

OTDK DOLGOZAT

SZŐKE FANNI

SOPRON

2022

Soproni Egyetem

Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar

Faépítészeti Intézet

A Kecske-hegyi kilátó szilárdsági vizsgálata

Témavezető:

Dr. habil. Kánnár Antal

egyetemi docens

A dolgozat készítője:

Szőke Fanni

IV. évf. faipari mérnök BSC hallgató

I. Tartalomjegyzék

II. Ábrajegyzék.....	5
III. Táblázatjegyzék.....	6
IV. Bevezetés	7
V. A helyszín és a kilátó története.....	7
VI. A kilátók szerkezeti megoldásai	8
A szerkezetben felhasznált anyagok tulajdonságai és lehetőségei.....	8
A rétegelt-ragasztott faanyagok jellemzői, előállítási módjai.....	9
A rétegelt-ragasztott tartók osztályozása	9
Hibakiejtés és hosszoldás	10
Ragasztási technológiák.....	10
Felületkezelés, faanyagvédelem	11
VII. A vizsgált faanyagok.....	12
Lucfenyő (Picea Abies) [12]	12
Kocsánytalan tölgy (Quercus petraea) [13].....	13
VIII. A bontás menete, minták beszerzése	13
IX. Elektronmikroszkópos vizsgálatok.....	16
X. Dinamikus rugalmassági modulusz mérés	21
A mérés elve.....	21
Mérési eredmények	22
A mérési eredmények kiértékelése	23
XI. Nyomószilárdsági vizsgálatok.....	24
A mérés elve.....	24
Mérési eredmények	25
A mérési eredmények kiértékelése.....	25
XII. Hajlítószilárdsági vizsgálatok	29
XIII. A kilátó napjainkban [1] [1. melléklet]	33
XIV. Összegzés	36
XV. Köszönetnyilvánítás	36
XVI. Források.....	37



NYILATKOZAT

Alulírott **Szőke Fanni** (neptun kód: **FPZK2F**) jelen nyilatkozat aláírásával kijelentem, hogy **A Kecske-hegyi kilátó szilárdsági vizsgálata** című (megfelelő rész aláhúzandó)

TDK dolgozat;

MDK dolgozat;

(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 konzulenszt 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 Soproni 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, 2022. november 25.

.....


hallgató

II. Ábrajegyzék

1. ábra: Kecse-hegyi kilátó (2013).....	7
2. ábra: Kecse-hegyi kilátó a Fertőrákos felé vezető útról.....	7
3. ábra: Kecse-hegyi kilátó (1905-1938)	7
4. ábra: Sörházdombi kilátó íves RR-szerkezete	8
5. ábra: Lucfenyő és termése	12
6. ábra: Tölgyfa.....	13
7. ábra: Tölgy termése	13
8. ábra: A kilátó korhadt lábazata	13
9. ábra: Válogatott minták	14
10. ábra: Kiszedett szögek és vasalatok.....	14
11. ábra: A lebontott szerkezet.....	15
12. ábra: A lebontott szerkezet.....	15
13. ábra: Korhadt padozat	15
14. ábra: Korhadt szerkezeti elem.....	15
15. ábra: Befogott lábazati elem	15
16. ábra: Törött elem.....	15
17. ábra: Oxidálódott csavarhely	15
18. ábra: Elektronmikroszkóp.....	16
19. ábra: Szabad szemmel vizsgált minta	17
20. ábra: Göcs oxidációja.....	17
21. ábra: Csavarhely oxidációja.....	17
22. ábra: A vizsgált minták	18
23. ábra: Fehérkorhadás 100-szoros nagyításban	18
24. ábra: Fehérkorhadás 500-szoros nagyításban	19
25. ábra: Vöröskorhadás 100-szoros nagyításban.....	19
26. ábra: Vöröskorhadás 1000-szeres nagyításban	20
27. ábra: Micéliumréteg a felszínen 100-szoros nagyításban	20
28. ábra: Micéliumréteg a felszínen 500-szoros nagyításban	20
29. ábra: Géphez kapcsolt szerkezet mintával	21
30. ábra: A szerkezet felépítése (...).....	21
31. ábra: Egy minta vizsgálata	21
32. ábra: A monitor képe	22
33. ábra: Dinamikus rugalmassági modulusz méréssel meghatározott sűrűségértékek	23
34. ábra: Dinamikus rugalmassági modulusz méréssel meghatározott értékek.....	23
35. ábra: A 7. minta repedezettsége	23

36. ábra: Nyomószilárdsági vizsgálat	24
37. ábra: Hengeres mintatestek	24
38. ábra: Kocka mintatest a vizsgálat után	25
39. ábra: Mintatest a vizsgálat után.....	26
40. ábra: Nyomószilárdsági értékek arányai egymáshoz légszáraz értéken ($u=12\%$).....	26
41. ábra: Hengeres minták tönkremenetele az idő és a nyomószilárdság függvényében	27
42. ábra: Mintatest a vizsgálat után.....	27
43. ábra: Kocka minták tönkremenetele az idő és a nyomószilárdság függvényében.....	28
44. ábra: Mintatest a vizsgálat után.....	28
45. ábra: Hajlított mintatest a vizsgálat után.....	29
46. ábra: Nyíróerő- és nyomatóéki ábrák.....	30
47. ábra: Hajlítószilárdsági értékek ($u=12\%$)	31
48. ábra: Erő - eltelt idő grafikon.....	32
49. ábra: Nyírási repedés	32
50. ábra: Szálkás, hajlításból származó repedés	32
51. ábra: Az új kilátó alapozása	33
52. ábra: Az új kilátó elemeinek szállítása	33
53. ábra: Az új lábazat	33
54. ábra: Új lépcső rögzítési módja	34
55. ábra: Tetőszerkezet	34
56. ábra: Lábazat csomóponti kapcsolódása a tetőszerkezettel	35
57. ábra: A pihenő korlátja	35
58. ábra: A lábazat delaminációja.....	35
59. ábra: Az új Kecse-hegyi kilátó.....	36

III. Táblázatjegyzék

1. táblázat: Dinamikus rugalmassági modulusz mérés eredményei.....	22
2. táblázat: Hengeres oszlopminták nyomószilárdsága	25
3. táblázat: Kocka gerendaminták nyomószilárdsága	25
4. táblázat: A hajlítószilárdsági mérések eredményei.....	29

Melléklet:

1. számú melléklet: dr. Szabó Péter építész tervező - dr. Hantos Zoltán statikus tervező (2020): Az új Kecse-hegyi kilátó tartószerkezeti kiviteli dokumentációja

IV. Bevezetés

Dolgozatom témája „A Kecske-hegyi kilátó szilárdsági vizsgálata”. A 15,1 méter magas, betonalapokon álló faszerkezetű építmény a Szárhalmi-erdőben töltötte be funkcióját (1. ábra). 1973-ban épült, 2018-ban viszont lezárták a tartószerkezeti elemek tönkremenetele végett, majd 2021-ben elbontották. A méréseim során ennek a fából készült szerkezetnek az elemeit vizsgáltam 45-48 évnyi működést követően, többek között elektronmikroszkópos megfigyelést, dinamikus rugalmassági modulusz mérést, nyomószilárdsági, hajlítószilárdsági vizsgálatokat hajtottam végre a mintatesteken. A dolgozatba belefűztem az új kilátó szerkezeti megoldásainak bemutatását is a problémák feltárását követően.



1. ábra: Kecske-hegyi kilátó (2013) [6] (Kardulecz Nóra)

V. A helyszín és a kilátó története

A Sopron és Fertőrákos között elterülő Szárhalmi-erdőben a Kecske-hegy kiváló lehetőséget nyújtott egy kilátó emeléséhez, hiszen annak a 208 méter tengerszint feletti magasságával szépen belátható vidéket mutat a völgy és a falu felé. A helyszín Tómalom fürdőtől



3. ábra: Kecske-hegyi kilátó a Fertőrákos felé vezető útról [14]

és a Fertőrákosi kőfejtőtől is megközelíthető (N 47°43,324', E 16°37,853' [6]). Az első kilátó



2. ábra: Kecske-hegyi kilátó (1905-1938) [6] (Soproni Szemle)

1905 és 1938 között funkcionált ezen a területen (2. ábra), melynek építésekor égetett cserépmaradványok kerültek elő, ez alátámasztja a feltételezést, hogy már korábban is emberlakta területről beszélhetünk. Ez az eredeti építmény a II. világháború alatt dőlt össze, arról csak egy fénykép maradt fent. Később a Tanulmányi Erdőgazdaság kilátóépítési programot tervezett, melynek első fázisa volt a Kecske-hegyi újjáépítése. Ennek keretében kérték fel Rosenstingel Antalt, aki a fénykép alapján készítette el az új terveket a 35 m² alapterületű, 15,1 méter magas kilátóról. Az

1973-ban kivitelezett szerkezet 10 méter magas kilátószintjéről a kőhidai medencére, a Dudlesz erdő és a Bécsi domb vonulatára, a Virág völgyre és az Aranyhegyre nyílt kilátás. Az évek alatt folyamatos karbantartással, felületkezeléssel igyekeztek óvni az építményt, ennek részeként 2013-ban lecserélték a régi járószintet és a tetőt is (3. ábra). [2] [3] [4] [5] [6]

VI. A kilátók szerkezeti megoldásai

A fát, mint alapanyagot, már kezdetektől fogva alkalmazott az emberiség. A tervezés és kivitelezés idővel egyre kifinomultabb, gazdaságosabb, ökológiai szempontból megfelelőbb lett.

Alapjában véve megkülönböztethetünk tömör faanyagból és rétegelt-ragasztott szerkezetből, azon belül gerendából vagy íves tartóból készült fa kilátókat.

A szerkezetben felhasznált anyagok tulajdonságai és lehetőségei

A faanyagok szilárdsági tulajdonságait jelentősen befolyásolja a fafaj, ezért a vizsgálatok során mindig figyelembe vettem a szabványok által összefoglalt anyagi jellemzőket, hiszen a fából kialakított építőipari szerkezeteket a határfeszültségek elve alapján méretezik. A határfeszültségek szerint tervezett méretezés előírásait az MSZ 15025/1 tartalmazza. A felhasználandó fafajokat I., ill. II. szilárdsági osztályokba sorolják.

Mivel a faanyagok ortogonálisan anizotróp anyagok, tehát tulajdonságaik mindegyik irányban mások, a tömör szerkezetek helyett gyakran alkalmaznak rétegelt-ragasztott megoldásokat is, amelynél már kiszámíthatóbban lehet az anyag szilárdsági tulajdonságaival számolni, mivel jelentős mennyiségű fahibát is ki lehet ejteni, akár azokat is, amelyek tömör faanyag esetén rejtve a szerkezetben maradtak volna. Ez a



4. ábra: Sörházdombi kilátó íves RR-szerkezete [6]
(Szigethy Balázs)

szerkezeti megoldás nagyobb teherbírással is rendelkezik, valamint a szükséges keresztmetszeti korlátokat is áthidalja. Megkülönböztethetünk egyenes (rétegelt-ragasztott gerenda, például a később tárgyalt új kilátószerkezet) és ívelt szerkezeteket (4. ábra), melyek alkalmazása függ a helyszíntől, fesztávtól, tervezői ötletektől, esetleg formai megkötéstől.

