

# **DIPLOMAMUNKA**

**Cziczér Maximilián**

**SOPRON**

**2024**

Soproni Egyetem

**Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar**

Faanyagtudományi Intézet

**Hengeres és bordás törzsű gyertyánok faanyagának összehasonlító vizsgálata**

Témavezetők:

**Dr. Báder Mátvás**

Kutató

**Prof. Dr. Németh Róbert**

Egyetemi tanár

Készítette:

**Cziczzer Maximilián**

Faipari Mérnök MSc hallgató



**SOPRONI  
EGYETEM**

FAIPARI MÉRNÖKI ÉS  
KREATÍVIPARI KAR  
DIPLOMAMUNKA FELADAT

Szakdolgozatot készítő neve:	<b>Cziczér Maximilián Szilveszter</b> faipari mérnök MSc hallgató
A szakdolgozatot készítő Neptun kódja:	E62A80
Szakdolgozat címe:	<b>Bordás- és hengeres törzsű gyertyánok alapvető faanyag-tulajdonságai</b>
Témavezető:	<b>Dr. Báder Mátyás</b> laboráns <b>Prof. Dr. Németh Róbert</b> egyetemi tanár
A dolgozat kódja	FMK-30-2024-D

#### Elvégzendő feladatok

- Jelölt végezze el a témájához kapcsolódó szakirodalom áttekintését és ismertetését, fogalmazza meg munkájának célját.
- Végezzen összehasonlító vizsgálatokat a klasszikusan gyertyánként ismert bordás törzsű és a Magyarországon számos helyen fellelhető hengeres törzsű gyertyánok egyes alapvető faanyag-tulajdonságainak összehasonlítására. Ide tartozik az érettfá anatómiai elemzése fénymikroszkóp segítségével, a telíthetőség vizsgálata, a hajlítóvizsgálat, a Brinell-Mörath keménységvizsgálat és kopásállóság vizsgálata, az üto-hajlító vizsgálatok, valamint a sűrűség és a zsugorodás-dagadási tulajdonságok megismerése. Ezeken felül a rendelkezésre álló mintákon lehetőség szerint végezzen gombaállósági vizsgálatokat a különböző alaki tulajdonságú gyertyánok összehasonlítására.
- Ismertesse a vizsgált famintákat, az elvégzett vizsgálatokhoz felhasznált eszközöket és eljárásokat, a vizsgálati körülményeket.
- Jelölt foglalja össze a vizsgálati eredményeket (átlagok és szórások), majd hasonlítsa össze egymással és a rendelkezésre álló irodalmi adatokkal. Értékelje őket, vonjon le következtetéseket, adjon magyarázatokat, tegyen javaslatokat.

Beadási határidő: 2024. május 10.

Sopron, 2024.március 01.

Prof. Dr. Magoss Endre





**SOPRONI  
EGYETEM**

FAIPARI MÉRNÖKI ÉS  
KREATÍVIPARI KAR  
9400 Sopron, Bajcsy-Zs. u. 4.

## NYILATKOZAT

Alulírott Cziczér Maximilián neptun kód: E62A80 jelen nyilatkozat aláírásával kijelentem, hogy Hengeres és bordás törzsű gyertyánok

faanyagának összehasonlító vizsgálata című (megfelelő rész aláhúzendó)

**házi dolgozat;**

**diplomadolgozat;**

**szakdolgozat/diplomamunka**

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

*Hivatkozások és idézések szabályai:*

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

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

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

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

Sopron, 2024.05.17

.....  
hallgató

# TARTALOMJEGYZÉK

1	Bevezetés .....	6
1.1.1.	Sűrűségmeghatározás .....	7
1.1.2.	Zsugorodás-dagadás .....	7
1.1.3.	Hajlítószilárdság .....	8
1.1.3.	Rugalmassági modulus .....	8
1.2.	Irodalmi áttekintés .....	11
1.2.1.	Közönséges Gyertyán ( <i>Carpinus betulus</i> L.) .....	11
1.1.1	Elterjedés .....	11
1.2.2.	A gyertyán szerepe az erdőgazdaságban .....	14
1.2.3.	Éghajlat, talaj- és fényigény .....	15
1.2.4.	Elterjedés a jövőben .....	16
1.2.5.	Alaki jellemzők .....	17
1.2.6.	Makroszkópos jellemzők .....	18
1.2.7.	Mikroszkópos jellemzők .....	19
1.2.8.	Fahibák, károsodások, tartósság .....	20
1.2.9.	Fizikai és mechanikai tulajdonságok .....	21
1.2.10.	Megmunkálási sajátosságok .....	22
1.2.11.	Hengeres törzsű gyertyán .....	24
2.	Vizsgálati anyagok és Módszerek .....	28
2.1.	Anyagok .....	28
2.2.	A hajlítószilárdság vizsgálata .....	29
2.3.	Ütő-hajlítószilárdság .....	31
2.4.	Brinell-Mörath keménység .....	33
2.5.	Kopásállóság meghatározása .....	33
2.6.	A folyadékáteresztő képesség .....	36
2.7.	Zsugorodás-dagadás .....	39

2.8.	Sűrűség meghatározás.....	40
3.	Eredmények és következtetések .....	43
3.1.	Hajlítószilárdság .....	43
3.2.	Ütő-hajlító szilárdság.....	46
3.3.	Brinell-Mörath keménység .....	46
3.4.	Kopásállóság .....	48
3.5.	Folyadékáteresztés .....	50
3.6.	Zsugorodás-dagadás.....	53
3.7.	Sűrűség.....	54
3.8.	Gombaállósági vizsgálatok .....	55
3.9.	Fénymikroszkópos felvételek .....	58
4.	Összegzés .....	60
5.	Irodalomjegyzék .....	62
6.	Köszönetnyilvánítás .....	65

# 1 BEVEZETÉS

A gyertyánfa (*Carpinus betulus* L.) korlátozott szerepet tölt be Európa erdeiben, melyet főként tűzifaként tartja számon az erdőgazdálkodás és a faipar is. A gyertyánfa ipari felhasználását hagyományosan nehezíti a faanyagának bordás és csavart növése, ami jelentősen befolyásolja a fűrészáru kihozatalát és a megmunkálhatóságot. Azonban előfordulnak Magyarországon hengeres, vagy közel hengeres törzsű gyertyánok is, melyek faanyagáról kevesebb információ áll rendelkezésre, de ígéretes tulajdonságokkal bírnak az ipari felhasználás szempontjából.

A hagyományos gyertyán törzsformája jellemzően bordás növekedésű, ami különféle mértékben csökkentheti a fűrészipari kihozatalát, míg a hengeres törzsű egyedek simább felszínűek, így jobban alkalmasak lehetnek fűrészipari és egyéb faipari feldolgozásra. A kutatásom fő célja, hogy részletesen összehasonlítsa a hengeres és bordás törzsű gyertyánokat, különös tekintettel a fizikai és mechanikai jellemzők különbségeire, mint például a hajlítószilárdság, nyomószilárdság és a faanyag zsugorodási, valamint dagadási tulajdonságai.

Ezen kutatás során a különböző magyarországi erdészeti területekről származó mintákat elemeztük, melyek különböző növekedési formákat képviseltek. Zala vármegyéből hengeres törzsű mintát kaptunk, míg a Szombathelyi Erdészeti Zrt. és a Nyírerdő Nyírségi Erdészeti Zrt. mind hengeres, mind bordás növekedésű egyedeket szolgáltatott. A vizsgálatok során különös figyelmet fordítottunk az olyan jellemzőkre, melyek az ipari feldolgozásnál kiemelt fontosságúak, mint például a sűrűség és a hajlítószilárdság.

### **1.1.1. Sűrűségmeghatározás**

A faanyag sűrűsége egy fajlagos érték, amely megadja az adott térfogatra vonatkoztatott tömeget. A sűrűséget több tulajdonság is befolyásolja, a faanyag esetén a legjelentősebb befolyásoló tényezők a fafaj, nedvességtartalom és a kivett minta elhelyezkedése a rönkön belül, valamint a fa élőhelyi adottságai. A különböző nedvességtartalmi fokokra vetített sűrűségi értékek nagyban eltérnek egymástól, ezért érdemes az abszolút száraz sűrűséget meghatározni (Rónyai, 2021).

### **1.1.2. Zsugorodás-dagadás**

A zsugorodás és dagadás egy természetes jelenség faanyag esetében, amely a benne található vízmennyiség változásának az okozata. A faanyagban raktározott víz kétféle képpen van jelen: kötött és szabad víz formájában. A környezeti hatások és a nedvességtartalom közötti összefüggés, a nedvességtartalom és a faanyag dimenziójának megváltozása szintén fontos kapcsolat. A szabad víz mozgása, mely kizárólag fizikailag kapcsolódik a sejtekhez, nem okoz méretváltozást. Elhelyezkedése a sejtüregekre és a sejtek közti üregekre korlátozódik. A kötött víz, mely elsősorban hidrogénhidas kötéssel kötődik a faanyaghoz, annak sejtfelszerkezetéhez, az interfibrilláris térben helyezkedik el (Molnár, 1999). Mennyiségének változása a faanyagban a rostok egymástól való távolságának változását eredményezi, mely a faanyag zsugorodását és dagadását okozza. A faanyagra jellemző három anatómiai irány zsugorodás-dagadás szempontjából is különválasztható. A fafajonként eltérő értékek ellenére elmondható, hogy a legnagyobb mértékű dimenzióváltozás a tangenciális irányon figyelhető meg, ezt követi a sugár-, majd a rostirány. Ezek mértékét szabványba foglalt méréssel lehet meghatározni, melyet minden esetben egy viszonyzámként adunk meg. A faanyag zsugorodás-dagadás



paramétereinek ismerete kiemelten fontos a szárítás technológiájának, valamint a felhasználás szempontjából (Skaar, 1988; Rónyai, 2021).

### **1.1.3. Hajlítószilárdság**

Hajlító igénybevételről akkor beszélünk, ha a tárgyalt alkatrészt vagy próbatestet a két alátámasztási pont által nyújtott tartóerővel szemben ható erő terheli az alátámasztási pontok között. A hajlításnak kitett faanyag rendkívül gyakori, jó példa rá a tartószerkezeti gerenda. A lehajlás komplex igénybevételeket generál, a terheléshez közelebb eső oldal nyomó, míg a távolabb eső fél húzó igénybevételnek van kitéve. A kettő találkozásánál található a semleges szál, ahol a feszültség értéke 0, ettől távolodva a feszültségértékek fokozatosan nőnek, a tönkremenetel tehát a külső anyagrészekben várható (Molnár, 2004). A faanyag rostiránnyal párhuzamos húzószilárdsága nagyjából a kétszerese a rostiránnyal párhuzamos nyomószilárdságnak, ezért a nyomott oldal kevésbé ellenálló. Tömörfa esetén az alacsonyabb nyomószilárdság a semleges szál eltolódását eredményezi a húzott oldal irányába. A tönkremenetel ennek ellenére a húzott oldalon figyelhető meg. Ennek oka, hogy habár a húzófeszültség rendszerint magasabb, mint a nyomófeszültség, a húzóigénybevétel hatására bekövetkező alakváltozást kevésbé képes elviselni a faanyag. A kötöttvíz tartalom 1%-os nettó csökkenése átlagosan 4% hajlítószilárdság növekedést eredményez (Veres 2013).

### **1.1.3. Rugalmassági modulus**

A rost-, sugár- és hűrirányú normál feszültségek ( $\sigma$ ) okozta alakváltozások ( $\epsilon$ ) jellemzésére szolgáló rugalmassági modulus ( $MoE$ ) értéke egyenlő az egységnyi, fajlagos alakváltozáshoz szükséges feszültséggel (1):

$$\text{MoE} = \frac{\sigma}{\varepsilon} [\text{MPa}]; (1)$$

Az  $\varepsilon$  értéke (2):

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}; (2)$$

ahol:

$\Delta l$  – a normál feszültség okozta méretváltozás,

$l$  – eredeti hossz méret.

A természetes faanyag rugalmasságának megismeréséhez célszerű a fa „ $\sigma - \varepsilon$ ” jelleggörbéjéből kiindulni (1. ábra). Ennek jellemző szakaszai és pontjai a következők:

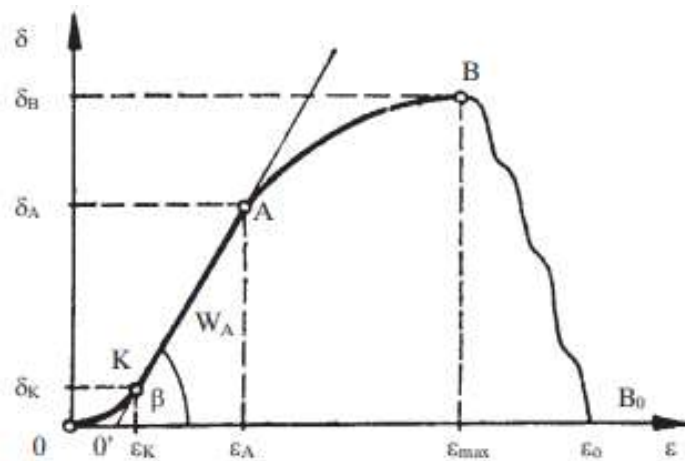
O–K: a kezdeti nem lineáris jellegű görbületi szakasz, melynek hosszát a vizsgált mintadarab felületi egyenetlensége, a teherátadó nyomófej, illetve az alátámasztásnak a mintadarabbal érintkező felülete és ezáltal a felületi nyomása befolyásolja.

K–A: a lineárisan rugalmas szakasz, amely az arányossági határig tart. Ezen belül az alakváltozás–feszültség kapcsolata lineáris, a Hooke-törvény értelmében valamely „F” tengelyirányú terhelés (húzás, nyomás) esetén (3):

$$\text{tg } \beta = \text{MoE} = \frac{\sigma}{\varepsilon}; (3)$$

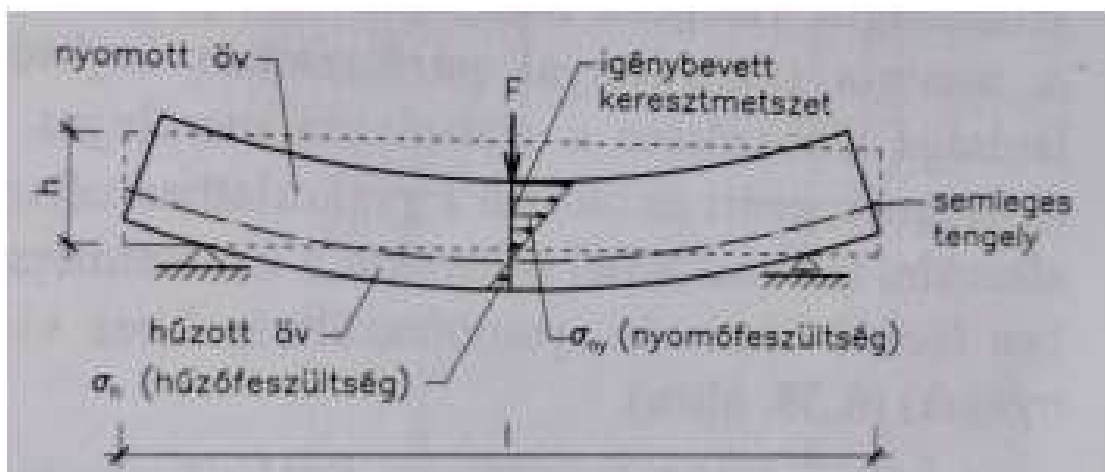
A–B: az arányossági (A) és a törési (B) határok közötti képlékeny szakasz.

B–B<sub>0</sub>: a törést követő szakasz, ahol a maximális feszültség ( $\sigma_B$ ) nem minden esetben okoz feltétlenül teljes törést. A feszültség fokozatosan csökken a mintadarab töréséig, a fajlagos alakváltozások tovább növekednek az  $\varepsilon_0$  (teljes alakváltozás) értékéig (Molnár, 1999).



1. ábra A természetes faanyag „ $\sigma - \epsilon$ ” jelleggörbéje  
(forrás: Molnár, 1999)

A tömörfa hajlítás során kialakuló nyomott- és húzott övet a 2. ábra mutatja be.



2. ábra A és nyomott- és húzott öv kialakulása a tömörfa hajlítás során  
(forrás: Veres, 2013)

## 1.2. Irodalmi áttekintés

### 1.2.1. Közönséges Gyertyán (*Carpinus betulus* L.)

A közönséges gyertyán (*Carpinus betulus* L.) a bükkfavirágúak rendjébe, ezen belül pedig a nyírfafélék csoportjába tartozó fafaj (3. ábra). Jellemzően az északi féleteken fordul elő. Nemzetségének közel 45

faja ismert, de ezek közül fahasznosítás szempontjából a legnagyobb jelentősége a közönséges gyertyánnak van. Említésre méltók még az ún. komlógyertyánok, melyeknek szintén van némi faipari jelentősége, azonban e fajok hazánkban nem jellemzőek. A



komlógyertyánok fája csak kis mértékben különbözik a közönséges gyertyánokétól, szöveti felépítését tekintve valamivel sűrűbb (Molnár, 1999).

