



Tudományos Diákköri Konferencia dolgozat

Készítette: Ács Ruben Neptun kód:H9QZLA

Konzulens: Dr. Hantos Zoltán

Soproni egyetem FMK

1. Bevezetés	3
1.1 Előzmények.....	7
1.2 Előkészítés	7
1.3 Próbatetek fizikai jellemzőinek leírása.....	10
2. Roncsolásmentes faanyagvizsgálat	11
2.1 Kopogtatásos vizsgálat alapjai	11
2.2 Hangsebesség mérése.....	12
2.3 A dinamikus rugalmassági modulusz mérése longitudinális rezgésekkel	12
2.3.1. A mérés elve	12
2.3.2. Méréssel kapcsolatos egyéb tudnivalók	13
2.3.3. A mérés leírása	14
2.3.4. Mérési adatok értelmezése és kiértékelése	16
2.4. A dinamikus rugalmassági modulusz mérése hajlítórengésekkel.....	16
2.4.1. A mérés elve	16
2.4.2. A mérés leírása	17
2.4.3. Mérési adatok értelmezése és kiértékelése	20
3. Roncsolásos faanyagvizsgálat.....	21
3.1. Rugalmassági modulusz meghatározása hajlítószilárdság mérésének segítségével	21
3.2. Hajlítószilárdság mérése	22
3.2.1. A mérés előkészítése	22
3.2.2. A Mérés menete.....	23
3.2.3. Mérési adatok értelmezése	23
Kiértékelés	28
Összefoglalás	29
Köszönetnyilvánítás	30
Hivatkozások.....	31
Felhasznált irodalom	31

A Szürke nyár roncsolásmentes és roncsolásos vizsgálata

1. Bevezetés

Dolgozatom témája a Szürke nyár (*Populus x canescens*) roncsolásmentes és roncsolásos vizsgálata. Mivel napjainkban a faipar által alulhasznosított fafajról beszélünk, ezért szeretnék róla több paramétert megtudni, ezzel akár segítve a fafaj használatának szélesebb körben való elterjedését.

A nyárfa hazánkban egyre nagyobb teret nyer erdőgazdálkodásunkban a klímaváltozás okán. Az éghajlati paraméterek kedvezőtlenebbé válnak a fenyő fajok kiszorulnak és egyes lombosok is.

Korunk egyik legnagyobb környezeti kihívását a klímaváltozás jelenti. Az erdők a legösszetettebb földi életközösségnek számítanak. A klímaváltozás következtében nemcsak jelentős változásokon mennek keresztül, hanem tudatos tevékenységgel, odafigyeléssel fenntartható megoldást jelentenek mérsékelve a klímaváltozás káros hatásait is. [1.]

Különösen érzékeny a Kárpát-medence élővilága a környezeti változásokra, a hazai erdőkben a klímaváltozás hatásai már napjainkban is érezhetők. Nem hagyhatjuk a helyzetet, mert nem rajtunk kívül álló, mindezek független folyamatok tőlünk. Napi életvitelünkkel akár pozitívan, akár negatívan befolyásolhatjuk, befolyásoljuk őket. Így a környezeti örökségünknek, ha jól viseljük gondját, akkor élhetőbbet hagyhatunk utódaink számára örökségként. [1.]

A légkör megnövekedett szén-dioxid tartalmának és a folyamatosan emelkedő átlaghőmérséklet közvetlen hatása mellett az éghajlatváltozás egyéb kihívások elé is állítja az erdőgazdálkodást. Az időjárási elemek szélsőséges váltakozása, a gyakori erdőtüzek és azok intenzitása, minden más problémánál nagyobb árnyékot vet meglévő, illetve új rovar és egyéb károsítók megjelenése és megerősödése erdőink törékeny egyensúlyára. Másrészről az erdő által megkötött szén az emberiség kezében egy olyan eszköz, ami kezünkben ütőkártya lehet a klímaváltozással folytatott küzdelemben. [2.]

Erdőinknek szerepe kettős a klímaváltozásban. Okozóként és megoldásként szerepelnek az üvegházhatású gázok kibocsátásának terén az ökoszisztémában. Mindannyian tanultunk a fotoszintézis szén-dioxid megkötő hatásáról már az általános iskolában, de

vajon tudjuk-e azt is, hogy a mezőgazdasági szektorból származó üvegházhatású gázkibocsátásoknak körülbelül a fele erdőirtásból, illetve erdőpusztulásból származik? Hosszan lehetne boncolgatni emellett, egyre mélyebbre és mélyebbre ásni az erdő, mint felszínborító és vízkibocsátó, és ezzel felhőképző tényező klímabefolyásoló hatását is. [2.]

Az erdők az éghajlat stabilitásáért felelős legnagyobb tényező. Szabályozzák az ökoszisztémát, védik a biodiverzitást. Továbbá a szén-dioxid körforgás főszereplői, támogatják az emberi megélhetést és olyan nyersanyagokat, erőforrásokat kínálnak, amelyek a fenntartható gazdasági növekedést elősegítik. [2.]

Az erdei ökoszisztémák megszűnésének és romlásának megállítása, továbbá azok helyreállításának elősegítése jelentősen hozzájárulhat a klímaváltozás mérsékléséhez, s ezzel a párizsi megállapodás célkitűzéseinek eléréséhez. A 2015-ös párizsi klímaegyezményből nagy lendületet kapott az erdészeti, amely az aláíró országok azon erőfeszítéseit vette alapul, hogy az erdők telepítésével és legfőképp védelmével ellensúlyozza a fosszilis tüzelőanyagok felhasználásából és más forrásokból származó szén-dioxid-kibocsátását. [2.]

Az erdő tehát megóv minket a klímaváltozás hatásaitól, de mi védi meg az erdeinket az éghajlati változások hatásaitól, melyek aszályhoz, szélsőséges időjárási körülményekhez és a kártevők fokozott jelenlétéhez vezetnek? Az erdők viszonylag lassan reagálnak környezetük változásaira. Ezáltal rendkívül sebezhetővé válnak a károsítókkal és betegségekkel szemben. Az erdőgazdálkodást fokozottan sújtja az éghajlatváltozás, mert a ma ültetett fáknak drasztikus és rapid változásokat kell átvészelnük hosszú életük során.

Az erdőknek és velük összhangban az erdészeti ágazatnak alkalmazkodnia kell. Olyan fajok szükségesek, amelyek jobban megbirkóznak a lassan, de biztosan változó éghajlati tényezőkkel, s biztosítják az erdő stabilitását a jövőben. Az erdei növények genetikai eredete is meghatározó. Ezen tényezők összesége erdeink fajokösszetételének változását eredményezi majd, ami természetesen hosszú éveket, akár évtizedeket vesz igénybe. Az erdőművelés ebben, és az erdő önszabályozó mechanizmusainak támogatásában segítheti az erdőt, ezzel felgyorsítva az alkalmazkodási folyamatot a klímaváltozás közepette.

A melegedő éghajlat továbbá kedvez a kórokozóknak, kártevőknek. Az éghajlatváltozás következtében egyre gyakoribbak az erdőt károsító betegségek és rovarok, amelyek eddig egyáltalán nem vagy kevésbé voltak jelen erdeinkben. A melegebb körülmények között például a rovarok gyorsabban fejlődnek, és évente több generációjuk is kifejlődik. Romlik a fák egészségi állapota a hosszú aszálynak köszönhetően, ennek okán csökken az ellenállóképességük. Az „invazív fajok” pedig a növekvő globális mobilitás és az áruk nemzetközi mozgása következtében egyre jelentősebb szerepet játszanak a lokális ökoszisztémák felborításában. A tölgy csipkésposloska hazai tömeges jelenléte ezt jól példázza és előre vetíti, hogy milyen problémával állunk szemben a jövőre nézve. [2.]

Egyéb káros hatások közé tartozik még többek között a biodiverzitás csökkenése, az erózió növekedése és a vízrajzra gyakorolt negatív hatások. Így jelentősen befolyásolva az erdősítések tervezését. Ilyen például az erdő rekreációs és esztétikai értékek csökkenése is. A változó éghajlatban a gyakoribb szélsőséges események által okozott közvetlen és közvetett kockázatok befolyással lesznek a faellátásra, a piaci árakra és ezzel együtt az erdőgazdálkodás pénzügyi fenntarthatóságára is. [2.]