A rétegelt-ragasztott faanyagok jellemzői, előállítási módjai

A rétegelt-ragasztott szerkezeteknek számos előnye van, melyek közül talán a legkiemelkedőbb az akár 70 méteres fesztávok áthidalása, de formastabilitása és kombinálhatósága is előnyös. Karbantartási igényük csekély, megjelenésük természetes és esztétikus. Hátránya viszont a magas előállítási költség, így fontos a szerkezet tudatos tervezése, például csarnokokba, uszodák fölé, kilátók tartószerkezeti anyagának, mivel egy átlagos lakóépület felépítése nem követeli meg az általa nyújtott különleges előnyöket, valamint anyagilag sem lenne megtérülő. A rétegelt-ragasztott tartók tervezése során a következő követelmények betartása szükséges az Építésügyi Műszaki Iránytervezet - Rétegelt ragasztott faszerkezetek tervezési és kivitelezési szabályai (2018) szerint: „Állékonyság, mechanikai szilárdság, tűzbiztonság, higiénia, egészség- és környezetvédelem, biztonságos használat és akadálymentesség, zaj- és rezgés elleni védelem, energiatakarékosság és hővédelem, vagyonvédelem, természeti erőforrások fenntartató használata, állagvédelem.” [7]

A gyártás alapvetően több műveletből tevődik össze. A teljes folyamat a faanyag műszáritásával kezdődik, amely a beépítési nedvesség és az egységes nedvességtartalom kialakítására szolgál. A hazai szabályzatok szerint a megengedett nedvességtartalom különbség 1-2%, így érdemes azt a gyártás közben is nyomon követni. Ezt követi a faanyag osztályozása, majd a hibák kiejtése és hosszitoldás. A ragasztófelhordást gyalulás és portalanítás előzi meg. A ragasztóanyag felhordása után rétegelés és préselés, majd pihentetés után utólagos megmunkálások következnek, mint a felület gyalulása, pontos hosszúság levágása, csiszolás, látszó minőség esetén esztétikai javítások. A csomagolásra utolsó fázisban kerül sor. A kötések, kötőelemek beépítése egyedi gyártás keretében történik. Ezek előállítására általában CNC megmunkáló központokban kerül sor, a beépítés minősített vasalatokkal történik. [8] Vanya Csilla - Kánnár Antal - Rabb Péter (2016) vizsgálataikkal kimutatták, „... hogy csavaros kötés esetén – mely a dagadási zsugorodási folyamatokat a csavaroknál koncentrálódó erőhatással akadályozza meg – repedések indulnak el.”, viszont „A szeglemezes típusú kapcsolatok a tartóelemet összefogják és a keletkező feszültségek sok ponton kisebb feszültségcsúcsok segítségével akadályozzák az alakváltozást, így ebben az esetben nem alakulnak ki számottevő repedések. Ezek alapján javasoljuk szeglemezes típusú kapcsolatok kialakítását.” [9]

A rétegelt-ragasztott tartók osztályozása

A rétegelt-ragasztott gerendára vonatkozó előírások terén az MSZ EN 14080-2013 szabvány tér ki részletesen. A szabvány bevezetése óta kizárólag szilárdságilag osztályozott alapanyagokból készíthető RR tartó. A teherbírást elsősorban a lamellák teherbírása határozza

meg, melyek különböző tartó felépítéseket alkothatnak. Amennyiben a keresztmetszet minden rétege ugyanolyan szilárdsági tulajdonságokkal rendelkező faanyagból kerül előállításra, a szerkezet egésze azzal megegyező besorolást fog kapni. Példának okáért egy C24-es lamellákból felépülő tartó GL24H besorolással fog rendelkezni, ahol a végén jelölt „H” a homogenitást jelöli. Kombinált felépítés esetén a húzott és nyomott övben, ahol a legnagyobb igénybevétel éri a keresztmetszetet, nagyobb szilárdsággal rendelkező lamellákat, míg a középső részeken kisebb teherbírású elemeket határoznak meg, melynek köszönhetően optimális, takarékosabb keresztmetszeti felépítéssel lehet tervezni. A szabvány pontosan megfogalmazza az egyes teherbírási értékekhez tartozó arányokat. A felépítés lehet még a homogén és kombinált mellett aszimmetrikus is, ekkor már bonyolultabb módon történik a szilárdsági osztályozás. Rétegelt-ragasztott gerenda esetén a lamellák maximális száma öt, míg ívelt tartóknál korlátlan. [10]

Hibakiejtés és hosszoldás

A korábban felsorolt osztályozás mellett a fahibák kiejtése is szükséges a gyártás során. A megengedhető fahibák méretét fahiba típusonként az MSZ EN 1912-2012 és DIN 4074-1 szabványok határozzák meg. A figyelembe vehető fahibák az Építésügyi Műszaki Iránytervezet (2018) szerint a túl nagy évgyűrű méret, amely gyorsan nőtt, gyenge faanyagra utal, a nagyméretű göcsök és arányuk a keresztmetszethez, a túlságosan ferde rostlefutás, tekeredés, repedés, nagyméretű vagy/és sokszámú gyantatáska, rovarragással károsított faanyagok, a fűrészáruba került bél, növekedési hibák (vaseres, nyomott fa). [7] Lokális jellegű fahiba esetén annak kiejtése után a faanyag felhasználható, a hosszoldásokra jellemző ékcspas toldással hosszabbítható.

Ragasztási technológiák

A rétegelt-ragasztott tartók együttműködését alapvetően a ragasztó nyírési szilárdsága határozza meg, amelynek minden esetben nagyobbak kell lennie a felhasznált faanyag nyírószilárdságánál, vagyis törésteszt esetén akkor felel meg a ragasztás anyag- és felhordási minősége, amennyiben a fa törik el. Az alkalmazott ragasztóanyag teherviselés szempontjából osztályozott tartószerkezeti ragasztó lehet, amelynek a többi faiparban alkalmazott ragasztótól eltérően nincs kúszása. Ebből adódóan vízállósági besorolásuk sem „D1”-től „D4”-ig osztályozható, hanem „A1”-től „A5”-ig, ahol minél nagyobb a szám, annál jobb minőséget kaphatunk. Ilyen, abszolút kültéri szerkezeti ragasztónak minősül a fenol-formaldehid (csak gerenda gyártására alkalmas a hőprés igénye miatt), rezorcin, rezorcin-formaldehid és fenol-rezorcin-formaldehid, emulziós polimer (izocianáttal), melamin-formaldehid. Ezek különböző

tulajdonságokkal rendelkeznek, más színek, kötési idő, gyártói lehetőségek határozzák meg, milyen esetekben választják az egyes típusokat. Rétegelt-ragasztott gerenda esetén a préselés könnyen megvalósítható, míg „Az íves tartók gyártása során a préskereteket kézzel kell feltölteni, a lamellák eligazítása majd a préserőt elosztó lamella behelyezése után középről két irányban kell megkezdeni a préskeretek megfeszítését. Ehhez – a tartó méretétől és a dolgozók rutinosságától függően – viszonylag sok időre lehet szükség, ezért ilyen esetben mindenképp a hosszabb nyitott időt lehetővé tevő típust kell használni.” – írja az Építésügyi Műszaki Iránytervezet - Rétegelt ragasztott faszerkezetek tervezési és kivitelezési szabályai (2018). [7] Nyitott idő alatt azon időtartam értendő, amely a ragasztó felhordásától a felületek összeillesztéséig telik el. A minőségellenőrzést nyírószilárdsági, rétegelválási, fugavastagsági vizsgálatokkal ellenőrzik.

Felületkezelés, faanyagvédelem

Fontos a kész szerkezet védelme a külső hatásoktól, erre szolgál a felületkezelés. Az abiotikus, tehát a környezet élettelen tényezői, mint a nedvesség, hőmérsékletváltozás, fény elleni védelemre lazúrok, lakkok, olajok szolgálnak. Tűzvédelmet illetően az 54/2014. (XII. 5.) BM rendelet az Országos Tűzvédelmi Szabályzat szerint olyan védőszerrel szükséges ellátni a szerkezetet, „... amely a vele hatékonyan kezelt – bevont, átítatott, telített – éghető anyag kedvezőbb tűzvédelmi osztályba sorolását meghatározott időtartamig, újratelezési időig biztosítja.” [7] A felhasznált favédőszereknek teljesítménynyilatkozattal kell rendelkezniük.

Esetünkben a régi kilátó tömör faanyagból, míg az újonnan épített rétegelt ragasztott gerenda elemekből készült, az alkalmazott fafajt a következő fejezetben tárgyalom.

VII. A vizsgált faanyagok

A régi, vizsgált szerkezet lucfenyő és kocsánytalan tölgy faanyagokból készült, míg az új, jelenleg is álló szerkezet már összetettebb anyagát illetően. A tartó oszlopai GL24h, tartógerendái C24 minőségű fenyőből, lépcsői és a padozat vörösfenyőből és tölgyfából vegyesen kerültek kivitelezésre. Alábbiakban a lucfenyő és kocsánytalan tölgy jellemzése történik, mint főbb tartószerkezeti faanyagok.

Lucfenyő (*Picea Abies*) [12]

A lucfenyő (5. ábra) Közép- és Észak-Európában elterjedt és az egyik legfontosabb fafaj. Nem igényes a talaj minőségével szemben, viszont a magyarországi, számára száraz és meleg éghajlat miatt főként Kőszeg, Sopron környékén és az Őrvidéken elterjedtebb. Zárt állományokban kimondottan hengeres, egyenes



5. ábra: Lucfenyő és termése [15]

törzset fejleszt. Makroszkópos képét illetően gyakoriak a gyantajáratok, a faanyag színe fehéres, szalmássárga. Homogén fafaj, szabályos sorokba rendeződött tracheidákból áll. Elsődleges károkozói az epidémikus megbetegedések, szűkárosodások. Szerkezeti felhasználását elsősorban a göcsösség befolyásolja. Gyakran található a belsejében gyantatáska. Csekély ellenállást mutat a károsítókkal szemben. Védőkezelést igényel a szerkezetekben felhasznált lucfenyő. Alacsony sűrűségű, mely jelentősen függ a termőhelytől. Könnyen vetemedik, viszont szilárdsági és rugalmassági jellemzői kiemelkedők. Mechanikai tulajdonságait illetően a szakirodalmi adat ($u=12\%$) nyomószilárdságnál 35-50-79 MPa, hajlítószilárdságnál 49-78-136 MPa. Felhasználási területei a mély- és magasépítés, vezetékoszlopok, fűrészelve gerendák, építőipari elemek gyártása, rakodólapok. Gyalult kivitelben ablakok, ajtóelemek, lambériák, lépcsők készíthetők belőle. Nagy értéke van a húros hangszerek gyártásának területén jó akusztikai tulajdonságai miatt.

Kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea*) [13]

A kocsánytalan tölgy (6. és 7. ábra) a domb- és hegyvidék fája, minden középhegységünkben megtaláljuk. Egyes állományokat a gyertyánnal és a cserrel alkot. Termőhelytől és egészségi állapottól függően átlagosan 80-150 éves korban termelik ki. Évgűrűszerkezete egyenletes, keskeny, nagy átmérőjű edényei szabad szemmel is láthatóak. Hosszparenchimái gyakran hűrirányú hullámos sávokba rendeződnek. Fahibái lehetnek a görbeség, göcsösség, fagylécesség, bélrepedések, de később bogárrágás is előfordulhat. Sűrűsége ($u=12\%$) 750 kg/m^3 , pH értéke 3,3-3,9, tartóssága a hármas kategóriába sorolható. Mechanikai tulajdonságait illetően 12%-os nedvességtartalomra vonatkozóan szakirodalmi nyomószilárdsága 55,7 MPa, hajlítószilárdsága 112,4 MPa. Sok mindenre felhasználják, kültéren és beltéren egyaránt, például vasúti talpfák, faházak, hidak, vízben cölöpök, bútorok, parketták, burkolatok, hordók bölcsők, koporsók készítésekor, értékes fafaj.



6. ábra: Tölgyfa [16]



7. ábra: Tölgy termése [17]

VIII. A bontás menete, minták beszerzése

2018 nyarán a tulajdonos, a TAEG Tanulmányi Erdőgazdaság Zrt. egy ellenőrzése során vette észre, hogy a tartószerkezeti gerendavégek, valamint egyéb faegységek elkorhadtak (8. ábra), a kilátóra felmenni életveszélyessé vált. Ezt követően szakértők is megvizsgálták az építményt, akik szintén megerősítették ezt a tényt. A kilátót körbekerítették, táblákat helyeztek ki, valamint lebontották az alsó lépcsőfokokat a biztonság érdekében. Mivel mindenképpen szerettek volna új, biztonságos építményt emelni a helyére, a bontás előtt pályázatot írtak ki, melyre a nyertes 2021-ben tisztázódott. A régi kilátó így ebben az évben, szeptember 24-én került végül elbontásra. A folyamatot megnehezítette a géppel való nehéz



8. ábra: A kilátó korhadt lábazata [1]

megközelíthetőség, valamint a terepviszonyok. A minták beszerzésére a tulajdonossal való egyeztetések és a törmelék telephelyre való szállítása után került sor, 2021. október 1-én. A

szerkezeti elemek beszerzésénél nehezítő tényező volt a szállításhoz képest túl nagy elemek, valamint sok része még egymáshoz volt rögzítve csavarokkal, vasakkal, vagy épp a villámhárító vezetéke tartotta össze őket. Igyekeztem többféle szerkezeti helyről mintákat szerezni, ezeket a vizsgálatok egyes pontjainál tárgyalom.

