

TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

**A telítési minőség ellenőrzése, alternatív vizsgálati módszerrel
a ceruzaipari felhasználás szempontjából releváns, új, illetve
alulhasznosított fafajok esetében**

Sajtos Dániel

Faipari Mérnök BSc

IV. évfolyam



Témavezető:

Dr. Komán Szabolcs, egyetemi docens

Soproni Egyetem

Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar

Alaptudományi Intézet

2024

Tartalomjegyzék

1	Bevezetés és célkitűzés	3
2	Irodalmi áttekintés	5
2.1	A ceruza szó eredete	5
2.2	A ceruza története	5
2.3	Megelőző tanulmányok a témából	6
2.4	Védőkezelés	10
2.5	Vákuum szárítás.....	12
2.6	Főbb vákuumos szárítási technológiák, amelyet az iparban alkalmaznak.....	14
2.6.1	Vezetőképes fűtés vákuumos szárítás	14
2.6.2	Ciklikus vákuumos szárítás	14
2.6.3	Túlhevített gőz vákuumos szárítás (SSV).....	14
2.6.4	Mikrohullámú vákuumos szárítás	14
2.6.5	Rádiófrekvenciás vákuumos szárítás (RFV).....	15
2.7	Környezetvédelem	15
3	Felhasznált alapanyagok, berendezések bemutatása	16
3.1	Bükkfa.....	16
3.2	Kislevelű-Ezüst hárs	18
3.3	Császárfa	19
3.4	Éger.....	20
3.5	„I 214” olasz nyár	21
3.6	Lucfenyő	22
3.7	Jegenyefenyő	23
3.8	Kapacitív elven működő mérőműszer	24
3.9	Telítés után.....	26
3.10	Rezisztográf	26
4	Saját vizsgálatok, eredmények.....	28

4.1	Fúrás kezdete	28
4.2	Rezisztográfós mérés továbbfejlesztése.....	29
4.3	Kifejlesztett mérés folyamata	30
4.4	További fúrásos vizsgálatok a rezisztográf készülékkel.....	37
4.5	Fontosabb mért, és kiértékelt adatok	39
5	Összefoglalás	52
6	Köszönetnyilvánítás.....	54
7	Irodalomjegyzék	55
8	Ábrajegyzék.....	57
9	Táblázatjegyzék	59

1 Bevezetés és célkitűzés

A ceruzaipar alapanyagaira olyan speciális minőségi követelmények vonatkoznak, amelyek magukban foglalják a, viszonylag kis különbséget a pászták között, az egyenes szálúságot, homogén szerkezetet és a hibamentes faanyagot, különösen a göcsök szempontjából. Ebből adódóan viszonylag kevés a ceruzagyártásra alkalmas fafaj. A rendelkezésre álló szűkös nyersanyagforrás miatt pedig óriási verseny folyik a gyártók között. Mire a gyártáshoz szükséges lamella elkészül, a rönkből kb. 7% faanyag kerül felhasználásra. Ez a nagyon alacsony kihozatali arány indokolja, hogy a gyártás minden egyes fázisa jól átgondolt legyen és a végtermék szempontjából kifogástalan minőséget eredményezzen. Viszonylag nagy keresztmetszet szükséges a ceruzaipari frízek előállításához, amelyeket felvágás előtt viasszal terítenek. Ennek a technológiának ellenőrzésére jelenleg még nincs kiforrott módszer. Minden új technológia, illetve új folyamat és telítő anyag magában rejt a veszélyt, hogy nem megfelelően lesz telítve az alapanyag, így selejt képződik. Ennek a megakadályozására célomul tűztem ki egy új módszert kifejlesztését, amit beillesztve a gyártás technológiába közvetlen és gyors információkhoz szolgáltatót a gyártás számára.

Az utóbbi öt évben nagyobb növekedés figyelhető meg globálisan a ceruzák és hasonló írószerek iránt. Ennek egyik oka, hogy a 2020-as Covid-19 világjárvány miatt az emberek több időt töltöttek otthon, és ezt az időt próbálták hasznosan és kreatívan eltölteni. Ennek eredményeként hatalmas népszerűsége tettek szert a különféle felnőtt színezők, ahol akár a családtagjainkat vagy háziállatainkat is kiszínezhettük, kifesthettük. Az ilyen tevékenységek remek kikapcsolódást nyújtanak a mai rohanó világban. Ezen termékek használatához pedig sokan jó minőségű színezőeszközöket kívántak beszerezni, így fellendítve ezt az iparágat.

Felvettük a kapcsolatot a Faber-Castell® céggel, akinek új telítő egysége épült a közelmúltban a SEFAG Zrt csurgói gyárában. A két céggel az előzetes megbeszélések alapján kísérleteket végeztük el, amelynek ők biztosították a technológiai hátterét.

Az ipari környezet változása új fafajok, új telítőszerkezetek, környezetvédelmi előírások, technológiai módosítások lehetőséget teremtenek, hogy a kidolgozni kívánt módszert adaptálni lehessen a változásoknak megfelelően. A ceruza végső minőségét meghatározó hármas egység (faanyag emulzió-technológiai paraméterek) eredményeként létrejövő ceruzaipari alapanyag minőségellenőrzésére kidolgozni kívánt módszer, az új fafajok bevonásával, tudományos és ipari szempontból is egyaránt nagy jelentőséggel bír.

Mint említettem előző félévekben az együttműködések során több alkalommal voltunk a gyárban Csurgón, ahol nyolc fafajból képeztünk egy rakatot, amelyet telítettek.

A dolgozatomban többek között a rezisztográfus elemzéseknek tulajdonítok nagy potenciált ugyanis a mérések és a hozzá kifejlesztett technológia alap kutatási szinten is hiánypótló. A mérőberendezéshez egy olyan egyedülálló módszer fejlesztését tűztem ki célul, amely nagyban megkönnyebbíti a minőség ellenőrzés folyamatát. A digitalizálást előtérbe helyezve próbálom a legkomplexebb képet alkotni a vizsgált frizekből. Ezeket az adatokat, és az új szakmai ismereteket, technológiát fogom bemutatni ebben a dolgozatban.

Közös konzultáció során a Faber-Castell® vezetősége megosztotta velem, hogy mely fajoknak tulajdonítsak nagyobb figyelmet, így megkezdhettem ezeknek a tanulmányozását .

A dolgozatom elkészítése során arra törekedtem, hogy a beillesztett képek formázása egységes legyen. Azonban voltak olyan képek, amelyek álló formátumban jelentek meg, mivel az adott helyzet indokolta, és így illeszkedtek legjobban a tartalomhoz. A jövőben azonban már a fotózás során igyekszem előnyben részesíteni a fekvő elrendezést, hogy egységes vizuális hatást érjek el.

2 Irodalmi áttekintés

Az írás a maradék örömök egyike. Igazából szükségtelen hozzá működő számítógép, internet, az úgynevezett felhő - elég a ceruza meg a papír. -James Powell [1].

2.1 A ceruza szó eredete

A ceruza évszázadok óta része a mindennapjainknak. A latin *cerussa* szóból ered melynek jelentése ólomfehér, így utalva a ceruza ősére az ólomvesszőre. Később az ólmot átváltotta az ón, amelyet írásra-rajzolásra használtak ez volt az úgynevezett ónvessző. Ezeket a vesszőket szükségszerűen fadobozban tárolták, lévén az ón rúd önmagában lágy és könnyen hajlítható. Ez az eljárás vezetett ahhoz, hogy kifejlődjön a ma ismert grafit ceruza [2].

2.2 A ceruza története

Egy ismeretlen személy fedezte fel 1564-ben az angliai Scatwallte völgyében a ceruza legfontosabb elemét, a szén származékú a grafitot. Gyártását először a németországi Steinben kezdte el 1761-ben Kasper Faber, a Faber-Castell® megalkotója. Így rendkívül felemelő és egyben megtisztelő érzés, hogy egy ilyen múltú céggel dolgozhatok együtt [2].

A ceruzát alapvetően két fő egységre lehet bontani: a grafitra, illetve annak a vázára. A ceruzabélnek három alkotó eleme van: a grafit, az agyag és a korom, ezekre a kutatásaim során nem térek ki. A másik fő alkotó része a váza, amely lehet fa, fém, műanyag, vagy különféle kompozit, ezek közül a fával foglalkozok a kutatásban. A kész ceruzát ezeken kívül tartalmaznak különféle tartósító és színező anyagokat. Ezek az anyagok nagy részben befolyásolják az egész gyártási technológiát, rájuk részletesen kitérek [2].

Mivel a ceruza egy hétköznapi eszköz, így számos jogszabály vonatkozik rá, a felületkezeléskor és a telítéskor. Természetesen a felhasználókat nem foglalkoztatják ezek az eljárások; ők csak azt várják, hogy továbbra is ugyanazt a ceruzát kapják, amit évek óta megszoktak. Ezáltal feltétlenül kell azt a konstans minőséget hozni, amely elengedhetetlen az írószerpiacon való versenyképességhez. Mindez mögött több évszázadnyi bevált technológia áll, amely biztosítja a megbízhatóságot és a tartósságot [2].

Telítéskor a ceruzafríz 12 bar nyomáson egy olyan bekevert anyagot kap, mely tartalmaz megfelelő arányban viaszt, gombaölő szert(a tárolási penészesedés miatt) és egyfajta színező anyagot. Azontúl a dolgozatom létrejötté amiatt történik, mert szeretném

új fafajok bevonásával foglalkozni a ceruzafrízek telítéskor. Tervezek arra is kitérni dolgozatomban, hogy kik foglalkoztak korábban ilyen vagy ehhez hasonló témával, a védőszeres telítéssel, a nyomási paraméterekkel, illetve a más fafajok viselkedésével és tulajdonságaival.

2.3 Megelőző tanulmányok a témából

A kutatásom megkezdése előtt korábban foglalkoztak már a császárfá ceruzaként való használatával.

Ebben a kísérletben *Paulownia Elongata* volt a vizsgált hibrid, amit párhuzamosan referenciaként *Populus tremolával* és *Juniperus excelsa* bevonásával csináltak. A TS 5171 (1987) ceruzaszabvány szerint a borókából, nyárfából és császárfából készült ceruzákat hegyezővel kihegyezték és ezt követően kiértékelték őket. A szabvány szerint a ceruzának könnyen faraghatónak, és a levágott felületnek simának és egyenesnek kellett lennie. Ezeken kívül a grafit tapadási tesztet úgy végezték el, hogy a kihegyezett ceruzák hegyét egy síkfelület felé tartották, és addig nyomták a felületre, amíg a hegye el nem tört. Ezentúl értékelték még a fa tapadási tesztét, ami során a ceruzamintákat 1,5 m magasból 5 alkalommal a betonpadlóra ejtették, ilyenkor a két felület elválasztását vizsgálták. A minták elkészítése után fizikai, mechanikai és technológiai tulajdonságot vizsgáltak. Minden vizsgálatához 50 próbatestet készítettek. Így a varianciaanalízis és a Duncan-féle többszöröstartomány tesztek kimutatták, hogy szignifikáns különbségek vannak a fafajok között. A császárfát megelőzte a tulajdonságaival a nyárfá és a boróka. Ridegségben is alumaradt, a fa törékenysége kulcsfontosságú a ceruzaiparban. A tanulmányban elért eredmények arra utalnak, hogy a császárfá egy megfelelő alternatív alapanyag lehet a gyártásban, ahhoz képest, hogy a ridegsége és a hajlítási szilárdsága nem erre utal.[3].

1986-ban két német mérnök egy németországi egyetemen egy közös fizika-botanikai projekt keretében kezdett ellenálláson alapuló fűrást fejleszteni a fagyűrűelemzéshez. A fagyűrűk korai és késői fa zónái közötti különbségtétel érdekében a rendszernek minimális térbeli (>10 pont/mm) és jel (>10 bit) felbontást kellett biztosítania a fához való magas (lehetőleg lineáris) korrelációval kombinálva. Ugyanezeknek a feltételeknek kell teljesülniük a fákban bekövetkezett pusztulás megbízható azonosításához, mivel a gombok által használt bomlási folyamatokat elsősorban a megfelelő sűrűségvesztesség jellemzi, amely segít azok felismerésében és megkülönböztetésében. Az 1986 óta végzett több ezer fán végzett fűrás tapasztalatai azt mutatják, hogy a profiltrend az ép fától a

korhadó fára való átmeneti zónában a bomlás sugárirányú kiterjedésének sebességét jelzi. A piacon használt különböző típusú ellenállásos fűrők közül néhány esetében már kimutatták a megfelelő felbontást és pontosságot, valamint a fa sűrűségével való nagy korrelációt. Következésképpen ezek az eszköztípusok megbízható adatokat biztosítanak, amelyek lehetővé teszik a szakértők számára, hogy megbecsüljék a jövőbeli radiális növekményt, valamint a sugárirányú bomlás terjedését [4].

A Rinntech cég forgalmazása alatt álló rezisztográffal számos külföldi cikk foglalkozik, és sok kérdésre választ találhatunk, ami felmerült bennem a használat során.

A fa mikrofűróműszer fűrőellenállása nem mérhető közvetlenül, de közvetve kifejezhető az egyenáramú motor áramával, feszültségével, teljesítményével, fordulatszámmal és egyéb paramétereivel. A fűrőellenállás mérési pontosságának javítása érdekében tovább tanulmányozták a fűrőellenállás kifejezési módszerét. Ismertették a mikrofűróműszer működési elvét, elemezték a fűrőellenállás és a fűrőfordulatszámot szabályozó egyenáramú motor árama, feszültsége, teljesítménye és fordulatszáma közötti összefüggést, és hat fűrőellenállás kifejezési módszert terjesztettek elő. A mintadarabok keményfát, puhafát és tűlevelűeket is tartalmaztak. Megmérték minden minta abszolút száraz sűrűségét. A fűrőellenállási adatokat saját fejlesztésű mikrofűróműszerrel és a német Rinntech cég által gyártott Resistograph 650-S készülékkel tesztelték. [5].

Az eredmények azt mutatták, hogy az egyenáramú motoráram, a feszültség, a teljesítmény és az abszolút száraz fa sűrűsége közötti lineáris korrelációs együttható magasabb volt, mint 0,9, és az egyenáramú motor árama, feszültsége és teljesítménye felhasználható a fűrőellenállás relatív nagyságának kifejezésére. Az egyenáramú motor forgási sebességével korrigált motor feszültsége és az abszolút száraz fa sűrűsége közötti lineáris korrelációs együttható volt a legmagasabb. Így az abszolút száraz fa sűrűségének mérésénél az egyenáramú motor forgási sebességével korrigált egyenáramú motor feszültségével kifejezett fűrőellenállás volt megfelelőbb. A saját fejlesztésű mikrofűróműszer lineáris korrelációs együtthatója az egyenáramú motor forgási sebességére beállított motorfeszültség és az abszolút száraz fa sűrűsége magasabb volt, mint a német Resistograph 650-S esetében. Ez azt jelzi, hogy a tervezési séma és a fűrő rezisztencia kifejezési módszer is megfelelően működött. A javasolt tervezési séma és a fűrőellenállás kifejezési módszere jelentős referenciaértékkel rendelkezett, a mikrofűróműszer független gyártásának elindításához Kínában. [5].

Sikerült azt is vizsgálnom, hogy a nedves vagy a szárazfaanyagnak lehet-e a nagyobb ellenállása a fűrés során, ezt a mérést 3-3 frízzel végeztem Hasonló korrelációt véltem felfedezni benne én is, mint ez a cikk.

A fa minősége fontos tényező a végfelhasználói igények szempontjából. A hagyományos szelekciós eljárás azonban, amely elsősorban a növekedési tulajdonságokra helyezi a hangsúlyt, negatív hatással lehet a fa minőségi paramétereire. A fa sűrűsége fontos tulajdonság, amely pozitívan korrelál számos faminőségi paraméterrel. A fasűrűség nemesítési programokba való beépítése szükségessé teszi egy olyan gyors és olcsó szelekciós módszer megtalálását, amely képes észszerűen pontos becslést adni az álló fák fasűrűségére anélkül, hogy az adatgyűjtés során jelentős sérülést okozna. A fa sűrűségét hagyományosan a volumetrikus módszerrel határozzák meg, amely pontos, de költséges nagyméretű mintavételnél, mivel gyakran roncsoló famintavételezéssel jár a fák kivágásával. Itt tesztelték a rezisztográf (Rinntech® 4452-S) hatékonyságát álló fák fasűrűségének gyors mérésében. Ez a kézi készülék a fákba döfött tű fűrészi ellenállását méri elektronikusan. Az *Acacia mangium* utódkísérletében huszonöt családhoz tartozó hetvenöt fát vettek figyelembe a vizsgálatban. A rezisztográf méréseket a mintavételezett fákon mellmagasságában végezték, és azonos szélességű fakorongokat gyűjtöttek a fa sűrűségének meghatározására. A megfigyeléseket korrelációs és egyszerű lineáris regresszioanalízisnek vetették alá. A családi átlagos rezisztencia és a család átlagos fasűrűsége közötti korreláció magasabb volt ($r^2 = 0,89$), mint az egyes fák korrelációja ($r^2 = 0,81$). A nedvességtartalom és az ellenállás közötti gyenge, negatív és nem szignifikáns korreláció ($r^2 = -0,08$) azt jelezte, hogy a fa nedvességtartalmának nincs összefüggése a rezisztográf fűrészi ellenállásával [6].

