

Tanulmányi Diák Konferencia



Rostirányban tömörített tölgy minták hajlítóvizsgálata különböző nedvességtartalmakon.

Készítette:

Gecseg Péter Pál

FSQQPP

Témavezetők:
Dr. Báder Mátyás
Dr. Prof. Németh Róbert



SOPRONI EGYETEM
Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar
H-9401 Sopron, Bajcsy-Zs. u. 4. Pf.: 132.
Tel: +36 (99) 518-101 Fax: +36 (99) 518-259

NYILATKOZAT

Alulírott **Gecseg Péter Pál** (neptun kód: FSQQPP) jelen nyilatkozat aláírásával kijelentem, hogy a tömörített és kezeletlen minták előkészítése különböző nedvességtartalmakon végrehajtott hajlítóvizsgálatokhoz. című

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 konzulens, ill. 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.

Dátum: Sopron, 2023.11.25 (év, hó, nap)

Gecseg Péter Pál

hallgató aláírása

Tartalomjegyzék

Bevezetés	4
Anyagok és módszerek.....	8
A minták kiválasztása	8
A fahasábok gőzölése.....	8
Tömörítés folyamata	9
Faanyagok kondicionálása nedvességtartalom szerint.....	12
A minták hajlítási vizsgálatra való felkészítése	14
A gép hajlítási vizsgálatra való felkészítése.....	15
Eredmények, következtetések	17
Összefoglalás	21
Irodalomjegyzék.....	22

Bevezetés

A faanyagok rostirányú tömörítésének célja azok hajlékonyabbá, alakíthatóvá tétele. A fát inhomogén szálerősítésű kompozitként kezelve, a rostok hossztengetyével párhuzamosan összenyomva a fát tömörítést hajtunk végre. A művelet hatására kisebb erővel, egyúttal nagyobb mértékben válik hajlíthatóvá a minta.

A gőzöléses fahajlítást először Michael Thonet (1. ábra) alkalmazta az 1800-as években sorozatgyártás céljából, ipari körülmények között.



1. ábra Michael Thonet (forrás: Technologystudent.com 2023)

A Thonet-féle eljárásnál gőzből kivéve azonnal kész formára kell hajlítani a faanyagot, mielőtt az lehülne. Ezzel ellentétben a rostirányú tömörítéses technológia óriási előnye, hogy az így kezelt faanyag készletezhetővé válik és szobahőmérsékleten is hajlítható állapotban marad. A keménylombos fafajok (pl. tölgy, bükk, kőris, juhar) bizonyultak rostirányban tömöríthetőnek. Magas minőségű alapanyag szükséges, sokszor a jelentéktelennek tűnő fahibák is komoly problémákat okoznak. A megfelelő minőségű tömörített faanyag előállításának meghatározó tényezői a fafaj, alapanyag minősége, nedvességtartalom, hőmérséklet, tömörítési arány, stb. A legtöbb 20% feletti kezdeti nedvességtartalommal rendelkező jó minőségű keménylombos fafaj tömöríthető. Az általában gőzöléssel pasztifikált faanyag rostirányú tömörítése során a faanyagot meg kell támasztani az oldalirányú kihajlás megakadályozására, és előzetesen rostlágyításon kell átesnie, csökkentve eközben a fellépő súrlódási erőknek az egyenletes tömörítést hosszirányban gátló hatását. A rostirányú préselés hatására a fa hidrotermikus kezeléssel

meglágyított és folyamatosan legalább 80 °C hőmérsékleten tartott sejtszerkezetében a nagyrészt lignin és hemicellulóz alkotta középlemez engedi elcsúszni egymáshoz képest a magas cellulóztartalmú, szilárdítást biztosító farostokat és egyéb szöveteket, miközben ezeknek a longitudinális irányultságú hosszúkás szöveti elemeknek a sejtfa meggyűrődik. Az eljárással a fa rugalmassági modulusa lecsökken, így a kezelt faanyaghoz képest lényegesen könnyebben hajlíthatóvá válik, egyes módszerek szerint akár szárított és szobahőmérsékletű állapotban is (Báder 2015; Báder et al. 2017).

A faanyagokban víz található, méghozzá kétféle állapotban. Az egyik formája a fatestben jelenlévő szabad víz, ami az élő fában a tápanyagszállító szerepet tölt be. A sejtfa körüli térben, az edények, illetve fenyők esetén az áldedények sejtüregeiben helyezkedik el, cseppfolyós vagy gőz halmazállapotban. Mennyisége (megközelítőleg a fa faj nedvességtartalmának 30% fölötti része) nagymértékben befolyásolja a faanyag tömegét, illetve sűrűségét. De nincs hatással a faanyag alak- és méretváltozásaira. A faanyagban lévő víz nagymértékben csökkenti a faanyag hőszigetelő képességét, és növeli elektromos vezetőképességét (a vizes fa jobb hő- és elektromos vezető). A szárítási folyamatok során a szabad vízmennyiség távozik el először a faanyagból. Eltávolításához viszonylag kis energiamennyiség szükséges. A másik formája a kötött víz, ami alatt a fatestet alkotó sejtfa cellulózrostjai között jelenlévő molekuláris szinten kötött vízmennyiséget értjük. A fatest sejtszerkezetének sejtfa-vázát mikroszkopikus cellulóz fonalmolekulák alkotják, melyek elemi rostokká, mikrofibrillákká és fibrillákká szerveződve specifikus orientációval biztosítják a sejtfa különböző rétegeinek megfelelő szilárdságát, és rugalmasságát. Közöttük található az elemi szinten jelenlévő, molekuláris szinten kötött, úgynevezett kötött víz. A kötött víz, a szabad víznél jóval erősebben kötődik a fatesthez, ezért eltávolítása nehezebb, nagyobb energia befektetést kíván. A szárítási folyamatok során, távozása csak a szabad víz elpárologtatását követően kezdődik meg. Ezt a határt, amikor a faanyag sejtüregeiben már nem található (úgynevezett szabad) víz, a sejtfa alkotó fibrillák között azonban még az általa megkötni képes maximális mennyiségű (ún. kötött) víz van jelen, rosttelítettségi határnak nevezzük. Értéke, mint ahogy a kötött víz fában lévő mennyisége is faj-függő, de általánosságban a faanyag nedvességtartalmának 30% alatti részét tekintjük kötött víznek, és a 30%-os nedvességtartalmi határt nevezzük rosttelítettségi határnak. Ezeknek a vizeknek a