A kiválogatott mintákat (9. ábra) a mérések helyszínére, a Soproni Egyetem Műszaki Mechanika és Tartószerkezetek Intézet Tartószerkezet-vizsgáló Laboratóriumához szállítottam. Az előkészítést illetően a vizsgáló és daraboló gépek védelme, valamint a mérési értékek pontossága érdekében az anyagból kiszedtük a szögeket, csavarokat és egyéb rögzítő vasalatokat (10. ábra). A vizsgálatokat ezt követően kezdtük elvégezni, először roncsolásmentes mérésekkel, majd a szilárdsági elemzésekkel.

A következőkben további képeket láthatunk a felmérésről, melyeken megfigyelhető a lebontott állapot, további korhadások, és beázás miatti oxidáció a csavarhelyeken. (11-17. ábrák)



9. ábra: Válogatott minták [1]



10. ábra: Kiszedett szögek és vasalatok [1]



11. ábra: A lebontott szerkezet [1]



12. ábra: A lebontott szerkezet [1]



13. ábra: Korhadt padozat [1]



15. ábra: Befogott lábazati elem [1]



16. ábra: Törött elem [1]



14. ábra: Korhadt szerkezeti elem [1]



17. ábra: Oxidálódott csavarhely [1]

IX. Elektronmikroszkópos vizsgálatok

Dr. Kánnár Antal (2014) így fogalmazott a faanyag mikro-szerkezetével kapcsolatban: „A faanyagban mint porózus szerkezetű szilárd anyagban a szilárdítás szerepét a fát felépítő sejtek – fenyőknél tracheidák, lombos fáknál elsősorban farostok – sejtfalai látják el.” [18] A cellulózból álló sejtfalak fonalmolekulát képezve, párhuzamosan rendeződve, kötegeket alkotva elemi fibrillákká rendeződnek. Egyes molekulaláncok kristályszerkezetet alkotnak, a kristályos szerkezetű cellulózt nevezzük micelláknak. Kánnár A. (2014) így fogalmazott továbbá: „A szerkezet kristályos jellege biztosítja a cellulóz kedvező szilárdsági tulajdonságait és nagy kémiai stabilitását, míg a másodlagos kötések a hossz tengelyre merőleges szilárdságát növelik.” [18] Az elemi fibrillák tovább szerveződését mikrofibrilláknak nevezzük, melyeknek a fennmaradó réseibe hemicellulóz, a faanyag színéért felelős lignin, vízmolekulák és egyéb molekulák találhatóak. „A sejtfalrétegek tehát a vázanyagnak tekinthető mikrofibrillákból és a töltőanyag szerepét betöltő, amorf jellegű hemicellulózból és ligninből épületnek fel.” (Kánnár A. 2014.) [18] A sejtfal a citoplazmából alakul ki, így keletkezik az elsődleges (primer), másodlagos (szekunder) és harmadlagos sejtfal. Ezen kialakult felépítés nagyban növeli a faanyag különböző irányokban mutatott szilárdságát. A sejtek állapotáról elektronmikroszkóp segítségével kaphatunk átfogó képet, amely módszerrel a roncsolódott faanyag mikro-szintű tönkremenetele jól feltérképezhető és összehasonlítható egy egészséges szerkezettel.

Az elbontott kilátó roncsolódott faanyagainak állapotát ezen információkból kiindulva elektronmikroszkópos vizsgálattal mértem fel, a tönkremenetel kiváltó okának és a roncsolódás mikro-szintű kiterjedtségének meghatározására. A folyamat során HITACHI S-3400N SEM típusú elektronmikroszkópot használtuk, amelyet a 18. ábrán is láthatunk. Lényege, hogy a baloldalon is látható készülékbe téve a mintába elektronokat juttatunk, ezek mozgásának érzékelése által a gép képet tud kialakítani a mintáról. A műszer nem látható fénnel dolgozik, a képalkotást négy szegmens, detektor végzi. A képminőség a vezetőképesség növelésével, valamint nagy mélységélességgel javítható.



18. ábra: Elektronmikroszkóp [20]

Több részlet már szabad szemmel is jól kivehető, amint azt a 19. ábra is mutatja. A középső részeken barnakorhadást (narancssárga jel), míg az azt körül ölelő részeken fehérkorhadást (fehér jelölés) figyelhetünk meg. Elszórtan kevés vöröskorhadásra utaló jeleket is találtunk. Megfigyelhető továbbá egy hosszú rovarjárat is, mely ismeretlen farontó rovartól származhat (zöld téglalap), továbbá hangyák által használt járatok is fellelhetők (sárga jelölés). A korhadást a faanyag földdel való közvetlen érintkezése és nedvességgel való találkozása válthatta ki, mely a rovaroknak is kedvező környezetet biztosított.



19. ábra: Szabad szemmel vizsgált minta [1]

A korhadások típusát az általuk mutatott képpel lehetett jól elkülöníteni. Barnakorhadás a cellulózok és hemicellulózok gomba által okozott bontásával keletkezhet, kockás repedezettséget mutatva. Fehérkorhadás esetén ezen alkotórészek mellett a lignin is lebontásra kerül, - amely a faanyagok színét biztosítja, - így annak kifehéredését tapasztalhatjuk, valamint puha, szálás szerkezet alakul ki. A mintákon a göcsöknél, valamint a csavarok helyén oxidációt is megfigyelhetünk, amint azt a 20. és 21. ábra is mutatja.



20. ábra: Göcs oxidációja [1]



21. ábra: Csavarhely oxidációja [1]

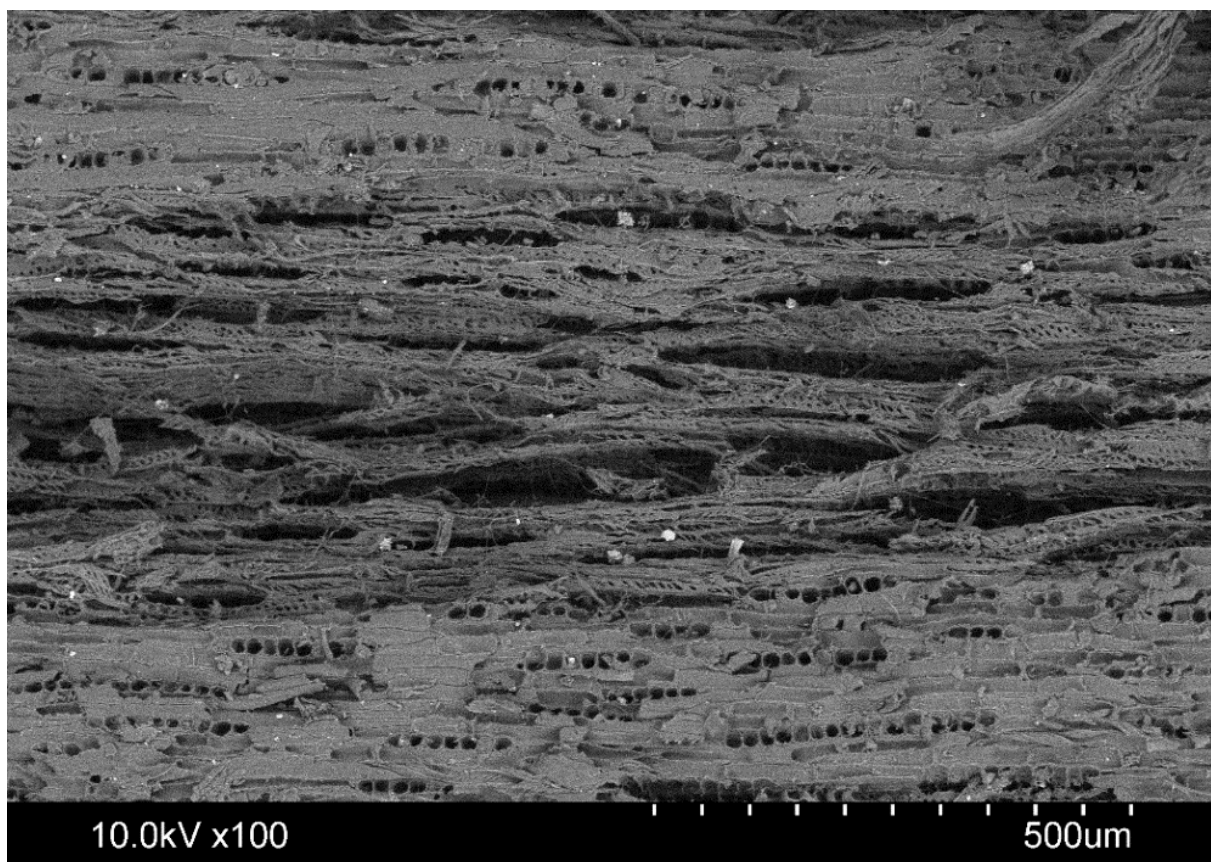
A mintákat leválasztás után a tárgytartó asztalra, majd a készülékbe helyeztük s elkezdtük azoknak elektronmikroszkóp alatti vizsgálatát (22. ábra).

Első képen (23. ábra) 100-szoros nagyításban egy fehérkorhadt részt láthatunk, melyet viszonylag ép szakaszok határolnak. Jól láthatóvá válik a puhább, szálas szerkezet. Enyhe, pókhálószerű mintát is felfedezhetünk, mely a szabad szemmel nem látható gombafonalakat mutatja meg. A 24.

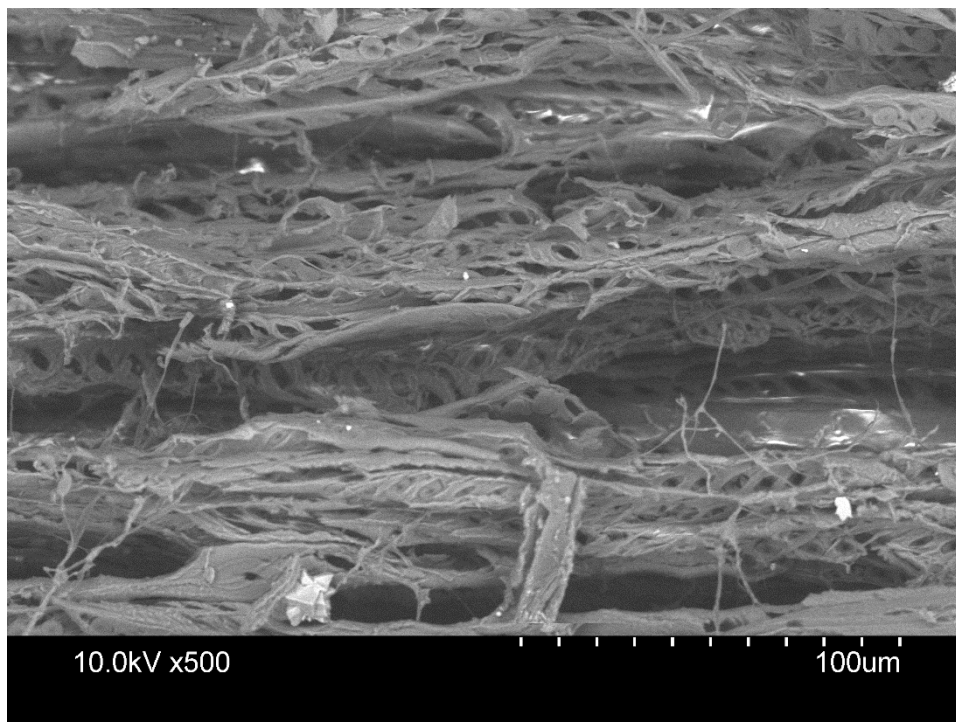
ábrán, nagyobb, 500-szoros ráközelítéssel még kivehetőbbé válik a roncsolódott szerkezet, valamint már teljesen látható a gombafonalak rajzolata.