Ahogy korábban említettem, különböző sűrűségű fafajokon végeztem a fűrészeket, ami azt tette szükségessé, hogy az egyes fafajokhoz megfelelő előtolási sebességet állítsak be a fűrész épségének megőrzése és a fűrés minőségének biztosítása érdekében (1. ábra).

Az előtolási sebességnek jelentős hatása van a mikrofűrészellenállási műszer mérési pontosságára és hatékonyságára. A fa sűrűségétől függően különböző előtolási sebességeket alkalmaznak. A különböző sebességeknél mért adatok ellenállásadatok egységes sebességre kell konvertálni annak érdekében, hogy a mérési eredményeket megfelelően elemezze lehessen. [7].



1. ábra Beállítható a projektnek és a fúrásnak a száma, annak a mélysége, előtolása, és nagyítása.

Ebben a tanulmányban egy *Paulownia* fahasáb fúróellenállási adatait saját készítésű mikrofúróellenállási műszerrel mérték különböző fúró előtolási sebességeknél. Azt találták, hogy a fúró ellenállása pozitívan korrelál az előtolási sebesség változásaival és az előtolási sebesség változási idejének természetes logaritmusával. Konverziós algoritmust dolgoztak ki a mikrofúróellenállás műszeres mérésére különböző előtolási sebességeknél. A konverziós algoritmus pontossága akár 95% [7].

A korai és késői pászta sűrűségének mérése nehéz feladat az erdészeti kutatásokban. A korai és késői pászta sűrűségének gyors és roncsolásmentes mérésére mikrofúróellenállás alapú sűrűségmérési módszert javasoltak. A kísérlet során 10 darab *Pinus radiata* téglalap alakú fahasáb fúrási ellenállását saját készítésű mikrofúróellenállás műszerrel és Resistograph 650-S szerszámmal mérték meg. A korai és késői pászta mintákat késsel hasították, és térfogatmódszerrel mérték az egyes növekedési gyűrűk korai és késői pászta abszolút száraz sűrűségét. Függő változónak az abszolút száraz fa sűrűségét, független változónak pedig az egyes gyűrűk korai vagy késői zónájának megfelelő átlagos fúrási ellenállást vették. A vizsgálati adatok 4/5-ét felhasználva két mikrofúróellenállás műszer lineáris regressziós modelljét állították fel a fúrási ellenállás és az abszolút száraz fa sűrűsége között. A vizsgálati adatok többletének 1/5-ét felhasználva két mikrofúróellenállási műszer pontosságát a korai pászta, illetve a késői pászta abszolút száraz sűrűségének mérésére értékelték. Az eredmények azt mutatták,

hogy a saját készítésű mikrofűrőellenállás-tesztelés korrelációs együtthatója a korai vagy késői pászta fűrési ellenállása és abszolút száraz sűrűsége között $r^2=0,657$. A korai, vagy késői pászta abszolút száraz sűrűsége mérési pontossága pedig 87,11% volt. A Resistograph 650-S vizsgálat lineáris korrelációs együtthatója a korai vagy késői pászta átlagos ellenállása és az abszolút száraz fa sűrűsége között $r^2=0,655$. A korai, vagy késői pászta abszolút száraz sűrűségének mérési pontossága 85,81% volt [8].

2.4 Védőkezelés

Jelenleg a világban nagy figyelmet fordítanak a faanyagok védőkezelésére. Ezek meghosszabbítják a faanyagunk élettartamát, és lehetővé teszi a fa védelmét a kedvezőtlen tényezőktől. A védőkezelések során a természetes fa az impregnáló anyagokkal lehetővé teszi a vízfelvételt és a duzzadás csökkentését, növelve a fa élettartamát.[9]

Számos külföldi cikk foglalkozott a vizsgált viaszokkal. A víz miatti degradációjának és az ultraibolya sugárzás megakadályozására módosított polietilén (az egyik leggyakrabban használt hőre lágyuló műanyag, jele: PE) ellenállást alkalmaznak. Ezen túlmenően a módosított polietilén viasz és az oxidált paraffin szinergikus hatása tovább csökkentette az öregedési folyamatot, valamint a fa vízfelvételének mértékét. Ezáltal azt láthatjuk, hogy a módosított szintetikus viasz és a kompozit viaszbevonat hatékonyan megakadályozza a fafelület a fotooxidatív lebontódását. Hosszú távú fotostabilitást és tartós hidrofób védőhatást biztosít a fán. Vizsgálták az öregedési viselkedést is természetes méhviaszos bevonaton és módosított szintetikus bevonaton is fafelületen. Az eredményekből megtudtuk, hogy a természetes méhviaszos meleg viaszozással kezelt fa esetében hosszú távú ultraibolya fény alatti öregedés után a változása nagyobb volt, mint a módosított szintetikus viaszos meleg viaszozással kezelt fánál. Ezek során változott a fa színe, fénye, vízfelvétele. A fő öregedési tényezők az ultraibolya sugárzás, a nedvesség, a hőmérséklet és az oxigénexpozíció, ezek specifikus bomlási folyamatokhoz vezetnek, például oxidációs és fotokémiai és fotofizikai folyamatokhoz [10].

A viaszok és emulziói a nem biocid favédelemben az egyik legfontosabbak. A fotokémiai lebomlás kezdetben színváltozással, majd a fényesség elvesztésével jelentkezik, ezeket érdesítéssel lehet ellenőrizni. A fa színének a változása közvetlen jele a kémiai vagy biológiai változásoknak a fában. Ha a viasz emulziókat vákuum kezeléssel

alkalmazzák a fára, az UV-degradáció által érintett zónán túljutnak a viaszok, és a kezelt fa várhatóan a teljes élettartamában védve marad [11].

Ugyan ezt a technológiát alkalmazzák a Faber-Castell® csurgói üzemében, itt 12 bar nyomáson telítik a 210x85x45 mm-es fahasábokat, melysorán a hárs faanyag teljes keresztmetszetébe behatol a telítő anyag. Fontos a megfelelő időtartam és nyomás kiválasztása, mivel, ha az alapanyag nem megfelelően telítődik, utólag nagyon nehéz újra telíteni, mivel a már meglévő impregnáló réteg akadályozza a további telítődés folyamatát. A víztaszító adalékok alkalmazása a konzerváló kezelések során, valamint a víz lepergető anyagok önálló használata javítja a kezelt fa fizikai teljesítményét, és minimálisra csökkenti a hasadások kialakulását, ezáltal javítva a fa jó állapotának hosszú távú megőrzését. [11].

Ennek tudatában választottam olyan fafajokat is a kísérlethez, mely az iparban nem mindenhol állná meg a helyét például császárfá. Bíztam abba, hogy a telítés javítja azokat a tulajdonságait, amik ennél az iparágnál szükségesek. Bár több faj már bizonyított az iparban, új felhasználási területeket kerestem, hogy ajánljak az alapanyaghiány sújtotta környezetünk tehermentesítésére megoldást. Olyan anyagokat is bevontam, amelyek alapvetően nem felelnek meg a bútoripar esztétikai elvárásainak, illetve az épületasztalos ipar tartóssági követelményeinek – például a fülledt bükköt. Bíztam benne, hogy a megfelelő telítési folyamat révén mind esztétikai megjelenésük, mind felhasználhatóságuk értéke javulni fog. Ha nem adnának az oldathoz színező pác szerű anyagot, maga a viasz és a gombaölő szer (tárolási kísérlethez használták a gombaölőszert) nem színeznék meg jelentősen a faanyagot. A szín segít equalizálni a különféle foltosabb, a szokásostól eltérő részeket. A következő cikkben számos érdekes információt találtam a telítés témakörében.

A magas olvadáspontú viaszok rövid távon rosszabb védelmet nyújtanak, mint az alacsonyabb olvadáspontú viaszok, azonban hosszú távú teszteken jobb teljesítményt mutatnak. Azontúl a színváltozásokkal szemben a magas olvadáspontú jobb védelmet nyújt, hiszen vastagabb filmréteget képez a felületen. A vizes viaszból három különböző típusú és két koncentrációjú impregnált anyagot alkalmaznak a fában: egy oxidált polietilén viasz emulziót (WE6), egy montánviasz emulziót (LGE) és egy polietilén emulziót (WE1). Kereskedelmi forgalomban kaphatóak ezek az emulziók [11].

Elsősorban a kémiai reagensek kezelésén alapul a fa funkcionális javítása, ezek többsége mérgező, például króm, arzén, réz és más kémiai reagensek. Ugyanakkor egyes reagensek önmagukban nem mérgezőek, de a környezetbe kerülve mérgező anyagokká

alakulhatnak. A kémiai konzerváló szerek jelentős problémát jelentenek a környezeti egészségre és az ökológiai minőségre. Esős időszakokban a szerek ki lúgozódhatnak és felszabadulhatnak a fából, így az esővíz által a talajba folyókba legvégül a tengerekbe és az óceánokba kerülhetnek víz- és üledékszennyezést okozva.[12]

Az ilyen problémák elkerülésére és megelőzésére például dupla falú faanyag mártó kádakat alkalmaznak, amelyek megakadályozzák a vegyi anyagok egyszerre történő kiömlését, ezáltal csökkentve a környezeti károsodást.

Az előkészítési technológiában nagyon fontos lépés a szárítás, hiszen ez is befolyásolja a sikeres telítést ezáltal a megfelelő faanyagvédelmet.

2.5 Vákuum szárítás

Az 1900-as évek eleje óta javasolták a vákuum szárítót a fának a szárítására. Ezek az alkalmazott fűtési mód szerint osztályozhatóak. A vákuum szárítási módszereket négy csoportban határozhatjuk meg: dielektromos vákuum, túlhevített gőzvákuum, ciklikus vákuum és vezetőképes fűtővákuum szárítás. Az alacsony hőmérsékleten való szárítás nagy előny, mivel a légköri nyomás alatt vagyunk, így kevesebb fahiba alakulhat ki, amivel egy nagy tényezőt kizárhatunk, ami a magas hőmérséklet. Ilyen atmoszférikus nyomáson a víz alacsonyabb hőmérsékleten forr. A szárítás gyorsasága különösen fontos olyan gyártási környezetben, ahol az idő-és a mennyiség fontos versenytényező [13].

Ugyanis az én általam látogatott csurgói üzemben, egy nagy teljesítményű és méretű vákuum szárító található (2.ábra), ahova a rakatok egyszerre mennek be, de az előkészületekben nem egyszerre készülnek el. Így előfordul az is, hogy megvannak várakoztatva a telített rakatok, a szárítás előtt.



2. ábra Csurgón alkalmazott vákuum szárító.

Példaképpen légköri nyomás 10%-án (102 mbar) a víz 37 °C-on forr. Összehasonlítva a tölgy tipikus szárítási ütemterve a hagyományos szárításnál 43 °C-on (110 °F) kezdődik, és a végső szakaszában a szárításnak meghaladja a 72- 82 °C-ot (160-180 °F). Az alacsonyabb hőmérsékleten való szárításnak a másik nagy előnye, hogy a faanyag az oxigén hiány miatt megőrzi az eredeti színét. Vákuumszárításnál általában az egyensúlyi nedvességtartalom alacsonyabb, mint a hagyományos módszernél. Mérések kimutatták, hogy az egyensúlyi fanedvesség és a nyomás között közvetlen kapcsolat van állandó hőmérsékleten, és állandó nyomáson fordított összefüggés van a hőmérséklet és az egyensúlyi fanedvesség között. Légköri nyomáson az egyensúlyi nedvesség elsősorban a relatív páratartalomtól és a hőmérséklettől függ, de a vákuumszárításnál ez a hőmérséklettől és a teljes nyomástól függ. Légköri nyomás alatt a kevés levegő miatt az abszolút nyomást a vízgőznyomásnak tekinthetjük. Az abszolút nyomás és a telített gőznyomás arányából kiszámíthatjuk a relatív páratartalmat. Korábbi kutatások kimutatták, hogy az egyensúlyi nedvesség fordítottan arányos a környezeti nyomással, ez a hatás 50 kPa nyomás alatt a legnagyobb [13].

2.6 Főbb vákuumos szárítási technológiák, amelyet az iparban alkalmaznak

2.6.1 Vezetőképes fűtés vákuumos szárítás

Az eljárás során a hőt a fának közvetlen forró felülettel való érintkezéssel adják át. A forrólemezes szárítás az egyik ilyen technológia, amikor a fémlemezek (amik nagyrészt alumíniumok) közé fektetik, melyeket a rajtuk átfolyó forró olvadék melegít fel [13].

2.6.2 Ciklikus vákuumos szárítás

Másnéven szakaszos szárításban hagyományos módszerekkel melegítik a fűrészárut (pl. konvekciós eljárással, forró levegőt eresztve át a rakatok között.) Miután felmelegítették vákuumot hoznak létre, ebben az időszakban történik a szárítás. Amint a faanyag maghője lecsökken a ciklus megismétlődik. Két fázisa van ennek az eljárásnak egyik a kezdeti gyors száradás, majd annak a lelassulása, ahogy az anyag belseje megközelíti a környezeti nyomást. Összehasonlításképpen ezzel az eljárással a 27 mm-vastag tölgy anyagot 10 nap alatt tudja leszáritani, míg a hagyományos eljárással ez megközelíti a 30 napot [13].

2.6.3 Túlhevített gőz vákuumos szárítás (SSV)

Az előbb felsorolt két szárításnak vannak hátrányai, például a ciklikus vákuumszáritásnál a fűtési szakaszban nem történik meg a szárítás, és a konduktív fűtésnél a fűrészárú kézi felrakása jelentős időt vehet igénybe. A túlhevített gőznek a forráspontnál magasabb hőmérsékletű vízgőzt tekintjük. Ha ezt használjuk alacsony nyomásnál, és a faanyag rétegeken kényszerítjük át, akkor folyamatos vákuumszáritás és konvekciós melegítés érhető el. Ezt a folyamatot nevezzük SSV-nek az az túlhevített gőz vákuumszáritásnak, vagy konvektív vákuumnak [13].

2.6.4 Mikrohullámú vákuumos szárítás

A dielektromos fűtés egy másik formája a mikrohullámú sütő, kombinálva vákuummal használható szárításra. Ez az eljárás szinte teljesen állandó sebességgel zajlik, a hagyományos szárítással szemben. A rádiófrekvenciákhoz képest a mikrohullámú sütők rövidebb hullámhosszúak és egyenletesebbek. Ezek a tulajdonságok potenciálisan gyorsabb száradást eredményeznek, főként mert nagyobb az energia intenzitás [13].

2.6.5 Rádiófrekvenciás vákuumos szárítás (RFV)

A faanyag szárítására szolgáló dielektromos fűtés legtöbb kereskedelmi alkalmazása rádiófrekvenciát használ, az RFV technológiában. A rádiófrekvenciás vákuumos szárításnál a fa váltakozó elektromágneses térnek van kitéve, ami a fában lévő poláris vízmolekulák eltolódását okozza, követve a változó térirányt, energiaelnyelést okoznak ezek az elmozdulások, ami hőként diszipálódik. A fa hőmérsékletét annyira megemeli ez a jelenség, hogy beindítsa a nedvességvándorlás mozgató rugóit [13].

2.7 Környezetvédelem

A környezetvédelmi aggályok új érdeklődést váltottak ki az elmúlt pár évben a nem biocid megoldásokra, például a víztaszító szerek után. A legfontosabb faanyagvédelemben használt szerek a viaszok, melyek víztaszító hatással bírnak, főként a paraffinviaszok [11].

Két tényezőtől álnak a fűrészáru szárításnak a környezeti hatásai: az illékony szerves vegyületek (VOC) kibocsátásából, és az energiafogyasztásból. A faanyag szárítása a leginkább energia igényes eljárás a fatermékek gyártása során. A fűrészáru termelés teljes energiafordításának több mint a 80%-át teszi ki a szárítás. Ezzel jelentősen megrálgítva a szárított faanyagot.

Egészségügyi és környezetvédelmi szempontból a VOC szénalapú vegyületek, amelyek a fában természetesen előfordulnak, és szárítás után felszabadulhatnak. Ezek a vegyületek károsak lehetnek mind az egészségre, és a körülöttünk lévő környezetre, amiatt szabályozott úton történik a kibocsátás [13].