Erre a problémára jelent megoldást szárazságtűrő fajok telepítése, mint például Csertölgy és Nyarak. Több hegyvidéki körzetben is, például Keszthely környékén, a megváltozott időjárási viszonyok miatt a táj megszokott arculatát megváltoztatva, több ezer hektáron pusztuló fenyvesek helyett az őshonos lombos fafajok, főként tölgy, cser telepítése a feladat. Máshol, például a dunántúli Dombhátságon éppen a bükk veszélyeztetett, ide helyette a szárazságot jobban tűrő tölgyet, csert telepítenek. A mátrai fenyvesek sem viselték jól az elmúlt évek nagy hőséget, szárazságait, helyükre szintén őshonos lombos fafajtaiból álló erdőt telepítenek. Az ilyen változtatások ökológusok, biológusok, természetvédők, erdészek összehangolt szakértelmére van szükség, de a program sikeréhez új erdőgazdálkodási technikák bevezetése és a szélsőséges időjárási körülmények átvészélése kulcsfontosságú abban, hogy képesek legyünk több facsemete előállítására. Eddig kevésbé értékesnek tartott fajoknál magasabb hasznosítási értéket határoznak meg, így lehetséges ezeknek szélesebb körben történő használata. [3.]

A hazai erdőállományban növekszik az eddig ipar által kevésbé hasznosított fajok, például Szürkenyarak aránya. Egy őshonos fafaj jöhetett szóba általában lehetséges opcióként, a szürkenyár. Míg azonban a nemesnyár-gazdálkodás gazdasági értelemben is fenntartható az erdősítéstől a faanyagfelhasználásig kiforrott tevékenység, ezzel szemben

ilyen perspektívából a szürkenyár-gazdálkodást értékelni is nehéz egyelőre. Így önálló szakmai kategóriaként elhamarkodott kijelentés egyelőre valójában. A hivatalos természetvédelem ennek ellenére cselekedhet oly módon, hogy az erdőgazdálkodót és az erdőtulajdonost ilyen változtatásra kényszeríti. (1.)

A nyárfa könnyű megmunkálhatóságának és gyors növekedésének köszönheti világszerte népszerűségét mind a gazdálkodók között továbbá a faipar számára. Sikertörténete abban rejlik, hogy sokoldalúan telepíthető eredményesen. Meghatározó eleme az agrárerdészeti rendszereknek, „zöld falként” élhetőbb környezetet teremtve városi milliőkat véd a klimatikus szélsőségektől. Továbbá energetikai ültetvényként széndioxidot megkötve növeli a környezeti fenntarthatóságot, csökkentve a függőségünket a fosszilis energiahordozóktól, és egyben olcsó, saját magunk számára is megtermelhető tüzelőanyagot biztosít, valamint széleskörűen feldolgozható alapanyag bázist teremtve hozzájárul a gazdálkodás jövedelmezőségének növeléséhez és az iparfejlesztéshez. (1.)

Nemesnyár gazdálkodás területén hazánk a világ élvonalába tartozik. Másodikak vagyunk Európában a 120 ezer hektárnyi nemesnyár erdeinkkel és ültetvényeinkkel Franciaországot követően, megelőzve Spanyolországot és Olaszországot is. Köszönhetően először is a kiváló ökológiai adottságainknak a nyártermesztés számára, a hazai nemesítésű fajták sikerének, széleskörű szakmai összefogásnak szakembereink részéről és nem utolsósorban az ország magas színvonalú feldolgozóiparának. (1.)

A hazai erdőgazdálkodás évi 7 millió m³ fakitermeléséből több mint 1 milliót tesz ki a nemesnyarasokból származó faanyag, amely az akác és fenyő után a harmadik legnagyobb tétel. Az ipari alapanyagként szolgáló minőségi rönk aránya pedig 400 ezer m³-rel a nemesnyarasok esetében a legmagasabb (Szalai, 2023).

A Szürke nyár fizikai, mechanikai paraméterei kevésbé ismertek a piac számára, így az eltűnőben lévő fenyő fajok kiváltása nem lesz automatikus. Sőt egyes fajok esetében propagandát tájékoztatást is igényel a túltartott nyarasokból nyerhető alapanyag hasznosítása. A nyár fajok építőipari hasznosításának alapvető előfeltétele a fizikai és különösen a mechanikai jellemzők feltérképezése. (a feldolgozhatóság, megmunkálhatóság, kihozatal és egyéb paraméterek mellett) Ez hívta létre jelen vizsgálatainkat, ami Magyarországon termelt Szürke nyár fűrészáruból kialakított 50 db-

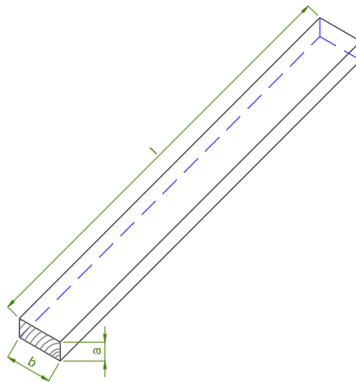
os próbatest készlet hajlítószilárdságát és rugalmassági moduluszát vizsgálja meg roncsolásmentes és hagyományos törésteszték alkalmazásával.

1.1 Előzmények

A Soproni Egyetem Faipari Mérnöki Kara részt vesz a különböző szárazságtűrő fafajok megismerését célzó kutatásokban és projekteken. A tartószerkezeti célú felhasználás elsődleges adatai a következők: testsűrűség (jele: ρ ; mértékegysége: $[\text{kg}/\text{m}^3]$, rugalmassági modulusz (jele: E_{mean} ; mértékegysége: $[\text{N}/\text{mm}^2]$, hajlító szilárdság (jele: $f_{m,k}$; mértékegysége: $[\text{N}/\text{m}^2]$ és az ezekből levezethető további mechanikai paraméterek. Előbbieket mért, illetve az utóbbiakat származtatott értékeknek nevezzük.

A mechanikai tulajdonságok összefoglaló adata az úgynevezett szilárdsági osztály, amit az MSZ EN 338-2016 szabvány iránymutatásai szerint lehet meghatározni. A dolgozatban a továbbiakban a későbbi kutatások elősegítésére az ott felhasználandó szürke nyár alapanyag mechanikai jellemzőit keressük a különféle vizsgálatok elvégzésével.

1.2 Előkészítés



1. ábra próbatestek geometriája

Jelen vizsgálataimhoz a lécszelvényű alapanyagot már előkészítve kaptam. A szóban forgó anyag befoglaló méretei a következők: $450 \times 50 \times 20$ milliméter. Hosszméretét a próbatesteknek mérőszalaggal (1. ábra) mértem milliméter pontossággal, míg a szélességet, illetve a vastagságot digitális tolómérő (2. ábra) segítségével

századmilliméter pontossággal állapítottam meg. Tömegüket digitális (4. ábra) mérleghasználatával rögzítettem.



2. ábra
mérőszalag



3. ábra digitális
tolómérő



4. ábra induktív
nedvességmérő



5. ábra digitális
mérleg

A próbatestek nedvesség tartalmát induktív nedvességmérő segítségével mértem meg. A induktív nedvességmérő előnye, hogy használatakor nem zavarják be a kötött víz mozgása által okozott problémák, fahibák, mint például repedések, behasadások. Ezzel szemben a „beütős” vagy kapacitív nedvességmérő igen érzékeny a fahibákra-göcsök, repedések, stb- így ennek használata nagyobb körültekintést igényes. Ellenkező esetben könnyen mérhet hibás értéket vele a kevésbé avatott kezű ember. Más részről az induktív eszköznek egy érzékelő felülete van, ami rádióhullámokat bocsát ki. Ezen hullámok terjedése alapján képes meghatározni a faanyag nedvességtartalmát nem csak a két tű között, ahogyan ezt a kapacitív nedvességmérő teszi. Ennek használatával a faanyagunk nagyobb térfogatát képes pontosabban és nem utolsó sorban gyorsabban megmérni. Előzetesen ki kell választani milyen fafajt szeretnénk mérni. Az eszköznek tökéletesen kell feküdnie az anyagon nem lehet alatta por vagy egyéb szennyeződés sem látható víz, mert az befolyásolná a mérés végeredményét. Ezzel együtt kizárólag síkfelületeknél tudjuk alkalmazni. Nyomot nem hagy, így nem kell aggódnunk azon, hogy látszani fog a jövőben.

