

Fehér Sándor

Mechanikai sebzések hatása az ezüst hárs (*Tilia argentea* Desf.) és a szürke nyár (*Populus x canescens* (Ait.) Smith) anatómiai, fizikai és mechanikai tulajdonságaira

Doktori (Ph.D.) értekezés

**Témavezető:
Dr. Molnár Sándor
egyetemi tanár**

**Nyugat-Magyarországi Egyetem
Sopron**

2003.

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	2
2. A kutatómunka tudományos előzményei	7
2.1 A hántáskár, mint minőségcsökkentő tényező	7
2.2 A sebzés reakciófolyamatai	11
2.2.1 A kéreg reakciófolyamatai sebzésre	12
2.2.2 A fatest reakciója a sebzésre	14
2.2.2.1 A CODIT modell.....	15
2.2.2.2 A parenchimasejtek reagálása a fertőzésre.....	17
2.2.3 A kallusz.....	21
2.2.3 A sebzés hatása a faanyag minőségre	24
3. Vizsgálati anyag és módszer	26
3.1 A vizsgálati anyag.....	26
3.2 Terepi felvételek.....	27
3.3 Mintavétel az anatómiai vizsgálatokhoz.....	30
3.4 Mintavétel a fizikai, mechanikai tulajdonságok meghatározásához	31
3.5 Vizsgálati módszerek	32
3.6 A vizsgálati eredmények értékelési módszere.....	36
4. A sebzési reakciók és következményeinek vizsgálati eredménye és értékelése	38
4.1 A sebméret és a gyógyulás összefüggése.....	38
4.2 A károsodott szövetek anatómiai vizsgálata.....	41
4.2.1 Az ezüst hárs reakciói.....	41
4.2.2 A szürke nyár reakciói	45
4.3 A károsodott faanyag fizikai-mechanikai tulajdonságai	48
4.3.1 Fizikai jellemzők vizsgálata.....	49
4.3.1.1 Sűrűség.....	50
4.3.1.2 Zsugorodás	52
4.3.2 Mechanikai jellemzők vizsgálata.....	54
4.3.2.1 Nyomószilárdság	54
4.3.2.2 Statikus hajlítószilárdság.....	57
4.3.2.3 Statikus hajlító rugalmassági modulus.....	59

4.3.2.4 Ütő-hajlító szilárdság.....	61
4.3.2.5 Termékszerkezet méretű anyag vizsgálata.....	63
4.4 A kallusz anatómiai vizsgálata	66
4.4.1 A szürke nyár	68
4.4.2 Az ezüst hárs.....	71
4.5 A kallusz fizikai-mechanikai tulajdonságainak vizsgálata.....	74
4.5.1 Fizikai tulajdonságok	74
4.5.1.1 Sűrűség.....	74
4.5.1.2 Térfogati zsugorodás.....	75
4.5.2 Szilárdsági tulajdonságok	77
4.5.2.1 Nyomószilárdság.....	77
4.5.2.2 Hajlítószilárdság.....	78
4.5.2.3 A hajlító rugalmassági modulusz	80
4.6 A kallusz anatómiai és műszaki tulajdonságainak összefüggése.....	81
5. Új tudományos eredmények összefoglalása.....	83
5.1 Eredmények.....	83
5.2 A kutatási eredmények hasznosítása	85
6. Az értekezés tézisei.....	86
7. Irodalomjegyzék.....	88
8. Ábrajegyzék.....	97
9. Táblázatjegyzék.....	100
Köszönetnyilvánítás	102
Mellékletek.....	103

1. Bevezetés

Nemzetgazdaságunk dinamikus fejlődéséhez elengedhetetlenül szükséges a megújuló erőforrások – ilyennek számítanak Magyarország erdei, ill. az azokból kikerülő faanyag is – szolgálatba állítása. Ezt a célt szolgálja a nemzeti erdővagyon tartamos fenntartása és minőségi fejlesztése is. Ahhoz, hogy ezen célok teljesülése maradéktalanul megvalósulhasson, a fahasználati szempontból alapvető faminőség és a különböző károsítások összefüggéseinek megismerése mindig is fontos szempontnak számított. Szükséges feltárnunk azt is, hogy a károsodott erdőkből kikerülő faanyagok, műszaki tulajdonságaik alapján is kielégítse az értékesebb termékek gyártásához szükséges igényeket. Különösen előtérbe helyezi az ilyen irányú vizsgálatokat a faanyagtudomány területén az a tény, hogy az utóbbi évtizedekben az élőfák mechanikai sérüléseinek mennyisége jelentősen megnőtt. Ezt támasztja alá az utóbbi időben, a hasonló külföldi szakirányú kutatások számának növekedése is.

Az élő fák mechanikai sérüléseinek elszaporodása főleg a biotikus károsításokkal áll összefüggésben. A növényi szerveken és szöveteken keletkező sérülések és sebek kiváltó tényezőit két nagy csoportra lehet felosztani (*Igmándy, 1974*):

Abiotikus károsítók

- jégverés
- fagyrepedés
- széltörés
- hótörés
- imissziók

Biotikus károsítók

- baktériumok
- gombák
- rovarok
- emlősállatok
- ember

A sebzéseket okozó élő és élettelen tényezők megsérthetik a leveleket, a kérget, a gyökeret, vagy pedig a fatestet. Ezen sebzésekből eredő károk mértéke általában a sebzés nagyságától és annak előfordulási gyakoriságától függ. Az így keletkező károk, ill. a sebzések következménye (*Gyarmati, Igmándy, Pagony, 1964*) lehet:

- növedékvesztés
- legyengülés
- elfagyás
- fertőzések
 - kékülés
 - fülledés
 - korhadás
- álgesztesedés és egyéb szöveti elváltozások

A sérülések során keletkező felületi hiányosságok a növényen fertőzési kapui ill. gócpontjai lehetnek a másodlagos károsítóknak (gombák, vírusok). Nagyon sok kergen

károsító és minden törzsön belül korhasztó gomba csak a sérüléseken át tud a növényekbe hatolni. Gyakran előfordul az is, hogy az olyan gombák, amelyek képesek a felbőrön, vagy a légzőnyílásokon keresztül behatolni, sebzés esetén viszont már ezt az utat választják az invázióra.

A sérüléseket a növény lokalizálni, begyógyítani ill. az elvesztett részeket újra képezni törekszik. Ez a folyamat a sebgyógyulás, amit regenerációnak nevezünk. A regeneráció gyorsaságát és sikerét befolyásoló tényezők

- a fafaj
- az életkor
- a sebzett rész
 - nagysága
 - gyakorisága
- a környezeti tényezők

A sebgyógyulás folyamata a lombfáknál jobb, mint a fenyőknél, továbbá fiatal korban gyorsabban és tökéletesebben megy végbe. Ugyanez mondható el akkor is, ha a sebzett rész kicsi és kevés. Legveszélyesebbek a gyökér és a fatest sérülései, mivel ezek nehezebben gyógyulnak. A környezeti tényezők közül főleg a növény tenyészetére kedvező klimatikus adottságok segítik elő a sebgyógyulást.

A fentiekben említett károsítók közül mechanikai sérüléseket okoznak a hótörések, jégverések, széltörések, fagyrepedések, valamint az emlősállatok és az ember. Az utóbbi időszakban főleg az emlősállatok és az ember okozta károsítások száma növekedett meg ugrásszerűen. Ezek a sérülések elsősorban az elszaporodott vadállományra, a kíméletlen gépi erdőhasználatra és az intenzív ágnyesésre vezethetők vissza. Az erdészeti munkálatok (tisztítási, közelítési, stb.) során, a károsítók közül főleg a gépi erdőhasználat közben keletkező károkat tudja az ember jelentős mértékben csökkenteni, míg a vadkárosítás esetében a hántáskár mennyiségének a csökkentése már jóval összetettebb feladat végrehajtásokat igényel. Mivel a felmérések alapján a hántáskárból származó károsodások a különböző állományokban jóval jelentősebb értékcsökkenést tesznek ki, mint az erdőhasználatból származók, ezért a kutató munkám során elsősorban a hántáskárból származó mechanikai sebzésekkel foglalkoztam. Továbbá a helytelen gépi erdőhasználat következtében keletkező sebzések többnyire a törzsön közvetlenül a talaj fölött – a gyökfő fölött – találhatók, amelyek a kitermelést követő választékolás során már kisebb problémát okoznak – kivéve a hosszan felnyúló sérülések –, mint a törzsön följebb elhelyezkedő, hántásból származó sérülések.

A szarvas – és így a többi csülkös vad (párosujjú patások) is – az erdei ökoszisztéma része. Így alapvető táplálékukat az erdei növényzet adja. E táplálék egyik sajátos formája a fák kérge, ill. hánca, amelyet a vad az alsó metszőfogaival hánt le. A táplálkozás e sajátos formája közben kéregsérülést – hántást – okozhatnak (1. ábra), ezek a sérülések általában a következő vadfajok rovására írhatók föl: szarvas, dám, muflon és az őz. A seb magassága, nagysága, alakja alapján jól elkülöníthetők a különböző vadfajok károsításai. Ezen vadfajok közül igazán komoly jelentősége a szarvashántásnak van.



Fotó: Fehér S.

1. ábra Vadkárosított ezüst hárs állomány (Zselici Erdészet)

A csülkösvad által okozott sebzések a kéreg sérülései mellett gyakran a kambium károsodását is eredményezik, s ezáltal rendellenes szövetképződések, elszíneződések (2. ábra), tilliszesedés, azaz különböző reakciófolyamatok lépnek föl a fatestben.



Fotó: Fehér S.

2. ábra Makroszkópikus elváltozások a hántáskár hatására ezüst hársnál

A fenti reakciófolyamatok eredményeképpen, a megváltozott szövetű fatestben (kallusz) ill. a károsodott szöveti részekben a faanyag fizikai-mechanikai tulajdonságai megváltoznak, így az ipari felhasználás során a kihozatal jelentős mértékben is lecsökkenhet.

Természetesen ezen sebzéseken keresztül a károsodási folyamat nem fejeződik be, hiszen az így létrejövő kisebb-nagyobb felületű kéreg-, vagy kambiumsebzések fertőzési kapui, ill. gócpontjai lehetnek egy nagymérvű másodlagos gomba- és rovarfertőzésnek. Sok kérgező károsító és főleg a törzsön belül korhasztó gomba csak a sebzéseken keresztül tud a növényzetbe hatolni. Azok a gombafajok is, melyek képesek a növény védőmechanizmusán keresztül behatolni, egy sérülés esetén már a könnyebb utat választják az invázióra. S így, ezen másodlagos károsítások hatására a faanyag fizikai-mechanikai paramétereinek csökkenése következtében nagymérvű minőségromlásra lehet számítani.

Hazánkban a kéregsebzés valamint a különböző eredetű mechanikai sérülések felmérése és kimutatása nem kötelező. Így a befejezett erdősítésekben a legsúlyosabb károsításnak a kéregsebzés számít, amelynek hatása az elő- vagy véghasználatok során mutatkozik meg.

A kéregsebzés által bekövetkezett kár fabiológiai, minőségi, erdőművelési és ökológiai összefüggései jórészt még feltáratlanok. A gyakorlatban léteznek különböző feltevések, tapasztalatok, amelyeket azonban még kellően nem bizonyítottak be tudományos módszerekkel.

Ahhoz hogy a mechanikai sérülések, elsősorban a hántáskár következtében károsodott faállományok faanyaga, a faipar számára értékes faanyagot szolgáltatson, ill. a felhasználási területek kibővítésével a gazdaságos és műszaki követelményeket kielégítő hasznosításuk megvalósulhasson, feltétlenül meg kell ismerni a faanyag felhasználás szempontjából fontosabb tulajdonságait. Különösen akkor, ha ugyanazon törzset többszöri sebzések is károsítják (3. ábra).



Fotó: Fehér S.

3. ábra Többszöri sebzések okozta károsodás (*Populus x canescens*)

A fentiekben megfogalmazott megállapítások alapján a kutatómunkám során elérendő célokat több vizsgálati kérdéscsoport kidolgozásával lehet elérni.

A kutatómunka céljai:

- A kutatás elsődleges célja az volt, hogy egy olyan kutatási módszert dolgozzak ki, amely megfelelő alapot nyújt a felvetett probléma – mechanikai sérülés-faanyagminőség összefüggés – tisztánlátásához, elsősorban a faanyagminőség változásának oldaláról.
- Feltárni a sebzési reakciók lefolyása következtében várható anatómiai elváltozásokat a fatestben, ill. azok következményeit a faanyagminőségre.
- Meghatározni a védekezési reakciók során módosult faanyag fontosabb fizikai és szilárdsági tulajdonságainak változékonyságát a minősítés szempontjából.
- Bemutatni a kallusz (sebszövet) anatómiai jellemzőinek eltérését az egészséges (ép faanyag) szövetek jellemzőitől, ill. feltárni annak várható hatását a kallusz egyéb tulajdonságaira.
- Megvizsgálni, hogy a fa védekezése eredményeként kifejlődő sebszövetek jelentősebb fizikai-mechanikai jellemzői hogyan befolyásolják a fatest tulajdonságait.

2. A kutatómunka tudományos előzményei

Ahhoz, hogy a sebzési reakciók, ill. azok következményeinek vizsgálatával célszerűen tudjak foglalkozni, a kutatási téma hazai és a külföldi szakirodalmának megismerése elengedhetetlenül szükséges. Ismerni kell a sebzések következtében kialakuló reakciófolyamatok lefolyását és a kialakuló anatómiai elváltozásokat. Ugyancsak tisztában kell lenni a kutatások történetével, módszereivel, ill. eredményeivel, valamint a jelenlegi vizsgálati, kutatási trendekkel. Csak ezen ismeretanyagok birtokában lehet a kutatást hatékonyan, célratorően megvalósítani.

2.1 A hántáskár, mint minőségcsökkentő tényező

A mechanikai sérülések felvételezési, meghatározási problémáival a hazai kutatók közül *Keresztes (1991)* ERTI kutató foglalkozott részletesen. Munkája során a sérüléseket méret szerint, cm^2 -ben kifejezve csoportosította. Vizsgálataival megállapította, hogy a legtöbb sérülés a 100-350 cm^2 -es tartományba esett. Adatainak az értékelése során különböző mutatókkal számolt:

- a sérült fák száma 1 ha-on,
- a sérült fák fatérfogata 1 ha-on,
- a sérülések száma 1 ha-on,
- a sérülések átlagos felülete,
- a sérülések összes felülete 1 ha-on,
- a sérült fák aránya %-ban,
- 1 db fára eső átlagos sérülési felület.

Annak eldöntésére, hogy melyik mutatóval jellemezhető legjobban egy állomány károsítási állapota, összefüggés-vizsgálatot végeztek. Ennek eredményei azt mutatták, hogy a mutatók többnyire függetlenek egymástól, tehát mindegyik alkalmas a károsítás adott területének a jellemzésére. A sérülések növekedéscsökkentő és minőségrontó hatást okoznak. E hatások mértékére nagy befolyással vannak a sebzés körülményei és a seb tulajdonságai:

- A seb méretei: abszolút nagysága, aránya a fa méretéhez, a sebzés helyén lévő kambium gyűrű ép és sérült részének viszonya, a seb mélysége, roncsoltsága.
- A seb elhelyezkedése, magassága a törzsön.
- A sérülése időpontja (évszak).
- A sérült fa állományszerkezeti és erdőnevelési helyzete.

A seb méretei befolyásolják a "gyógyulás", a benövés időtartamát, valamint a "benőtt göcs" méretét és azt, hogy mekkora erőt von el a fa növekedésétől a seb begyógyulása. A sebeknek a gyökfőtől való távolabbi elhelyezkedése mérsékli a káros hatást. A fák "sebforradó" képessége eltérő, a fafajtól és az élettani ciklustól függően. Nem egyformán sérülékeny a kéreg a különböző évszakokban, de a gombák terjedésének intenzitása sem

azonos az év minden szakaszában. A sérülés a tápanyag- és a vízháztartás súlyos megromláshoz vezethet.

A vadkárra vonatkozó szakirodalom széleskörű, amelyekből csupán a lényegi részekre térek ki:

Kroth (1985), majd **Bartelheimer, Kollert (1990)** az egységes és a megfelelő szakvélemény adásához – a vadkárbecslés esetében – segédeszközül táblázatokat állítottak össze. Az értékelés során csak azokat az egyedeket vették figyelembe a károsítás szempontjából, amelyek a kitűzött cél érdekében szükségesek.

Bencze és társai (1977) megállapítják, hogy a szarvas által okozott károk (kéreghántás) számottevően terhelik az erdőgazdálkodást. A károk becslésekor az egyéb (rovar, gomba, mechanikai) károkat el kell különíteni a vad által okozott károktól. Számításaik alapján az enyhe és a közepes károk gazdaságilag elviselhetőnek tekinthetők.

Bencze (1978) szerint a vadkárok hátterében elsősorban a túlszorodott szarvasfélék és egyéb növényevő vadfajok állnak. Bonyolítja a vad és a környezet kapcsolatát az erdőgazdálkodás intenzitása, az erdők vadeltartó-képességének esetenkénti csökkenése. Ide tartozik a vadról való elégtelen gondoskodás, a hiányos vagy szakszerűtlen táplálkozás, az egyoldalú téli etetés. Végül az erdővédelmi, ill. vadkár megelőzési rendszabályok végrehajtásának elmulasztása.

Bondor és társai (1988/89) az ERTI-ben végzett kutatásaik összegezéséként megállapították, hogy a vad az erdő életközösségének része, de túlszorodva a mező- és erdőgazdaságban jelentős károkat okozhat. A vadkár megállapítását az erdőérték számítás segítségével közelítik meg. A kéreghántás, a rágás és a dörzsölés mennyiségi és minőségi kárt okoz. A kárképet a károsítás bekövetkezése után azonnal észlelni lehet. Az idő haladtával – a sebfertőzések következtében – a minőségromlás, vagyis a kár fokozódhat. A sérült fa térfogat gyarapodása kisebb, így a növedéke is kisebb lesz.

Ghimessy (1987) elkülöníti a befejezetlen és a befejezett erdősítések károsítását. A károsítás mértéke, nagysága jellemző a károsító vadra. A nagyobb, összefüggő erdőterületek fő károsítói a szarvas, muflon és a dämvad. A legtöbb erdőművelési hátralek a szarvas károsításának köszönhető. A befejezett erdősítésekben a fő károsítás a kéregrágás, melyet a kambium sérülése miatt a tűzkárhoz hasonlóan kell elbírálni. A sérült fák kitermelését lehetőleg minél hamarabb el kell végezni, mivel ezek a fák egy-egy kedvezőtlen időjárási helyzet esetén gócaivá válhatnak a másodlagos károsítóknak.

Hauer (1989) Cervidon, Cervacol, Nevibes, valamint Silvasan faseb kezelő szer védőhatásáról számol be. A Cervidon tapadóképessége annyira egyedüli, hogy a hántáskárok ellen a fák törzsére vastagon felkenve védőhatását a kenés megismétlése nélkül is több éven át megőrzi. Silvasannal kezelt sérült felületek gyorsabban és fertőzés mentesebben gyógyulnak, mint a kontroll fákon kezeletlenül hagyott sebfelületek.

Ivancsics (1983) rámutat, hogy hántásra lehet számítani a fiatal korú erdőkben egészen a rudaskorig. Véleménye szerint jelentősebb mértékű hántással fenyesekben, bükkösökben és gyertyánosokban találkoztunk. A hántási károk akkor számottevőek, ha azok 50%-nál nagyobbak, ugyanis ekkor már az állományokban lékek keletkeznek. Csak az erdei vegetáció és a vad harmonikus kapcsolata biztosíték arra, hogy az ökoszisztéma egyensúlyi helyzete fennmaradjon.

Jakus (1974) munkájában főként a biológiai védekezésre irányítja a figyelmet, így a takarmányozási és vadföldgazdálkodási kérdésekről ír, valamint a siló jelentőségéről a vadkárelhárításban. Nagy jelentőségűnek tartja a cserjék, lágyszárúak jelenlétét, valamint az okszerű legelőgazdálkodást.

Kató (1969) a törzskorhadás által okozott veszteséget méri fel az észak-szász állami lucfenyvesekben (5,3 millió DM), amelyből a vadkár okozta sebkorhadás 2,6 millió DM (közel 50%!). Az átlagos hántási magasságot 1,3 m-ben állapították meg. A luc esetében a károsítás korhatára 10-45 év. A felső korhatár 75 év.

Kató (1983) szerint a hántáskár értékelése és megoldásának lehetősége nem egyszerű dolog, jóllehet a gyakorlat számára igen fontos egy egyszerű eljárási mód kidolgozása. Az értékelés alapját mindenképpen nem az egyes fák adatai szolgálják, hanem a hántott fák egy nagy csoportja. Az értékelés kiindulási adataként legjobban a mellmagassági átmérő felel meg.

Diehl, Seidenschur (1990) munkája alapján a hántáskárok esetében a seb szélessége 1 és 16,7 cm között mozog bükk állományokban, átlagosan 7 cm. A hántáskár százalékos aránya pedig átlagosan 36%, de elérheti akár az 57%-ot is.

König (1968) megállapította, hogy a szarvas által okozott hántás kérdése nagyon összetett probléma. A téli hántás esetében a döntő faktor a táplálékhiány. Adatai szerint a hántás jelentős része (70%-a) télre esik a hőmérséklettől függő keményítőoldódásnak az idejére és ezért a parenchimaszövetekben lévő maximális cukortartalomnak a periódusára. A kéreg (háncs) víztartalma és a hántás periódikája összefüggést mutat.

Kőhalmy (1987) főként a vadkár becslésére ad iránymutatást, valamint a kárképek felismerésére, a különböző károsítási formák elkülönítésére.

Kőhalmy (1990) általános képet nyújt a magyarországi vadkárhelyzetről, mind a mennyiségi, mind pedig a minőségi vadkár vonatkozásában. Ismerteti a kárformákat, majd pedig a kárelhárítás lehetőségeit, az egyedi- és a területvédelmi lehetőségeit.

Lemke (1977) tapasztalatai szerint az erősen hántott fafajok a lucfenyő, a tölgy, a duglászfenyő, a szelídgesztenye, a bükk, a fűz, a nyár, valamint az erdeifenyő, kevésbé kedvelt a hárs, a vörösfenyő, a jegenyefenyő és a cser.

Linde (1938) munkájában a 21-25. oldalon látható képekkel nagyon jól demonstrálja azt az állapotot, amit a szarvas a hántással okoz. A képeken lucfenyőn okozott hántás, ugyanezen fafaj gyökérhántása, szintén a lucfenyő nyári hántása, valamint 70-90 éves hántott bükkállomány látható.

Mayer (1984) Tirolban az erdőpusztulás egyik okaként a vadkárt jelöli meg.

Nagy (1969) az Alsó-Duna árterén vizsgált magyar kőris (*Fraxinus angustifolia* ssp. *pannonica*, Soó) állományokban a törzsek É-i oldalán a hántás magassága 1,68 cm volt, míg a D-i oldalon 1,1 m. A hántás azonban minden esetben a gyökfőnél a talaj felett kezdődött. A kéreg tartomány analíziséből az a következtetés vonható le, hogy annak gazdag Ca és P tartalmára szüksége van a szarvasnak.

Nagy (1978) a lucfenyő hántását vizsgálva az alábbi kárkategóriákat alkalmazta:

1. erős hántás (a kéreg körkörösén hántva),
2. közepes hántás (a kéreg félig hántva),
3. gyenge hántás (a kéreg 15%-ban károsítva),
4. nyomokban hántolt (a hántás alig látható),
5. ép egyed (nem károsított).

Az erős hántás következménye a fa pusztulása, a közepes hántás esetében a pusztulás lassúbb, gyakori a másodlagos károsítók fellépése. A 3. és 4. kárfokozatban a sebzést igyekeznek a fa benőni.

Nagy (1990) szerint komoly probléma, hogy erdeink vadkár felmérése nem kötelező, így a kár mértékéről akár helyileg, akár pedig országos viszonylatban nincs adatunk.

Páll (1930) szerint a vadkár, mint probléma nem mai keletű. Erre mutat rá **Páll** szakcikke is a **ZEFAG (1989)** vadkárvizsgálatánál. A fenyő állományokban jelentkező vadkárosításról ugyancsak **Páll (1992)** készít átfogó tanulmányt (doktori értekezés). A lucfenyőnél megállapított jelentős (50-100 millió Ft) hántáskárok kapcsán rámutat arra, hogy e probléma hatásos intézkedéseket igényel.

Tardosi (1969) a vadkár csökkentésére több javaslatot is tesz. Elsősorban a természetes tápanyagot helyezi előtérbe, az erdő kívánt sűrűségben tartása, zsenge gyepszint, mesterséges sarjaztatás, stb. Vadlegelők, vadföldek létesítése szintén javasolt, valamint a silótakarmányok alkalmazása. Véggkövetkeztetésként levonja, hogy a vadkár mértéke mind szakmai, mind gazdálkodási, mind pénzügyi keretek között elfogadható mértékű lehet!

Vanek (1958) szerint a hántott törzsek fatömege kisebb, mint az egészségeseké. Gazdasági szempontból azonban sokkal nagyobb jelentőségű a fatömeg csökkenésnél a hántási kár következtében fellépő szerfakihozatal csökkenése. Megállapítást nyert, hogy a hántott állományú erdőrészen négyszer annyi tűzifát voltak kénytelenek termelni, mint az egészséges állományú ellenőrző területrészen. A hántási kár következménye továbbá az évgyűrűk rendellenes növekedése, az évgyűrűk nem egyforma szélessége, a kéregbenövés, valamint a létrejövő fakéreg leválások. A hántás következtében a fa alkalmatlanná válhat rétegeltlemez készítésre. A keménykorhadás által megtámadott fa már nem alkalmas farostnak (papírfának), a lágykorhadásos fából pedig szerfaválasztékot nem lehet előállítani.

Walterné (1978) kísérleteivel bebizonyította, hogy a tű- és lomblevelű fafajok is érzékenyen reagálhatnak a rágást szimuláló csúcs- és oldalcsonkításra. A csonkítás kihat a gyökérfejlődésre is, melyet a felvételi adatok is alátámasztanak.

Walterné (1988) szerinti szakirodalmi feldolgozás megmutatja, hogy más államokban is súlyponti kérdés a vadkár, a vadkár elhárításának lehetősége, felmérési metodikájának kidolgozása, s nem utolsósorban a vadkár térítése.

Walterné (1990) áttekintést nyújt a magyarországi vadkárhelyzetről, a kárformákról. A vadkár a környezet és a vad közötti kapcsolat egyik következménye. Létrejöttének oka több tényezőre vezethető vissza.

Walterné (1991) rámutat, hogy növényvédelmi kutatások keretében dolgoznak a károkozás-veszteség összefüggésének kimunkálásán. Ennek eredményei támpontot adnak annak eldöntésében, hogy a növényvédelmi intézkedések gazdaságossági szempontból ésszerűek-e vagy sem, ill. segítséget nyújthatnak azok elbírálásánál.

Zalaegerszegi Erdőfelügyelőség (1989) megállapította a vadkárosítás vizsgálatával, hogy annak nemcsak erdővédelmi, hanem gazdasági hatásai is vannak. A vadkárosítás biológiai, technikai és fatechnológiai hatását tovább kell vizsgálni. A vadkárosítás azáltal válik elsősorban veszélyessé, hogy a sérülés helyén a törzset farontó gombák támadják meg. Vizsgálataik szerint a fatörzsön valamennyi egy éves sebnél már találkozni lehetett a másodlagos károsítókkal. A sebtől a gomba mind a tő, mind a csúcs felé terjed, kezdetben elszíneződést, majd korhadást okozva. A fő gond az, hogy a gomba az élőfában akkor is kifejti hatását, amikor a károsítás már megszűnik. A gomba 10 év alatt a megtermelt faanyag 40-45%-át képes használhatatlanná tenni.

Hajdú (1994) a vadkárosítás mértékét vizsgálta a zselici ezüst hársasokban. A ezüst hárs értékes fafaj, állapítja meg, viszont vadkárosítástól nagyon veszélyeztetett. Fiatal korban a csúcshajtás és a rügy lerágásával, idősebb korban pedig a kéreg lehántásával okoz a vad súlyos károsítást az állományokban.

Walterné (1998) a vadkár elleni védekezés lehetőségeit vizsgálva megállapítja, a vadfajok táplálkozásbiológiája és a kéreg beltartalmának ismeretében lehet hathatós intézkedésekkel csökkenteni a vadkárok mennyiségét.

Andrásevits (2000) a vadkár elleni védekezési módszerek gazdasági vonatkozásait elemezte. Az erdőkárok kezelésére a Genfi Egyezmény égisze alatt egy programot dolgoztak ki, melyhez Magyarország 1985-ben csatlakozott. A program fő célja a fák egészségi állapotának felmérése, valamint az azonosítható abiotikus és biotikus károk regisztrálása.

Nádas (2002) a somogyi erdők vadkárhelyzetével foglalkozik, amiben megállapítja, hogy az elmúlt két évben mind a mennyiségi és mind a minőségi vadkár megnőtt, ami a károkból származó és a védekezési költségek ugrásszerű növekedéséhez vezetett.

Végezetül pedig figyelemre méltó **Polacsek, (1993)** osztrák szakember véleménye, aki szerint a vadkár oka legtöbbször emberi mulasztásra vezethető vissza, és csupán a probléma tartós megoldása intenzív vadászattal nem érhető el.