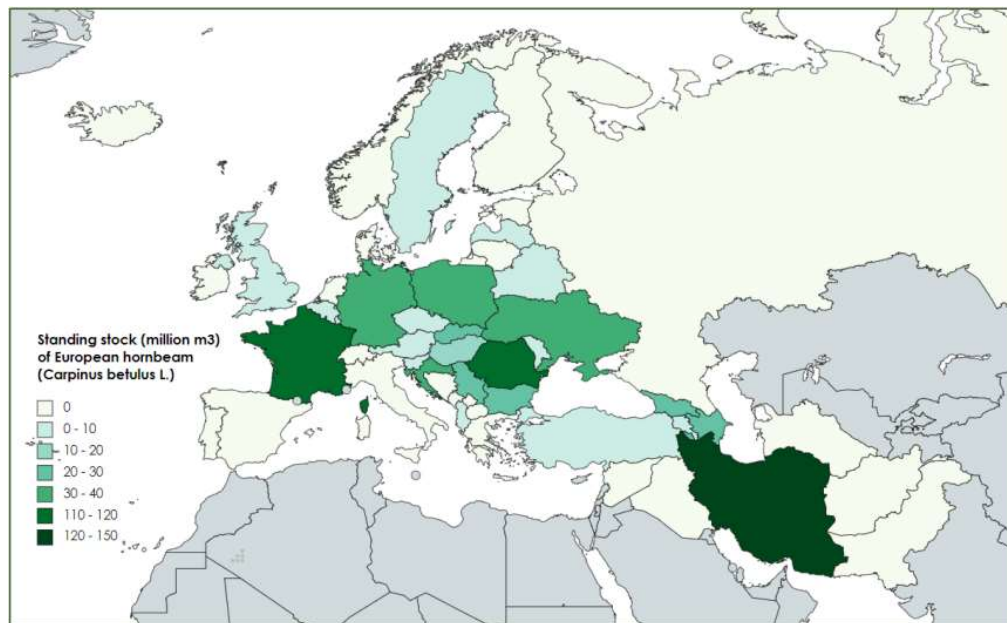
3. ábra Közönséges gyertyán (*Carpinus betulus* L.)  
(forrás: Faipar.hu, 2023)

Nyelvterületek szerint a gyertyánnak számos elnevezése alakult ki. Angliában hornbeam ill. ironwood néven ismert, Németországban Hainbuche, Weissbuche, Olaszországban carpino, Spanyolországban carpe, Francia nyelvterületen charme, Oroszországban grab, valamint Japánba aka-shide néven találkozhatunk vele (Pozsgayné, 2023).

#### 1.1.1 Elterjedés

A Gyertyán, Közép-európai, szubatlanti- és délkeleti elterjedésű, szubmontán jellegű fafaj. Északon, Svédország déli részén, 58 foknál éri el elterjedésének határát

Norvégiából hiányzik. Angliában őshonos, Görögország déli csücskéig 37 fokig hatol. Hiányzik az ibériai félszigetről, Szicíliaból, Korzika, Szardínia szigetéről. Dél-keleten viszont Kisázsiaiában, a Kaukázusban is őshonos és itt a Káspi-tó déli részén átnyúlik Ázsiába is. A keleti kontinentális tájat kerüli; elterjedési határa Kalinyingrád – Kijev vonalától valamivel keletre húzódik. Tehát alig él csak keletebbre, mint a bükk. Az Európában elérhető gyertyán fakészletet a 4. ábra mutatja be.



4. ábra Gyertyán fakészlet az elmúlt évtized erdőállomány nyilvántartása szerint (millió m<sup>3</sup>)  
(forrás: Pozsgayné, 2023)

Az elmúlt évtized erdőleltára szerint a legtöbb gyertyán Romániában, Franciaországban és Iránban található. Vannak olyan országok, amelyek optimális feltételekkel rendelkeznek a gyertyán növekedéséhez, vagy átfedésben vannak a gyertyán tényleges területével, de nem szerepelnek a táblázatban (4. ábra), mert nem jelentős mennyiségű gyertyánnal rendelkeznek (Bosznia, Dánia, Görögország, Irak, Írország, Dánia, Koszovó, Litvánia, Montenegró, Oroszország, Svájc), és kiugró országok), kevesebb mint 5 millió m<sup>3</sup> gyertyánállomány van vagy csak különböző gyertyánfajok nőnek ott, mint az *Ostrya carpinifolia* vagy a *Carpinus orientalis* (Pozsgayné, 2023).

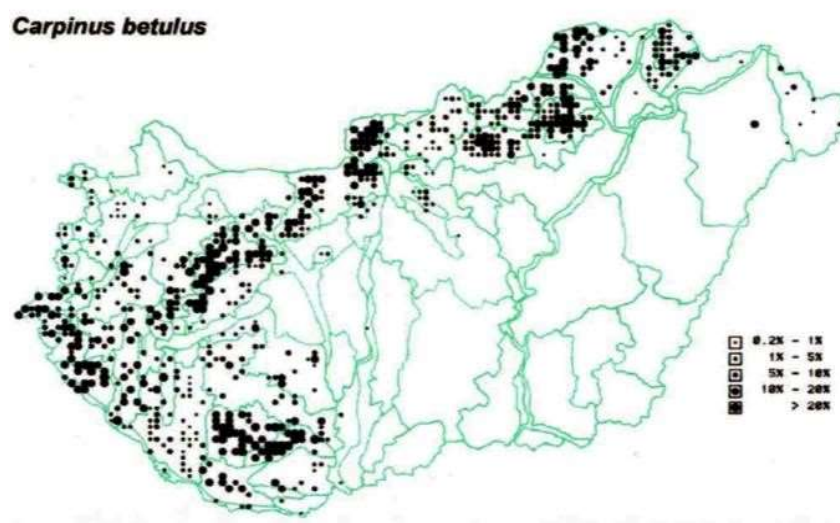
1. táblázat Gyertyán fakészlet az elmúlt évtized erdőállomány nyilvántartása szerint  
(Pozsgayné, 2023)

Ország	Faállomány (millió m <sup>3</sup> )
Románia	113,57
Franciaország	115,00
Irán	150,00
Magyarország	18,28
Szerbia	21,00
Georgina	24,60
Szlovákia	25,42
Azerbajdzsán	26,22
Bulgária	29,40
Horvátország	34,65
Lengyelország	37,00
Németország	37,11
Ukrajna	39,00
Csehország	5,37
Ausztria	9,00
Svédország	9,00

Hazánk területén mindenhol előfordul, kivéve a Nagy-Alföldet itt csak egy két foltja ismert. Feltűnő hegyvidékeink közül a Cserhát és a Mecsek-Villányi-hegység közti sáv gyertyán szegénysége. Főleg gyertyános tölgyeseink (kocsányos és kocsánytalantölgyesek) uralkodó fája. De a gyertyános bükkösökben, szikla és szurdokerdőkben, gyertyános égeresekben is fontos elegy. Ezek helyén gyakran konszociációt adó elegytelen fafaj. A gyertyános tölgyes zonális, de völgyhajlatokban

gyakran alkot extrazonális erdőtársulást. 600-700 méteres tengerszint feletti magasságig fordul elő (Majer, 1968).

Magyarország erdősültsége 20,1% (Fatáj.hu, 2012), ennek több mint 6%-át a gyertyán teszi ki, amit a 5. ábra mutat be. A bükkal és a tölgygel gyakran elegyben fordul elő. Korábbi adatok szerint a gyertyán éves bruttó fakitermelése 400-500 ezer m<sup>3</sup> (Majer, 1968).



5. ábra Magyarország gyertyán erdőállománya  
(forrás: Németh, 2012)

### 1.2.2. A gyertyán szerepe az erdőgazdaságban

Mivel igen jól sarjadzik, ezért oda kell figyelni az erdőfelújításoknál, nevelővágásoknál, hogy a főfajok növekedését ne gátolja meg. Törekedni kell az „elgyertyánosodás” megelőzésére. Előszeretettel alkalmazzák parkokban és kertekben, mint élő sövény (Molnár, 1999).

A gyertyánnak ellentmondásos szerepe van a magyar erdőgazdálkodásban. Ahol régi magfák vannak a területen, ott magról természetes úton regenerálódik, de ökológiai és gazdasági előnyei ellenére ritkán ültetik mesterségesen. Soha nem volt nagy gazdasági jelentősége, a felújítási szakaszban legtöbbször korlátozni kell a növekedését a fő fafaj

javára (Solymos, 1993; Szalacsi, 2015). Nem megfelelő erdőművelési gyakorlat esetén a gyertyán elnyomhatja a tölgyet, így tisztán gyertyán állományok alakulhatnak ki, amelyek kisebb növekedési eréllyel, állománytérfogattal és gazdasági, valamint ökológiai értékkel rendelkeznek, mint a vegyes gyertyános-tölgyes állományok. Ezeket a tiszta állományokat a forgatási időszak végén vegyes tölgyerdőkké kell visszaállítani (Béky, 1970).

### **1.2.3. Éghajlat, talaj- és fényigény**

Aerája szerint a gyertyán még szintén óceáni jellegű fafaj, viszont délies elterjedése és valamivel keletebbre hatolása már jelzi szubatlanti jellegének csökkenését. Nem olyan érzékeny, mint a bükk, de a túl szélsőséges viszonyokat kerüli. A fagyzugot jobban bírja, többnyire itt szorítja ki a bükköt, viszont a forró és száraz időjárást nem kedveli. A gyertyán a sík vidékektől általában távol marad, ennek talajtani vonatkoztatásai vannak (Sikkema, 2016; Majer, 1968). A völgyhajlatok, a hegy – és domboldalak üdébbek, nedvesebbek, s emellett összemosott humuszban dúsak. A gyertyánnak pedig a tápanyagigénye nagy, és szereti a félnedves termőhelyű területeket. Itt a gyertyán fiatalon gyökérzetét közvetlenül a humuszszint felső rétegében növeszti. Érzékeny a légszennyezésre. Jól tűri az árnyékot, ezért fontos kiegészítő vagy mellékfaj. (Béky, 1970; Solymos, 1993).

Kezdetben jól hajt és a tölgyekhez képest gyorsan nő. Az első 5-8 év növekedési szempontból lassabb, de ezt követően erősen megindul, s szinte egy méteres hajtásokkal gyorsnövésű fafajnak tűnik. Növekedése azonban viszonylag korán, már 20-30 éves korában visszalassul, alacsony marad. Vastagodása is lassú, ezért kicsi a fatermése is. Az ágai vékonyak és éles szögben kapcsolódnak a törzshöz. A magyar erdők leggyakoribb aljnövényzete, amely erősen árnyékolja az erdő alját. A rövid életkorú fafajok közé tartozik; élettartama kb. 120-150 év, és főként 80-100 éves korában vágják ki, a



termőhelytől függően, és általában a fő fafajok, mint a tölgy vagy a bükk kivágásához igazítják (Molnár és Bariska, 2002). A tölgy kivágási korát nemrégiben meghosszabbították (Kottek, 2023), így a gyertyán is ennek megfelelően kerül kivágásra. A klímaváltozás miatt a területe északi területek felé fog eltolódni, illetve a síkságokról a magasabban fekvő területekre, ahol a talajviszonyok nem korlátozzák a terjedését (Varol, 2022). Károsítói alig vannak; egyike a legellenállóbb fafajoknak. Európában a kevés erősen árnyéktűrő őshonos fák egyike. Másodlagos fafajként, aljnövényzet fájaként használható. Elegyes erdőkben a fő fafajokat kiszoríthatja, mivel jobban és gyorsabban regenerálódik. A bükk-, lucfenyő- és fenyőerdők területein jelenik meg, amelyeket az éghajlatváltozás okozta szárazság miatt tölgy-gyertyán vegyes erdőkre kell cserélni (Sikkema, 2016).

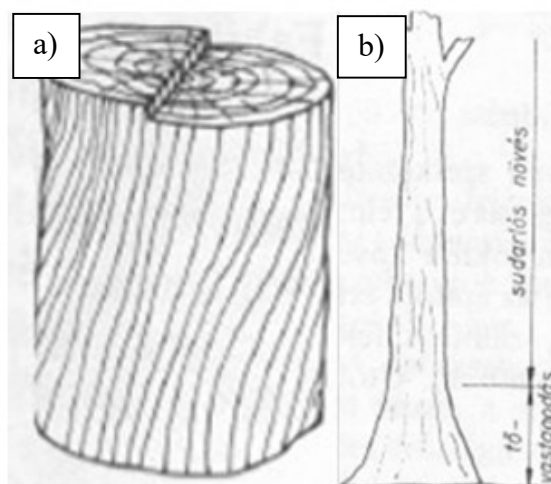
#### **1.2.4. Elterjedés a jövőben**

Még ha kedvezőbb éghajlati forgatókönyveket veszünk is figyelembe, potenciális élőhelye csökkenni fog a területének déli részein, beleértve Magyarországot is. A gyertyán határozottan igényli a nedves klímát, és az úgynevezett gyertyános-tölgyes klímakategória indikátorfaja. Korábban a gyertyán potenciális magyarországi elterjedési területének azokat a területeket tekintették, ahol a levegő relatív páratartalma júliusban délután 2 órakor 53%-nál magasabb volt. A gyertyános-tölgyes klíma a 4,75 és 6 közötti erdészeti ariditási index (FAI) közötti területeken található (Führer, 2011). Ez alapján Magyarországon a gyertyán elsősorban a kollinális és szubhegységi zóna faja, de az elég magas éves részarányú síkságokon is megtalálható. Magyarországon a meteorológiai adatok alapján a gyertyán potenciális területe 1960 és 2010 között 29%-ról 21%-ra csökkent (Führer, 2018), és 2020-2050 között várhatóan 16%-ra csökken, ezen időszak alatt főként a hegységek északi lejtőin és Magyarország nyugati területein lesz megfigyelhető.

Másfelől rövid távon még növekedhet a teljes állománya az erdészeti politikai döntések, erdőgazdálkodási változások függvényében, mivel a jelenlegi tendencia rövid- vagy középtávon a gyertyánnak kedvező vegyes fafajú erdők arányának növelését célozza. Váratlan események, például a fő fafajokat megtámadó új fakártevők szintén növelhetik a gyertyán arányát.

### **1.2.5. Alaki jellemzők**

Közepes termetű fa, az ágtiszta törzshossz ritkán haladja meg a 10 métert, ugyanis az már kis magasságban vagy többől erős ágakra oszlik. Lombkoronája magas és terebélyes. Hazai viszonylatban koronája a legnagyobb talajárnyalást biztosítja a többi fafajjal szemben. Ágai sűrűn, felfelé törően hegyesszöget zárnak be a törzsével. Ez az ipari hasznosítás szempontjából kedvezőtlen tulajdonság. Mellmagassági átmérője megközelítheti az 50-60 cm-t. A gyertyánok többségén, a törzs hossza mentén, kiálló ormok és mélyedések figyelhetők meg. A bordás növésű fák előnytelenek, mert fűrészárú vagy furnértermeléskor nagymértékben csökkentik az ipari kihatalt. Az ormos növekedés gyakori kísérője a tő megvastagodása. Ezt a jelenséget bordás terpeszességnek is szokás nevezni. E hátrányos tulajdonságot alig lehet befolyásolni. Erdőműveléssel és fafajok összetételével csökkenthető a mértéke. Továbbá a gyertyán törzsét gyakran a sudarlós -, és a csavarodott növés jellemzi, ezt a 6. ábra mutatja be. A görbeségnek nagy jelentősége van a kidöntött törzseknél a választékolás végrehajtásakor. Furnéripari gyártásban és fűrészipari feldolgozásban görbe anyagot nem használhatnak. A görbeség mérsékelhető, ha a fákat zárt állományokban telepítik, és rendszeres koronaápolást alkalmaznak. A ferde rostlefutás miatt a gyertyán jelentősen veszít értékéből. Nehezebb lesz a megmunkálhatósága, illetve veszít rugalmasságából, szilárdságából (Molnár, 2002).

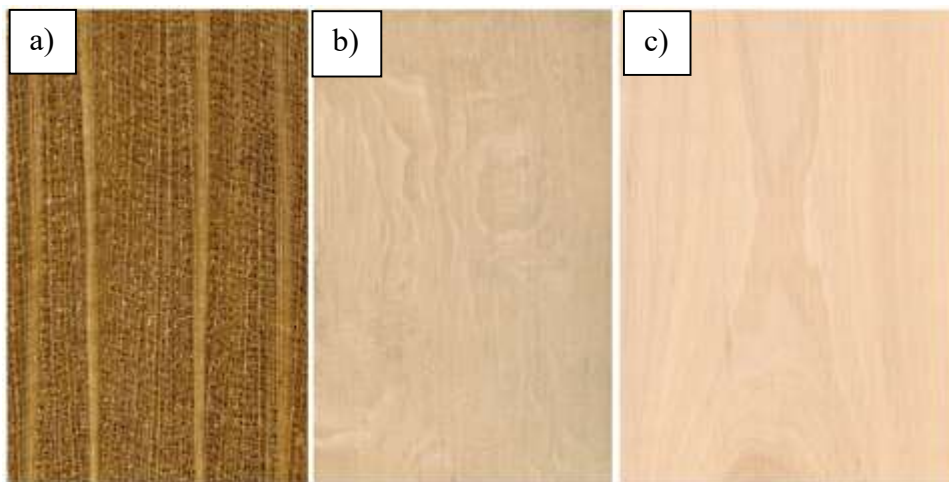


6. ábra Csavarodott növés (a) és surdarlós növés (b)  
(forrás: Vass, 2012)

### 1.2.6. Makroszkópos jellemzők

A gyertyán kérge sima, piszkosszürke, fehér foltok, sávok található rajta. Viszonylag vékony kérgű 1,2 cm vastag. A fa térfogatához viszonyított átlagos kéregarány 7%. Nem színes gesztű fafaj, szijácsa és gesztje megegyező színű, szijácsfával rendelkezik. Szürkésfehér szijácsa és gesztje vágás után levegőn sárgás árnyalatúvá változik, ritkábban sötétbarna színűvé is alakulhat. A közönséges gyertyán longitudinális -, radiális -, tangenciális irányú makroszkópos metszetét az 7. ábra mutatja be. Egyértelmű ismertetőjele a fának, hogy bütüjén az évgűrűszerkezet hullámos elrendeződésű (Molnár, 2002). Kérge is hasonlóan követi a hullámos megjelenést, ezért törzse nem hengeres, hanem bordás növésű. Keresztmetszetén könnyedén megkülönböztethetők a korai és kései pászták, ugyanis az utóbbi sötétebb színű. Hosszmetszeteken viszont alig láthatók az évgűrűhatárok, mert a rajzolata elmosódott. Halmazott bélsugarai még szabad szemmel is jól észrevehetőek, amelyek általában 3-4 sejtsor szélesek. A keskeny bélsugarai rendszerint 1-2 sejtsor szélesek és nem látszódnak mikroszkóp nélkül. Edényei még nagyítóval is nehezen láthatók, szórt elrendezésű apró edényekből épül fel a faanyag. Ebből következik, hogy fája alig porózus, tömött, kemény. A bélsugarak a húrmetszeten

kisebb csíkokként, míg a radiálismetszeten sötétebb tükrök formájában tűnnek fel. A gyertyán esetében a bélsugárfoltok ritkán, de előfordulhatnak (Richter és Dallwitz, 2019).