Szürke nyár érthető módon nem szerepelt az eszközbe bekalibrált fajok listáján, ezáltal egy nyárhoz hasonló sűrűségű fafaj alapbeállítását kellett használni a méréseimhez. Ebből is látszik mennyire alulhasznosított fajról van szó. Mérés közben megfigyelhető volt, hogy a nedvességtartalom alkalmanként irreális szórást mutat, ami légszáraz alapanyag esetén mai ismereteinkkel elképzelhetetlen. További vizsgálatok szükségesek arra nézve, mi az oka, hogy a nyárfa ilyen mértékben képes tulajdonképpen megtéveszteni a műszert.

sorszám	évgyűrű állása	l	b	a	m(g)	U(%)	V _{légszár} (cm ³)	ρ _{légszár} (g/cm ³)	ρ _{12%} (g/cm ³)
1.	fekvő	450,00	50,06	20,08	236,55	13,60	452,34	0,5229	0,515
2.	fekvő	450,00	50,10	19,90	215,81	11,00	448,65	0,4810	0,486
3.	fekvő	450,00	50,50	20,11	237,77	13,50	457,00	0,5203	0,513
4.	fekvő	450,00	49,87	20,19	231,80	12,90	453,09	0,5116	0,507
5.	fekvő	450,00	49,92	20,26	229,48	14,30	455,12	0,5042	0,493
6.	fekvő	450,00	49,67	19,87	229,60	11,80	444,12	0,5170	0,518
7.	fekvő	450,00	49,84	20,12	228,49	11,50	451,25	0,5063	0,509
8.	átmeneti	450,00	50,16	20,17	237,42	11,80	455,28	0,5215	0,522
9.	fekvő	450,00	49,49	20,12	245,73	13,40	448,08	0,5484	0,541
10.	fekvő	450,00	49,61	20,13	211,03	13,60	449,39	0,4696	0,462
11.	fekvő	450,00	49,72	20,23	212,20	10,10	452,63	0,4688	0,478
12.	fekvő	450,00	49,81	20,05	214,68	12,80	449,41	0,4777	0,474
13.	fekvő	450,00	50,01	20,14	233,28	15,00	453,24	0,5147	0,500
14.	fekvő	450,00	49,81	20,16	228,72	11,30	451,88	0,5062	0,510
15.	fekvő	450,00	49,57	19,90	231,36	13,40	443,90	0,5212	0,514
16.	fekvő	450,00	49,39	20,20	233,31	22,80	448,96	0,5197	0,466
17.	fekvő	450,00	50,07	20,53	223,51	11,60	462,57	0,4832	0,485
18.	átmeneti	450,00	49,76	20,51	242,37	24,40	459,26	0,5277	0,466
19.	fekvő	450,00	49,97	20,34	233,43	11,80	457,38	0,5104	0,511
20.	fekvő	450,00	49,75	20,10	229,66	14,10	449,99	0,5104	0,500
21.	fekvő	450,00	50,18	20,35	217,22	15,80	459,52	0,4727	0,454
22.	fekvő	450,00	49,54	20,23	250,04	23,60	450,99	0,5544	0,496
23.	fekvő	450,00	49,50	20,15	218,64	21,30	448,84	0,4871	0,441
24.	átmeneti	450,00	50,04	20,51	224,00	12,50	461,84	0,4850	0,483
25.	fekvő	450,00	50,07	20,10	226,55	21,50	452,88	0,5002	0,453
26.	átmeneti	450,00	49,72	20,14	225,42	12,40	450,61	0,5003	0,498
27.	átmeneti	450,00	50,05	20,06	234,05	11,70	451,80	0,5180	0,520
28.	átmeneti	450,00	49,76	20,07	223,71	12,70	449,41	0,4978	0,494
29.	fekvő	450,00	49,65	20,02	238,62	10,70	447,30	0,5335	0,540
30.	átmeneti	450,00	49,82	20,18	228,17	12,70	452,42	0,5043	0,501
31.	átmeneti	450,00	49,90	20,25	231,57	18,20	454,71	0,5093	0,478
32.	fekvő	450,00	49,70	19,90	233,18	12,70	445,06	0,5239	0,520
33.	átmeneti	450,00	49,70	19,95	214,85	15,70	446,18	0,4815	0,463
34.	átmeneti	450,00	49,92	20,12	238,35	20,00	451,98	0,5274	0,487
35.	átmeneti	450,00	50,24	20,39	233,52	18,30	460,98	0,5066	0,475
36.	fekvő	450,00	49,70	20,14	228,84	11,80	450,43	0,5080	0,509
37.	átmeneti	450,00	49,91	20,15	222,35	17,20	452,56	0,4913	0,465
38.	fekvő	450,00	49,90	19,91	224,89	16,60	447,08	0,5030	0,480
39.	fekvő	450,00	49,68	19,94	228,82	16,00	445,78	0,5133	0,493
40.	fekvő	450,00	49,87	20,02	233,53	19,20	449,28	0,5198	0,484
41.	fekvő	450,00	49,34	20,04	229,47	12,20	444,95	0,5157	0,515
42.	fekvő	450,00	49,85	20,11	232,23	14,40	451,12	0,5148	0,503
43.	fekvő	450,00	49,75	20,30	233,42	11,90	454,47	0,5136	0,514
44.	átmeneti	450,00	49,78	19,99	238,66	12,50	447,80	0,5330	0,530
45.	fekvő	450,00	49,80	19,95	229,07	12,10	447,08	0,5124	0,512
46.	átmeneti	450,00	50,17	20,15	222,67	11,90	454,92	0,4895	0,490
47.	fekvő	450,00	49,84	20,15	230,03	17,40	451,92	0,5090	0,482
48.	fekvő	450,00	49,92	20,26	224,15	11,70	455,12	0,4925	0,494
49.	fekvő	450,00	49,77	20,11	218,30	17,00	450,39	0,4847	0,460
50.	fekvő	450,00	49,93	20,24	210,82	12,00	454,76	0,4636	0,464
				Átlag	228,63	14,57	451,71	0,5061	0,493
				szórás					0,02
				ρ _k					0,45
				ρ _{mean}					0,55

1.táblázat Vizsgálataimhoz használt próbatestek alap fizikai jellemzői

1.3 Próbatestek fizikai jellemzőinek leírása

A próbatestek keresztmetszetét az 1. látható módon jelöltem meg. Megállapítottam az évgyűrűk állását is, ami jelen esetben lehetett a próbatestek lapjához képest fekvő, illetve átmeneti.



6. ábra szürkenyár próbatest

m : próbatestek tömege [g]

U : próbatestek légszáraz nedvességtartalma [%]

$V_{\text{légszáraz}}$: próbatestek légszáraz térfogata [g/cm^3]

$\rho_{\text{légszáraz}}$: próbatestek légszáraz sűrűsége [g/cm^3]

$\rho_{12\%}$: próbatestek 12%-ra átszámított sűrűsége [g/cm^3]

$$\rho_{12\%} = \rho_{\text{légsz}} - \Delta\rho \times (U - 12) ; \text{ ahol } \Delta\rho = 0,005 \quad (1)$$

ρ_k : próbatestek karakterisztikus sűrűsége [g/cm^3]

$$\rho_k = \rho_{\text{átlag}} - 1,645 \times \rho_{\text{szórás}}$$

ρ_{mean} : próbatestek átlagos sűrűsége [g/cm^3]

$$\rho_{\text{mean}} = 1,2 \times \rho_k$$

A tömegből, nedvességtartalomból, légszáraz térfogatból, légszáraz sűrűségből, valamint a 12%-ra átszámított sűrűségből átlagot vontam annak érdekében, hogy ezen fizikai jellemzőkről átfogóbb képet mutathassak, így egyszerűsítve azok értelmezését. Ezen felül kiszámítottam a próbatestek karakterisztikus sűrűségét és átlagos sűrűségét a táblázatban látható mért adatok segítségével. Ezen kívül rögzítettem a próbatestek évgyűrűállását is a terhelési irányhoz képest, mert nem tudhattam előre milyen befolyással lesz ez a mérések végeredményére.

2. Roncsolásmentes faanyagvizsgálat

Bevezetés

A faanyag rugalmassági moduluszát mérhetjük a hangsebesség mérésével. Alkalmazása első sorban fahibák- mint rejtett üreg, repedés, korhadás- feltérképezésére jött létre. Elengedhetetlen idős fák korának igényes módon való meghatározásakor. Másrésztől igen hasznos segítség erdőgazdaságokban a vágásérettség meghatározásakor.

2.1 Kopogtatásos vizsgálat alapjai

A kopogtatással való faanyagvizsgálat nagy hagyományokkal rendelkezik. A harkály így találja meg a rovarokat a fában és az orvos is kopogtatással vizsgálja az emberi testet. Ily módon történik a faanyag vizsgálata is.

Az egészséges fatest vezeti a hangot, ennek ellenében elnyelőként szerepel a korhadat fatest. Az egészséges fatestben jelentősen nagyobb a hangsebesség, mint a hibás farészekben. Ezért a kopogtatással keltett hang a fahibákat kikerüli. Az első hanghullám fahibához érve kikerüli azt, így hosszabb utat megtéve megy végig oda-vissza az anyagban.