menyisége alapján (jele: u) osztjuk be a faanyagokat kilenc különböző csoportba. Ezek a csoportok:

- abszolút száraz állapot: $u=0\%$
- túlszáritott állapot: $u < 8\%$
- szobaszáraz állapot: $u=8-12\%$
- légszáraz állapot: $u=12-18\%$
- félszáraz állapot: $u= \text{kb. } 25\%$
- rosttelítettségi állapot: $u= \text{kb. } 30\%$
- félnedves állapot: $u= \text{kb. } 50\%$
- élő nedves állapot: $u= \text{kb. } 89\%$
- abszolút nedves állapot: $u= \text{kb. } 138\%$ (Fainfo.hu 2023).

A feladatkiírásban megtalálható nedvességtartalmi állapotok élőnedves faanyagot alapul véve sokféleképpen beállíthatók. A faiparban napjainkig legtöbbet használt megoldást a konvekciós szárítók (2. ábra) jelentik, amik a faanyagok mesterséges szárítására alkalmazott szárítóberendezések. A faanyag felületével érintkező szárítóközeg levegő-vízgőz keverék, mely ventilátorokkal működtetve folyamatosan áramlik. A légáramlás eltávolítja a nedves levegőt, és helyébe alacsonyabb nedvességtartalmút szállít. A légcseré egy csappantyún keresztül zajlik. A magas hőmérsékletű szárítóközeg a faanyaggal érintkezve felmelegíti annak felületeit, így a száradás mindig a külső rétegeken kezdődik el. Az anyag közepe lényegesen később melegszik fel, így nedvessége a szárítás teljes időtartama alatt magasabb lesz, mint a felületeké. A szárítás időtartama a fafajtól, anyagvastagságtól és a kezdeti nedvességtartalomtól függően akár 3 hónap is lehet. A szárítás folyamata három szakaszra bontható:

- 1. szakasz: felfűtés
- 2. szakasz: száradás
- 3. szakasz: kiegyenlítés (faipar.com)



2. ábra A kutatás során használt konvekciós szárító

Hajlítási vizsgálatokat a faanyagtudományok területén éppúgy, mint a faiparban rendszeresen végeznek, hiszen a hajlítási vizsgálatok eredményeivel rengeteg dolgot lehet megállapítani minden anyagnál, nem csak a faanyag esetében. Több fajta hajlító berendezés létezik (gépek gyártójától függ, főleg teljesítménybeli a különbség), több fajta hajlítási eszközzel, gondolhatunk itt a hajlító egységre (például egy vagy kettő nyomófejjel rendelkezik). Mindezek elvégzéséhez különböző képletek, ismeretek szükségesek. A kutatásunk során arra voltunk kíváncsiak, hogy a tölgy faanyagok más-más nedvességtartalmi százaléka kihatással van-e a minták teherbíró képességeire, és ha igen, akkor milyen mértékben. A minták nagy részét rostirányú tömörítés után különböző nedvességtartalmi fokokra leszártva vizsgáltuk, mekkora mechanikai tulajdonság által feljegyzett adatok közti különbség. Így megtudhatjuk, hogy a faanyag milyen nedvességtartalmon milyen erőket képes kibírni törés nélkül, illetve milyen terhelésen megy tönkre. A mérés akkor állt meg, amikor a faanyagra ható terhelés negyven százalékot csökkent hirtelen, ez jelezte a „törést”.

Számomra ez a téma már régóta érdekes, hiszen amikor láttam a bútorokat szállodákban, háztartásokban és láttam, hogy hajlítással készültek mindig elgondolkodtam, vajon milyen módszerekkel tudták a faanyagot ilyen módok meghajlítani. Az egyetemi tanulmányaim során már megismerhettem ennek módszereit, fajtáit, de még mindig vannak olyan részei, amikről valószínűleg nem is tudok. Nyilván a témaköröm nem a bútorok alkatrészeinek hajlításáról szól, de a kísérletek nagymértékben segítenek abban,

hogy e bútorok hajlítási körülményeit jobban megértsük. A dolgozat a kutatásunk minden lépését feltünteti, hogy mit milyen eszközökkel, megoldásokkal valósítottunk meg.

Anyagok és módszerek

A minták kiválasztása

A tömörítés során a T10 jelű rönkből kivágott (rönksorrendi számozás) kocsánytalan tölgy mintákat (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) használtuk élőnedves állapotban. A mintákat úgy alakítottuk ki, hogy a bétől a tizenötödik évgyűrűig kihagyjuk a juvenilis részt, vagyis kizárólag érett fával dolgoztunk. Faanyagaink előre méretre vágva, lefagyasztva voltak tárolva, ezzel megőriztük a faanyag élőnedves nedvességtartalmát. Amint kivettük a faanyagokat a fagyasztóból, először a felesleges jeget, ami a faanyagból származott leszedtük, és szétválasztottuk az összefagyott mintadarabokat. A szeparált fahasábokat egyenként megvizsgáltuk, fahibákat keresve rajtuk, ilyen fahiba például:

- göcsök
- rovarrágás
- ferdeszálúság
- repedések.