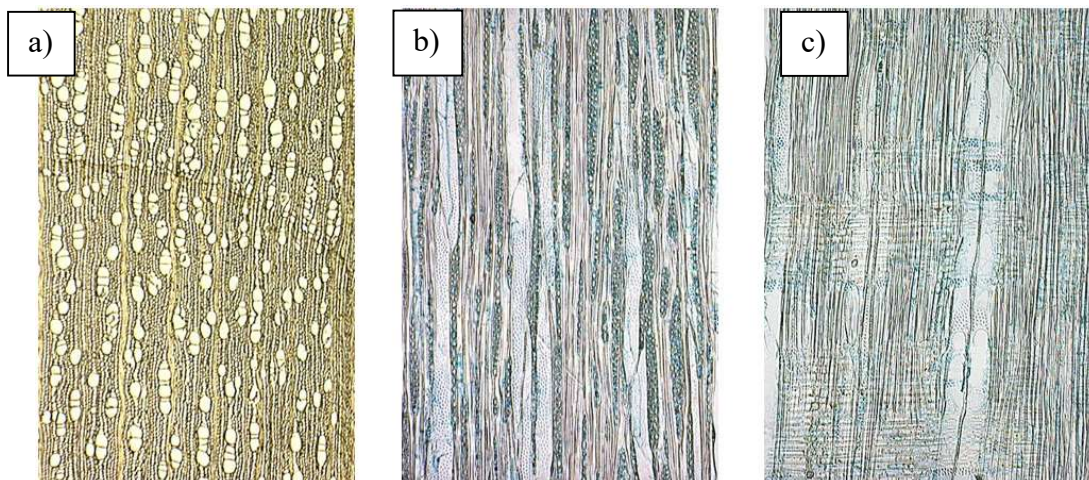


7. ábra Közönséges gyertyán longitudinális (a), radiális (b) és tangenciális (c) irányú makroszkópos metszete  
(Richter és Dallwitz, 2019; The wood database, 2023)

### 1.2.7. Mikroszkópos jellemzők

A közönséges gyertyán longitudinális -, radiális -, tangenciális irányú mikroszkópos metszetét a 8. ábra szemlélteti. Szórtan elhelyezkedő apró edényekből épül fel, melyek egyenletesen rendeződnek el. Emellett hosszú, vastag falú libriform rostokból áll, ami a faanyag szívósságát, keménységét, és a nagy sűrűségét eredményezi. A libriform rostok (farostok) szűk lumenátmérővel rendelkeznek, és nagy mennyiségben található belőle a fatestben (66%) (Molnár 2002). Rostjainak hosszúsága kimagasló értékeket mutat, ugyanis a hazai lombos fák közül a leghosszabb rostokkal rendelkeznek. Ez átlagosan 2-3 mm rosthosszúságot jelent, ami miatt előszeretettel alkalmazzák a papíriparban is.

Hosszparenchima sejtjei szétszórtan helyezkednek el (apotracheálisan), arányuk kb. 2% (Richter és Dallwitz, 2019).



8. ábra Közönséges gyertyán longitudinális (a), radiális (b) és tangenciális (c) irányú mikroszkópos metszete  
(Richter és Dallwitz, 2019)

### 1.2.8. Fahibák, károsodások, tartósság

A kitermelt gyertyán átmérője közepes nagyságú tartományba tehető (20-30 cm), azonban bordás növése és csavarodott rostlefutása rendkívül előnytelenül befolyásolja ipari felhasználását. Emellett gyakran előforduló jelenség a törzs görbesége és sudarlóssága. A törzs átmérője fokozatosan csökken a csúcs felé, ezért csonka kúp formájú alakot vesz fel a kitermelt rönk. Megfelelő fafajösszetétellel a sudarlósság kismértékben csökkenthető. Szöveti tulajdonságaiból adódóan még hámozott furnérként is feldolgozható lenne, azonban ezt a törzs alaki jellemzője ritkán engedi meg. Gyakori jelenségeként figyelhetők meg a fa törzsén kialakult rákos sebek, amelyek a *Nectria Galligena* élősködő tömlősgomba kártékony hatásaira alakulnak ki. A rákos farész szerkezeti célra nem használható fel, viszont a különleges esztétikával bíró megjelenésüeket előszeretettel alkalmazzák dísz tárgyak, egyedi bútorok készítésére. Megelőzése úgy lehetséges, hogy védjük a külső sérülésektől, ill. a gombafertőzésektől (Rápolti, 2014).

A faanyag igen fülledékeny a tavaszi-nyári időszakban, ezért gondoskodni kell a gyors feldolgozásról, valamint szakszerűen kell tárolni (pl. vízben való tárolás, permetezés). Célszerű télen kitermelni. Biológiai károsítókkal szemben kevésbé ellenálló. Számos rovar és farontó gomba károsíthatja.

Állandó vízhatás mellett 500 év, száraz belső térben 800 év. Ha talajjal érintkeznek, akkor nagyon rövid időn belül tönkremegy kb. 2-3 év (Rápolti, 2014). Színárnyalata változik a napsugárzás hatására, ha külső térben van, enyhén megszürkül. Bizonyított, hogy a gyertyán tartóssága védőszer használata nélkül csekély, ezért a kültéri használatra nem javasolt.

### **1.2.9. Fizikai és mechanikai tulajdonságok**

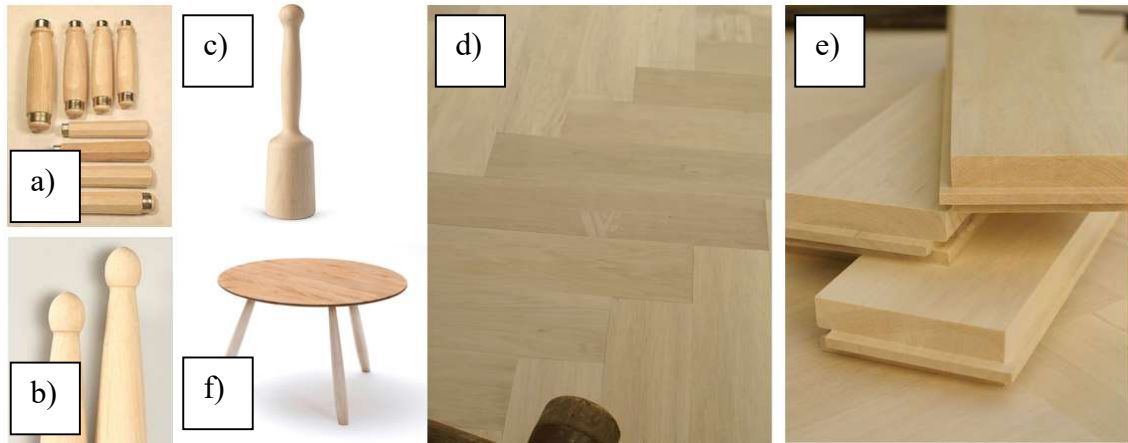
A közönséges gyertyán a legnehezebb és legsűrűbb fafaj a hazai haszonnfák között, melynek fizikai és mechanikai tulajdonságait a 2. táblázat mutatja be. A vastag sejtfallal rendelkező faanyag erős zsugorodási hajlamot mutat. Húr- és sugárirányú zsugorodási jellemző hányadosa (1,69) közepes vetemedési hajlamra utal. Szárításakor a hullámos évgyűrűszerkezet, ill. csavartrostúság nagymértékben hozzájárul a faanyag erős deformálódásához, vetemedéséhez (Molnár, 2002; Keresztesi, 1986).

2. táblázat Fizikai és mechanika tulajdonságai a gyertyánnak  
(forrás: Molnár, 2002)

		MIN	ÁTL.	MAX	
Sűrűség u=0, ( $\rho_0$ )		500	790	820	kg/m <sup>3</sup>
Sűrűség u=12%, ( $\rho_{12}$ )		540	830	860	kg/m <sup>3</sup>
Sűrűség UR, ( $\rho_{nedv}$ )		660	970	1200	kg/m <sup>3</sup>
Pórustérfogat		48%			
Zsugorodás	húr	11,50%			
	sugár	6,0%			
	rost	0,50%			
	térfogati	-	-	-	
Keménység (Brinell)	bütü		71		MPa
	oldal		32,5		MPa
Szilárdság (rostokkal párhuzamosan)	nyomó	54,0	82,0	99,0	MPa
	hajlító	58,0	160,0	200,0	MPa
	húzó	47,0	135,0	200,0	MPa
	nyíró	8,5	16,0		MPa
	ütő-hajlító	8,0	12,0		J/cm <sup>2</sup>
	hasító	0,52			
Rugalmassági modulusz (hajlító)		7	16,2	17,7	GPa

### 1.2.10. Megmunkálási sajátosságok

A rönkök kedvezőtlen alakú tulajdonságai és méretei miatt csak alacsony kihozatal mellett fűrészselhető, hámozható, hasítható. Szárítása az erős vetemedési hajlam miatt, csak lassú, óvatos menetrendekkel javasolható. A méretesebb (esetenkénti) hengeres rönkökből furnér és rétegelt lemez is gyártható. A bútorigarban sajátos felhasználási területe asztalok, kopásálló lapfelületek gyártása, a főbb végtermékeket a 9. ábra szemlélteti. Készítenek belőle értékes sakkfigurákat stb. Felhasználási területe a kézi szerszám- és nyélgyártás, kaptafa, faszeg- és esztergályos termékek, különféle konyhaeszközök készítése. Nem alkalmas építkezési célra, kerti bútorok, és egyéb kültéri falétesítmények céljára. A hosszú rostú gyertyán értékes keverék fafaj a papír-, farost- és forgácslemez gyártásban. Vékony kérge, magas fűtőértéke miatt fontos tűzifa.

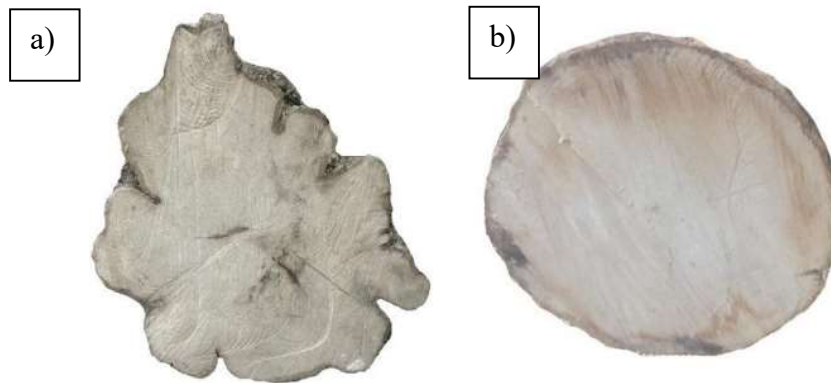


9. ábra Gyertyán faanyagának fő felhasználási területei a) szerszámnyél, b) sakkfigura, c) szerszám, d) parketta, e) parketta, f) asztallap (forrás: Madeofwood.uk, 2023)



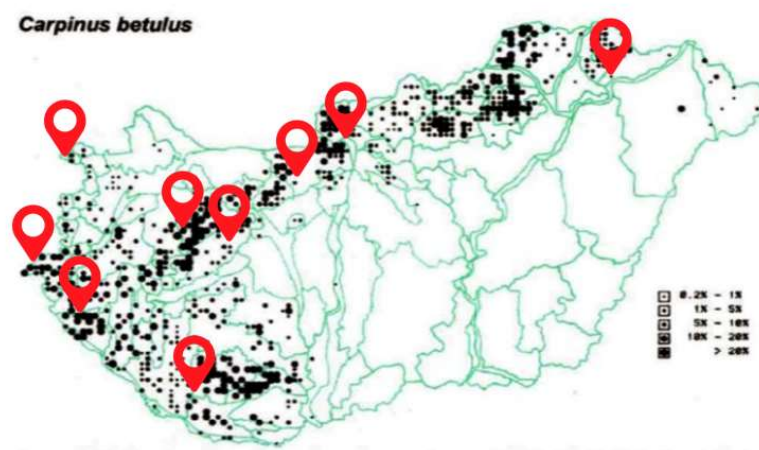
### 1.2.11. Hengeres törzsű gyertyán

Fellelhető olyan gyertyán, amely egyenes hengeres törzssel nő és szabályos évgűrűszerkezettel rendelkezik (10. ábra).



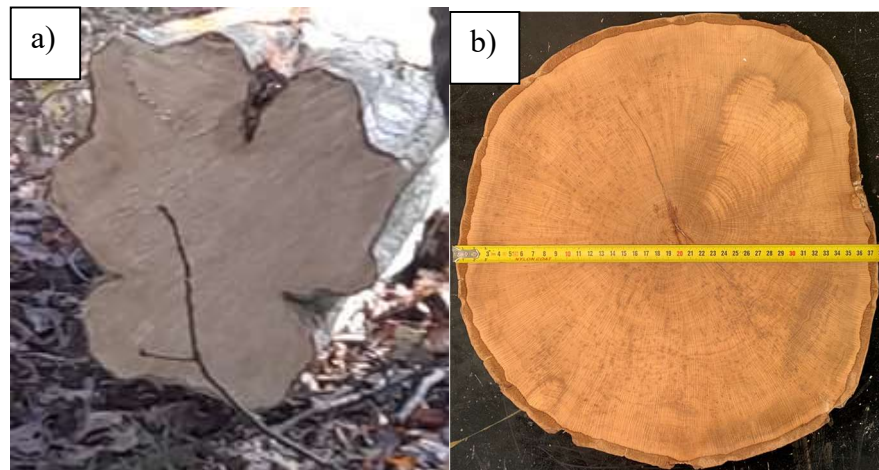
10. ábra Bordás (a) és hengeres törzsű gyertyán korong (b)  
(forrás: Pozsgai, 2023)

E populációk Magyarországon sajnos csak kis számban található meg (11. ábra). A felmérések alapján napjainkban hazánkban a TAEG Zrt. – Hidegvíz-völgy, Szombathelyi Erdészeti Zrt. – Szentgotthárd, Mecsekerdő Zrt. – Szigetvár, VERGA Zrt., Zalaerdő Zrt., Nyírerdő Zrt., Pilisi Parkerdő Zrt., Vértesserdő Zrt., Bakonyerdő Zrt.-ben lelhető fel hengeres törzsű gyertyán.



11. ábra Magyarországon fellelhető hengeres törzsű gyertyánállományok  
(forrás: Németh, 2012 alapján)

A hengeres és bordás gyertyán szabad szemmel is jól elkülöníthető egymástól (12. ábra).



12. ábra Bordás gyertyán (a) és Zalai magánerdőből származó- rönkből vágott hengeres gyertyán (b) korong (10.a ábra forrása: Gángó Csaba, 2023)

Fontos lenne, hogy az előnyös tulajdonságokkal rendelkező gyertyánokat szaporítsák, terjesszék el, hogy növekedjen az előfordulások száma (Molnár, 2002).

A jelenségről, miszerint hengeres törzsű gyertyán fellelhető, szintén kevés irodalmi információ áll rendelkezésünkre. Feltehetőleg ennek oka a fafajjal kapcsolatos korábbi erdőgazdálkodási és erdőművelési vonatkozásokban feltárt aránya. Magyarországon 1968-ban a fafaj-statisztikákban 11%-os aránnyal szerepel, amit le akartak szállítani úgy, hogy a gyertyán elegyfa-kísérőfa szerepe megmaradjon. Még az 1950-es években egyes helyeken túlszaporodott, és emiatt ki akarták „írtani” úgy is nevezték ezt az időszakot, hogy a „gyertyánveszedelem” (Majer, 1968). Ennek ellenére sok irodalomban érintő jelleggel említésre került a hengeres törzs fogalma. Majer (1968) úgy fogalmaz; „*a bükknél fényigényesebb fafaj, fiatalon azonban igen árnytűrő, tehát lezártabb erdők alá is betelepszik, később fényigényesebb lesz, de idős korban újra bírja az árnyalást. Igazi alsó-, illetve másodszintű fafaj. Fiatalosban és rudas korban szép, egyenes törzsű kúpos koronájú*”. Erre a gondolatra ráerősít később Molnár és Bariska (2002) is. Szerintük a bükk-gyertyán elegyes erdőkben a bükk nagyobb árnyékot ad, ami a gyertyánt arra

kényszeríti, hogy egyenesen felfelé nőjön, ami hosszú, egyenes, tiszta, hengeres törzsek kialakulását teszi lehetővé. Ezzel szemben a tölgyes-gyertyános-gyertyános vegyes erdőkben a gyertyán több fényt kap az aljnövényzet szintjén, ami miatt a gyertyán nagyra nő, az ágakat alacsonyabb szinteken növeszti, és görbe, bordázott törzseket fejleszt (Molnár és Bariska, 2002).