A vadkárokkal foglalkozó irodalmat áttekintve, úgy tűnik a nagyvadak okozta mechanikai sérülések (hántáskár) jelentős károkat okozhatnak még a jövőben is az erdőgazdaságoknak mind mennyiségi, mind minőségi szinten. Tehát olyan kutatási területről van szó, mely nem véletlenül keltette föl a kutatók figyelmét a világ számos országában.

2.2 A sebzés reakciófolyamatai

Az Egyesült Államokban és Nyugat-Európában már az 50-es évek vége óta folynak kísérletsorozatok az idős fák ápolásával kapcsolatban **Alex Shigo** professzor vezetésével. A kísérletek során több mint 15 000 erdőben és városokban álló fa vizsgálatára került sor. Már a munkák kezdetén megfigyelték (**Shigo, Larson, 1969**), hogy a fák egy védekezési zónát alakítanak ki, amellyel megpróbálják az egészséges és a korhadt farészt egymástól elkülöníteni. Így előfordulhat, hogy a fa belseje teljesen el is korhadhat, míg a gátzónán kívüli farész és a hancs épen marad, s működik tovább. Az élő fák már a sebzések előtt is, amikor még nem károsodtak valamilyen külső károsító által, rendelkeznek ezzel a védő mechanizmussal. A védekezési mechanizmus viszont csak a fa sérülésekor aktiválódik a fában lejátszódó kémiai folyamatok hatására. A fa az állati szervezetekkel ellentétben a sérüléseket nem úgy pótolja, hogy az elpusztultakhoz hasonló szöveteket épít újra a pusztulás helyén (**Bauch, Shigo, Starck, 1980**), hanem teljesen új „testrészeket” fejleszt. Ennek a védelmi rendszernek a kialakulása során fejlődnek ki védőzónák, melyek a gyógyulási folyamat sikerének érdekében próbálják az elpusztult részeket elszigetelni.

A fentiekben a sérülésekről csak általánosan volt szó, a következő részben viszont konkrétan a fák védekező mechanizmusát szeretném bemutatni.

A fák a különböző károsítások ellen úgynevezett strukturális sajátosságokkal védekeznek, mint pl. a kéreg. A kéreg védi a belső szövetrétegeket a különböző sérülésekkel, mikroorganizmusokkal ill. az időjárás okozta hatásokkal szemben. Ha mégis olyan sérülés keletkezik, amely mély, azaz a vaszkuláris kambium is megsérül, a fa a sérült részt különböző védekező mechanizmusok segítségével megpróbálja elhatárolni és egy új védőzónát épít fel (*Shigo, Sharon, 1968*).

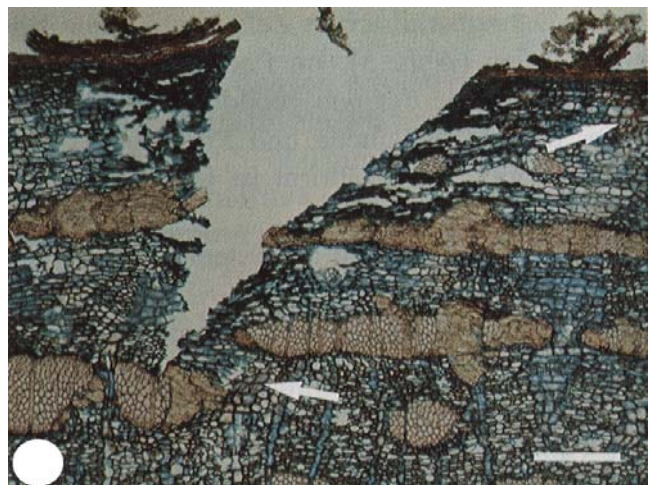
A sérüléseket a keletkezési helyüket tekintve két csoportra lehet felosztani (*Liese, Dujesiefken, 1988*).

- Kéreg sérülése
- Fatest sérülése

2.2.1 A kéreg reakciófolyamatai sebzésre

A kéreg sérülését felületi sérülésnek is nevezzük, amely viszonylag hamar regenerálódik, hiszen ebben az esetben csak a parakambium sérül meg. A kéregállományban sérüléskor fellépő reakciókat strukturálisan elsősorban *Biggs (1984, 1985)*, majd a 90-es években *Oven, Torelli (1994)* írta le. A kéregben lezajló reakciófolyamatot vizsgálta *Trockenbrodt* és *Liese (1991)* is. Mesterséges sebzéseket ejtettek rezgő nyár (*Populus tremula*) és platán (*Platanus x acerifolia*) kérgén, anélkül hogy a kambiumot megsértették volna. A sebzést követően meghatározott időközökben fény és floureszcensz mikroszkóppal vizsgálták a reakciófolyamat időbeli lefolyását. A kéregben végbemenő reakciók közel egy évig voltak felismerhetők:

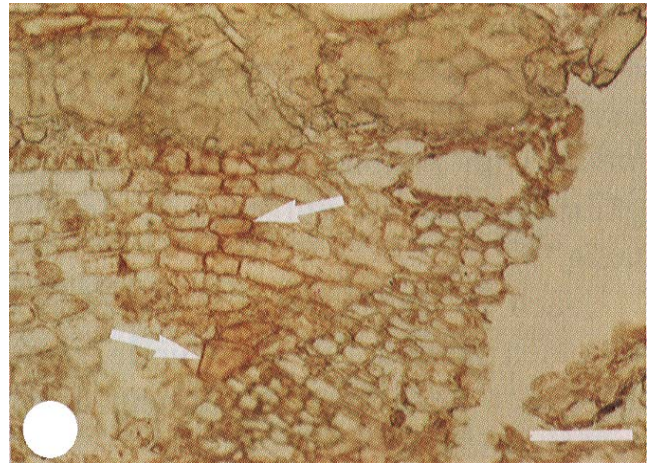
- Már egy nappal a sérülés után a seb peremén a fellodermban néhány sejt gyengén barnásan elszíneződik. Ez az elszíneződés mintegy négy napig tart, melynek során mind több sejtnél jelentkezik ez a folyamat.
- A hetedik nap után elkezdődik egy lignifikálódási fázis, amely közvetlenül a seb alatt és a fellodermban ismerhető föl a legjobban a kéreg sejtjeinek egyre növekvő intenzitású elszíneződése útján.
- A tizedik nap után ennek az úgynevezett reakciózónának a sejtjei már világosan, jól látható módon lignifikálódtak (4. ábra).



4. ábra Lignifikáció a felloderma sejtjeiben.

Trockenbrodt, Liese (1991) [méretvonal: 500µm]

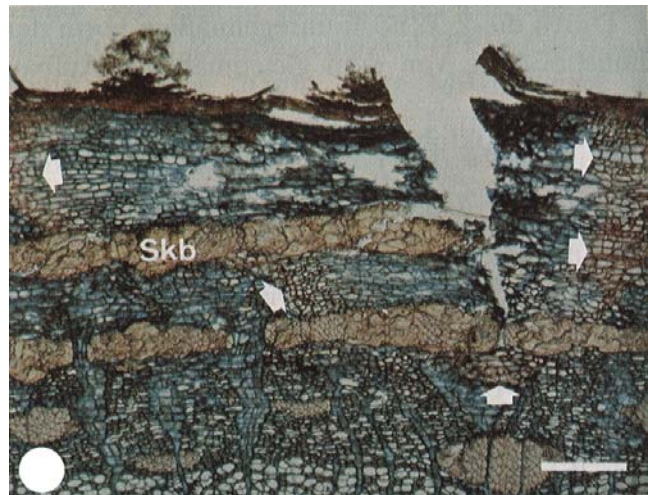
- A reakciózóna sejtjeiben a lignin berakódást követően, a záródást erősítendő szuberin berakódás figyelhető meg a sejtfalakban (5. ábra).



5. ábra A sejtfalak szuberinizálódása.

Trockenbrodt, Liese (1991) [méretvonal: 500 μ m]

- A 14. nap után viszont már legalább egy 5 sejtsornyi szélességű ellignifikálódott gyűrű alakú zóna veszi körül a sebzés helyét (6. ábra), ahol természetesen egyre több sejtnak a falában jelenik meg a szuberin, mint védőréteg. A külső kéregben ezt a zónát gyakran több, folytonos lefutású tangenciális irányba rendeződő szklereidák (Skb), azaz kősejtek és háncsrostok szakítják meg.



6. ábra Összefüggő védőzóna a kéregben.

Trockenbrodt, Liese (1991) [méretvonal: 500 μ m]

- A 21. napot követően a lignifikálódott zónával szomszédos sebkörüli területen néhány sejt a seb szélével párhuzamosan osztódni kezd. Ezzel tehát a reakciózóna feloszlik egy széles, lignifikálódott – néhány szuberinizálódott sejttel – területre és egy újonnan képződött, szintén szuberinizálódott sejtekből álló területre. A fellodermában ez a szuberinizálódás csak gyengén zajlik le. Az újonnan keletkezett sejteknek a sejtfala szinte teljesen megfelel a fellomban lévő sejtfalak felépítésével, azaz a középréteg és az elsődleges sejtfal lignifikálódott, a másodlagos, ill. harmadlagos sejtfal pedig szuberinnel telítődött. A sejtek alakja általában rendszertelen.
- A 28. nap után a fellomhoz hasonló sejtekből álló zóna kiszélesedik és a sebet nagyrészt körbeveszi, anélkül hogy a peridermát elérné. A reakciózóna legbelső

sejtjei osztódási irányukban és alakjukban megközelítően hasonlítanak a fellom sejtjeire.

- A 35. és a 42. napot követően ez a zóna tovább fejlődik és a 49. nap után kiterjed, csak nem az első periderma fellomjáig, majd a ritidómában ez a zóna fokozatosan széteszlik, bár ennek a zónának a sejtjei a rendszertelen alakjukon keresztül elkülöníthetők a periderma egyöntetű felépítésű sejtjeitől. Közel ebben az idő intervallumban kialakul a fellogén, ami létrehoz egy új peridermát, s ezzel elkezdődik a sérült felület bevonása egy védőréteggel.
- Végül mintegy 200 nap után már nem ismerhető fel további "sebzési reakció" a kéregben.

A hársnál is hasonlóképpen zajlik le ez a folyamat (*Liese, Dujesiefken, 1989a*). Néhány nappal a sebzés után a közelben lévő parenchima sejtek elhalnak, majd elszíneződnek. Mintegy 9 nap után a még élő parenchimatikus sejtek kórosan megnagyobbodnak és a holt szövetek alatt kialakul a parenchima blokk. A 16. nap után a parenchima blokkon kívüli sejtek lignifikálódnak, majd ezután néhány nappal később ezek a sejtek elvarasodnak. Végül a sebzés után 40 nappal kifejlődik a fellogén, amely létrehozza a peridermát, s így bevonja a sérült felületet egy védőréteggel. A sebzés után mintegy 200 nappal már a hárs esetében sem tapasztalható védekező reakció a sebzés következményeként.

Hasonló eredményekre jutottak fenyők (*Kucera, 1971; Mullick, 1975; Bangerter, 1984; Woodward, Pearce, 1988*) és kemény lombos fafajok (*Trockenbrodt, 1990*) sebzési reakcióinál a kéregben. Sérülés után először a seb közvetlen közelében lévő parenchimatikus sejtek elhalnak, majd barnás oxidációs elszíneződés következik be, mint pl. a rezgő nyárnál.

2.2.2 A fatest reakciója a sebzésre

A fatest (xylem) sérülései esetén már jóval nehezebb és lassúbb a gyógyulás folyamata (*Shigo, Sharon, 1970; Shigo, Shortle, Garrett, 1977*), mert itt már a vaszkuláris kambium is megsérül. Ebben az esetben a seb széléről, az élő szövetből hegedési szövet (kallusz) képződik, amely a seb szélén kidomborodik. Kisebb sebek esetén ezek összeérnek és a sérülés begyógyul. A hegedési szövet differenciálódhat fa-, ill. hánccselemekké és a felületén pedig periderma jön létre. A kalluszból képződő sebzési fa hullámos, szabálytalan rostlefutású, s ez a szövet általában több parenchimat tartalmaz (*Gencsi, 1980*). A seb közelében levő edények, rostok és parenchimák módosulnak. Mindez makroszkópiusan is felismerhető (elszíneződés).

A sebzések hatására a fatestben különböző reakció folyamatok mennek végbe, ezen reakciókra irányuló vizsgálatokat időrend szerint két csoportra lehet bontani. A 80-as évek előtti kutatások többnyire inkább csak a reakció folyamat leírására terjedtek ki (*Nelly, 1970; Houston, 1971; Shigo, Wilson, 1971; Eckstein, Liese, Shigo, 1979*). A sebzés következtében viszont a cellulóz szinten végbemenő folyamatok még nem ismertek kellő mértékben. Ezért a 80-as években új irányt vettek a vizsgálatok, melynek során számos kutatás foglalkozott a

sebzési reakció finomszerkezetével. Ilyen irányú vizsgálatok voltak többek között, *Armstrong, Shigo, Funk, McGinnes, Smith (1981), Bauch (1986), Biggs (1987), Dujesiefken, Ebenritter, Liese (1989), Schmitt, Liese (1992a)*, valamint *Torelli, Krizaj, Oven (1994)* munkái.

A sebzési reakciók vizsgálata területén igazi áttörést a 70-es évek második fele jelentette, amikor is *Shigo* és *Marx (1977)*, *Shigo (1984, 1985, 1986)* kidolgozták kutatásaik alapján a fák különböző sebzések, sérülések hatására kialakuló védekező mechanizmusának modelljét, amelyet CODIT (Compartmentalization of Decay in Trees) modellnek neveztek el. A fák védekező mechanizmusának (CODIT) vizsgálatával kiemelkedő munkát végzett *Liese és Dujesiefken (1988, 1989a)*. Ugyan ebben az időszakban a vizsgálataikat kiterjesztették a sérülés keletkezési idejének (*Liese, Dujesiefken, 1989b; Dujesiefken, Liese, 1990, 1991*), valamint a favédőszer hatásának az összefüggéseire a gyógyulási folyamatban (*Dujesiefken, Liese, 1988, 1992*).

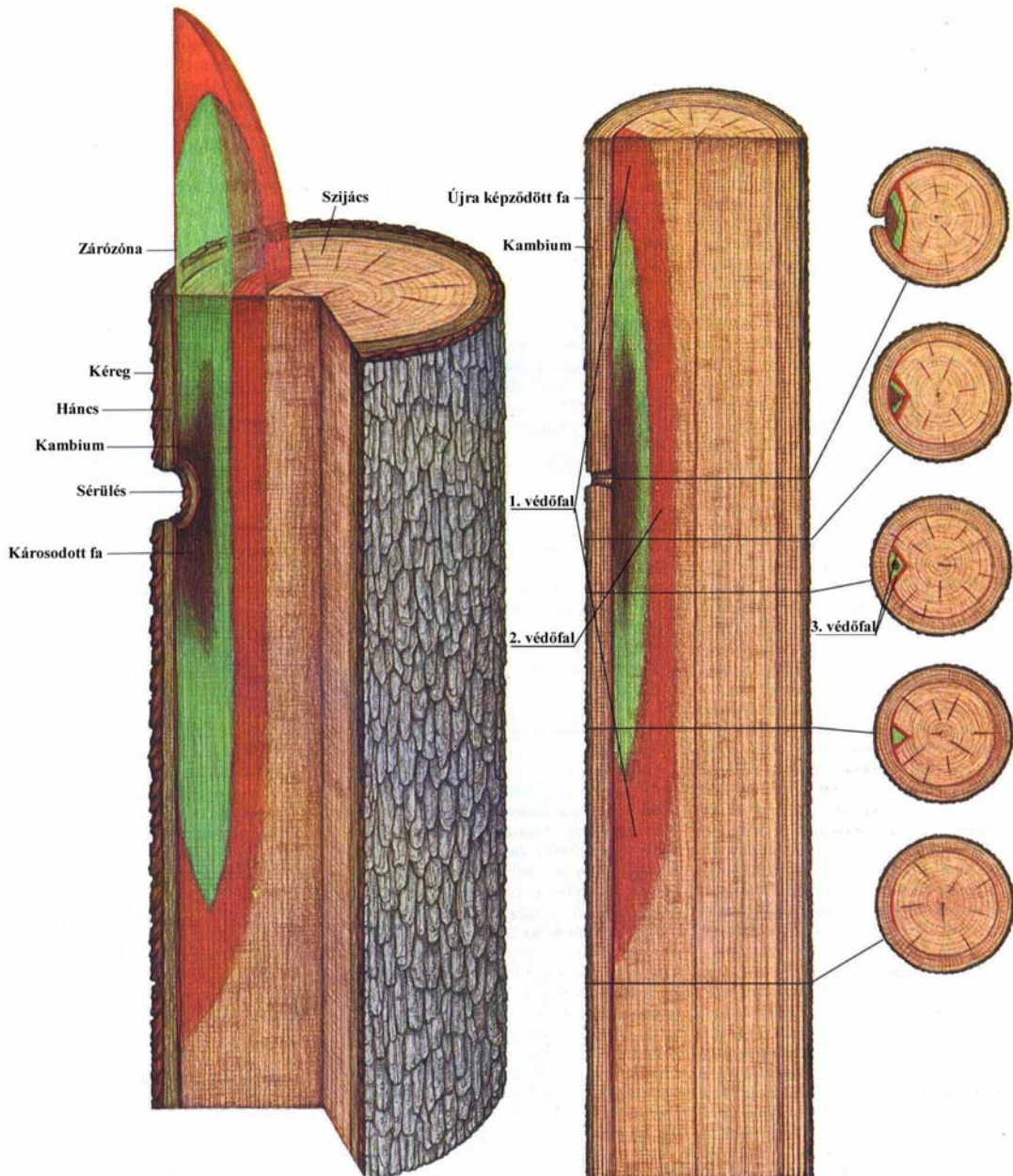
2.2.2.1 A CODIT modell

A modell azt fejezi ki, hogy a fák védekezési zónát alakítanak ki, amellyel az egészséges farészt a korhadótól elválasztják. A védekezés során a fa három védőfalat hoz létre, annak érdekében, hogy a "nyitottá" váló fatest belsejében a fertőzés ne terjedjen tovább (*Shigo, 1985*). Ezek a védőgátak már léteznek a fában, csak a sebzés hatására a növény megerősíti azokat. Az 1. védőfal akadályozza meg a fertőzés függőleges irányú továbbterjedését. A 2. védőfal a bél irányába (sugár irány) való terjedését, míg a 3. védőfal pedig az oldal irányú terjedést hivatott megakadályozni. A három védőgáton felül a fa még létrehoz egy negyedik, új védekezési zónát a kambium mentén – amely a korábbiakban nem létezett –, annak érdekében, hogy az újonnan kialakuló egészséges faanyagot elhatárolja a már betegtől. Ezt a nemzetközi irodalom egységesen "barrier zone"-nak (zárózóna) nevezi. Ez az egyetlen olyan védőfal, amely a károsodás előtt még nem létezett. A 7. ábra nagyon jól szemlélteti a fák fentiekben leírt védekező mechanizmusát, ahol a sötét barna szín jelöli a már megbetegedett (korhad) faanyagot, a zöld szín pedig a még csak fertőzött területet. A fertőzött (zöld szín) farész fölött és alatt lévő piros szín jelképezi a 1. védőfalat, a bél felőli oldalon látható piros pedig a 2. védőfalat, míg a 3. a sebtől jobbra és balra helyezkedik el. A záró zóna pedig közvetlenül a kambium mentén helyezkedik.

A fa rendelkezik egy természetes függőleges irányú szállítórendszerrel, amely lombos fáknál edényekből és áledényekből áll, míg fenyőknél csak áledényekből. A fertőzés után ezt a tulajdonképpeni csőrendszert kell a fának elzárnia, mert ez egy természetes, viszonylag könnyű terjeszkedési útvonal a mikroorganizmusok részére. Az itt található, úgynevezett érintkező parenchimák, melyek a védekezés során tilliszeket hoznak létre, vagy pedig különböző szemcsés, ill. kristályos tömítő anyagokat termelnek a szállítórendszer elzárására. Az 1. védőfal viszonylag gyenge, mert a fennmaradás érdekében a növény nem zárhat el minden szállítósejtet, továbbá a fertőzés függőleges terjeszkedése relatíve jelentéktelen.

A 2. és a 3. védőfalat szintén meg lehetett találni a fertőzés előtt, ezek természetesen is léteznek, az évgyűrűk és a bélsugarak. Az évgyűrűk a befelé irányuló, míg a bélsugarak az

oldalra terjedő fertőzéseket igyekeznek meggátolni. A kambium általában a legtöbb fafajnál az évgyűrűk határán egy különleges sejtekből álló réteget hoz létre. A lombosfáknál ezek a határparenchimák – amelyek lehetnek inicial, ill. terminal parenchimák –, a fenyők esetében pedig vastag falú ellaposodott tracheidák. Az évgyűrűhatárok viszonylag egy közepes erősségű védőgátat képeznek, a bélsugarak már viszont egy kimondottan erős gátat jelentenek. A fertőzés után ezek a természetes falak kémiai úton még jobban megerősödnek. Abban az esetben, ha ez a természetes védőfal hiányzik, akkor a fertőzés rögtön szétterjed legyezőszerűen a faanyagban. Így alakulnak az egyes fafajokban a nagy méretű üregek, oduk.



Shigo (1985)

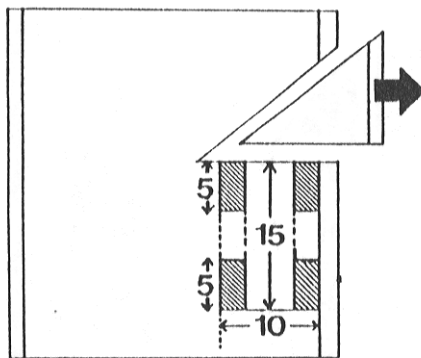
7. ábra A fa védőzónái (CODIT modell)

A 4. védőfal, azaz a zárózóna a legfontosabb talán, hiszen ez védi meg a sebzés után létrejövő évgyűrűket a fertőzéstől. Ez a védőzóna viszonylag keskeny és csak csekély mértékben járul hozzá a fa mechanikai megerősítéséhez, de ennek ellenére egy valóban erős védőgátat képez a mikroorganizmusokkal szemben. Többnyire átjárhatatlan a gombák és a baktériumok számára.

2.2.2.2 A parenchimasejtek reagálása a fertőzésre

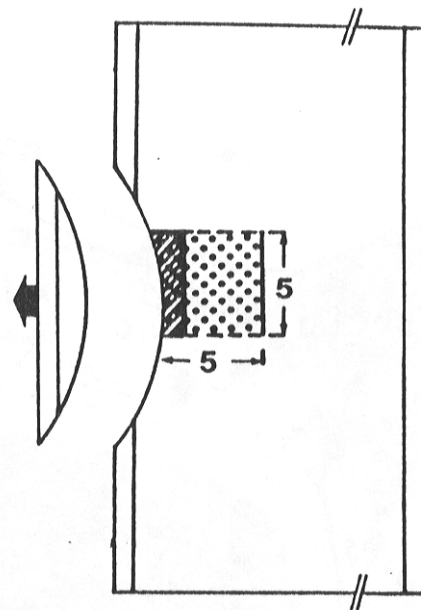
A fertőzés hatására a parenchimasejtek különbözőképpen reagálnak, ennek alapján el kell különíteni a hossz- és a bélsugárparenchimákat. Így a reakciófolyamatok megismeréséhez eltérő sebzést kell alkalmazni mindkét esetben.

A sebzési reakciók finomszerkezetének megismeréséhez a 8-9. ábrán látható módon ejtettek mesterséges sebzéseket a fákon és vettek mintákat a mikroszkópos vizsgálatokhoz **Schmitt és Liese (1993)**. A 8. ábrán látható mintavétel az axiális irányú reakciókat, a 9. ábrán megfigyelhető módszer pedig a radiális irányú védőzóna kialakulását hivatott bemutatni.



Schmitt, Liese (1993)

8. ábra Mintavétel axiális irányú vizsgálathoz



Schmitt, Liese (1993)

9. ábra Mintavétel radiális irányú vizsgálathoz

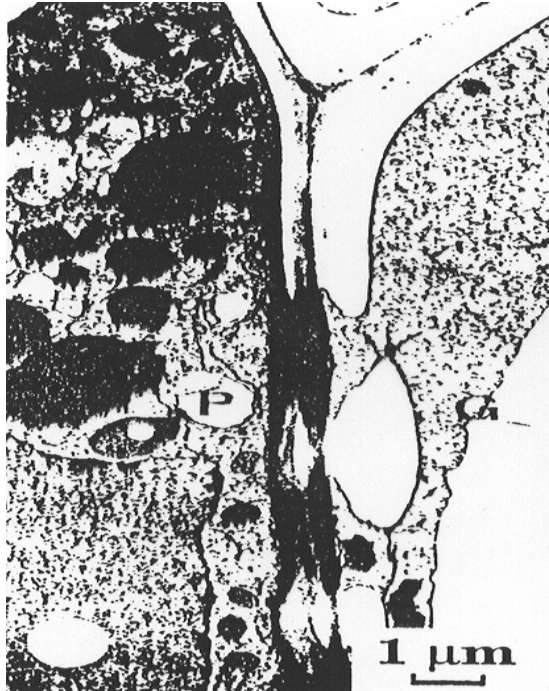
A xylem (fatest) mechanikai sérülésekor fellépő sebzési reakciók védik a szövet mélyebben fekvő, funkcionális szöveteit a levegőembóliától és a behatoló mikroorganizmusoktól. Ehhez a seb közelében módosulnak az edények, a rostok és a parenchimák.

A mechanikai sérülésekre az egyes fajok különbözőképpen reagálnak, e szerint két nagy csoportba lehet őket besorolni:

- Tillisz nélküli fajok
(*Betula pendula*, *Tilia sp. stb.*)
- Tilliszképzésre alkalmas fajok
(*Quercus sp*, *Fagus sylvatica*, *Robinia pseudoacacia*, *Populus sp. stb.*)

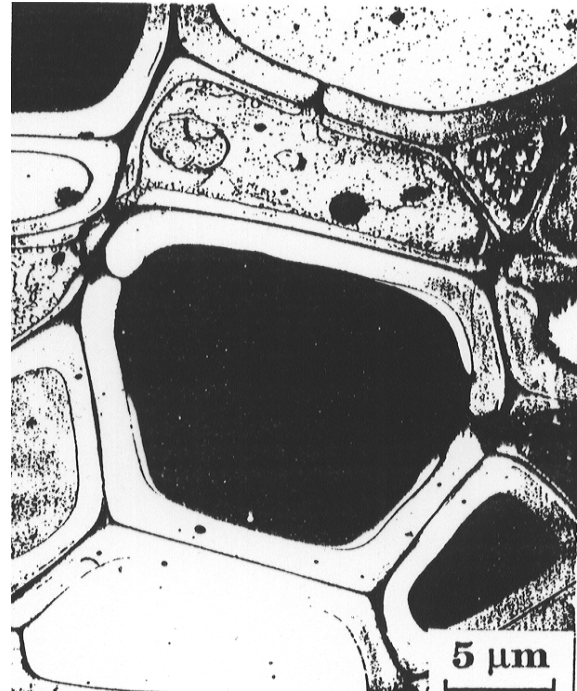
Tillisz nélküli fajok:

Nem minden faj rendelkezik a tilliszképzéshez szükséges képességgel, mivel ehhez az szükséges, hogy a parenchimasejt és a szomszédos edény közötti gödörkenyílás átmérője legalább 3 μm nagyságú legyen (**Bonsen, Kucera, 1990**). Ezek szerint a hársak és a nyír olyan fajok, melyekben nem képződik tillisz. A hárs és a nyír sérülése után az első szerkezeti változások az edények, vagy rostok és a parenchimasejtek közti gödörkéken észlelhetők (**Schmitt, Liese, 1990, 1992b, 1993; Schmitt, 1994**). A gödörkemembrán és a parenchimasejt plazmamembránja között egy védőréteg található, amely színben egy kicsit elkülönül a plazmamembrántól, de a gödörkemembrán felé haladva fokozatosan fölveszi annak a színét. A sebzési reakció kezdetén ez a védőréteg megduzzad és az átmeneti rétegben, a gödörkemembrán felőli oldalon, úgynevezett buborékok jelennek meg nagy számban és a fibrilláris tartalmuktól itt szekréció útján szabadulnak meg (10. ábra).