Fafaj	Hangsebesség [m/s]
Nyír	1140
Luc fenyő	1210
Erdei fenyő	1470
Vörös fenyő	1490
Kocsányos tölgy	1620
Bükk	1670

Tangenciális és radiális irányban tulajdonképpen azonos sebességgel tudunk számolni, a relatív eltérése ezen értékeknek fenyő félék esetén 10% alatti, míg lombos fafajoknál nem éri el a 20%-ot. A nedvességtartalom kizárólag rosttelítettségi határ (30-40%) alatt lényeges. ezen fafajonként eltérő pont felett független a nedvességtartalomtól. Ezt alapul véve élő fa vizsgálatokor nem vesszük figyelembe. A hőmérséklet befolyása a vizsgálatra

elhanyagolható. 1 °C hőmérsékletváltozás körülbelül 2 m/s változást okoz a hangsebességben. A hőmérséklet növekedése a hangsebesség csökkenését okozza.

Ha alacsonyabb értéket mérünk sz egészséges fatesthez képest, akkor az fahibára enged következtetni. A hangsebesség csökkenése egyenesen arányos a fahiba méretével. A relatív 7 %-os csökkést vesszük jelentős hangsebesség csökkenésnek. [4]

2.2 Hangsebesség mérése

Milyen módon mérjük a hangsebességet a faanyagban? Időt és távolságot kell mérni a $v=s/t$ képlet segítségével. Az időt a nagyobb pontosság érdekében mikroszekundumban kell mérni. Erre létre jött precíz eszköz az úgynevezett FAKOPP berendezés.

Az anyagunkat két ponton alátámasztva habszivacsra kell helyezni. A mikrofont közel kell tartani a vizsgált faanyaghoz, illetve kerülni kell bármilyen zajszennyezést a mérés során. (például beszéd, gép zaj, stb.) A kalapáccsal longitudinális mérés esetén a bütüre, illetve transzverzális irányú mérés esetén a próbatest lapjára egy határozott ütés szükséges. [4]

Kiértékelés

A referencia hangsebesség alapul vételével indul az értékelés. Referencia hangsebességet szemrevételezés alapján egészségesnek gondolt, azonos fafajú mintadarab bemérésével kapunk. Ha már irodalmi értékkel rendelkezik a vizsgálni kívánt fafaj, abban az esetben nyugodtan vehetjük azt alapul és nem kell referencia hangsebességet mérnünk. Kapott adataink kiértékelése az irodalmi értékkel, illetve a referencia értékkel való összehasonlítással végződik. [4]

2.3 A dinamikus rugalmassági modulusz mérése longitudinális rezgésekkel

2.3.1. A mérés elve

A rugalmassági modulusz az anyagoknak az a tulajdonsága, amely meghatározza a terhelés hatására bekövetkező behajlás mértékét. Ez a paraméter olyan helyeken releváns, ahol behajlásra méretezünk. Másrészt ez a paraméter kiválóan párhuzamba állítható a

hajlítoszilárdsággal, ezért segít annak becslésében. Ez a módszer alkalmazása nagyon elterjedt fűrészáru előállításakor annak minősítésére.[4]

Az anyagok rezgési összefüggései karakterisztikáját (frekvencia, csillapodás, stb) ismerve tudunk következtetni a rugalmassági moduluszra. Ezen módszerrel meghatározott értéket dinamikus rugalmassági modulusznak nevezzük. A longitudinális rezgések használata a számos módszer közül a legegyszerűbb. Több kutató vizsgálta már ennek a módszernek a hitelességét és megállapították, hogy rendre korrelál a rugalmassági modulusz a hajlító szilárdsággal.

Ahhoz, hogy ezt összefüggést valóban tudjuk alkalmazni, hosszúkas próbatestekre van szükségünk. Szám szerint a hossz méret ötszöröse kell legyen az anyag szélességének. A faiparban szerencsés a helyzet, ugyanis általában a használandó anyagok esetében igaz ez az összefüggés. [4]

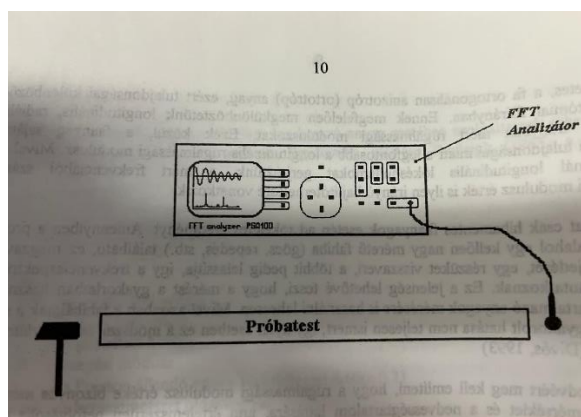
2.3.2. Méréssel kapcsolatos egyéb tudnivalók

A mérést úgy kell kivitelezni, hogy a próbatest bütűjét megkoccintjuk kalapács segítségével. Ezzel az anyagban rostiránnyal párhuzamos – longitudinális - lökéshullámokat indítunk. Általánosságban elmondható, hogy magasabb frekvenciák gerjesztésére, illetve rövid próbatestek esetén keményebb (fém) kalapács szükségeltetik, míg az alacsonyabb frekvenciák könnyebben gerjednek puhább eszköz használatára. (Pl.: fakalapács)

Mint ismeretes, a fa ortogonálisan anizotróp (ortotróp) anyag, ezért a három anatómiai irányban tulajdonságai is különbözőek. Ezt alapul véve megkülönböztetünk longitudinális, tangenciális és radiális rugalmassági moduluszt, Értelmeszerűen amelyik irányban épp vizsgáljuk a faanyagot, annak megfelelő irányú rugalmassági moduluszt kapjuk végeredményként. Mivel jelen esetben longitudinális hullámokat gerjesztünk, így az ilyen irányú frekvenciából számított rugalmassági modulusz az ilyen irányú hajlító terhelésre vonatkozik. Faanyag esetében a longitudinális irány a legfontosabb.

Tökéletes eredményt kizárólag hibamentes faanyag esetén lehet elérni. Ha a próbatestek hosszában valahol fahiba található, például göcs, repedés az a frekvenciaspektrumban változásokat okoznak. Ez a módszer sajnos csak korlátozottan használható, mivel a fahibák hatása a rezgésekre nem teljesen ismert. [4]

2.3.3. A mérés leírása



7. ábra A longitudinális hangsebesség mérése FFT analízátor segítségével (Dr. Divós Ferenc, 1999)



8. ábra Mérési elrendezés

A mérési elrendezést az itt látható ábrán, illetve képen figyelhetjük meg. Longitudinális frekvencia mérésénél nem szükséges a próbatestünk alá rugalmas alátámasztást tenni, mert nem befolyásolja a mérés végeredményét, ha faanyagunk jelen esetben az asztalon fekszik. A bemérni kívánt próbatestet egyik végén egy kalapács segítségével megkoppintjuk, míg a másik végéhez a mikrofont közel tartva rögzítjük a gerjesztett frekvenciát.

	Frekvencia (Hz)	Hangsebesség (m/s)	MOE (MPa)
1.	6588	5929,2	18384
2.	6549	5894,1	16711
3.	6276	5648,4	16599
4.	6527	5874,3	17654
5.	6544	5889,6	17490
6.	6462	5815,8	17486
7.	6371	5733,9	16647
8.	6357	5721,3	17070
9.	6417	5775,3	18292
10.	6293	5663,7	15063
11.	6158	5542,2	14400
12.	6462	5815,8	16157
13.	6202	5581,8	16036
14.	6411	5769,9	16851
15.	6336	5702,4	16948
16.	6114	5502,6	15735
17.	6369	5732,1	15876
18.	6225	5602,5	16565
19.	6313	5681,7	16476
20.	6294	5664,6	16377
21.	6420	5778,0	15781
22.	5343	4808,7	12820
23.	6244	5619,6	15383
24.	6187	5568,3	15038
25.	6744	6069,6	18429
26.	6428	5785,2	16743
27.	6463	5816,7	17527
28.	5607	5046,3	12676
29.	6550	5895,0	18539
30.	6464	5817,6	17069
31.	6542	5887,8	17654
32.	6461	5814,9	17716
33.	6466	5819,4	16307
34.	6440	5796,0	17716
35.	6454	5808,6	17092
36.	6464	5817,6	17195
37.	6437	5793,3	16490
38.	6450	5805,0	16951
39.	6481	5832,9	17464
40.	6549	5894,1	18058
41.	6458	5812,2	17422
42.	6565	5908,5	17971
43.	6524	5871,6	17707
44.	6368	5731,2	17506
45.	6501	5850,9	17540
46.	6334	5700,6	15906
47.	6417	5775,3	16977
48.	6439	5795,1	16540
49.	6472	5824,8	16445
50.	6460	5814,0	15670
Átlag			16703
E _{mean}			19024

