra). Ezeknek az lett a következménye, hogy a III. főszaruállás bekötőgerendáin (bkgIII./1-2.), kötőgerendáján (kgIII.) és a bekötőgerendához kapcsolódó fiókváltó gerendán (fvg2) is megjelent a rovar károsítása (28. ábra). Ár beszúrásával megállapítottuk, hogy a károsítás a kötőgerendán (kgIII.) és a fiókváltó gerendán (fvg2) is a felső 2-3 cm-es rétegét érinti a gerendának.



28. ábra: Házicincér (*Hylotrupes bajulus* L.) károsítása a bekötőgerendákon, a fiókváltó gerendán és a kötőgerendán; a kgIII. elemen lévő károsítás árral megkapargatva (a szerző felvétele)

A fiókváltó gerendán (fvg2) is több mérést végeztünk. A mért átlagos hangterjedési idő 286,3 μ s, az átlagos csavarállóság 478 N és a nedvességtartalom 16,8 % -volt. Ezekből meghatározhattuk a hajlító szilárdságot: 12 MPa és a rugalmassági modult: 4,3 GPa. Mind a két érték nagyon alacsonynak számít, és az MSZ EN 338-szerint sem lehet besorolni a szerkezeti faanyagok közé az alkatrészt.

A kgIII. jelű kötőgerendán lehajlás nyomai vehetőek észre, ennek oka lehet a ferde lapolással kialakított hosszoldás (30. ábra), továbbá az alulméretezettség. A

kötőgerendákon végzett mérések alapján a 3 elem a C3 vagy felette lévő osztályba sorolható.



29. ábra: A kipótolt ferde dúc alatt látható a bent maradt károsított darab (a szerző felvétele)



30. ábra: Az egyik kötőgerenda (kgIII.) szakszerűtlen toldása, látszik a ferde lapolás szétnyílása (a szerző felvétele)

8. Összefoglalás

A dolgozat elkészítése során a „Nemzeti Kiválóság Program” keretein belül is végzett kísérletekben a terhelt RR tartók feszültségmeghatározásához sikeresen végrehajtott kísérlet segítségével bebizonyítottam, hogy a szerkezetek vizsgálhatóak befűrészeléses módon bizonyos megkötések mellett. A nagyfrekvenciás ultrahanggal gerendák rejtett repedései kimutathatók, de jól használható tartók lamelláinak szilárdsági osztályozására is. A lamellavizsgálatok egyik vélt hibaforrásánál, a söntölésnél bebizonyítottam, hogy a szondák távolságának megfelelően kicsire választásával a hiba elkerülhető. Továbbá azt is, hogy legtöbbször extrém eset kell az előfordulásához.

A dolgozatban összeállításra került egy útmutató a faszerkezetek állapotvizsgálatához, részletesen pontokba szedve az egyes lépéseket és a fontos tényezőket.

Ez alapján végzett vizsgálatokkal sikerült több károsodást és sérülési hibát felfedezni és kimutatni az NYME A épületének tetőszerkezeti részletén.

9. Abstract

Part of the During the M. Sc. thesis preparation, I have made some experiments in the framework of the "National Excellence Program". I have investigated a loaded, glued laminated beam by a new method, dedicated to measure the internal stress in the beam compression zone. A strain gauge was applied and a saw cut – left and right side of the gauge - released the stress. I have successfully proved that the method is working. Another part of my work I have searched for hidden cracks with high frequency ultrasound. Ultrasonic method was used to classify lamellas of glued laminated lumbers. I have proved that we can avoid the disturbance of neighbouring lamellas. by choosing the right and limited sensor distance.

In this master thesis I have made a guide how we should measure or investigate wooden structures. I have made a list about the step and the important factors of the examination.

In the last chapter I have demonstrated the methods on the roofing of the NYME building „A” based on the developed guide.