22. ábra: A vizsgált minták [1]

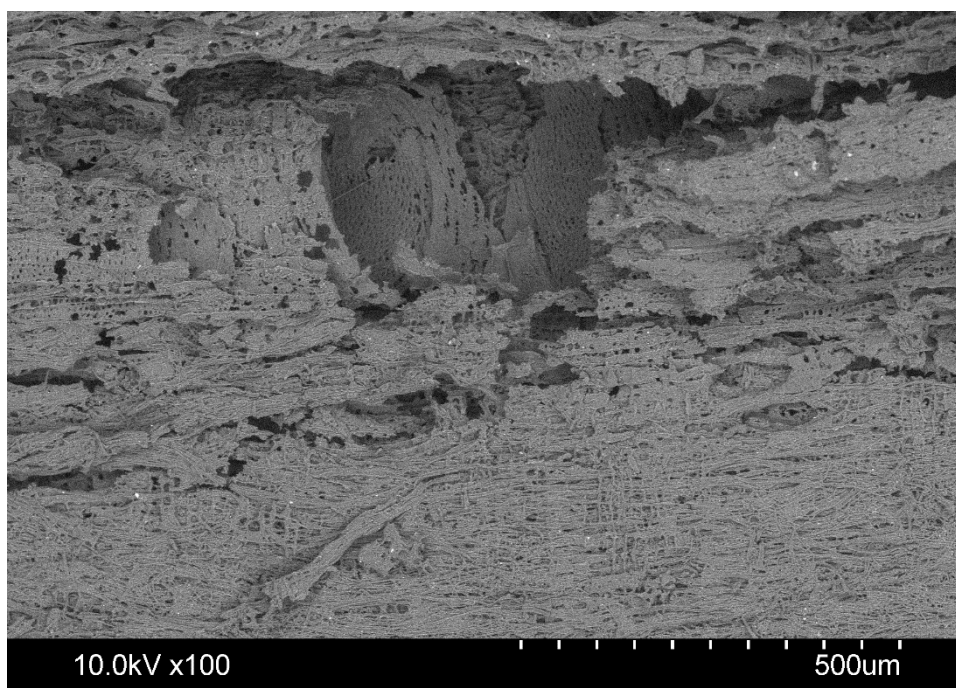


23. ábra: Fehérkorhadás 100-szoros nagyításban [1]

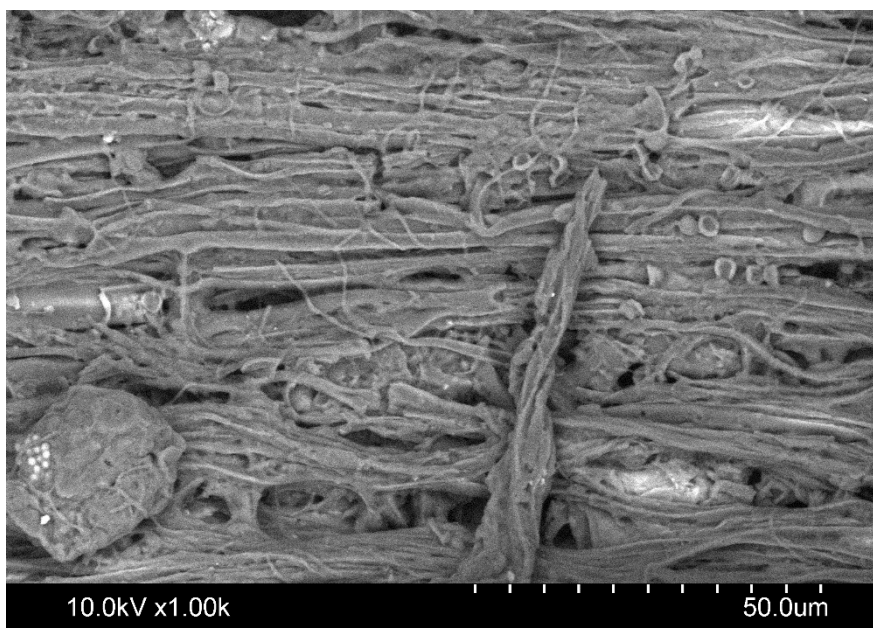


24. ábra: Fehérkorhadás 500-szoros nagyításban [1]

A következő, 25. ábrán vöröskorhadást figyelhetünk meg 100-szoros nagyításban, amely jellege látványosan elkülöníthető a fehérkorhadástól, sokkal szivacszerűbb rajzolatot figyelhetünk meg. Azt követi a 26. ábra, ahol ezerszeres nagyításban még jobban láthatjuk, ahogyan itt is megjelennek a gombafonalak, szinte teljesen behálózva a mintatestet. Ezeken a képeken láthatjuk, hogy a gomba már lebontotta a sejtfalat, szinte csak a rostkötegek maradtak.

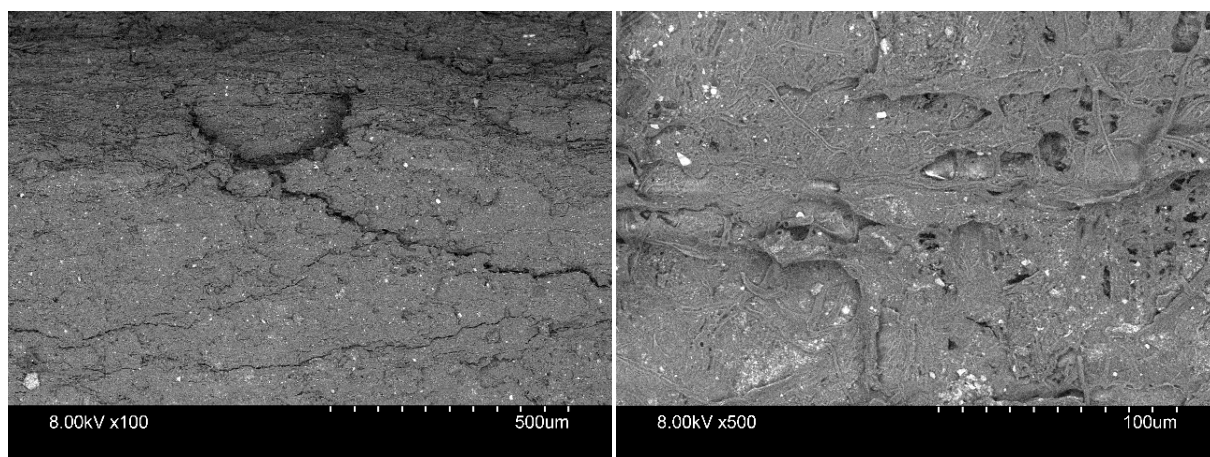


25. ábra: Vöröskorhadás 100-szoros nagyításban [1]



26. ábra: Vöröskorhadás 1000-szeres nagyításban [1]

A 27. és 28. ábrán a felületről készült fényképet láthatjuk, amelyen gyakorlatilag egy micéliumréteget lehet látni, a fa szerkezete már nem is észrevehető.

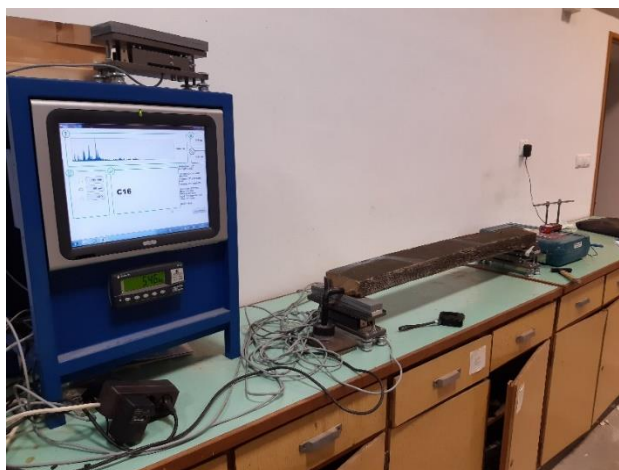


27. és 28. ábra: Micéliumréteg a felszínen 100-szoros és 500-szoros nagyításban [1]

Összességében tekintve a tönkremenetelt elsősorban a víz faanyaggal való érintkezése okozhatta. A nedves közeg létrejötte a szerkezetben kedvező közeget biztosított korhadás beindulásának, majd később a farontó rovarok, hangyák élőhelyének kialakulására. Innentől szinte velejáróként, párhuzamosan a korhadással kezdtek el a gombafonalak megtelepedni a felszínen és bejutni a belső rétegekig. A károsodás oka így több tényezőből állt össze, mikroszkópikus szinten kiindulva, míg végül szabad szemmel is súlyos tartószerkezeti problémákat generált. A lábazat faanyagvédelmileg nem volt kellően biztosítva, így az építmény nem tudta tovább ellátni biztonságosan funkcióját.

X. Dinamikus rugalmassági modulusz mérés

Az elektronmikroszkópos vizsgálatok után első lépésként dinamikus rugalmassági modulusz mérést végeztünk. A vizsgálathoz egy magyar fejlesztésű, hangterjedésen alapuló roncsolásmentes vizsgálati módszert alkalmaztunk, mellyel meghatározhatjuk a sűrűséget, szilárdsági értékeket, rugalmassági moduluszt, valamint alkalmas még egyéb besorolásokra is, például fahibák szempontjából (29. ábra).



29. ábra: Géphez kapcsolt szerkezet mintával [1]



30. ábra: A szerkezet felépítése: Baloldalon a mikrofon, jobb oldalon a lézer, alátámasztásnál szivacsos mérleg, a minta mellett kalapács [1]

A mérés elve

A vizsgálat egy géphez szerelt szerkezetből áll, mely több részből tevődik össze. A faanyagot két támaszra helyezzük, ez egyben mérleg is, amely megadja a gépnek a minta tömegét. Hogy egyéb rezgés az alátámasztásnál ne keletkezzen, azon egy szivacs játszik fontos szerepet. A



31. ábra: Egy minta vizsgálata [1]

hosszúságot egy lézer segítségével szintén automatikusan méri a gép korábbi beállítás alapján (30. ábra). A keresztmetszeti adatokat manuálisan tápláltuk be a programba. A minta beállítása, és méreteinek meghatározása után egy kalapács segítségével megkoppintjuk a faanyag egyik

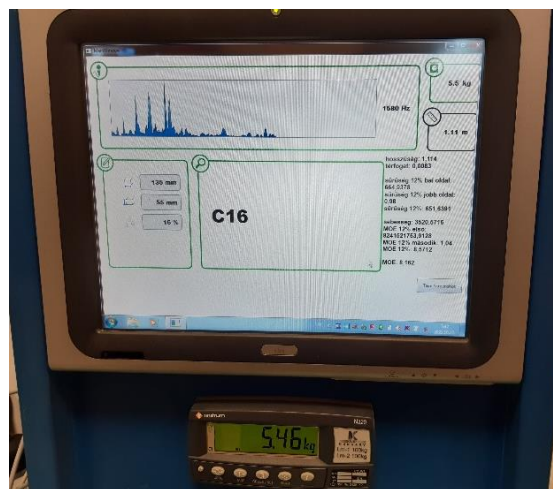
végét, melynek másik oldalán egy érzékeny mikrofon helyezkedik el, ez rögzíti a hanghullámok érkezését (31. ábra). A gép ezek alapján tudja meghatározni a korábban említett tényezőket (32. ábra). Az alkalmazott képleteket itt láthatjuk:

$$\rho = \frac{m}{l * w * h * (1 + u/100)} \quad MOE_{mea} = \frac{m}{l * w * h} (2lf)^2 0.92(1 + u/50)$$

Ahol „ ρ ” a sűrűség, „ m ” a tömeg, „ l ” a hosszúság, „ w ” a szélesség, „ h ” a magasság, „ u ” a nedvességtartalom [%], „ MOE ” a rugalmassági modulusz, „ f ” a longitudinális hanghullám frekvenciája a gép segédlete szerint. [19]

Mérési eredmények

A mérés során 8 mintát vizsgáltunk a fentebb leírt módszerrel, az eredményeket az alábbi táblázatban foglaltam össze, ahol „ l ” a hosszúság, „ a ” a szélesség, „ b ” a magasság, „ m ” a tömeg, „ ρ ” a sűrűség, „ E ” pedig a rugalmassági modulusz (1. táblázat).