3 Felhasznált alapanyagok, berendezések bemutatása

Vizsgálataim során bükk (*Fagus sylvatica*), kislevelű hárs (*Tilia cordata*), ezüst hárs (*Tilia tomentosa*), császárfű (*Paulownia tomentosa*), éger (*Alnus glutinosa*), I-214-es nyárfű (*Populus euramericana-214*), lucfenyő (*Picea abies*), jegenyefenyő (*Abies alba*) faanyagokkal dolgoztam.

A kislevelű hársat és az ezüst hársat nem igazán tudtam egymástól megkülönböztetni a telítés miatti egalizálódás után, ezért ezeket együtt kezeltem. Volt néhány fenyő, amelyet jól látható gyantatáska útján tudtam felismerni, de az égereket is csak az apró bélfoltokról lehetett megkülönböztetni a többitől. Rendelkezésemre állt még az egyetem által biztosított I-214-es olasznyár és ennek az itt telített változata. Ezek a fajok biztosították a kutatási alapanyagot.

3.1 Bükkfa

A vizsgált bükkfák fülledtek voltak, de ez nem befolyásolja sem a fa elterjedését, sem az élő fa jellemzőit. A cég kérésére azonban figyelembe vettük a fülledt bükköket a telítési vizsgálatok során, hogy megfigyeljük, milyen eredményeket produkálnak. A bükk az északi mérsékelt égövön őshonos és mintegy 13 faja létezik. Kiemelkedően fontos szerepe van az egyszerűen bükknek nevezett az általam is vizsgált *Fagus sylvaticának*. Zárt állásban szép hengeres törzset tud fejleszteni, vágási magassága 35-40 métert is elérheti. Vágásérettségi korában a törzsmérete akár meghaladja a 70 centimétert is. Fája világos vöröses vagy halványsárga tónusú. A fiatal szírt likacsú, ezáltal a korai és a késői pászta edényei között nincs nagy különbség. Idősebb korában jellemző a vörösbarna álgeszt, de az egészséges geszt és a szíjacs nem különül el egymástól.

Az álgesztelés áll a fahibái között az első sorban, ami idős korában nagyon gyakori. Jellemző még rá az ág benövés helyeken a kínai bajusz, sudarlósság, kiemelkedés, görbeség, a fagyfés és különböző repedések.

Fája nagy sűrűségű légszárazon $\sim 720 \text{ kg/m}^3$ a zsugorodási anizotrópiája 2,04 így hajlamos a vetemedésekre (1.táblázat). Megfigyelhető a két bükk közötti eltérés, baloldali egy korhadáshoz közeli fülledés, míg a jobboldali egy korai stádiumú fülledés (3.ábra). Voltak kimagaslóan nagy tömegű próbatetek, de nem minden esetben követte magas nedvességtartalom (4.ábra).

A bükk kémhatása enyhén savas, pH: 5,1-5,4.

Rosttelítettség pontja 32-35 %.

Pórustérfogata 55 % [14].



3. ábra Különböző stádiumú károsodott frízek.



4. ábra Voltak kimagasló tömegek a mérésnél.

1. táblázat Bükkfa térfogatváltozása.

Zsugorodás [%]	
Rostirányú	0,3
Húrirányú	11,8
Sugárirányú	5,8
Térfogati	14-17,9-21

3.2 Kislevelű-Ezüst hárs

Nemzetségének 40 faja ismert, én két fajtát a kislevelű hársot (*Tilia cordata*) és az ezüst hársot (*Tilia tomentosa*) vizsgáltam. Hazánkban lévő hársak 20-35 méter magasságig nőnek és vágásérettségi korban akár 80 centiméteres átmérőt is elérnek. A hazai hársfajok nem különülnek el egymástól. A színes geszt nélküli szórt likacsú fája fehéres-sárgás, gyakran vöröses-barna árnyalattal rendelkezik. Az edényei szintén egyenletesen elszórtan helyezkednek el így a korai és kései pászták nem különülnek el az évgyűrűn belül.

Fája finomszerkezetű és egyenletesen faragható a tér minden irányában. Viszonylag kevés fahiba jellemző rá, de az álgesztesedés és a fagyléc rá is jellemző. Nem hiába alkalmazzák a ceruza iparban a fáját, az egyik legalkalmasabb erre a célra (2.táblázat). Kétféle hárs fajt használtam: kislevelű és ezüst hársat. Ezeket külön-külön szeparálva helyeztük el a rakatban. (5.ábra).

Puha alacsony sűrűségű, légszárazon $\sim 530 \text{ kg/m}^3$

Kémhatása enyhén savas, pH: 5,2

Pórustérfogata 68% [15].



5. ábra Hárs fajok telítés előtti vizsgálata.

2. táblázat Kislevelű-Ezüst hárs térfogatváltozása.

Zsugorodás [%]	
Rostirányú	0,3
Húrirányú	9,1
Sugárirányú	5,5
Térfogati	14,9

3.3 Császárfa

A botanikusok *Paulownia* nemzetségben 7-9 önálló fajt különítenek el. Én a kutatás során egy hazai hibriddel dolgoztam, ami Garé településről származott.

Kínában 75-80 éves korban akár 35-45 métert is elér a magasságuk, 2-3 méter törzsátmérővel. Magyarországon a *Paulownia tomentosa* 25 méter magas és akár 1,2 méter átmérőjű törzse is lehet. Kérge szürke, világos-vagy sötétbarna, fiatal korában jellemző a paraszemölcsösség. Puha kérge van ezáltal könnyen roncsolódik külső behatásoktól. A geszt és a szijács határa nem minden esetben különül el erősen (6.ábra), a bele nagy átmérőjű, ami elősegíti a belső feszültségeinek az elvezetéséhez. Az edényei gyűrűs vagy félig gyűrűs elrendezésűek. Nem tartós fafaj, a talajjal érintkezve legfeljebb 5 évet bír ki, ugyanis sem az időjárást, sem a rovarokat nem állja.

Sűrűsége $\sim 300 \text{ kg/m}^3$ légszárazon.

Kémhatására és pórustérfogatára még nem található számottevő információ (3.táblázat) [16].



6. ábra Császárfán erősen kivehető a szijács és geszt találkozás.

3. táblázat Császárfa térfogatváltozása.

Zsugorodás [%]	
Rostirányú	0,3
Húrirányú	9,1
Sugárirányú	5,5
Térfogati	14,9

3.4 Éger

Nemzetségének mintegy 30 faja ismert, hazánkban az mézgás érnek (*Alnus glutinosa*) és a hamvas égernek (*Alnus incana*) van jelentősége. Vágásérettségi korában 20-30 méter magasságra is megnőhet, átmérője elérheti a 70 centimétert is. Kérge fiatalon sima szürkésbarna, de sok keresztirányú paraszemölccsel van tarkítva, idősebb korában ez szürkésfekete színben táblásan cserepes lesz. Fája színes geszttel nem rendelkezik (7.ábra), de a kisebb színárnyalat különbség észrevehető a belső gesztrészek között. Színe sárgászöröses, jellemzőek a bélfoltok rá, és a hullámos évgyűrűk elmosódva látszanak. Szórtlikacsú fáján, az edények finomak a bélsugarai pedig szabad szemmel is kivehetőek.

Kevés károsítója akad, de a bélkorhadás idősebb korában jellemző rá, illetve a fagyrepedések mentén keletkező gombafertőzések. Nem sorolható az erősen zsugorodó fafajok közé, de húr-és sugárirányban teknősödési hajlamot mutat (4.táblázat). Különböző felületkezelő anyagok alkalmazásánál figyelembe kell venni a csersav és a zsírtartalmát.

Sűrűsége $\sim 550 \text{ kg/m}^3$ légszárazon.

Pórustérfogata 68 % [17].



7. ábra Az éger színe natúran közel megegyezett a telítés utáni hárs színeivel.

4. táblázat Éger térfogatváltozása.

Zsugorodás [%]	
Rostirányú	0,4
Húrirányú	9,3
Sugárirányú	4,3
Térfogati	13,6

3.5 „I 214” olasz nyár

A nyár nemzetségnek mintegy 35 faja ismert, a fűzfafélék családjából származik. Az északi mérsékelt égöv fái, de történtek már telepítések Dél-Amerikában is. Vágásérettségi korában (7-8 év) a magassága eléri a 20-25 métert és közel 30-35 centiméteres törzsátmérőt, de ez erősen termőhely függő [18].

A *Populus euramericana* „I 214” ma Európa legelterjedtebb nyár hibridje. Legnagyobb területet ő foglalja el hazánkban, rendkívül gyorsan nő, kedvelt ültetvényes faanyag. Homogén fája világos árnyalatú, nagyon laza szerkezetű és alacsony sűrűségű. A geszt és a szijács nem válik el határozottan egymástól, emellett a szijács nedvessége 30-40 %-kal kisebb, mint a geszté. Szórt likacsú fájában az edények átmérője az évgyűrű szélessége mentén csökken. Legnagyobb problémát már a választékolásnál az ághelyek jelentik. Jellemző még a fagyléc, külpontosság, álgesztesedés (5.táblázat). Az álgeszt nehezíti a telítést.

Sűrűsége $\sim 360 \text{ kg/m}^3$ légszárazon.

A nyarak kémhatása enyhén savas pH:5,8 [19].

5. táblázat I 214-es olasznyár térfogatváltozása.

Zsugorodás [%]	
Rostirányú	0,2-0,4
Húrirányú	5,9-8,6
Sugárirányú	3,1-5,3
Térfogati	9,5-14,7

3.6 Lucfenyő

Közép- és Észak-Európában elterjedt és erdészetileg az egyik legfontosabb fafaj. Nemzetségében közel 50 fafaj található. Latinul *Picea abies* vágásérettségi korában elérheti a 30-50 méter magasságot míg az átmérője az 1,5 métert is. A geszt és a szijács nem különül el színben (8.ábra), szalmasárga, fehéres színű. Az évgűrűn belül markánsan elkülönül a korai és késői pászta. Fája gyantát tartalmaz, ami megnehezíti a telítés folyamatát. Rendkívül homogén tracheidákból épül fel a fatest, a korai és késői pászta tracheidái eltérő méretűek. Erdőpusztulások során nagyon megfogyatkozott az állománya, jellemző a szűkárósítás már az élő fára is. Jelen esetben az apró tű göcsei és a gyantatáskái megnehezítik a ceruza frízként való felhasználását, de ez már a telítéskor szembe ütközött.

Sűrűsége alacsony $\sim 470 \text{ kg/m}^3$ légszárazon, de emellett jó szilárdsági és kiváló rugalmassági tulajdonságokkal rendelkezik (6.táblázat).

Pórustérfogata 71%

A lucfenyő pH értéke alacsony, savas kémhatású pH 3,8 [20].



8. ábra A lucfenyő gyantatartalma megnehezíti a telítését.

6. táblázat Lucfenyő térfogatváltozása.

Zsugorodás [%]	
Rostirányú	0,2-0,4
Húrirányú	5,9-8,6
Sugárirányú	3,1-5,3
Térfogati	9,5-14,7

3.7 Jegenyefenyő

Az *Abies nemzetség* mintegy 50 faja ismert, többségük hegyvidéki fafaj Európában, Észak-Amerikában és Ázsiában terjedtek el. Közöséges jegenyefenyő (*Abies alba*) sok esetben együtt kerül forgalomba a lucfenyővel, nem könnyű felismerni őket, a gyantajáratok irányadók a lucfenyőben. Vágásérett korában eléri a 30-40 méter magasságot, az akár 1,5 méter törzsméret mellett kérge sokáig sima, szürkés, világos, idősebb korában pikkelyes lesz. A fatest sárgásfehér, de az egészséges fánál a geszt és a szíjács nem különül el (9.ábra).

Gyantatartalom hiánya miatt a gombák és rovarok támadásánál nem áll ellen, így a kevésbé tartós fafajok közé sorolandó. A kialakuló ághelyek rontják a felhasználási kihozataalt (7.táblázat). A jegenyefenyőt telítés után jól össze lehet hasonlítani a lucfenyővel, megtudva mennyit számít a gyantatartalom léte.

Sűrűsége alacsony $\sim 450 \text{ kg/m}^3$ légszárazon.

Pórustérfogata 73%

A jegenyefenyő kémhatása enyhén savas $\text{pH}: 5,5-6,1$ [21].



9. ábra A jegenyefenyők telítés előtti állapotban.

7. táblázat Jegenyefenyő térfogatváltozása.

Zsugorodás [%]	
Rostirányú	0,1
Húrirányú	7,2-7,6
Sugárirányú	2,9-3,8
Térfogati	11,5

3.8 Kapacitív elven működő mérőműszer

MSZ EN 13183-3:2005

$U_{\text{átl}} = 7-30\%$, magasabb nedvességtartalom felett nem pontos. Érzékeny a fűrészáru vastagságára (10. ábra), és a nedvesség eloszlására a faanyagban. Sűrűségre érzékeny (tolerancia $\pm 40 \text{ kg/m}^3$), emiatt pontosan kell beállítani. Légrés, rejtett fahibák kritikus kérdés. Mérés közben vibrációt ki kell zárni. Felületi minőség (fűrészelt, gyalult) szintén befolyásoló tényező. Készülékhez gyárnak mellékelni (kérni) kell: EN ISO/IEC 17025 tanúsítványt. Kalibráló egységgel minden mérési sorozat előtt ellenőrizni kell a készüléket [22].



10. ábra Az érintőszondán megfelelő sűrűség beállítása után lehet csak mérni.



11. ábra Gombaölőszert és viasz tartály.

Ezekben a tartályokban tárolják a telítéshez használandó két fő összetevőt a gombaölő szert és a viaszt (11.ábra). Ennek a megfelelő elegyéhez táplálják a színező anyagot.



12. ábra Rugós kötöző hevederek.

A telítőbe menő rakatokat rugós spaniferrel rögzítik le (12.ábra). A célja a telítőanyaggal impregnálódott faanyag méretváltozásának nyomon követése a dagadás során. Ha nem alkalmaznának rugót, akkor olyan mértékű feszültség keletkezne, amely a kibontáskor kárt okozhatna a berendezésben. Emiatt is nem pakolják tele a rakatokat mielőtt mennek a telítőbe, mert hatalmas a térfogat változása.

3.9 Telítés után

A már telített és akár leszáritott rakatok kinti fedett tárolókban vannak elhelyezve, innen történik majd a feldolgozás. A nem megfelelő frízeket felvágás előtt és után egyaránt kiválogatják, így a gyáregység mellett nagy rakások keletkeznek. Itt találhatóak rejtett fahibák, nem megfelelő telítések, valamint a mérethibákból származó anyagok is.

3.10 Rezisztográf

Ez a berendezés a fúrás alapuló faanyagnak a belső vizsgálatára szolgál (13.ábra). A fúrás közben felvett teljesítményt állandó előtolás mellett mérik és regisztrálják. A speciális fúrószár átmérője 3 mm, amelynek egy speciális geometriája van. A legújabb fejlesztés akkumulátoros kialakítású és vezeték nélküli kapcsolatban van a nyomtató egységgel, mely azonnal, már a fúrás közben nyomtatja a mért eredményeket. A 3 mm-es átmérő lehetővé teszi faszerkezetek és kötéseik vizsgálatát, azok észrevehető sérülése nélkül. A hordozható nyomtató egy hosszú szalagon rajzolja meg a diagramot $M=1:1$, azaz valós méretarányban. A mérés nagyon gyors, 1-2 perc alatt elvégezhető.

Mivel egyértelmű és könnyen értékelhető a kapott ábra, lehetővé teszi a szerkezeteknél az azonnali hiba felismerést, és a hiba helyének meghatározását. A fúrószár hossza alapesetben 30 vagy 44 centiméter, de akár rendelhető 1,5 méter hosszúságban is. A mérési pontosság is választható (1 mm és 0,1 mm tűrés között) [18].