A gyertyán kívánatosabb törzset növeszthet, mivel a tölgy-gyertyán állományokban többnyire másodlagos faj, viszont a minőségi gyertyán rönk nem erdőművelési cél, és a gyertyánt a felújítási folyamat során többször visszavágják.

A gyertyán egyes állományokban főleg a fényigényes tölgyek és erdeifenyő alatt a második lombkorona szint legfontosabb fafaja. Az 1970-es években követendő példának tartották a Sárvári gyertyános-tölgyes erdőgazdálkodás helyes gyertyán felhasználását. Vas és Zala megyében akkor az állomány 20-30 éves korában vetették a gyertyánt, így az már nem tudta túlnőni a tölgyfákat (Majer, 1986). Jelen kutatásunkban felmért hazai erdészetek közül Vas és Zala megyében mai napig fellelhető hengeres törzsű gyertyán. Természetesen a fényigényen kívül vannak más külső tényezők is, amik befolyásolhatják a faanyag növekedését és ezáltal a törzs alakját is. Egyes faipari genetikával foglalkozó irodalmak erős összefüggésbe hozzák a fa anatómiai szerkezete és annak minősége közötti tényezőket is. Amit főképpen a talaj víztartalma, amely ásványi anyagokban gazdag tehát jó táplálóerejű talajokon nőtt fáknál a fa minőségét döntően tudja befolyásolni. Túlságos vízbőség mellett ugyanis a fa sok és bő üregű vízszállító elemet fog létrehozni, amelyek természetesen és libriformsejtek fejlődési lehetőségét és így a fa szilárdságát és sűrűségét is károsan fogják befolyásolni. Ebben a témában fontos, hogy az egyes tényezőket nem szabad kizárólag és egymástól függetlenül számításba venni. A fa minősége akkor lesz a lehető legjobb, ha a talaj víztartalma és a talaj tápláló ereje,

valamint a termőhely többi tényezői: fény, hőmérséklet stb. a fa életigényeinek megfelelően a legkedvezőbb mértékben vannak képviselve (Fekete és Mágocsy-Dietz 1891).

A Hengeres törzsű gyertyán gyökerén és törzsén fellelhetőek a sudarlósság jelei (13. ábra) az első ~50 cm-es szakaszon, viszont utána ezek a hibák nem jelentkeznek.



*13. ábra Hengeres gyertyán  
(forrás: Gángó Csaba, 2023)*

A későbbi tervezett előállíthatósághoz kutatásokat kell végeznünk, hogy megtudjuk melyik erdőzetnél milyen arányban található hengeres törzsű gyertyán, valamint ezeknél az erdőzeteknél milyen növekedést befolyásoló tényezők vannak jelen a fent említettekből.

## 2. VIZSGÁLATI ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

### 2.1. Anyagok

A kutatás során elemzett gyertyán faanyag mintákat Magyarország több erdészeti régiójából gyűjtöttük. A Szombathelyi Erdészeti Zrt. és a Nyírerdő Nyírségi Erdészeti Zrt. által biztosított minták mind hengeres, mind bordás törzsformájú egyedeket foglaltak magukban, míg Zala vármegye területéről kizárólag hengeres törzsformájú gyertyánt sikerült beszereznünk. A mintavételi stratégia nem tett különbséget a juvenilis és az érett faanyagok között; a kutatás fő célja a hengeres és bordás törzsformájú egyedek összehasonlító elemzése volt, az irodalmi adatok figyelembevételével. Ez a megközelítés lehetőséget nyújtott a faanyagok strukturális és morfológiai különbségeinek célorientált vizsgálatára. Az elemzett minták különböző kódjait és jellemzőit a 3. táblázat sorolja fel, a szolgáltatók, származási helyek és növekedési formák szerinti bontásban.

3. táblázat Gyertyán faanyagok mintavételezési helye és jelölése

Szolgáltató	Származási hely	Növekedési forma	Rönk kód
Nyírerdő Zrt.	Baktalórántháza 10/A	Bordás	N-H-5
Nyírerdő Zrt.	Baktalórántháza 10/A	Hengeres	N-H-6
Szombathelyi Erdészeti Zrt.	Hegyhátszentmárton 5/a	Hengeres	S-H-14
Szombathelyi Erdészeti Zrt.	Hegyhátszentmárton 5/a	Hengeres	S-H-16
Szombathelyi Erdészeti Zrt.	Hegyhátszentmárton 5/a	Bordás	S-H-15
Zalai magánerdészet	Puszaederics 21D	Hengeres	Z-H-1

Az alapanyagok beérkezését követően a mintáinkat klimatizáló szekrényben normál körülmények között kondicionáltuk (20 °C és 65% relatív páratartalom), ezt egészen addig, amíg a faanyag az egyensúlyi nedvességtartalmi állapotot elérte.

A mechanikai vizsgálatok során kapott eredményeket korrigáltuk az ISO 13061-17:2017(E) szabványban meghatározott képlettel, így 12%-os nedvességtartalmi fokra standardizáltuk azokat (4):

$$\sigma_{12} = \sigma_w [1 + \alpha(W - 12)]; \quad (4)$$

ahol:  $\sigma_w$  – a vizsgált próbatest szilárdsági értéke u nedvességtartalomnál

$W$  – a faanyag nedvességtartalma az ISO 13061-17:2018(E) szabvány szerint meghatározva.

$\alpha$  – az 1,0% nedvességtartalom-változásra jutó szilárdságváltozási állandó a rosttelítettségi határon belül a nedvességtartalom korrekciós tényezője, amelynek értékét valamely nemzetközileg elismert módszerből, szabványból kell származtatni. Jelen dolgozatban az  $\alpha$  meghatározásához a következő értékeket használtunk fel (Báder és Németh, 2019):

$\alpha_{\sigma_h} = 0,04$  (hajlítószilárdság mérésénél)

$\alpha_E = 0,02$  (hajlítórugalmassági modulus mérésénél)

$\alpha_{\sigma_{üh}} = 0,02$  (ütő-hajlítószilárdság mérésénél).

$\alpha_{Hb (bütü)} = 0,035$  (ütő-hajlítószilárdság mérésénél).

$\alpha_{Hb (odal)} = 0,025$  (ütő-hajlítószilárdság mérésénél).

## 2.2. A hajlítószilárdság vizsgálata

A hajlítószilárdság mérésére a három pontos hajlítási vizsgálatot választottuk szem előtt tartva a későbbiekben könnyebb összehasonlíthatóságot más fafajokkal, számos korábbi mérési eredménnyel. A vizsgálat során az ISO 13061-03 (2014) szabványt alkalmaztuk.

A módszerhez csoportonként 15 db, 20×20×300 mm-es (Húrirány×Sugárirány×Rostirány; Tangential×Radial×Longitudinal;  $T \times R \times L$ ) hibamentes próbatesteket használtunk, melyeket 20 °C hőmérsékleten 65% relatív légnedvesség

mellett kondicionáltunk. Ezt követően az ISO-13061-04 szabvány alapján meghatároztuk a rugalmassági modulust, ahol a fokozatosan növekvő keresztirányú terhelés alatti elmozdulást mértük a minta közepén, majd a terhelést fokozatosan növeltük törésig a hajlítószilárdság meghatározásához. A vizsgálatok során különös figyelmet fordítottunk a tesztek sebességére, mivel a mért mechanikai tulajdonságai erősen függenek a vizsgálat sebességétől. A szilárdság és rugalmasság ilyen tényezők, alacsony sebességnél a faanyag és más polimer anyagok is hajlamosak rugalmasabban viselkedni, míg magasabb sebességnél a feszültség gyorsabb felépülése és a nagyobb terhelés miatt a minta kevésbé tud deformálódni, mielőtt eltörne.

A hajlítószilárdság kiszámításához a következő összefüggés alkalmazható (5):

$$\sigma_{haj} = \frac{3 \cdot F_{max} \cdot l}{2 \cdot a \cdot b^2} [MPa]; (5)$$

ahol:  $\sigma_{haj}$ : hajlítószilárdság [MPa]

$F_{max}$ : maximális törőerő [N]

l: alátámasztási köz (mm)

a: próbatest szélessége [mm]

b: próbatest vastagsága [mm]

A vizsgálatok elvégzéséhez a Soproni Egyetem laborjában található Instron 4208 univerzális anyagvizsgáló berendezést használtunk.

A hajlítórugalmassági modulus kiszámítása az ISO 13061-04 (2014) szabvány alapján történt, a következő képlettel (6):

$$E_w = \frac{P \cdot l^3}{4 \cdot b \cdot h^3 \cdot f} \text{ [GPa]}; (6)$$

ahol: P – a terhelés, ami az alsó és felső terhelési határok közötti különbség [N]

l – a távolság a tartók központjai között [mm],

b – a próbatest szélessége [mm],

h – a próbatest magassága [mm],

f – a kitérés, ami az alsó és felső terhelési határok közötti mérési eredmények közötti különbség [mm].

Megjegyzés: ha a terhelés az alsó és felső határok között ismételten történik, a kitérés az eredmények számtani közepének felhasználásával számítjuk ki.

A vizsgálatot követően, a próbatestek ép végéből kis méretű mintákat vágunk a mikroszkópos vizsgálatokhoz. Ezekről a mintákról új és éles orvosi pengével egy finom felületet vágunk le, óvatosan és síkban tartva a pengét, majd egy Nikon SMZ1500 sztereomikroszkóppal felvételt készítettünk azokról. A nagyítás 10-63x között változtatható, esetünkben a maximális nagyításra volt szükség.

### **2.3. Ütő-hajlítószilárdság**

Az ütő-hajlítószilárdsági vizsgálatokat Charpy-féle ütő-törő készülékkel végeztük (14.ábra) és az ISO 13061-10 (2017) szabványt alkalmaztuk. Az ingacsonk és a tartóoszlopok görbületi sugara 15 mm, a támasztékok szélei közötti távolság pedig 240 mm volt. A próbadarabokat szimmetrikusan helyeztük el a támaszokra a faanyag húrirányú felületén. Az elnyelt energiát 1 J pontossággal mértük. A módszerhez



csopontonként 15 db, 20×20×300 mm-es ( $T \times R \times L$ ) hibamentes próbatesteket használtunk, melyeket 20 °C hőmérsékleten 65% relatív légnedvesség mellett kondicionáltunk.

A vizsgálat során a következő képlettel határoztuk meg a próbatestek ütő-hajlító szilárdsági értékét (7):

$$A_w = \frac{1000 \cdot Q}{b \cdot h} \text{ [kJ/m}^2\text{]}; (7)$$

ahol:

Q – a próbatest töréséhez szükséges energia, J-ban kifejezve,

b és h – a próbatest méretei radiális és érintőleges irányban, mm-ben kifejezve.

Ezt követően a kapott eredményeket az (1) képlet segítségével standardizáltuk 12%-ra.



14. ábra Charpy-féle ütő-törő szerkezet (forrás: Takács Dávid, 2024)

## 2.4. Brinell-Mörath keménység

Méréseink során a Brinell-Mörath keménység vizsgálatát szintén az Instron 4208 univerzális anyagvizsgáló gépen végeztük el, amely folyamatosan mérte az eltelt időt, a nyomóerőt, a benyomódási mélységet és grafikonon rögzítette a kapott értékeket. Egy próbatesten 2 mérést végeztünk anatómiai irányonként, tehát összesen 6 mérést abszolváltunk. Csoportonként 15 próbatestet vizsgáltunk, ez anatómiai irányonként, fafajonként 30 mérést tett lehetővé, ezzel biztosítva a kis minta szükséges elemszámát a későbbi statisztikai elemzésekhez. A vizsgálatokat az MSZ 6786-11 (1982) szerint végeztük. A próbatesteket  $50 \times 50 \times 50$  ( $T \times R \times L$ ) mm-re alakítottuk ki, majd kondicionáltuk  $20\text{ °C}$  hőmérsékleten 65% relatív légnedvesség mellett. Mivel a gyertyán az igen kemény fafajok közé tartozik ezért a terhelést 1000 N-ban határoztuk meg a szabvány alapján. A terhelés időtartama 30 (s) volt.

A keménység meghatározásához a következő képletet alkalmaztuk (8):

$$H_B = \frac{2 \cdot F}{D \pi \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})}; \quad (8)$$

ahol:

F – a terhelőerő,

D – az acélgolyó átmérője,

d – a golyó benyomódásából keletkező gömbsüveg átmérője.

## 2.5. Kopásállóság meghatározása

A kopásállóság azt jelzi, hogy a faanyag felszíni rétegei milyen mértékben képesek ellenállni a külső koptató hatásoknak, melyek jellemzően súrlódási erők. A kopás mértéke

megmutatkozhat tömegvesztés, térfogatcsökkenés vagy vastagságcsökkenés formájában. A faanyag felületének kopásállósága szoros összefüggésben áll a keménységgel és a csúszási súrlódási tényezővel, ami alapvető jellemzője a felületi tulajdonságainak (Molnár, 1999). A kopásállóság meghatározásához a Taber-féle koptatóeljárást alkalmaztuk, az MSZ 6786-14-1982 szerint. A próbatestek kialakítása a szabvány alapján  $100 \times 100 \times 10$  mm-re ( $T \times R \times L$ ) lettek kialakítva, közepén 10 mm átmérőjű furattal lettek ellátva. A mintákat Taber-féle koptatógépen, 1000 kg terheléssel 400 fordulatig koptattuk, viszont az előírt 32-es szemcseméretű csiszolópapír helyett 40-es szemcseméretűt alkalmaztunk. A kopásállóság mérése csak a Vas és a Zala vármegyéből érkező mintákat érintette. A szabvány szerint a próbatesteket a mérés előtt 24 óráig  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  hőmérsékleten 65% relatív légnedvesség mellett kondicionáltunk. A próbatestek szélességét és hosszúságát 0,1 mm pontossággal mértük le, majd az átlók irányában a sarkoktól befele 24 mm távolságban kijelölt négy pontban mértük a vastagságot. A próbatest vastagságaként e mérések számtani átlagát tekintjük. A próbatestek tömegét 0,001 g pontossággal határozzuk meg. A vizsgálati eredmény értékelése vastagsági méret csökkenés és tömegvesztés szerint is meghatározzuk. A vastagsági méret csökkenés szerinti kopásállóságot a következő képlet segítségével határozzuk meg (9):

$$R_V = \frac{V_0 - V_1}{4} \text{ [mm/100 ford.)]; (9)}$$

ahol:  $V_0$  – a próbatest vastagsága vizsgálat előtt, (mm)

$V_1$  – a próbatest vastagsága koptatás után, (mm).

Az azonos keresztmetszeti irányú próbatestek vizsgálati eredményeinek számtani átlaga adja a kopásállóságot, amelyet két tizedes pontossáig kell megadni. A tömegvesztés szerinti kopásállóságot a következő képlet segítségével számítjuk ki (10):

$$R_g = \frac{g_0 - g_1}{4} \text{ [g/100 ford.]}; \quad (10)$$

ahol:  $g_0$  – a próbatest vastagsága vizsgálat előtt, (mm)

$g_1$  – a próbatest vastagsága koptatás után, (mm).

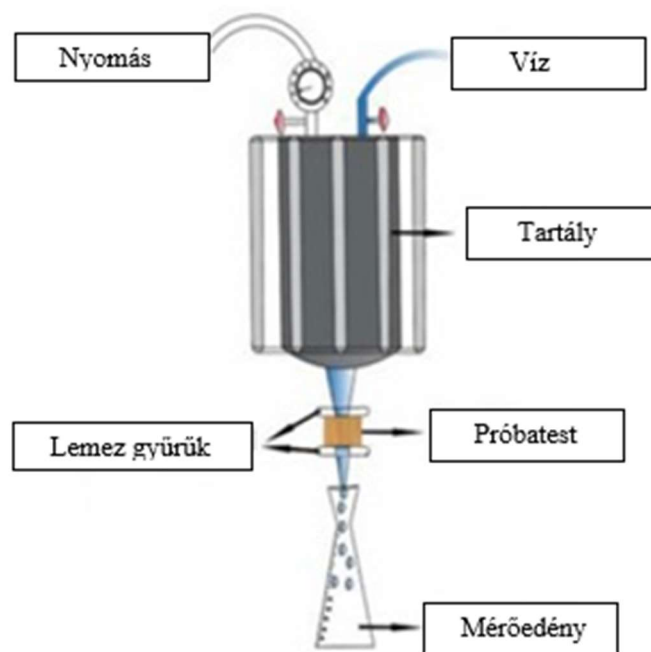
A kopásállóságot az azonos keresztmetszeti irányú próbatestek vizsgálati eredményeinek számtani átlaga adja. Az eredményt három tizedes pontossáig kell megadni. A Taber-féle koptatógépet a 15. ábra mutatja be.