Schmitt, Liese (1993)

10. ábra Fibrilláris/amorf anyagok szekréciója (*Tilia sp.*)

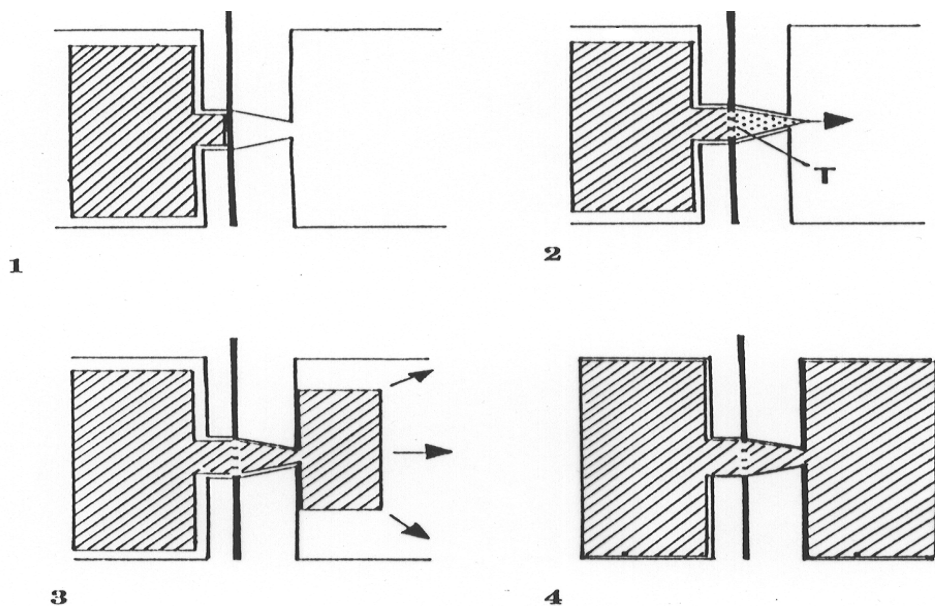


Schmitt, Liese (1993)

11. ábra A reakciózóna, elzáródott edénnyel és rosttal (*Tilia sp.*)

Az így odaszállított anyagnak a felépítése főleg hemicellulóz, s ezen kívül még egy kevés pektin és cellulóz is található benne. A reakcióidő előrehaladtával a parenchimaoldalon fibrilláris váladékanyagok gyűlnek össze, majd a gödörkemembrán átalakulásával (perforálódásával) kezdetét veszi a váladékanyagok (fagumi, ligninánok, flavonoidok, sztilbenek, stb.) kiválasztódása a szomszédos edényekbe, ill. rostokba (10. ábra). Ez a folyamat addig tart, amíg a lumina el nem záródik, s ezután a parenchimasejtek elhalnak. A 11. ábrán már a reakciózóna látható, a már elzáródott edényekkel és rostokkal.

A fentiek alapján a sebzés hatására a parenchimákban lejátszódó reakciót röviden a következő pontokban lehet összefoglalni (12. ábra):



Schmitt, Liese (1993)

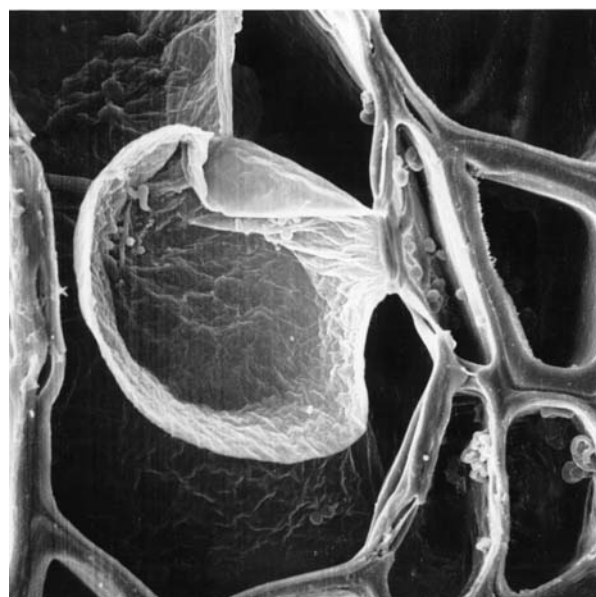
12. ábra A váladékanyagok szekréciója, ill. a sejtek elzáródása sematikusán

1. Váladékanyagok szintézise a parenchimasejtekben.
2. A gödörkemembrán módosulása és a kiválasztódás kezdete.
3. Kiválasztódás és a váladékanyagok behatolása az edényekbe, ill. rostokba.
4. A lumina elzáródása és a parenchimasejt elhalása.

Tillisz képzésre alkalmas fajok:

A *Quercus sp.*, *Populus sp.*, *Robinia pseudoacacia* (Schmitt, Liese, 1994) fajok esetében a sebzés után néhány nappal ezek a fajok már tilliszt termelnek az edényekben. Ebben az esetben is bekövetkeznek ugyanazok a változások az edények és a parenchimasejtek közötti gödörkében, mint az előző esetben, azzal a különbséggel, hogy a gödörkemembrán beöblösödik az edényüregbe. Majd itt is az edény vagy rostoldal fibrilláris/amorf váladékanyagok rakódnak a védőrétegre. Ezek a szekrétumok a tilliszképzésre képtelen fajok váladékanyagaival szerkezetileg azonosak. A gödörkemembrán egyre nagyobb mérvű

öblösödésével az edényluminában egy folyamatosan növekvő hólyag keletkezik (13. ábra). Később a membrán fellazul és a parenchimasejt citoplazmája behatol a hólyagba, s így egy tilliszkezdemény keletkezik. Miközben áthatol a citoplazma a gödörkemembránon, annak egy elsődleges (primer) fal jellegű saját fala képződik, amely a továbbiakban világosan megkülönböztethető a gödörkemembrántól. A parenchimasejt védőrétege – amely a gödörkemembrán előtt található – és a fiatal tillisz falja gyakran egybeolvad. A tillisz növekedése és az ezzel egyidejűleg növekvő vakuóla mellett a citoplazma keskeny falmelletti bevonatot képez. A fentiekben már említettem, hogy a tilliszképződés mellett végbemegy a fibrilláris/amorf szekrétumok kiválasztódása is. Ezek az anyagok olyan edényekbe is kiválasztódnak már, melyek sebzési tilliszeket tartalmaznak, így a szekréció és a tilliszképződés a parenchimasejt különböző gödörkéin egyidejűleg is végbemehet. E szerint tehát nem csak a parenchima/edénygödörkék nagyságától függ, hogy képződik-e tillisz, vagy végbemegy-e a szekréció. A váladékanyagok kitöltik a tilliszek közötti helyeket és így erősítik a záródás határfokát (**Molnár, Schmitt, 1994**). A rostokban viszont kizárólag csak a lumina kitöltésére irányuló szekréciós folyamatok figyelhetők meg. Lombos fák edényelzáródását vizsgálta **Bonsen (1991)** is. A tilliszesező fáknál záródás nagyobb határfokú, mivel a tilliszek mellett gumyszerű váladékanyagok is erősítik az edények eltömődését.



Butterfield (1997)

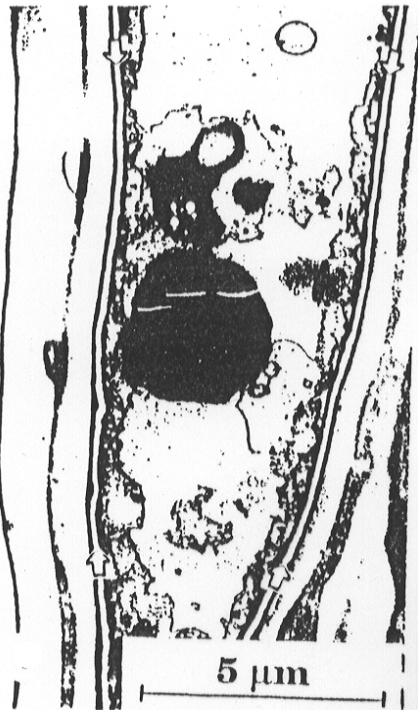
13. ábra Tilliszképződés (*Nothofagus solandri*)

Az eddigiek az edények és a rostok elzárására irányuló folyamatot mutatták be, amely mindenekelőtt az axiális irányú károsodást akadályozzák meg, ugyanakkor azonban a sugár és tangenciális irányú behatolásra alkalmas járatokat is elzárják a mikroorganizmusok és a levegő elől. A parenchimasejtekben – azaz a bélsugarak parenchimasejtjeiben – a védelem ill. a védőzóna kialakítása másképp történik.

Seb közelben minden fafaj parenchimasejtjeiben képződik szuberin réteg, s ez a sejtfalra rakódik le. Ugyanez a folyamat figyelhető meg a bélsugarak parenchimasejtjeiben is. A szuberin réteg szorosan a szekunderfalhoz tapad, s így körülveszi a citoplazmát (14. ábra). Ezen parenchimasejtek működésére viszont még szüksége van a növénynek, ezért azok a külvilággal úgynevezett plazmolemmákon keresztül tartják a kapcsolatot (15. ábra).

A későbbiekben viszont már ez a szuberinréteg tökéletesen körülveszi a citoplazmát, így az elfajul ill. degenerálódik. Végső esetben már ezek a sejtek el is halnak, s így tovább fokozzák a záródás határfokát. A vizsgálatok során azt tapasztalták, hogy a seb közelében elhalt parenchimasejtek találhatóak, amelyekhez különböző kiterjedtségű szuberint tartalmazó parenchimasejtek zónája kapcsolódik. Ez a zóna biztosítja a beljebb fekvő sejtek védelmét,

amelyek így ki tudják termelni az edények ill. rostok elzárásához szükséges tilliszeket és fibrilláris/amorf váladékanyagokat.



Schmitt, Liese (1993)

14. ábra Szuberinréteg a szekunderfalon
(*Tilia sp.*)



Schmitt, Liese (1993)

15. ábra A szuberinréteg plazmolemmái
(*Tilia sp.*)

A mechanikai sebzések reakciófolyamatainak az intenzitása különböző tényezőktől függ, mint:

- a klimatikus hatás
- a sérült fa életképessége
- a parenchimasejtek reagáló képessége

Ahogy nő a kambiumtól való távolsága a parenchimasejteknek, úgy egyre kevésbé intenzíven reagálnak ezek a sejtek a sebzésre. Tehát minél mélyebb a sérülés, annál nehezebben regenerálódik a xylem, ill. annál nagyobb kiterjedésű lesz a fatestben az elszíneződés.

2.2.3 A kallusz

A mechanikai sebzések következtében a fák törzsén, ágain és gyökerén nyitott sebek keletkeznek, melyek végzetes következménnyel lehetnek a fa életére nézve. Ezek a nyitott sebek a későbbiekben, mint fertőzési kapuk jelennek meg, ahol a különböző

mikroorganizmusok, gombák és rovarok megtámadhatják a fák belső szöveteit. Annak érdekében, hogy ezek fertőzési kapuk megszűnjenek – a seb begyógyuljon –, a seb szélein sebszövet (kallusz) fejlődik.

A kallusz alakja általában elég változatos. Szöveti szerkezetét tekintve eltér az egészséges szövetektől. **Majer (1961)** a sérülések következtében a gyökéren kifejlődő kalluszról ír, amely a seb közelében lévő sejtek erőteljes osztódásával alakul ki. A parenchimasejtek és edények száma kevesebb, kisebb az átmérőjük, valamint a hosszuk is. A farostok aránya változatlan, vagy megnövekszik (**Sharon, 1973; Moore, 1978; Rademacher, Bauch, Shigo, 1984; Liese, Dujesiefken, 1988**). A vizsgálatokhoz a sebszövetet ágnyeséssel, ill. lukak fúrásával a törzsbe hozták létre. Hasonló kutatást végzett **Lowerts, Wheeler, Kellison (1985)** is tulipánfa (*Liriodendron tulipifera*) törzsén fűrt lukakon keletkező kalluszon. Méréseik szerint az edények átmérője, részaránya csökkent, míg a rostok aránya nem változott. A bélsugár parenchimák aránya pedig növekedett. A kallusz fejlődését három stádiumra lehet fölbontani (**Stobbe, Schmitt, Eckstein, Dujesiefken, 2002**). Az első stádiumban a parenchimasejtek osztódóvá válnak. A hátra maradt kambium sejtek összenyomódnak és nem vesznek részt a kallusz képződésben. A másodikban a kallusz sejtei differenciálódnak (fellogén, fellom, felloderma). A harmadik stádiumban kambium képződik a régi (egészséges) és a sérült farész között, amely összefüggő gyűrűt alkot és kifelé a háncs elemeket, befelé pedig a xylem elemeket hozza létre.

Fenyők kalluszának szöveti szerkezetét vizsgálta **Allen, és Hiatt (1994)** mesterséges sebzéseknél, különös tekintettel a gyantajáratokra. Megállapításaik szerint a vertikális gyantajáratok nagyobb számban fordulnak elő, mint a vízszintes futásúak. **Schulze-Dewitz és Götze (1986)** az abnormális faszövetek jellemzőit vizsgálta fenyőknél. A normál szövetektől eltérő felépítésű faanyagban a rosthosszúság mintegy 1 mm-el elmarad az egészséges farostoktól. A sebzés következtében kialakuló kalluszban tangenciális irányban több sejt fejlődik a fenyőknél, mint radiális irányban (**Oven, Torelli, Vilhar, Grill, Guttenberger, 1999**). Kallusz szöveti elemzése alapján **Eom (1991)** megállapította, hogy az abnormális szövetben zselatinos rostok találhatóak, valamint a rostok sötét gumyszerű váladékanyaggal tömítettek.

A kallusz növekedése az első két hónapban növekvő tendenciát mutat (**Noel, 1968**), majd ezt követően a növekedés intenzitása csökken. A tavasszal keletkezett mechanikai sebzések jobb aránnyal záródnak, mint a téliek és az ősziak (**Dujesiefken, Peylo, Liese, 1991; Dujesiefken, Kowol, Schmitz-Felten, 1995**). A vizsgálataikat lombos fákon, bükkön, juharon, nyíren, kőrisen, kocsányos tölgyön, valamint lucfenyőn végezték. A gombafertőzés az őszi és téli keletkezésű sérüléseknél nagyobb arányú, mint a tavasziaknál (**Dujesiefken, Seehann, 1992**).

Az élő fa kéreg a különböző farontó gombák támadásával szemben a fatest legellenállóbb részét képezi. A benne található inkrusztáló, konzerváló anyagok (szuberin, tannin, stb.), valamint a kéreg szöveti felépítése együttesen eredményezik ezt a tulajdonságot. Abban az esetben viszont, ha a kéregnek a folytonossága megszűnik valamilyen okból (pl. kéreghántás, stb.), akkor a farontó gombák és rovarok már jó feltétellel rendelkeznek a megtelepedéshez és

a fertőzéshez. A megtelepedés, majd a fertőzés sikeressége több tényező függvénye (*Varga, 1995*):

- a fafaj
- a károsodott fa kora
- a fafaj regenerációs képessége
- a termőhelyi tényezők
- a sérülés időpontja
- a sérülés, sebzés nagysága
- a sebzés mélysége

Különböző típusú nyesés technológiáknál (törzzsel párhuzamos, ágra merőleges, ferde nyesés) vizsgálták a szöveti jellemzőket hársnál *Liese, Dujesiefken, Bremer (1988)*. Legkisebb az edények felülete a törzzsel párhuzamos nyesésnél, míg legnagyobb az ágra merőlegesen. A rosthosszúság is közel hasonlóképpen változik. Vizsgálataik alapján a három technológia közül a leghelytelenebb a törzzsel párhuzamos, mivel a sebzés felülete nagyon nagy, s a gyógyulás folyamata így lassú. Vizsgálataik szerint nagyobb a gombafertőzés aránya is. Hazai kutatók közül meg kell említeni *Pagony (1967)* kutatásait, aki nyarak nyesésével foglalkozott. Legkedvezőbb időszak a nyesésre március és április, mivel ebben az időszakban keletkezett sebek többsége begyógyul, ha a seb felülete nem éri el a 4 cm-s átmérőt.

A sebzésekkel kapcsolatosan gyakran vitatott kérdés, hogy növénykórtani, erdővédelmi szempontból a sebzés nagysága mennyiben befolyásolja az élő fa fertőzöttséget. Mekkora lehet az a sebzés, amelyik még nem jelent veszélyt a károsodott fára nézve? *Varga (1995)* kutatásai szerint gyakorlatilag legalább 15-20 cm²-es sebfelület szükséges ahhoz, hogy a farontó gombák megtelepedése sikeres legyen. Elméletileg viszont már elegendő akár egy tűszúrásnyi hely is, hogy a gombaspórák fertőzést okozzanak. A megtelepedés lehetőséget továbbá nagyban befolyásolja a sebfelület beforradásának a gyorsasága, azaz a kalluszképződés. Vizsgálatai szerint nagyon fontos tényező a sebzés szélessége, hiszen a seb oldalfalán képződő kallusz jóval gyorsabban növekedik, mint az alsó ill. a felső. *Nolte (1977)* bükk fafajon hasonló irányú vizsgálatokat végzett. Eredményei alapján ő is a seb szélességét adja meg döntő tényezőnek a gyógyulás folyamatában. Bükk esetében az 5 cm-nél keskenyebb sérüléseknél 100%-os behegeseledést figyelt meg, míg 8 cm-es sérülésnél már 80%-ra csökken ez az arány.

Az élő fák mechanikai sérüléseinek kezelése mindig is foglalkoztatta a kutatókat. Külön ki kell emelni ezen a területen *Dujesiefken (1995)* munkásságát, aki könyvében összefoglalta a kutatási terület jelentősebb vizsgálatait.

Amennyiben már megtörtént a fertőzés az élő fa még mindig jelentős védőfalat tud a károsítással szemben felépíteni. A különböző fafajok szinte teljesen azonos módszerrel védekeznek, egyedül csak a tilliszképzésre való alkalmasság alapján lehet őket besorolni. Az összes fafaj közül talán a szileket (*Ulmus sp.*) lehetne kiemelni, melyek *Shigo (1985)* professzor vizsgálatai szerint képtelenek hatásosan védekezni a fertőzésekkel szemben. Ennek következtében a „szilfavész” betegség, amelyért igazán a *Ceratocystis ulmi* gomba a felelős, szinte teljesen kipusztította a szileket Európában.

2.2.3 A sebzés hatása a faanyag minőségre

A faanyag szerkezeti, anatómiai felépítéséből eredően inhomogén rendszernek tekinthető (Kovács, 1979; Molnár, 2000). Fizikai szempontból egy olyan háromfázisú rendszer, amely kristályos szerkezetű, de egyben amorf részek is találhatóak benne, inhomogén, mivel az egyes pontokban a tulajdonságai eltérőek, valamint szerkezeti szempontból ortogonálisan anizotróp, azaz a tér három egymásra merőleges síkjában (rost-, húr-, sugárirány) a tulajdonságai eltérőek. Ez az anizotrópia a testet alkotó mikro-, vagy makroszkópikus elemek „rendeztségének” köszönhető. A természet egyik legjobb példája az anizotrópiára a fás növények szára, melynek fizikai, mechanikai tulajdonságainak változása azt a célt szolgálja, hogy a törzs normál igénybevételeinek minél jobban ellen tudjon állni (Szalai, 1994). Mindezek a tulajdonságok határozzák meg a faanyag felhasználásának lehetőségeit és módját (Niemz, 1993; Molnár, 1999).

A különböző fafajok fizikai, mechanikai tulajdonságaival számtalan mű foglalkozik. Ezek közül is ki kell emelni Vorreiter (1949); Kollmann (1951); Bodig (1982) és Wagenführ (1996) munkáit. Természetesen a hazai szerzők műveit is meg kell említeni ebben a körben, úgymint Lugosi (1976); Babos, Filló, Somkuti (1979); Molnár (2000); Molnár, Bariska (2002). A fenti szakirodalmak adatai az egészséges (normál) faanyag jellemzőit mutatják be hűen (1. táblázat).

1. táblázat A normál (egészséges) faanyag fontosabb műszaki jellemzői néhány fafajnál

Műszaki tulajdonságok	Fafaj								
	Populus x canescens			Populus alba			Tilia sp.		
	*	**	***	*	**	***	*	**	***
Sűrűség [g/cm^3]	0,42	-	-	0,38	0,45	0,50	0,49	0,53	0,57
Zsugorodás									
térf. [%]	-	-	-	-	12,1	14,5	14,9	-	14,4
húr [%]	7,8	-	-	7,8	7,3	9,8	9,1	9,9	9,1
sugár [%]	5,1	-	-	3,9	4,2	4,1	5,5	6,1	5,5
Nyomószil. [Mpa]	32,6	-	-	21,8	38,3	34,0	52,0	52,0	44,0
Húzószil. [Mpa]	76,0	-	-	62,5	82,3	-	85,0	85,0	85,0
Hajlítószil. [Mpa]	56,4	-	-	46,8	67,5	55,0	106,0	106,0	90,0
Rug. mod. [Mpa]	8137	-	-	7117	8250	-	7400	7400	7400
Nyírószil. [Mpa]	10,2	-	-	69,0	7,8	-	4,5	4,5	4,5
Útó-hajl. szil. [J/cm^2]	6,2	-	-	4,1	4,8	-	9,0	8,9	5,0
Bütü keménység [Mpa]	30,9	-	-	30,3	27,0	31,0	38,0	38,0	40,0

Forrás: * Babos - Filló - Somkuti (1979): Haszonfák

** Molnár - Bariska (2002): Magyarország ipari fái

*** Vorreiter (1949): Holztechnologisches Handbuch I.

Kutatási területem viszont a mechanikai sebzések következtében károsodott faanyag vizsgálatára szorítkozik. Természetesen a károsodott anyag paramétereinek ismeretére is kiterjedtek a kutatások, de ezek elsősorban az imissziós károk, valamint az erdőpusztulások,

mint pl. tölgypusztulás vizsgálatait ölelték föl (**Babos, 1986a; Frühwald, Bauch, Götsche-Khün, 1984; Vargáné, 1995**). Mindezek a kutatások kimutatták, hogy károsodott faanyag minőségi jellemzői csökkentek. Kutatásaim során két fafajjal foglalkoztam, ezüst hárs és szürke nyár. A két fafaj károsodott faanyagára irányuló vizsgálatok nem folytak. Más nyár fajok, ill. fajták fizikai és mechanikai tulajdonságaival már több kutatás is foglalkozik (**Babos, 1968, 1986b, 1988a, 1988b, 1992, 2002; Peszlen, 1993; Molnár, Peszlen, 1996**), de ezek is a normál faanyag vizsgálatára irányulnak.

A károsodott, pontosabban hántáskár, vagy más mechanikai sérülés következtében megváltozott szövetű (abnormális) faanyag vizsgálatáról nagyon kevés publikáció látott napvilágot. **Götze, Schultze-Dewitz, Wenk (1989)** duglászfenyő (*Pseudotsuga menziesii*) kalluszának vizsgálta a sűrűségét és a térfogati zsugorodását. Külön vizsgálta a kalluszon belül a szijács és a geszt jellemzőit. A kallusz-geszt légszáraz sűrűsége $0,528 \text{ g/cm}^3$, míg a szijácsé $0,464 \text{ g/cm}^3$. A térfogati zsugorodásnál már a szijács mutat magasabb értéket, 12,86% és a geszt pedig 10,52%. Ezek a fizikai paraméterek magasabb értékeket mutatnak, mint a normál faanyag. Hasonló kutatást végzett az Egyesült Államokban **Lowerts, Wheeler, és Kellison (1985)**. Ők csak a sűrűség változását mérték tulipánfán (*Liriodendron tulipifera*), amiben is ugyan arra az eredményre jutottak, mint az előző kutatók. A kallusz sűrűsége nagyobb ($0,49 \text{ g/cm}^3$), mint a normál felépítésű faanyagé ($0,41 \text{ g/cm}^3$). Vizsgálták a sűrűség változását a sebzést követő négy évben. A normál faanyag sűrűsége minimális növekedést mutatott, míg a kalluszé elég rapszodikusán változott. Először csökkent, majd növekedett, végül az utolsó évben ismét csökkenő tendenciát mutatott.

A külföldi kutatások, valamint a fenti hiányosságok pótlása, ráirányította a figyelmet a témakör kidolgozására. Ennek érdekében indultak vizsgálatok az Erdészeti és Faipari Egyetem **Faanyagismerettani Tanszék, a Vadgazdálkodási Tanszék** és az **Erdővédelmi Tanszék (1995)** együttműködésével a hántáskár hatásainak komplex feldolgozására. Hasonló vizsgálatokat folytatott **Fehér (1997)**, melynek eredményei kimutatták, hogy a károsodott faanyag szilárdsági tulajdonságai, nem feltétlenül csökkenő tendenciákat mutatnak.

3. Vizsgálati anyag és módszer

Az 1. fejezetben leírtak alapján erdeink mechanikai sérüléseinek túlnyomó része az emberi gondatlanságból és a nagyvadak károsításaiból származik. A szakirodalom tanulmányozása arra engedett következtetni, hogy az erdészeti tevékenységek (tisztítások, gyérítések) során keletkező sérülések okozta károk nem számottevőek **ERTI (1990)**, hiszen azoknak mérséklése a munkálatok szakszerű elvégzésével elérhető. A mennyiségi és a minőségi vadkárok (hántáskár) okozta károk viszont már jelentős veszteségeket eredményezhetnek az erdőgazdaságoknak (lásd: 2.1 fejezet). Ennek megfelelően a vizsgálataimat hántáskár során sebzett fákon végeztem el. A kísérleteimhez olyan fafajokat választottam, melyek hazánkban különösen ki vannak téve a vadkárnak.

3.1 A vizsgálati anyag

A kísérletbe bevont fafajok az ezüst hárs (*Tilia argentea* Desf.) és a szürke nyár (*Populus x canescens* (Ait.) Smith), mivel ez a két faj kimondottan veszélyeztetett a hántáskár szempontjából, továbbá az ezüst hárs, ill. a szürke nyár különbözőképpen viselkedik a mechanikai sebzésekkel szemben, azaz a faanyagban ébredő reakciófolyamatok eltérnek egymástól. Az ezüst hársban tilliszek nem képződnek, mivel az udvarosgödörkék szájnnyílása kisebb, mint 3 cm. A szürke nyár ellenben tilliszképzésre alkalmas fafaj.

A kísérleti területeket a Kisalföldi Erdő- és Fafeldolgozó Rt. Jánossomorjai és a Somogyi Erdő- és Fafeldolgozó Rt Zselici Erdészeténél jelöltem ki. A közvetlen megfigyelés alá vont területeket a Jánossomorjai Erdészet Jánossormorja 5/A és 6/A, ill. a Zselici Erdészet Böszénfa 54/B és Kislak 8/B erdőrészekben jelöltem ki. Ezen négy erdőrészletben összesen 6 mintaterületet vontam kísérlet alá úgy, hogy mindegyiken 100-150 törzsre vonatkozóan tudjam elvégezni a részletes felvételt. Ezek a területek a károsítás szempontjából frekvenciált helyen találhatóak, így lehetőségem nyílt a mintaterületeken a hántáskár mértékét fölmérni, valamint a három éves munka során a többszöri sebzés regisztrálására is sor került. A szürke nyár állomány kora 14, az ezüst hárs állomány kora pedig 21 év volt a terepi felvételek kezdetén.

A terepi bejárások során a faanatómia, fizikai és mechanikai faanyagvizsgálatokhoz különböző korú és károsodási fokú törzseket döntöttünk. Összesen 8 törzset a szürke nyár állományban és úgyszintén 8 mintatörzset az ezüst hárs állományokban (2. táblázat).

2. táblázat A vizsgált törzsek átlagadatai

Fafaj	A mintatörzsek átlagos méretei		
	Mellmagassági átmérő	Famagasság	Kor
	[cm]	[m]	[év]
<i>Populus x canescens</i>	21,5	23	14
<i>Tilia argentea</i>	18,0	19	21

Hogy a károsodási folyamatot modellezni tudjam, 1994 februárjában, ill. márciusában az ezüst hárs állományban, majd júniusban a – szürke nyáron – mesterséges sebzéseket készítettem hántoló késsel, mellyel közel hasonló sebzéseket lehetett ejteni a törzseken, mint amilyeneket a nagyvadak (szarvas, őz, stb.). A sebzéseket fafajonként 20-20 törzsön alakítottam ki, különböző szélességben és hosszúságban. A mesterséges sebzés kialakításával nyomon tudtam követni a faanyagban kialakuló reakciófolyamatok hatására történő elváltozásokat, úgymint védőzóna kialakulása, tilliszesedés, gesztesítő anyagok berakódása.

3.2 Terepi felvételek

A terepi vizsgálatokat kimondottan olyan erdőrészekben végeztem, amelyek a vadkárosítás szempontjából veszélyeztetettek voltak. A Zselici Erdészetnél 4, a Jánossomorjai Erdészetnél pedig 2 kísérleti parcellát jelöltem ki, ahol állományonként mintegy 100-150 törzsön végeztem el a részletes felvételt a vadkárosítás mértékéről. A sebzések mértékét a törzskerület arányában adtam meg. A vizsgálat során 4 alkalommal végeztem el a terepi felvételt, hogy az ismétlődő károsításról is információm legyen. A törzsenkénti felvételek összesítő eredményét a 3. és a 4. táblázat tartalmazza.