32. ábra: A monitor képe [1]

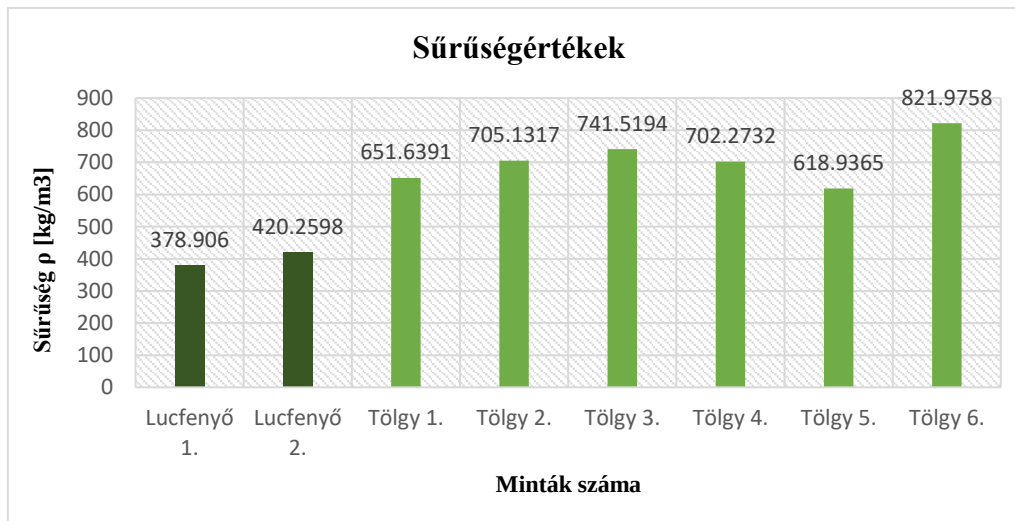
Ssz.	Fafaj	l [m]	a [mm]	b [mm]	m [kg]	ρ [kg/m ³]	E [MPa]	Szilárdsági osztály
1.	Lucfenyő	1.36	160	160	13.62	378.906	11008.8	C22
2.	Lucfenyő	1.47	140	140	12.52	420.2598	12325.9	C27
3.	Tölgy	1.11	135	55	5.46	651.6391	8571.2	C16
4.	Tölgy	1.52	140	140	21.60	705.1317	11393.4	C22
5.	Tölgy	1.13	260	50	11.24	741.5194	11762	C24
6.	Tölgy	1.16	220	45	8.30	702.2732	14010.8	C35
7.	Tölgy	1.17	250	50	9.34	618.9365	9682	C20
8.	Tölgy	1.16	245	45	10.80	821.9758	12205.3	C27

1. táblázat: Dinamikus rugalmassági modulusz mérés eredményei [1]

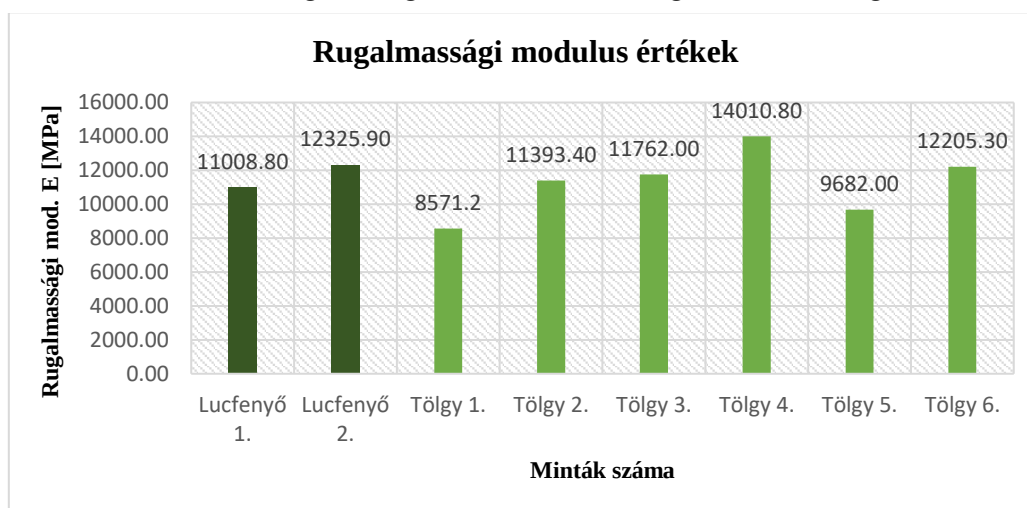
A faanyag nedvességtartalma $u=18\%$ volt, ezeket az adatokat a gép átszámolta 12%-os értékekre, a táblázatban már azokat tüntettem fel, mint mértékadó egyensúlyi fanyedvesség.

A mérési eredmények kiértékelése

A mérési eredményeket oszlopdiagramban is ábrázoltam sűrűség és rugalmassági modulus alapján, így vizuálisan is összevethetők a mért eredmények (33. és 34. ábra). A lucfenyő mintákat sötétzölddel, a tölgy mintákat világoszölddel jelöltem mindkét grafikon esetében.



33. ábra: Dinamikus rugalmassági modulusz méréssel meghatározott sűrűségértékek [1]



34. ábra: Dinamikus rugalmassági modulusz méréssel meghatározott értékek [1]

Megfigyelhetjük, hogy a lucfenyő minták rendelkeztek a legkisebb sűrűséggel, viszont a rugalmassági modulus értékeinél nem ezt tapasztaljuk. A mérés eredményei közül külön kiemelném a 7-es számú mintatestet, amely a koppintás végénél hosszanti irányban repedezett volt (35. ábra). Ennél mind a három ép, vagy kis repedéssel rendelkező felületen elvégeztük a mérést, viszont annak eredményei jelentős különbséget mutattak. A vizsgálatot többször elvégeztük, majd az eredményekből az átlagot jegyeztük fel a minta adataihoz.



35. ábra: A 7. minta repedezettsége [1]

XI. Nyomószilárdsági vizsgálatok

A következő fázisában megtörtént az anyagok darabolása a további vizsgálatok elvégzésének érdekében. A nyomószilárdság a fának a rostok vagy a rostokra merőleges irányban végzett terheléssel szembeni ellenállóképessége. A vizsgálatokat henger és kocka mintatesteken is elvégeztük, olyan mintákon, amelyek a kilátó tartóoszlopain szintén nyomó igénybevételnek voltak kitéve (36. ábra).



36. ábra: Nyomószilárdsági vizsgálat [1]

A mérés elve

A vizsgálat során 5 db hengeres tölgy (37. ábra), 2 db kocka alakú tölgy, és 2 db luc egészséges, de repedezett gerendaelem mintát vizsgáltunk. A mintákat Matest Servo-Plus Evolution (3000 kN) anyagvizsgáló gépbe helyeztük (36. ábra), amely fokozatosan növekvő nyomó igénybevételnek tette ki az oszlopokat és gerendákat, 0.600 MPa/sec sebességgel. A műszer grafikont rajzolt a faanyag viselkedéséről, valamint feltüntette a legnagyobb erőt a tönkremenetel pillanatában. A gép 40%-os visszaesésig terheli a mintát, ekkor automatikusan leáll.



37. ábra: Hengeres mintatestek [1]

Mérési eredmények

A mérési eredményeket az alábbi táblázatokban foglalom össze, ahol „d” az átmérő, „a” és „b” a keresztmetszeti méretek, „h” a magasság, „F_{max}” a maximum erő, a „σ” nyomószilárdság pedig a maximális erő és a próbatest keresztmetszetének területének hányadosaként adódott, mértékegysége [MPa]. Az adatokat külön bontottam a hengeres oszlopból származó mintákra (d = 20,5 cm, h = 15 cm)



és a gerendából származó kocka formájú mintákra (fenyő: 19,5 cm x 19,5 cm, h = 15 cm, tölgy: 23,0 cm x 18,5 cm, h = 20 cm) (38. és 39. ábra).

38. ábra: Kocka mintatest a vizsgálat után [1]

Hengeres oszlopminták – tölgy				
Sorszám	F _{max} [kN]	σ [MPa] (u=16%)	σ [MPa] (u=12%)	Szilárdsági osztály
1.	1402.269	42.060	48.790	D70
2.	1500.930	45.019	52.222	D70
3.	1243.144	34.287	39.773	D70
4.	1057.365	31.715	36.790	D50
5.	1484.948	44.540	51.666	D70

2. táblázat: Hengeres oszlopminták nyomószilárdsága [1]

Kocka gerendaminták					
Sorszám	Fafaj	F _{max} [kN]	σ [MPa] (u=16%)	σ [MPa] (u=12%)	Szilárdsági osztály
1.	Lucfenyő	1866.419	49.084	56.937	C50
2.	Lucfenyő	1903.326	50.055	58.064	C50
3.	Tölgy	1750.764	41.146	47.729	D70
4.	Tölgy	1599.185	37.584	43.597	D70

3. táblázat: Kocka gerendaminták nyomószilárdsága [1]

A mérési eredmények kiértékelése

A táblázatban szilárdsági értékeket is tüntettem fel, melyeket a rostirányú nyomás értékei alapján „A szerkezeti faanyagok Eurocode5 szilárdsági osztályai” nevű táblázatból kerestem ki. Mivel a szakirodalom légszáraz értékre vonatkoztat, ezért átszámoltam az értékeket 12%-os nedvességtartalomra, ezeket is a feltüntettem a táblázatban. A légszáraz nyomószilárdság meghatározásához az alábbi képlettel számoltam:

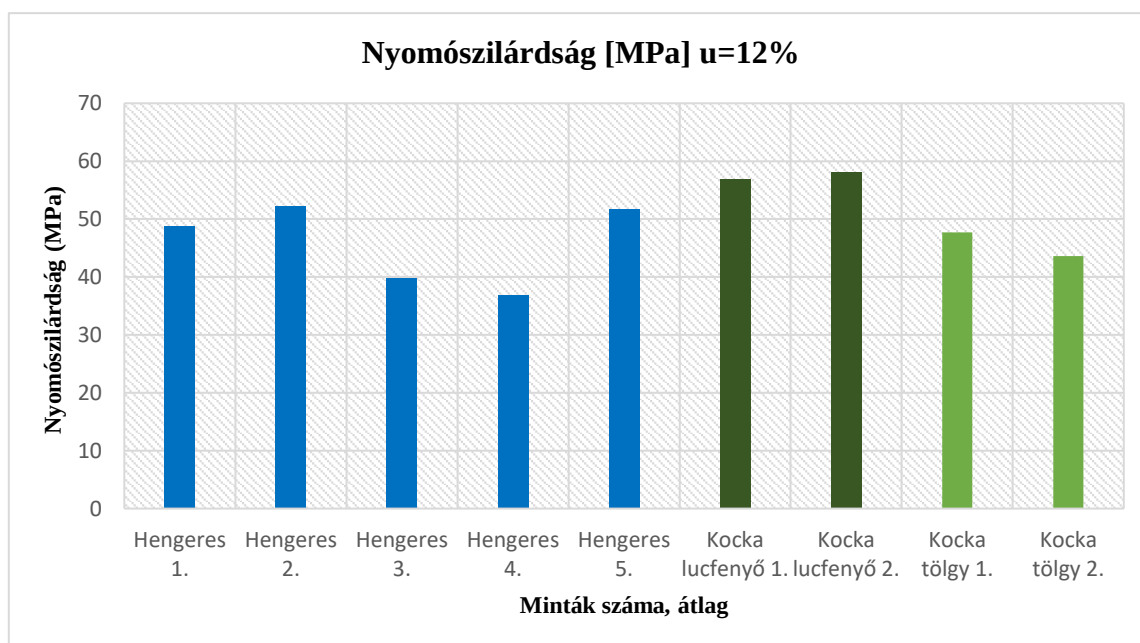
$$\sigma_{ny12} = \sigma_{ny} \cdot [1 + \alpha(u - 12)]$$

Ahol: σ_{ny} = nyomószilárdság, $\alpha = 0,04$, $u = 16\%$.

A 12%-os légszáraz nyomószilárdsági értékek összehasonlítására egy közös oszlopdiagramot is készítettem (40. ábra). A jelölések 1-től 5-ig kék színnel a hengeres, 6-os és a 7-es sötétzölddel a fenyő, a 8-as és 9-es világoszöld színnel a tölgy gerenda mintákat jelölik.