10. Ábrajegyzék

1. ábra: A roncsolásmentes faanyagvizsgálati módszerek csoportosítása	8
2. ábra: A 2 tappancsos típus használata RR tartó mérése közben és a henger alakú mérőszondák	9
3. ábra: A két beütő tüskés FAKOPP használata az NYME „A” épület egyik tetőszerkezeti elemének vizsgálata közben	9
4. ábra: A 12 szondás FAKOPP koppintása és összeállítása	10
5. ábra: Az impedancia tomográf központi vevő egysége a rákötött elektródákkal, az egy síkban a gerendába beütött szegek és a rájuk csatlakoztatott elektródák... 12	
6. ábra: Az impedancia tomográf számítógépes szoftverének kezelő felülete négyszög keresztmetszetű gerenda mérésekor	13
7. ábra: A Resistograph használata a soproni erdészeti múzeum székoszlopán	15
8. ábra: A Resistograph fűrójának speciális hegye	15
9. ábra: A Resistograph egy mért eredménye számítógépes szerkesztőben	16
10. ábra: Csavarállóság mérése, a kijelzőn a mért legnagyobb érték, 1060 N-os kihúzással szembeni ellenállás és a megfogó fej	17
11. ábra: Speciális kialakítású csavar, melynek csak 18 mm-es a menethossza, hogy mélyebbre behajtva is csak 18 mm-en fogjon a fában	18
12. ábra: A Pylodin használat közben, felhúzott állapotban	19
13. ábra: A felfekvési pontok kiosztása és a terhelő erők	21
14. ábra: A kísérleti mérés összeállítása	22
15. ábra: A 3-3 mm mély bevágások a közéjük, a felületkezelt felületre felragasztott nyúlásmérő bélyeggel	23
16. ábra: A feszültségmentesítés korrigált diagramja. Látszik a páronkénti befűrészelések utáni relaxáció, valamint a fűrészáru saját feszültségeinek relaxációja	23
17. ábra: Az ábrán jól látszanak a kiemelkedően magas hangterjedési idők, ezek a repedés helyét kirajzolják	25
18. ábra: A söntölési jelenség bebizonyítása, zöld vonallal a forgácslap mérésekor a söntölés miatt kapott mérési hiba	26
19. ábra: A déli 2-es tartólamelláinak rugalmassági modulus szerinti eloszlása, az MSZ EN 338: 2003 szabvány szerint szilárdsági osztályba sorolhatók a 7 GPa rugalmassági modulust elérő alapanyagok	28
20. ábra: A szigetszentmiklósi katolikus templom tipikus tönkremenetelei 1.: a csavaroktól kiinduló repedés; 2.: rétegelválás	29
21. ábra: Az egymás utáni tartók repedéses tönkremenetele az alsó fém kapcsoló elemekkel gyengített részeken	30
22. ábra: A tartók összezáródása (1.) és a falszerkezet húzásra történő repedése (2.)... 30	
23. ábra: Az NYME A épülete, a tetőn a bejelölt vizsgálati terület és a lejtés iránya ... 38	
24. ábra: Az utólagos alátámasztások (pótszelemenek) elhelyezkedése az I. és II. főszaruállás között	40
25. ábra: Erős beázás az I.d _{alsó} jelű szarufa alsó végénél	42
26. ábra: A vízzáró fólián a beázás nyomai láthatóak; a bekarikázott részen szintén beázás nyomai észlelhetők feltételezhetően a fölötte lévő kis ablak rossz zárása miatt	43
27. ábra: A psz1 jelű pótszelemen szálkifutásos tönkremenetele és a kk1 jelű elem beázás miatti foltosodása	43

28. ábra: Házicincér (<i>Hylotrupes bajulus</i> L.) károsítása a bekötőgerendákon, a fiókváltó gerendán és a kötőgerendán; a kgIII. elemen lévő károsítás árral megkapargatva	44
29. ábra: A kipótolt ferde dúc alatt látható a bent maradt károsított darab.....	45
30. ábra: Az egyik kötőgerenda (kgIII.) szakszerűtlen toldása, látszik a ferde lapolás szétnyílása	45

11.Irodalomjegyzék

Könyvek:

- BUCUR V., DIVÓS F. és mts. (2010), Delamination in Wood, Wood Products and Wood-Based Composites, Springer, ISBN-13: 978-9048195497
- BUDÓ Á. (1972): Kísérleti Fizika I., 1. kiadás, Tankönyvkiadó, 302-329. old.
- 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.
- MAJOR, B. (2011): Rétegelt-ragasztott tartók vizsgálatával összefüggő háttérmerések végzése, szakdolgozat, Sopron, 24-26. old.
- MOLNÁR, S. (2004): Faanyagismeret, Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest, ISBN 963 955 317 4, 188-228. 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-Ispektionen mit RESISTOGRAPH, Anwendung, Auswertung, Meßprofile und ihre Interpretation, In: Proceedings NDE-Symposium, Sopron, Hungary, September 1994, 95-104. old.

Szabványok:

- MSZ EN 338: 2003: Szerkezeti fa. Szilárdsági osztályok

Web oldalak:

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

- E-ÉPÍTÉS (2013): Általános ismertető, <<http://www.e-epites.hu/e-naplo>> (Megtekintve: 2013.11.25., 23:00)
- EVOSZ (2013): Az elektronikus építési napló vezetés lépésenként, építési e-napló, segédlet az e-építési napló alkalmazás használatához, <<http://www.evosz.hu/hirek/c791.pdf>> (Megtekintve: 2013.11.25., 23:00)
- GOOGLE MAPS (2014): Az NYME A épület műholdképe, <<https://goo.gl/maps/f3poe>> (Megtekintve: 2014.01.15., 21:42)
<[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/>>

Egyéb:

- MAGYAR N. L. (2013): A mai A-épület, régi tiszti épület homlokzatai és metszete, Honvéd Főreáliskola tervrajzai, Magyar Nemzeti Levéltár Győr-Moson-Sopron Megye Soproni Levéltára, SL IV. 8211., készítés éve: 1897., file név: tisztiep_homl_1897
- NYME K. L. (2013): A mai A-épület II. emeleti alaprajza, Agrártudományi Egyetem Erdőmérnöki Kara, Nyugat-magyarországi Egyetem Központi Levéltár, készítés éve: 1950., file név: A_epulet_ar_1950

12. Köszönetnyilvánítás

Köszönetet szeretnék mondani Dr. Divós Ferenc tanár úrnak, konzulensemnek, kinél már másodéves tanulmányaim óta tevékenykedek ebben a témában, hogy diplomamunkám elkészítésében támogatást adott; Tóth Árpádnak szakmai tapasztalatának többszörös átörökítéséért; továbbá Hantos Zoltánnak a rajzok készítése közben adott vicces instrukciókért; az általam meginterjúvolt Dr. Németh László, Dr. Csupor Károly és Dr. Varga Ferenc faanyagvédelmi szakértő uraknak az együttműködést.