15. ábra Taber-féle koptatógép

## 2.6. A folyadékáteresztő képesség

A folyadékáteresztés gyakorlati jelentősége különösen a faanyagok telítéséhez és modifikálásához is kapcsolódik. A folyadékáteresztő képesség függ a fafajtól, az alkalmazott nyomáskülönbségtől, az anizotrópiától, a szöveti felépítéstől, a gesztessedétől stb. A nagyszámú befolyásoló tényező miatt igen eltérő eredményeket mutathat (Molnár, 1999). A vizsgálathoz a hajlítoszilárdsági minták sértetlen végéből alakítottuk ki a mintáinkat, melyeket 20\*20\*10 mm méretben határoztunk meg ( $T \times R \times L$ ). A vizsgálat során összesen 15 darab próbatest került mérésre csoportonként. A mérések egy speciálisan tervezett fémből készült eszközzel történtek, amelyet a 16. ábra mutat be.



16. ábra Folyadékáteresztés vizsgálóeszköz  
(forrás: Razaeei et al., 2024 alapján)

A tartályt 1,8 liter lágyvízzel töltöttük meg, és 2 bar nyomás alatt vizsgáltunk a mintákat. A minták elhelyezése a kamra központi részén, két szorítógyűrű segítségével történt (17. ábra), amely biztosította, hogy a víz egyenletesen áthaladhasson a mintákon. Az említett szorítógyűrűk átmérői 5 mm és 7 mm voltak.



17. ábra Folyadékáteresztési minta befogatása

A mérési protokollt Razaei et al. (2024) közzétett módszere alapján követtük, hogy a későbbiekben könnyebben összehasonlíthatók legyenek az eredmények. A próbatesteken áthaladt vízmennyiséget egy mérőedény gyűjtötte össze, és a vizsgálat fókuszában a mintákon átcsöpögő vízmennyiség állt háromperces intervallumokban. Kiemelten figyeltük azon időtartamot és a hozzá kapcsolódó vízmennyiséget, mely során a vízáramlás közel folyamatosá vált. Megfigyeltük, hogy az első 30-50 másodperc alatt a vízáramlás intenzitása magasabb volt.

A vizsgálathoz a következő képletet használtuk (11):

$$k = \frac{\eta \cdot L \cdot Q}{A \cdot \Delta t \cdot \Delta P}; \quad (11)$$

ahol:  $k$  – permeabilitási tényező ( $m^2$ ),

$Q$  – a folyadék áramlási sebessége, ( $m^3/s$ ),

$A$  – a folyadékáramlás keresztmetszete, ( $m^2$ ),

$L$  – a próbatest hossza, ( $m$ ),

$\Delta P$  – a nyomáskülönbség, ( $Pa$ ),

$\Delta t$  – áramlási idő, ( $s$ ),

$\eta$  – desztillált víz dinamikus viszkozitása ( $\eta = 1,002 \cdot 10^{-3}$ ,  $Pas$ ).

A Grubbs-teszt, amelyet más néven maximális szórásban lévő szélsőérték-tesztnek is neveznek, egy statisztikai próba, amelyet szélsőértékek azonosítására használnak. Frank E. Grubbs által 1950-ben bevezetett módszer a legnagyobb vagy a legkisebb érték vizsgálatára szolgál, hogy azok szignifikánsan különböznek-e az adatsor többi elemétől.

A teszt a következő képlet alapján működik (12):

$$G = \frac{|Y_i - Y|}{s}; \quad (12)$$

ahol:  $Y_i$  - az adott megfigyelés,

$Y$  - az adatsor mintaátlaga,

$s$  - a minta szórása.

A kapott  $G$  értéket összevetjük a kritikus értékkel, amely a Grubbs-táblázatból kapható meg, figyelembe véve az adatsor méretét és a kívánt szignifikancia szintet. Ha  $GG$  nagyobb a kritikus értéknél, az adott megfigyelést szélsőértéknek tekintjük, és eltávolíthatjuk az adatsorból. A Grubbs-teszt alkalmazása különösen fontos olyan területeken, mint a minőségellenőrzés és a klinikai kutatások, ahol az adatok tisztasága döntő fontosságú (Grubbs, 1950).

## 2.7. Zsugorodás-dagadás

A zsugorodás-dagadási vizsgálat során  $20 \times 20 \times 30$  mm ( $T \times R \times L$ ) próbatesteket használtunk, ahol figyelembe vettük a szabályos anatómiai irányok kialakítását. A méréseket az ISO 13061-13 (2016) és ISO 13061-16 (2017) szabványoknak megfelelően végeztük el. A mérni kívánt faanyagokat első körben abszolút száraz (0%) állapotra szárítottunk, majd ezt követően mértük le 0,01 mm pontossággal a keresztmetszeti és rostirányú méreteit a próbatestek közepénél. Másodkörben a már lemért mintatesteinket áztatással telítettük. A rosttelítettségi határ felett már nem okoz számottevő méretváltozást a szabad víz tartományban a vízfelvétel ill. a vízleadás. Ezt követően a mintáinkat az irodalmakban meghatározott zsugorodás-dagadási értékek átlagával összehasonlítottuk, a méretváltozást százalékos arányban adjuk meg.

A vizsgálathoz a fontosabb dagadási és zsugorodási összefüggések a következők:

Dagadási és zsugorodási jellemzők:

Vonalas érték dagadás (13):

$$d_{h,s,r} = \frac{l_u - l_o}{l_o} * 100; (13)$$

Térfogati dagadás (14):

$$d_v = \frac{(100+d_h)*(100+d_s)*(100+r)}{10^4} * 100; (14)$$

Vonalas érték zsugorodás (15):

$$Z_{h,s,r} = \frac{l_u - l_o}{l_u} * 100; (15)$$

Térfogati zsugorodás (16):

$$Z_v = \frac{(100+z_h)*(100+z_s)*(100+r)}{10^4} * 100; (16)$$



ahol:  $l$  – vonalas méretek, húr-, sugár- és rostirányban

$l_u$  – méret rosttelítettségi határ feletti nedvességtartalomnál,

$l_o$  – méret abszolút száraz állapotban (Molnár 1999).

## 2.8. Sűrűség meghatározás

A zsugorodás-dagadás vizsgálat során használt próbatesteinkből határoztuk meg a faanyagok sűrűségét, abszolút száraz állapotban ( $u=0\%$ ), amit a következő összefüggéssel tudunk kiszámolni (15) az ISO 13061-02 (2014) szabvány alapján (17):

$$\rho_0 = \frac{m_0}{V_0} [\text{kg}/\text{m}^3]; (17)$$

ahol:  $V_0$  – az abszolút száraz állapotra kiszárított faanyag térfogata,

$m_0$  – az abszolút száraz állapotra kiszárított faanyag tömege.

A sűrűségszámítást bordás és hengeres csoportra egyaránt elvégeztük, valamint az irodalmi értékekből vont átlaggal összehasonlítottuk azokat.

## Gombaállósági vizsgálat

A vizsgálati protokoll a következő lépésekből állt: a próbatesteket standard körülmények között, 20 °C hőmérsékleten és 65% relatív páratartalom mellett klimatizáltuk. A kezdeti 200×30×20 mm méretű ( $R \times T \times L$ ) próbatesteket, a MSZ EN 113 (2001) szabvány előírásainak megfelelően három darab 50×15×25 mm-es ( $R \times T \times L$ ) mintára daraboltuk (18. ábra).



18. ábra Különböző növekedésű gyertyán csoportokból kialakított próbatestek a gombaállósági vizsgálatokhoz (saját kép)

A gombaállósági vizsgálatokat 16 hetes időtartam alatt végeztük el, az MSZ EN 113 szabvány szerint, fehérkorhasztó lepketaplóval (*Trametes versicolor* (L.) Lloyd) és barnakorhasztó házi kéreggombával (*Antrodia sinuosa* (Fr.) P. Karst). A 16 hetes időtartamot megelőzőleg 2 hét kellett a táptalajok elkészítéséhez. Ehhez először mikrobiológiai táptalajt főztem, aminek alapanyaga maláta kivonat (Malt extract agar) volt, amiből 48 g-ot kevertem egy liter desztillált vízhez, majd ezt főzést követően a lombikokba elosztottam (19. ábra) és a Soproni Egyetem faanyagvédelmi laborjában egy Tuttnauer Systec 5050-es sterilizáló gépben sterilizáltam azokat.



*19. ábra Kolle-lombikokba töltött táptalaj, már a sterilizáló gépben*

A már sterilizált lombikokat a bennük lévő forró táptalajjal együtt óvatosan kipakoltam egy asztalra amíg a táptalaj kihűlt. Ezt követően inkubátorszekrényben tároltuk őket és pihentettük azokat. Az előkészületek sikeresnek tekinthetők, mivel a táptalajokon nem jelent meg penészesedés. Következő lépésként gombamicéliummal fertőztük meg a táptalajt. A vizsgálat során a mikrobiológiai táptalajon szaporított gombamicéliummal fertőzött kolle-lombikokba üvegpálcákra helyeztünk egy-egy próbatestet adott növekedési csoportból. A mintákat a mikrobiális expozíció előtt 103 °C-on szárítottuk, ezzel elérve az abszolút száraz nedvességtartalmat, ami egyben fertőtlenítő hatású is volt. A kész lombikokat a teljes vizsgálati időszak alatt 22 °C hőmérsékletű és 70% relatív páratartalmú inkubátorszekrényben tároltuk (Horváth et al. 2021).

### 3. EREDMÉNYEK ÉS KÖVETKEZTETÉSEK

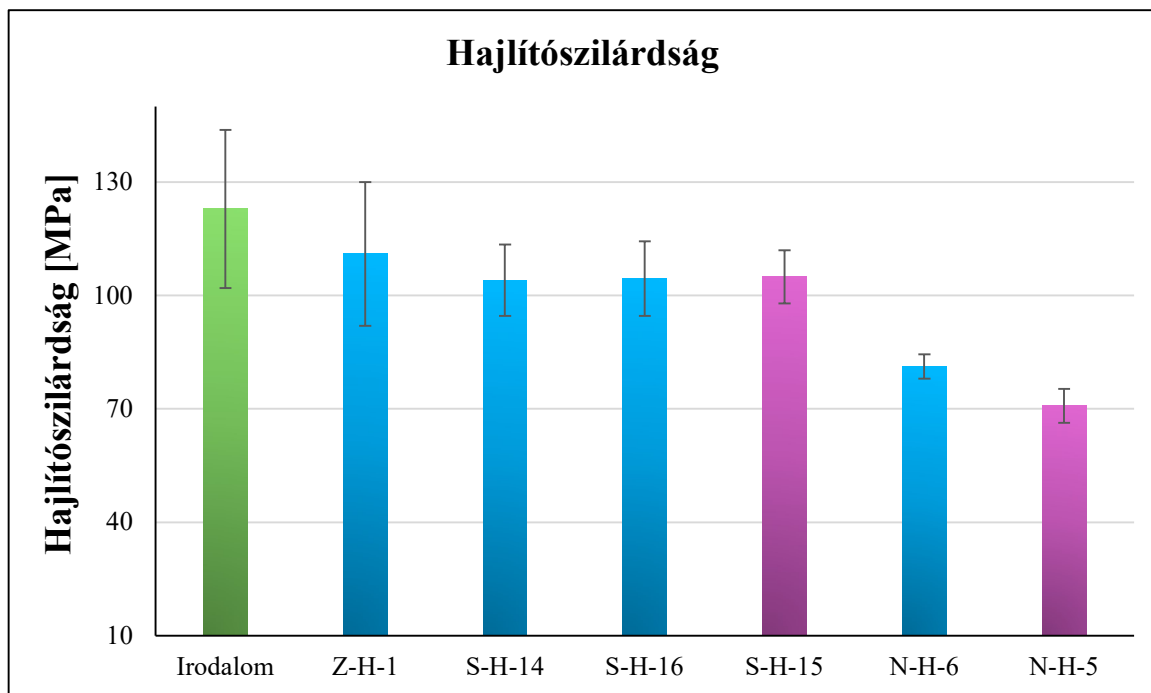
#### 3.1. Hajlítószilárdság

A szilárdsági vizsgálatoknál általánosságban a minta tönkremeneteléig a legnagyobb alakváltozás esetén volt szükséges a legnagyobb erő alkalmazása. A próbatestek grafikonjai a maximális erő 10%-tól a maximális erő 40%-ig közel állandó meredekséggel rendelkeztek. Ez a szakasz átlagosan 1300 N terhelésig tartott, majd maximális hajlítóerejüket 2975 N-nál érték el. A kapott hajlítószilárdsági és hajlító rugalmassági modulus eredményeket összehasonlítottuk irodalmakban megtalálható értékek átlagaival is, melyekhez az adatokat 4. táblázatban szereplő értékekből számoltuk.

*4. táblázat Irodalmi értékek hajlítószilárdsághoz és rugalmassági modulushoz (forrás: Molnár 2004, Majid 2019, Wood-databade.com 2014)*

Szerző	MoR [MPa]	MoE [GPa]
Molnár (2004)	58,0–160,0–200,0	7-16,2–17,7
Majid (2019)	140,9–153,5	14,7–14,76
Wood-database.com (2014)	110,4–112,4	11,68–12,10

Így az átlag MoR-t 122,88 MPa-ban és a MoE-t 12,99 GPa-ban határoztuk meg. A vizsgálatok feldolgozása során kapott eredményeinket az 20. ábra mutatja be, a különböző alakiságú rönkökből származó csoportokat vizuálisan színekkel különítjük el egymástól.

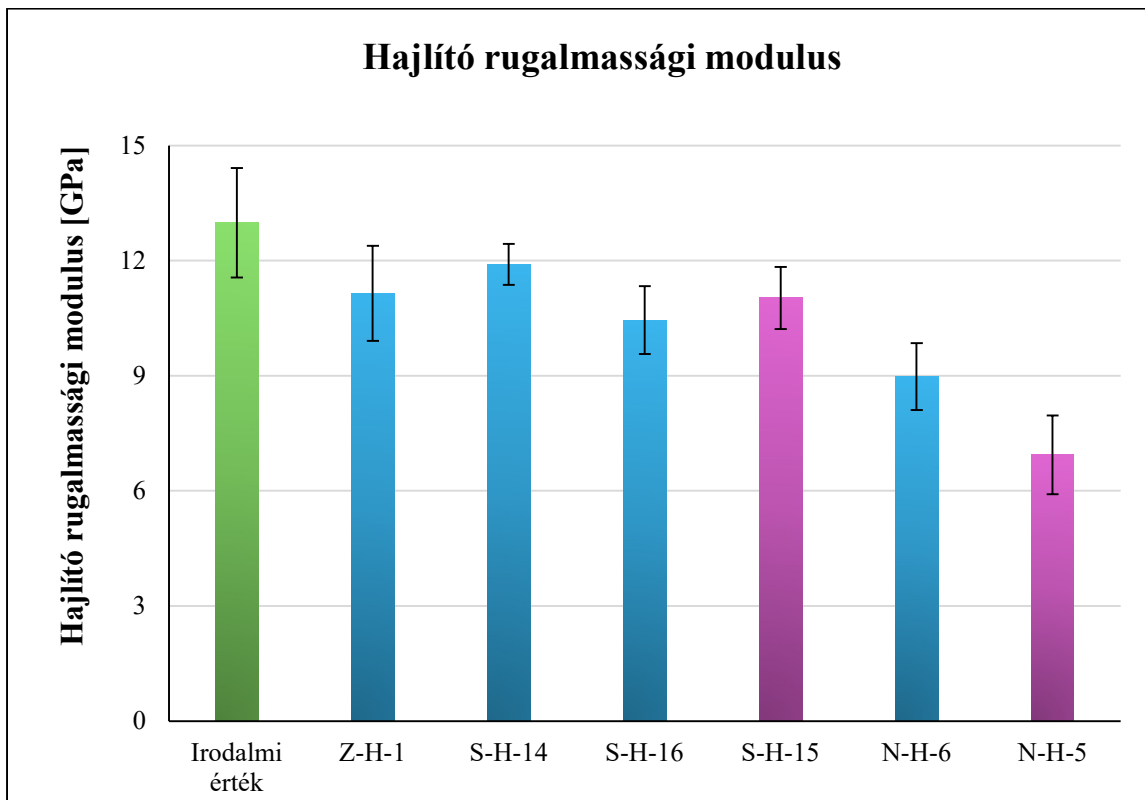


20. ábra A különböző gyertyán csoportok hajlítószilárdságának összehasonlítása az irodalmi értékekkel 12% nettó nedvességtartalom mellett

A faanyagok semmiféle, a vizsgálatot befolyásoló rendelleneséggel nem rendelkeztek. A mérések alapján kijelenthetjük, hogy az irodalmi értékeket egyik csoport faanyagai sem érték el, viszont a zalai rönkből származó alapanyag valamelyest magasabb hajlítószilárdsággal rendelkezik, mint a többi csoport. A Vas vármegyéből származó hengeres, valamint bordás törzsű egyedek között a különbség elhanyagolható, kevesebb mint 0,5%. A Nyírségből származó faanyagok viszont drasztikus eltérést mutatnak a többi csoporthoz képest. Bordás rönk esetén 33,25%-kal, hengeres rönk esetén 23,42%-kal maradnak el a többi csoport átlag hajlítószilárdságától. Ebben az esetben a kiugró értékek szűrése után sem változott jelentősen végeredmény. Mérés során felmerülő hiba nem jelentkezett, valamint a végeredmény szórás értékén is látható, hogy a csoportba tartozó mintatestek hasonló értékeket mutattak. Valószínűleg termőhelyi sajátosság okozhatja a sokkal gyengébb eredményeket. További elemzésekre lesz szükség, hogy jobban megértsük miért tér el ekkora mértékben ez a csoport a többitől.