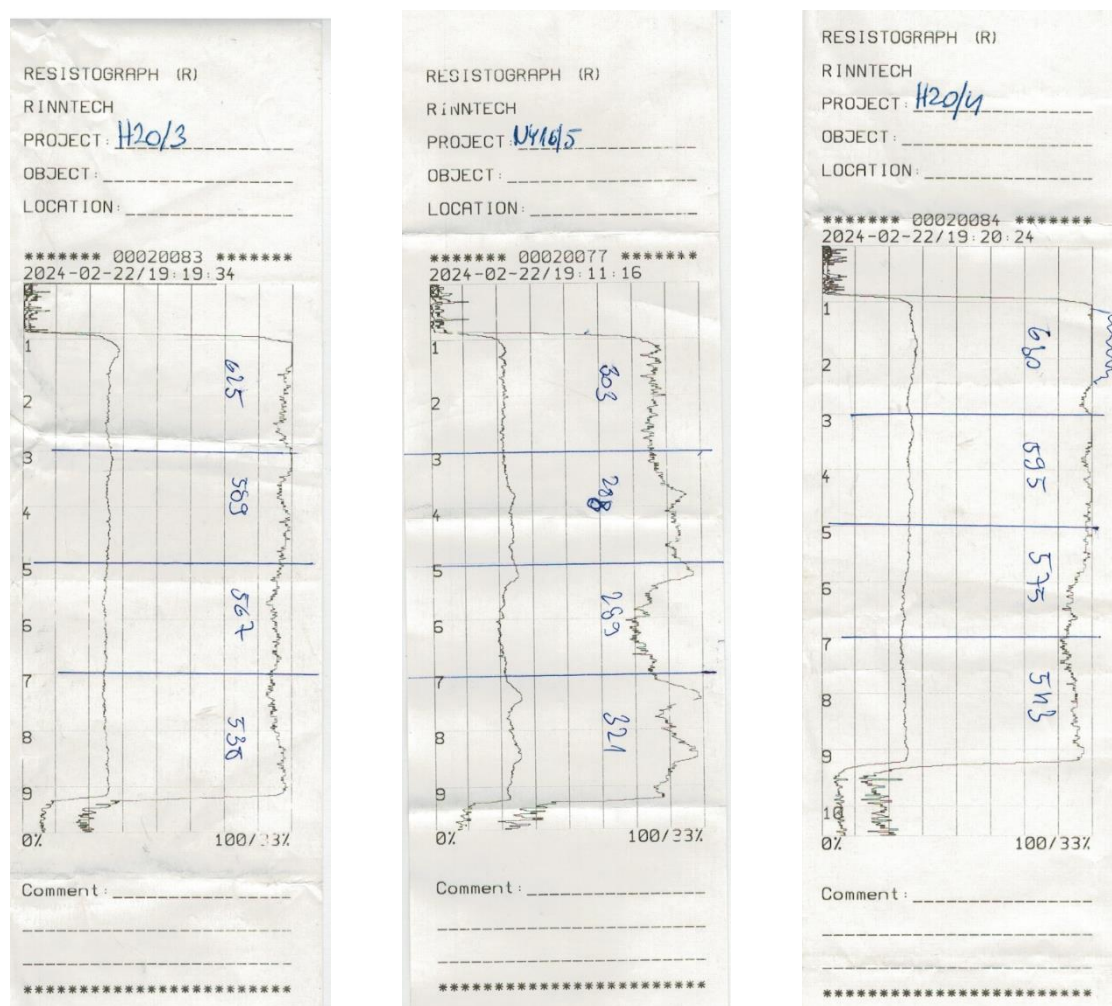
13. ábra Rezisztográf készülék a hozzá tartozó nyomtató egységgel.

4 Saját vizsgálatok, eredmények

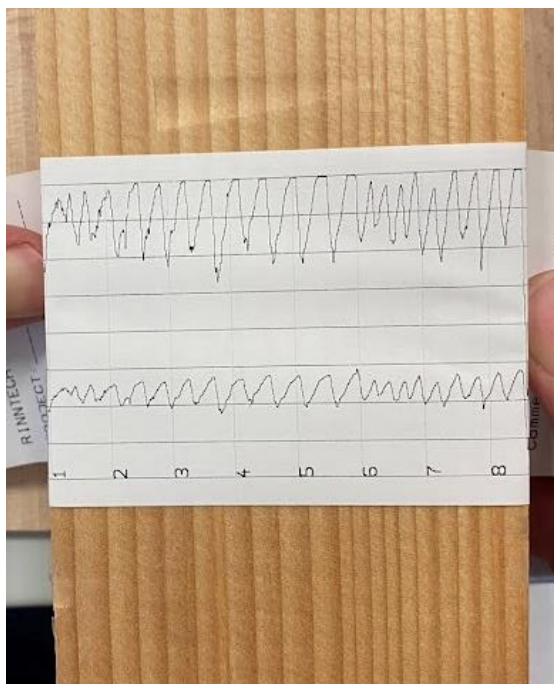
4.1 Fúrás kezdete

Az első pár alkalommal még az előző féléves technikát alkalmaztam a fúrások során. Ez azt jelentette, hogy minden fúráskor a nyomtatóberendezésen jött ki az eredmény, amit egyből ki tudtam elemezni. Ez a kezdetben megfelelő is volt, ámde ahhoz, hogy ki tudjak fejleszteni egy új technológiát mindenképpen a digitalizálást kellett előtérbe helyeznem, mert ekkor még be szkenneltem az eredményeket(14. ábra).

Mint említettem egy kis nyomtatóberendezés 1:1-es méretarányban azonnal kinyomtatta a papírt, amit egyből oda tudtam mérni a frízhez (15. ábra).



14. ábra Az első fúrások eredményei papíralapon, bedigitalizálva.



15. ábra Lucfenyő minta rezisztográf által kirajzolt évgyűrű határai megegyeznek a valósággal.

4.2 Rezisztográfós mérés továbbfejlesztése

Igyekeztem továbbfejleszteni a rezisztográfós méréseimet. Az előző félévben a hozzátartozó kis nyomtatóadapter által készített nyomtatványokat elemeztem, amelyek ilyen analóg megoldások voltak, de ebben a félévben sikerült telepíteni a programját a laptopomra. Sajnos ez nem volt annyira egyszerű hiszen csak 10 telepítő kód áll rendelkezésre, így félő volt az, hogy nem tudom feltelepíteni a programot tehát nem tudok hozzáférni az adatokhoz digitális formában. A folyamat során segítségemre volt hallgató társam, Gágyor Péter Bálint, akivel együtt sikerült megértenünk a program működését, elsajátítanunk annak használatát, valamint felfedeznünk előnyeit és esetleges nehézségeit. Ezzel, hogy tudok már digitalizálni sokkal közelebb kerültem ahhoz, hogy új vizsgálati módszert tudjak kifejleszteni a már telített vagy a még telítetlen frízeknek a vizsgálatára.

A rezisztográf saját programját használva sokkal szebb és jobb képet kaphatok az adott fűrés milyenségéről, illetve minőségéről. Megpróbáltam a programot minél felhasználóbarátabbá tenni, mivel a különböző fafajokhoz eltérő skálák szükségesek. Ez azért fontos, mert a fák sűrűségi tartományai nem egységesek, mivel azok fajonként változnak. Azt gondolom, hogy így digitális formában, hogy már látom a méréseket sokkal gyorsabban tudok haladni a méréseimmel hiszen ezeket a diagramokat és görbéket JPEG kép típusra ki lehet konvertálni, így elmenteni őket. A későbbiekben ezeket beillesztve Excelbe tökéletesen lehet feliratozni a már után mért eredményekkel

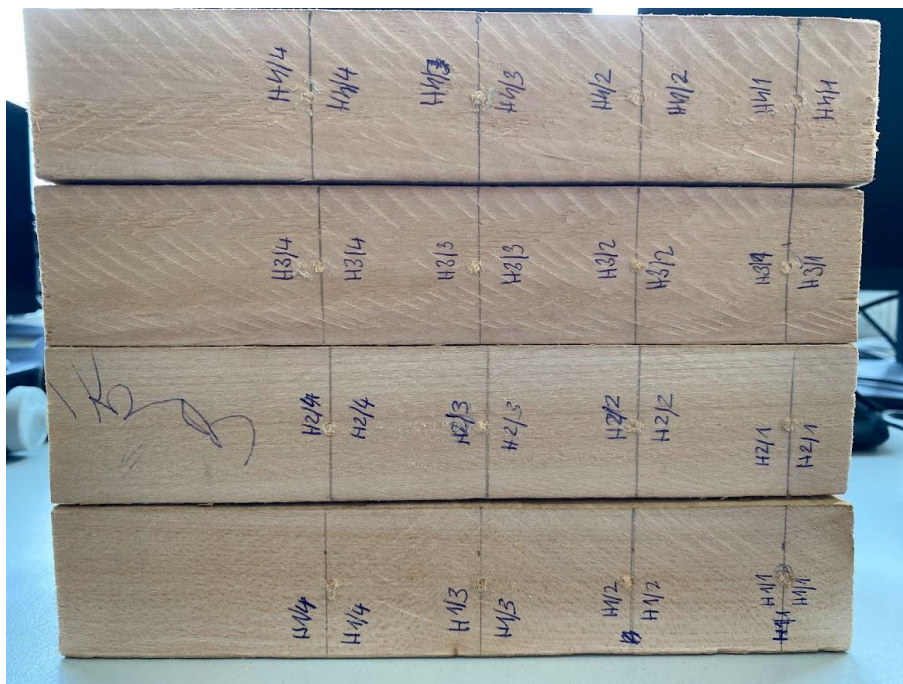
ellenőrzésképpen. Azt gondolom ez még talán pontosabb is mint az előzőleg használt analóg módszer, ahol ugye egy egyfajta blokk jött ki a nyomtatóberendezésből. Ennek a szoftvernek a neve DecomWin, ami azért is különleges mert a diagramhoz hozzá lehet rendelni a fának az év gyűrűit így ki tudja mutatni a korai, illetve késői pásztahatárokat is.

Ugyanakkor sikerült túlszárnyalnom ezt az új technikát, mivel felfedeztem, hogyan és miként tudom a DecomWin program által kiírt adatokat Excel fájlba konvertálni. Ez nagy sikernek számít, mivel egy 85 mm széles fríz esetében közel tízezer értékből álló adat található egymás alatt felsorolva. Ez azt jelenti, hogy 1 mm-re körülbelül 100-120 adat jut. Ebből olyan részletes képet tudok alkotni, amely még precízebb, mint amit a szoftver önállóan képes előállítani. Ezt nagy előre lépésnek tartom, mivel a JPEG fájl típusú diagrammok átlagolása nehézkes volt, hiszen ezek esetében csak vizuálisan lehetett korrelációt számolni a két érték között. Így, hogy hozzáferek minden egyes milliméterhez, bárhol tudok pontos átlagot számolni. Mindez a folyamat rendkívül időigényes a sok konvertálás és a közel tízezer adat egyidejű kezelése miatt, de úgy gondolom, hogy az új technológiák kifejlesztése sosem volt könnyű feladat.

4.3 Kifejlesztett mérés folyamata

A mérés folyamata úgy épült fel, hogy az adott vizsgálandó frízekből kiválasztottam 2-3 darabot a tömeg szerinti szeparált csoportokból.

Miután megtörtént az anyagok kiválasztása felrajzolok rájuk a leendő fúrásoknak a helyét (16. ábra). Ezt követően megszámoztam a fúrás A és B oldalát, mivel ennek fontos szerepe van a további munkálatokban. Miután a fúrószár behatol a fába, egy lyukat hagy maga után, amelyet később a gérvágóval fogok elvágni. Így jobbról és balról egy-egy mintát tudok majd kivenni. Tehát miután felrajoltam minden szükséges jelölést a nyers vagy esetleg már telített frízre, következett a fúrás. Minden esetben legalább egy, de ajánlatosabb két szorítóval le kellett rögzíteni a mintadarabot, mivel a fúrás során elég erős nyomás éri azt. A bükk próbatestek esetében az előtolás sebességét is csökkenteni kellett a fa sűrűsége miatt.



16. ábra Telítetlen hárs fafajú minták felrajzolva és már kifűrva.

A rezisztográf készüléken be lehet állítani, hogy milyen fájlba mentse el az adott fűrást így én magamnak egy külön fájt tudtam létrehozni. Azért fontos ez az új újabb technológia, ami a program által rendelkezésemre áll, ugyanis a készülékben van egy beépített memória, ami 5-600 mérést képes magában tárolni. Ezt követően egy USB segítségével fel tudom tölteni a laptopomra a fájlokat, hogy későbbiekben meg tudjam nézni azokat a mérési eredményeimet. Miután elvégeztem rajta a 4-5 kijelölt fűrást ezt követően az adott minta csoportokat, mintadarabokat levittem a tanműhelyben, ahol előkészítettem őket a sűrűségük meghatározására. Nem elég csupán az adott téglalapú fríz sűrűségét meghatározni, hanem azt is meg kell állapítani, hogy pontosan hol járt a fűró, és ott, a fűrás helyén kell a sűrűséget minél precízebben megállapítani.

Így arra jutottam, hogy az adott 4-5 centiméter vastag frizeket minél kisebb keresztmetszetre kell megmunkálom, hogy így hiteles és pontos méréseket tudjak produkálni. Ezt úgy tudtam, véghez vinni, hogy a frizeknek a vastagságából levágtam szalagfűrészszel egy-egy centimétert ezt követően egyengető gyalugépen meggyalultam őket, ennek azért volt nagy jelentősége, hogy minél szebb kockát tudjak kivágni belőlük, aminek derékszögű az oldala. Vannak, amik nem derékszögű oldalúak, szőrös vagy szárítás által deformálódtak ezek már rontják a térfogatmeghatározás a pontosságát.

Meg egyengettem az adott két lapját, az él egyengetésére nem volt szükség, mert az szintén gyalulva volt vagy jobb minőségben volt levágva körfűrészszel. Ezután gérvágóval levágtam a hosszát úgy, hogy volt egy bázisa éle, (amire felrajoltam a fűrási

jelöléseket) ahonnan indult a fűrészsár és innen jobb és bal oldalt kivettem egy-egy szál mintát. Nagyon fontos, hogy melyik oldalról indul a mérés hiszen így tudom majd rekonstruálni későbbiekben a fűrészi metszetet. A és B oldalról egy-egy mintadarabot tudtam kivenni tehát egy fűrés által nyolc, 4 fűrés által pedig 32 mintadarab állt rendelkezésemre.

Miután levágtam ezeket a szeleteket, további számozásra volt szükség. Fontos, hogy egy egyszerű kódot vigyek fel a fa kockákra, amely számomra világos, és mind hosszú, mind rövid távon könnyen olvasható legyen. Miután felszámoztam a kockákat, egy éles vésővel vagy kis szalagfűrészsel további négy darabra vágtam azt az egy csíkot, és ezt követően együtt kezeltem őket, így megkönnyítve a méréseket (17. ábra).



17. ábra Gervágóval felvágott minták, felrajzolás után, hasítás előtt.

Ezeknek a kis apró kockáknak lemértem a tömegüket, illetve a befoglaló méretüket így meghatározva annak a sűrűségét. Ezután szárító szekrényben helyeztem őket, hogy meghatározható legyen azoknak a nedvességtartalma (18. ábra).



18. ábra Császárfá próbatestek szárítás előtt.

Több esetben megfigyelhető volt, hogy a rezisztográf fúró szárát a faanyagnak a száliránya befolyásolja. Például a bükk esetében előfordult, hogy a fúrószár hamarabb kilépett a faanyag tetején, mielőtt áthatolt volna a másik, túlsó élére. (19. ábra).



19. ábra Telített bükk és natúr hárs fajok fúrásképe.

Miután lemértem a tömegüket, illetve a befoglaló méretüket ezeket az adatokat fölvittem az Excelbe, ahol az általában készített táblázatba, így megkaptam sűrűségüket továbbá nedvességtartalmukat (8.táblázat). Ezt követően ki nyertem a rezisztográfból az adatokat.