3. táblázat Terepi felvétel, a károsított törzsek száma (*Populus x canescens*)

Erdőrészlet	Felvétel ideje	Kísérleti parcella	Sebzés mértéke a törzskerület arányában						Törzs-szám	Károsítás aránya [%]
			0	0-1/8	1/8-1/4	1/4-1/2	1/2-3/4	3/4-		
Jánossomorja 5/A	1993. 10. 01.	1.	32	17	7	18	14	3	91	64,8
Jánossomorja 6/A	"	2.	52	7	8	10	9	3	89	41,6
Jánossomorja 5/A	1994. 06. 15.	1.	91	-	-	-	-	-	91	0,0
Jánossomorja 6/A	"	2.	89	-	-	-	-	-	89	0,0
Jánossomorja 5/A	1995. 05. 04.	1.	74	5	7	4	1	-	91	18,7
Jánossomorja 6/A	"	2.	63	15	2	5	2	2	89	29,2
Jánossomorja 5/A	1996. 02. 27.	1.	85	3	1	2	-	-	91	6,6
Jánossomorja 6/A	"	2.	86	-	3	-	-	-	89	3,4

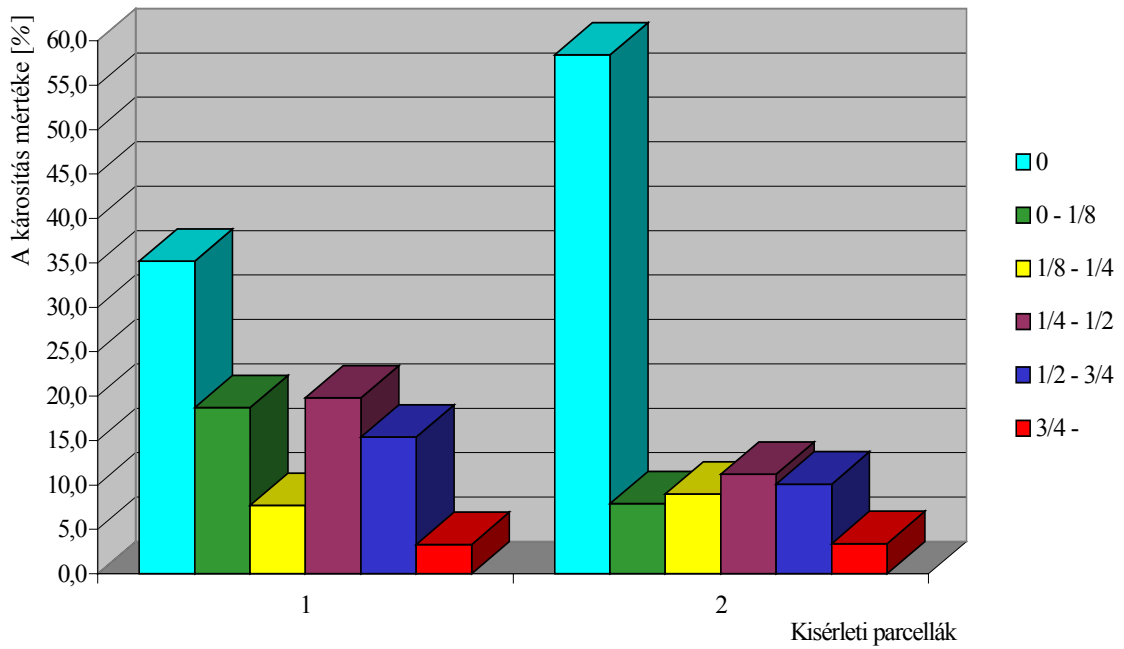
A táblázatok adatai, ill. a 16-17. ábra nagyon jól reprezentálja, hogy a vizsgált területeken a faállomány mennyit "szenved" a hántáskártól. Ez különösen az ezüst hársra vonatkozik, ahol a károsítás mértéke meghaladta a 95%-ot is, és ennek több mint 80%-a igen jelentős méretű sebzésekre vonatkozik (sebnagyság 1/4-4/4 a törzskerület arányában). A többi parcellában sem sokkal jobb a helyzet. A Jánossomorjai Erdészetnél a szürke nyár

vizsgálatánál talán valamivel kisebb a károsítás mértéke (40-60%), különösen a Jánossomorja 6/A erdőrészletben. Amely valószínűleg annak köszönheti a kisebb hántási – sebzési – arányt, (40%) hogy az erdőrészletben túlnyomórészt olasznyár (60%) található, amelynek a kergét nem szereti a vad oly mértékben, mint a szürke nyáret.

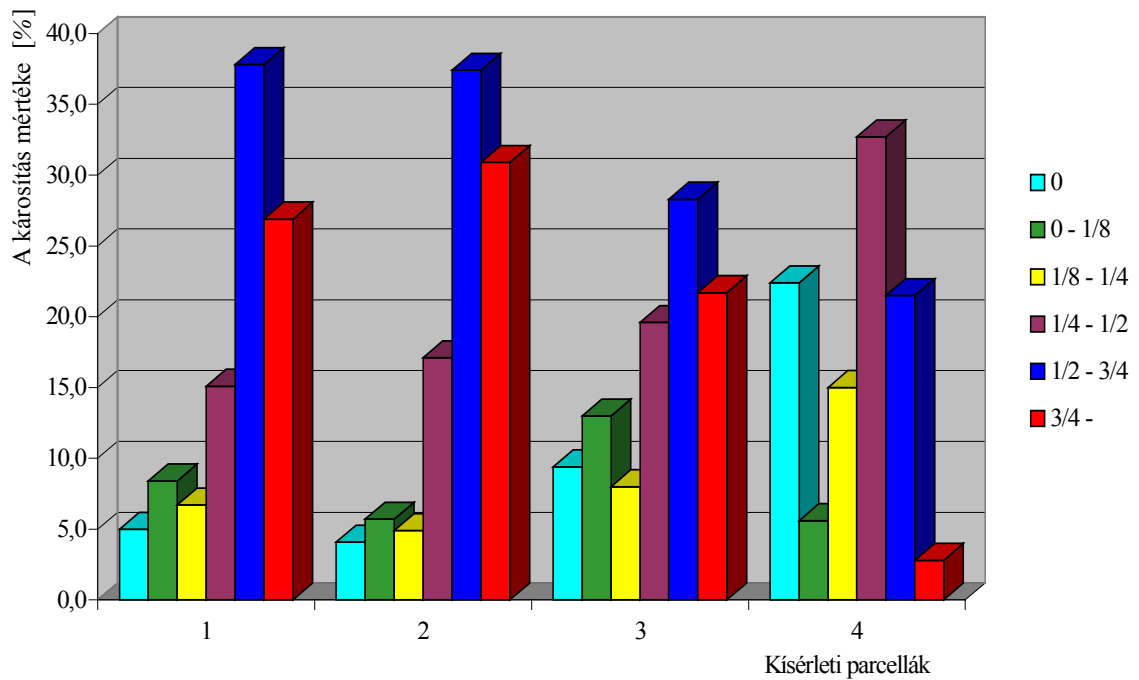
4. táblázat Terepi felvétel, a károsított törzsek száma (*Tilia argentea*)

Erdő-részlet	Felvétel ideje	Kísérleti parcella	Sebzés mértéke a törzskerület arányában						Törzsszám	Károsítás aránya [%]
			0	0-1/8	1/8-1/4	1/4-1/2	1/2-3/4	3/4-		
Bószénfa 54/B	1993. 12. 08.	1.	6	10	8	18	45	32	119	95,0
"	"	2.	5	7	6	21	46	38	123	95,9
"	"	3.	13	18	11	27	39	30	138	90,6
Kislak 8/B	"	4.	24	6	16	35	23	3	107	77,6
Bószénfa 54/B	1994. 03. 28.	1.	106	9	2	1	1	-	119	10,9
"	"	2.	118	5	-	-	-	-	123	4,1
"	"	3.	135	3	-	-	-	-	138	2,2
Kislak 8/B	"	4.	107	-	-	-	-	-	107	0,0
Bószénfa 54/B	1995. 06. 02.	1.	95	18	5	1	-	-	119	20,2
"	"	2.	111	9	3	-	-	-	123	9,6
"	"	3.	130	5	2	1	-	-	138	5,8
Kislak 8/B	"	4.	92	9	2	4	-	-	107	14,0
Bószénfa 54/B	1996. 02. 12.	1.	107	9	2	1	-	-	119	10,1
"	"	2.	115	5	1	2	-	-	123	6,5
"	"	3.	134	1	3	-	-	-	138	2,9
Kislak 8/B	"	4.	106	-	1	-	-	-	107	0,9

A 16-17. ábra az 1993-as terepi felvétel alapján készült. A károsított ezüst hársas állományról készített diagram (17. ábra) nagyon jól szemlélteti, hogy a vadkárból származó sebzések túlnyomórészt nagyfelületűek, a sebzett felület a törzskerület arányában 1/2-3/4.



16. ábra Terepi felvétel, Jánossomorjai Erdészet (1993)



17. ábra Terepi felvétel, Zselici Erdészet (1993)

A szürke nyár állományban viszont már nincs olyan nagy mértékű vadkárosítás, mint az ezüst hárs állományban (16. ábra). A következő években végzett felvételek már azt tanúsítják, hogy ezekben az erdőrészekben az ismételt hántáskár már jelentéktelen, elhanyagolható volt, ami következhet abból is, hogy az 1993-as évet követő telek időjárási viszontagságai enyhébbek voltak, ill. több egyéb táplálékforrás állt rendelkezésére a vadállománynak.

3.3 Mintavétel az anatómiai vizsgálatokhoz

Az anatómiai (mikroszkópikus) vizsgálatok kiterjedtek a három védőfal (1., 2., ill. 3. védőfal) kialakulásával lezárt (7. ábra), károsodott faanyag és a sebzáródás során kialakuló kallusz vizsgálatára.

A sebzési szövet anatómiai felépítésének, valamint a reakciófolyamat következtében kialakuló elváltozások megfigyelésére fénymikroszkópos, ill. elektronmikroszkópos mérésekhez metszeteket készítettem. A kallusz abnormális szövetének vizsgálatához a 18. ábrán látható módon jártam el a mintavételnél.



Fotó: Fehér S.

18. ábra Mintavétel a kallusz vizsgálatához (*Tilia argentea*)

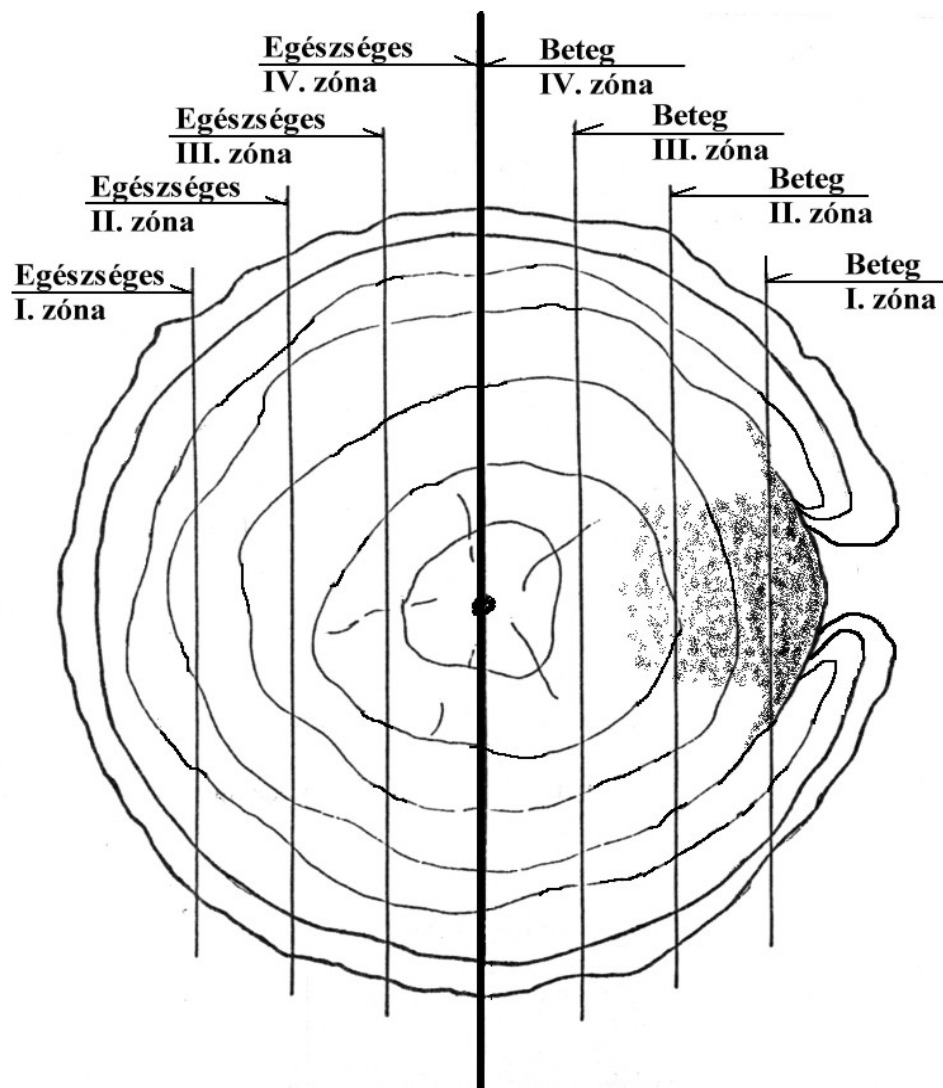
- A. minta a kallusz vizsgálatához
- B. átmenet a kallusz és a normál szövet között
- C. minta a normál szövetű faanyag vizsgálatához

A mintavétel során arra törekedtem, hogy a kallusz mikroszkópikus felépítésének elemzésénél részletesen feltárjam az eltéréseket a normál és az abnormális szövetrészek között. Ennek érdekében kijelöltem egy átmeneti zónát is. Az anatómiai vizsgálatokhoz

10x10x10 mm-es mintákat vágtam ki, a károsodott fatestből és a kalluszból, az „A, B, és C” jelű helyekről, majd mindhárom anatómiai irányban metszeteket készítettem. Az egyes mintavételi pontok 2-2 cm távolságra vannak egymástól, míg az A pont a seb szélétől 1,5 cm-re helyezkedik el.

3.4 Mintavétel a fizikai, mechanikai tulajdonságok meghatározásához

A fizikai és mechanikai vizsgálatokhoz kidöntött törzseket a próbatestek kialakítása céljából zónákra osztottam a keresztmetszeten (19. ábra). A bélnél elválasztva az egyik oldal adta a beteg, a másik pedig az egészséges részt. Így a beteg, azaz a károsított faanyagot a hántás és annak következményeként fellépő másodlagos károsítók által "tönkretett" anyag szolgáltatta. Az összehasonlítás céljából megfelelő egészséges részt viszont a bétől számított ellentétes oldal biztosította, amely a vizsgálatok szerint valóban egészségesnek is mutatkozott.



19. ábra A vizsgálati zónák kialakítása

A vizsgálatokhoz kijelölt törzsek kiválasztása során ügyeltem arra, hogy azok központos bél elhelyezkedésűek legyenek. Ezzel kizártam reakciófa jelenlétét a mérésekre szánt faanyagnál, amely lényeges szempontnak számított, mivel a vizsgálat során a törzs két ellentétes oldala került vizsgálatra. Abban az esetben, ha reakciófa található az anyagban, akkor az jelentősen torzíthatja a mérési eredményeket és az összehasonlítást (*Peszlen, 1993*).

A mintatörzsek mindkét oldalán, a középpalóból kivett faanyagot 4-4 zónára osztottam, amelyekből zónánként alakítottam ki a különböző vizsgálatoknak megfelelő próbatesteket. A hegyszöveti részben, vagyis a beteg I. zónában rovarrágás nyomait lehetett felfedezni, amely abból következik, hogy a kéreghántás igen kedvező fertőzési kaput nyit a másodlagos károsítók (gombák, rovarok) számára, főleg abban az esetben, ha a kambium is megsérül.

A konkrét mérések ill. vizsgálatok elvégzése után a helyileg egymásnak megfelelő – a beteg I. zónát az egészséges I. zónával, stb. – zónákat hasonlítottam össze, s az így kapott értékek képezték az értékelés tárgyát.

A mechanikai sebzések hatására a faanyagban egy reakciófolyamat alakul ki, azért hogy az így "nyitottá" váló szöveteket a növény az úgynevezett másodlagos károsítóktól meg tudja védeni. Majd a sebkambium kialakulása után elkezdődik a kallusz képződés, hogy a sebzett felületet elzárja a külvilágtól. A kallusz egy eltérő szöveti szerkezetű faanyag a normál fához képest. Valószínűsíthető, hogy a különböző igénybevételekkel szemben másképp is fog viselkedni, mint a normál szerkezetű faanyag. Ennek megfelelően kiterjesztettem a vizsgálataimat a kalluszra is. A mintavétel során hasonlóképpen jártam el, mint a kallusz anatómiai vizsgálatánál, azaz a mérésekhez szolgáló mintákat a 18. ábrának megfelelően vettem ki. Ezzel a módszerrel hű képet kaptam az abnormális szerkezetű faanyag műszaki jellemzőiről.

3.5 Vizsgálati módszerek

Ahhoz, hogy a mechanikai sebzések által károsodott, ill. megváltozott szöveti szerkezetű faanyag tulajdonságait alaposan megismerhessem, a kutatásaimat alapvetően öt irányban kellett elindítanom:

- A sebméret és a behegésedés összefüggése.
- A károsodást szenvedett faanyag anatómiai elváltozásainak bemutatása.
- A károsodott faanyag fizikai, mechanikai tulajdonságainak összevetése az ép faanyag tulajdonságaival.
- A kallusz mikroszkópikus felépítésének megismerése.
- A kallusz fizikai, mechanikai jellemzőinek összehasonlítása a normál szerkezetű faanyag tulajdonságaival.

A sebméret és a gyógyulás összefüggése:

A szakirodalmak tanulmányozása során megállapítottam, hogy a sebméret jelentős befolyással bír a gyógyulás sebességére. Egységes álláspont ellenben ez ideig nem alakult ki,

Varga (1995) a sebfelület nagyságát tartja fontosnak, míg **Pagony (1967)** és **Nolte (1977)** a seb szélességét. Meg kell jegyezni viszont, hogy utóbbi két kutató nyelés által okozott sebeken figyelte a beforradás sebességét. Vizsgálataim során a törzsön okozott sebzések behegesedésére irányítottam a figyelmemet, hiszen a hántáskár elsősorban a fák törzsén jelentkezik. Megmértem a nyílt sebek pontos méreteit, majd a sebzést követően egy év múlva újból meghatároztam a méreteket. Végül pedig 3 év múlva, az utolsó mérést követően levontam a következtetéseket, azaz meghatároztam a nyílt sebfelület záródási fokát.

Károsodott szövetek anatómiai vizsgálata:

A mechanikai sebzések során bekövetkező szöveti elváltozások megismerése fénymikroszkópos és elektronmikroszkóp vizsgálatok útján lehetséges. A sebzést követően egy év múlva vettem ki a mintákat a vizsgálatokhoz. A fénymikroszkópos elemzéshez mindhárom anatómiai irányban metszeteket készítettem, majd azokat tárgylemezen rögzítettem. A vizsgálatokat egy Zeiss Amplival típusú polármikroszkóppal végeztem el. A mikroszkópos elemzés céljai a következők voltak:

- a reakciófolyamatot követő elváltozások megállapítása, a fafaj függvényében
- másodlagos károsítók (gomba) jelenlétének kimutatása

Az elektronmikroszkópos vizsgálatokat is alkalmaztam, hiszen egyes elváltozások kimutatása ezzel a berendezéssel könnyebb és egyszerűbb. A vizsgálatokat a Hamburgi Egyetem Fabiológiai Intézetében végeztem el. A mikroszkópos elemzést követően felvételeket készítettem a reakciófolyamatokról, ill. az azt követő elváltozások kimutatására.

A károsodott faanyag fizikai, mechanikai tulajdonságai:

A faanyagokat fizikai, mechanikai tulajdonságaik meghatározásával minősíthetjük, ill. a kapott eredmények alapján támpontot kaphatunk felhasználhatóságukra. Továbbá ugyanazon körülmények között fejlődő fák esetében következtethetünk tulajdonságaik közötti különbségek mértékére, valamint különböző fafajok esetében a növekedés külső tényezőinek fafajra való hatásáról vonhatunk le következtetéseket. Esetünkben a fejlődés, a növekedés körülményei azonosak, s arra keresünk választ, hogy egy külső, a fák fejlődését károsan befolyásoló tényező, milyen hatással van a műszaki tulajdonságaikra. A mintavételnél alkalmazott módszer (lásd: 3.4 fejezet) segítségével igyekeztem kizárni minden olyan külső tényezőt, mely befolyással lehet a vizsgálati anyag tulajdonságaira. Így a megváltozott körülmény, – a sebzés – hatásáról a faanyag minőségére, objektív képet kaphatunk.

Vizsgálataim során a legfontosabb fizikai és mechanikai tulajdonságok meghatározására törekedtem. Az általam alkalmazott módszerek a jelenleg is hatályos magyar szabványokon alapulnak. Sajnos az állományok fiatal kora, s ezáltal a törzsméretük nem tették lehetővé a faanyag vizsgálati szabványokban megadott próbatestek méretének a betartását. Ezért a vizsgálataimban hű maradtam a szabványokban megadott módszerekhez, azzal a módosítással, hogy próbatestek méreteit csökkentettem, viszont a próbatestek kialakításánál betartottam a méretarányokra vonatkozó előírásokat.

Mindezek figyelembevételével a következő vizsgálatokat végeztem el. A felsorolásnál feltüntettem az adott vizsgálati módszerre vonatkozó hatályos szabványszámokat is.

Fizikai tulajdonságok:

- | | |
|----------------------|-------------------|
| • sűrűség | MSZ 6786-3: 1988 |
| • zsugorodás-dagadás | MSZ 6786-9: 1989 |
| | MSZ 6786-18: 1989 |

Szilárdsági tulajdonságok:

- | | |
|---------------------------------|-------------------|
| • nyomószilárdság | MSZ 6786-8: 1977 |
| • hajlítószilárdság | MSZ 6786-5: 1976 |
| • hajlító rugalmassági modulusz | MSZ 6786-15: 1984 |
| • ütő-hajlító szilárdság | MSZ 6786-7: 1977 |

Az alkalmazott módszereknél kapott eredmények nem alkalmasak az irodalmi adatokkal való összevetésre, mivel az állomány fiatal kora következtében a kidöntött törzseknél nagy lesz a juvenilis fa részaránya. Az egészséges és a károsodott (beteg) farészek közötti különbség meghatározására viszont kiválóan alkalmas. Az egyes vizsgálati eredmények a próbatestek nedvességtartalmának különbözősége következtében alkalmatlanok a helyes következtetések levonására, ezért azokat a gyakorlati és a tudományos életben egységesen elfogadott nedvességtartalmi értékre ($u=12\%$) számítottam át.

A kallusz anatómiai felépítése:

A mechanikai sérülések következményeként kialakuló nyílt sebek befedésére irányuló reakciója az élő fának a kallusz képződés. Ennek a sebszövetnek az anatómiai felépítése a funkciójából eredően eltér a normál szövetek felépítésétől. A normál és az abnormális faanyag mikroszkópikus felépítése közötti különbségek feltárására három helyen vettem mintát a seb környékéről a 15. ábrának megfelelően. Ettől az eljárástól vártam a szövetek közötti eltérések minél aprólékosabb kimutatását. A szakirodalom áttekintését követően ez alábbi mikroszkópos jellemzők mérését tűztem ki célomul:

- edények elemszáma
- edények területi részaránya
- edények átlagátmérője
- farostok elemszáma
- farostok területi részaránya
- sejtfalak területi részaránya
- hosszparenchimák száma
- hosszparenchimák területi részaránya

A vizsgálatok elvégzéséhez fénymikroszkópos elemzést alkalmaztam. A mindhárom vizsgálati helyről (A, B, C) kivett mintákból metszeteket készítettem, s az egyes

mikroszkópikus elemek jobb megkülönböztethetősége érdekében a metszeteket megfestettem. A festéshez *anilinkék* és *szafranin* festékanyagot használtam, a következő módszer alkalmazásával:

- Anilinkék 3%-os oldatában (90%-os alkoholban) egy-két csepp 10%-os sósav oldat hozzáadásával kb. 2 órán keresztül festés.
- 90%-os alkoholban egy-két csepp sósav hozzáadásával differenciálás, kimosás.
- Szafranin 3%-os oldatában (90%-os alkoholban) kb. 2 órán keresztül festés.
- 90%-os alkoholban egy-két csepp sósav hozzáadásával differenciálás, kimosás.
- Abszolút alkoholban kb. 10-15 percig víztelenítés, pihentetés.

Az *anilinkék* az élő sejtek (parenchimák), a *szafranin* pedig az elhalt (farostok, edények, stb.) megfestésére szolgált. Ezzel a technológiával nem csak azt értem el, hogy elkülönítettem az élő és élettelen sejteket, hanem a sejtfalakat is kontúrosabbá tettem. Az anatómiai elemzést végül egy képelemző program (Image Pro Plus 4.0) segítségével végeztem el.

A kallusz fizikai, mechanikai tulajdonságai:

A sebzéseket követően a kallusz fejlődésével egy rendellenes szöveti szerkezetű faanyag jön létre. A szakirodalmak is, és az anatómiai vizsgálatok várható eredménye alapján is a kalluszt felépítő mikroszkópikus elemek részaránya is változik. Így ezen tényezők függvényében a sebszövet műszaki tulajdonságai is változnak, azaz eltérnek a normál faanyag tulajdonságaitól. A kallusz vizsgálatánál is hasonlóképpen kellett eljárnom, mint a károsodott faanyag vizsgálatánál, itt sem tudtam betartani a faanyagvizsgálati szabványokban megadott próbatest méreteket. A méreteket a kallusz vizsgálatánál még kisebbre kellett vennem, – 8x8 mm a keresztmetszet, a hossz méret viszont az igénybevételtől függően változik –, de a próbatestek kialakításánál itt is betartottam a méretarányokra vonatkozó előírásokat.

A méréseket a kallusz műszaki tulajdonságainak meghatározásánál is a legfontosabb paraméterek vizsgálatára terjesztettem ki:

Fizikai tulajdonságok:

- | | |
|----------------------|-------------------|
| • sűrűség | MSZ 6786-3: 1988 |
| • zsugorodás-dagadás | MSZ 6786-9: 1989 |
| | MSZ 6786-18: 1989 |

Szilárdsági tulajdonságok:

- | | |
|---------------------------------|-------------------|
| • nyomószilárdság | MSZ 6786-8: 1977 |
| • hajlítószilárdság | MSZ 6786-5: 1976 |
| • hajlító rugalmassági modulusz | MSZ 6786-15: 1984 |

A dinamikus vizsgálati módszerek közül az ütő-hajlító szilárdságot sajnos már nem tudtam meghatározni, mivel a rendelkezésemre álló anyag mennyiség azt nem tette lehetővé. A mérésekre kapott eredmények légszáraz, azaz 12%-os nedvességtartalomnak megfelelő értékekre való átkonvertálása itt is megtörtént.

3.6 A vizsgálati eredmények értékelési módszere

Az egyes vizsgálatok végrehajtásánál kapott eredmények (adathalmazok) értékelése során leíró statisztikát – minimum, maximum, átlag, szórás, variancia % –, alkalmaztam. Mivel a leíró statisztika önmagában nem elegendő az egyes változók közötti eltérések objektív értékelésére, ezért az adathalmazokat szignifikancia vizsgálatnak, valamint varianciaanalízisnek vettem alá. Annak eldöntésére, hogy a vizsgált jellemző adathalmazának átlagértéke lényeges (szignifikáns) eltérést mutat-e más adathalmazok átlagaival, szignifikancia vizsgálatot kell végezni (*Vincze, 1975*). Az erdőszet és a faipar területén, a gyakorlat a 95%-os megbízhatósági szintet alkalmazza a vizsgálat során, amely elfogadhatónak tekinthető e két szakterületen.

A szórásanalízis modellek rugalmas statisztikai eszközök, melyek alkalmasak valamilyen kvantitatív változónak (függő változó) egy vagy több és nem feltétlenül kvantitatív változóval (független változó) való kapcsolatának kielemezésére. Tehát a varianciaanalízis, vagy szórásanalízis lehetővé teszi több átlagérték statisztikai összehasonlítását egy próbával. Arra a kérdésre vagyunk kíváncsiak, hogy van-e hatása a független változónak a függő változóra, ill. ez a hatás egyforma, vagy különböző. A fentiek alapján a szórásanalízis besorolható lenne a hipotéziselmélet módszerei közé, mivel különböző nullhipotézisek felállításával, majd eldöntésével válaszolunk a kiindulási kérdésekre.

Több csoporton együtt végzett kísérletben a null hipotézis, H_0 úgy is vizsgálható, hogy kiszámítjuk (egymástól függetlenül) két módszerrel a populáció varianciájának becslését. Egyik módszerrel a csoportokon belüli szóródásból, a másik módszerrel a csoportok közötti szóródásból. H_0 érvényessége esetén a kettő ugyanannak a mennyiségnek két becslése. Ha ez nem valószínű, akkor arra következtetünk, hogy a H_0 elvetendő: azaz a csoportok között van különbség. A különbség lehet az átlagokban, vagy a szórásban. Az eljárás során először arra vagyunk kíváncsiak: van-e különbség a csoportok között, vagy pedig azok mind egy populációból származó minták? Más szóval: elvetjük-e a H_0 -t, vagy a H_0 -t érvényesnek tekintjük.

A szórásanalízis olyan módszer, mellyel egy adathalmaz teljes varianciáját összetevőkre bontjuk, amelyek a variációk különböző okait mérik. Az adatok egyrészt az elvégzett vizsgálatok pontatlansága miatt szóródnak, másrészt a mintavételekben résztvevő egyedek egyéni sajátosságai, valamint egyéb tényezők, mint pl. a termőhelyi eltérések miatt is. A varianciaanalízis alkalmazhatóságának a következő feltételei vannak:

- A kísérleti hibák eloszlásának normálisnak kell lennie.
- A csoportok szórásnégyzeteinek egyenlőknek kell lenniük.