A 21. ábrán látható a hajlítórugalmissági modulus, ahol hasonló tendencia figyelhető meg a Nyírségi rönkökön végzett vizsgálatok eredményein. Hengeres gyertyán esetében 21,64% míg

bordás esetében 37,71%-kal alacsonyabb a rugalmassági modulus a többi csoport átlagához képest. Látható a szignifikáns eltérés a Szombathelyi hengeres törzsűnél, az S-H-14 rönkből készült mintatestek modulus értékei magasabbak. Láthatjuk, hogy ebben az esetben is elmaradnak a mért értékek az irodalmakból számított átlagtól, ennek okai kereshetőek a termőhelyi és az egyéni növekedési tényezők között is.



21. ábra A különböző gyertyán csoportok hajlító rugalmassági modulusának összehasonlítása az irodalmi értékekkel 12% nettó nedvességtartalom mellett

### 3.2. Ütő-hajlító szilárdság

Az ütő-hajlító szilárdság eredményeit az 5. táblázat mutatja be.

5. táblázat Ütő-hajlítószilárdság eredmények 12% nettó nedvességtartalom mellett

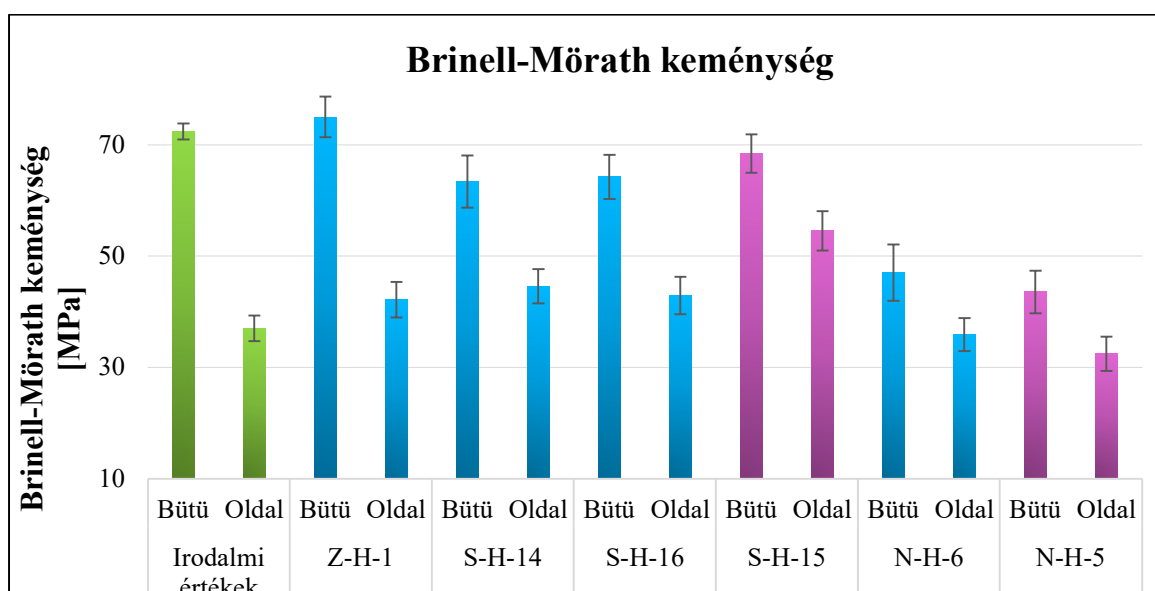
Minta	Ütő-hajlítószilárdság [MPa]	Szórás [MPa]
Irodalmi értékek	98,00	16,61
Z-H-1	84,43	7,03
S-H-14	179,52	10,74
S-H-16	116,90	11,40
S-H-15	95,82	19,28
N-H-5	119,4	16,75
N-H-6	96,51	12,02

A Vas vármegyei hengeres törzsű gyertyán mintacsoport (S-H-14), kimagasló értéket hozott a mérés során, a többi átlag értékénél közel a 80%-kal magasabb ütő-hajlító szilárdsággal rendelkezik. A nyírségből származó bordás törzsű egyed (N-H-6) jól korrelál a Szombathelyről származó bordás faanyagokkal (S-H-15), valamint az irodalmi értékekkel is. Az N-H-5 és az S-H-16 csoport is korrelál egymással, viszont a Z-H-1 előbbtől 26,86%-kal, utóbbtól 29,29%-kal alacsonyabb értéket mutat. A bordás törzsű egyedektől (N-H-6 és S-H-15) 15,52 és 11,89%-kal rendelkezik alacsonyabb szilárdsági értékekkel. A zalai minták az dinamikus ütő-hajlító vizsgálat során alacsonyabb értékeket hoztak, mint a többi csoport mintái. Ugyanakkor az ütő-hajlító szilárdsági eredmények a 22. ábrán bemutatott Rugalmassági modulushoz jól illeszkednek.

### 3.3. Brinell-Mörath keménység

A keménységi vizsgálatok eredményeinek kiértékelése során azt tapasztaltuk, hogy a különböző anatómiai irányokban követik az irodalmi értékek által felállított tendenciát.

A Nyírségből származó bordás növésű csoport 11,43%-kal alacsonyabb keménységgel rendelkezik a sugárirányban, mint húrirányban (22. ábra). A többi csoportunk sugár- és húrirányban korrelál egymással, azonosnak tekinthető, ezért ezeket az irányokat külön nem részletezzük, egyben mutatjuk be. A Zala vármegyéből származó alapanyag próbatestei 3,47%-kal magasabb keménységet mutatnak az irodalomból vett átlagból longitudinális irányban, valamint, a még kiemelkedő keménységgel rendelkező Szombathelyről származó bordás törzsű egyednél is 8,76%-kal magasabb a keménység ebben az irányban. A zalai és szombathelyi hengeres gyertyán keménysége között oldalirányban nincs számottevő különbség. Ezekről a csoportokról eltér a Szombathelyi bordás mintáké (S-H-15), itt oldalirányban jelentős eltérés van a többi csoportéhoz képest. Az irodalmi longitudinális iránytól mindössze 20,31%-kal alacsonyabb. A nyírségi rönkökből származó próbatestek keménysége átlagosan 45,23%-kal alacsonyabb a többi csoport átlagánál bütüirányban, oldalirányban ez az érték 38,24%. A kimagasló különbségek oka lehet a termőhely minősége és egyéb növekedési tényezők, pontosabb meghatározáshoz szükséges ezeknek további elemzése.



22. ábra A különböző gyertyán csoportok Brinell-Mörath keménységének összehasonlítása az irodalmi értékekkel 12% nettó nedvességtartalom mellett



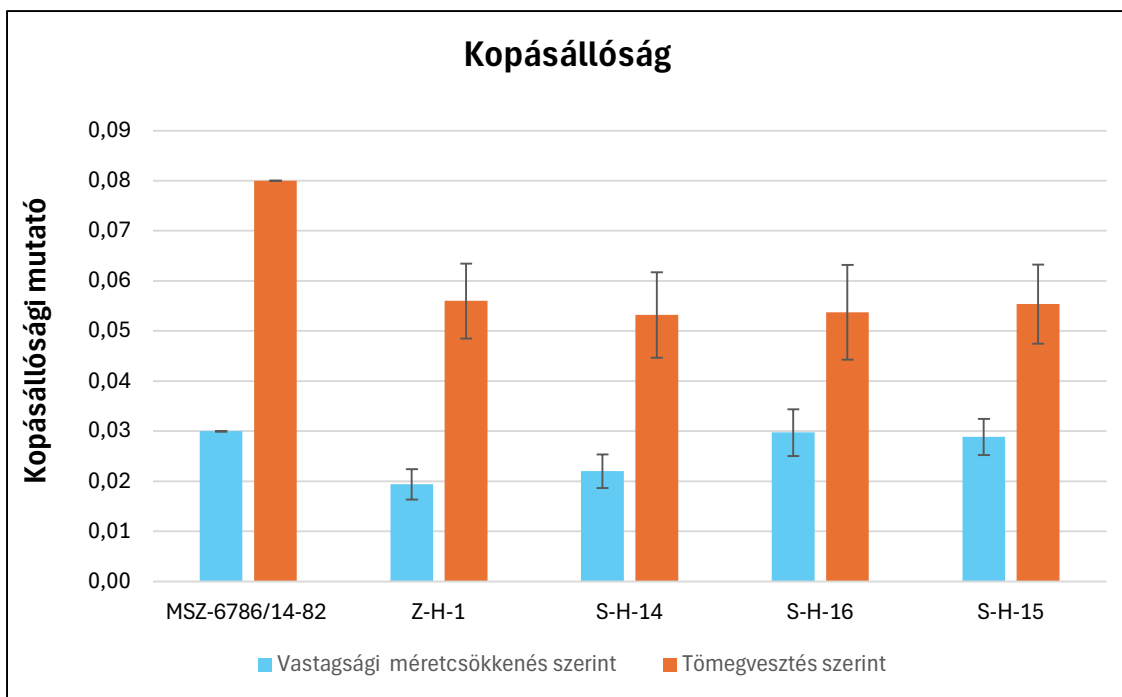
A különböző keménységi értékekhez tartozó varianciákról tájékoztatást ad a 6. táblázat.

6. táblázat Hengeres és bordás törzsű gyertyán csoportok Brinell keménységi értékeinek varianciája

	Anatómiai irány	Irodalmi értékek	Z-H-1	S-H-14	S-H-16	S-H-15	N-H-6	N-H-5
Variancia	Rost	2%	5%	7%	6%	5%	11%	9%
	Sugár	4%	8%	9%	9%	9%	8%	9%
	Húr	4%	7%	5%	9%	8%	9%	10%

### 3.4. Kopásállóság

A 23. ábra mutatja be a kopásállósági mérés során adódott értékeket. A diagramról megállapítható, hogy mindegyik mért csoport mintatestei elérték, az MSZ-6786/14-82 szabványban meghatározott „nagyon kopásálló” minősítést (7. táblázat) sugár- és érintő irányban egyaránt.



23. ábra Különböző gyertyán csoportok kopásállósági mutatói nettó 12% nedvességtartalom mellett

7. táblázat Kopásállóság minősítési osztályai MSZ-EN 6786-17/82 alapján

Minősítés	Vastagsági méretcsökkenés szerinti kopásállóság		Tömegvesztés szerinti kopásállóság	
	g/100 fordulat		g/100 fordulat	
	bütü	sugár és érintő	bütü	sugár és érintő
	irányú metszeten vizsgálva			
Nagyon kopásálló	-0,02	0,03	-0,061	-0,08
Kopásálló	0,021-0,04	0,031-0,06	0,061-0,12	0,0881-0,16
Közepesen kopásálló	0,041-0,06	0,061-0,09	0,121-0,18	0,161-0,22
Gyengén kopásálló	0,061	0,091	0,181	0,221

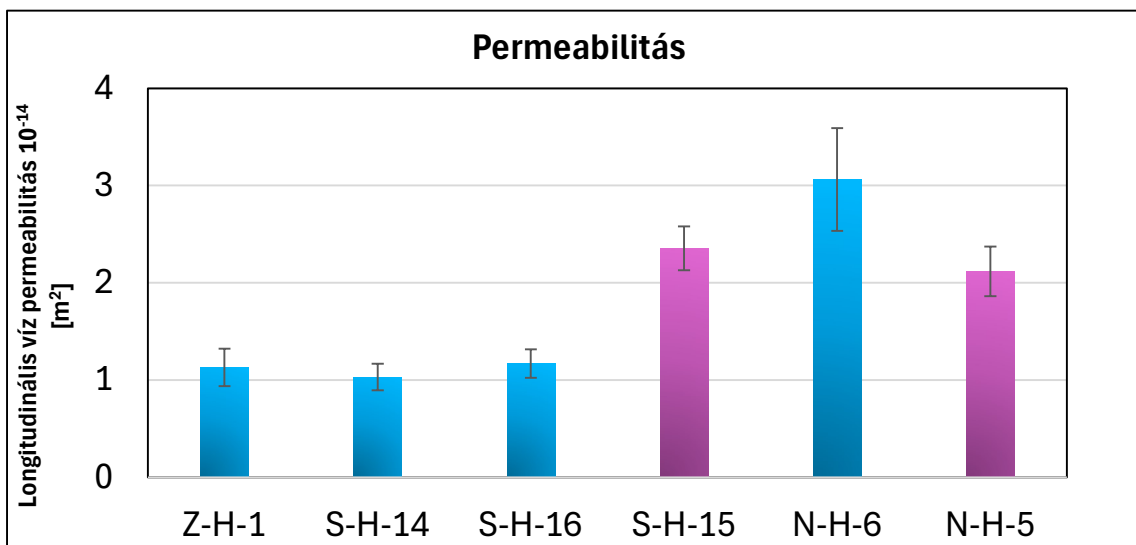
A diagramon jól látszik, hogy a tömegvesztés szerinti meghatározott mutató jól korrelál egymással, viszont a vastagsági méretcsökkenés szerinti meghatározott mutató a Z-H-1 és S-H-14 csoportoknál megközelítőleg 30%-os eltérés adódik. A 8. táblázat mutatja be a csoportok kopási mutatóját százalékban kifejezve.

8. táblázat Kopási mutató százalékban kifejezve

Próbatest kopási mutatója t (%)	
Z-H-1	0,3
S-H-14	0,2
S-H-16	0,3
S-H-15	0,2

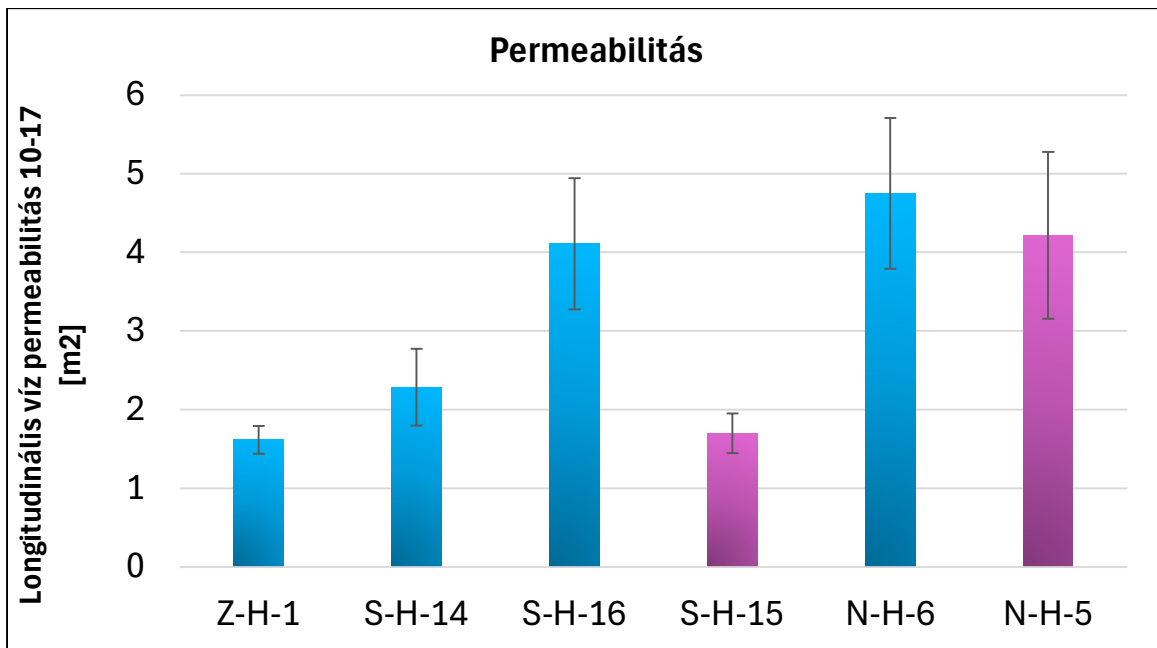
### 3.5. Folyadékáteresztés

A permeabilitási vizsgálatok során az anyagok és módszerek részben már említett módon két időpontot rögzítettünk. Az első időpontot ( $t_1$ ) akkor írtuk fel, amikor az áteresztés sebessége állandósult, ugyanis az próbatest behelyezését követően, amikor ráengedtük a 2 bar nyomás alatt lévő vizet, átlagosan az első 30-50 másodpercben gyorsabban haladt át a folyadék a mintatesteken. Az ebből számított áteresztőképességet a 24. ábra mutatja be. Ezt összevetve a kapott sűrűségi értékekkel melyeket egy későbbi alfejezetben mutatok be (3.7), jól megfigyelhető az a tendencia, hogy minél sűrűbb volt az adott mintatest, annál kisebb volt a folyadékáteresztő képessége.