A válogatásnál a szeparálás célja nem volt más, mint hogy igyekezzünk egységes mintasorokat kapni. A minták hasonló tulajdonságai által lehetséges lesz összehasonlítani a különböző eredményeket, amiket a vizsgálatok során mértünk. A kiválogatott, megfelelőnek ítélt fahasábokat egy golyóstoll segítségével megszámoztam a nyomomonkövethetőség végett.

A fahasábok gőzölése

A fahasábokat a válogatás után egy gőzölőkuktaban (3. ábra) kezeltük. Először vizet töltöttünk az gőzölőkukta fenekére, a forráspont elérése után ez a víz szolgáltatja a gőzt. Fontos, hogy a fenéken található fémlap pereméig szabad csak a vizet önteni, nehogy elérje a faanyagot és főzés történjen a gőzölés helyett. Ezután a fémlapra kettő nagyobb alátétfát raktunk, hogy ne érjenek a minták a fém laphoz, mivel sokkal nehezebb lett volna kivenni a mintákat, és befolyásolhatta volna a nedvességtartalmi-hőmérsékleti állapotukat. Nagyjából tizenöt percig hagytuk melegedni a gőzölőkuktát, amint felforr a víz a mintadarabokat tízesével rakatolva fektetve, elválasztók segítségével egymásra

pakoltuk úgy, hogy a mintadarabok ne érjenek egymáshoz, így a gőz minden felszínre eljuthatott. A fedelét a gőzölőkuktaának egyedi módon kellett lezárni, mégpedig oly módon, hogy a kukta nyelén és a fedelén lévő nyilak egymás felé nézzenek, lenyomni a fedelét, majd elfordítani a fedelét. Ezzel az eljárással a tömítőgyűrű megfeszült és a faanyag nagyobb hatékonysággal gőzölődött. Maga a gőzölési folyamat negyvenöt percig tartott a minták elhelyezését követően, közben figyelni kellett a vízállásra, mivel ha a víz már elpárolgott, de a faanyag még a kuktában van, akkor a faanyagból párologtatja el a vizet, a faanyag így kiszárad és a mintadarabok alkalmatlanná váltak volna a kísérlet folytatásához.



3. ábra Gőzölőberendezés

Tömörítés folyamata

Amíg a gőzölés tartott, előkészültünk a tömörítéshez, amely egy több lépcsős rendszer formájában valósult meg az INSTRON 4208 típusú golyósorsós univerzális anyagvizsgáló gépen (4. ábra).



4. ábra INSTRON 4208 típusú golyósorsós univerzális anyagvizsgáló gép

Először a fahasábok tömörítését segítő, falmelegítéssel ellátott egységet helyeztük fel a gépre (5. ábra). Ezt négy csavar fogta a gép alsó fémlapján, felfogatás után magát a tömörítő szerszámot fogattuk be a helyére egy csavar segítségével az erőmérő cellához. A tömörítő egység egy tálcán állt, amelynek a szerepe nem volt más, mint a tömörítés során esetlegesen keletkező vizet kifolyassa egy pohárba, így a tömörítő egység nem állt vízben. Az egységet teljesen hátratóltuk koppanásig a vizet gyűjtő tálcán, majd meggyőződünk róla, hogy a tömörítő egység tetején található nyílás pontosan a tömörítő szerszám alatt van, és nem ütközik semmivel. Amikor ez megtörtént, kettő darab asztalos szorítóval rögzítettük az egységet, így elkerülve az esetleges elmozdulást, ütődés rezgés esetén, majd újra megnéztük, hogy nem ütközik-e a tömörítő szerszám semmivel. Az egység előlapi oldala kiszedhető, itt rakjuk be és ki a faanyagot, ezt is a helyére tesszük, így teljesen felmelegszik a rendszer. Ezek után az egységet áram alá helyeztük a kapcsolóval, ezáltal felgyulladt két fény, egy zöld és egy sárga. A zöld jelentette, hogy áram alatt van (így elkezdett melegedni), a sárga, hogy még melegszik, nem érte el a megfelelő hőfokot. Amint a sárga elaludt, az egység tömörítésre alkalmassá vált.



5. ábra Faanyag a tömörítést segítő gépegységben.

Ezt követően nekiálltunk bekalibrálni a gépet a tömörítési vizsgálatunkhoz. Először áram alá helyeztük a gépet, majd manuálisan beállítottuk a nullpontot, oly módon, hogy a gépegységen elöl, a felső híddal egy síkba álljon a szerszám, majd egy etalon faanyagot raktunk a tömörítő gépegységbe. Ezt követően az előlapot a helyére tettük, lezártuk az elülső tartókat, így nem tudott kiesni. Az anyagvizsgáló gép saját rendszerén folytattuk a kalibrációt, először a „LOAD BAL” gombot nyomtuk be, felette felvillant a lámpa, majd egy „ENTER” gombot nyomtunk, és kialudt a lámpa, majd „LOAD CAL” gombot nyomva ugyanúgy felgyulladt egy lámpa, újra „ENTER” gombot nyomva kialudt, így beállítottuk az erők és feszültségek nullpontját. Ezután „G.L.RESET” gombot nyomtuk meg a keresztfej elmozdulását nullázva és az „IEEE” gombot, mind a két gomb fölötti lámpa kigyulladt, így összeköttetésbe hoztuk a számítógéppel. Ezután bekapcsoltuk a számítógépet.