Köszönetet mondanék még szüleimnek és Öcsikémnek a támogatásért.

13. Mellékletek

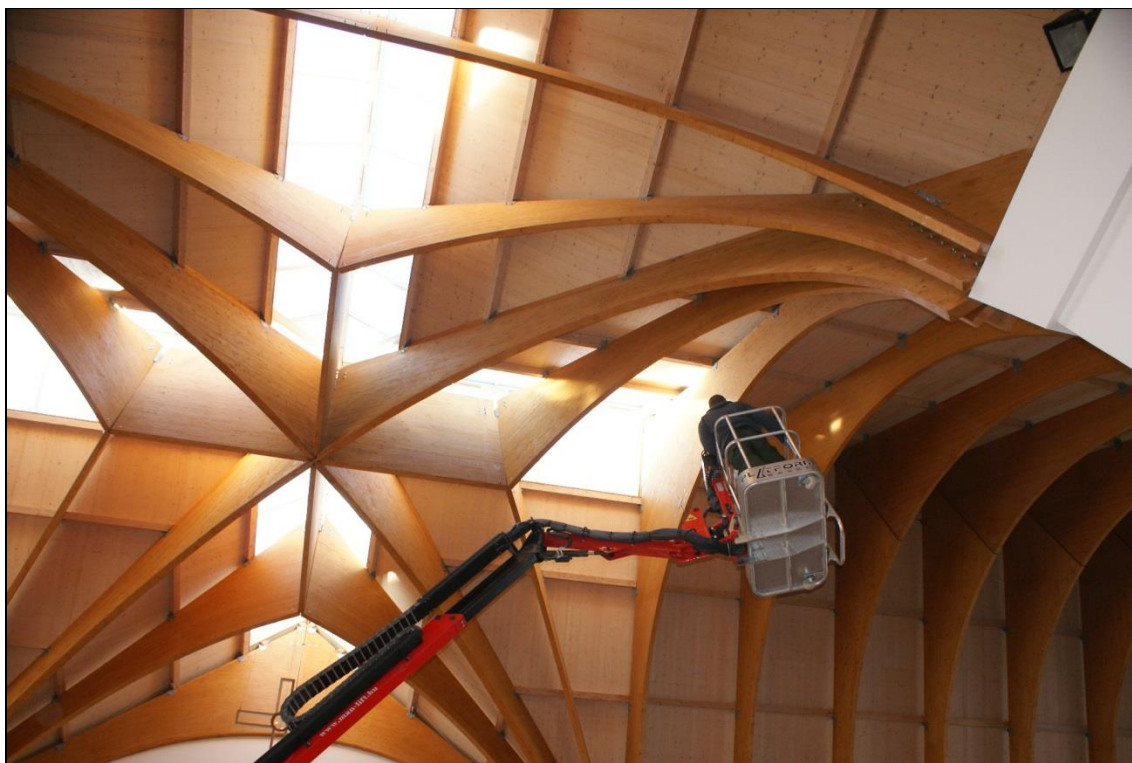
13.1 Ábrák



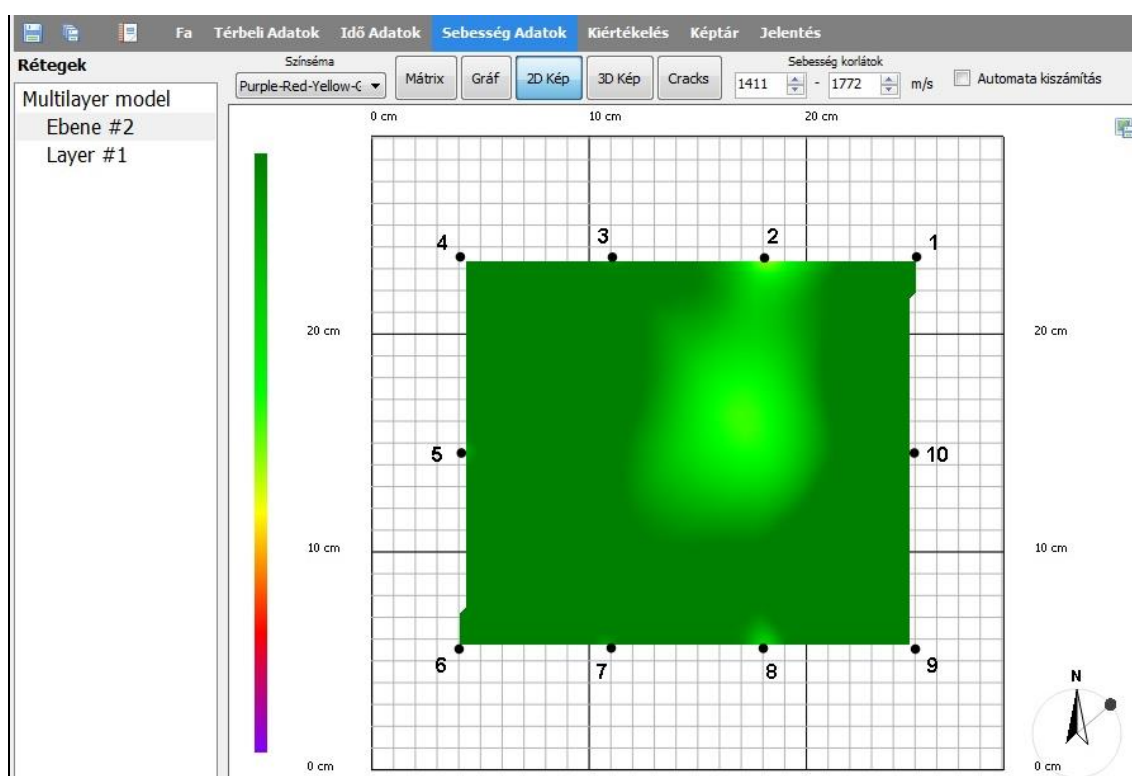
**1. melléklet: Üres darázfészkek az NYME A épületének héjazatán
(a szerző felvétele)**



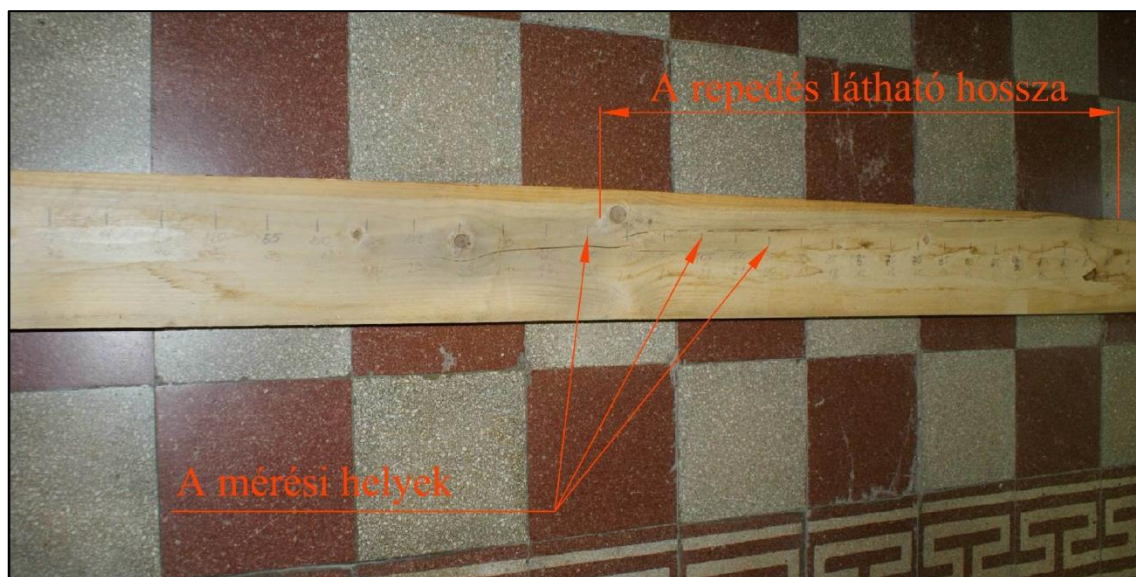
**2. melléklet: Kosaras jármű használata a szigetszentmiklósi katolikus templom
vizsgálatakor I. (a szerző felvétele)**



3. melléklet: Kosaras jármű használata a szigetszentmiklósi katolikus templom vizsgálatakor II. (a szerző felvétele)



4. melléklet: A FAKOPP program képernyőképe négyszög keresztmetszetre történő alkalmazás közben



5. melléklet: A mikrohullámú méréshez használt próbatest a látható repedés hosszával és a bejelölt mérési helyekkel



6. melléklet: A tartók lesüllyedése a középső síkban (a szerző felvétele)

13.2 Táblázatok

7. melléklet: Az NYME A épület egyes szerkezeti elemein mért nedvességtartalmi értékek I. (2013.12. 02., 8-9°C, 63-64 % páratartalom)