39. ábra: Mintatest a vizsgálat után [1]

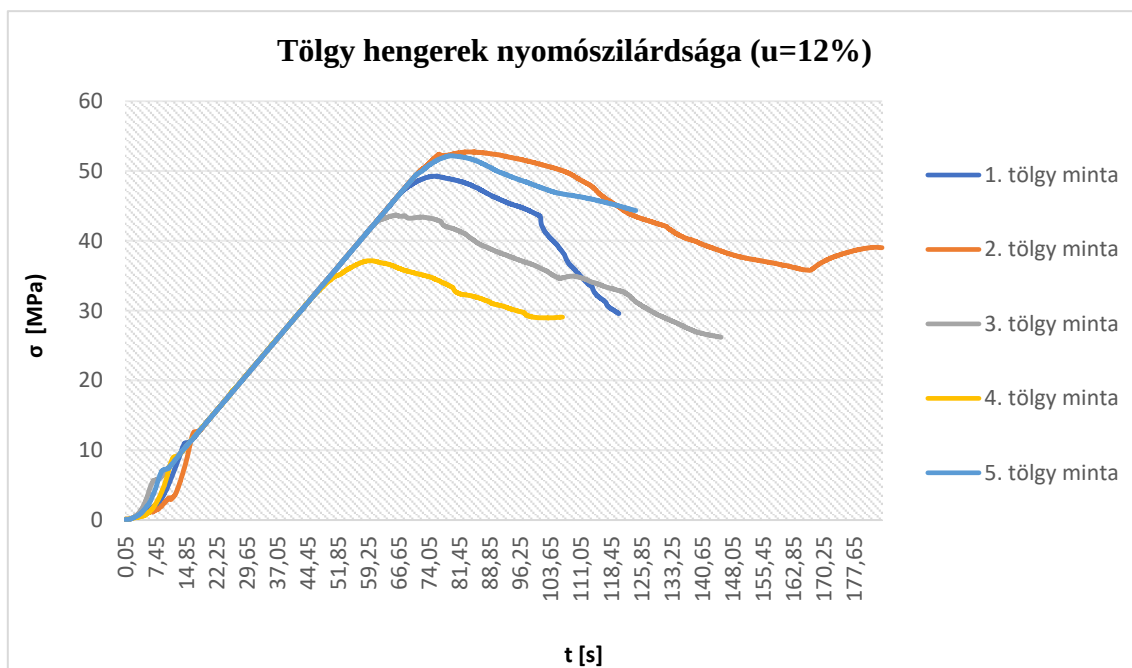


40. ábra: Nyomószilárdsági értékek arányai egymáshoz légszáraz értéken ($u=12\%$) [1]

A minták egymástól való eltérése a 4-es (minimum) és 7-es minta (maximum) esetében 21,274 MPa, viszonylag nagy szórást figyelhettünk meg a vizsgálat során. Fontos megjegyezni, hogy a szakirodalomban található értékhez képest a mintatestek mindegyike kisebb nyomószilárdsággal rendelkezett.

A mérési eredményeket és eltéréseket a következő, vizsgálat közben készített grafikonok is ábrázolják (41. és 43. ábra), melyen a következő fázisokat lehet megfigyelni. Az első szakaszban a faanyag felületi egyenletlenségei tűntek el a nyomás hatására, ezt követte a második, lineárisan emelkedő szakasz, miközben az erő felvétele történt. A harmadik szakaszon a minta repedezni kezdett a maximum erőfelvétel pontjáig. Ezt követte a negyedik szakasz, amely során csökkenő fázist vehetünk észre. Ekkor történik meg a faszerkezet roncsolódása, szemmel látható tönkremenetelt figyelhetünk meg. Ahol ugrásszerű változás történt, a faanyag nagyobb szintű repedése, törése következett be. A 4. hengeres tölgy minta esetén kisebb emelkedést figyelhetünk meg, ekkor a faanyag sejtjei annyira összenyomódtak, hogy újra erőt kezdett el felvenni.

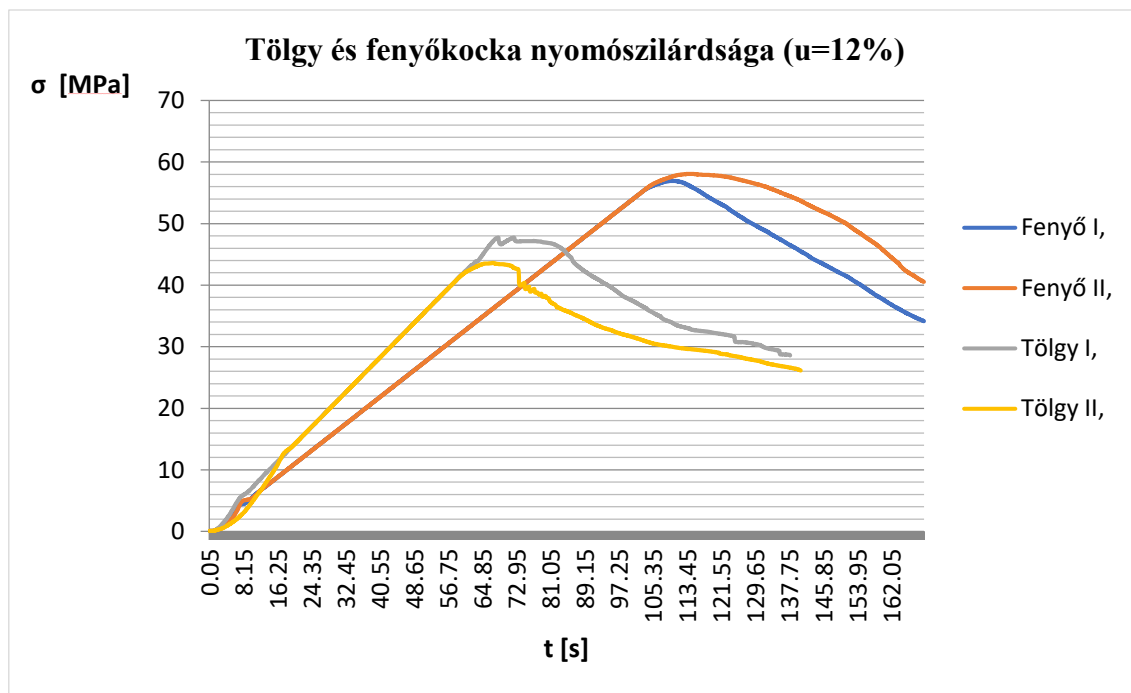
A hengeres (41. ábra) és kocka mintákat (43. ábra) külön diagramon ábrázoltam a jól elkülöníthetőség érdekében.



41. ábra: Hengeres minták tönkremenetele az idő és a nyomószilárdság függvényében [1]



42. ábra: Mintatest a vizsgálat után [1]



43. ábra: Kocka minták tönkremenetele az idő és a nyomószilárdság függvényében [1]

Jól megfigyelhető, hogy a hengeres mintatestek tönkremenetelére jellemzően közel azonos értékekkel és formával rendelkező diagramokat lehetett illeszteni a fafaj jellegéből adódóan, viszont a kocka mintáknál már elkülöníthetőbbek a két vizsgált fafaj tulajdonságaiból adódó jellemzők és tönkremeneteli adatok. A 43. ábrán megfigyelhető, amint a szürkével és citromsárgával jelölt tölgy minták jóval meredekebb szakaszt képeztek a kékkel és narancssárgával jelölt fenyőkéhez képest. Ennek oka, hogy a tölgy nagyobb rugalmassági moduluszal rendelkezik, így a második szakaszban fellépő, erőfelvétel közben létrejött emelkedés meredekebb képet alkot. A tölgy fenyő mintákénál kisebb szilárdságát annak nagyobb kezdeti repedezettsége okozhatta.

Bodig J. (1965) kimutatta, hogy a rostokkal párhuzamos nyomószilárdság esetén több, különböző alaptípust figyelhetünk meg a törésképekre vonatkozóan. Eszerint a rostirányú nyomó próbatestek tönkremeneteli típusai: összeroppanás, ék alakú hasadás, nyíródás, hasadás, összeroppanás és hasadás, a végek elcsúszása kinyílása. [21] A vizsgálat során kapott törésképek jellemzően további repedéseket, hasadásokat mutattak, amint azt a 42. ábra is mutatja, de észrevehető volt ék alakú hasadás is, amelyet a 44. ábrán figyelhetünk meg. Összességét tekintve a mérés sikeres volt, elemezhető értékeket kaptunk, és minden mintát a megfelelő módszerrel tudtuk vizsgálni.



44. ábra: Mintatest a vizsgálat után [1]

XII. Hajlítószilárdsági vizsgálatok

A vizsgálatok során négyponthoz hajlítószilárdsági vizsgálatot végeztünk (45. ábra). A vizsgálat célja a tölgy mintatestek szakirodalmi értékekkel való összehasonlítása. A négyponthoz hajlítási módszer azért előnyösebb a háromponthoz szemben, mivel ekkor a



45. ábra: Hajlított mintatest a vizsgálat után [1]

tönkremenetel oka tiszta hajlításra következik be. Nyírási törést a minta rövidsége okozhat. A gép 0.500 kN/sec sebességgel végezte a kísérletet, 50%-os visszaesésig terhelve a mintatestet. A mérési adatokat táblázatban foglaltam össze, ahol „a” a szélesség, „b” a magasság, „u” a nedvességtartalom, „F” a maximális teherbírás kN-ban, amely a maximális erő fele, a kétpontos terhelésből adódóan, „σ” a hajlítószilárdsági érték, „τ” a hajlítás során ébredő nyíróerő, ezek számítási módját a táblázat után tüntettem fel. A faanyagokat szilárdsági osztályokba is besoroltam az eredmények alapján. A vizsgálatot u = 15%-os nedvességtartalmon végeztük el, így az értékeket átváltottam u=12%-os nedvességtartalomra, a szilárdsági osztályba való besoroláshoz. A légszáraz hajlítószilárdság meghatározásához az alábbi képlettel számoltam:

$$\sigma_{h12} = \sigma_h \cdot [1 + \alpha(u - 12)]$$

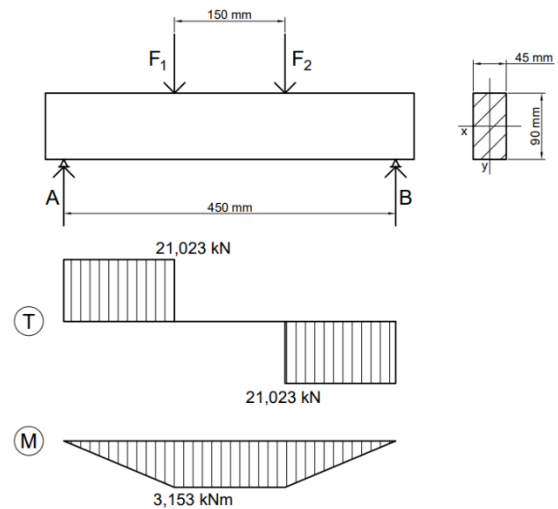
Ahol: σ_h = hajlítószilárdság, α = 0,04, u = 15%.