A számítógépen bekapcsolás után a „BLUEHILL” nevezetű programot használjuk, ezen keresztül tudjuk a gép által kifejtett erőt, illetve a keresztfej elmozdulás mértékét vezérelni, látni és feljegyezni, elmenteni. A programon belül a „TESZT” funkciót választottuk és kiválasztottuk a rostirányú tömörítéshez szükséges előre előkészített feladattípust. A programon belül megtaláltuk a feladat rövid leírását illetve pár alapadatot. Ilyen például, hogy a teszt során 66 mm tömörítést enged a tömörítő berendezés a rugó eltávolítása után, hogy egy percig összenyomva tartja a mintákat tömörítést követően és hogy 50 mm/min előtolási sebességgel dolgozik a gép. Majd egy számunkra szimpatikus

fájlnévet adtunk ahová a gép menti el az adatokat. Megadtuk a faanyag vastagsági (20 mm) és szélességi (30 mm) paramétereit. Manuálisan lehet a szerszámot emelni vagy süllyeszteni két gomb segítségével. Az első lépésben a szerszámot addig kellett lefelé mozgatni, amíg a monitoron a kifejtett erőnél 100-200 Newton közti értéket láttunk. Ezután a „KERESÉS” gombot lenyomva lenulláztuk az elmozdulást, és felfele vittük a szerszámot pontosan négy milliméternyit, majd újra „KERESÉS” gombot lenyomva lenulláztuk az elmozdulást. Ezzel bekalibráltuk a számítógépen a nullpontot, elkezdhattuk a munkát. Az első mintát beraktuk a tömörítő egységbe, melynek oldalán illetve elején lévő menetes szorítókat meghúztuk, ezzel segítve, hogy ne görbüljön, mozduljon el a faanyag oldalirányban a tömörítés közben. Majd egyenként elnevezve a kísérleteket az éppen aktuális próbatesten lévő számot beírtuk a programba, hogy a program össze tudja rakni a készülő grafikonnal és elvégeztük a tömörítési műveletet. Vizsgálat közben, amikor nem tömörítettünk, és szabadon állt a tömörítő szerszám figyelni kellett az aktuális nyomóerőt. Ha több volt, mint 16 Newton, akkor a „KIEGYENLÍTŐ TERHELÉS” gombot megnyomva nulláztuk terhelést. Amint megtörtént a tömörítés, egy perc összenyomva tartást követően a tömörítő szerszám visszaállt a nullpontba, majd kilazítottuk az egységen a menetes szorítókat, és az előlapot kiszedtük a helyéről és egy célszerszámmal kiszedtük a faanyagot. A mintákat megvizsgáltuk, azt keresve, hogy valamilyen irányba elhajlott-e, amennyiben igen, kézzel vissza lehetett egyenesíteni, ameddig meleg a faanyag. Visszahajlítás után egy tolómérővel megmértük a tömörített faanyag hosszát. A bütü középső pontjára helyeztük a tolómérő csúcsát mindkét oldalon, majd feljegyeztük a mért értéket. Amikor végeztünk a tömörítéssel és nem volt több mintánk a programban a VÉGE gomb megnyomása után a MINTA BEFEJEZÉSE gombot megnyomva tudtuk lezárni és elmenteni a tömörítési eredményeket.

Faanyagok kondicionálása nedvességtartalom szerint

A kondicionálást egy klímaszoba segítségével (6. ábra) hajtottuk végre nagyjából 12%-os nedvességtartalomra, a további szárítást szárítógépek segítségével végeztük el. Ilyen szárítási módszer, amit alkalmaztunk például a konvekciós szárítás is.



6. ábra A kutatás során használt klímaszoba

A többi mintát vagy nem kellett különleges nedvességtartalomra szárítani (gőzölt, referencia minták) vagy fagyasztással biztosítottuk magas nedvességének megtartását. A különböző minták egyenkénti bánási módjai csoportok alapján:

1. Fagyasztás rosttelítettség feletti nedvességtartalommal: A mintákat korábban sorszámoztuk, e csoportban a $\Delta 00-09$ -ig lévők találhatóak. Amint a tömörítést elvégeztük, a mintadarabokat kiegyesítettük, lemértük a hosszukat, feljegyeztük, és egy fatartón zacskóba helyeztük, hogy ne veszítsen a nedvességtartalmából. Amint mind a tíz minta tömörítésével végeztünk, behelyeztük őket a fagyasztóba, figyelve arra, hogy a fahasábok ne érjenek egymáshoz.
2. Fagyasztás kicsivel rosttelítettség alatti nedvességtartalommal (18%): E csoportban a $\Delta 10-19$ -ig számozott faanyagok szerepelnek. A fahasábokat az előzőkhöz hasonlóan elkészítettük és fagyasztóba tettük.
3. 12% nedvességtartalomra kondicionálva normál körülmények között (20 °C; 65% relatív páratartalom): E csoportban a $\Delta 20-29$ -ig számozott faanyagok szerepelnek. Amint a tíz fahasáb tömörítésével végeztünk, egy fatartóra fektetve elhelyeztük a fahasábokat zacskó nélkül a klímaszobában úgy, hogy ne érjenek egymáshoz. Így a levegő minden részét elérte a mintáknak. A fahasábokat hézaglécek segítségével máglyarakásos megoldással raktuk egymásra úgy, hogy

legyen köztük hézag, így nincsenek egymásra hatással, és könnyebben szárad a faanyag.