Szerkezeti elem jele:	Nedvességtartalom [%]:			Átlag:	Szórás:	A mérések körülményei:
fp I./1	14,3	13,8	x	14,1	0,4	2013.12.02.; 8-9 °C; 63-64% páratartalom
fp I./2	14,4	14,7	x	14,6	0,2	
fp II./1	13,4	12,8	x	13,1	0,4	
fp II./2	13,5	13,3	x	13,4	0,1	
fp III./1	12,5	12,8	x	12,7	0,2	
fp III./2	13,2	13,1	x	13,2	0,1	
fd1	14,8	14,9	x	14,9	0,1	
fd2	14,5	14,6	x	14,6	0,1	
fd3	14,4	16,4	x	15,4	1,4	
kg I.	15,1	12,8	13,2	13,7	1,2	
kg II.	13,7	13,5	12,9	13,4	0,4	
kg III.	14,8	14,9	14,9	14,9	0,1	

8. melléklet: Az NYME A épület egyes szerkezeti elemein mért nedvességtartalmi értékek II. (2013.12. 02., 8-9°C, 63-64 % páratartalom)

Szerkezeti elem jele:	Nedvességtartalom [%]:			Átlag:	Szórás:	A mérések körülményei:
szo2	17,4	18,5	15,9	17,3	1,3	2013.11.19.; 10°C
szo3	17,0	17,4	16,7	17,0	0,4	
fg1	14,1	13,6	14,4	14,0	0,4	2013.11.21.; 15,0-17,0 °C, 69,9% páratartalom, esőzés ³
fg2	15,2	14,9	14,3	14,8	0,5	
fg3	14,2	12,9	13,9	13,7	0,7	
fg4	14,2	15,0	14,4	14,5	0,4	
fg5	14,9	15,5	19,3	16,6	2,4	
fg6	13,4	14,2	15,5	14,4	1,1	
bkg I./1	12,9	14,2	12,6	13,2	0,9	
bkg I./2	15,4	16,4	15,3	15,7	0,6	
bkg II./1	15,3	18,8	14,5	16,2	2,3	
bkg II./2	16,9	18,7	13,9	16,5	2,4	
bkg III./1	13,9	14,3	15,5	14,6	0,8	
bkg III./2	14,7	14,6	15,9	15,1	0,7	

³ Folyamatos esőzés kültérben a mérés időtartama alatt.

9. melléklet: Az NYME A épület egyes szerkezeti elemein mért nedvességtartalmi értékek III. (2013. 11. 21., 15-7°C, páratartalom: 69,9 %, esőzés⁴)

Szerkezeti elem jele:	Mérés helye:	Nedvességtartalom [%]:				Átlag:	Szórás:
fvg1	felső lapon	15,1	16,1	20,0	15,7	16,7	2,2
		15,6	16,6	20,4	15,4	17,0	2,3
	oldalsó felületen	16,9	16,6	15,6	15,5	16,2	0,7
		16,9	17,5	16,9	15,8	16,8	0,7
fvg2	felső lapon	15,8	16,3	16,5	15,6	16,1	0,4
		15,8	16,2	16,5	16,5	16,3	0,3
	oldalsó felületen	16,9	16,9	17,1	17,6	17,1	0,3
		19,0	16,5	16,9	17,7	17,5	1,1

10. melléklet: A beázott felületek mért nedvességtartalmi értékei az NYME A épület egyes szerkezeti elemein (2013.11.20.; 65% páratartalom, esőzés⁴)

Szerkezeti elem jele:	Nedvességtartalom a beázások helyén [%]:		
I. a	23,3		
I. d _{alsó}	98,8	56,7	46,1
I. vcs4	34,7	36,6	48,8
II. vcs1	32,8		
II. b	32,5		
II. d _{alsó}	27,1		
II. f	57,1	45,3	
II. vcs4	30,2		
ed1	45,6		
ed3	37,3		

⁴ Folyamatos esőzés kültérben a mérés időtartama alatt.

11. melléklet: Az NYME A épület egyes szarufáin a földem felső síkjától 2 m magasságban 3 helyen mért nedvességtartalmi értékek (2013. 11. 21., 15-7°C, páratartalom: 69,9 %, esőzés⁵)

Szerkezeti elem jele:	Nedvességtartalom [%]:			Átlag:	Szórás:
I. a	16,9	17,2	17,2	17,1	0,2
I. b	15,2	15,6	15,0	15,3	0,3
I. d _{alsó}	19,6	16,6	16,3	17,5	1,8
I. e	19,2	17,2	18,4	18,3	1,0
II. a	39,3	22,6	39,2	33,7	9,6
II. b	28,9	20,3	26,5	25,2	4,4
II. d _{alsó}	26,3	35,3	26,0	29,2	5,3
II. f	23,8	26,8	45,3	32,0	11,6
III. a	17,3	16,9	16,5	16,9	0,4

12. melléklet: A söntölés kimérésekor kapott terjedési idők

Mérési hely:	Az akác terjedési sebességei [μs]:	A forgácslap terjedési sebességei [μs]:	Az összeerősített anyag terjedési sebességei [μs]:
5	16	28	27
10	24	56	54
15	33	85	69
20	42	110	82
25	51	133	92
30	63	163	104
35	72	190	116
40	80	212	128
45	93	241	138

⁵ Folyamatos esőzés kültérben a mérés időtartama alatt.