A mért és számított adatok táblázata itt látható (4. táblázat):

	a [mm]	b [mm]	u [%]	F [kN]	σ [MPa] (u=15%)	σ [MPa] (u=12%)	τ [MPa]	Szilárdsági osztály
1. minta	45	90	15	21,023	51,908	58,137	7,786	D50
2. minta	45	90	15	21,210	52,370	58,654	7,856	D50
3. minta	45	90	15	29,170	75,025	84,028	10,804	D70
4. minta	45	90	15	22,074	54,504	61,045	8,176	D60
5. minta	45	90	15	19,500	48,148	53,926	7,222	D50
6. minta	45	90	15	25,202	62,227	69,694	9,334	D60
Átlag	-	-	-	23,030	57,364	64,247	8,530	-
Minimum	-	-	-	19,500	48,148	53,926	7,222	-
Maximum	-	-	-	29,170	75,025	84,028	10,804	-
Szórás	-	-	-	3,553	9,832	11,012	1,316	-
Var%	-	-	-	15,430	17,141	17,141	15,431	-

4. táblázat: A hajlítószilárdsági mérések eredményei [1]

A táblázatban az értékekhez egy-egy „ σ ” és „ τ ” értéket is feltüntettem a hajlítószilárdság és a hajlítás során ébredő nyíróerő meghatározásaként. Számítási módjuk az első minta alapján a következőképpen történt. A számoláshoz felvázoltam a 46. ábrán is látható módon a pozicionálási és keresztmetszeti méreteket, valamint a nyíróerő és nyomatéki ábráját. Elsőként a reakcióerők számítása következett:



46. ábra: Nyíróerő- és nyomatéki ábrák [1]

$$\Sigma M_A = 0 = -21.0225 \cdot 0.15 - 21.0225 \cdot 0.30 + 0.45 \cdot B$$

$$B := \frac{21.0225 \text{ kN} \cdot 0.15 \text{ m} + 21.0225 \text{ kN} \cdot 0.30 \text{ m}}{0.45 \text{ m}} = 21.023 \text{ kN}$$

$$\Sigma F_y = 0 = A - F_1 - F_2 + B$$

$$A := 42.045 \text{ kN} - B = 21.023 \text{ kN}$$

A reakcióerők után meghatároztam az x tengelyre vonatkozó inerciát:

$$I_x = \frac{a \cdot b^3}{12} = \frac{45 \text{ mm} \cdot 90^3 \text{ mm}^3}{12} = 2733750 \text{ mm}^4$$

A „ σ ” hajlítószilárdságot $u = 15\%$ -os nedvességtartalmi értéken számítottam, a légszáraz hajlítószilárdság meghatározását a korábban leírt módszerrel utána határoztam meg. Az alkalmazott összefüggés:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_x}{I_x} \cdot y_{\max}, \text{ ahol:}$$

$\sigma_{\max}$ a hajlításból származó normál feszültség,

M_x a hajlító nyomaték a hajlítás tengelyére,

$y_{\max}$ a szélső szál távolsága a hajlítás tengelyétől.

$$\sigma_{\max} := \frac{3153000 \text{ N} \cdot \text{mm}}{2733750 \text{ mm}^4} \cdot 45 \text{ mm} = 51.901 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Tehát az első minta esetében a hajlítószilárdság mértéke 51.901 N/mm^2 , vagyis 51.901 MPa .

A „ τ ”, vagyis a hajlítás során ébredő nyíróerő megállapításához az alábbi összefüggést használtam:

$$\tau_{\max} = \frac{s_x \cdot T_{\max}}{b \cdot I_x}, \text{ ahol:}$$

s_x az elcsúszni akaró keresztmetszetrész statikai nyomatéka a hajlítás tengelyére,

$T_{\max}$ a maximális nyíróerő,

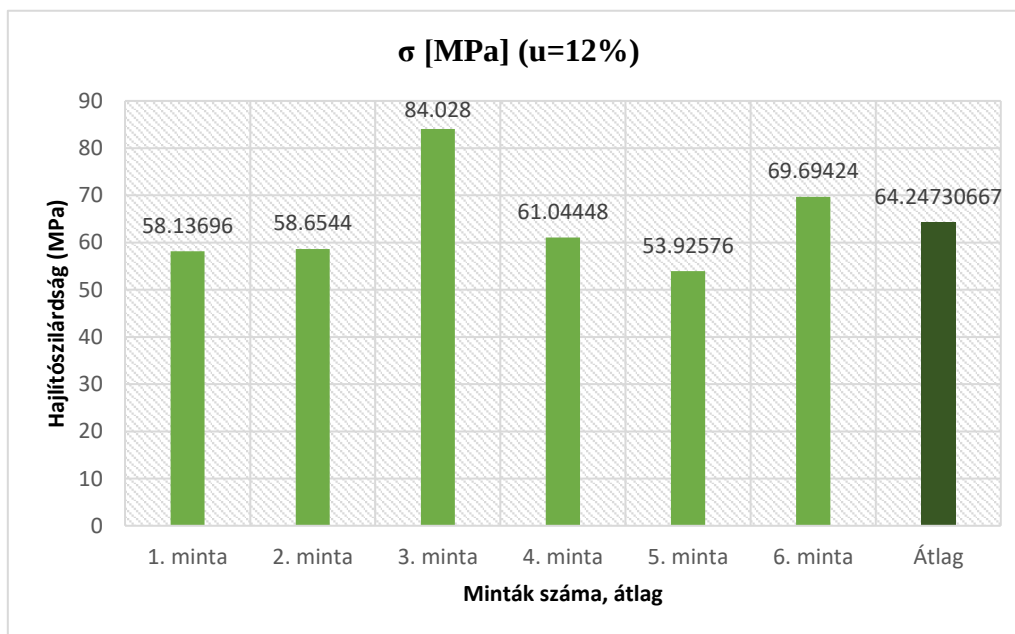
b a keresztmetszet szélességi mérete,

I_x a másodrendű nyomaték a hajlítás tengelyére.

$$\tau_{\max} := \frac{45 \text{ mm} \cdot 45 \text{ mm} \cdot 22.5 \text{ mm} \cdot 21023 \text{ N}}{45 \text{ mm} \cdot 2733750 \text{ mm}^4} = 7.786 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \tau_{\max} = 7.786 \text{ MPa}$$

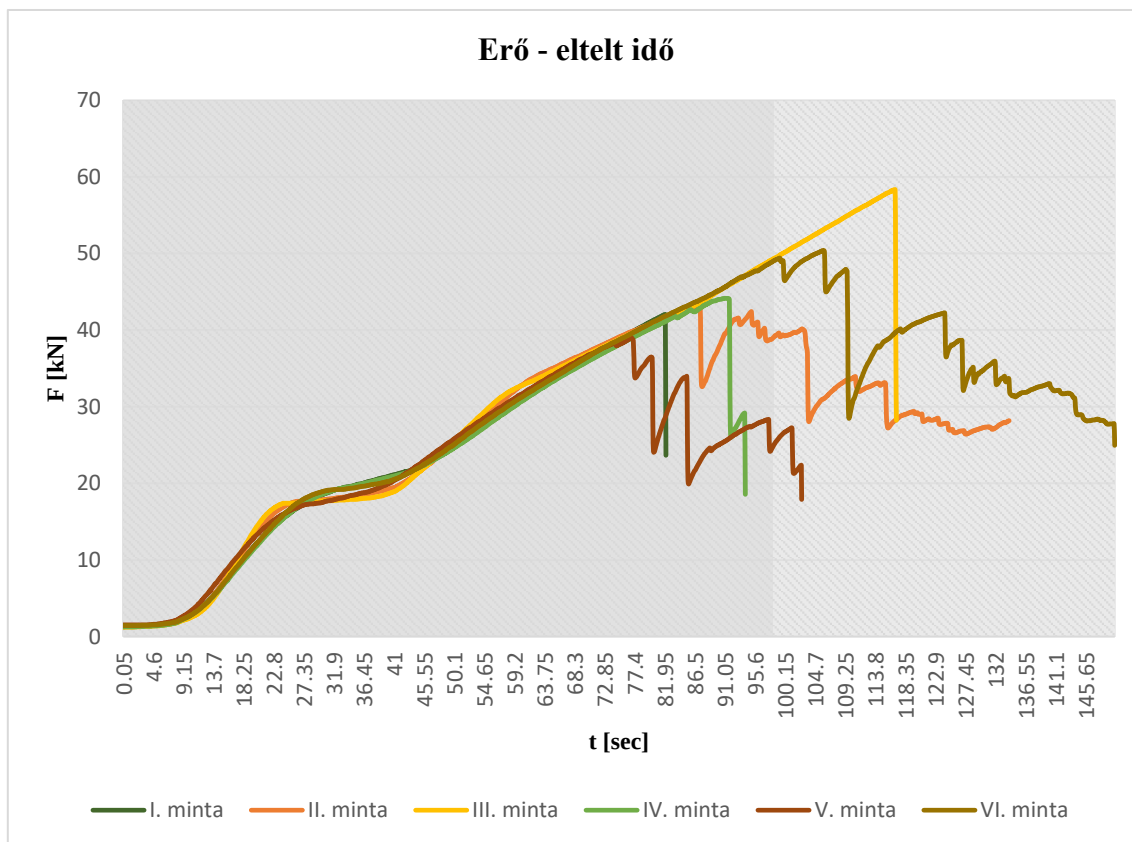
Tehát az első minta esetében a hajlítás során ébredő nyíróerő mértéke 7,786 MPa volt.

A jó szemléltetés érdekében a hajlítószilárdság $u=12\%$ -os nedvességtartalomra vonatkozó mérési értékeit oszlopdiagramon ábrázoltam (47. ábra). Jól megfigyelhető, hogy a 3. minta esetében kiugró értéket mértünk, ebből adódóan lett a szórási érték is nagyobb.



47. ábra: Hajlítószilárdsági értékek ($u=12\%$) [1]

A mérés során különböző erő-eltelt idő grafikonokat figyelhettünk meg, ezt a 48. ábrán láthatjuk.



48. ábra: Erő-eltelt idő grafikon [1]

Jól leolvasható, hogy a nyomószilárdsági vizsgálatokhoz hasonlóan különböző szakaszokra bonthatjuk a terhelési folyamatot. Az erő vonalának hullámos jellegét az okozta, hogy a rövid gerendaelemek nagyobb merevsége miatt, a nyomóhengerek benyomódtak az anyagba, mielőtt nagyobb erőt tudott volna felvenni a minta. Az egyes törési szakaszokon a húzott övben szálkás szakadások okozták a diagramon látható képet. Amennyiben a szálkás szakadást észleljük a húzott oldalon, arra utal, hogy a faanyagban tiszta hajlítással következett be a tönkremenetele, míg a бүтүн létrejött



49. ábra: Nyírási repedés [1]



50. ábra: Szálkás, hajlításból származó repedés [1]

vízszintes repedés nagy nyíróerők fellépésére utal és nyírási tönkremenetel keletkezik, amint a 49. és 50. ábrák mutatják.

Az eredmények alapján elmondható, hogy az ép részekből kivágott hajlító minták magas hajlítószilárdsággal rendelkeztek 45 évnyi működés után is. Egyes tartóelemeinek tönkremenetele ugyanakkor az egész szerkezet biztonságos működését már nem tették lehetővé.

XIII. A kilátó napjainkban [1] [1. melléklet]

A nyertes pályamű terveinek kivitelezését a bontás után rögtön megkezdték. A szintén betonlappal rendelkező kilátó fa elemeit helikopterrel szállították a helyszínre (51. és 52. ábra), majd 2022. február végén végeztek a munkálatokkal s átadták az új kilátót. A régi szerkezethez képest itt már a tervezésnél ügyeltek a faanyag



51. ábra: Az új kilátó alapozása [1]



52. ábra: Az új kilátó elemeinek szállítása [1]

védelmére, ezeket a megoldásokat a mellékelt tartószerkezeti kiviteli tervdokumentáción (1. számú melléklet - dr. Szabó Péter - dr. Hantos Zoltán), valamint a fényképeken is megfigyelhetjük.

A régi szerkezet lábazata közvetlenül a földdel érintkezett, így a földszinten lévő víz, felcsapó esőzés közvetlenül érintette a faanyagot, amely a jelentős korhadásához vezetett. Az új kilátó lábazata (53. ábra) C20/25-ös betonminőségű alapokra készült, valamint a felverődés ellen is jó megoldásként acél horgonyelemmel került megemelésre (53. ábra és 1. melléklet S-3 – Oszlopok elhelyezése). Ebbe a szerkezetbe kerültek 8.8-as minőségű csavarozással a rétegelt ragasztott fenyőből készült oszlopok.



53. ábra: Az új lábazat [1]

Másik problémát a régi szerkezet lépcsőzete okozta, amely csapolással volt rögzítve, így az esőzések után a víz beivódott, s szintén korhadni kezdett. Az új megoldásnál a lépcsőfokokat szögacél támasztja alá alulról, ezzel elkerülve, hogy a víz a szerkezet belső felébe jusson (54. ábra és 1. melléklet S-10 – Lépcsők).