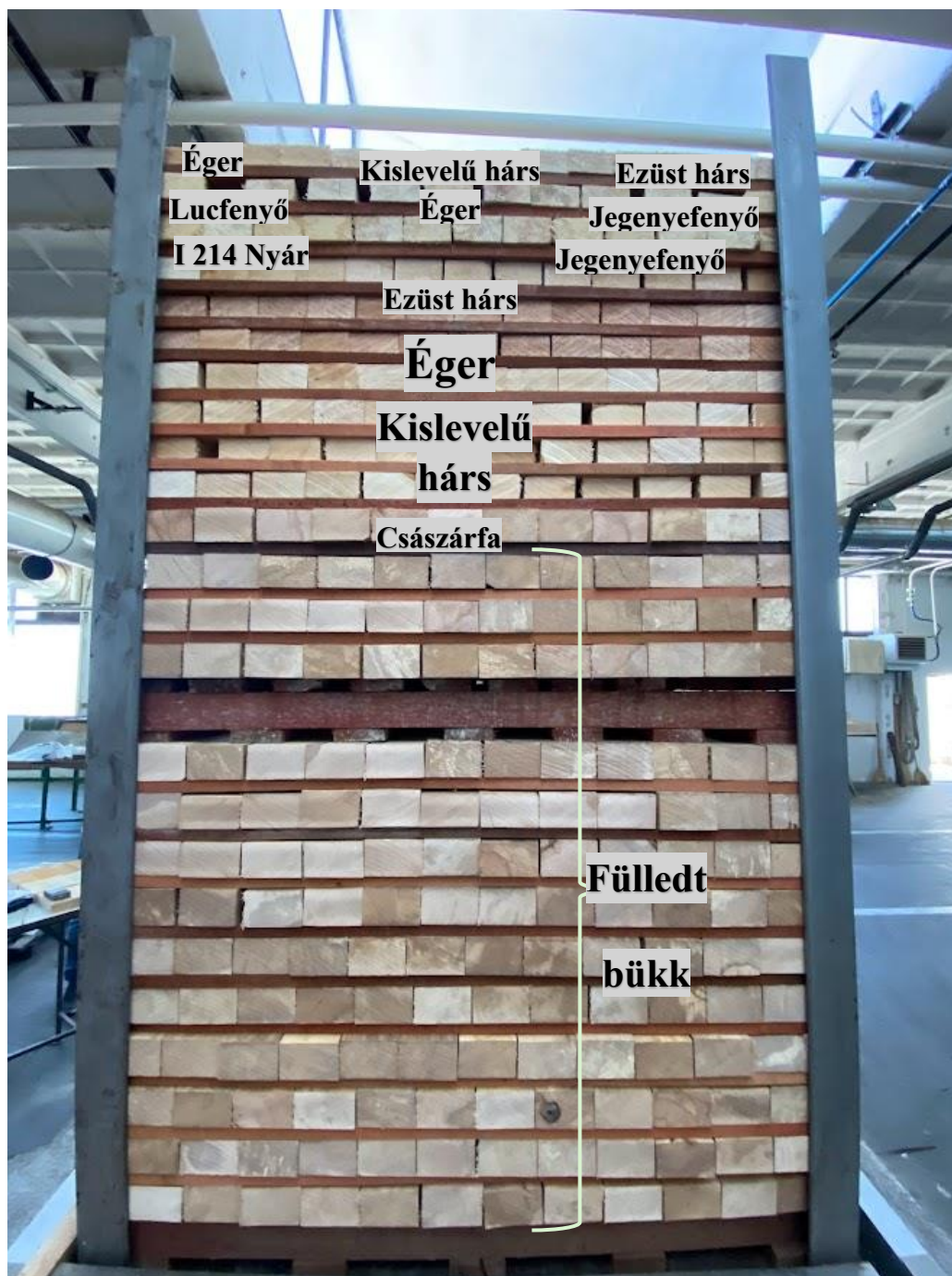
8. táblázat Csurgói faanyagok kiindulási sűrűsége a nedvességükhöz viszonyítva.

Mért fafajok	Nettó nedvességtartalom [%]	Sűrűség [kg/m ³]
Erősen fülledt bükk	25,7	742,66
Fülledt bükk	27,8	766,06
Császárfa	5,6	232,48
Éger	8	491,66
Ezüst hárs	7,8	490,43
Kislevelű hárs	8,7	592,07
I 214-es nyár	7,6	324,84
Jegenyefenyő	37,3	478,06
Lucfenyő	19,8	461,15

Csurgón a választott nyolc fafaj közül nem volt mind azonos nedvességtartalmon, ami megnehezítette az együttes feldolgozásukat. A legdrasztikusabb kiugrás a jegenyefenyőnél volt tapasztalható, ahol olykor 63%-os nedvességtartalmat mértünk, ez az érték a mérőműszer pontossági határának több mint a kétszerese (9.táblázat).

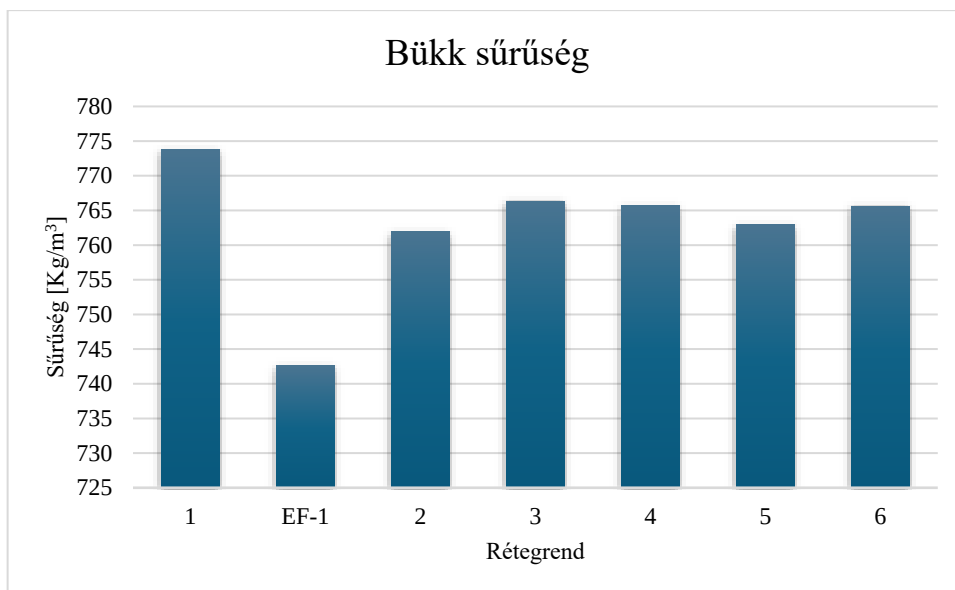
9. táblázat Jegenyefenyő nedvességtartalma és sűrűsége, a kimagasló értékek az érdekesek.

Réteg	Sűrűség [kg/m ³]	Nettó nedvességtartalom [%]
Jegenyefenyő	478	37,25
	Tömeg [g]	Nettó nedvességtartalom [%]
Max:	508,5	63
Min:	245,9	17,5
Szórás:	55,36	11,94



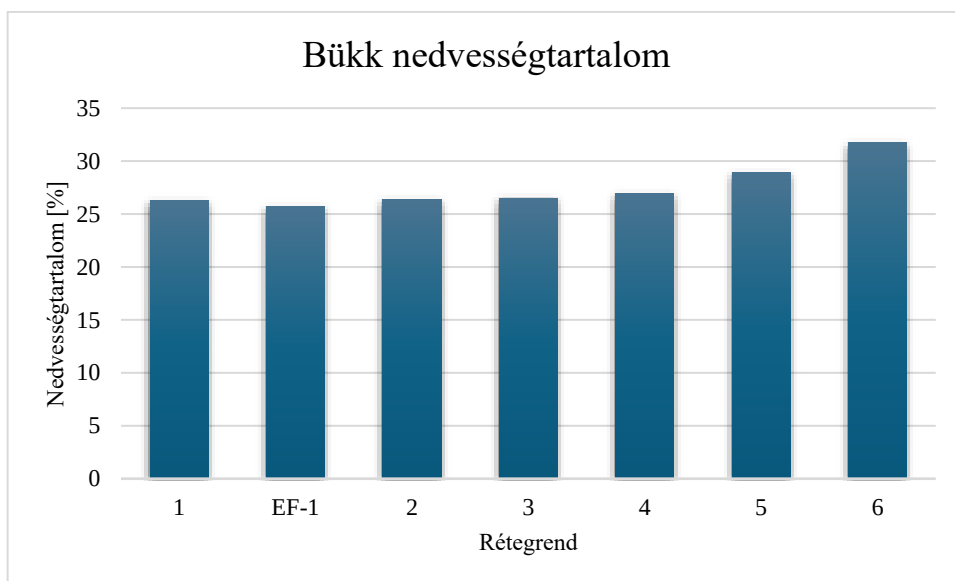
20. ábra Oldal nézete a kész rakatnak, innen a telítőbe ment.

Összesen 24 réteget tartalmaz a rakat (20.ábra), ezekből 16 sort a konzulensemmel mi pakoltunk és mértünk, a maradék 8 réteget az ott dolgozók egészítették ki. A bükköt amiatt emelném ki ennél a folyamatnál, ugyanis nagyobb példányszámban állt rendelkezésre.



21. ábra Különböző szinteken lévő bükk sűrűsége átlagolva.

Összesen bükkből 6 réteget tettünk be (21-22.ábra), amit lemértünk a berakás előtt. A legelső szinten igyekeztünk olyanokat válogatni, amik erősen fülledtek voltak, olykor már közel a korhadáshoz. Ezekkel külön foglalkoztunk, így összetudtuk hasonlítani az egészségesebb mintákkal. A sűrűségben különbség pusztán 5-6 % volt, de grafikonon ábrázolva kiugrónak számít a nagy átlaghoz képest.



22. ábra Bükk kiindulási nedvességtartalma.

A nedvességtartalomban kimagasló érték nem volt megfigyelhető, még a fülledt anyagok esetében sem. Ebből arra következtethetünk, hogy a fülledt bükk faanyag nedvességtartalma nem tér el jelentősen a többi mintáétól, míg a tömegében már nagyobb eltérések mutatkoznak.

4.4 További fúrásos vizsgálatok a rezisztográf készülékkel

Elsőként natúr I-214-es olasznyár (*Populus euramericana-214*) próbatesteket és kislevelű hárs (*Tilia cordata*) frízeket vizsgáltam. Ezeket az egyetem bocsájtotta rendelkezésemre, egy korábbi tanulmányból.

Nyárfából 25 darabot, hársból összesen 34 darabot választottam ki. Igyekeztem őket úgy kiválasztani, hogy fekvő évgyűrűvel rendelkezzenek, ez fontos volt a későbbi mérések szempontjából. Ezt követően a mintákat tömegük alapján három nagy csoportba rendeztem: kis-, közepes- és nagy tömegűekre. Ebből próbáltam meghatározni a sűrűségi tartományukat, mivel a tömeg és a sűrűség egyenes összefüggésben áll egymással. Ebben a 3-3 tömeg szerinti csoportban összesen 6-6-6 fríz volt, az elejéről a közepéről és a végéről.(10. táblázat).

10. táblázat Olasznyár frízek tömegük alapján szeparálva csoportokba.

Sorszám	Tömeg [g]	Évgyűrű állás	Sűrűség [kg/m ³]	
Ny25	198,55	Fekvő	292,43	Átlag: 298,48
Ny21	199,91	Feles	294,44	
Ny23	202,71	Fekvő	298,56	
Ny13	204,13	Fekvő	300,65	
Ny19	205,24	Fekvő	302,29	Szórás: 4,20
Ny11	205,38	Fekvő	302,49	
Ny15	205,53	Feles	302,71	
Ny24	206,88	Fekvő	304,70	
Ny1	207,36	Feles	305,41	Átlag: 321,03
Ny7	208,52	Fekvő	307,12	
Ny2	214,06	Fekvő	315,28	
Ny17	215,48	Feles	317,37	
Ny12	216,74	Fekvő	319,22	Szórás: 4,30
Ny9	220,16	Fekvő	324,26	
Ny5	220,39	Fekvő	324,60	
Ny22	220,95	Fekvő	325,42	
Ny4	221,99	Fekvő	326,96	Átlag: 340,33
Ny10	222,41	Fekvő	327,57	
Ny18	224,06	Fekvő	330,00	
Ny16	228,26	Fekvő	336,19	
Ny8	228,31	Fekvő	336,26	Szórás: 5,48
Ny6	228,91	Fekvő	337,15	
Ny20	230,61	Fekvő	339,65	
Ny3	232,43	Fekvő	342,33	
Ny14	237,92	Fekvő	350,42	

Ugyan úgy tömeg szerinti növekvő sorrendben ábrázoltam a hársaknál (11. táblázat).

11. táblázat Kislevelű hárs minták tömegük alapján szeparálva.

Sorszám	Tömeg [g]	Évgyűrű állás	Sűrűség [kg/m ³]	
H8	289,86	Fekvő	426,92	
H29	296,6	Feles	436,84	
H33	319,76	Fekvő	470,96	
H4	321,1	Fekvő	472,93	
H16	323,94	Fekvő	477,11	
H22	326,7	Álló	481,18	
H15	334,42	Fekvő	492,55	
H31	345,97	Fekvő	509,56	Átlag: 517,89
H6	346,67	Fekvő	510,59	
H26	349,12	Fekvő	514,20	
H23	351,18	Fekvő	517,23	
H7	353,75	Beles	521,02	Szórás: 9,27
H3	363,06	Fekvő	534,73	
H32	363,7	Feles	535,67	
H28	367,15	Fekvő	540,75	
H5	367,57	Fekvő	541,37	
H9	368,97	Fekvő	543,43	
H30	372,83	Álló	549,12	
H2	374,91	Fekvő	552,18	Átlag: 566,63
H1	376,76	Fekvő	554,91	
H14	382,4	Fekvő	563,21	
H12	387,61	Fekvő	570,89	
H17	392,84	Fekvő	578,59	Szórás: 11,81
H24	393,79	Álló	579,99	
H10	400,96	Feles	590,55	
H18	409,23	Feles	602,73	
H25	410,3	Álló	604,31	
H34	410,63	Fekvő	604,79	
H11	415,35	Fekvő	611,74	Átlag: 614,04
H13	415,35	Fekvő	611,74	
H21	416,23	Álló	613,04	
H19	417,29	Fekvő	614,60	
H27	417,35	Fekvő	614,69	Szórás: 2,52
H20	419,9	Fekvő	618,45	

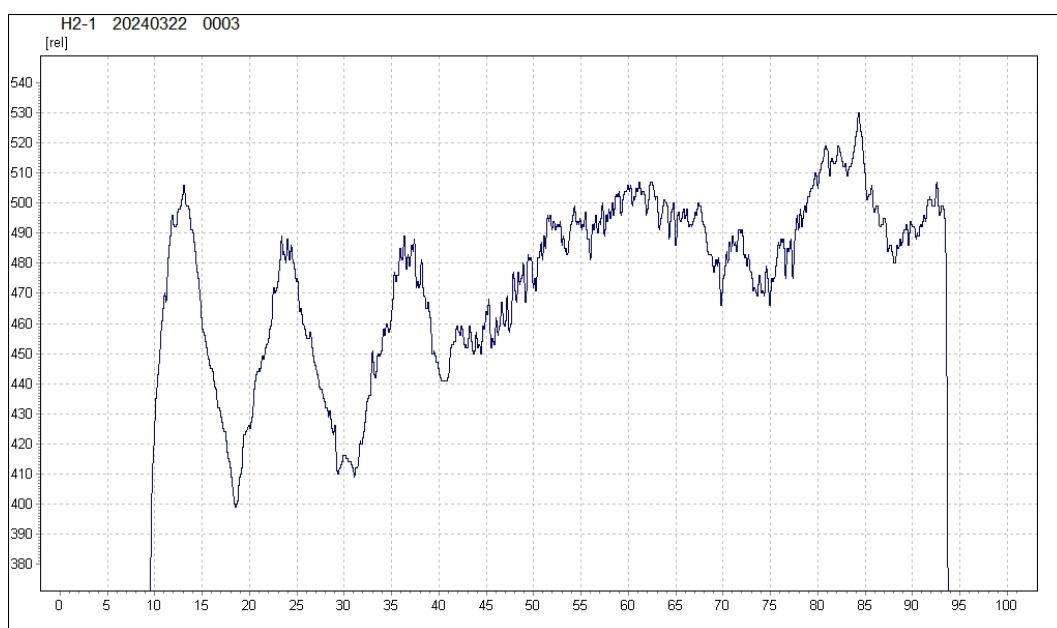
Ezt követően tovább dolgoztam velük, úgy, hogy minden alkalommal igyekeztem kivenni mind a három tartományból frízt.

Amiatt döntöttem ezek mellett ugyanis ezeknél a fajoknál részlegesen vagy teljes mértékben megtörtént a telítés, és fontos információkat tudtam belőlük kinyerni.