4. 6% nedvességtartalomra kondicionálva: E csoportba a $\Delta 30$ -39-ig számozott faanyagok tartoznak. Az előzőekkel megegyező kezelést követően klímaszobába helyeztük őket.
5. 0% nedvességtartalomra szárítva: E csoportban a $\Delta 40$ -49-ig számozott faanyagok szerepelnek. Az előzőekkel megegyező kezelést követően klímaszobába helyeztük őket.
6. Abszolút szárazra szárítva, majd kondicionálva 12% nedvességtartalomra: Ebbe a csoportba az $\Delta 50$ -59-ig számozott faanyagok szerepelnek. Az előző menetrendnek megfelelő szárítás után klímaszobában 12% nedvességtartalmúra kondicionáltuk őket.
7. Műszárítva normál konvekciós szárítási menetrend szerint 10-12%-ra, majd kondicionálva: E csoportban a $\Delta 60$ -69-ig számozott faanyagok szerepelnek. Ezek a faanyagok külön bánásmódot igényeltek, mivel a konvekciós szárításra csak később került sor, ezért a nedvesség megtartása végett a faanyagokat a korábban ismertetett tömörítés után zacskóban fagyasztva tároltuk. A minták 2023.11.02-én kerültek be a konvekciós szárító berendezésbe, ami addig szárította a faanyagot ameddig a program késznek nem jelezte azt. Ezt követően klímaszobában 12% nedvességtartalmúra kondicionáltuk a mintákat.
8. Gőzölt faanyagok: E csoportba a $\Delta 70$ -79-ig számozott faanyagok tartoznak. Ezeket a faanyagokat a gőzölőkukta segítségével negyvenöt percig gőzöltük, majd a gőzölés után a klímaszobába helyeztük őket.
9. Kezeletlen minták: E csoportba a $\Delta 80$ -89-ig számozott faanyagok tartoznak. Sorszámozás után máglyázva a klímaszobába helyeztük őket. Ennek segítségével képesek leszünk megnézni, milyen eltéréseket okoz a faanyagok gőzölése, tömörítése, különböző nedvességtartalmi fokokra szárítása.

A minták hajlítási vizsgálatra való felkészítése

A mintákat ahhoz, hogy hajlító vizsgálatokat tudjunk rajtuk végezni, a kísérlethez előírt méretre kellett darabolnunk. A darabolást egy EMCO Maiser Ges.m.b.H asztalos körfűrészgéppel (7. ábra) végeztük vezetővonalzó mellett olyan módon, hogy a minta két centiméteres éle érintetlen maradt, csak tisztítógázt végeztünk a felületen. A tisztító

vágást követően a vágott élre felírtam a faanyag sorszámát és jelöltem az első felét (pl.: $\Delta 01/1$). Ezután a vezetővonalzót beállítottuk 11 mm vastagságú vágásra, majd felszeltük az anyagot. Az így készült 11 mm vastag fahasáb másik felét újra áttoltuk a gépen, így a faanyag másik élén is egy tisztító vágást végeztünk. Majd az így keletkezett tiszta felületre felírtam a minta sorszámát és jelöltem, hogy a másik fele (pl.: $\Delta 01/2$). Miután végeztünk a minták felszelésével, újra máglyába rakva visszatettük a klímaszobába. A fagyasztóban lévő faanyagokat külön kezeltük, mivel a jég miatt nem tudtunk pontos vágást csinálni, ezért a jeget lekapartuk róluk, és a lehető leghamarabb felszeltük a mintákat, hogy ne kezdjenek el száradni, majd a felszelés után zacskóba helyezve visszaraktuk a fagyasztóba.



7. ábra EMCO Maiser Ges.m.b.H asztalos körfűrészgép

A gép hajlítási vizsgálatra való felkészítése

A gép alapjára egy alátámasztó egységet raktunk, ami úgy nézett ki, hogy egy beméretezett sínbe két alátámasztó henger volt felhelyezve (oldalanként 1-1). Ezeket az alátámasztó egységeket 140 mm távolságra állítottuk egymástól, ezt egy villáskulcs segítségével meglazítottuk, majd a helyére toltuk őket. Itt figyelni kellett, hogy az alátámasztó egység közepén lévő jelzéshez (középpontjához) állítsuk a 140 mm különbséget. Majd magát a felső hajlítófej egységet helyeztük be, itt volt egy biztonsági retesz is, mivel nagy erőviszonyok lépnek fel a hajlítás során. A hajlítófejen két darab görgő volt egymástól 50 mm-re, ezt ellenőriztük egy digitális tolómérő segítségével.

Amint a helyére helyeztük a hajlító egységet, annak síkjával párhuzamosan beállítottuk egy etalon fa segítségével (8. ábra). Így könnyebben látszott, ha a két sík nem párhuzamos az alátámasztó egységgel, majd egy kézi szorítóval fixáltuk utóbbit, hogy ne mozduljon el hajlítás közben. Majd pár mintát felhelyeztünk az alátámasztó egységre és addig engedtuk lefelé a hajlítófejet, amíg a görgők a mintákhoz nem értek annyira, hogy még épp ki lehessen alóluk venni kényelmesen a mintát és ne feszítse azt. Ezzel a módszerrel a vizsgálat hamarabb el tudott indulni, így nem veltünk időt sem és az erő-elmozdulásgörbe is pontosabb (szebb) lett. Ezután a beállított hajlítófejnek megmértük a még biztonságos távolságát, amit még lefelé megtehet. majd ennek a távolságnak a végére beállítottuk az automata vészleállító kapcsoló ütközőjét, így a gép nem tudja magát tönkretenni.