- A csoportonkénti méréseknek függetleneknek kell lenniük.
- A méréseknek véletlenszerűeknek kell lenniük.

Ha a feltételek teljesültek és megállapítottuk, hogy az átlagok eltérnek-e egymástól, meg kell határoznunk azt is, hogy melyik átlag melyiktől tér el. Ennek eldöntésére egy további próba elvégzése szükséges. Az ilyen próbákat többszörös terjedelem próbáknak nevezik (**Kozák, 1990**). Ezek közül a Duncan-féle próbát alkalmaztam.

A Duncan eljárás segítségével homogén átlagok részhalmazát keressük. Egy ilyen részhalmazba addig sorolunk be $p-1$ db átlagot, ameddig azok legkisebb átlagától a p -edik átlag egy meghatározott mértéket meghaladóan el nem tér. Ez az érték a p átlagra vonatkozó legkisebb szignifikáns terjedelem, LST_p :

$$LST_p = r_p \times s_{xi}$$

Számításához tehát ismerni kell s_{xi} -t, az átlagok állandó hibáját,

$$s_{xi} = \sqrt{\frac{MS_B}{n}}$$

ahol MS_B a varianciaanalízis táblázatból vehető csoporton belüli átlagos négyzetösszeg, az n pedig a csoporton belüli ismétlések száma. Az r_p a Duncan által a „ T ” táblázatból kifejlesztett táblázatbeli érték. A p , az α szignifikancia szint ($\alpha=95\%$) és a szabadságfok függvényében van megadva. A figyelembeveendő szabadságfokot az MS_B kifejezés szabadságfoka, $k \times (n - 1)$ határozza meg, ahol a k a csoportok száma.

A varianciaanalízist (szórásanalízis) és a Duncan próbát az SPSS 9.0 statisztikai programcsomag alkalmazásával hajtottam végre (**Ketskemény, Izsó, 1996**).

4. A sebzési reakciók és következményeinek vizsgálati eredménye és értékelése

A mechanikai sérülések következményeinek és azok gyakorlati hatásának a vizsgálatát több alapon indítottam el. Célom, ezzel a komplex kutatási módszerrel az volt, hogy egy átfogó képet adjak a sebzések következtében megváltozó és létrejövő új szövetek tulajdonságairól. Az egyes vizsgálati módszerekhez tartozó részletes eredményeket a mellékletekben szerepeltetem, míg ezen fejezetben csak az eredmények egyesített, összefoglaló jellegű értékeléséhez, valamint a következtetések levonására alkalmas táblázatokat és ábrákat tüntetem föl.

4.1 A sebméret és a gyógyulás összefüggése

A mechanikai sebzések hatására létrejövő nyílt sebek a törzs felületén hosszabb, rövidebb idő alatt begyógyulnak. Természetesen kialakulhatnak olyan sebzések, melyek méretüknél fogva, ill. egyéb, külső hatások miatt már nem tudnak behegedni. A sebzések mérete, nagysága mindig is vita tárgya volt. Elméletileg már egy tűszúrásnyi felület is elegendő a fertőzés kialakulására. A korábbi kutatások már rámutattak, hogy a seb mérete, de azon belül is elsősorban annak szélessége lesz a meghatározó. Kutatásaim is ennek megfelelően a seb szélességének a hatására irányultak. A vizsgálatok eredményeit a 5-6. táblázat mutatja be.

5. táblázat A sebszélesség hatása a beforradás sikerére (*Tilia argentea*)

Fafaj	Sorszám	Mellmag- átmérő [cm]	Sebzés ideje			1. kontroll mérés				2. kontroll mérés			
			1994. febr. 02./márc. 28.			1995. június 02.				1997. június 05.			
			h	sz	A	h	sz	A	Záródás	h	sz	A	Záródás
[cm]	[cm]	[cm]	[cm ²]	[cm]	[cm]	[cm ²]	[%]	[cm]	[cm]	[cm ²]	[%]		
T i l i a a r g e n t e a	1.	9,5	72,0	3,2	230,4	72,0	3,0	216,0	6,3	69,0	2,5	172,5	25,1
	2.	13,0	58,0	3,9	226,2	57,0	3,2	182,4	19,4	54,0	2,0	108,0	52,3
	3.	14,0	63,0	4,5	283,5	63,0	3,0	189,0	33,3	59,0	1,7	100,3	64,6
	4.	12,0	45,0	6,0	270,0	45,0	4,5	202,5	25,0	42,5	3,2	136,0	49,6
	5.	10,0	40,0	4,0	160,0	39,0	2,8	109,2	31,8	39,0	1,5	58,5	63,4
	6.	11,5	42,0	2,8	117,6	42,0	1,5	63,0	46,4	41,5	0,6	24,9	78,8
	7.	13,0	37,0	5,0	185,0	37,0	3,1	114,7	38,0	36,5	2,0	73,0	60,5
	8.	10,5	45,0	8,0	360,0	43,5	6,9	300,2	16,6	43,0	5,4	232,2	35,5
	9.	12,0	48,0	9,3	446,4	48,0	7,7	369,6	17,2	47,0	6,1	286,7	35,8
	10.	15,0	47,0	11,0	517,0	46,5	9,7	451,1	12,8	45,0	8,3	373,5	27,8
	11.	9,0	33,0	7,0	231,0	33,0	5,8	191,4	17,1	32,0	3,6	115,2	50,1
	12.	11,0	50,0	3,5	175,0	50,0	2,4	120,0	31,4	49,5	0,0	0,0	100,0
	13.	11,0	49,0	3,0	147,0	49,0	2,0	98,0	33,3	48,0	0,0	0,0	100,0
	14.	15,5	64,0	4,2	268,8	63,0	3,1	195,3	27,3	61,0	0,4	24,4	90,9
	15.	13,0	58,0	6,0	348,0	58,0	4,5	261,0	25,0	57,0	2,6	148,2	57,4
	16.	13,5	25,0	7,3	182,5	25,0	6,2	155,0	15,1	24,5	3,7	90,7	50,3
	17.	15,0	54,0	4,8	259,2	54,0	3,3	178,2	31,3	52,0	1,1	57,2	77,9
	18.	13,0	57,0	3,7	210,9	46,0	2,5	115,0	45,5	45,0	0,0	0,0	100,0
	19.	13,0	42,0	4,6	193,2	41,5	3,1	128,7	33,4	40,0	0,9	36,0	81,4
	20.	14,0	76,0	4,1	311,6	75,5	3,4	256,7	17,6	72,5	0,0	0,0	100,0
	21.	12,5	34,0	3,8	129,2	34,0	2,7	91,8	28,9	33,0	0,0	0,0	100,0

Balra szedett adatok a téli, a jobbra szedettek pedig a tavaszi sebzésekre vonatkoznak.

- h — a mesterséges sebzés hossza [cm]
- sz — a mesterséges sebzés szélessége [cm]
- A — a mesterséges sebzés felülete [cm²]

Természetesen a gyógyulási folyamat, ill. a sebzáródás mértékét a seb szélességén kívül még más tényezők is befolyásolják, mint pl. a seb keletkezésének ideje (amire ki is térek a vizsgálat során), az időjárási viszonyok (csapadék, hőmérséklet, stb.), a sérült fa állományszerkezeti, ill. erdőnevelési helyzete, termőhelyi tényezők, a károsodott fa kora, valamint a seb milyensége, minősége (mélység, roncsoltság, stb.). Végül pedig nem szabad megfeledkeznünk a fafajról sem, amely mint befolyásoló tényező jelentős hatással bír, hiszen a különböző fafajok más és más regenerációs képességgel rendelkeznek. A fenyők regenerációs képessége pl. kisebb, mint a lombos fafajoké, vagy a nyárok, fűzek gyorsabban gyógyulnak, mint a egyes keménylombos fafajok, tölgy, bükk, nyír, stb.



Fotó: Fehér S.

20. ábra Mesterséges sebzés szürke nyáron

Az ezüst hárs állományban két időpontban történtek a mesterséges sebzések (5. táblázat), egyszer télen, február 2-án, ill. tavasszal, március 28-án. A sebzést követően két alkalommal ellenőriztem a behegesedés mértékét (20. ábra). Mint ahogy a táblázatból kitűnik a téli sebzések beforradása a 3 éves időszak alatt sikertelen volt. Ennek oka elsősorban a téli, ill. az

időjárási viszonyokra vezethető vissza. A sebzést követően kb. egy hónappal később már megállapítható volt, hogy a begyógyulás nagy valószínűséggel sikertelen lesz. A fában a nedvkeringés még nem indult be, s a sebfelületen olyan nagy fokú vízvesztés lépett föl, hogy a kéreg, ill. háncsréteg teljesen elvált a törzs farészétől. A felületen feltűnően sok száradásból származó repedés volt látható. Az ezt követő sebzések egy része, melyek már tavasszal készültek, már teljesen begyógyult. Különösen megfigyelhető ez a 4 cm-s, vagy annál kisebb sebszélességeknél. Mindezt jól alátámasztja a 21. ábra grafikonja, a „*Tilia argentea*, tavaszi sebzés” görbéje is.

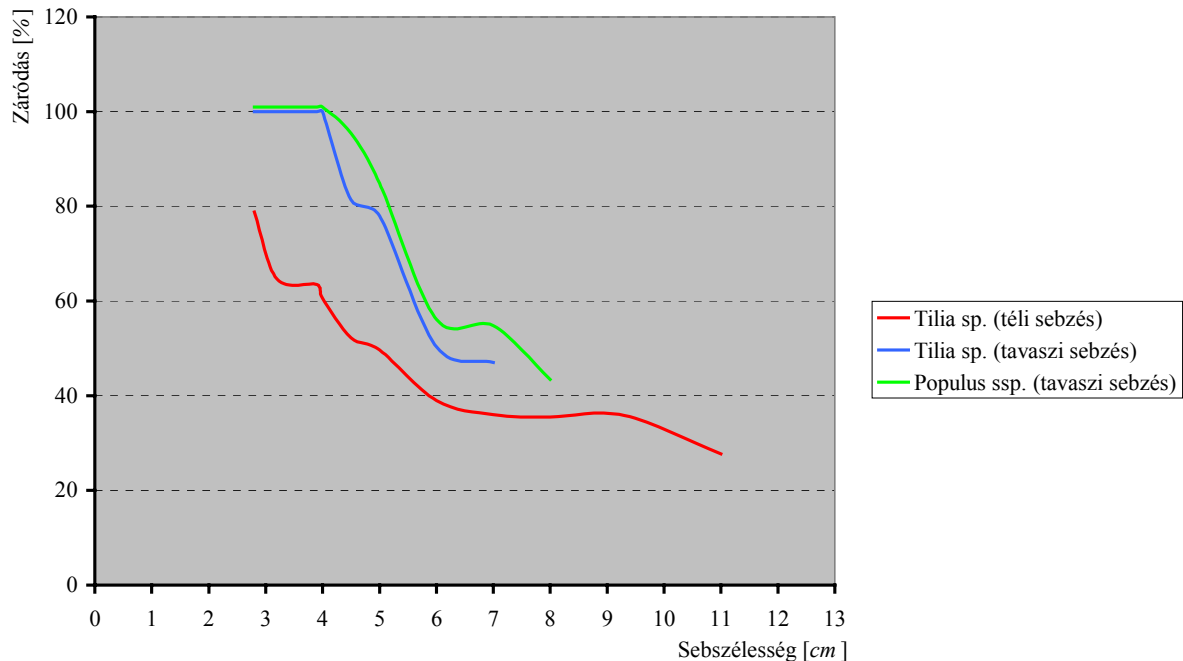
6. táblázat A sebszélesség hatása a beforradás sikerére (*Populus x canescens*)

Fafaj	Sorszám	Mellmag- átmérő	Sebzés ideje				1. kontroll mérés				2. kontroll mérés			
			1994. május 15.				1995. május 16.				1997. június 12.			
			h	sz	A	Záródás	h	sz	A	Záródás	h	sz	A	Záródás
[cm]	[cm]	[cm]	[cm ²]	[cm]	[cm]	[cm ²]	[%]	[cm]	[cm]	[cm ²]	[%]			
P o p u l u s x c a n e s c e n s	1.	6,0	31,0	2,8	86,8	30,0	1,6	48,0	44,7	28,0	0,0	0,0	100,0	
	2.	12,0	29,0	4,0	116,0	28,5	2,3	65,6	43,5	27,5	0,0	0,0	100,0	
	3.	10,5	45,0	5,5	247,5	45,0	3,0	135,0	45,5	44,5	1,3	57,9	76,6	
	4.	6,5	37,0	4,5	166,5	37,0	3,5	129,5	22,2	36,0	0,7	25,2	84,9	
	5.	10,0	37,0	7,0	259,0	36,0	6,1	219,6	15,2	35,5	3,2	113,6	56,1	
	6.	9,0	45,0	6,0	270,0	45,0	4,2	189,0	30,0	45,0	2,1	94,5	65,0	
	7.	11,0	32,0	3,7	118,4	31,5	2,3	72,5	38,8	31,0	0,0	0,0	100,0	
	8.	10,5	48,0	4,6	220,8	46,0	3,1	142,6	35,4	45,5	0,4	18,2	91,8	
	9.	8,0	51,0	5,7	290,7	51,0	3,9	198,9	31,6	50,0	1,5	75,0	74,2	
	10.	7,5	62,0	10,1	626,2	60,5	8,7	526,4	15,9	60,0	5,9	354,0	43,5	
	11.	9,0	41,0	8,3	340,3	41,0	6,8	278,8	18,1	41,0	4,0	164,0	51,8	
	12.	11,0	60,0	4,2	252,0	60,0	2,9	174,0	31,0	60,0	0,5	30,0	88,1	
	13.	13,0	46,0	3,8	174,8	45,5	2,4	109,2	37,5	45,0	0,0	0,0	100,0	
	14.	11,0	58,0	3,1	179,8	58,0	1,9	110,2	38,7	57,0	0,0	0,0	100,0	
	15.	8,5	40,0	2,7	108,0	40,0	1,3	52,0	51,9	38,5	0,0	0,0	100,0	
	16.	10,0	27,0	3,6	97,2	26,0	2,5	65,0	33,1	25,0	0,0	0,0	100,0	
	17.	9,5	39,0	5,4	210,6	38,5	4,0	154,0	26,9	38,0	2,7	102,6	51,3	
	18.	11,0	74,0	4,3	318,2	74,0	3,4	251,6	20,9	72,5	0,2	14,5	95,4	
	19.	10,5	63,0	8,5	535,5	62,0	6,8	421,6	21,3	62,0	3,9	241,8	54,8	
	20.	8,0	56,0	4,0	224,0	56,0	2,7	151,2	32,5	55,5	0,0	0,0	100,0	

A szürke nyáron szintén tavasszal készítettem mesterséges sebzést (6. táblázat), amelyek kivétel nélkül mind tavasszal készültek. A kontroll mérések során a sebzések záródásánál ugyanaz figyelhető meg, mint az ezüst hársnál, azaz a 4 cm-nél keskenyebb sérülések a három éves időszak alatt begyógyulnak (6. táblázat, ill. 21. ábra).

Összefoglalóan meg lehet állapítani, hogy az általam vizsgált két fafaj esetében, ezüst hársnál, valamint szürke nyárnál a törzsön, mechanikai sérülések következtében keletkező nyílt sebfelületek záródásának sikerét egyértelműen a seb szélessége határozza meg. Azok a sebzések, melyek 4 cm szélesek, vagy annál keskenyebbek, teljesen behegednek a három éves időszak alatt. Természetes a sérülés keletkezési ideje lényeges befolyásoló tényező. Mint ahogy a szakirodalmak is állítják, valamint a saját megfigyeléseim is arra utalnak, hogy a téli időszakban keletkező nyílt sebek záródása nem olyan sikeres, mint a tavasziaké. Azon sebzések közül, melyeket télen készítettem a három év alatt egyetlen egy sem záródott be teljesen.

A három évnél tovább nyitott sebek esetében az élőfákon már olyan mérvű károsítások jelentkeznek a másodlagos károsítók által (gombák, rovarok), hogy azokat az előhasználatok során mindenképpen ki kell venni az állományból.



21. ábra A sebszélesség és a záródás összefüggése

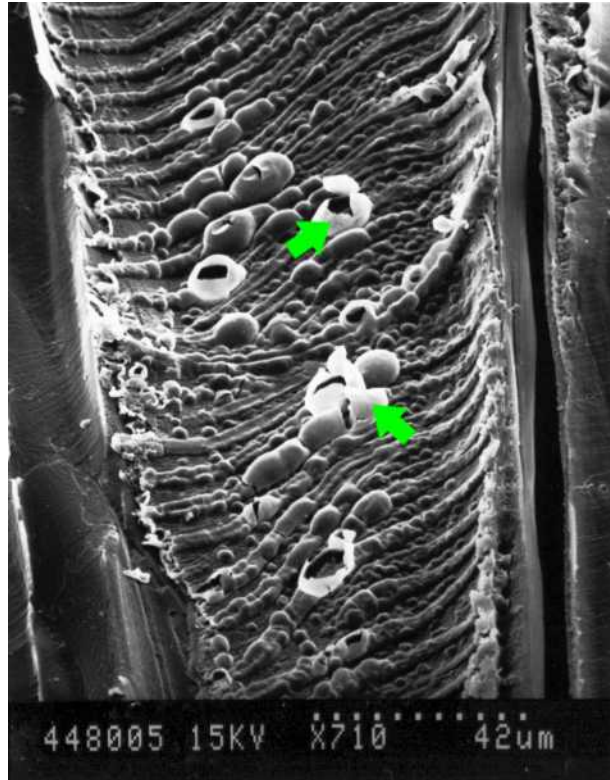
4.2 A károsodott szövetek anatómiai vizsgálata

A mechanikai sebzésekre a fák alapvetően kétféleképpen reagálnak. A fajok egyik része nem képes tilliszeket létrehozni, míg a másik csoportjuk pedig igen. Az általam vizsgált fajok közül az ezüst hárs az első, a szürke nyár viszont a második csoportba tartozik. Ezek alapján a két fajt külön kell tárgyalni a reakciófolyamat tekintetében.

4.2.1 Az ezüst hárs reakciói

A sérülést követően az első szerkezeti változások az edények vagy rostok és a parenchimasejtek közötti gödörkéken észlelhetők. Itt a gödörkemembrán és a parenchimasejt plazmamembránja között egy védőréteg található. A sebzési reakció kezdetén ez a védőréteg megduzzad és az átmeneti rétegben, úgynevezett buborékok jelennek meg nagy számban. Ezzel megtörténik a különböző fibrillális anyagoknak a gödörke szájnyílásához való szállítása, majd itt kiválasztják ezeket az anyagokat, amelyek elsősorban hemicellulózból épülnek föl, s ezen kívül még egy kevés pektint és cellulózt is tartalmaznak. A hársak gödörkéinek a szájnyílása kisebb, mint $3 \mu\text{m}$, ezért nem képesek tilliszt létrehozni. A hárs tekintetében a sebzési reakció így csak különböző gesztesítő anyagok kiválasztódására, ill.

azok berakódására redukálódik. A gödörkemembránja először perfolálódik, majd felszakadozik (22. ábra), s ezzel kezdetét veszi a különböző váladékanyagok, mint fagumi, ligniánok, flavonoidok, sztilbenek kiválasztódása a szomszédos edényekbe ill. rostokba (23. ábra).



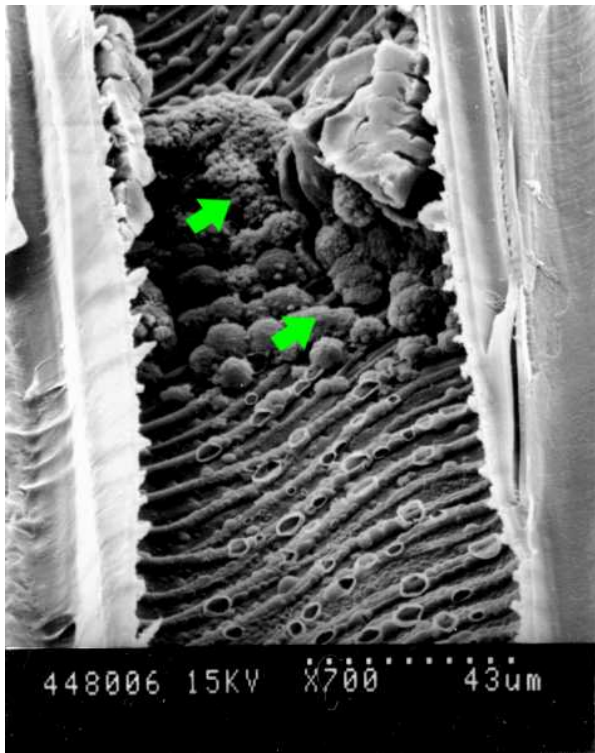
Fotó: Fehér S. [sugármetszet]

22. ábra A gödörkemembránok felszakadozása
(*Tilia argentea*)

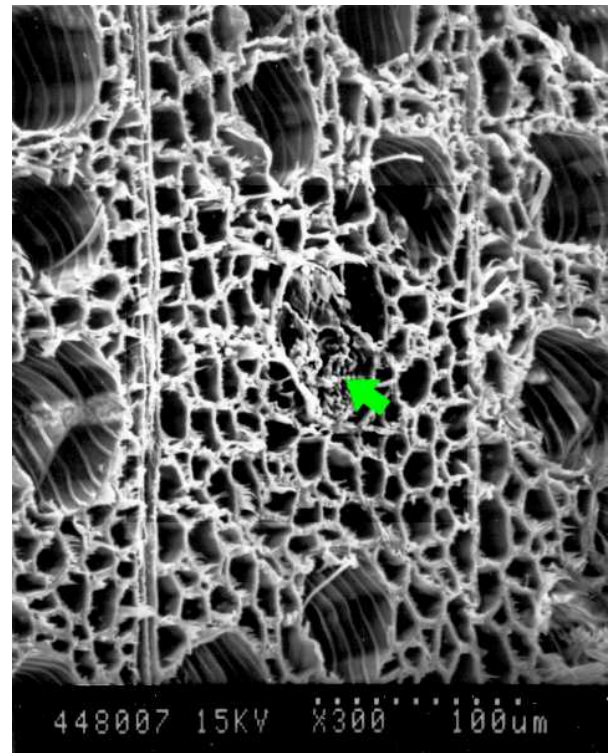
A kiválasztódás és a gesztesítő anyagoknak a berakódása az edényekbe addig tart, amíg a lumina teljesen el nem záródik (24. ábra).

A parenchimasejtek, miután gesztesítő anyag kiválasztó tevékenységükkel a szomszédos edények és farostok teljesen eltömődtek, fokozatosan elhalnak. A későbbiekben már nincs semmilyen funkciója ezeknek a parenchimáknak. A feladatukat teljesítették, s hogy a fertőzés ne terjedjen tovább, a sejtfalukra lerakódó szuberinréteg teljesen elzárja őket a külvilágtól, azaz a plazmolemmák, melyekkel a kapcsolatot tartották a szomszédos sejtekkel, elzáródnak. Tulajdonképpen ezzel is fokozódik a védelem, hiszen az egyik legfontosabb védőrétege a fa sejtjeinek a szuberin. Ez a zsírszerű anyag tökéletes védelmet nyújt a fa belső szöveteinek a külső behatásokkal szemben (víz, mikroorganizmusok, stb.) Nem véletlen, hogy a kéreg sejtjei, pontosabban a fellomban lévő sejtek is nagy mennyiségben tartalmazzák.

A fénymikroszkópos vizsgálatok is érdekes eredményeket szolgáltatottak. Metszeteket készítettem az egészséges és a károsodott szöveti részekből is. Keresztmetszeti képek nagyon



Fotó: Fehér S. [sugármetszet]



Fotó: Fehér S. [keresztmetszet]

23. ábra Gesztesítő anyagok kiválasztódása az edényekbe (*Tilia argentea*)

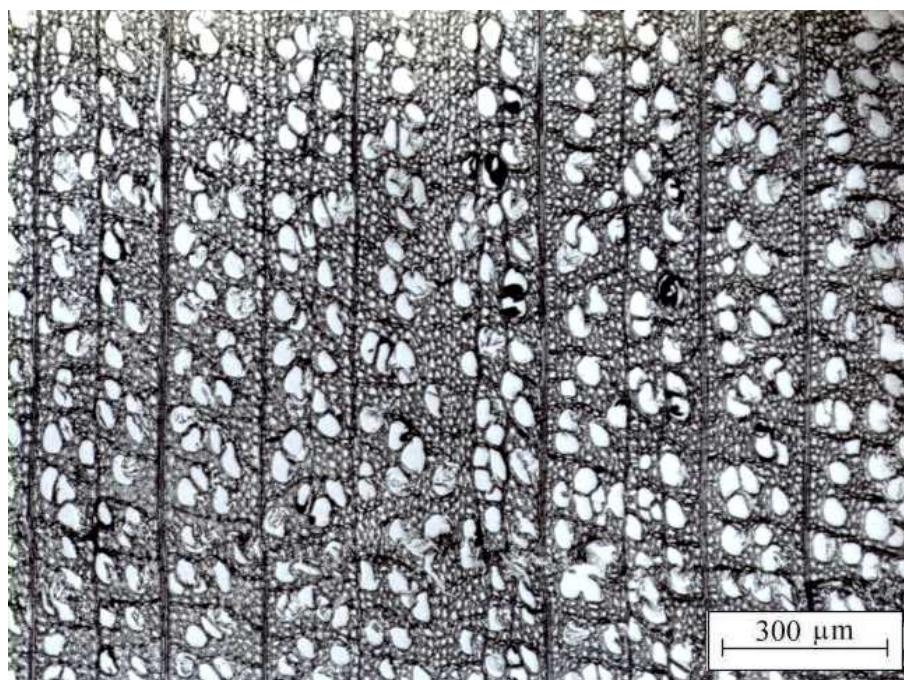
24. ábra Elzáródott edények (*Tilia argentea*)

jól mutatják az eltéréseket. Az egészséges faanyagból készült metszetek teljesen épek, szinte alig lehet bennük szakadozott sejtfalet találni (25. ábra). A károsodott szöveteknél viszont már több szakadozott sejtfalet látható, s ez kivétel nélkül megfigyelhető mindegyik keresztmetszetenél (26. ábra). Mindez pedig arra enged következtetni, hogy a károsodott faanyagban már föllelhetők a másodlagos kórokozók, így a gombák. Ezt támasztja alá a 27. ábra is, ahol gombahyfák láthatók az edényben.

A gombakárosítók enzimeik segítségével fokozatosan lebontják a sejtfalet fő összetevőit, a holocellulózt és lignint. Ezzel tulajdonképpen megindul a korhadás. Alapvetően három féle korhadást lehet elkülöníteni.

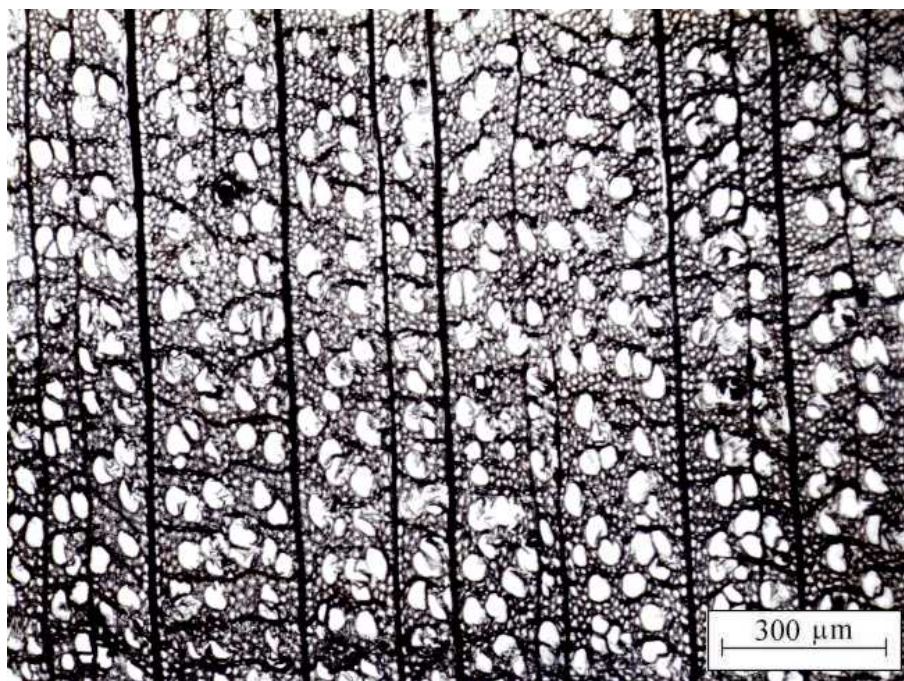
- barna korhadás
- lágy korhadás
- fehér korhadás

A gombák a korhasztó tevékenységükkel okozzák a legnagyobb károkat, mind az élő, mind a döntött fákon. A gombák a sejtfalet bontják le, ez által tömegveszteség lép föl, de nem is ezzel lehet az általuk okozott kár mértékét a legjobban leírni, hanem a faanyag fizikai-mechanikai tulajdonságainak értékcsökkenésével.