2. táblázat Longitudinális rezgések frekvenciájának mérése és azonos irányú rugalmassági moduluszok

2.3.4. Mérési adatok értelmezése és kiértékelése

f :	frekvencia [Hz]
c :	hangsebesség [m/s]
MOE :	rostirányú dinamikus rugalmassági modulusz [MPa]
ρ :	próbatest sűrűsége [kg/m ³]
$MOE = \frac{\rho \times c^2}{10^6} [MPa] \quad (2)$	
$E_{\text{átlag}}$:	rostirányú dinamikus rugalmassági moduluszok átlaga [MPa]
E_{mean} :	rostirányú dinamikus rugalmassági modulusz középértéke [MPa]
$E_{\text{mean}} = E_{\text{átlag}} \times 1,3 - 2690 \quad (3) \quad \text{MSZ EN 384:2016 + A1:2018 [5.]}$	

A mérési adatok alapján kiszámolt mechanikai jellemzőket szemlélve kijelenthető, hogy azok kiemelkedően magasok a szilárdsági kategóriákhoz képest.

2.4. A dinamikus rugalmassági modulusz mérése hajlítórezgésekkel

2.4.1. A mérés elve

A rostirányú rugalmassági moduluszsal ellentétben, amelynek becslése ún. dinamikus módszerekkel meghatározható, a transzverzális rugalmassági modulusz esetében más módszer alkalmazása célra vezető. Itt az egyik lehetséges megoldás a hajlítórezgések sajátfrekvenciájának mérése. A hajlítószilárdság és a rugalmassági modulusz meghatározásának is eredményes módszere ez. Ebben az esetben is a faanyag anatómiai tulajdonságai határozzák meg a hajlítási rezgések frekvenciáját, viszont nehezebb feltárni a mögötte húzódó matematikai összefüggéseket.

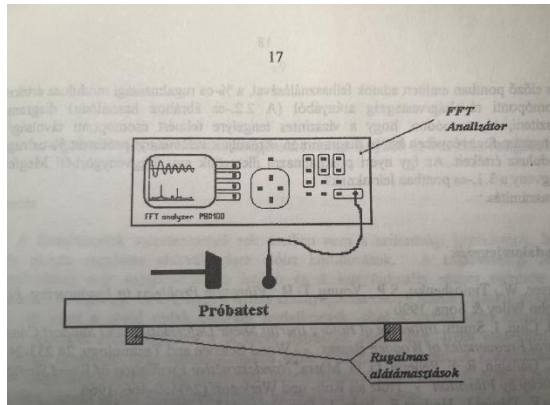
Nagyon jó közelítést ad ehhez az ún. Timoshenko-elmélet. Ez az elmélet a hajlítórezgések mozgásegyenletének negyedfokú sorbafejtéséből indul ki. Mivel ez egy rendkívül komplex matematikai probléma, helyette az Euler egyenlet a célravezetőbb megoldás. Ennek pontos alkalmazását egy későbbi pontban fogom szemléltetni.

A rezgések jól gerjeszthetők, ha megfelelő rugalmas alátámasztást alkalmazunk a próbatestnek és azok közepén koppintjuk meg. [4.]

A nyíró rugalmassági modulusz szerepe annál nagyobb, minél kisebb az alátámasztások távolsága, illetve annak a próbatest vastagságához viszonyított értéke. Minél kisebb ez az arány az Euler-féle számítás annál pontatlanabbá válik. A mérés elvégzésekor választhatunk egyik végén merev befogással, illetve mindkét végén merev befogással rögzített próbatestet. További lehetőség még a kétpontos alátámasztás, azonban a legelőnyösebb ennél a mérésnél az ún. szabad-szabad rezgési séma alkalmazása. Ügyelni kell a megfelelő mérési elrendezés kialakítására, ugyanis egy kis eltérés nagyban befolyásolja vizsgálataink pontosságát. Itt megjegyzendő, hogy ez az elmélet kizárólag homogén anyagok esetén ad egészen pontos eredményt. Viszont a fa esetében olyan minimális eltérés tapasztalható, hogy a módszer korrekció nélkül alkalmazható. [4.]

2.4.2. A mérés leírása

Transzverzális, vagy más néven hajlító frekvencia mérésénél ügyelni kell a rugalmas alátámasztás meglétére és annak helyes alkalmazására. Jelen esetben ez harmadoló elosztást jelent a faanyag teljes hosszában. Ezen felül figyelni kell, hogy a próbatest valamennyi támaszra felfeküdjön. Valamint, hogy ne üssünk túl nagyot, mert ilyenkor a próbatest rezgés helyett „ugrálni” kezd az alátámasztásokon.



9. ábra A mérés elrendezése (Dr. Divós Ferenc, 1999)



10. ábra Saját mérés elrendezése

	Frekvencia (Hz)	MOE (MPa)
1.	582,70	17089
2.	576,50	15666
3.	567,90	16101
4.	585,30	16684
5.	580,10	16041
6.	565,30	16237
7.	558,10	15118
8.	554,00	15266
9.	572,70	17242
10.	566,00	14406
11.	533,90	12671
12.	589,00	15997
13.	549,80	14884
14.	558,10	15053
15.	548,50	15365
16.	543,70	14609
17.	573,00	14606
18.	552,30	14850
19.	556,00	14799
20.	560,90	15422
21.	567,90	14286
22.	509,60	13652
23.	544,00	13778
24.	545,80	13328
25.	584,20	16398
26.	562,00	15116
27.	572,20	16356
28.	566,90	15412
29.	566,50	16576
30.	563,50	15260
31.	570,40	15680
32.	567,10	16511
33.	563,50	14908
34.	568,20	16321
35.	571,60	15448
36.	572,80	15947
37.	562,50	14857
38.	564,20	15675
39.	567,50	16134
40.	571,50	16437
41.	566,10	15970
42.	576,00	16388
43.	575,70	16030
44.	565,30	16539
45.	572,60	16379
46.	561,30	14739
47.	570,70	15844
48.	568,10	15027
49.	572,20	15227
50.	567,80	14157
Átlag		15450
E _{mean}		17395

3. táblázat Transzverzális rezgések frekvenciájának mérése és azonos irányú rugalmassági modulusok

2.4.3. Mérési adatok értelmezése és kiértékelése

MOE: rostra merőleges dinamikus rugalmassági modulusz

$$MOE = \left(\frac{2 \times f}{2,267 \times \pi} \right)^2 \times \frac{m}{1000} \times l^3 \div \left(\frac{a^3 \times b}{12 \times 10^{12}} \right) \div 10^6 \text{ [MPa]} \quad (4)$$

f : frekvencia [Hz]

m : próbatestek tömege [g]

l : próbatestek hossza [mm]

a : próbatestek vastagsága [mm]

b : próbatestek szélessége [mm]

$E_{\text{átlag}}$: rostra merőleges dinamikus rugalmassági modulusz átlaga [MPa]

E_{mean} : rostra merőleges dinamikus rugalmassági modulusz középértéke [MPa]

$$E_{\text{mean}} = E_{\text{átlag}} \times 1,3 - 2690 \quad (3) \quad \text{MSZ EN 384:2016 + A1:2018 [5.]}$$

Jelen mérésnél az FFT Analizátor segítségével rezgési frekvenciákat mértem, amit a fizikai paraméterekkel együtt behelyettesítettem az átrendezt Euler-egyenletbe. Megfigyelhető, hogy a mért frekvenciák és az abból számolt rostirányra merőleges rugalmassági moduluszok szórása nem túl nagy. Ez annak köszönhető, hogy azok nagy valószínűséggel egy pallóból származnak. Mindezek után átlagoltam a számolt értékeket, végül a rostra merőleges dinamikus rugalmassági modulusz középértékét (E_{mean}) számoltam ki a fentebb megtalálható képlet segítségével. A mérési adatok alapján kiszámolt mechanikai jellemzőket szemlélve kijelenthető, hogy azok kiemelkedően magasok a szilárdsági kategóriákhoz képest.