8. ábra Hajlító egységek párhuzamossági beállítása

Miután ezt végrehajtottuk az anyagvizsgáló gép saját rendszerén folytattuk a kalibrációt, programindítást és beállításokat a korábban leírtak szerint. Ezután megadtuk a próbatest sorszámát, vastagsági és szélességi méreteit (ezt minden egyes próbatestnél meg kell tenni) és betettük az alátámasztó egységre. Ha az aktuális nyomóerő terheletlen állapotban több volt, mint 16 Newton, akkor a „KIEGYENLÍTŐ TERHELÉS” gombot megnyomva nulláztuk terhelést. Figyelnünk kellett arra, hogy a minták ugyanakkora távolsággal lógnak túl mindkét oldalon az alátámasztó görgőkön, és hogy párhuzamosan álljanak az egységek síkjával, majd amikor ezek teljesültek elindítottuk a

mérést. Amint megtörtént a hajlítás, a maximális terheléstől való 40%-kal való erőcsökkenést követően a hajlítófej visszaállt a nullpontba, majd miután kivettük a mintát, lemértük annak tömegét.

Amikor végeztünk a hajlítással és nem volt több mintánk a programban a VÉGE gomb megnyomása után a MINTA BEFEJEZÉSE gombot megnyomva tudtuk menteni a hajlítási eredményeket.

Eredmények, következtetések

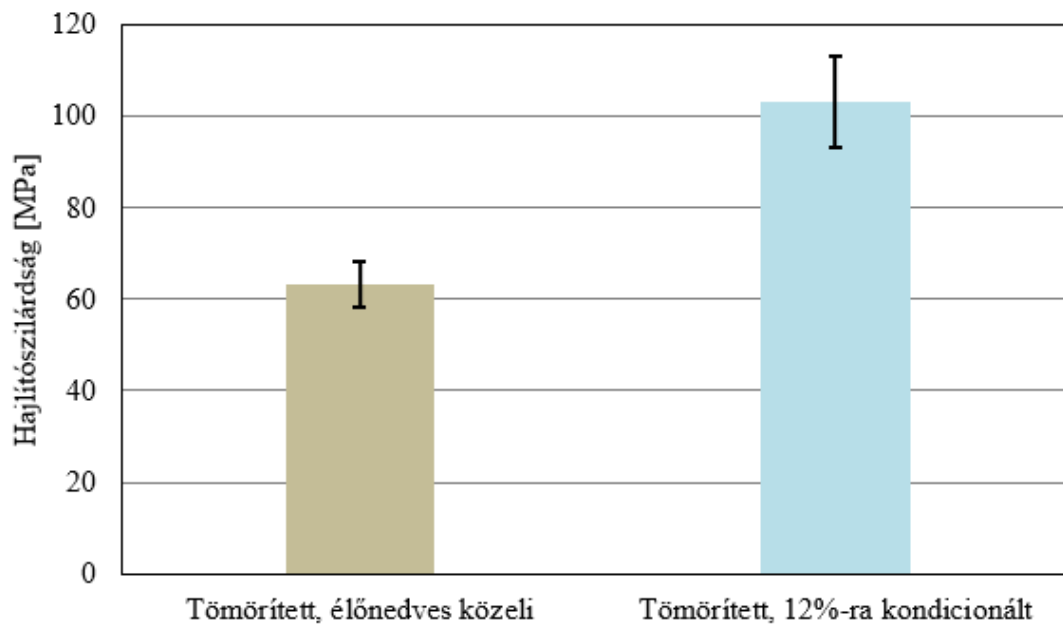
A hajlítóvizsgálatok során kiderült, hogy a mintáink jóval strapabíróbbak voltak mindkét tömörítetlen mintacsoportunknál. Ez alátámasztja azt a gondolatunkat, hogy a gőzölt-tömörített faanyag ugyan gyengébb lesz (kisebb erő hatására hajlik), mint a kontroll faanyag, viszont nagyobb lehajlást visel el, mivel a hajlítás során nehezen törik el, mert a rostok meg tudnak nyúlni (9. ábra). Azonban azt is megfigyeltük, hogy a nagyobb nedvességtartalommal rendelkező minták kevesebb terhelést képesek elviselni, mint az alacsonyabb nedvességtartalommal rendelkező minták. Kísérleteink során azt is tapasztaltuk, hogy a nedvesebb, nagyobb nedvességtartalmi százalékokkal rendelkező minták hajlamosabbak voltak a visszarugózásra, hajlítás után közel sem volt megfigyelhető akkora deformáció, mint a kisebb nedvességtartalommal rendelkező mintáknál. Ebből arra lehet következtetni, hogy amelyik minta kisebb nedvességtartalmi százalékkal rendelkezett, az nagyobb ellenállást mutatott, mivel kissé ridegebb volt a faanyag.



9. ábra Faanyag hajlítási vizsgálat közben

A tömörítési folyamatokat követően elemeztük a számítógép által mért értékeket, és megfigyeltük, hogy a válogatásunkat jól végeztük el, hiszen a próbatestek hasonlóképpen viselkedtek szinte minden mérési pontban. Erre az egyik kiváló bizonyíték a tömörítés során mért maximális nyomófeszültség két csoportra vonatkozó alacsony relatív szórása. Ezek értéke a 12%-os nedvességtartalomra kondicionált csoport esetén 7,3%, a rosttelítettség feletti nedvességtartalommal fagyasztott mintáknál pedig 7,1% volt (10. ábra). Ezen kívül a tömörítés utáni hossz is hasonlóan közeli értékeket hozott a két csoport esetén. Átlagosan az értékük a 12%-os nedvességtartalomra kondicionált csoport esetén 193,22 mm, a rosttelítettség feletti nedvességtartalommal fagyasztott mintáknál pedig 193,20 mm volt rendre 0,2% és ,4% relatív szórással. Ebből arra következtethetünk, hogy a további vizsgálatok során valószínűleg szintén nagyon pontosan fogjuk tudni összehasonlítani a különböző nedvességtartalmak hatásait, hiszen a minták alapvetően megegyeznek.