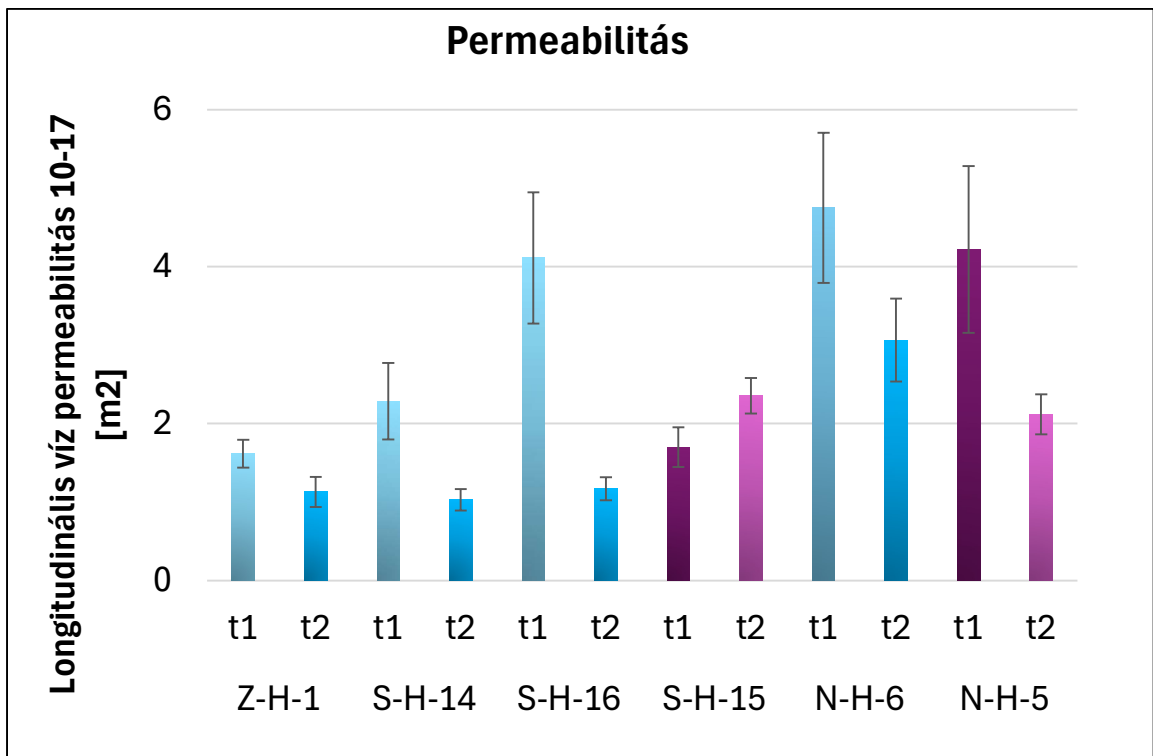
24. ábra Különböző gyertyán növekedési csoportok folyadékáteresztőképessége ( $t_1$  esetén)

A vizsgálat során az időt vettük állandóra, így a második rögzített időpontot ( $t_2$ ) 3 percnél határoztuk meg. Az itt adódott áteresztőképességet a 25. ábra mutatja be.



25. ábra Különböző gyertyán növekedési csoportok folyadékáteresztőképessége ( $t_2$  esetén)

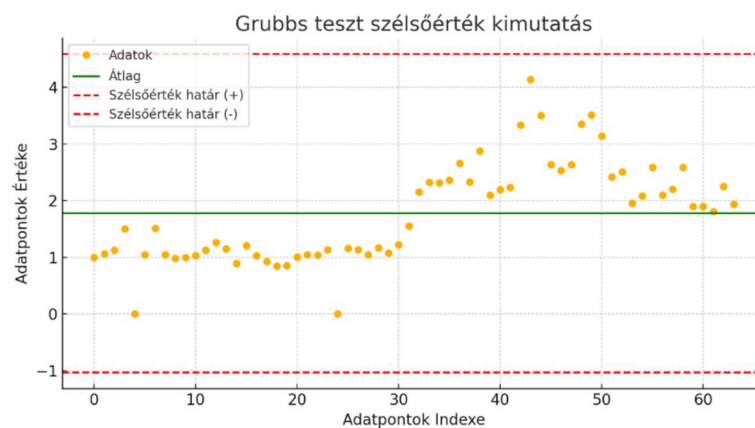
Leolvashatjuk, hogy hasonlóan a  $t_1$  esetéhez, itt is megfigyelhető a tendencia a folyadékáteresztő képesség és sűrűség arányában. A  $t_1$  és  $t_2$  mérésnél kapott eredmények összehasonlítására a 26. ábra szolgál.



26. ábra Különböző gyertyán növekedési csoportok folyadékáteresztőképességének összehasonlítása  $t_1$  és  $t_2$ -nél meghatározott időintervallumok között

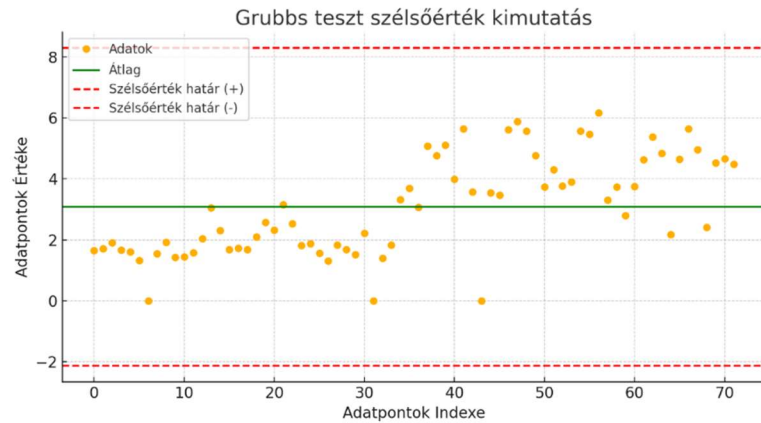
Leolvashatjuk minden csoportunknál, mielőtt a folyadékáteresztés állandósult volna ( $t_1$ ) sokkal magasabb értékek adódtak, N-H-5 és N-H-6 esetén közel a kétszerese a kezdeti áteresztőképesség, a teljes 3 perces ciklushoz viszonyítva. Hasonló tendencia figyelhető meg az S-H-15 és S-H-14 csoportra is. A Z-H-1 csoport két mérése közti különbség 41% míg ugyan ez S-H-16 esetében 23%. A mintatestek elkészítése során nem fordítottam kellő figyelmet arra, hogy a juvenilis és érettfarészből készült mintákat elkülönítsem, ez is okozhat magas eltéréseket a csoportok között, mivel a porozitás szoros összefüggésben van a folyadékáteresztő képességgel. Főleg azoknál a csoportoknál fordulhatott ez elő, ahol a szórás kiugróan nagy a többi csoportéhoz képest (S-H-15, N-H-6 és N-H-5), de csoportokon belül is megfigyeltem nagyon magas eltéréseket, ezeket az értékeket kiszűrtem a legtöbb esetben.

Viszont fontos említést tenni róla, hogy a permeabilitás egy igen változó tulajdonság, ezért Grubbs tesztet végeztem a  $t_2$  és a  $t_1$  időpontban meghatározott permeabilitási értékeken. A statisztika szerint  $G=2.705$  értéket kaptunk, míg a kritikus érték  $G_{kritikus}=3.224$  volt  $t_2$  esetében. Mivel a számított  $GG$  érték kisebb, mint a kritikus érték, nem találtunk szélsőértéket az adatok között a 95%-os szignifikancia szinten. A 27. ábra grafikonján az átlag érték zöld vonallal van jelölve, míg a piros szaggatott vonalak jelzik a szélsőérték határokat.



27. ábra Grubbs teszt  $t_2$  időpontban rögzített értékeknél

A tesztet elvégeztem a  $t_1$  adatsorra is, a számított  $G=1,932$  érték, míg a kritikus értékre  $G_{kritikus}=3.268$  adódott. Mivel a számított  $G$  érték kisebb, mint a kritikus érték, ezért nincs szignifikáns szélsőérték az adatok között a 95%-os szignifikanciaszinten (28. ábra).

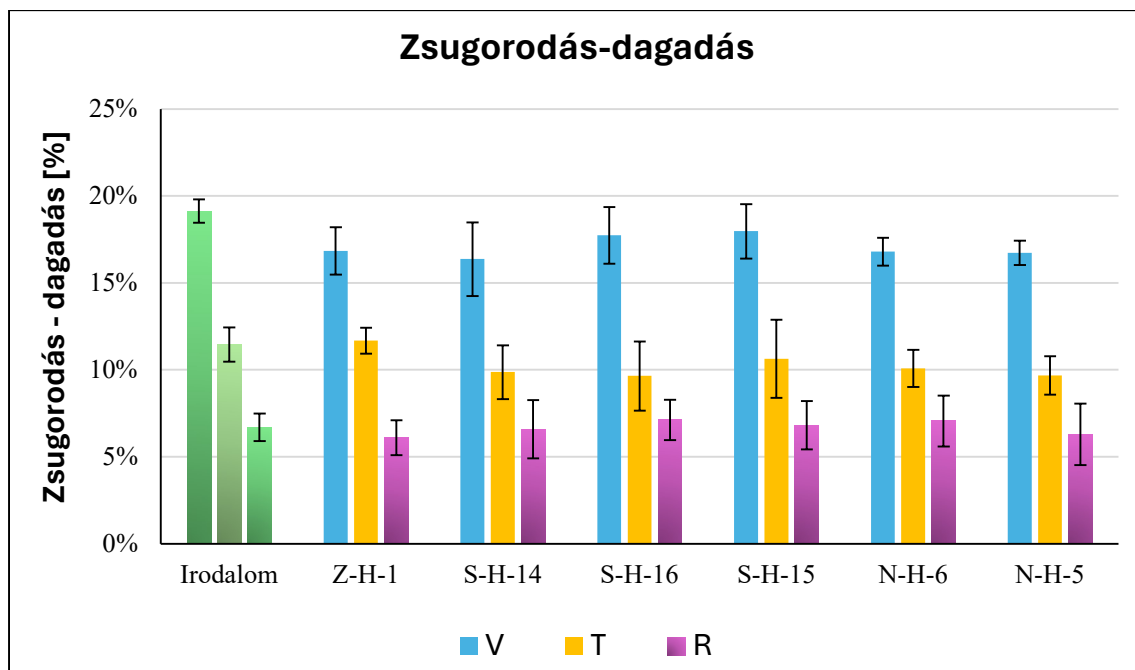


28. ábra Grubbs teszt  $t_1$  időpontban rögzített értékeknél

A telíthetőség szempontjából kijelenthető a kapott eredmények és azok szórásai alapján, hogy a Z-H-1, S-H-14 és S-H16 csoport mintái egyenletesebben telíthetőek ellentétben az S-H-15, N-H-5 és N-H-6 csoportokból vett mintákkal. A gyakorlatban ez azt jelenti, hogy a telítőszer előreláthatólag nem jut be ugyanolyan hatékonyan a sejtfalakba minden csoport esetén.

### 3.6. Zsugorodás-dagadás

A különböző gyertyán csoportok dagadását a 29. ábra mutatja be térfogati ( $V$ ), tangenciális ( $T$ ), és radiális ( $R$ ) irányban. Jól látható, hogy mind a hat csoport követi az irodalmi értékek átlagaiból kapott tendenciát (Molnár és Bariska, 2002; wood-database 2024). A longitudinális dagadási értékek nem kerülnek közlésre, mivel 0,5% alatti különbségek adódtak az egyes csoportok között, kívül volt a mérési pontatlanságon. Mindegyik csoportnál a legnagyobb eltérést térfogati irányban kaptuk, ezt követte a húr-, majd a sugárirány.



29. ábra A különböző gyertyán csoportok dagadása

Jól látszik, hogy az irodalmi értékekből vett átlagok (magasabb dagadási arányt mutatnak). A térfogati dagadás az S-H-15 és S-H-16 csoportok esetén magasabb volt, a többi csoport korrelál egymással. Ugyanakkor, a közel 1%-os eltérések nem mondhatóak számottevőnek. A tangenciális irányú dagadási értékeknél a Z-H-1 csoport meghaladta az irodalmi értékeket (11,68%), a többi csoport között nem tapasztalható jelentős eltérés. A radiális irányban a Z-H-1 csoport tűnik ki a többi közül, a dagadási értéke 6,11%, ami a további csoportokhoz képest alacsonynak mutatkozott.

### 3.7. Sűrűség

A hengeres és bordás csoportok sűrűségi értékeit a 9. táblázat mutatja be.

9. táblázat Különböző termőhelyről származó gyertyánok faanyagának sűrűségi értékei abszolút száraz állapotban vizsgálva

Minta	Irodalmi értékek	Z-H-1	S-H-14	S-H-16	S-H-15	N-H-5	N-H-6
Átlag	774	742	753	763	735	692	678
Min.	735	691	712	713	679	658	645

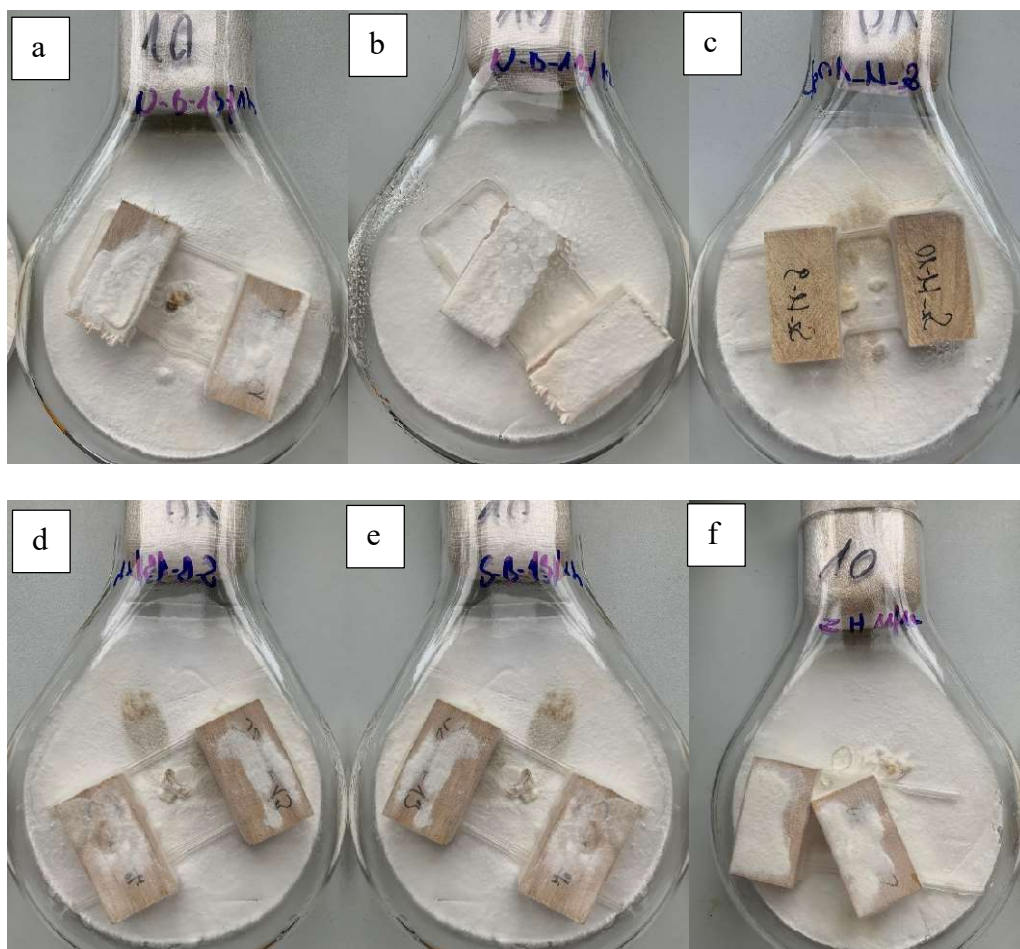
Max.	790	787	803	805	783	711	708
Szórás	22,47	19,61	25,64	27,05	26,92	15,93	17,04
Variancia	2,9	2,64	3,41	3,55	3,66	2,3	2,51

Sűrűségmérésnél normál állapotban 678-763 kg/m<sup>3</sup> átlag sűrűség értékek adódtak. Nem mutatható ki számottevő különbség a Szombathelyről és Zalából érkezett rönkök között, a Nyírségi rönkök azonban 8-10%-kal alacsonyabb sűrűséggel rendelkeznek, mint a Nyugat-Magyarországiak. Az irodalmi értékektől (Molnár és Bariska, 2002; Wood-database 2024) kissé elmaradnak a mért eredmények. Feltehetően termőhelyi és növekedési tényezők miatt mutatkozhatnak ezek az eltérések, további elemzések szükségesek, hogy pontosabb képet kaphassunk ezekről a különbségekről.

### **3.8. Gombaállósági vizsgálatok**

Az alapanyagbeszerzések a Nyírségi rönkökből későn érkeztek be az egyetemre, majd azok feldolgozása is időbe telt, így a végleges gombabontási eredményeket ebben a dolgozatban sajnos nem tudjuk publikálni. A gombaállósági vizsgálatok 2 plusz 16 hetes időintervalluma később ér a végére, mint a diplomadolgozat beadási határideje. A vizsgálati módszerekről, felhasznált alapanyagokról, a vizsgálat menetéről és megkezdéséről az Anyagok és módszerek fejezetben írok részletesen. A 30. ábra bemutatja a fehérkorhasztó lepketapló gombamicéliummal fertőzött és Kolle-lombikokba helyezett hengeres és bordás csoportok mintatestjeit.