3. Roncsolásos faanyagvizsgálat

Bevezetés

Az anyagvizsgálat az anyagok mechanikai, kémiai, fizikai jellemzőinek meghatározásával, az anyag szerkezetének vizsgálatával és a szerkezeti anyagok helyi hibáinak kimutatásával foglalkozik. A roncsolásos faanyagvizsgálathoz próbatestet kell készíteni a vizsgálni kívánt faanyagból. Az elkészített próbatestet az adott vizsgálati módszerrel legtöbbször a tönkremenetelig vizsgáljuk. A módszerből következik, hogy a vizsgálatok eredményei csak statisztikusan jellemzik az anyagot.

Az anyagvizsgálatok egyértelműségét és a megismételhetőségét biztosító szabatoságát úgy érik el, hogy az eljárásokat kötelező hatályú vagy legalább ajánlott szabványokba foglalják.

A mechanikai vizsgálatokkal a faanyagok szilárdsági, törésmechanikai tulajdonságait határozzuk meg. A vizsgálatok során különböző terhelési módok modellezésével figyeljük meg, hogy az majd a felhasználási, beépítési helyén milyen terheléseknek lesz kitéve. Két fajtáját különböztetjük meg. Egyik a fárasztó igénybevétel, itt az erő periodikusan változik, ezzel az ismétlődő terheléseket hatását hivatott mérni (pl. hajlítoszilárdság). Másik fajtája a dinamikus igénybevétel. Ezek a faanyagra nézve egyszeri gyors erőhatások (pl. ütés, -törőszilárdság) A vizsgálat általában a próbatest tönkremenetelig megy. [5.]

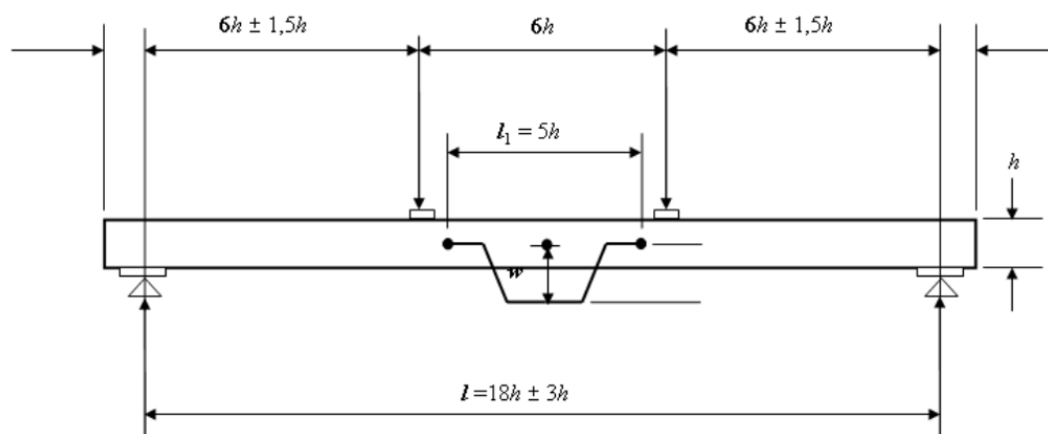
3.1. Rugalmassági modulusz meghatározása hajlítoszilárdság mérésének segítségével

A hajlítoszilárdság mérését az MSZ EN 408:2010+A1 szabvány írja elő. Legalábbis ez a szabvány irányadó ennek mérésnek elvégzésekor. Ezt a vizsgálatot elvégezve és mérés közben időről időre rögzíteni a hajlító erőt, valamint az elmozdulást az említett szabványt alapul véve pontosan kiszámítható a vizsgált próbatest rugalmassági modulusza.

3.2. Hajlítószilárdság mérése

3.2.1. A mérés előkészítése

Az előző pontban foglaltak szerint a mérés menetét szabvány írja elő, így én sem tettem másként, minthogy a szabványt követve készítettem elő a mérést. A próbatest anyagához úgy kell megválasztani a hajító erőt, hogy a tönkremenetel 300 mp +/- 120 mp alatt következzen be.



11. ábra mérési elrendezés a lokális rugalmassági modulusz mérésére hajlítás közben (MSZ EN 408:2010+A1)

h : próbatest előírt vastagsága [mm]

l : próbatest előírt hossza

Látható, hogy a próbatest hossza 18-szorosa kell legyen a próbatest vastagságának. Esetünkben a $\pm 3h$ 60 mm-t jelent. Az általam 450 mm próbatest hossz teljes mértékben megfelel ezen előírásnak. Az ábrán látható további elrendezési paramétereket betartva készítettem elő a mérést, illetve a mérési elrendezést.

3.2.2. A Mérés menete

A roncsolásos vizsgálat elvégzéséhez egy Instron 4208 univerzális anyagvizsgáló gépet vettem igénybe a képen látható mérési elrendezésben.



12. ábra mérési elrendezésem
megfigyelhető az Instron 4208
univerzális anyagvizsgáló gépben

A mérés első felében, vagyis a maximális terhelés körülbelül felének eléréséig (2800-3000 N) egy extenzométert helyeztem a próbatestek alsó lapjához. Ezzel mérve a lehajlást a mérés első felében. Ilyen módon a későbbiekben meg tudtam határozni a rugalmassági moduluszt közvetlenül a hajlítószilárdság mérési adataiból. (lehajlás, hajlító erő)

3.2.3. Mérési adatok értelmezése

	Idő (sec)	Keresztfej elmozdulás (mm)	Hajlítóerő (F) N	$F_1=0.2F$	$F_2=0.3F$	$w_1(F1)$	$w_2(F2)$	$E_{m,l}(0,2-0,3)$	f_m
1.	351,45	-15,7536	5822,65	1164,53	1746,80	1,75	2,62	15,946	99,52
2.	479,4	-20,4732	5605,21	1121,04	1681,56	1,84	2,75	14,977	97,47
3.	272,00	-12,71	4944,82	988,96	1483,45	1,85	2,67	14,069	83,53
4.	216,2	-9,7316	4775,7	955,14	1432,71	1,68	2,34	17,025	81,05
5.	349,15	-15,8032	5605,21	1121,04	1681,56	1,85	2,66	16,083	94,38
6.	449,35	-20,4332	6128,68	1225,74	1838,60	2,19	3,19	15,358	109,09
7.	345,95	-16,0652	5645,47	1129,09	1693,64	1,92	2,87	14,269	96,67
8.	448,25	-19,7112	5452,19	1090,44	1635,66	1,99	2,89	15,469	100,35
9.	419,7	-18,654	6555,51	1311,10	1966,65	2,00	2,99	15,846	112,89
10.	204,25	-10,469	3865,66	773,13	1159,70	1,41	2,04	14,623	66,34
11.	345,55	-15,2012	5009,25	1001,85	1502,78	1,85	2,77	12,729	84,93
12.	584,00	-25,4212	5428,03	1085,61	1628,41	1,78	2,66	14,893	94,63
13.	541,00	-23,1908	5709,9	1141,98	1712,97	2,05	3,04	13,728	98,07
14.	442,00	-19,1576	5395,82	1079,16	1618,75	2,13	3,07	14,269	96,07
15.	414,05	-18,1356	5597,15	1119,43	1679,15	1,97	2,94	14,278	98,37
16.	306,8	-13,1008	4405,24	881,05	1321,57	1,68	2,41	14,148	75,55
17.	502,55	-21,8484	5758,22	1151,64	1727,47	1,89	2,82	13,706	94,40
18.	388,45	-17,2184	4928,72	985,74	1478,62	1,75	2,57	13,620	82,03
19.	464,25	-20,6484	6201,16	1240,23	1860,35	2,07	3,05	14,546	103,75
20.	331,85	-15,4464	5629,37	1125,87	1688,81	1,98	2,91	14,487	96,63
21.	377,75	-17,7188	4856,24	971,25	1456,87	1,84	2,70	13,304	82,36
22.	248,5	-11,6618	4107,26	821,45	1232,18	1,59	2,34	12,889	69,89
23.	341,75	-14,81	5001,2	1000,24	1500,36	1,80	2,62	14,478	85,85
24.	513,15	-22,4772	5444,14	1088,83	1633,24	1,94	2,90	12,973	91,74
25.	489,15	-20,8232	5419,98	1084,00	1625,99	1,85	2,70	15,239	93,12
26.	483,95	-22,3756	5822,65	1164,53	1746,80	1,99	2,97	14,187	99,88
27.	468,05	-21,046	5927,34	1185,47	1778,20	1,92	2,84	15,351	101,95
28.	500,1	-22,4232	5556,89	1111,38	1667,07	1,83	2,73	14,923	95,65
29.	375,95	-17,5464	6152,84	1230,57	1845,85	2,03	2,98	15,693	106,81
30.	459,65	-19,8964	5460,24	1092,05	1638,07	1,92	2,87	13,596	92,99
31.	588,00	-25,4948	5919,29	1183,86	1775,79	2,01	2,95	14,690	100,21
32.	404,1	-18,44	5613,26	1122,65	1683,98	1,75	2,66	15,361	98,54
33.	493,8	-21,5992	5009,25	1001,85	1502,78	1,85	2,75	13,768	87,79
34.	548,7	-23,894	5653,53	1130,71	1696,06	2,00	2,90	15,097	96,93
35.	251,25	-12,3974	4791,81	958,36	1437,54	1,56	2,32	14,416	79,15
36.	494,35	-21,5556	5999,83	1199,97	1799,95	1,98	2,89	15,787	103,37
37.	277,9	-14,0668	4695,17	939,03	1408,55	1,76	2,63	12,776	79,93
38.	374,9	-17,6512	5178,37	1035,67	1553,51	1,98	2,80	15,463	90,32
39.	360,5	-17,3276	5258,91	1051,78	1577,67	2,00	2,87	14,840	91,85
40.	477,45	-22,0036	5637,42	1127,48	1691,23	2,02	2,97	14,379	97,44
41.	438,35	-19,8756	5951,51	1190,30	1785,45	1,90	2,86	14,972	103,62
42.	364,6	-17,2072	5750,17	1150,03	1725,05	2,04	3,01	14,136	98,40
43.	370,35	-17,0536	6048,15	1209,63	1814,45	1,98	2,94	14,697	101,78
44.	399,00	-17,912	5887,08	1177,42	1766,12	1,88	2,81	15,366	102,10
45.	397,1	-18,4632	5814,6	1162,92	1744,38	1,78	2,73	14,983	101,21
46.	377,85	-17,9108	5355,55	1071,11	1606,67	1,74	2,63	14,180	90,70
47.	425,35	-19,728	5822,65	1164,53	1746,80	1,85	2,82	14,198	99,27
48.	366,75	-17,7096	5564,94	1112,99	1669,48	1,92	2,82	14,436	93,70
49.	388,55	-17,3412	5234,75	1046,95	1570,43	1,83	2,68	14,539	89,73
50.	388,25	-17,6168	5395,82	1079,16	1618,75	2,03	2,94	13,892	91,01
Átlag								14,574	93,66
E_{mean}								16,256	
$f_{m0,5}$									77,17
k_v									1
$f_{m,k}$									77,17