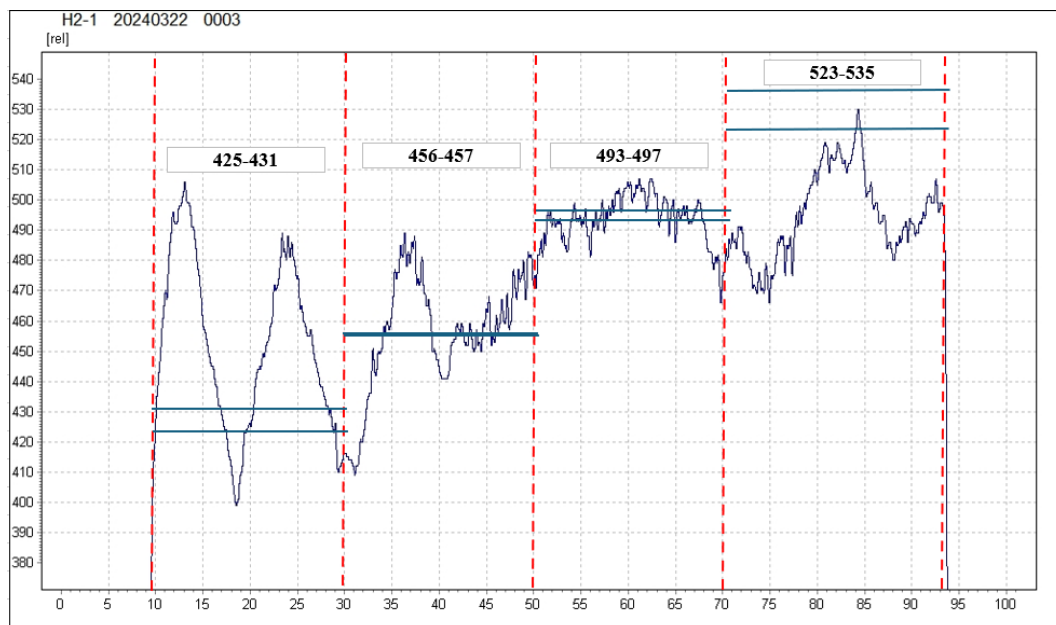
4.5 Fontosabb mért, és kiértékelt adatok

Kiemelném a korábban bemutatott natúr hárs frízeknek méréseit, és kifogok térni a csurgói telítésből származó frízekre is. Nedvességtartalom kérdése is kulcsfontosságú, ugyanis én azon a nedvességtartalmon fűrom meg a frízeket, amiben a gyártás során vannak. A diagrammokat balról jobbra kell olvasni.

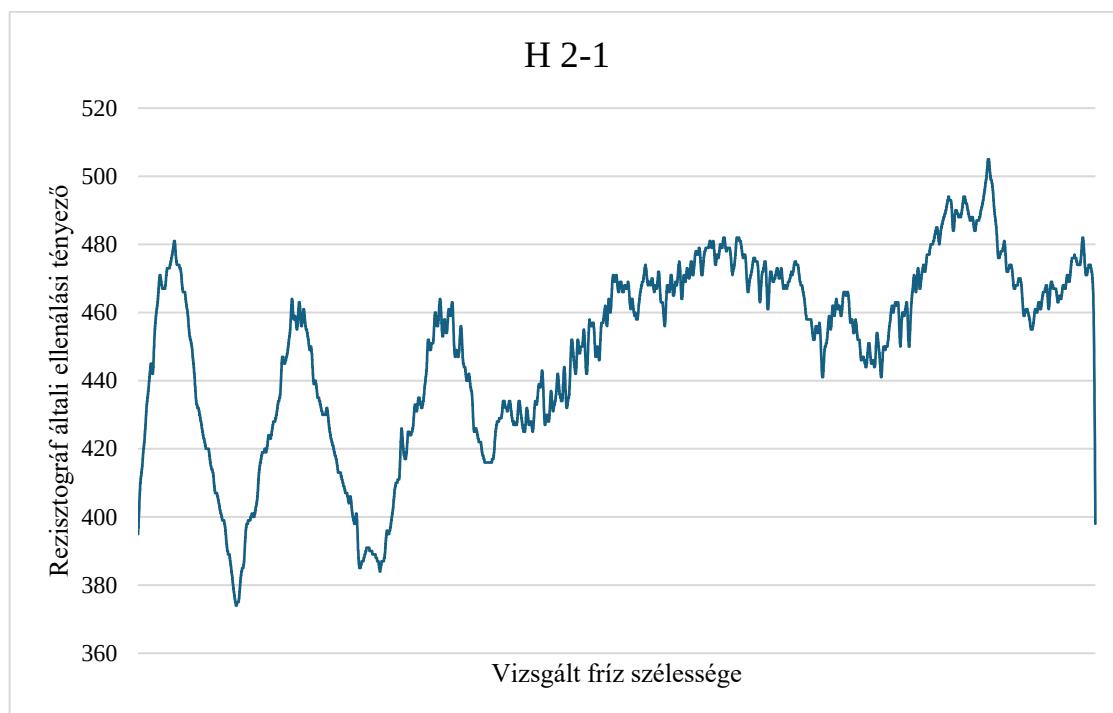
Minden esetben igyekeztem korrelációt számolni a fűrészek után kirajzolt diagrammal, illetve az én általam visszamért fakockák sűrűsége között. Mikor beviszem ezeket a fájlokat az Excelbe, minden fajta felirat mentesek (23. ábra). Amik rajta vannak azokat én teszem rá egyesével (24-30. ábra). Ugyanis a fűrés utáni feldolgozásban felosztom a levágott szeletet négy egyenlő részre, és külön-külön megmérem a sűrűségüket. Mivel egy fűrés után jobbról és balról is veszek ki mintát, így kettő sűrűségi adatom keletkezik ezeket ábrázoltam a kis szövegdobozokban és a vízszintes kék vonalak a határvonalat szimbolizálják. Azoknál a mintáknál, ahol csak egy érték szerepel, nem sikerült mindkét oldalról megőrizni a fűrés utáni felületet, mert gyakran besodorta a fűrész ezeket. A piros szaggatott vonalak jelzik a fakockák közti határt. Alul a számsoron jól észrevehető, hogy a fűrész a nulláról indul és csak a 10 mm-nél éri el a fűrandó anyagot. Ekkora távolságot tesz meg a fűrész a kiindulási pontjától a fáig, ugyanis egy védősapka található rajta. A végén pedig miután kiér a mintából, azonnal megszűnik az ellenállás és lecsökken a diagram (visszafelé nem mér).



23. ábra H 2-1-es natúr hárs fríz fűrésa utáni diagramja.



24. ábra H 2-1-es fríz diagramja, utólagos felirattal.



25. ábra H 2-1-es fríz adataiból szerkesztett diagram.

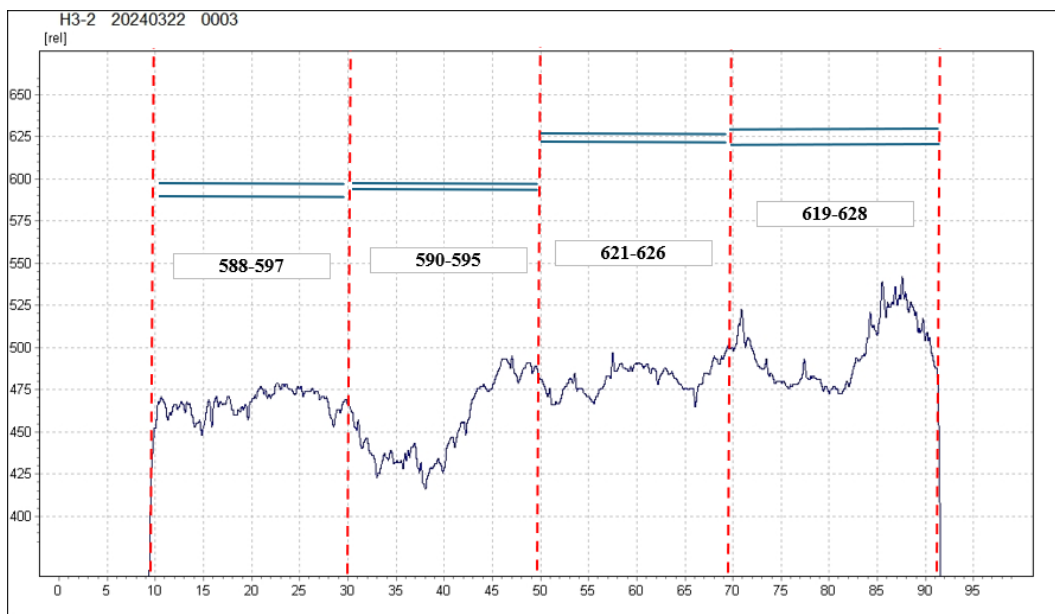
Megfigyeltem, hogy a minimum- és maximumértékek nem mindig jelennek meg a diagramokon, mivel 1 milliméterre közel 100-120 adat jut, és a képek felbontása nem teszi lehetővé ezek egyértelmű láthatóságát. Azonban az adatsor rendelkezésre áll, így ezek az értékek könnyen kinyerhetők. A rendelkezésemre álló, hozzávetőleg tízezer adat közül nem mindegyik fontos számomra. Mivel a fűró már a bekapcsolás pillanatától kezdve rögzít, az első 10 mm-en mért adatok, valamint a kilépés utáni értékek nem relevánsak a vizsgálat szempontjából. Ezek a diagrammok szerkesztése előtt törlöm, ne

zavarjon a továbbiakban. A rezisztográf által használt DecomWin szoftver, csak 1997-es Excelbe tudja kimenteni a programból, ami még jobban megnehezíti a tovább feldolgozást. Mint ahogy a levágott frízeket, így az adatokat is négy felé osztom a fúrás előrehaladása mentén, és számolok velük a megfelelő összehasonlítás végett. Ezek a műveletek hosszabb időt igényelnek, a táblázatok átfogó vizsgálata nagy időráfordítást kíván.

A táblázatot megfigyelve a bal felső sarokban láthatjuk a fríz megnevezését, a H betű a hársat jelenti. Alatta lévő től-ig határok pedig a vizsgált mélységeket mutatják. A felső sorban láthatunk A B C értéket. Az "A" érték minden esetben a rezisztográf által mért sűrűséget jelöli, míg a "B" az általam a laborban visszamért sűrűséget mutatja. Emellett létrehoztam egy "C" értéket, amely azt a szorzószámot képviseli, amellyel a rezisztográf által mért ellenállási tényezőt kell megszorozni, hogy a valós sűrűséget kapjuk meg. Ezeket az értékeket két tizedesjegyre kerekítettem. Minél közelebbi értékek egymáshoz ezek a számok annál nagyobb a korreláció (12. táblázat).

12. táblázat H 2-1-es fríz korrelációja és szorzótényezője.

H 2-1 Mélység [mm]	A	B	C
0-20	428	428	1
20-40	429,8	456,5	1,06
40-60	469	495	1,06
60-85	468,6	529	1,13
Korreláció	0,9177		



26. ábra H 3-2-es fríz kiértékelte diagramja.

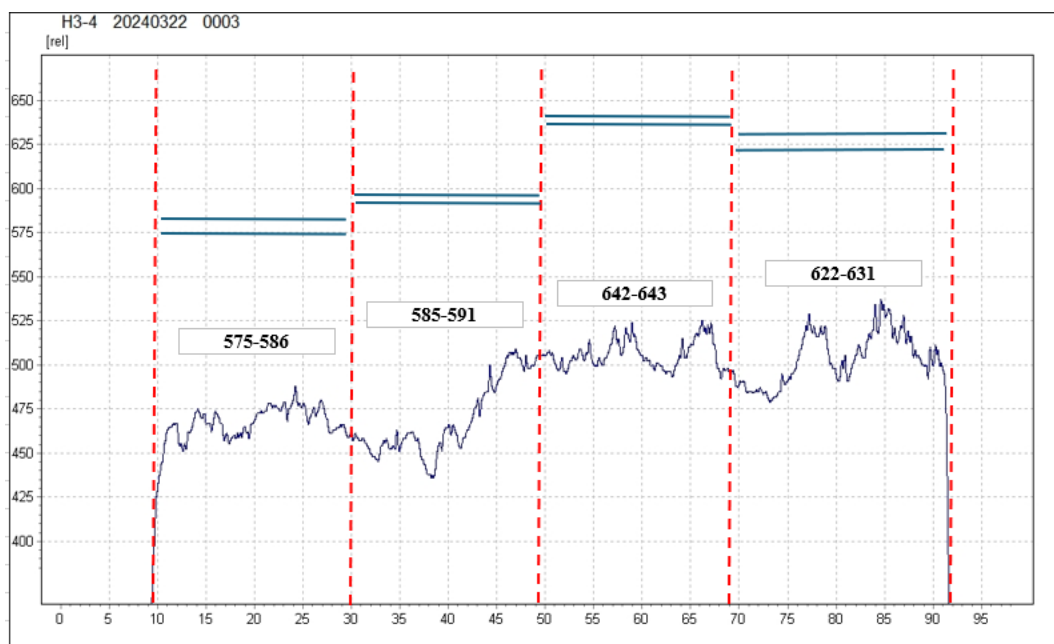


27. ábra H 3-2-es fríz legújabb technika által kirajzolva.

A harmadik, H3-as jelölésű fríz már a nagyobb sűrűségű tartományból származott, így ott magasabb értékek rajzolódtak ki. Véleményem szerint mindez túlságosan nem befolyásolta a korrelációt, azonban a hársaknál véltem felfedezni a legnagyobb hasonlóságot a fűrési és a sűrűségi adatok között. Emiatt különösen igyekeztem ezt a fafaj csoportot bemutatni, hogy szemléletes tudjak maradni a vizsgálat során (13-16. táblázat).

13. táblázat H 3-2-es fríz korrelációja és szorzótényezője.

H 3-2 Mélység [mm]	A	B	C
0-20	471,6	592,5	1,26
20-40	457,3	592,5	1,3
40-60	485,7	623,5	1,28
60-85	501	623,5	1,25
Korreláció	0,8900		

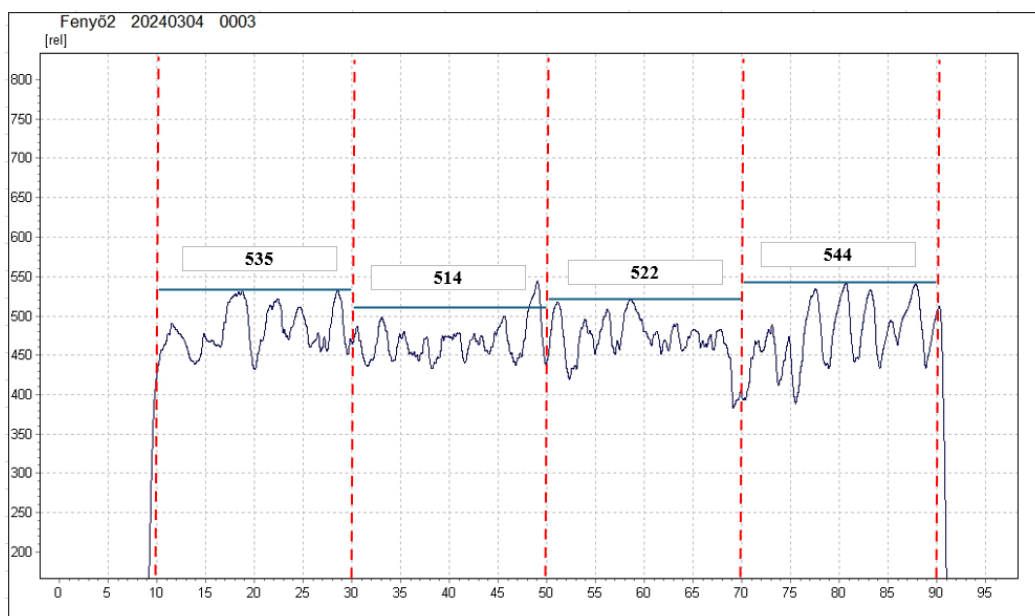


28. ábra H 3-4-es fríz kiértékelt diagramja.

14. táblázat Ebben a fűrásban véltem felfedezni a legnagyobb hasonlóságot.

H 3-4 Mélység [mm]	A	B	C
0-20	463,6	580,5	1,25
20-40	463,6	588	1,27
40-60	503,2	642,5	1,28
60-85	499,7	626,5	1,25
Korreláció	0,9826		

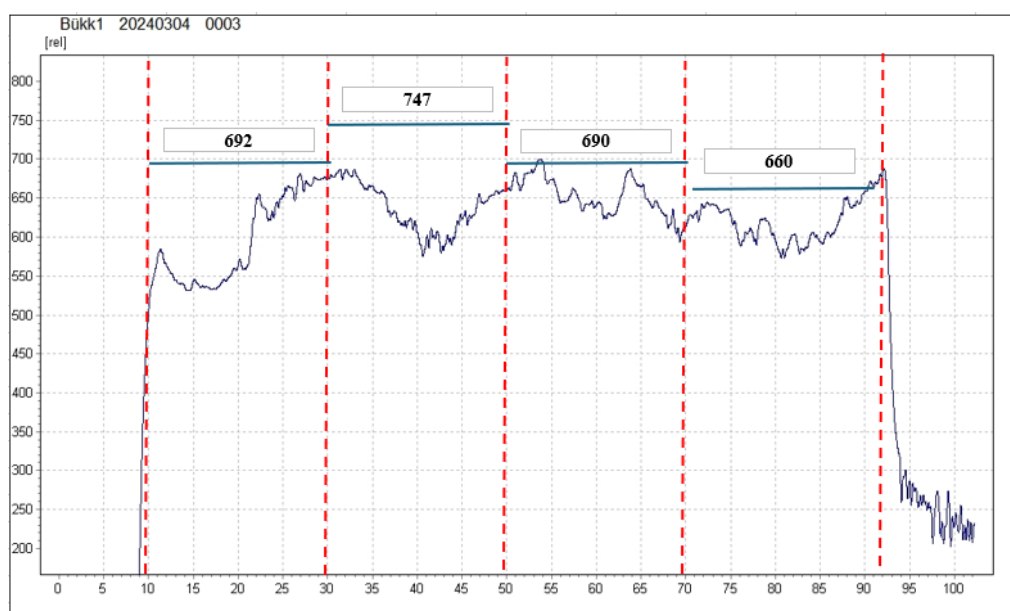
Ugyanezzel a módszerrel vizsgáltam több lucfenyő és bükk frízt is. Ezek a mérések egyúttal kontrollként is szolgáltak, mivel a hibák minimalizálása miatt nem akartam egy mérést alkalmával csupán egyetlen fafajcsoportot vizsgálni. Ennél a két fafajnál kiderül, hogy egyrészt nem telíthetők megfelelően, másrészt a velük való munka is nehezebb, mivel nem eléggé állandó a tulajdonságaik.