A félév során két mintacsoportnak tudtuk sikeresen elvégezni a hajlítóvizsgálati mérését. A hajlítószilárdság mérés során a 12%-ra kondicionált minták hajlítószilárdsági értéke 103,20 MPa, ami átlagosan 61%-kal magasabb értékeket mutatott a rosttelítettség feletti nedvességtartalommal fagyasztott minták értékeivel szemben, amely 63,27 MPa volt (11. ábra). Ezt a faanyagban lévő lignin és hemicellulóz okozza, mivel a sok nedvesség miatt plasztikusabban viselkednek a faanyagban a magas nedvességtartalom esetén. A mért rugalmassági modulus értékek átlaga a 12%-ra kondicionált csoportban 4,02 GPa, míg a rosttelítettség felett fagyasztott anyagok esetén csupán 1,42 GPa volt, ez 35%-os különbséget jelent. A relatív szórási értékek a 12%-ra kondicionált minták esetén 19,1%, rosttelítettség feletti nedvességtartalommal fagyasztott minták esetén pedig 12,8% voltak. Az eddigi vizsgálatok azt mutatják, hogy a faanyag minél nagyobb nedvességtartalommal rendelkezik, rugalmassági modulusa annál alacsonyabb lesz. Tehát a faanyag minél nagyobb nedvességtartalommal rendelkezik, annál hajlékonyabb.



11. ábra Élőnedves és 12%-ra szárított minták hajlítószilárdsági átlag és szórás diagramja

Tömörítés során a minták sejtszerkezete megváltozott és emiatt a tömörített anyag hajlítószilárdsága gyengébb a kezeletlen anyag hajlítószilárdságánál. Átlagosan a kocsánytalan tölgy faanyag hajlítószilárdsága ~10,5 GPa (Meier 2023), ami fafajon belül eltérhet termési helytől függően, míg a mi mintáink esetén a tömörített és 12%-ra kondicionált csoportban 4,02 GPa, valamint a tömörített és rosttelítettség felett fagyasztott anyagok esetén csupán 1,42 GPa volt.

Azonban a különbséget nem csak a rugalmassági modulus esetén fedeztünk fel. A minták 4 mm behajlásnál mérhető hajlítófeszültsége a 12% nedvességtartalomra kondicionált mintáknál átlagosan 40,69 MPa volt, míg a rosttelítettség feletti nedvességtartalommal fagyasztott minták esetén 18,60 MPa. A relatív szórási értékek a 12%-ra kondicionált minták esetén 11,5%, rosttelítettség feletti nedvességtartalommal fagyasztott minták esetén pedig 7,8% volt. A legnagyobb erőnél fellépő valós behajlás átlagos értéke a 12%-ra kondicionált csoportban 28,45 mm, valamint a rosttelítettség felett fagyasztott anyagok esetén csupán 32,54 mm volt. Ezek az eredmények jelentősen magasabbak a kezeletlen faanyagokra jellemző behajlásoknál a tönkremenetel pillanatában. A későbbiekben erről is készülni fog összehasonlító elemzés. A szórási értékek a 12%-ra kondicionált minták esetén 9,5%, rosttelítettség feletti nedvességtartalommal fagyasztott minták esetén pedig

7,9% volt. A valós legnagyobb behajlás esetén azonban az átlagos értéknél nem volt nagy eltérések, a 12%-os nedvességtartalomra kondicionált csoport esetén 35,70 mm, a rosttelítettség feletti nedvességtartalommal fagyasztott mintáknál pedig 35,95 mm volt. A relatív szórási értékek a 12%-ra szárított minták esetén 20,9%, rosttelítettség feletti nedvességtartalommal fagyasztott minták esetén pedig 7,3% volt. Az átlagok a szórásokkal figyelembe véve szignifikánsan azonos eredményeket mutatnak. Azonban mindezek egyelőre csak közelítő összehasonlítások, hiszen a kontroll minták értékei még nincsenek meg, így csak a két modifikált csoportot egymáshoz, valamint az irodalmi értékekhez tudtuk hasonlítani.

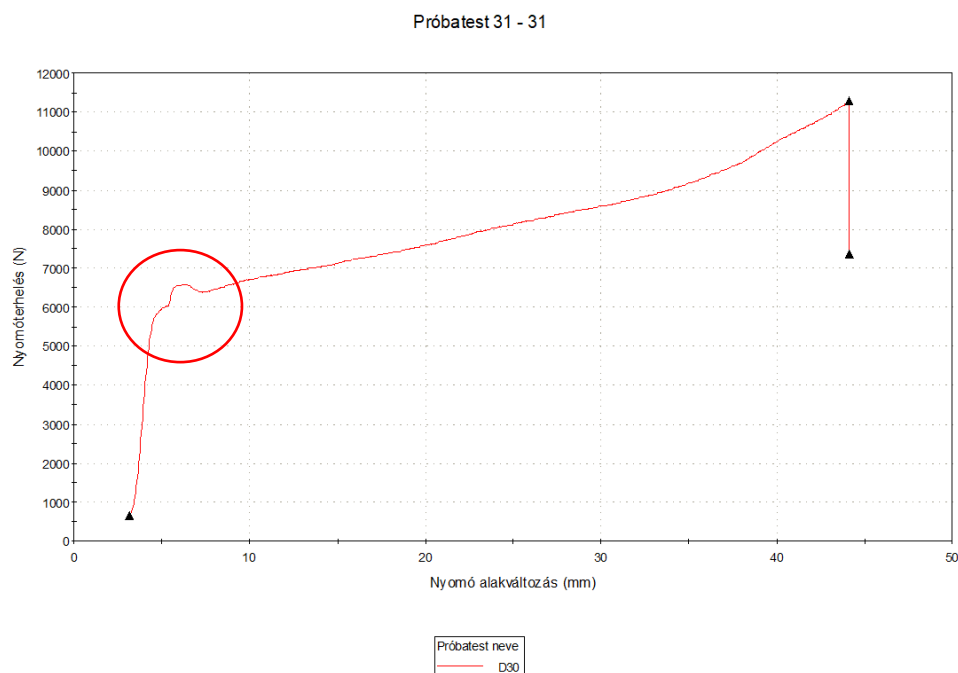
Érdekes észrevételek, megfigyelések:

- Fekete lett a faanyag:

A tölgyfa minta a tömörítés után befeketedett. Ez a kémiai folyamat a csersavnak köszönhető, mivel a csersav vassal érintkezve reagál és fekete lesz.