13. melléklet: A nagyfrekvenciás ultrahanggal történő hibafeltáráskor a mért eredmények

Mérési hely:	Terjedési idő [μs]:	Mérési hely távolsága az első mérési ponttól [cm]:	Megjegyzés:
1.	150	0	
2.	143	5	
3.	138	10	
4.	139	15	
5.	139	20	
6.	136	25	
7.	205	30	
8.	1550	35	
9.	535	40	
10.	3353	45	
11.	1362	50	
12.	1285	55	
13.	1879	60	
14.	1486	65	
15.	1108	70	
16.	1302	75	
17.	782	80	
18.	696	85	
19.	607	90	
20.	300	95	
21.	588	100	
22.	754	105	
23.	712	110	göcsön kellett a hangnak keresztülmennie
24.	552	115	
25.	863	120	
26.	300	125	
27.	259	130	göcsön kellett a hangnak keresztülmennie
28.	215	135	
29.	182	140	
30.	146	145	
31.	142	150	
32.	140	155	
33.	137	160	
34.	137	165	
35.	136	170	
36.	136	175	
37.	131	180	göcsön kellett a hangnak keresztülmennie

14. melléklet: A soproni MKB Aréna déli 2-es tartójában lévő lamellákon mért és számolt értékek

Lamella száma:	Az ultrahangos vizsgálat értékei [μs]:	Rugalmassági modulusz [Gpa]:
1.	69,1	12,1
2.	63,4	14,4
3.	64,2	14,0
4.	64,3	14,0
5.	65,0	13,7
6.	71,6	11,2
7.	61,9	15,1
8.	64,2	14,0
9.	68,9	12,1
10.	69,5	11,9
11.	68,1	12,4
12.	68,2	12,4
13.	69,1	12,1
Átlag:	66,73	13,04
Szórás:	2,99	1,21

15. melléklet: Sűrűség számítása az [5] képlet használatával, és hajlító szilárdság a [4] képlet használatával csavarállósági értékekből (NYME A épület)

Szerkezeti elem jele:	Mérés helye:	A faanyagból történő csavar kihúzásakor ébredő legnagyobb erő (csavarállóság) [N]:					Átlag:	A szerkezeti elem átlag csavarállósága [N]:	Szórás:	Sűrűség [kg/m ³]:	Hajlító szilárdság [MPa]:
fvg1	felső lapon	1105	535	975	825	965	881	850	188	326	26
	oldalsó felületen	815	850	620	725	1085	819				
fvg2	felső lapon	520	310	460	110	200	320	478	328	237	12
	oldalsó felületen	860	920	185	245	970	636				

16. melléklet: A rugalmassági modulus kiszámítása az [1] és [2] képlet segítségével (NYME A épület) I.

Szondák távolsága [mm]:	1200									
Szerkezeti elem jele:	Hangterjedési ideje [μs]:				Átlag:	Szórás:	Max.:	Hangsebesség a fában [m/s]:	Rugalmassági modulus [GPa]:	
fvg1	229	231	228	229	229,3	1,3	231	5336	9,3	
fvg2	289	285	285	x	286,3	2,3	289	4242	4,3	

17. melléklet: A rugalmassági modulus kiszámítása az [1] és [2] képlet segítségével (NYME A épület) II.

2013.12.02.; 8-9 °C, 63-64% párat.							
Szondák távolsága [mm]:	1200						
Szerkezeti elem jele:	Hangterjedési ideje [μ s]:		Átlag:	Szórás:	Max.:	Hangterjedési sebessége a fában [m/s]:	Rugalmassági modulus [GPa]:
kg I.	232	235	233,5	2,1	235	5242	14,0
kg II.	236	241	238,5	3,5	241	5109	13,3
kg III.	219	218	218,5	0,7	219	5636	12,7

18. melléklet: Az MSZ EN 338: 2003 szabvány szilárdságosztályozó táblázata

		Fenyő és nyár fafajok												Lombos fafajok					
Szilárdsági osztály		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50	D30	D35	D40	D50	D60	D70
Szilárdsági tulajdonságok (N/mm ²)																			
Hajlítás	$f_{m, k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50	30	35	40	50	60	70
Rostirányú húzás	$f_{t, 0, k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30	18	21	24	30	36	42
Rostirányra merőleges húzás	$f_{t, 90, k}$	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Rostirányú nyomás	$f_{c, 0, k}$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29	23	25	26	29	32	34
Rostirányra merőleges nyomás	$f_{c, 90, k}$	2	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2	8	8,4	8,8	9,7	10,5	13,5
Nyírás	$f_{v, k}$	1,7	1,8	2	2,2	2,4	2,5	2,8	3	3,4	3,8	3,8	3,8	3	3,4	3,8	4,6	5,3	6
Merevségi tulajdonságok (kN/mm ²)																			
Rostirányú rugalmassági modulus középértéke	$E_{0, \text{mean}}$	7	8	9	9,5	10	11	11,5	12	13	14	15	16	10	10	11	14	17	20
Rostirányú rugalmassági modulus 5%-os kvantilise	$E_{0,05}$	4,7	5,4	6	6,4	6,7	7,4	7,7	8	8,7	9,4	10	10,7	8	8,7	9,4	11,8	14,3	16,8
Rostirányra merőleges rugalmassági modulus középértéke	$E_{90, \text{mean}}$	0,23	0,27	0,3	0,32	0,33	0,37	0,38	0,4	0,43	0,47	0,5	0,53	0,64	0,69	0,75	0,93	1,13	1,33
Nyírási modulus középértéke	G_{mean}	0,44	0,5	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1	0,6	0,65	0,7	0,88	1,06	1,25
Sűrűség (kg/m ³)																			
Sűrűség	ρ_k	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460	530	560	590	650	700	900
Sűrűség középértéke	ρ_{mean}	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550	640	670	700	780	840	1080
MEGJEGYZÉS:		-a, A táblázatban szereplő húzó-, nyomó-, nyírószilárdság, a rugalmassági modulus 5%-os kvantilise, a rostirányra merőleges rugalmassági modulus középértéke és a nyírási modulus középértéke az A melléklet szerinti egyenletekkel lett kiszámítva. -b, A táblázat szerinti jellemzők a 20 °C hőmérsékletnek és 65% relatív légnedvességnek megfelelő nedvességtartamú fára vonatkoznak. -c, Lehetséges, hogy a C45 és C50 osztálynak megfelelő fát nem mindig lehet beszerezni.																	