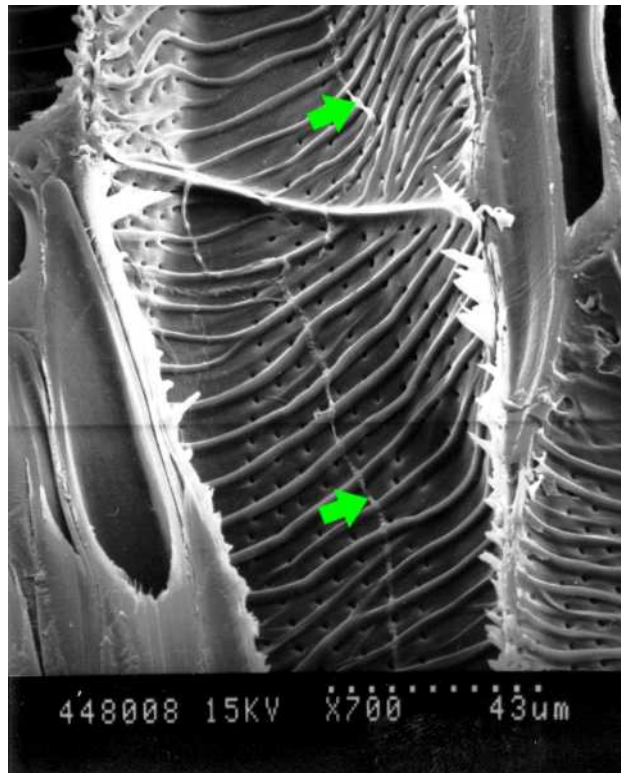
Fotó: Fehér S. [keresztmetszet]

25. ábra Egészséges faszövet (*Tilia argentea*)



Fotó: Fehér S. [keresztmetszet]

26. ábra Károsodott faszövet (*Tilia argentea*)



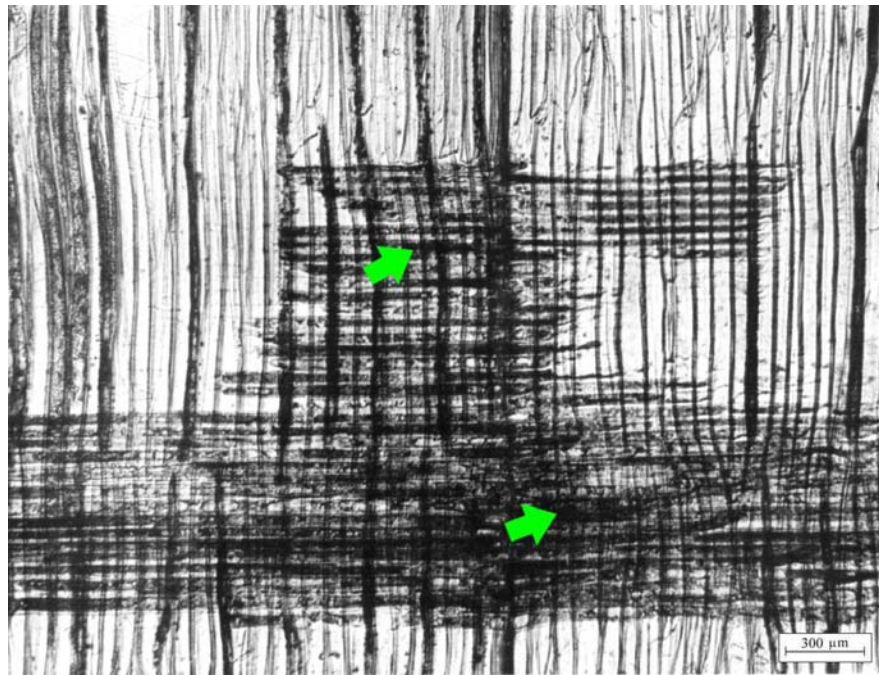
Fotó: Fehér S. [sugármetszet]

27. ábra Gombahyfák az edényekben
(*Tilia argentea*)

A lombos fák bélsugarát csak parenchimasejtek alkotják, ezért fenn áll a veszély a fertőzés sugár irányú gyors tovaterjedésének. Ennek megakadályozására a bélsugar sejtjei hasonlóképpen viselkednek, mint a hosszparenchimák. Először a sejtfa itt is elszuberinizálódik a védekezés tökéletesítése szempontjából, majd ezt követően a plazmájuk besűrűsödik. Az itt termelt szekrétaumok lerakódnak és végül a parenchimasejtek elhalnak (28. ábra). Így egy nagyon erős sugár irányú védőfalat hoznak létre a fertőzések elterjedésének megakadályozására.

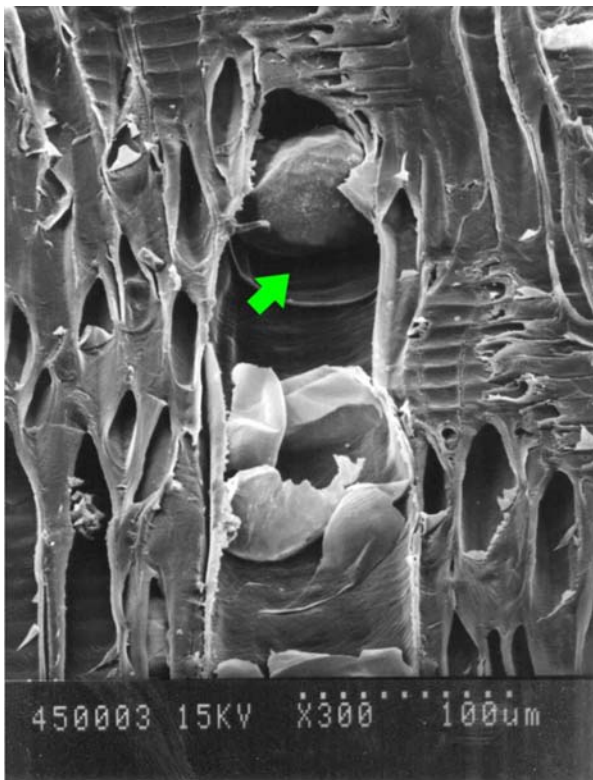
4.2.2 A szürke nyár reakciói

A nyárak és a hársak közötti leglényegesebb különbség a tilliszképzésre való képesség a védekezési reakcióknál. A tilliszképződés azt is jelenti, hogy az ide tartozó fafajok védekező mechanizmusa tökéletesebb. A mesterséges sebzés után néhány nappal már a szürke nyárnál is jelentkeznek a válaszreakciók a sebzésre. Először is a tilliszképződés indul meg (29. ábra). A parenchimasejtek és edények találkozásánál a gödörkemembrán beöblösödik az edénybe, majd egyre nagyobb méreteket ölt. Ezzel egy növekvő hólyag keletkezik az edényben. Következő lépésként a parenchima citoplazmája fokozatosan beáramlik a kialakuló hólyagba, s ott egy vékony fal melletti bevonatot képez. Ennek az edényluminába áthatoló citoplazmának a felületén egy keskeny fal keletkezik, melynek a szerkezete az elsődleges sejtfalára emlékeztet.



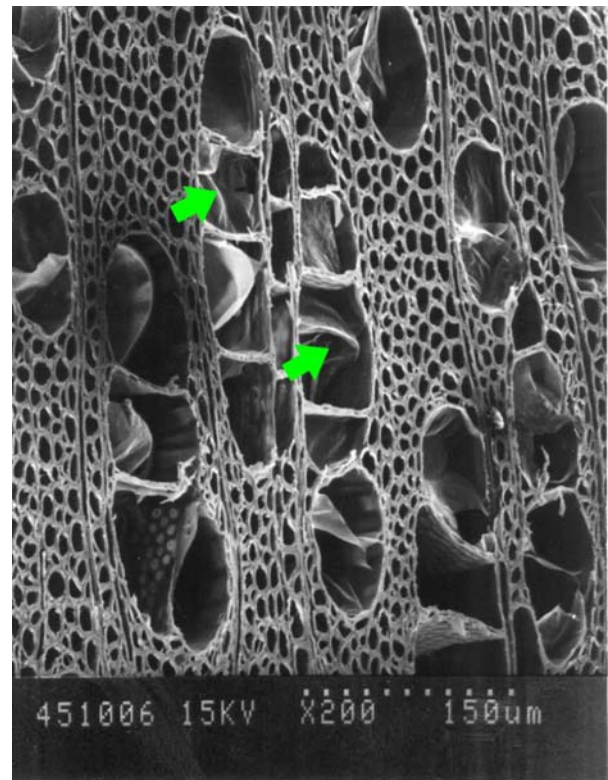
Fotó: Fehér S. [sugármetszet]

28. ábra Belső sugar sejtek elhalása (*Tilia argentea*)



Fotó: Fehér S. [sugármetszet]

29. ábra A gödörkemembrán beöblösödik az edénybe (*Populus x canescens*)



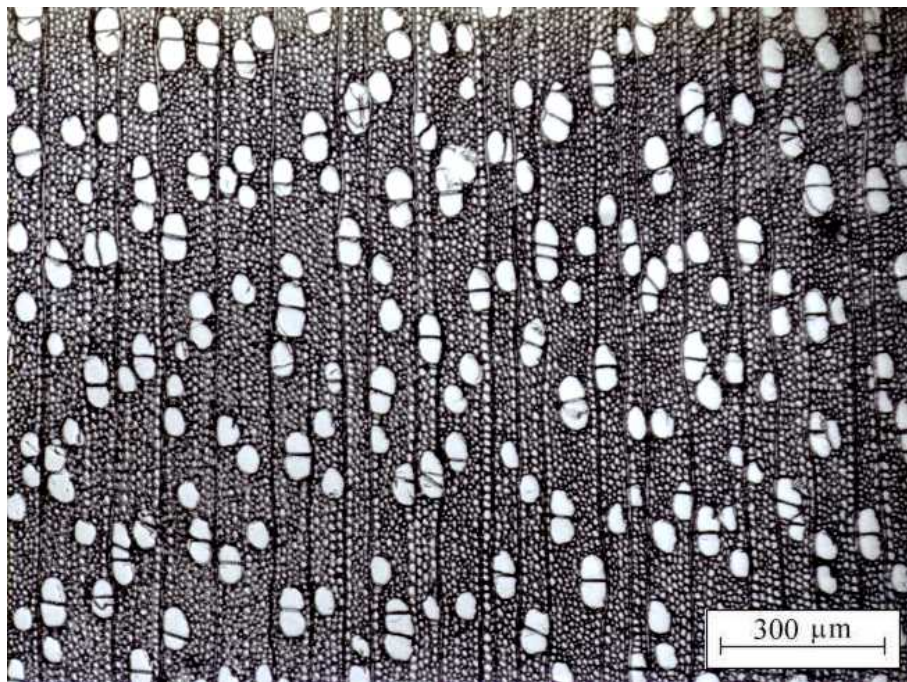
Fotó: Fehér S. [keresztmetszet]

30. ábra Az edényeket tilliszek tömítik el (*Populus x canescens*)

Miközben a tilliszképződés lezajlik, ezzel párhuzamosan megindul a fibrilláris (amorf) váladékanyagok kiválasztódása is. Az így létrejövő gesztesítőanyagok kitöltik a kifejlődött tilliszek közötti helyeket. Lényegében így egy „kettős” védelmi rendszer alakul ki (30. ábra), amely erősíti a záródás határfokát.

A fentiekben leírt folyamatok az edények és a rostok elzárására irányulnak, melynek célja a fertőzés axiális irányú elterjedésének megakadályozása. Ezzel egy időben a sugár és a tangenciális irányú tovább terjedését is meg kell gátolni a fertőzésnek. A mikroorganizmusok vízszintes irányú elterjedését, hasonlóképpen a hárshoz, a növény (fák) a bélsugár parenchimák védőzónává alakításával oldják meg.

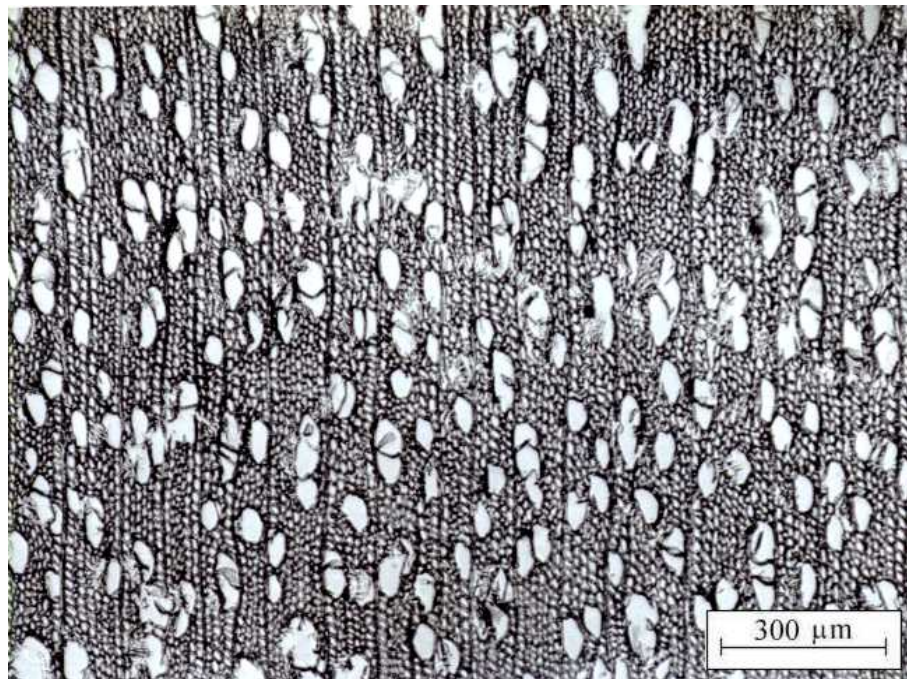
A fénymikroszkópos vizsgálatok elvégzése után a hárshoz hasonló következtetésekre jutottam, azaz a károsodott faanyagban szinte kivétel nélkül mindig megjelennek a gombahyfák, melyek a fatest lebontásához vezetnek. A mikroszkópikus felvételek igazolják, hogy a sejtfalak lebontása elkezdődött (31-32. ábra). A károsodott fából vett metszeteken jól látható, hogy a sejtfalak már gyengébbek, s ennek következtében azok szétszakadoztak a metszetkészítés közben.



Fotó: Fehér S. [keresztmetszet]

31. ábra Egészséges faszövetek (*Populus x canescens*)

A fenti fénymikroszkópos vizsgálatok is alátámasztják, mennyire fontos szerepet játszanak a fák életében az úgynevezett védőfalak (Shigo, 1985) – amelyekre ha szükség van, a fák létrehozzák –, hisz ez az egyetlen túlélési esélyük egy mechanikai sebzést követő másodlagos kórokozók támadásaival szemben. Amint egy nyitott (sebzett) felület jön létre a fa palástján a gombakárosítók azonnal megjelennek a seb mögötti szövetekben.



Fotó: Fehér S. [keresztmetszet]

32. ábra Károsodott faszövetek (*Populus x canescens*)

4.3 A károsodott faanyag fizikai-mechanikai tulajdonságai

Az előző fejezetben bemutattam, milyen hatással vannak a mechanikai sebzések a faanyag anatómiai jellemzőire. Amint látható, a faanyag szöveti szerkezete már nem változik meg, hiszen itt már kifejlődött, állandósult szövetekről beszélünk. A változások, melyek fölléphetnek, tehát csak a reakciófolyamatok következtében kifejlődő védőfalakat, valamint a védekezés során különféle amorf anyagokkal eltömített sejteket, szöveteket ölelik föl. A védőfalak kialakulása után, az általuk lokalizált szövetek fokozatos minőségváltozáson mennek keresztül. Ez elsősorban a bennük megtelepedő gombakárosítók rovására írható föl, s nem utolsósorban a rovarkárosítások is szerepet játszhatnak benne. A károsodás mennyiségi és minőségi előrehaladottságát több tényező is befolyásolja. Mennyiségi oldalról legfontosabb tényező a fa vitalitása, regeneráció képessége, valamint a károsodás időpontja. Téli sérülések esetén egészen nagy területeket érinthet ez a folyamat (33. ábra). Az ábrán jól megfigyelhetők a már kifejlődött védőfalak (vékony sötét sávok formájában), melyek teljesen körül ölelik a károsodott faszövetet. A téli időpont miatt itt már jelentős területeket érint, főleg a sugár irányú elterjedése relatíve nagyon nagy. Tavasszal keletkező sérüléseknél ez csak töredéke lehet. Minőségi oldalról viszont csak az idő, ami befolyásolja a károsodás mértékét. Minél több idő telik el sebzést követően a seb záródásáig, annál nagyobb mértékű minőségromláshoz vezethet.

A minőség csökkenése itt elsősorban a faanyag fizikai és mechanikai tulajdonságaiban mutatkozik meg. Az általam vizsgált mintaanyagnál a sebzést követően három hónap telt el. Tehát ebben a stádiumban a faanyag minősége jelentős mértékben még nem csökkenhetett, s

így egy előhasználat során az állományból kivett faanyagnál jelentős szilárdságcsökkenés nem várható. Ez pedig az ipari hasznosítás szempontjából egyáltalán nem elhanyagolható.



Fotó: Fehér S.

33. ábra A fertőzés sugár és hossz irányú terjedése

A fizikai-mechanikai tulajdonságok eredményeinek értékelése során kapott szignifikancia és a varianciaanalízis vizsgálat adatait a 122-134. mellékletek tartalmazzák.

4.3.1 Fizikai jellemzők vizsgálata

A fizikai jellemzők közül a sűrűség ill. a zsugorodás-dagadás meghatározására került sor. A fa egyik legfontosabb jellemzője a sűrűség, amelynek nagyságából, ha nem is teljes biztonsággal, de következtetni lehet a faanyag szilárdsági értékeire, keménységére, ill. felhasználhatóságára.

A faanyag a vízvesztés és a vízfelvétel hatására megváltoztatja a méreteit, azaz zsugorodás és dagadás folyamata lép föl. A fának e közben létrejövő méretváltozása, a következményeket illetően annál kellemetlenebb, minél egyenlőtlenebbül megy az végbe. Az egyenlőtlen összeaszás ill. dagadás oka az, hogy a fák szöveti felépítése a különböző anatómiai irányokban nem egyforma.

Ha figyelembe vesszük, hogy a sebzés hatására a faanyagban bizonyos módosulások fognak jelentkezni, mint pl. anyagberakódások, a gombakárosítások következtében fellépő sejtfallebontás, stb., akkor a faanyag sűrűségében változások várhatók az egészséges faanyaghoz képest. Mindezek következtében a zsugorodás, ill. dagadás mértéke még jelentősebbé válhat, s így annak káros következményei is fokozottabban fognak jelentkezni.

4.3.1.1 Sűrűség

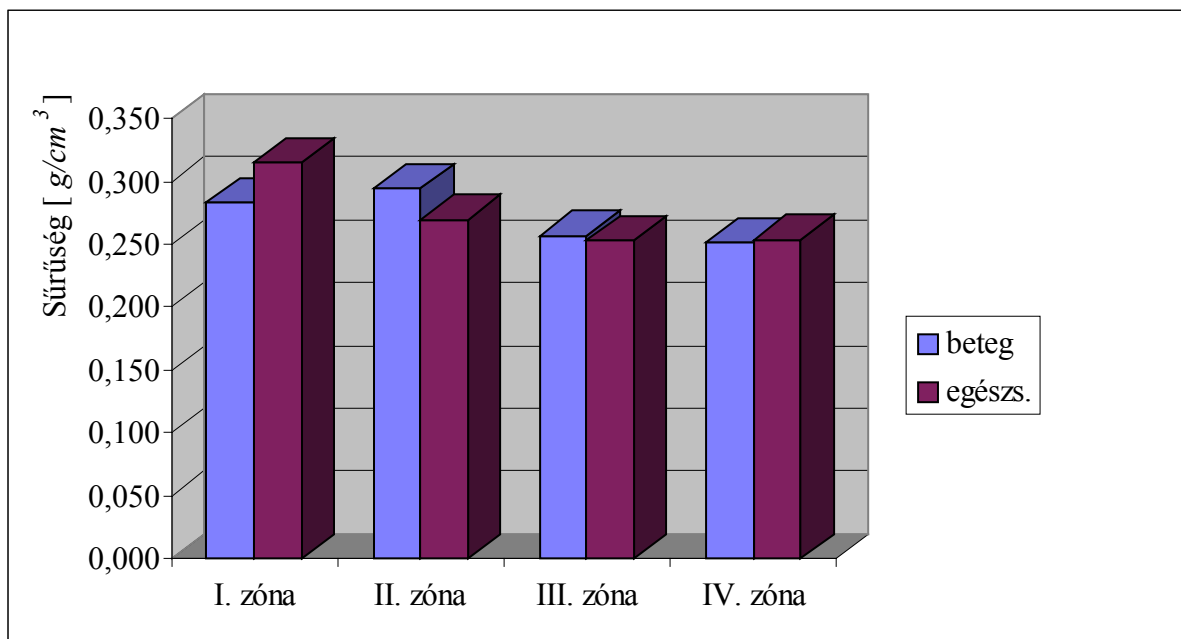
A sűrűségi vizsgálat eredményeit a 7-8. táblázat tartalmazza, amely értékek $u=12\%$ -os nedvességtartalomra vonatkoznak. A szürke nyár és az ezüst hárs mérési eredményei és azok statisztikai táblázatai az 1-16. mellékletekben találhatóak.

7. táblázat A sűrűség statisztikai értékelése (*Populus x canescens*)

Sűrűség [g/cm^3]												$u=12\%$
Stat. adatok	I. zóna			II. zóna			III. zóna			IV. zóna		
	beteg	egészs.	$\Delta\rho$ [%]	beteg	egészs.	$\Delta\rho$ [%]	beteg	egészs.	$\Delta\rho$ [%]	beteg	egészs.	$\Delta\rho$ [%]
Min.	0,253	0,240		0,230	0,230		0,223	0,217		0,221	0,201	
Max.	0,318	0,473		0,374	0,301		0,284	0,314		0,286	0,318	
Átlag	0,283	0,315	-10,15	0,295	0,270	+9,26	0,257	0,253	+1,58	0,252	0,254	-0,79
Szórás	0,017	0,067		0,044	0,023		0,021	0,022		0,019	0,026	
Var. %	6,22	21,27		14,92	8,52		8,17	8,70		7,66	10,24	

Szignifikancia vizsgálat 95%-os megbízhatósági szinten.

A statisztikailag nem homogén átlagok eltérései piros színnel vannak kiemelve, ill. aláhúzva.



34. ábra A sűrűség változása zónánként (*Populus x canescens*)

A táblázat adatait, valamint az azokat szemléltető 34. ábrát elemezve kitűnik, hogy a szürke nyár esetében lényeges eltérés a II., III. és a IV. zóna beteg és az egészséges faanyagai között nincs. Az I. zónában viszont közvetlenül a sebzés mögött lényeges sűrűség csökkenés tapasztalható. Ez a csökkenés a gombák sejtfal lebontó tevékenységére vezethető vissza, ami

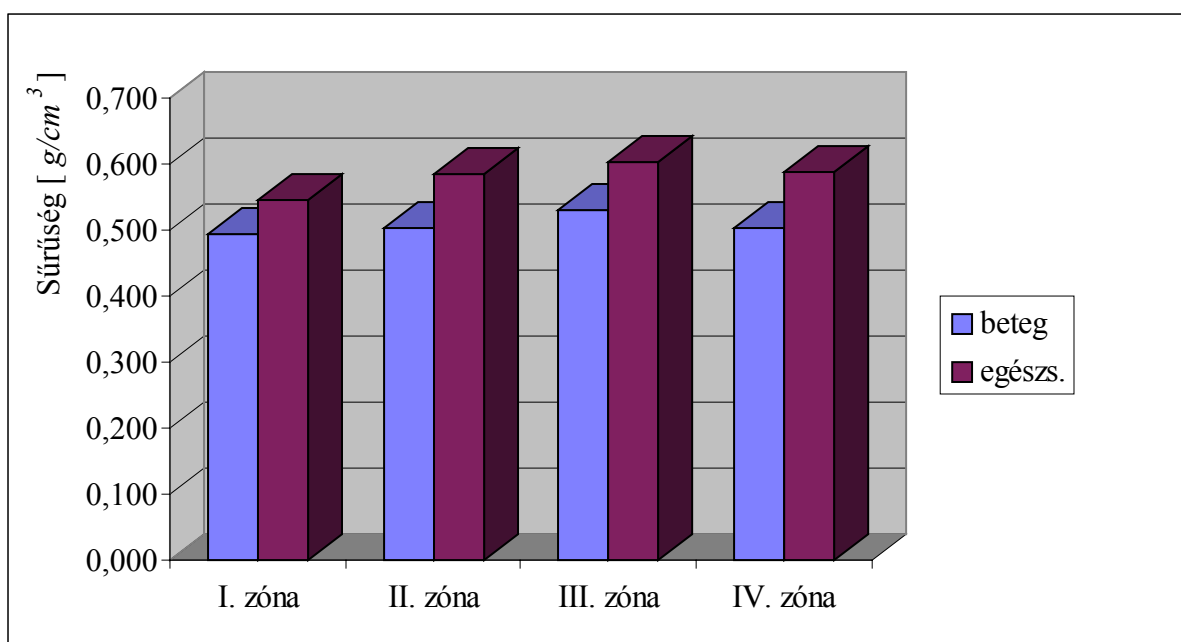
mintegy 10%-ot tesz ki. A 95%-os megbízhatósági szint mellett elvégzett szignifikancia vizsgálat is ezt igazolja. A fentiekkel ellentétben a II. zónában a károsodott faanyag már jobb sűrűség értékkel bír, mint az egészséges. Ez annak tudható be, hogy a preventív védekezés hatására álgesztesedés, ill. tilliszesedés lép fel, s ez növeli a sűrűséget, akár 10%-kal is. Az adatok szórása alapján megbízhatónak tekinthető a faanyag, bár az I. zónában az egészségesé kissé nagy (21,27%). Ez valószínűleg mintavételi pontatlanságokból származhat.

8. táblázat A sűrűség statisztikai értékelése (*Tilia argentea*)

Sűrűség [g/cm^3]													u=12%
Stat. adatok	I. zóna			II. zóna			III. zóna			IV. zóna			
	beteg	egészs.	$\Delta\rho$ [%]	beteg	egészs.	$\Delta\rho$ [%]	beteg	egészs.	$\Delta\rho$ [%]	beteg	egészs.	$\Delta\rho$ [%]	
Min.	0,468	0,525		0,451	0,452		0,488	0,524		0,479	0,544		
Max.	0,517	0,557		0,541	0,63		0,549	0,862		0,521	0,603		
Átlag	0,494	0,546	-9,52	0,503	0,585	-14,02	0,531	0,602	-11,79	0,504	0,587	-14,14	
Szórás	0,013	0,009		0,025	0,028		0,021	0,077		0,01	0,019		
Var. %	2,73	1,57		4,89	4,80		3,98	12,75		2,01	3,27		

Szignifikancia vizsgálat 95%-os megbízhatósági szinten.

A statisztikailag nem homogén átlagok eltérései pirossal vannak kiemelve, ill. aláhúzva



35. ábra A sűrűség változása zónánként (*Tilia argentea*)

A 8. táblázat adatai ill. a 35. ábra alapján kitűnik, hogy a károsodott faanyag az ezüst hársnál mind a négy zónában rosszabb értékekkel bír mint az egészséges. A szignifikancia vizsgálat szerint is mind a négy zónában az eltérés lényeges. Ennek mértéke a károsodott és

az egészséges között 10-15% körül mozog. Ez azt jelenti, hogy a gombakárosítás már elég intenzív. Az hogy mindegyik zónában jelentős csökkenés tapasztalható, azt jelenti, hogy a fertőzés a faanyagban már jelentősen elterjedt. A szórás százalékos értékeit figyelve megállapítható, hogy mind az egészséges és mind a károsodott faanyag megbízható a sűrűség tekintetében.

4.3.1.2. Zsugorodás

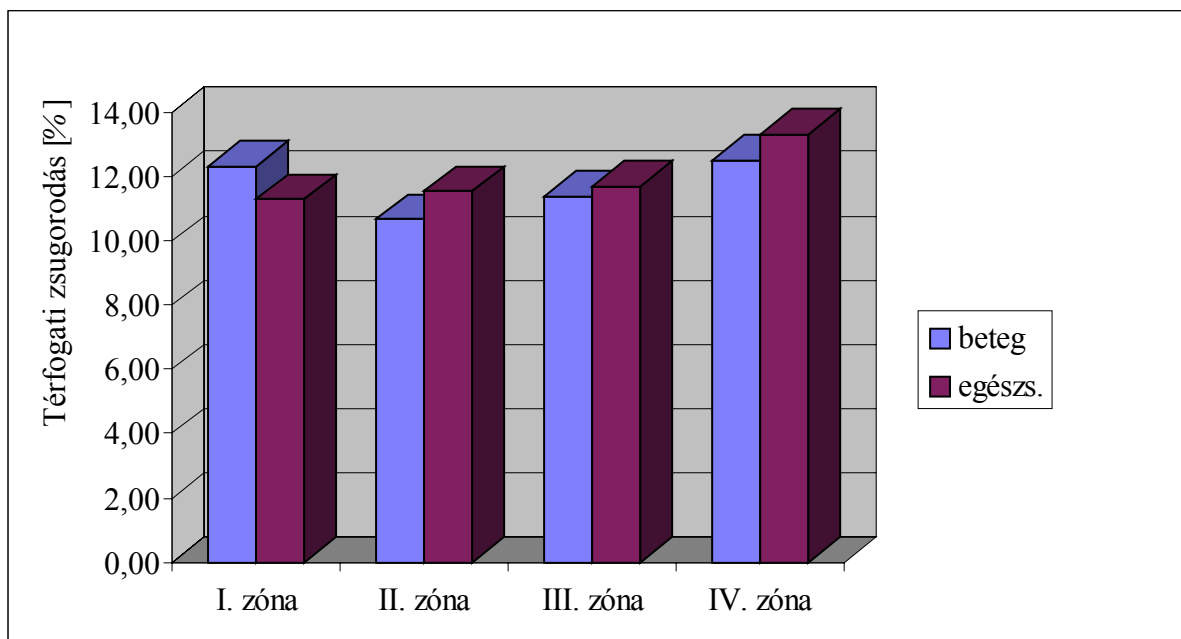
A zsugorodás-dagadás vizsgálat során meghatározott térfogati zsugorodás értékeit a 9. ill. 10. táblázat mutatja be. A mérési eredmények a 17-32. mellékletben láthatók.