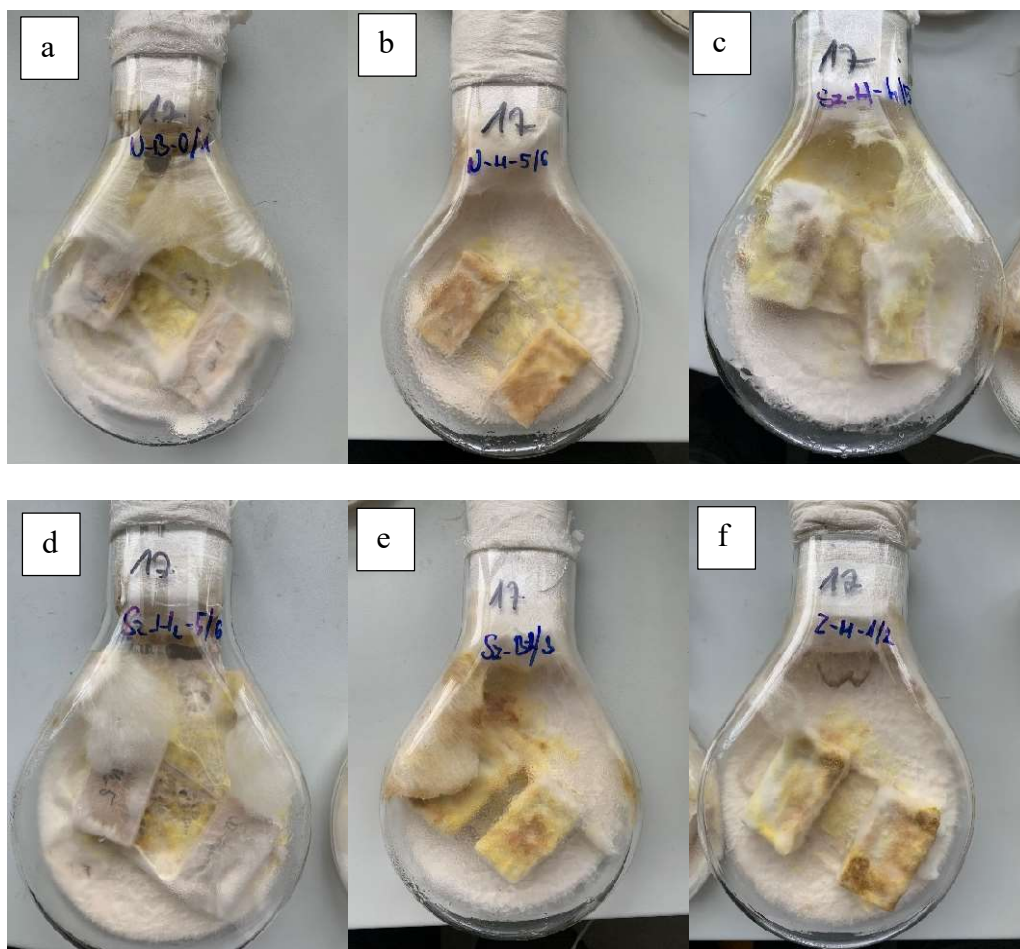




30. ábra Lepketapló (*Trametes versicolor* (L.) Lloyd) gombamicelliummal fertőzött kolle-lombikokba helyezett különböző termőhelyről származó bordás és hengeres gyertyáncsoportok. a) nyírségi bordás, b) nyírségi hengeres, c) szombathelyi hengeres (1), d) szombathelyi hengeres (2), e) szombathelyi bordás, f) zalai hengeres

A feltételezésünk az, hogy amelyik próbatesteken nagyobb mennyiségben látható a gombafertőzés, vagyis amely minták felületét jobban ellepte a gomba, azoknál a mintáknál a bontási eredmények azt fogják mutatni, hogy nagyobb mértékű a károsítás is. Mint az látható, a nyírségi mintáknál a legjelentősebb a gomba jelenléte, ezt követi a zalai hengeres minta. A szombathelyi mintáknál megfigyelhető, hogy a két hengeres csoportnál kisebb a gomba jelenléte, mint a bordásnál. A szombathelyi hengeres (1) mintán a gomba nem is lepte még el az egész mintát, csak az oldalain jelenik meg.

Az 31. ábra mutatja be a barnakorhasztó házi kéreggombával fertőzött Kolle-lombikokban lévő bordás és hengeres gyertyáncsoportokat.

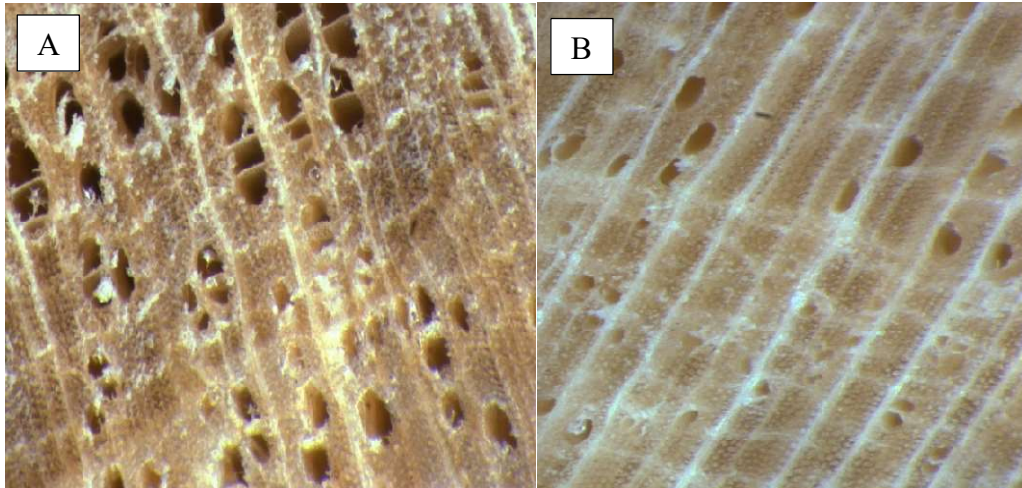


31. ábra Házi kéreggombával (*Antrodia sinuosa* (Fr.) P. Karst) gombamicelliummal fertőzött kolle-lombikokba helyezett különböző termőhelyről származó bordás és hengeres gyertyáncsoportok. a) nyírségi bordás, b) nyírségi hengeres, c) szombathelyi hengeres (1), d) szombathelyi hengeres (2), e) szombathelyi bordás, f) zalai hengeres

A fényképek alapján elmondható, hogy a Nyírségi hengeres és a Zalai hengeres csoportoknál kisebb mértékben jelenik meg a gomba, viszont ezek a minták is teljesen takartak, mint az e, f és d képeken látható minták. Az előbbieken felsorolt mintatesteken jelentős mennyiségű gomba halmozódott fel, ezeknél nem állapítható meg további mérések nélkül a várható bontási arány a csoportok között. Feltételezhető viszont az a és d képeken látható egyedekről, hogy kisebb arányban károsodtak a gombára helyezést kilenc héttel követően.

### 3.9. Fénymikroszkópos felvételek

A 32. ábrán két tipikusnak mondható bütümetszet látható a sztereomikroszkópos felvételek elemzése után.



32. ábra Bordás (A) és hengeres nyírségi gyertyán (B) bütümetszetről készült sztereomikroszkópos felvétele 63-szoros nagyítás mellett

A képek 63-szoros nagyítás mellett készültek, ami már képes betekintést nyújtani a próbatestek mikroszkopikus szerkezetébe. A sugár- és hűrirányú felvételek ezen a nagyításon nem mutattak eltéréseket a bordás- és a hengeres minták között, így kizárólag a bütümetszet kerül feldolgozásra jelen dolgozatban. Azt tapasztaltuk, hogy a bordás mintákon gyakrabban figyelhető meg a likacsugarak jelenléte. Ez a típus jellemzően több (2-3) részből álló edényelemből tevődik össze, amelyek gyakorisága magasabb, mint a hengeres törzsformájú egyedek esetében. Méretük általában nagyobb, bár ennek megerősítéséhez további mérések szükségesek. Megfigyeltük, hogy ha az edények az évgyűrű határára vagy annak közelébe esnek, az évgyűrű határ eltér az alapvető ívtől, elkerülve a likacsugaras elrendeződést. Ez a jelenség hozzájárul a bordás növekedési forma kialakulásához. A vizsgálat arra is rámutatott, hogy bár az előzetes megfigyelések bizonyos tendenciákat jelöltek ki, szükség volna további részletes vizsgálatokra a kapott eredmények megerősítésére és számszerűsítésére. Ezek a további vizsgálatok segíthetnek

a növekedési formák közötti strukturális különbségek mélyebb megértésében, ami elősegítheti az általános fa növekedési mintázatok jobb ismeretét, azonban e dolgozat terjedelme és határideje már nem teszi lehetővé a további mikroszkópos vizsgálatok elvégzését és bemutatását. Javasoljuk egy külön szakdolgozatban, vagy diplomamunkában részletesen foglalkozni a témával.

## 4. ÖSSZEGZÉS

A kutatás jelenlegi eredményei alapján megállapítható, hogy a gyertyán (*Carpinus betulus* L.) fajra jellemző hengeres és bordás törzsformáknak jelentős különbségeik vannak fizikai és mechanikai tulajdonságaikban. A vizsgálatok során különböző magyarországi erdészeti területekről származó mintákat elemeztünk, melyek a hengeres és bordás növekedési formákat képviselték. A kutatás célja a két törzsforma összehasonlító elemzése volt, különös tekintettel a faanyag hajlítószilárdságára, nyomószilárdságára, sűrűségére, valamint a zsugorodási és dagadási tulajdonságokra.

A vizsgálati eredmények szerint a hengeres törzsű gyertyánok jobb fizikai és mechanikai tulajdonságokkal rendelkeznek, mint a bordás törzsűek. Különösen kiemelkedő az ipari alkalmazhatóság szempontjából a hengeres törzsű gyertyánok magasabb hajlítószilárdsága és alacsonyabb zsugorodása. Ezen kívül a hengeres törzsű egyedek sűrűsége általában magasabb, ami tovább növeli a faanyag értékét ipari felhasználás esetén.

Az eredmények alapján a hengeres gyertyánok előnyösebbek lehetnek a faipar számára, különösen a fűrészáru- és furnértermelés területén, ahol a simább törzs és a jobb fizikai tulajdonságok fontosak. Ez rávilágít arra, hogy a törzsformák szelektív kiválasztásával és tenyésztésével javítható lehet a gyertyánfa ipari alkalmazhatósága a távoli jövőben.

A kutatás során kapott adatok kiértékelésének eredményei közvetlenül segítik a kitűzött célt, azaz a hengeres gyertyán előállíthatóságának erdészeti előállítását, ami a távoli jövőben magasabb minőségű fűrészáru biztosításával támogathatja a hazai faipart. További kutatások szükségesek a termőhelyi és genetikai tényezők mélyebb megértéséhez, valamint a mintavételezési helyek bővítésére van szükség, mivel a kutatás

eredményei azt sugallják, hogy a termőhelyek is nagyban befolyásolják az egyes szilárdsági értékeket, néhol erősebb vagy sűrűbb anyagstruktúrát eredményezve.

## 5. IRODALOMJEGYZÉK

- Béky, A., 1970. A gyertyán helye erdőművelésünkben. *Az Erdő* 19, 82-88.
- Csóka L., 2009. Walvelet transzformációval szétválasztott akácfa juvenilis és érettfarészeinek kémiai feltárása, Papír- és Nyomdaipari Műszaki Egyesület, Budapest
- Fatáj, 2012 Jelentés Magyarország erdőállományairól a 2010. végi állapot szerint. Megtekintve: 2023.11.22. [https://fataj.hu/archiv/2012/01/195/201201195\\_Jelentes-Magyarország-erdoallomanyarol-2010-dik-evi-allapot.php](https://fataj.hu/archiv/2012/01/195/201201195_Jelentes-Magyarország-erdoallomanyarol-2010-dik-evi-allapot.php) Fatáj, 2012 Jelentés Magyarország erdőállományairól a 2010. végi állapot szerint.
- Führer, E., 2018. A klímaértékelés erdészeti vonatkozásai. *Erd. Közlemények* 8, 27–42. <https://doi.org/10.17164/EK.2018.002>
- Führer, E., Horváth, L., Jagodics, A., Machon, A., Szabados, I., 2011. Application of a new aridity index in Hungarian forestry practice. *Időjárás* 115, 205–116.
- Grubbs, F. E. (1950). "Sample Criteria for Testing Outlying Observations". *Annals of Mathematical Statistics*. 21 (1): 27–58.
- Horváth D. és Fehér S., Magas hozzáadott értékű termékek előállítási potenciálja termelésből kieső, alacsony minőségű tölgy alapanyagból – előzetes eredmények, <https://gradus.kefo.hu/>, 3-4. <https://doi.org/10.47833/2023.1.ENG.001>
- Horváth, F., Bak, M., Báder, M., 2021. Faanyagok gombaállóságának változása rostirányú tömörítést és további modifikációs eljárásokat követően. *Gradus*, p. 61 doi: 10.47833/2021.2.ENG.003
- Kottek, P., Király, É., Mertl, T., Borovics, A., 2023. Trends of Forest Harvesting Ages by Ownership and Function and the Effects of of the Recent Changes of the Forest Law in Hungary. *Forests* 14, 679. <https://doi.org/10.3390/f14040679>

- Mágocty-Dietz, S., Fekete, L., Rejtő, A., 1891. Erdézeteti növénytan 1., Országos Erdézeteti Egyesület, Budapest, 57-60.
- Majer, A., 1968. Magyarország erdőtársulásai. Akadémiai Kiadó, Budapest
- Majid, K., Zatollah, A., 2018. Physical and Mechanical Properties of Hornbeam Wood from Dominant and Suppressed Trees, Drvna industrija, University of Zargreb, Zagreb, 66-67
- Molnár, S., Bariska, M., 2002. Magyarország ipari fái. Szaktudás Kiadó Ház Zrt, Budapest
- Molnár, S. 1999 Faanyagismeret. Szaktudás kiadó, Budapest
- Németh, R., 2012. Fahasznosítás Egyetemi jegyzet, Sopron
- Pozsgayné, F. F., 2023. Acetylation of european hornbeam (*Carpinus betulus* L.) wood for outdoor applications, Doktori disszertáció, Soproni Egyetem, Sopron, 7-15.
- Razaei, F., Corleto, R., Giudice, V., Bak, M., Németh, R., Niemz, P., Gaff, M., Todaro, L. 2024. Water uptake and permeability in sapwood and heartwood of hydro-thermally proceed Turkey oak. Taylor and Francis Group, 4-7
- Rápolti, R., 2014. Hengeres növéstű gyertyán (*Carpinus betulus*) faanyag felületi érdesség-és tapadás vizsgálata, a megmunkálási paraméterek függvényében, Szakdolgozat, Soproni Egyetem, Sopron.
- Richter, H.G., Dallwitz, M.J., 2019. Commercial timbers: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval. <https://www.deltaintkey.com/wood/en/www/betcabet.htm> (hozzáférés 2023.10.25.)
- Rónyai, B. 2021. Szil faanyag rostirányú tömöríthetőségének és egyes fizikai-mechanikai tulajdonságainak vizsgálata, Szakdolgozat, Soproni Egyetem, Sopron.



- Sikkema, R., Caudullo, G., de Rigo, D., 2016. *Carpinus betulus* in Europe: distribution, habitat, usage and threats, in: European Atlas of Forest Tree Species. Publication Office of the European Union, pp. 74–75.
- Skaar, C. (1988) *Wood-Water Relations*. Springer, Berlin, 281.
- Solymos, R., 1993. Improvement and silviculture of oaks in Hungary. *Ann. Sci. For.* 50. 607-614. <https://doi.org/ffhal-00882871>
- Szalacsi, Á., Veres, S., Király, G., 2015. Adatok a síkvidéki gyertyános-tölgyesek erdőműveléséhez: lékes felújítóvágás alkalmazásának gyakorlati tapasztalatai és növényzeti hatásai a szatmár-beregi síkon. *Erd. Közlemények* 5, 85-99.
- Varol, T., Cetin, M., Ozel, H.B., Sevik, H., Zeren Cetin, I., 2022. The Effects of Climate Change Scenarios on *Carpinus betulus* and *Carpinus orientalis* in Europe. *Water. Air. Soil Pollut.* 233, 45. <https://doi.org/10.1007/s11270-022-05516-w>
- Vass D., 2012. A fa, <https://slideplayer.hu/slide/1987696/>

## 6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretnék köszönetet mondani témavezetőmnek, Dr. Báder Mátyás kutatónak a rengeteg segítségért, kitüntető bizalmáért, amelyek hozzájárultak diplomadolgozatom létrejöttéhez. Köszönet a tanulmányom ideje alatt kapott tanácsokért, a témával kapcsolatos beszélgetésekért, az ötletadó gondolatokért, a folyamatos figyelmességért. Köszönetet szeretnék mondani Prof. Dr. Németh Róbertnek, hogy mindig számíthattam rá amikor szakmai tanácsokra volt szükségem, vagy külföldi konferenciára látogatásunk során is segítő kezet nyújtott a nehezebb pillanatokban, valamint köszönöm a lehetőségeket, amiket a tanulmányaimon felüli kutatási feladatokban részesülhettem. Köszönöm Takács Dávid doktorjelöltnek és Kedves Emerencia doktorandusznak a folyamatos segítséget, amivel hozzájárultak a diplomamunkám létrejöttéhez, valamint Gecseg Péter Pálnak a mérésekben való közreműködést.