54. ábra: Az új lépcső rögzítési módja [1]

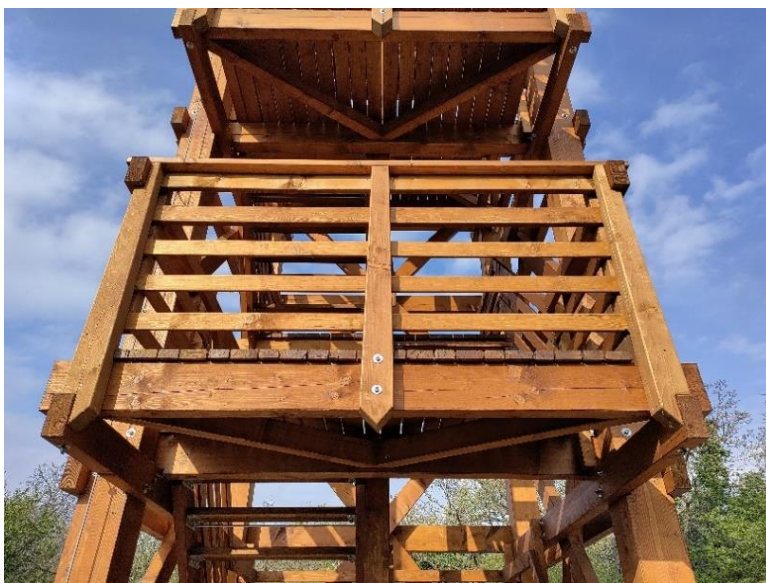
Az alábbi képek szemléltetik az új kilátó jól megtervezett- és kivitelezett szerkezetét (55. -56. - 57. ábra és 1. melléklet S-8 Tető tartószerkezete, S-9 – Szaruzat, S-12 – Korlátok). A tartó oszlopok GL24h, a tartógerendák C24 minőségű, 18 %-os nedvességtartalmú fenyő faanyagból készültek. A padozat párnafáinak anyagminősége C30, a lépcső lapjainak és a padozatoknak C40-es minőségű vörösfenyő faanyagot használtak fel, szintén 18 %-os nedvességtartalommal. Az építményt négyzetes keresztmetszetű rétegelt ragasztott tartóoszlopok alakítják. A gerendák, pallók, lépcsőfokok fűrészelt anyagból kerültek előállításra. A fogódzó gyalult, csiszolt szálkamentes anyagból lett kialakítva. Az alkalmazott faanyagok teljes felületén Remmers GW 310 vízbázisú vékonylazúrral történt a felületkezelés, melynek négyzetméterenkénti felhordandó mennyisége 2 x 100 ml. A tartószerkezeti kiviteli tervdokumentáció előírja a csavarkötések többszöri vizsgálatát és utánfeszítését, a felületkezelés évente történő ellenőrzését, valamint annak az építéstől származtatott második és ötödik évben való újratezelését [1. melléklet]. Amennyiben ezen rendelkezések a gyakorlatban is megvalósításra kerülnek, sokat tehetnek a faanyag körülményekhez képest megfelelő állapotú megőrzéséhez.



55. ábra: Tetőszerkezet [1]



56. ábra: Lábazat csomóponti kapcsolódása a tetőszerkezettel [1]



57. ábra: A pihenő korlátja [1]

A kilátó tanulmányozása folytán az egyik tartószerkezeti lábazat horgonyelembe fogott részénél delaminációt vettem észre, ezt a mellékelt 58. ábra is mutatja. Vanya Cs. (2014) és Kánnár A. (2011) szerint „A rétegelt-ragasztott fa tartószerkezet lamelláinak szétválása több tényező együttes hatására következhetett be, ezek: gátolt zsugorodási-dagadási alakváltozás, kifutó lamella, a lamellák eltérő nedvességtartalma, a tartó hossztengetelyére merőleges feszültségek, ragasztási probléma, a faanyag anizotróp, inhomogén anyagi tulajdonságai, az egyes tartók lamelláinak csupán vizuális és nem gépi szilárdsági osztályozáson alapuló osztályozása.” [22] [23] Feltételezhetően a



58. ábra: A lábazat delaminációja [1]

mértékadó tönkremeneteli ok a hossztengetelyre merőleges feszültség volt, amely csavarkötéssel jött létre. Ez faanyagvédelmileg később veszélyt jelenthet, ugyanis a repedés növekedése esetén beázáshoz, füledéshez, majd évek múlva korhadáshoz vezethet. Megoldást a repedés vízzáró tömítése jelenthet, erre különösen akkor kell ügyelni, ha a repedés nagyobbá válik, hiszen a szélteher, hasznos teher még alakítja az új szerkezet erőjátékát. Jelenleg elegendő a repedés ellenőrzések során való megfigyelése.

XIV. Összegzés

Tartószerkezet méretezésénél sok mindenre fontos odafigyelni. Ügyelni kell, hogy rendeltetésszerűen használható legyen a tervezett élettartam és anyagi keretek figyelembe vételével, valamint megbízhatóan ellen kell állnia a környezeti, és saját szerkezetben fellépő erőknek, melyek keletkezhetnek az építés, vagy a használat közben. Amennyiben rendkívüli behatás éri, például földrengés, tűz, vagy emberi hibák, akkor is arányosan történhet csak károsodás.

Az elvégzett vizsgálatok által kielemeztük az elbontott szerkezetének elemeit, így megállapíthattuk, milyen okok vezethettek a faanyag tönkremeneteléhez. Fontos, hogy a hibák mértékét próbáljuk már a tervezéskor, de a kivitelezés és állagmegóvás során is a minimumra csökkenteni, hogy a szerkezet minél tovább szolgálhassa feladatát és ne vesszen hibák martalékává (59. ábra).



59. ábra: Az új Kecse-hegyi kilátó [1]

XV. Köszönetnyilvánítás

Ezúttal szeretném megköszönni konzulensem, dr. habil. Kánnár Antal Úr segítségét az ötlet támogatásában, a téma vezetésében, a mérések kivitelezésében és a dolgozat véleményezésében. Az útmutatása és segítsége nélkül nem valósulhatott volna meg a kilátó szilárdsági vizsgálata, elemzése.

Köszönet illeti dr. Szabó Péter építész tervezőt, valamint dr. Hantos Zoltán statikus tervezőt az új kilátó tartószerkezeti kiviteli terveinek oktatási célra való kibocsátásáról, hogy azt a dolgozathoz felhasználhassam.

Az elektronmikroszkópos vizsgálatok lebonyolításában és elemzésében dr. Bak Miklós Úr segített, köszönöm szépen.

A régi, lebontott kilátó tartószerkezeti elemeihez, mintákhoz a Nemes Bau Plusz Kft. hozzájárulásával juthattam hozzá, ezúton is köszönöm szépen támogatásukat és idejüket.

XVI. Források

- [1] Szőke Fanni: Saját jegyzetek, fényképek, adatok (2021-2022)
- [2] Soproni Téma (2020) P. Horváth László: Sopron a magasból. <<https://www.sopronitema.hu/hirek/zold-sopron/sopron-a-magasbol>> Megtekintve: 2021.11.12.
- [3] Programturizmus (2020) Kecsk-hegyi kilátó Fertőrákos. <<https://www.programturizmus.hu/partner-kecske-hegyi-kilato-fertorakos.html>> Megtekintve: 2021.11.12.
- [4] Soproni Téma (2018) Bertha Ágnes: Új kilátó születik a Kecsk-hegyen. <<https://www.sopronitema.hu/hirek/zold-sopron/uj-kilato-szuletik-a-kecske-hegyen>> Megtekintve: 2021.11.12.
- [5] Kisalföld (2018) Nagy Márta: Felmászni életveszélyes! Elbontásra ítéltetett a Kecsk-hegyi kilátó Sopronban. <<https://www.kisalfold.hu/sopron-es-kornyeke/felmaszni-letveszelyes-elbontasra-itetetett-a-kecske-hegyi-kilato-sopronban-5586364/>> Megtekintve: 2021.11.12.
- [6] TAEG Tanulmányi Erdőgazdaság Zártkörűen Működő Részvénytársaság (2013): Soproni kilátók. A Soproni-hegység és dombság kilátói és kilátó pontjai. pp. 18-19. és pp.12-13.
- [7] ÉMI Nonprofit Kft (2018): ÉpMI-T-02-03/2017_pv1.2. Építésügyi Műszaki Irányelvtervezet. Rétegelt ragasztott faszerkezetek tervezési és kivitelezési szabályai. pp. 17-18., pp. 39-40.
- [8] Dr. Hantos Zoltán (2016): Szerkezetépítésre használatos fa- és faalapú anyagok, mérnöki kötőelemek. A Magyar Mérnöki Kamara - Tartószerkezeti továbbképzés 2019. május 09. Sopron, 14. dia
- [9] Vanya Csilla, Kánnár Antal, Rabb Péter (2016): Javaslatok rétegelt-ragasztott fatartók tervezéséhez, gyártásához és üzemeltetéséhez, felmérési és modellezési eredmények alapján – III. rész: A tönkremeneteleket igazoló vizsgálatok és eredményei. Faipar, 62. évf. 1. sz. (2016), DOI: 10.14602/WOODSCI.2016.1.45.
- [10] Dr. Csiha Csilla, Dr. Bejő László (2019): Törzsfajlódás. Faipar, Magyar Asztalos (2019. január) <<https://faipar.hu/hirek/faszerkezet/8894/toerzsfajlodas>> Megtekintve: 2022.11.19.
- [11] Dr. Kovács Pál Könyvtár és Közösségi Tér (2015) Sopron Városi Szabadidősport Szövetség Természetjárói, TAEG Tanulmányi Erdőgazdaság Zrt.: A Soproni-hegység és dombság: kilátói és kilátó pontjai (2015)
- [12] Molnár S. (2016): Lucfenyő – *Picea abies*, In: Földünk ipari fái, Eds.Molnár S., Farkas P., Börösök Z., Zoltán Gy., Photog. Richter, H.G. & Szeles P., ERFARET Nonprofit Kft., Sopron, ISBN 978-963-12-5239, pp. 89-91.
- [13] Molnár S., Farkas P. (2016): Tölgy (kocsányos és kocsánytalan tölgy) – *Quercus* spp., In: Földünk ipari fái, Eds.Molnár S., Farkas P., Börösök Z., Zoltán Gy., Photog. Richter, H.G. & Szeles P., ERFARET Nonprofit Kft., Sopron, ISBN 978-963-12-5239, pp. 121-126.

- [14]** Fertőrákos anno (2017) Görög Ferencz: A Kecske-hegyi kilátó.
<<http://users.atw.hu/fertorakos/index.php?iid=15&category=L%E1tv%E1nyoss%E1gok&action=item&title=a-kecskehegyi-kil%E1t%E1F3&PHPSESSID421678045536574=04710c635151cf80baa4238903c942a0>>
Megtekintve: 2021.11.14.
- [15]** Profi Faiskola (2021): Picea Abies / Közönséges Lucfenyő
<<https://www.profifaiskola.hu/novenykatologus/tujak-ciprusok-fenyok/picea-abies-k%C3%B6z%C3%B6ns%C3%A9ges-lucfeny%C5%91-1->> Megtekintve: 2021.11.14.
- [16]** Oázis Kertészet (2021): Kocsánytalan tölgy, muzsdaly tölgy (Quercus petraea)
<<https://oasis.hu/disznovenyek/kocsanytalan-tolgy-muzsdaly-tolgy/>> Megtekintve: 2021.11.14.
- [17]** CityGreen (2021): A kocsánytalan tölgy (Quercus petraea) gondozása
<<https://citygreen.hu/kocsanytalan-tolgy-quercus-petraea-gondozasa/>> Megtekintve: 2021.11.14.
- [18]** Dr. Kánnár Antal (2014): A faanyag mikro- és makro-tönkremeneteli folyamatai, Sopron, ISBN 978-963-08-8672-7, pp. 6-7., pp. 12.
- [19]** Fakopp Enterprise (2021): Portable Lumber Grader – Software and hardware guide Version 2.0
- [20]** Machinio (2021-2022): Hitachi S-3400N Scanning Electron Microscope in Shenzhen
<<https://www.machinio.com/listings/60287356-hitachi-s-3400n-scanning-electron-microscope-in-shenzhen-china>> Megtekintve: 2022.09.18.
- [21]** Bodig J. (1965): The effect of anatomy on the initial stress-strain relationship For. Prod. Jour. May 1965: pp. 197-202.
- [22]** Vanya Csilla (2014): Javaslatok rétegelt-ragasztott fatartók tervezéséhez, gyártásához és üzemeltetéséhez, felmérési és modellezési eredmények alapján – I. rész: Irodalmi áttekintés és a rétegelt-ragasztott fatartók tönkremeneteleinek felmérési eredményei. Faipar, 62. évf. (2014), DOI: 10.14602/WoodScience-HUN_2014_3
- [23]** Dr. Kánnár Antal (2011): Theoretical and experimental investigations of damage development of glulam beams The 17th International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium 2011. szept. 14-16. Sopron Hungary. Proceedings 367-374.