19. melléklet: Az NYME A épület tetőszerkezeti részletének adatfelvételi lapja

Adatfelvételi lap				
Sorszám:	Szerkezeti elem jele:	Szerkezeti elem neve:	Elvégzett mérés:	Megjegyzés:
I. Főszaruállás				
1.	a	szarufa	nedvességtartalom-mérés	beázott felület nedvességtartalma 23,3 %; átlagos helyen mért nedvesség 17,1 %
2.	b		nedvességtartalom-mérés	átlagos helyen mért nedvesség 15,3 %
3.	c			
4.	d _{felső}			
5.	d _{alsó}		nedvességtartalom-mérés	nagy beázott felület, nedvességtartalma (3 helyen mérve) 98,8 %, 56,7 %, 46,1 %; átlagos helyen mért nedvesség 17,5 %
6.	e		nedvességtartalom-mérés	átlagos helyen mért nedvesség 18,3 %; alsó vége beázik; középső szakaszán fehéres penészfoltok
7.	vcs1	vízcsendesítő		
8.	vcs2			
9.	vcs3			teljes egészében átázva
10.	vcs4		nedvességtartalom-mérés	beázott felületek nedvességtartalma (3 helyen is) 34,7 %, 36,6 %, 48,8 %
11.	bkg I./1	bekötőgerenda	nedvességtartalom-mérés	nedvességtartalom 13,2 %
12.	bkg I./2		nedvességtartalom-mérés	nedvességtartalom 15,7 %
13.	kg I.	kötőgerenda	hangsebesség-, nedvességtartalom-mérés	hangterjedési idő 233,5 µs; a nedvességtartalom 13,7 %; kisebb hosszanti repedések
14.	fp I./1	fogópár	nedvességtartalom-mérés	nedvességtartalom 14,1 %
15.	fp I./2		nedvességtartalom-mérés	nedvességtartalom 14,6 %
16.	pdl I./1	pótdúcláb		
17.	pdl I./2			

A 19. melléklet folytatása

18.	pdl I./3	pótdúcláb		a talpa a levegőben lóg, nem ér hozzá a ferde dúchoz a hozzá tartozó pótszelemen elhajlás miatt
19.	pdl I./4			
II. Főszaruállás				
20.	a	szarufa	nedv. tart. mérés	átlagos helyen mért nedvesség 33,7 %; alsó vége beázik
21.	b		nedvességtartalom-mérés	beázott felület nedvességtartalma 32,5 %; átlagos helyen mért nedvesség 25,2 %
22.	c			
23.	d _{felső}			
24.	d _{alsó}		nedvességtartalom-mérés	beázott felület nedvességtartalma 27,1 %; átlagos helyen mért nedvesség 29,2 %; beázás helyén fehér penész foltok
25.	e			
26.	f		nedvességtartalom-mérés	beázott felület 1,5-2 m magasságban, nedvességtartalma (2 helyen is) 57,1 %, 45,3 %; átlagos helyen mért nedvesség 32,0 %
27.	vcs1	vízcsendesítő	nedvességtartalom-mérés	beázott felület nedvességtartalma 32,8 %
28.	vcs2			
29.	vcs3			
30.	vcs4		nedvességtartalom-mérés	beázott felület nedvességtartalma 30,2 %
31.	bkg II./1	bekötőgerenda	nedvességtartalom-mérés	nedvességtartalom 16,2 %
32.	bkg II./2		nedvességtartalom-mérés	nedvességtartalom 16,5 %
33.	kg II.	kötőgerenda	hangsebesség, nedvességtartalom-mérés	hangterjedési idő 238,5 μs; a nedvességtartalom 13,4 %
34.	fp II./1	fogópár	nedvességtartalom-mérés	nedvességtartalom 13,1 %
35.	fp II./2		nedvességtartalom-mérés	nedvességtartalom 13,4 %
36.	pdl II./1	pótdúcláb		
37.	pdl II./2			