29. ábra Lucfenyő fríz kiértékelt diagramja.

15. táblázat F 2 Fenyő fríz korrelációja és szorzótényezője.

F 2 Mélység [mm]	A	B	C
0-20	485	535	1,10
20-40	480	514	1,07
40-60	485	522	1,08
60-85	485	544	1,12
Korreláció	0,7365		

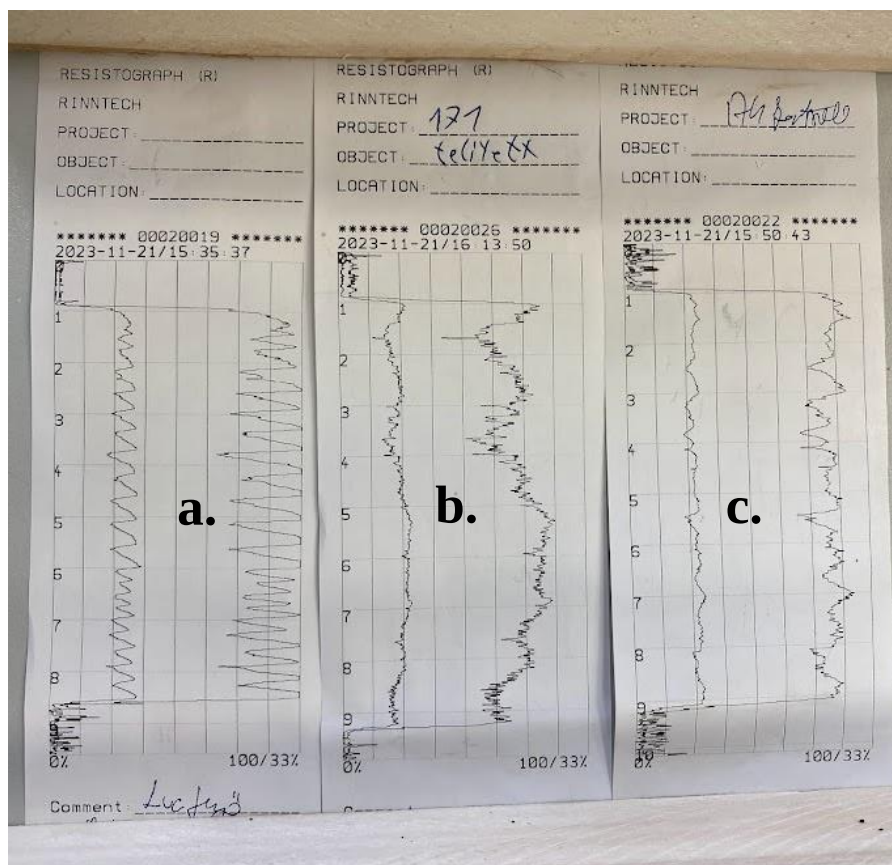


30. ábra Bükk fríz kiértékelt diagramja.

16. táblázat Bükk fríz korrelációja és szorzótényezője.

B 1 Mélység [mm]	A	B	C
0-20	625	692	1,11
20-40	650	747	1,15
40-60	650	690	1,1
60-85	625	660	1,06
Korreláció	0,6768		

Az utolsó félévemben nagyobb hangsúlyt fektettem az egyetemen megtalálható már korábban telített olasznyarakra. Ezek nem lettek megfelelően telítve, így lehetőségem volt alaposan kísérletezni a mérési technikámmal, és látványos metszeteket is csatolhatok hozzájuk. Ezen telített frízekhez tartozik még egy nagyobb csomag natúr, telítetlen fríz is, amelyekkel már korábban dolgoztam, és amelyekre a dolgozatom során már kitértem. Párhuzamosan vizsgáltam telített és telítetlen mintákat is. A három különböző mérés összehasonlítása látható: az első egy lucfenyő, ami egyfajta referencia, a középső egy telített I 214-es olasznyár, míg a jobb szélén a telítetlen olasznyár látható (31. ábra). Sokkal sűrűbb a telített mintának a kirajzolt grafikonja, amiről még az is elmondható, hogy nagyobb kiugrások is észrevehetőek, ami a telítésnek és az alap tulajdonságainak is köszönhető akár.



31. ábra Lucfenyő (a), telített I 214-es olasznyár (b), valamint telítetlen olasznyár (c).

A mérések során azt tapasztaltuk, ahol a telítési hiba jelentkezett a frízekben ott nagyobb a rezisztográfnek a teljesítmény felvétele, vagyis a fűró ellenállása. Ezzel arra következtethetünk egyrészt valószínűleg, hogy ott a faanyag sűrűbb, illetve nincsen megfelelő kenése a fűrószárnak így a hiányzó viasz miatt megnő a teljesítményfelvétel.

Ugyanakkor voltak olyan minták, ahol látszódott az évgűrű határ mentén egy világos csík, ahol nem volt telítve, ott is kimagasló értékeket mértem a magasabb sűrűség vagy a kevés telítőszer végett.(32.ábra).



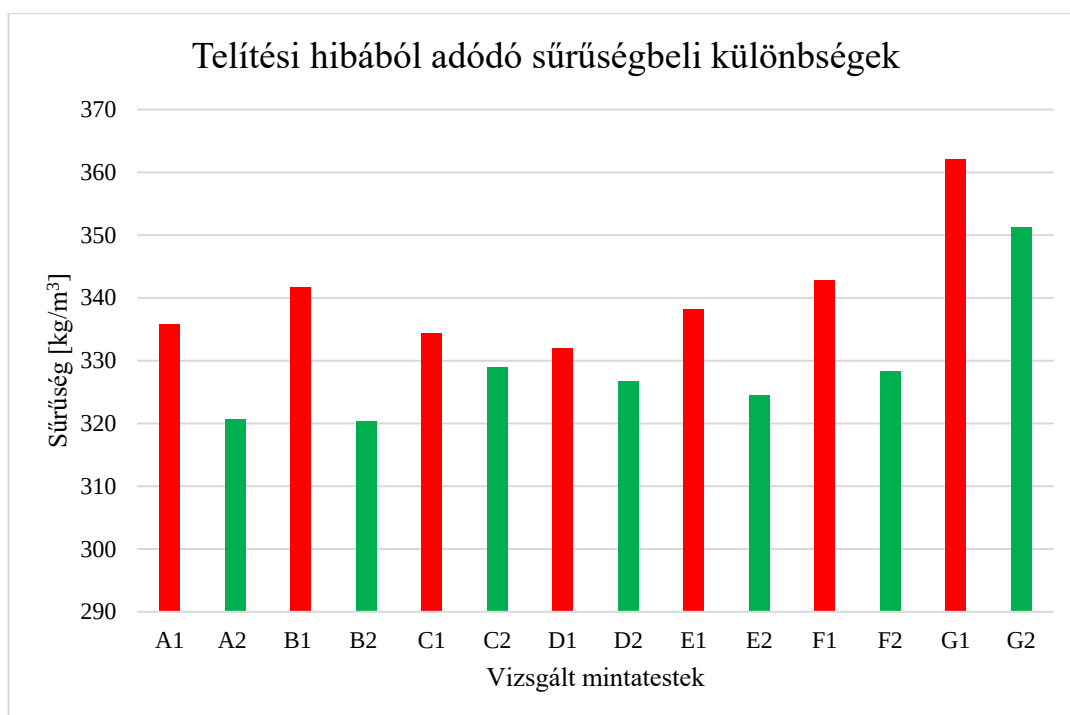
32. ábra Telítési hibák kirajzolódása hat félbevágott frízen.

Ahol magasabb a teljesítményfelvétel ott nincs megfelelően telítve az anyagunk. (33.ábra). Ha a kapott diagramon lecsökken a kirajzolt ellenállás, az azt jelzi, hogy ott nagyobb telítési dózis található, és/vagy a fa puhább a többi részéhez képest. Normál faanyag eseténél minimum és maximum érték két vonaltartományban mozog. A nem megfelelően telített faanyagban 3-4 osztási érték között mozog a telítés.



33. ábra Sugárirányú kiugrás.

Ezeket a fúrásokat kielemeztem és megmértem az adott fúrási helyeken a sűrűségüket, így választ kaptam arra, hogy milyen a világos faanyag sűrűsége a fatest többi részéhez viszonyítva. Több vizsgálat is bebizonyította, hogy a fehérnek mondható telítőanyagot nem tartalmazó részeknek nagyobb a sűrűsége, mindez a rezisztográf képalkotásából, és az általam folytatott utómérésekből is kiderült. A mintatesteket egymás mellől vettem ki egyfajta kontrollként, tehát ahol volt egy markáns telítetlen rész onnan kivettem egy telített és telítetlen mintát. Mérések útján kiderült, átlagolva ez a különbség 4%-ra jön ki (34.ábra).

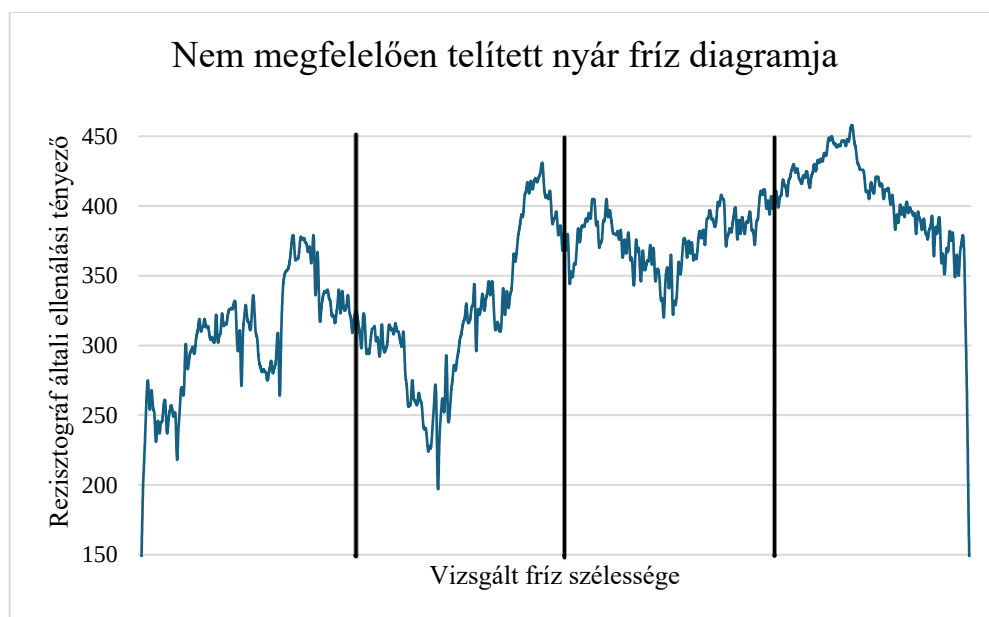


34. ábra Telített és rosszul telített farészek összehasonlítása.

Az 1-es értékek, amelyeket pirossal jelöltem, a telítőanyagot nem tartalmazó részeket jelölik, míg a zöld színnel kiemelt értékek a telített részeket reprezentálják. Más szóval, az 1-es értékek, amelyek fehérek voltak, míg a 2-es értékek az egészséges, terméket képviselték. Minden esetben az összetartozó betűpárosokat egymás mellől vettem ki. Itt látszódik a legjobban az évgyűrű határt lekövető hiba. (35.ábra). Ehhez a frízhez készítettem egy diagramot is, ezen is behúztam a megfelelő tagolást, ami alapján vizsgáltam a fríz (36.ábra).



35. ábra Utólagos felirattal ellátott vizsgált fríz.



36. ábra Az évgűrű határokat követő hiba fűrási grafikonja .

Korábban foglalkoztam az úgynevezett "C" értékkel, amelyet a rezisztográf által kiírt értékkel kell megszorozni. Ezzel a módszerrel megközelítőleg, a hibahatáron belül meghatározható a faanyag sűrűsége. Több mint száz elvégzett fűrás után sikerült kiszámítanom mindegyik vizsgált telített fafajra vagy fafajcsoportra egy "C" értéket. (17.táblázat).

17. táblázat Telített fafajok "C" értéke.

Telített fafajok	C érték
Császárfa	0,91
I 214 Nyár	0,975
Bükk	1,1
Éger	1,115
Fenyők	1,115
Hársak	1,17

Mint látható az eredményeket eléggé komplexet, tehát összefügg a faanyag alapvető sűrűségével, a telítés utáni sűrűségével, illetve a viasz által okozott kenéssel is. Így láthatjuk azt, hogy a két alacsonyabb sűrűségű fafaj negatív értéket produkált, vagyis a rezisztográf által kiírt érték meghaladta a vizsgát faanyag sűrűségét, így egy egynél kisebb szorzó tényezővel kell megszorozni. A többinél jól látszik az, hogy alacsonyabbra mérte a fűrészár a sűrűséget, így magasabb "C"érték jött ki.

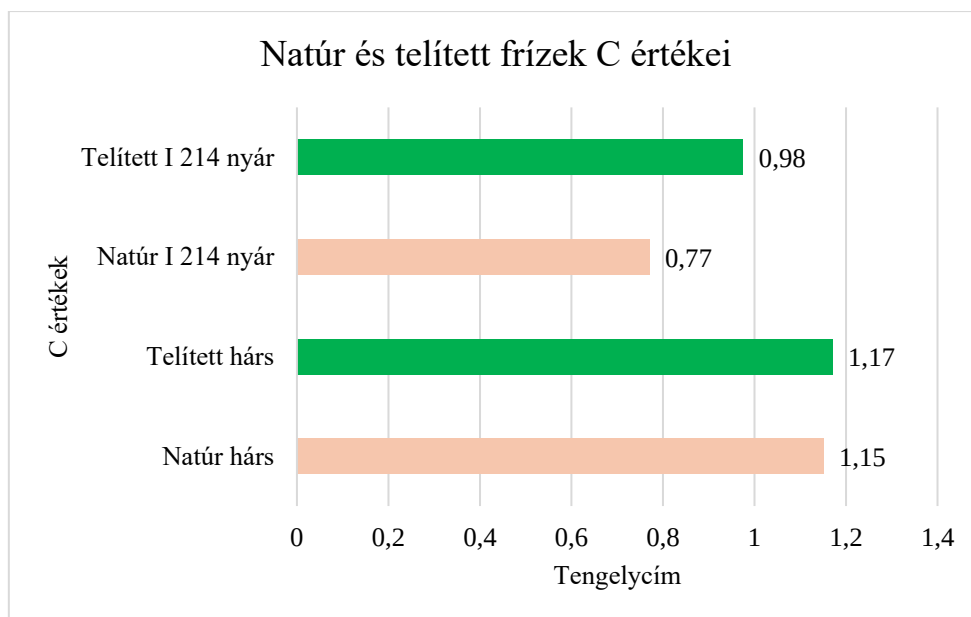
Vagyis, ha ezt átültetjük a kihelyezett gyártástechnológiába, elmondható, hogy egy adott minőségellenőrzési fázisban, ha bármilyen szintű eltérés tapasztalható, akár negatív, akár pozitív irányban, akkor valószínűleg rendellenesség észlelhető. A magasabb érték arra utalhat, hogy nem található telítőanyag az adott területen, míg az alacsonyabb érték arra enged következtetni, hogy vagy túl sok telítőanyag van jelen, vagy valamilyen okból alacsonyabb a sűrűség, ami fahiba következménye is lehet. Ez a mérési folyamat rendkívül mobil és bárhol jól használható, akár azonnali kiértékeléssel is. A megfűrt fríz a gyártási folyamatban maradhat, mivel mindössze egy 3 mm-es lyuk keletkezik benne. Ezt a lamellákra való vágás során könnyen eltávolíthatják, így a hibátlan részek továbbra is felhasználhatók a következő gyártási lépésekhez.