4. táblázat Hajlítószilárdsági vizsgálat adatai táblázatban összefoglalva

A táblázatban szereplő adatok a következőképp értelmezendők:

$idő:$	próbatest tönkremenetelének időpontja a mérés kezdetétől [s]
$F:$	maximális hajlítóerő [N]
$F_1:$	maximális hajlítóerő 20%-a [N]
$F_2:$	maximális hajlítóerő 30%-a [N]
$w_1:$	próbatest alakváltozása a maximális hajlítóerő 20%-ának hatására [mm]
$w_2:$	próbatest alakváltozása a maximális hajlítóerő 30%-ának hatására [mm]
$E_{m,l}:$	teljes hajlító rugalmassági modulusz 20%-30% között [GPa]
$f_m:$	számított hajlítószilárdság [MPa]

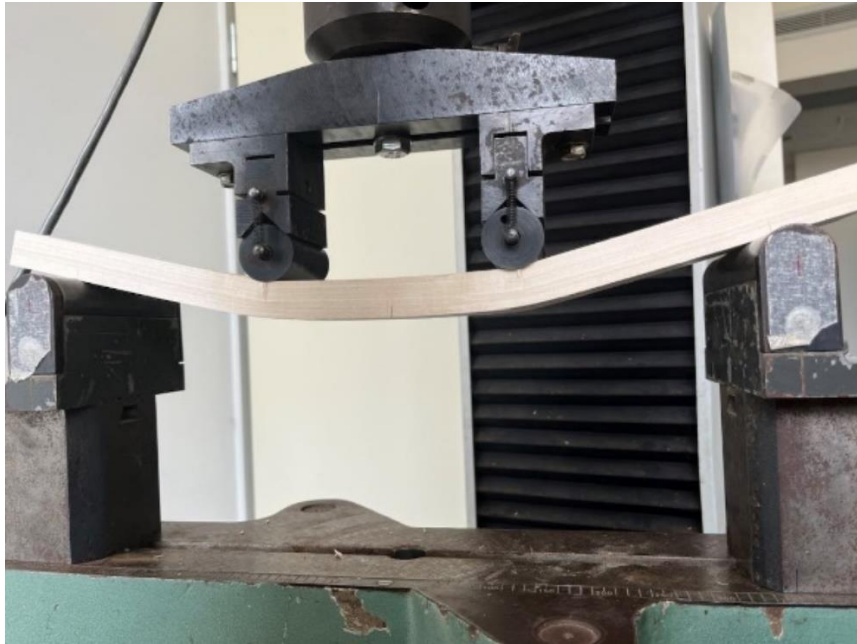
A hajlítószilárdságokból átlagot számoltam, ugyanis ez elengedhetetlen a rugalmassági modulusz középértékének számolásához. A következő módon tettem ezt:

$$E_{mean} = E_{\text{átlag}} \times 1,3 - 2690 \quad (3) \quad \text{MSZ EN 384:2016 + A1:2018 [5.]}$$

$f_{m,0,5}:$	a hajlítószilárdságok 5%-os percentilise az Excel számítása szerint
$k_v:$	korrekciós tényező, jelen esetben=1, ugyanis a hajlítószilárdság meghaladja a 30 N/mm ²
$f_{m,k}:$	hajlítószilárdságok karakterisztikus értéke [MPa]

Amíg a rugalmassági modulusz ennél a mérésnél közel van roncsolásmentes vizsgálatok során mért értékhez, addig a hajlítószilárdság nagyon magas értékeket mutat. Ez azonban nem befolyásolja a későbbiekben történő szilárdsági osztályozását a faanyagnak.

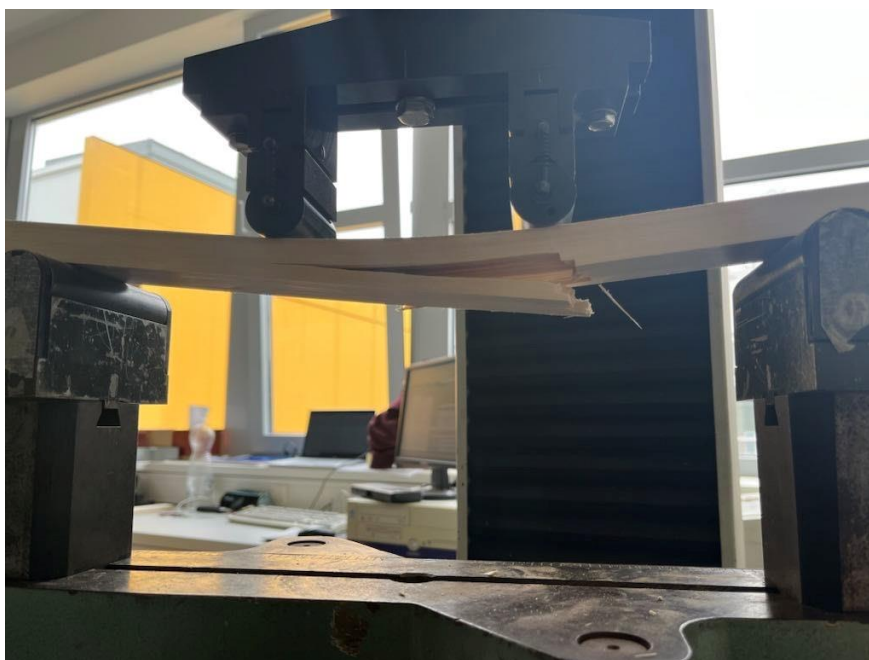
A mérés során a próbatesteken többféle tönkremenetel volt megfigyelhető. Vizsgálataim előtt feljegyeztem a próbatestek évgyűrűállítását. Ennek köszönhetően jól megfigyelhető az általuk befolyásolt töréskép. Rostkifutást nem rögzítettem előzetesen, de ez is kiválóan kiütöközött a hajlítás okozta tönkremenetel képén.