A 19. melléklet folytatása

38.	pdl II./3	pótdúcláb		
39.	pdl II./4			
40.	pdl II./5			
III. Főszaruállás				
41.	a	szarufa	nedvességtartalom-mérés	átlagos helyen mért nedvesség 16,9 %; alsó vége beázik
42.	vcs1	vízcsendesítő		beázás nyomai láthatók
43.	bkg III./1	bekötőgerenda	nedvességtartalom-mérés	nedvességtartalom 14,6 %; felső részén rovarragcsálékkúpok találhatóak, a felső negyed része károsított, бүтү az eresz deszkánál beázott
44.	bkg III./2		nedvességtartalom-mérés	nedvességtartalom 15,1 %; felső részén rovarragcsálékkúpok találhatóak, a felső negyed része károsított, бүтү az eresz deszkánál beázott
45.	kg III.	kötőgerenda	hangsebesség-, nedvességtartalom-mérés	hangterjedési idő 218,5 μs; a nedvességtartalom 14,9 %, lehajlott a terhelés miatt; nyugati végének tetején rovarragás nyomai láthatók
46.	fp III./1	fogópár	nedvességtartalom-mérés	nedvességtartalom 12,7 %
47.	fp III./2		nedvességtartalom-mérés	nedvességtartalom 13,2 %
48.	pdl II./1	pótdúcláb		
49.	pdl II./2			
Egyéb szerkezeti elemek:				
50.	ed1	ereszdeszka	nedvességtartalom-mérés	beázott felület látható, nedvességtartalma 45,6 %
51.	ed2			beázott felület látható
52.	ed3		nedvességtartalom-mérés	beázott felület látható, nedvességtartalma 37,3 %
53.	ed4			
54.	ed5			beázott felület látható
55.	ed6			
56.	fd1	ferde dúc	nedvességtartalom-mérés	nedvességtartalom 14.9 %; a terhelés alatt megnyomorodott

A 19. melléklet folytatása

57.	fd2	ferde dúc	nedvességtartalom-mérés	nedvességtartalom 14,6 %, az alsó és a középső részén hosszanti repedések; a terhelés alatt megnyomorodott
58.	fd3		nedvességtartalom-mérés	nedvességtartalom 15,4 %; a szakszerűtlen felújítás során kicserélték az alsó szakaszának egy részét oly módon, hogy a kötőgerenda (kg III.) és a cserélt rész között ott hagytak egy rovarkárosított darabot
59.	fg1	fiókgerenda	nedvességtartalom-mérés	nedvességtartalom 14,0 %
60.	fg2		nedvességtartalom-mérés	nedvességtartalom 14,8 %
61.	fg3		nedvességtartalom-mérés	nedvességtartalom 13,7 %, beázás nyoma a szarufa vége alatt
62.	fg4		nedvességtartalom-mérés	nedvességtartalom 14,5 %
63.	fg5		nedvességtartalom-mérés	nedvességtartalom 16,6 %
64.	fg6		nedvességtartalom-mérés	nedvességtartalom 14,4 %
65.	fvg1	fiókváltó gerenda	hangsebesség-, nedvességtartalom- és csavarállóságmérés	hangterjedési idő 229 µs; csavarállóság 850 N; a nedvességtartalom 16,7 %; északi végének felső részén korábbi korhadás okozta károsodás
66.	fvg2			hangterjedési idő 286,3 µs; csavarállóság 478 N; a nedvességtartalom 16,8 %; a keresztmetszet felső negyed része rovar által bontott, régi károsítás
67.	fo1	függesztő oszlop		
68.	fo2			
69.	fo3			
70.	kk1	kéménykiváltó		vizesedés, nedvesedés, beázás nyomai láthatóak; a kk2 elem fakötése az I. b szarufához megszűnt, szétesett
71.	kk2			
72.	kk3			
73.	kk4			
74.	kf1	könyökfa		
75.	kf2			
76.	kf3			

A 19. melléklet folytatása

77.	kf4	könyökfa		
78.	kf5			
79.	kf6			
80.	kf7			
81.	kf8			
82.	3	középszelemen		
83.	pdf1	pótdúc felső		
84.	pdf2			
85.	pdf3			
86.	pda1	pótdúc alsó		
87.	pda2			
88.	pda3			
89.	psz1	pótszelemen		beázás miatti foltok, terhelés miatti legörbülés és ebből kifolyó szálkifutásos repedés
90.	psz2			beázás miatti foltok
91.	psz3			
92.	psz4			
93.	psz5			a felette lévő ablak miatt rendszeresen ázik
94.	psz6			
95.	1	sárgerenda		
96.	szo1	székoszlop		
97.	szo2		nedvességtartalom mérés	nagyobb hosszanti repedések, nedvességtartalom 17,3 %
98.	szo3		nedvességtartalom mérés	nedvességtartalom 17,0 %
99.	2	talpszelemen		
100.	4	taréjszelemen		

13.3 Rajzok