Továbbiakban, még összehasonlítottam két kiválasztott fafaj natúr és telített fríznek a "C" értékeit. Minden natúr frízen végeztem fűrési vizsgálatot, de úgy vélem, hogy számunkra a legrelevánsabbak a nyár és a hárs frízek értékei, mivel ezekkel foglalkoztam a legtöbbet eddig, és igyekszem tovább mélyíteni az ezzel kapcsolatos ismereteimet. Az adatbázisaimban már rendelkezésemre álltak ezeknek a vizsgálatoknak az adatai, amelyeken korábban dolgoztam, de most, hogy van mivel összehasonlítani őket, így szerepet kapnak a dolgozatomban.

A telített I 214-es olasznyár és a natúr változata között eléggé nagy különbséget véltem felfedezni (37.ábra). Mint láthatjuk a módosított változata nagyobb sűrűséggel bír, és közel azonos a rezisztográf és az én általam mért sűrűség. Ezt onnan látjuk, hogy

az értéke nagyon megközelíti az egyet. Vagyis nagyobb a fűrési ellenállása a telített fríznek, mint a telítetlen társának, így ezzel a beavatkozással drasztikusan megváltoztatjuk az adott faanyag struktúráját, és a számunkra kedvezőre tudjuk módosítani.

A telített hársaknál ez a nagy különbség már nem mondható el. Azt láthatjuk, hogy természetesen a telítés módosítja a hárs faanyag struktúráját is, de nem akkora mértékben avatkozik be a fatestbe. Vagyis azzal, hogy így kezeljük a hárs fajokat nem tapasztalhatunk drasztikus különbséget a megfűrésükkor. Fontos megemlíteni, hogy a vizsgálatba bevont natúr és telített frízek egyazon állományból származnak.



37. ábra Szorzótényezők ábrázolása hárs és nyár fajoknál.

Visszacsatolva az előbb elmondottakhoz, ha veszünk egy példát, miszerint, ha megfűrünk ezzel a módszerrel egy natúr I 214-es olasznyár frízt a rezisztográf készülékkel, akkor az ott kapott eredményt 0,77-tel kell megszorozni ahhoz, hogy megkapjuk hibahatárokon belül annak a fafajnak a sűrűségét. Ha ez a fríz kezelve van 12 bar nyomáson és szintén elvégezzük ezeket a fűrési folyamatokat és megszeretnénk kapni az adott fríz sűrűségét, akkor azokat az adatokat már 0,98-cal kell megszorozni az eredményekért.

5 Összefoglalás

Összefoglalásul közel két éve foglalkozok a ceruzaipari frízekkel, illetve a hozzá tartozó gyártástechnológiával és minőségellenőrzéssel. Ez idő alatt volt lehetőségem többször is a csurgói SEFAG Zrt-hez leutaznom, ahol effektív a gyártás történik. A ceruzagyártásra alkalmas frízekkel kapcsolatos témám előtt már korábbi pályázatokban is részletesen foglalkoztam a császárfával. Innen merült fel az ötlet, hogy érdemes ezt a faanyagot is bevonni a kísérletben vizsgált többi faanyag közé, ezzel színesítve a választékot. A kísérletbe bevont többi faanyag pedig vagy az egyetem, vagy a Faber-Castell® kérésére került a szortimentbe.

A csurgói telítési folyamat során az új fafajok közül a legjobb eredmény az éger és a nyár érte el, ami – a már gyártásban lévő hársfákhoz hasonlóan – kiválóan telíthetőek voltak. A vizsgált császárfák is jól átitatódottak. A fülledt bükk esetében, nagy sűrűsége miatt, a telítőszer nem tudott megfelelően behatolni a faanyag belsejébe, és hasonló nehézségek adódtak egyes sűrűbb lucfenyőknél is. Azonban azoknál a fenyő példányoknál, amelyeknél kisebb sűrűséget tapasztaltunk, kedvező eredményeket sikerült produkálni.

Az egyetemi telítés során a nyárfáknál hibák léptek fel, részben az alacsony nyomásnak tudhatók be: ott a telítés maximálisan 8 bar nyomáson történhet, míg Csurgón 12 bar. Ennek eredményeként megállapítható, hogy ezen a nyomáson és technológiával az egyetemen az I 214-es olasznyár minták nem telíthetők megfelelően. Egy bizonyos sűrűségi érték fölött ezzel a technológiával már nem lehet hatékony telítést elérni, ahogy azt a mérések és a képek is alátámasztják. A telítési folyamat tehát több tényező függvénye: az alkalmazott nyomás, a telítési idő, a fafaj sűrűsége, valamint a telítőszer tulajdonságai befolyásolják az eredményt.

Első kísérleteim alapján feltételezem, hogy a rezisztográf nagyobb ellenállást jelez azokon a fríz területeken, ahol nincs jelen telítőszer, mivel a fűrészár ezeken a helyeken nem kap elegendő kenést. E megalapozásam megerősítésére további méréseket végeztem. Vizsgálataim eredményeként részben módosítottam és kiegészítettem a felvetésemet. Többszöri sűrűségmérés kimutatta, hogy a telítési hibás helyeken a fa alapvető sűrűsége magasabb, ami a készülék teljesítményfelvételének növekedését eredményezi, így a kirajzolt diagram is eltérő lesz. Itt továbbra is elérhető a kenés hiánya, és valószínűsíthetően a kései pászták jelenléte is szerepet játszik, mivel a változások évgyűrű határoknál mutatkoztak meg. A fűrész alapján meg lehet állapítani az adott fríz

sűrűségét, egy szorzószámmal, illetve azt tudom megmondani a kirajzolt grafikon által, hogy ahol kiugrás tapasztalható ott nem található telítőanyag, vagy más rendellenesség tapasztalható. Ugyanis ott alapvetően sűrűbb az anyag, ennek következtében a kenés is megszűnik azon a részen.

Zárásként, amiket kitűztünk nekem közösen célokat témavezetőmmel Dr. Komán Szabolccsal azokat sikerült teljesítenem. Egy új minőségellenőrzési technikát tudtam fejleszteni a rezisztográf felhasználásával, amit közvetlen be tudunk illeszteni a gyártásba. Úgy vélem, hogy ez a kutatás nemcsak számomra, hanem az iparág számára is kiemelkedő fontosságú. A több éves vizsgálataim számos újdonsággal szolgálnak. Egyrészt számunkra és a Faber-Castell® számára is új fafajokat tudtam bevonni a telítésbe, a rezisztográfunk fejlesztettem egy új mérési eljárást, amivel frízeket tudunk megvizsgálni és professzionálisan adatokat kiértékelni. Sikerült még egyfajta szorzótényezőket megalkotnom minden egyes vizsgált fafajokhoz, amivel a sűrűséget tudom helyben megállapítani. Elmondhatjuk, azt, hogy ez az eljárás bizonyos keretek között alkalmas megvizsgálni ezt gyártási folyamatot. Ehhez elengedhetetlen, hogy minél rendszeresebben alkalmazzuk, és egyre nagyobb adatbázist építsünk, így folyamatosan fejlesztve a technológiát. Mivel az első kísérletek ígéretes eredményeket hoztak, úgy vélem, hogy ennek a megoldásnak van jövője az iparágban.

6 Köszönetnyilvánítás

Szeretném megköszönni témavezetőmnek Dr. Komán Szabolcsnak, és Dr. Bejó Lászlónak a munkám során nyújtott segítségüket, továbbá Gágyor Péter Bálint hallgató társamnak a számítástechnikai segítségét.

Köszönöm a Soproni Egyetem Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar Alaptudományi Intézetnek a rendelkezésemre bocsájtott mérőberendezéseket, nyár és császárfafaanyagot és a helyszínt.

Mind azontúl szeretnék köszönetet nyilvánítani a nürnbergi Faber-Castell® cégnek, és a SEFAG Zrt. csurgói faipari gyárnak, akik a hársfa, bükkfa, éger, luc-és jegenyefenyő frizeket biztosították számomra.

A 2024-2.1.1-EKÖP-2024-00007 számú projekt a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a EKÖP-24-1-I pályázati projekt finanszírozásában valósult meg.



NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI
ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL

AZ NKFI ALAPBÓL
MEGVALÓSULÓ
PROJEKT

7 Irodalomjegyzék

- [1] <https://www.citatum.hu/kereso.php?kereses=ceruza&lap=1&r=2>
(megtekintés dátuma 2024.11.18.)
- [2] <https://hu.wikipedia.org/wiki/Ceruza> (megtekintés dátuma 2024.11.18.)
- [3] Kaygin B., Kaplan D, és Aydemir D. (2015): „Paulownia Tree as an Alternative Raw Material for Pencil Manufacturing”.
- [4] Frank Rinn (2016): “Erratum to: Intact-Decay-Transitions in Profiles of Density-Calibratable Re-Sistance Drilling Devices Using Long Thin Needles”.
- [5]. Yao J.Zhao Y.Zhang H.Song X.Lei X.Tang S.See, Nongye Jixie Xuebao. (2021): Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery Drill Resistance Expression Method of Tree Micro Drill Instrument.
- [6]. Uthappa A., Hegde R., Karthick M., Kumar P., Gurudev Singh B., Prashanth R. S.See. (2017): Rapid measurement of density of wood in progeny trial of *Acacia mangium* willd. Using resistograph-a nondestructive method. Wood is Good: Current Trends and Future Prospects in Wood Utilization
- [7]. Yao J.Lu J.Fu L. Journal of Nondestructive Evaluation (2023): Micro Drill Resistance Instrument Measurements at Different Feed Speeds: Novel Conversion Algorithm for Enhanced Accuracy,
- [8] Yao J.Fu L.Song X.Wang X.Zhao Y.Zheng Y.Ye Q.Zhai S.See fewer. Journal of Forestry Engineering (2022): Feasibility study on measuring density of earlywood and latewood by micro drill resistance method.
- [9] Nikulina N. és Nikulin S. (2021): „PROTECTIVE WOOD TREATMENT WITH AN OLIGOMER CONTAINING STYRENE UNITS”, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov.
- [10] Niu K. és Song K. (2021): „Hot waxing treatment improves the aging resistance of wood surface under UV radiation and water”, *Prog Org Coat*,
- [11] Lesar B., Pavlič M., Petrič M., . Škapin A. S., és Humar M. (2011): „Wax treatment of wood slows photodegradation
- [12] Wang Y., Zhang Z., Fan H., és Wang J. „Wood (2018): Carbonization as a protective treatment on resistance to wood destroying fungi.
- [13] Espinoza O. és Bond B.(2016):„Vacuum Drying of Wood—State of the Art”, *Current Forestry Reports*.

- [14] Molnár S., Farkas P., Börcsök Z, Zoltán Gy. (2016): Földünk ipari fáí. ERFARET Nonprofit Kft., Sopron 41-44.o.
- [15] Molnár S., Farkas P., Börcsök Z, Zoltán Gy. (2016): Földünk ipari fáí. ERFARET Nonprofit Kft., Sopron 73-76.o.
- [16] Molnár S., Farkas P., Börcsök Z, Zoltán Gy. (2016): Földünk ipari fáí. ERFARET Nonprofit Kft., Sopron 407-409.o.
- [17] Molnár S., Farkas P., Börcsök Z, Zoltán Gy. (2016): Földünk ipari fáí. ERFARET Nonprofit Kft., Sopron 61-63.o.
- [18] <https://mek.oszk.hu/00500/00544/html/zarva/olasz.htm> (megtekintés dátuma 2024.11.18.)
- [19] Molnár S., Farkas P., Börcsök Z, Zoltán Gy. (2016): Földünk ipari fáí. ERFARET Nonprofit Kft., Sopron 93-99.o.
- [20] Molnár S., Farkas P., Börcsök Z, Zoltán Gy. (2016): Földünk ipari fáí. ERFARET Nonprofit Kft., Sopron 89-91.o.
- [21] Molnár S., Farkas P., Börcsök Z, Zoltán Gy. (2016): Földünk ipari fáí. ERFARET Nonprofit Kft., Sopron 76-78.o.
- [22] A szárított faanyag minőségének korrekt meghatározása, különös tekintettel az EU-s szabványokra. Prof. Dr. Németh Róbert. <https://docplayer.hu/14482283-A-szaritott-faanyag-minisegenek-korrekt-meghatarozasa-kulonos-tekintettel-az-eu-s-szabvanyokra.html> (megtekintés dátuma 2024.11.18.)

8 Ábrajegyzék

1. ábra Beállítható a projektnek és a fúrásnak a száma, annak a mélysége, előtolása, és nagyítása.	9
2. ábra Csurgón alkalmazott vákuum szárító.....	13
3. ábra Különböző stádiumú károsodott frízek.....	17
4. ábra Voltak kimagasló tömegek a mérésnél.	17
5. ábra Hárs fajok telítés előtti vizsgálata.....	18
6. ábra Császárfán erősen kivehető a szijács és geszt találkozás.....	19
7. ábra Az éger színe natúran közel megegyezett a telítés utáni hárs színeivel.....	21
8. ábra A lucfenyő gyantatartalma megnehezíti a telítését.	23
9. ábra A jegenyefenyők telítés előtti állapotban.....	24
10. ábra Az érintőszondán megfelelő sűrűség beállítása után lehet csak mérni.	25
11. ábra Gombaölőszer és viasz tartály.	25
12. ábra Rugós kötöző hevederek.....	26
13. ábra Rezisztográf készülék a hozzá tartozó nyomtató egységgel.....	27
14. ábra Az első fúrások eredményei papíralapon, bedigitalizálva.	28
15. ábra Lucfenyő minta rezisztográf által kirajzolt évgyűrű határai megegyeznek a valósággal.	29
16. ábra Telítetlen hárs fajú minták felrajzolva és már kifúrva.....	31
17. ábra Gérvágóval felvágott minták, felrajzolás után, hasítás előtt.....	32
18. ábra Császárfák próbatestek szárítás előtt.....	33
19. ábra Telített bükk és natúr hárs fajok fúrásképe.....	33
20. ábra Oldal nézete a kész rakatnak, innen a telítőbe ment.....	35
21. ábra Különböző szinteken lévő bükk sűrűsége átlagolva.....	36
22. ábra Bükk kiindulási nedvességtartalma.....	36
23. ábra H 2-1-es natúr hárs fríz fúrása utáni diagramja.....	39
24. ábra H 2-1-es fríz diagramja, utólagos felirattal.....	40
25. ábra H 2-1-es fríz adataiból szerkesztett diagram.....	40
26. ábra H 3-2-es fríz kiértékelt diagramja.....	42
27. ábra H 3-2-es fríz legújabb technika által kirajzolva.....	42
28. ábra H 3-4-es fríz kiértékelt diagramja.....	43
29. ábra Lucfenyő fríz kiértékelt diagramja.....	44
30. ábra Bükk fríz kiértékelt diagramja.....	45

31. ábra Lucfenyő (a), telített I 214-es olasznyár (b), valamint telítetlen olasznyár (c).	46
32. ábra Telítési hibák kirajzolódása hat félbevágott frízen.	47
33. ábra Sugárirányú kiugrás.	47
34. ábra Telített és rosszul telített farészek összehasonlítása.	48
35. ábra Utólagos felirattal ellátott vizsgált fríz.	49
36. ábra Az évgyűrű határokat követő hiba fúrési grafikonja	49
37. ábra Szorzótényezők ábrázolása hárs és nyár fajoknál.	51

9 Táblázatjegyzék

1. táblázat Bükkfa térfogatváltozása.	17
2. táblázat Kislevelű-Ezüst hárs térfogatváltozása.	19
3. táblázat Császárfa térfogatváltozása.	20
4. táblázat Éger térfogatváltozása.	21
5. táblázat I 214-es olasznyár térfogatváltozása.	22
6. táblázat Lucfenyő térfogatváltozása.	23
7. táblázat Jegenyefenyő térfogatváltozása.	24
8. táblázat Csurgói faanyagok kiindulási sűrűsége a nedvességükhöz viszonyítva.	34
9. táblázat Jegenyefenyő nedvességtartalma és sűrűsége, a kimagasló értékek az érdekesek.	34
10. táblázat Olasznyár frízek tömegük alapján szeparálva csoportokba.	37
11. táblázat Kislevelű hárs minták tömegük alapján szeparálva.	38
12. táblázat H 2-1-es fríz korrelációja és szorzótényezője.	41
13. táblázat H 3-2-es fríz korrelációja és szorzótényezője.	43
14. táblázat Ebben a fűrásban véltem felfedezni a legnagyobb hasonlóságot.	43
15. táblázat F 2 Fenyő fríz korrelációja és szorzótényezője.	44
16. táblázat Bükk fríz korrelációja és szorzótényezője.	45
17. táblázat Telített fafajok "C" értéke.	50