9. táblázat A térfogati zsugorodás statisztikai értékelése (*Populus x canescens*)

Térfogati zsugorodás [%]												u=12%
Stat. adatok	I. zóna			II. zóna			III. zóna			IV. zóna		
	beteg	egészs.	ΔZ [%]	beteg	egészs.	ΔZ [%]	beteg	egészs.	ΔZ [%]	beteg	egészs.	ΔZ [%]
Min.	8,41	9,15		2,28	8,92		8,78	10,33		9,79	10,93	
Max.	15,69	12,97		13,77	13,69		12,41	13,16		14,42	16,10	
Átlag	12,33	11,31	+9,02	10,68	11,56	-7,61	11,38	11,70	-2,74	12,51	13,33	-6,15
Szórás	1,54	0,99		2,30	1,10		1,02	0,85		1,24	1,17	
Var. %	12,49	8,75		21,54	9,52		8,96	7,26		9,91	8,78	

Szignifikancia vizsgálat 95%-os megbízhatósági szinten.

A statisztikailag nem homogén átlagok eltérései pirossal vannak kiemelve, ill. aláhúzva.



36. ábra A térfogati zsugorodás változása zónánként (*Populus x canescens*)

A térfogati zsugorodást értékelve a szürke nyárnál, a 9. táblázat és a 36. ábra alapján megállapítható, hogy a károsodott faanyag különösen az I. zónában rosszabb értékekkel rendelkezik (12,33%), mint az egészséges (11,31%). A II. és a IV. zónában van még lényeges különbség a két faanyag között, de ott már az egészséges faanyagnak rosszabbak a mutatói, mintegy 6-7%-kal.

A zónák közötti eltérések (növekedés, csökkenés) azzal is magyarázható, hogy a szöveti szerkezet még nem állandósult, hiszen egy fiatal korú állományról van szó. Ez azt jelenti, hogy a vizsgálati anyag sok juvenilis fát tartalmaz. Az oszlopdiagramról nagyon jól leolvasható a juvenilis fa viselkedése a nedvességtartalom változásának függvényében az egészséges faanyagnál. Minél közelebb vagyunk a bélhez, annál nagyobb a zsugorodás mértéke. Az I. zóna eltérő tendenciáját vélhetőleg a juvenilis kor és a károsodás együttesen adja, azaz felerősítik egymás hatását. A statisztikai elemzés szerint még a károsodott faanyag is megbízhatónak tekinthető a nedvesség változás tekintetében, egyedül a II. zónában rendelkezik magasabb szórással (21,54%), de ebben az esetben is a minimum érték tér el nagy mértékben az átlagtól.

10. táblázat A térfogati zsugorodás statisztikai értékelése (*Tilia argentea*)

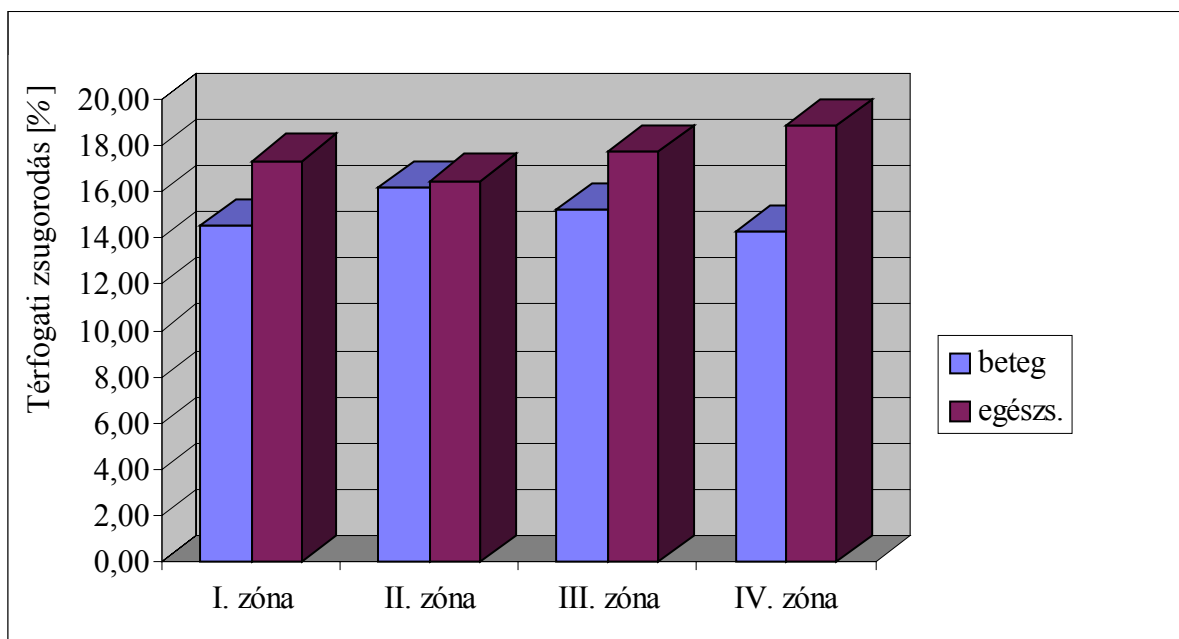
Térfogati zsugorodás [%]													u=12%
Stat. adatok	I. zóna			II. zóna			III. zóna			IV. zóna			
	beteg	egészs.	ΔZ [%]	beteg	egészs.	ΔZ [%]	beteg	egészs.	ΔZ [%]	beteg	egészs.	ΔZ [%]	
Min.	9,98	13,18		11,66	11,65		13,69	15,19		10,22	17,43		
Max.	16,76	25,43		21,25	19,35		17,07	20,96		17,57	20,83		
Átlag	14,53	17,34	-16,20	16,19	16,48	-1,76	15,25	17,75	-14,08	14,30	18,88	-24,26	
Szórás	1,27	2,61		2,33	1,62		0,96	1,57		1,41	0,92		
Var. %	8,72	15,05		14,39	9,80		6,32	8,81		9,86	4,89		

Szignifikancia vizsgálat 95%-os megbízhatósági szinten.

A statisztikailag nem homogén átlagok eltérései pirossal vannak kiemelve, ill. aláhúzva.

Az ezüsthárs mérési eredményeinek értékelése (10. táblázat és a 37. ábra) során megállapítható, hogy egyedül a II. zónában nincs számottevő eltérés az átlagok között (1,74%). Az összes többi zónában már szignifikáns különbségek tapasztalhatók. Egyértelműen csökkenő tendenciát mutatnak a károsodott faanyagok, ami szoros összefüggésben van sűrűség vizsgálatok eredményeivel. A beteg anyag végig jobb zsugorodási értékeket produkál, mint az egészséges, s ez elérheti akár a 14-25%-os különbséget is. A mérési adatok szórás vizsgálata nem mutat ki nagy eltéréseket sem az egészséges, sem a károsodott anyagnál, egyedül az I. és a II. zónánál mutat kiugró értékeket (14-15%).

A károsodott faanyag térfogati zsugorodásának csökkenése, mind a szürke nyárnál, mind az ezüst hársnál megfigyelhető. Az okokat vizsgálva, ez a csökkenő tendencia közvetlenül a sejtfal mennyiségi csökkenésére vezethető vissza a beteg faanyagnál, ami a gombakárosításokkal áll szoros összefüggésben.



37. ábra A térfogati zsugorodás változása zónánként (*Tilia argentea*)

4.3.2 Mechanikai jellemzők vizsgálata

A statikus szilárdsági tulajdonságok közül a nyomó- és hajlítoszilárdságot, valamint a hajlító rugalmassági modulust határoztam meg. A dinamikus szilárdsági tulajdonságok közül viszont az ütő-hajlító szilárdságot mértem. Ezek azok a szilárdsági jellemzők, amelyek a legjobban reprezentálják egy adott faanyag minőségét, ill. felhasználhatóságát. Természetesen annak megállapításához, hogy a károsodott és az egészséges faanyag között van-e lényeges eltérés a szilárdsági tulajdonságok tekintetében, itt is elvégeztem a szignifikancia vizsgálatot 95%-os megbízhatósági szint mellett, ami a faiparban használatos.

A mintavételezéseket korlátozhatta a hegszövet mérete, így a minta darabszámát és a méretek kialakítását is, ezért szükséges volt a próbatestek méreteinek megváltoztatása. A szabványban előírtaktól arányosan tértem el, így a próbatestek keresztmetszeti mérete 10x10 mm-es lett, hossza pedig 150 mm. Mivel az egészséges és beteg részekből kialakított mintatestek méreteit egységesen ugyanolyan arányban változtattam, ezért – összehasonlító vizsgálatról lévén szó – a vizsgálatkor kapott értékek reálisak és a faanyag minőségéről megbízható képet nyújtanak.

4.3.2.1 Nyomószilárdság

A nyomószilárdság vizsgálata során meghatároztam a rostokkal párhuzamos irányú összenyomással szemben kifejtett ellenállását az egyes zónák faanyagának. A mérési eredményeket a 33-48. melléletek tartalmazzák.

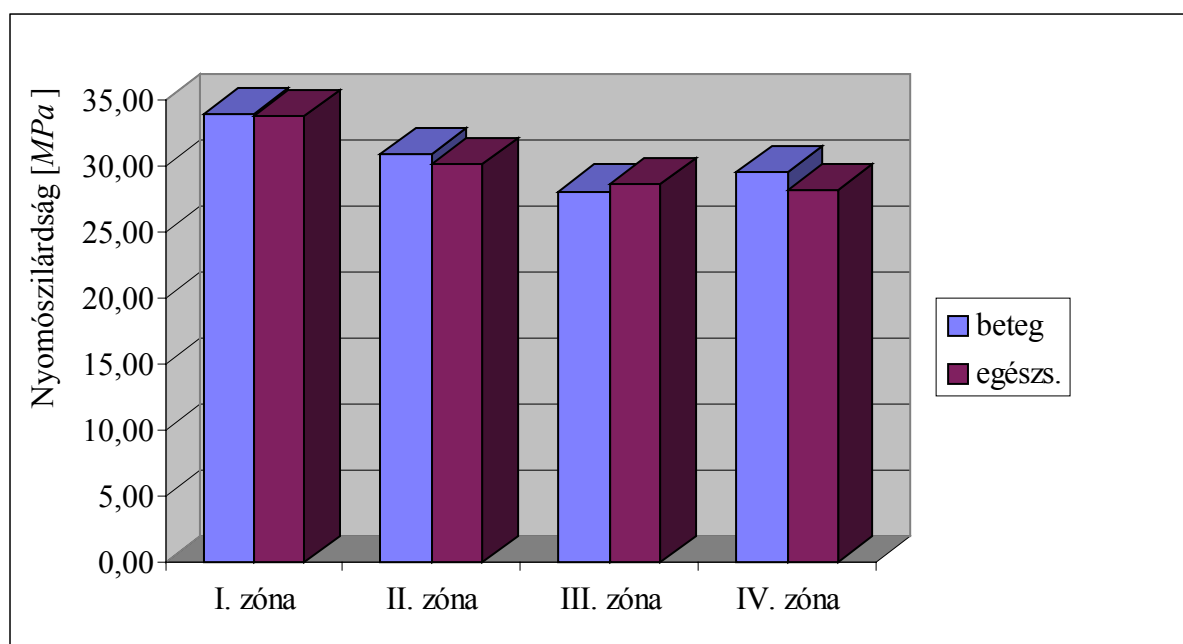
A 11. táblázatból ill. a 38. ábrából kitűnik, a nyomószilárdsági értékek tekintetében a szürke nyár beteg és az egészséges anyaga között nincs nagy eltérés. A szignifikancia vizsgálat is csak a IV. zónában mutatott ki lényeges eltérést a két érték között, a károsodott anyag javára (+5,15%), de meg kell jegyezni, hogy ott is éppen csak eléri a határértéket. Ez a minimális eltérés is csak annak a következménye, hogy a preventív védekezés során az anyagberakódások növelik a nyomószilárdságot.

11. táblázat A nyomószilárdság statisztikai értékelése (*Populus x canescens*)

Nyomószilárdság [MPa]													u=12%
Stat. adatok	I. zóna			II. zóna			III. zóna			IV. zóna			
	beteg	egészs.	$\Delta\sigma$ [%]	beteg	egészs.	$\Delta\sigma$ [%]	beteg	egészs.	$\Delta\sigma$ [%]	beteg	egészs.	$\Delta\sigma$ [%]	
Min.	17,13	28,67		19,66	23,60		19,64	24,66		23,79	22,22		
Max.	48,48	39,53		44,02	35,62		37,56	33,40		33,79	34,30		
Átlag	33,87	33,72	+0,45	30,92	30,09	+2,76	28,10	28,61	-1,78	29,58	28,13	<u>+5,15</u>	
Szórás	6,82	2,95		5,58	2,88		3,74	2,21		2,51	2,87		
Var. %	20,13	8,75		18,06	9,56		13,31	7,73		8,48	10,19		

Szignifikancia vizsgálat 95%-os megbízhatósági szinten.

A statisztikailag nem homogén átlagok eltérései pirossal vannak kiemelve, ill. aláhúzva.



38. ábra A nyomószilárdság változása zónánként (*Populus x canescens*)

A károsodott faanyag nyomóterheléssel szembeni megbízhatósága kérdéses az I. ill. II. zónában, hiszen a szórás mintegy 15-20%-os. A többi területen viszont már elfogadható. Ez is mutatja, hogy a károsodása a faanyagnak az első két zónában már elkezdődött.

Az ezüst hársnál már jelentős eltérések tapasztalhatók (12. táblázat), ellentétben a szürke nyárhoz képest. Az első három zónában nagy mértékben lecsökkent a nyomószilárdsága a beteg faanyagának (7-13%). Ez egyértelműen a károsodás nagyobb fokozatára vezethető vissza. A három zónában való elterjedés pedig arra utal, hogy a fertőzés már mélyen behatolt a törzsbe.

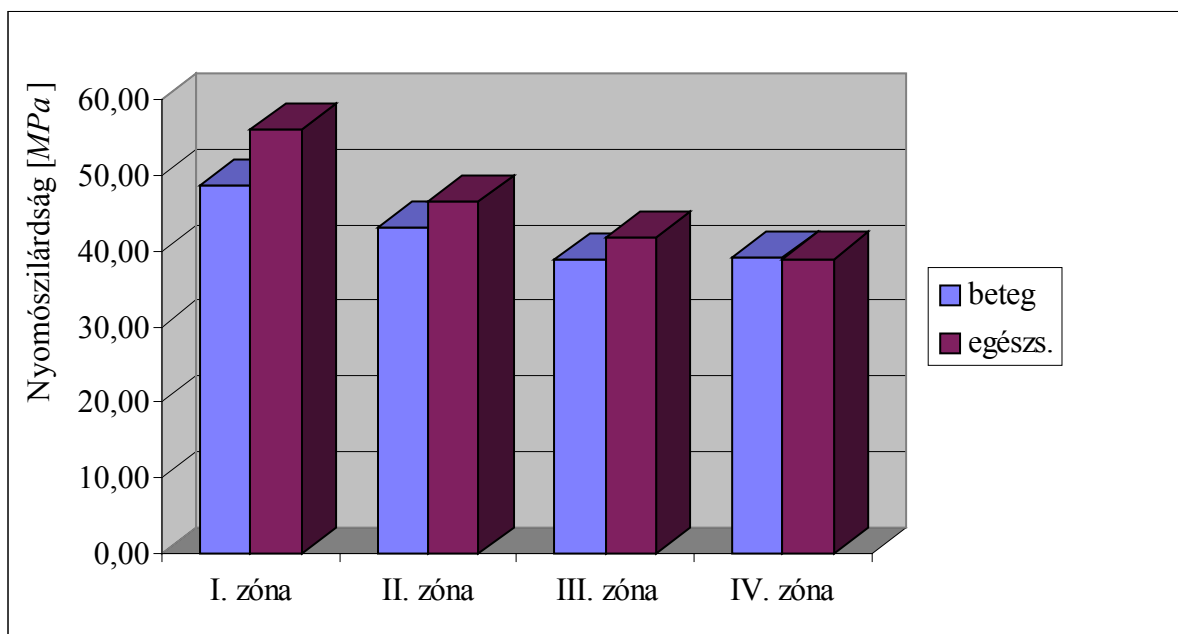
12. táblázat A nyomószilárdság statisztikai értékelése (*Tilia argentea*)

Nyomószilárdság [MPa]												u=12%
Stat. adatok	I. zóna			II. zóna			III. zóna			IV. zóna		
	beteg	egészs.	$\Delta\sigma$ [%]	beteg	egészs.	$\Delta\sigma$ [%]	beteg	egészs.	$\Delta\sigma$ [%]	beteg	egészs.	$\Delta\sigma$ [%]
Min.	42,89	49,28		38,84	41,78		33,88	38,69		35,51	34,50	
Max.	58,49	62,99		47,72	49,99		41,95	45,24		42,69	45,84	
Átlag	48,72	55,95	-12,92	43,11	46,52	-7,33	38,79	41,82	-7,25	39,05	38,98	+0,18
Szórás	3,47	4,08		2,53	1,89		2,17	2,11		1,49	2,80	
Var. %	7,13	7,30		5,87	4,06		5,60	5,05		3,81	7,18	

Szignifikancia vizsgálat 95%-os megbízhatósági szinten.

A statisztikailag nem homogén átlagok eltérései piros színnel vannak kiemelve, ill. aláhúzva.

A 39. ábra alapján jól nyomon lehet követni az évgyűrű szerkezeti változásokat az egészséges anyagnál. Ugyan ez a tendencia figyelhető meg a károsodott oldalon is. Tehát a juvenilis fára jellemző tényezők erősen befolyásolják a szilárdsági paramétereket.



39. ábra A nyomószilárdság változása zónánként (*Tilia argentea*)

4.3.2.2 Statikus hajlítószilárdság

A hajlító igénybevételekkel szemben tanúsított ellenállását a faanyagnak a 13. ill. 14. táblázatok mutatják be, valamint a két fafaj mérési eredményei a 49-64. mellékletekben találhatóak.

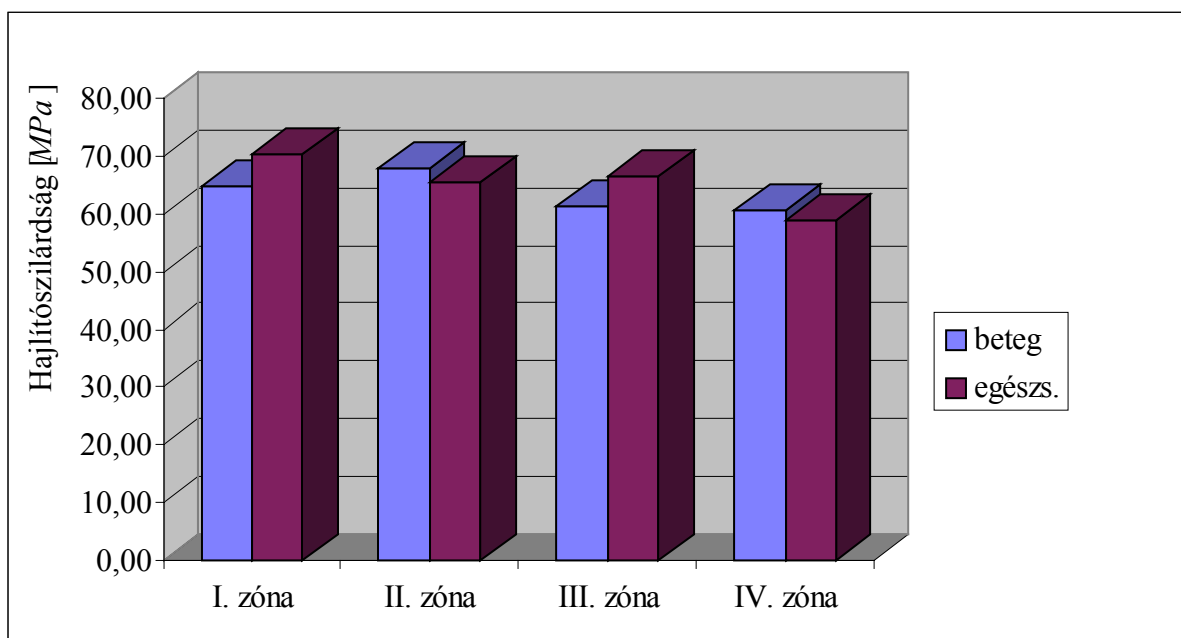
13. táblázat A hajlítószilárdság statisztikai értékelése (*Populus x canescens*)

Hajlítószilárdság [MPa]												u=12%
Stat. adatok	I. zóna			II. zóna			III. zóna			IV. zóna		
	beteg	egészs.	$\Delta\sigma$ [%]	beteg	egészs.	$\Delta\sigma$ [%]	beteg	egészs.	$\Delta\sigma$ [%]	beteg	egészs.	$\Delta\sigma$ [%]
Min.	40,91	50,84		47,09	52,09		36,36	47,69		48,43	47,51	
Max.	85,24	82,70		94,52	80,85		80,67	77,25		74,12	72,68	
Átlag	64,62	70,15	-7,88	67,93	65,56	+3,62	61,35	66,53	-7,79	60,72	58,87	+3,14
Szórás	15,28	8,91		11,91	8,04		9,74	6,22		5,94	5,96	
Var. %	23,65	12,71		17,53	12,27		15,88	9,35		9,78	10,12	

Szignifikancia vizsgálat 95%-os megbízhatósági szinten.

A statisztikailag nem homogén átlagok eltérései piros színnel vannak kiemelve, ill. aláhúzva.

A szürke nyár vizsgálatánál (13. táblázat, ill. 40. ábra) az I. és III. zónában lényeges eltérés tapasztalható a szignifikancia vizsgálat alapján az egészséges anyag javára a károsodottal szemben, ami azt mutatja, hogy a hántáskár – mechanikai sebzés – hatására megváltozott szöveti szerkezetű faanyag ellenállása a hajlító igénybevétellel szemben csökken. A III. és a



40. ábra A hajlítószilárdság változása zónánként (*Populus x canescens*)

IV. zónában tapasztalható minimális növekedés a nem állandósult szöveti szerkezet és a gombakárosítók kevésbé intenzív tevékenységének következménye. Az egyes zónákban lévő szignifikáns eltérések, továbbá az I. és II. zóna számított értékeinek nagy szórása (17-23%) arra utal, hogy ez a faanyag megbízhatatlan a hajlító igénybevételnek kitett helyeken.

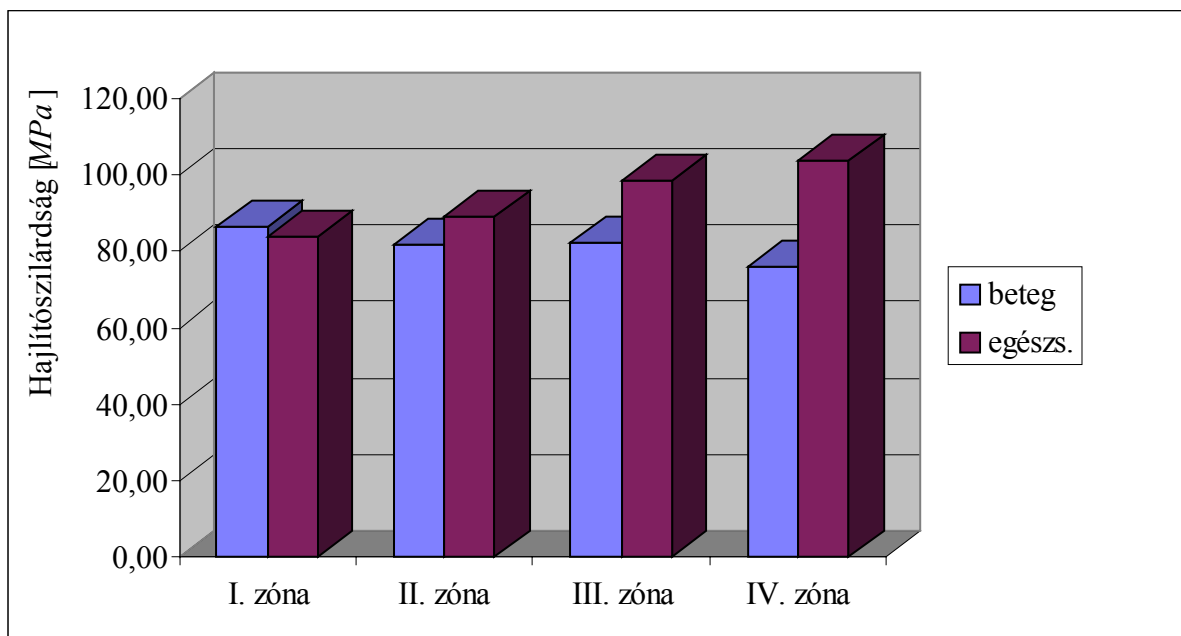
Az ezüst hárs vizsgálata már a nyomószilárdság vizsgálatához hasonló eredménnyel szolgált (14. táblázat). A károsodott és az egészséges faanyag hajlítószilárdsága között a szignifikancia vizsgálat szerint lényeges különbség adódott a II., III. és a IV. zónákban.

14. táblázat A hajlítószilárdság statisztikai értékelése (*Tilia argentea*)

Hajlítószilárdság [MPa]												u=12%
Stat. adatok	I. zóna			II. zóna			III. zóna			IV. zóna		
	beteg	egészs.	$\Delta\sigma$ [%]	beteg	egészs.	$\Delta\sigma$ [%]	beteg	egészs.	$\Delta\sigma$ [%]	beteg	egészs.	$\Delta\sigma$ [%]
Min.	71,21	58,12		61,14	68,65		51,02	70,31		47,35	83,43	
Max.	101,31	102,74		98,52	102,44		146,41	140,46		93,51	178,77	
Átlag	86,34	83,58	+3,30	81,54	88,83	-8,21	82,02	98,29	-16,55	75,68	103,74	-27,05
Szórás	8,53	10,73		8,25	9,29		17,86	17,20		13,28	20,40	
Var. %	9,88	12,84		10,12	10,45		21,78	17,51		17,54	19,66	

Szignifikancia vizsgálat 95%-os megbízhatósági szinten.

A statisztikailag nem homogén átlagok eltérései pirossal vannak kiemelve, ill, aláhúzva.



41. ábra A hajlítószilárdság változása zónánként (*Tilia argentea*)

A méréseim alapján jelentős szilárdság csökkenéssel kell számolni a hárs esetében egy sebzést követő időszakban. A minőségromlás a hajlítoszilárdság esetében megközelítheti a 30%-os értéket is. Ezt a minőségváltozást nagyon jól demonstrálja a 41. ábra, ahol is a változás tendenciája jól nyomon követhető.

Meglepő a III. és a IV. zónák kimagaslóan nagy szilárdsági paraméterei az egészséges oldalon. Mintha nem érvényesülnének ebben a tartományban a juvenilis fa hatásai. Ennek azért ellentmondanak az itt tapasztalható magas szórás értékek (17-20%).

4.3.2.3 Statikus hajlító rugalmassági modulus

A hajlító rugalmassági modulus meghatározása során képet kapunk a faanyag rugalmasságáról. A 15. és a 16. táblázatban lévő adatok ezt a rugalmasságot érzékeltetik. A szürke nyár és az ezüst hársra vonatkozó vizsgálati eredményeket a 49-64. melléletek tartalmazzák.