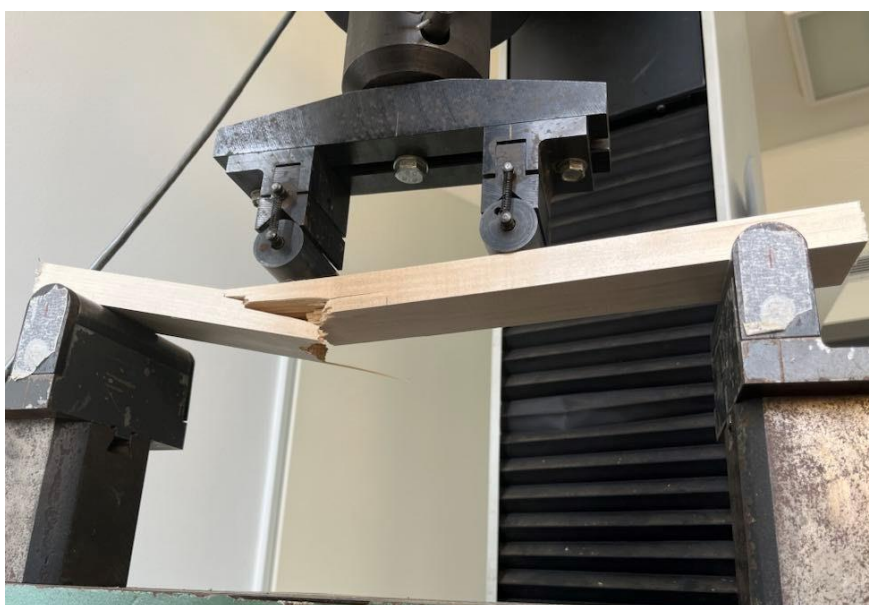
13. ábra szálkamentes tönkrementetel



14. ábra rostkifutás a tönkrement próbatesten



15. ábra fekvő évgűrűállású próbatest tönkremenetele, megfigyelhető az évgűrűk menti elválás



16. ábra kiválóan megfigyelhető a próbatest ridegtöréssel történő tönkremenetele

Kiértékelés

	ρ_{mean} (g/cm ³)	E_{mean} (MPa)	$f_{m,k}$ (MPa)
Longitudinális roncsolásmentes vizsgálat	0,55	19 024	
Transzverzális roncsolásmentes vizsgálat	0,55	17 395	
Hajlítószilárdság mérése	0,55	16 256	77,17

5. táblázat vizsgálatok végeredményének összehasonlítása

A faanyagok szilárdsági osztályba való besorolása a rugalmassági modulusz alapján történik, ezt alátámasztva ez a mechanikai tulajdonság szerepel a táblázatban. Hajlítószilárdság mérésénél kaptunk eredményt, azonban ez nagyon magas érték, így nem befolyásolja a próbatestek szilárdsági osztályozását. Megfigyelhető továbbá, hogy a szabvány által leírt és javasolt hajlítószilárdság alapján történő számítási mód adta a legalacsonyabb értéket. A roncsolásmentes vizsgálatok közül mindkettő magasabb értéket mutat. Különösen szembetűnő a longitudinális irány, itt ugyanis közel 20%-kal magasabb rugalmassági moduluszt kaptam végeredményént.

Szilárdsági osztályba való besorolás az MSZ EN 338:2010 szabvány alapján nem lehetséges.

$E_{\text{mean}} \cong D70/D75$ -nek felel meg a lombosfák besorolása szerint

$\rho_{\text{mean}} \cong C50$ és $D18$ között található

Bizonyos mechanikai tulajdonságai alapján kifejezetten lombos fák közé tartozik, míg a fizikai paraméterek alapján (karakterisztikus sűrűség) a legalacsonyabb lombosfa kategóriába sem sorolható. Azonban statikai számításokhoz ezen értékek használata javasolt.

Összefoglalás

Mechanikai paraméterek (MSZ EN 384:2016+A1 alapján) [6.]

a, $f_{m,k} = 77,17 \text{ MPa}$

Ez a lombosfák besorolása szerint D70 es szilárdsági osztályba tartozik

b, $f_{t,0,k} = 0,6 \times 77,17 = 46,302 \text{ MPa}$

c, $f_{t,90,k} = 0,4 - 0,6 \times 77,17 \approx 38,585 \text{ MPa}$

Ennek pontos meghatározása további vizsgálatokat igényel

d, $f_{c,0,k} = 4,3 \times (f_{m,k})^{0,5} = 37,77 \text{ MPa}$

e, $f_{c,90,k} = (0,007 - 0,01) \times \rho_k \approx 0,003825 \text{ MPa}$

(ez javaslat egy -tól-ig határon belül) további vizsgálatot igényel a pontos megállapítása

f, $f_{v,k} = 4,0 - 5,0 \text{ MPa}$

Ennek pontos meghatározása további vizsgálatokat igényel

g, $E_{0, \text{mean}} = 16\,256 \text{ MPa}$

h, $E_{0,k} = (0,6 - 0,84) \times E_{\text{mean}} \approx 11\,704,32 \text{ MPa}$

(ez javaslat egy -tól-ig határon belül) további vizsgálatot igényel a pontos megállapítása

i, $\rho_k = 0,45 \text{ g/mm}^3$

j, $\rho_{\text{mean}} = 0,55 \text{ g/mm}^3$

Eredményként megállapíthatjuk, hogy sűrűség alapján a jó fenyők közé sorolható, azonban nem éri el a leggyengébb lombosokat sem. A rugalmassági modulusz alapján a kifejezetten nagy teherbírású lombos fajok közé tartozna, miközben például a pecsétnyomása sejtetően kicsi. Utóbbit a hajlítoszilárdság mérésénél figyelhetjük meg.



17. ábra alacsony pecsétnyomásra utaló benyomódás alacsony pecsétnyomásra

Vizsgálataim sok megválaszolatlan kérdést hagy maga után. Mivel alulhasznosított fafajról beszélünk, sok mechanikai jellemző még ismeretlen, vagy nem kaptam méréseim során megbízható eredményt. Nagy szórást mutató mechanikai tulajdonságai miatt a szürke nyár és általában a nyarak fogadtatása például a fenyők kiváltására szerkezeti faként nagyon vegyes. Sűrűsége alapján önkéntelenül a fenyőkkel hasonlítjuk össze, ugyanis ezen fizikai tulajdonsága alapján jó alternatíva lehet ezek használatára.

Köszönetnyilvánítás

Első sorban szeretnék köszönetet mondani Dr. Hantos Zoltánnak, aki konzulensemként segítette a dolgozat megírása és a vizsgálatok értékelése során a munkámat. Valamint Dr. Bejó Lászlónak és Báder Mátyásnak szeretném megköszönni a vizsgálatok és mérések elvégzésében nyújtott segítséget.

Hivatkozások

(1.) Szalai Károly: Nemesnyár termesztéstechnológiai bemutató az Ártéri Erdőbirtokossági Társulat területén - Nemzeti Agrárgazdasági Kamara (2023.08.25)

<https://www.nak.hu/tajekoztatasi-szolgalatas/erdogazdalkodas/106184-nemesnyar-termesztestecnologiai-bemutato-az-arteri-erdobirtokossagi-tarsulat-teruleten>

[5.] MSZ EN 384:2016 + A1:2018

(2.) Németh Róbert, Christian Hansmann, Peter Rademacher, Bak Miklós, Báder Mátyás: 10th Hardwood Conference proceedings, Soproni Egyetem, 2022

(3.) Dr. Bejő László, Dr. Divós Ferenc: A fűrészáru szilárdság szerinti osztályozásával kapcsolatos hazai és nemzetközi tananyagok és segédletek áttekintése és rendszerezése, 2016

Felhasznált irodalom

[1.] klimavaltozas.oeo.hu <https://klimavaltozas.oeo.hu/>

[2.] NAK.hu, 2021.10.01. Klímaváltozás – Az erdőnek, erdőgazdálkodásnak alkalmazkodnia kell!

<https://www.nak.hu/tajekoztatasi-szolgalatas/erdogazdalkodas/103855-klimavaltozas-az-erdonek-erdogazdalkodasnak-alkalmazkodnia-kell>

[3.] [turistamagazin.hu](https://www.turistamagazin.hu) – A magyar erdőket is fel kell készíteni a klímaváltozásra

<https://www.turistamagazin.hu/hir/a-magyar-erdoket-is-fel-kell-kesziteni-a-klimavaltozasra>

[4.] Dr. Divós Ferenc egyetemi docens: Roncsolásmentes faanyagvizsgálat Mérési útmutató, Soproni egyetem 1999, közreműködtek: Bejő László, Gergely Lisette, Magoss Endre, Salamon Zoltán

[6.] <https://tudasbazis.sulinet.hu/hu/szakkepzes/mezogazdasag/muszaki-alapismeretek/mechanikai-vizsgalatok/mechanikai-vizsgalatok>