- Fahibák miatti grafikonváltozás:

Egy-két faanyagmintánál tömörítés során az erő-elmozdulás görbe hullámos volt az elején (12. ábra). Ez annak köszönhető, hogy a faanyag a göcs, esetünkben tűgöcs közelében másként viselkedik, könnyebben megindul a tönkremeneteli folyamat. Ezen minták esetében a tönkremenetel nem következett be, valamint a mintáknak csak a végei közelében volt göcs, amelyek így nem befolyásolják a hajlítóvizsgálati eredményeket.



12. ábra Fahibák által létrehozott grafikonváltozás piros karikával jelölve

Összefoglalás

A feladattal a fő célunk az volt, hogy bebizonyítsuk, hogy a faanyag a nedvességtartalom változásának köze van a faanyag mechanikai tulajdonságainak változásához. Ezt előzetesen tudjuk csak kijelenteni, hogy sikeresen véghez vittük, hiszen csak a jövő félévben fogjuk befejezni a vizsgálatokat. Azonban a lejjebb látható szövegben felmutatott értékek biztató jeleket sugallnak a hipotézisünkhöz. Összességében a félévet sikeresnek tekintem, hiszen nem csak a saját céloknak kitűzött tömörítési és nedvességtartalom-beállítási munkálatokat végeztem el, hanem idő jutott két csoport (fagyasztás rosttelítettség feletti nedvességtartalommal és 12%-ra kondicionált normál körülmények között) hajlítási vizsgálatainak elvégzésére. Ennek köszönhetően megfigyelhettük, hogy ugyanabból a faanyagból készített minták esetén jelentős a különbség a hajlítószilárdság esetén. A fagyasztás rosttelítettség feletti nedvességtartalmú csoportnál 63,27MPa volt, valamint ennek közel duplája a 12%-ra kondicionált (103,20 MPa) csoportnál. Ebből arra következtetünk, hogy a faanyagok minél nagyobb nedvességtartalmi százalékkal rendelkeznek, annál kevesebb maximális terhelést bírnak ki roncsolódás nélkül. Azonban azt is megfigyeltük, hogy a nagyobb nedvességtartalmi százalékkal rendelkező csoport (élőnedves, 1,42 GPa) rugalmassági modulusa sokkal kisebb, mint a 12%-ra kondicionált csoportnak (4,02 GPa), ez abból is látszott, hogy a rosttelítettség feletti nedvességtartalommal fagyasztott minták hajlítás után sokkal jobban visszanyerték eredeti alakjukat. Kutatásunk során rengeteg új dolgot tanultam, el tudtam sajátítani olyan ismereteket a labormunkák során, amire eddig korábbi tanulmányim során nem volt példa és hatalmas izgalommal várom a jövőbeli munkálatokat.

Irodalomjegyzék

- Báder M (2015) Faanyag rostirányú tömörítésével kapcsolatos elméleti és gyakorlati kérdések áttekintése I. rész: Az alapanyagok és előkészítésük, a tömörítés elmélete. Faipar 63 (1): 1-9. <https://doi.org/10.14602/WOODSCI.2015.1.8>
- Báder M és Németh R (2017) A faanyagok rostirányú tömörítésének kísérleti körülményei I. rész GRADUS, 4 (2). pp. 403-411. ISSN 2064-8014
- Báder, M és Németh R (2017) A faanyagok rostirányú tömörítésének kísérleti körülményei II. GRADUS, 4 (2). pp. 412-418. ISSN 2064-8014
- Báder, Mátyás (2015) Faanyag rostirányú tömörítésével kapcsolatos elméleti és gyakorlati kérdések áttekintése III. rész: A tömörített fa mechanikai tulajdonságai, felhasználási lehetőségei. FAIPAR, 63 (2). pp. 52-63. ISSN 0014-6897
- Fainfo.hu (2023) A faanyag nedvességtartalma II.: Szabad víz, kötött víz. Megtekintve: 2023.10.25. <https://www.fainfo.hu/a-faanyag-nedvessegtartalma-ii/>
- Faipar.hu (2023) Energia megmaradás és környezetvédelem a szárításban: konvekciós szárítók. Megtekintve: 2023.10.25 <https://www.fainfo.hu/a-faanyag-nedvessegtartalma-i/>
- Kreativlakas.com (2023) Faanyagok mesterséges szárítására: konvekciós, kondenzációs vákuumszáritók. Megtekintve: 2023.10.10. <https://kreativlakas.com/parkettazas/faanyagok-mesterseges-szaritasara-konvekcios-kondenzacios-vakuumszaritok/>
- Meier E (2023) Sessile oak. Megtekintve: 2023.11.23. <https://www.wood-database.com/sessile-oak/>
- Technologystudent.com (2023) Michael Thonet and the No 14 chair. Megtekintve: 2023.11.23. <https://technologystudent.com/prddes1/thonet1.html>