15. táblázat A rugalmassági modulus statisztikai értékelése (*Populus x canescens*)

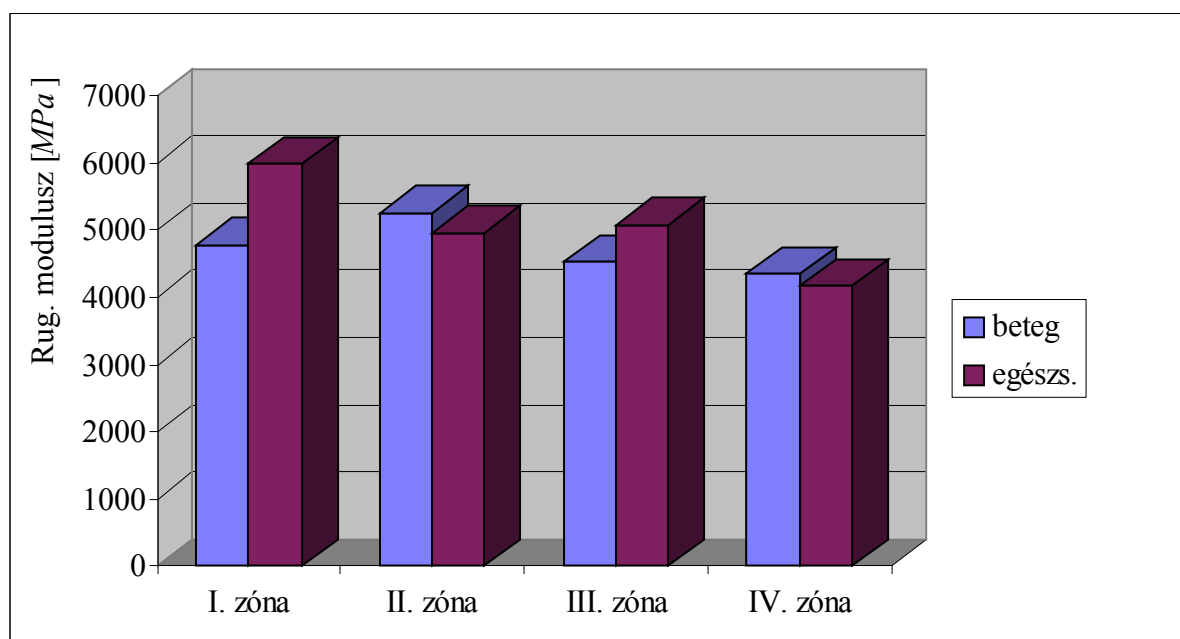
Rugalmassági modulusz [MPa] u=12%												
Stat. adatok	I. zóna			II. zóna			III. zóna			IV. zóna		
	beteg	egészs.	ΔE [%]	beteg	egészs.	ΔE [%]	beteg	egészs.	ΔE [%]	beteg	egészs.	ΔE [%]
Min.	3651	3206		3761	3801		2142	3609		2463	2942	
Max.	5762	7705		7751	6109		5808	6284		5505	5632	
Átlag	4781	5982	-21,79	5263	4961	+6,09	4526	5082	-10,95	4345	4167	+4,27
Szórás	671	1243		985	620		788	545		712	728	
Var. %	14,04	20,78		18,72	12,50		17,42	10,72		16,40	17,47	

Szignifikancia vizsgálat 95%-os megbízhatósági szinten.

A statisztikailag nem homogén átlagok eltérései pirossal vannak kiemelve, ill. aláhúzva.

Mint a mellékelt 15. táblázat adatai is mutatják, egyértelműen ki lehet mondani a minőség csökkenését a károsodott faanyag hajlító rugalmassági modulusánál a szürke nyár esetében, hiszen az I. és a III. zónában számottevő különbség van a két anyag között (11-22%). Különösen magas ez az érték a legkülső zónában. Hasonló eltérések mutathatók ki, mint a hajlítoszilárdság meghatározásánál A 42. ábra nagyon szemléletesen tárja elénk az egyenlőtlen szöveti szerkezet hatását a faanyag rugalmasságára nézve, valamint hogy sebzés okozta fertőzés milyen jelentős minőségcsökkenéssel járhat együtt, különös tekintettel a legkülső zónában.

A vizsgálati eredmények szórás adatainak elemzése feltűnően magas értékeket mutatnak. Ez is alátámasztja a hajlítoszilárdságnál tett megállapításomat, hogy azokon a területeken ahol jelentős hajlító igénybevételekkel kell számolni, ott ez a faanyag nem használható. A felhasználása magas kockázati tényezővel járna. Bár az I. és a IV. zóna egészséges anyaga is nagy szórást mutat, de ez itt is a juvenilis kor hatására vezethető vissza.



42. ábra A rugalmassági modulus változása zónánként (*Populus x canescens*)

Az ezüst hárs vizsgálata a faanyag rugalmassága szempontjából érdekes eredményekkel szolgált (16. táblázat), hasonlóan mint a hajlítószilárdság meghatározásánál. A sebzést követően az anyag rugalmassági modulusza csak a belső zónákban csökkent le jelentős mértékben (25-27%). Az egészséges faanyag modulusza viszont itt a legmagasabb, mintegy 12-13000 MPa (43. ábra). A külső zónáknál már nincs olyan egyértelmű különbség az egészséges és a beteg faanyag között, hiszen az első két zónában csak minimális az eltérés (1-3%)

16. táblázat A rugalmassági modulus statisztikai értékelése (*Tilia argentea*)

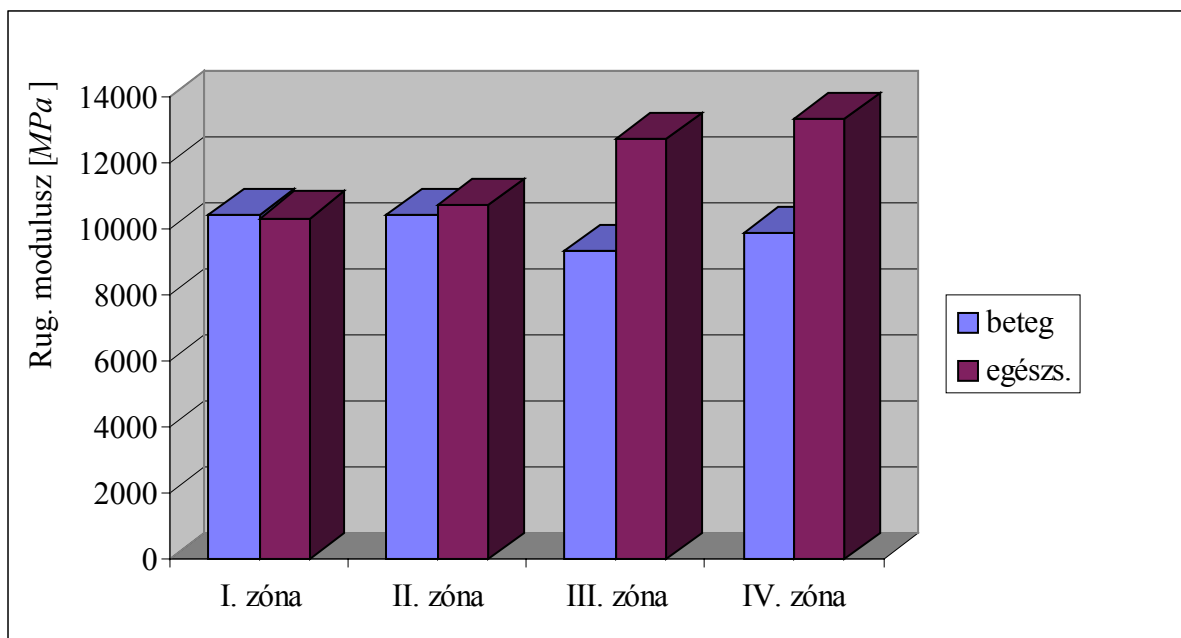
Rugalmassági modulusz [MPa]												u=12%
Stat. adatok	I. zóna			II. zóna			III. zóna			IV. zóna		
	beteg	egészs.	ΔE [%]	beteg	egészs.	ΔE [%]	beteg	egészs.	ΔE [%]	beteg	egészs.	ΔE [%]
Min.	7482	7574		6034	7974		6591	7493		6615	9390	
Max.	12842	13289		12415	12304		15610	16576		12734	15578	
Átlag	10436	10324	+1,08	10426	10724	-2,78	9310	12717	-26,79	9872	13329	-25,94
Szórás	1442	1669		1391	1553		1907	2401		1634	1750	
Var. %	13,82	16,17		13,35	14,48		20,48	18,88		16,55	13,13	

Szignifikancia vizsgálat 95%-os megbízhatósági szinten.

A statisztikailag nem homogén átlagok eltérései pirossal vannak kiemelve, ill. aláhúzva.

Az egészséges faanyag mérési eredményei itt is rendkívül magas szórás értékeket mutatnak, ami a szürke nyárhoz hasonlóan, a még nem állandósult szöveti szerkezet

eredménye. A beteg anyag is rossz szórás mutatókkal rendelkezik, ami nagyobb részt már a gombakárosítók tevékenységének tudható be.



43. ábra A rugalmassági modulus változása zónánként (*Tilia argentea*)

4.3.2.4 Ütő-hajlító szilárdság

Az ütő-hajlító szilárdság, mint dinamikus vizsgálati eljárás megmutatja, hogy a faanyag milyen mértékben képes a ráható külső energiát elnyelni, ill. alakjának megváltoztatásával annak hatását kiegyenlíteni, vagy csökkenteni. Így a 65-80. mellékletek adnak képet a vizsgált károsodott és egészséges faanyag szívósságáról, ill. ridegségéről.

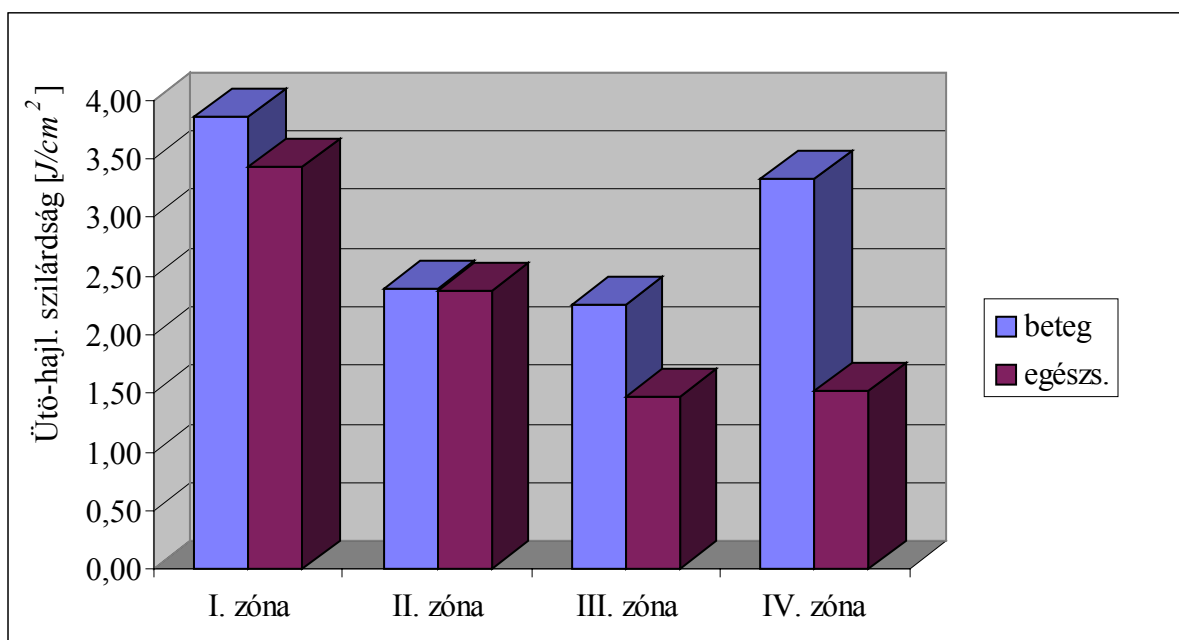
17. táblázat Az ütő-hajlítószilárdság statisztikai értékelése (*Populus x canescens*)

Ütő-hajlító szilárdság [J/cm^2]													u=12%
Stat. adatok	I. zóna			II. zóna			III. zóna			IV. zóna			
	beteg	egészs.	Δw [%]	beteg	egészs.	Δw [%]	beteg	egészs.	Δw [%]	beteg	egészs.	Δw [%]	
Min.	1,10	0,94		1,12	1,12		1,13	0,79		1,32	0,50		
Max.	6,93	5,19		4,92	4,01		4,12	2,75		9,50	2,33		
Átlag	3,86	3,44	+12,21	2,39	2,38	+0,4	2,26	1,47	+53,74	3,34	1,52	+119,73	
Szórás	2,31	1,16		0,92	0,87		0,90	0,54		2,06	0,49		
Var. %	59,90	33,72		38,27	36,33		39,79	36,40		61,80	32,29		

Szignifikancia vizsgálat 95%-os megbízhatósági szinten.

A statisztikailag nem homogén átlagok eltérései pirossal vannak kiemelve, ill. aláhúzva.

A sűrke nyár dinamikus igénybevételekkel szembeni ellenállása rendkívüli módon megnőtt a két belső zónában a sebzést követően, mintegy 50-120%-kal (17. táblázat). Ezek a feltűnően magas értékek egyrészt az álgesztesedésnek, ill. a már elkezdődött tilliszsesedésnek tulajdoníthatók, amelyek a sérülést követő preventív védekezés során jelentkeztek. Az 50-60%-os szórás értékek általában nem ritkák az ütő-hajlító vizsgálatnál, ami a vizsgálati módszer jellemzője, továbbá a juvenilis faszervezet is hatással van ezekre a feltűnően kiugró paraméterekre. Az egészséges faanyag ütő-hajlító szilárdsága viszont már a várható módon alakult az egyes zónákban (44. ábra).



44. ábra Az ütő-hajlító szilárdság változása zónánként (*Populus x canescens*)

A fentiekben említett változások a sebzés hatására kialakuló preventív védekezés következményei, melynek során az edények gesztesítő anyagokkal tömődnek el, ill. tilliszsesednek. Ez a folyamat átmenetileg növeli a faanyag ütő-hajlítószilárdságát, mindaddig, amíg a másodlagos károsítók okozta sejtfal "pusztító" hatása el nem éri ezt a réteget is.

Egy olyan faj vizsgálatánál, mint amelyik nem rendelkezik tilliszképződésre alkalmas anatómiai tulajdonságokkal, már sokkal rosszabban reagálja le a mechanikai sebzéseket. Ilyen faj az ezüst hárs is. Az I. zóna ütő-hajlító szilárdsága jelentős mértékben csökkent a sebzést követően (20,43%) A mélyebb rétegekben lévő szövetek már nem reagáltak ilyen drasztikusan a dinamikus igénybevételi vizsgálatra, az eltérések csak minimálisak (2-6%), ami itt is az álgesztesedés következménye (18. táblázat, ill. 45. ábra). Az edények eltömődése gesztesítő anyagokkal egy ideig kompenzálja a gombák sejtfal lebontó hatását.

Az ezüst hársnál mind az egészséges, mind a károsodott faanyag viselkedése ütő-hajlításra, már a normál faanyag tulajdonságainak megfelelően alakul, a bél felé közeledve csökkenő tendenciát mutatnak.

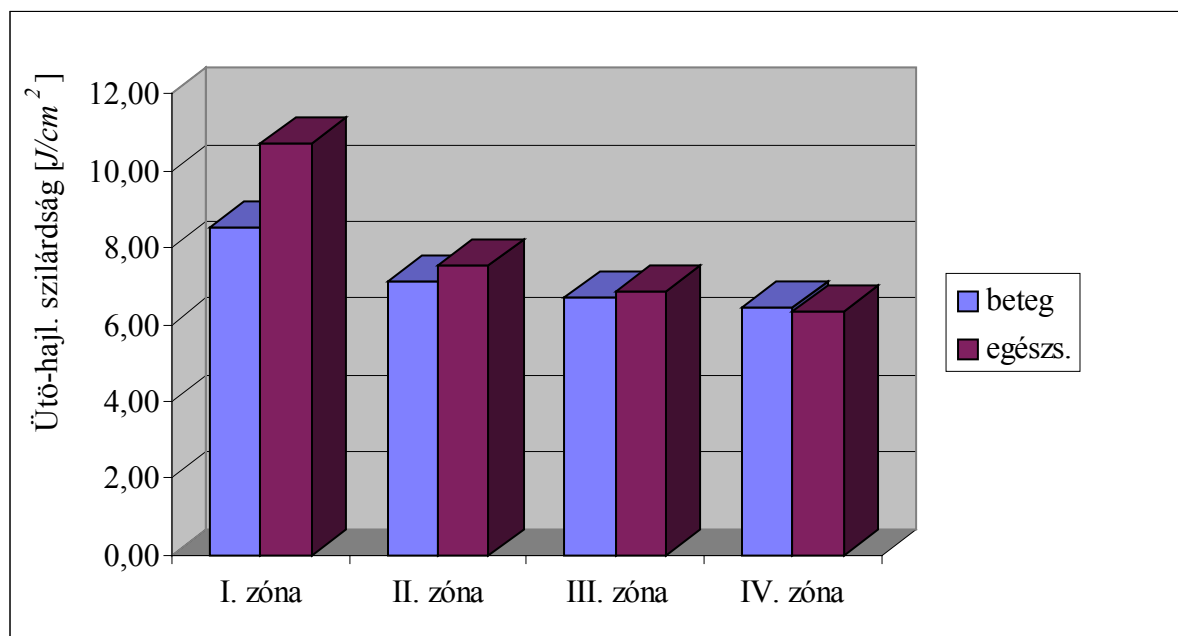
18. táblázat Az ütő-hajlítószilárdság statisztikai értékelése (*Tilia argentea*)

Ütő-hajlító szilárdság [J/cm^2]												u=12%
Stat. adatok	I. zóna			II. zóna			III. zóna			IV. zóna		
	beteg	egészs.	Δw [%]	beteg	egészs.	Δw [%]	beteg	egészs.	Δw [%]	beteg	egészs.	Δw [%]
Min.	5,54	8,06		4,82	5,75		4,95	3,91		4,74	4,78	
Max.	10,94	14,16		9,65	10,00		9,32	9,77		8,44	11,15	
Átlag	8,53	10,72	-20,43	7,10	7,55	-5,96	6,71	6,87	-2,33	6,45	6,32	+2,06
Szórás	1,43	1,72		1,32	1,21		1,18	1,38		0,96	1,57	
Var. %	16,75	16,06		18,65	15,97		17,66	20,10		14,85	24,82	

Szignifikancia vizsgálat 95%-os megbízhatósági szinten.

A statisztikailag nem homogén átlagok eltérései pirossal vannak kiemelve, ill. aláhúzva.

A szórás értékek itt is magas értékeket mutatnak (15-25%), de még mindig elmaradnak a nyárnál tapasztalt értékekhez képest. Ami arra utal, hogy a hárs faanyaga valamivel homogénebb felépítésű, mint a nyáré. Így olyan területen való alkalmazása, ahol dinamikus igénybevétel is felmerülhet, megbízhatóbban viselkedik a nyárral szemben.



45. ábra Az ütő-hajlító szilárdság változása zónánként (*Tilia argentea*)

4.3.2.5 Termékszerkezet méretű anyag vizsgálata

A kutatásaim során lehetőségem nyílt arra, hogy az ezüst hárs esetében kiterjesszem a vizsgálataimat termékszerkezet méretű anyagra is, elegendő alapanyag következtében.

A méréseket az egyik legfontosabb szilárdsági paraméterre, a hajlítoszilárdságra, ill. a rugalmassági moduluszra végeztem el. Ettől a vizsgálatától azt vártam, hogy egyrészt alátámaszsa a kis méretű próbatestek vizsgálatánál tett megállapításaimat, másrészt viszont arra kerestem választ, hogyan viselkedik az olyan faanyag nagyobb méretekben hajlító igénybevételekre, amely a mechanikai sérülések következményeit hordozza magában (gombakárosítás, álgesztesedés, behegedt sérülések, stb.).

A mérésekhez a rakodólap fedlap méreteinek megfelelő próbatesteket gyártattam le (1200x30x22 mm). Vizsgálataimat az is motiválta, hogy ez a termék többek között hajlító igénybevételnek is ki van téve.

A vizsgálatok adatait a 81-82. mellékletek tartalmazzák. Meghatároztam a légszáraz sűrűség értékét is, amely $0,552 \text{ g/cm}^3$ (49. melléklet), ami átlagosan megfelel az egészséges vizsgálati alapanyag sűrűségének (lásd. 8. táblázat).

A termékszerkezet méretű faanyag hajlítoszilárdsága (85,09 MPa) az I. ill. a II. zóna faanyagminőségének (83-89 MPa) felel meg (19. táblázat). A III. és a IV. zóna hajlítoszilárdsága (98-104 MPa) viszont már lényegesen eltér az előző zónák átlagától. Mindezek alapján a nagyméretű termékek, melyek már különböző fahibákkal terheltek, a hajlítoszilárdság tekintetében elmarad az átlagtól, csak egy alacsonyabb minőségi kategóriát képvisel. A fenti megállapításokat a 46. ábra oszlopdigramjai is jól alátámasztja. A mérési adatok szórását értékelve megállapítható, hogy azok elfogadhatók, azaz a kapott eredmények a termékszerkezet méretű faanyagnál jól reprezentálják annak minőségét.

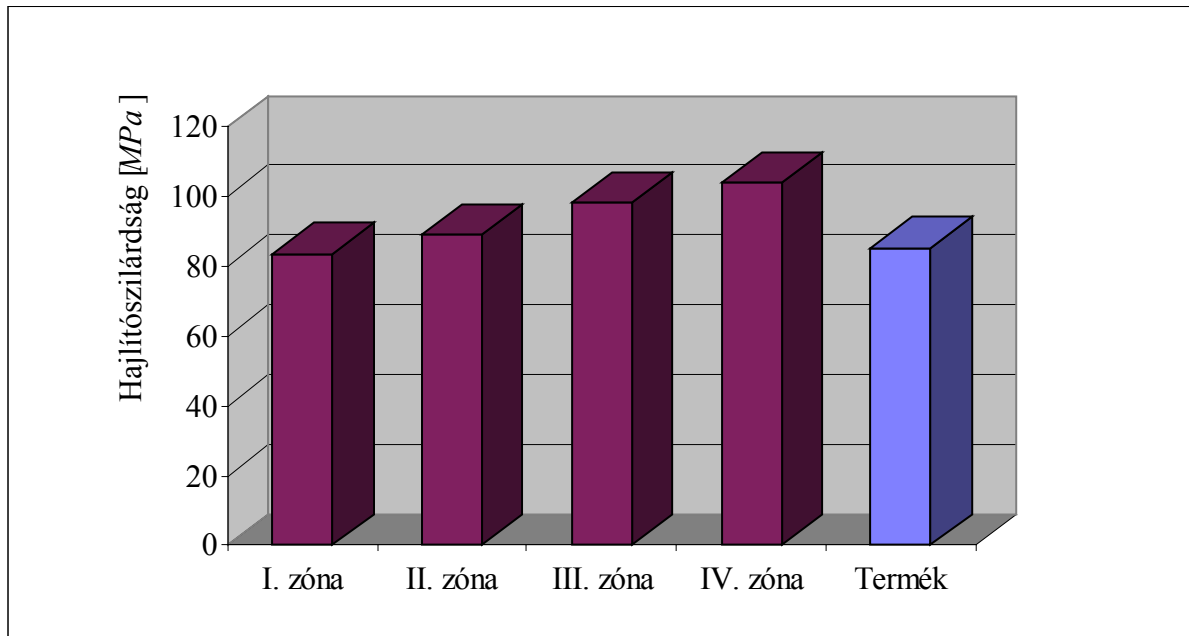
19. táblázat Termékszerkezet méretű faanyag hajlítoszilárdságának és rugalmassági moduluszának statisztikai értékelése (*Tilia argentea*)

Stat. adatok	Hajlítoszilárdság [MPa] $u=12\%$					Rugalmassági modulusz [MPa] $u=12\%$				
	Egészséges				Termék méret	Egészséges				Termék méret
	I. zóna	II. zóna	III. zóna	IV. zóna		I. zóna	II. zóna	III. zóna	IV. zóna	
Min.	58,12	68,65	70,34	83,43	64,5	7574	7974	7493	9390	7716
Max.	102,74	102,44	140,46	178,77	100,24	13289	12305	16576	15578	13798
Átlag	83,58	88,83	98,23	103,74	85,09	10324	10724	12717	13329	10842
Szórás	10,73	9,29	17,20	20,40	10,39	1669	1553	2401	1750	1546
Var. %	12,84	10,45	17,51	19,66	12,19	16,17	14,48	18,88	13,13	14,26
$\Delta\sigma/\Delta E$	+1,81	-4,21	-13,38	-17,98		+5,02	+1,10	-14,74	-18,66	

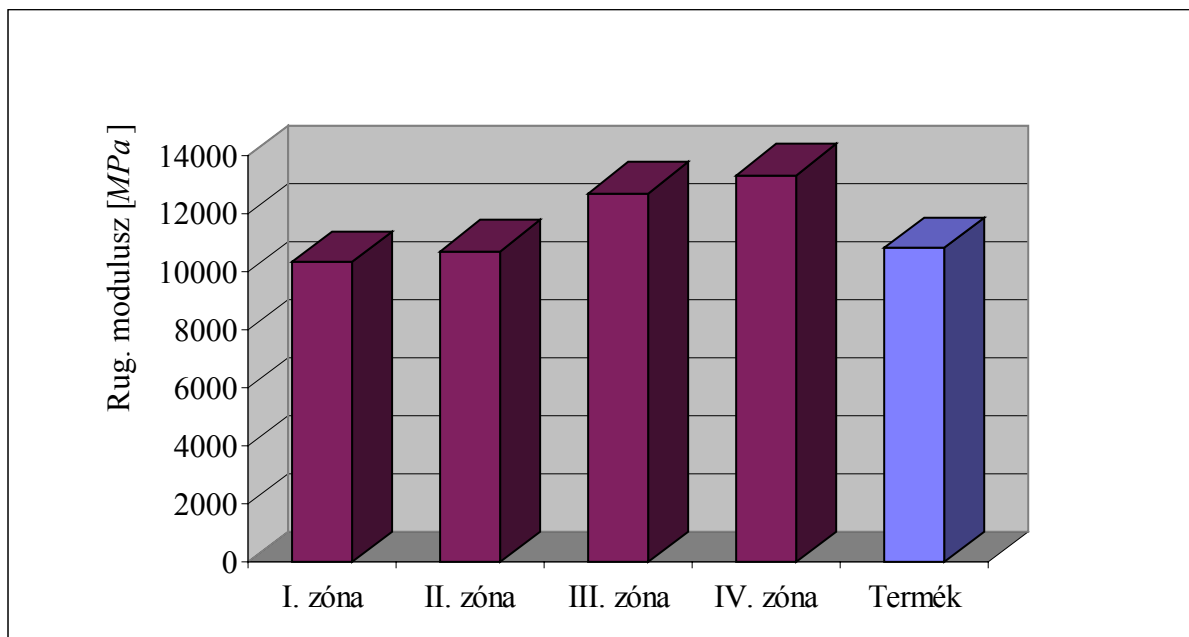
Szignifikancia vizsgálat 95%-os megbízhatósági szinten.

A statisztikailag homogén átlagok különböző színnel vannak kiemelve, ill. aláhúzva.

A rugalmassági modulusz vizsgálat eredményeiből is ugyanazokat a megállapításokat lehet levonni, mint a hajlítoszilárdságnál (19. táblázat ill. 47. ábra), azaz a termékszerkezet méretű faanyag a rugalmasságát vizsgálva alacsonyabb értéket képvisel, mint egy egészséges gesztes faanyag.



46. ábra A hajlítószilárdság változása egészséges és károsodott termék méretű faanyagnál (*Tilia argentea*)

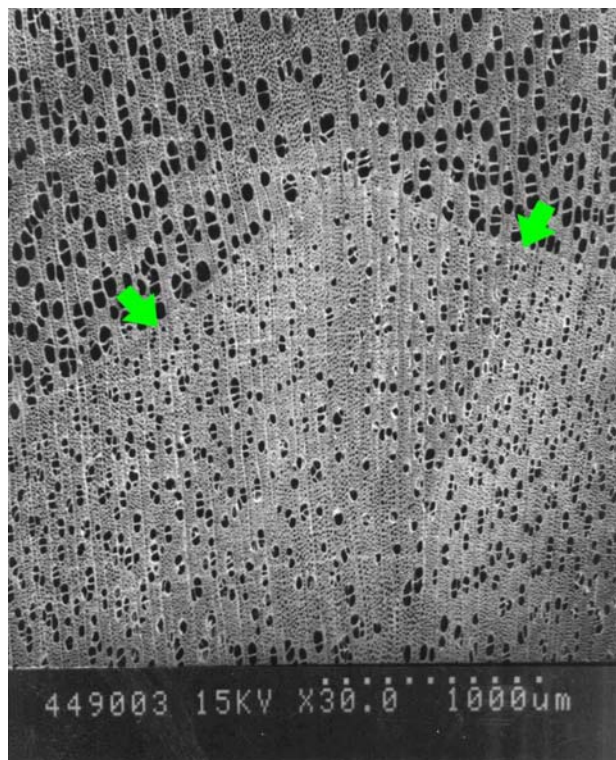


47. ábra A rugalmassági modulusz változása egészséges és károsodott termék méretű faanyagnál (*Tilia argentea*)

4.4 A kallusz anatómiai vizsgálata

A mechanikai sérülések következményeként kisebb, nagyobb nyílt felületű sebek jönnek létre a törzsön. Ezzel szabad út nyílik a különböző mikroorganizmusok számára a fa belseje felé. A fák már rendelkeznek egy úgynevezett belső védőfallal, mely csak akkor aktiválódik mikor a fertőzés megtörtént. Ennek ellenére a növény mégis igyekszik minél korábban lezárni ezeket a nyitott felületeket, mivel belső védőzónák közül az egyik nem tökéletes. Az axialis irányú fertőzés elterjedése ellen védőfal nem zár tökéletesen, hiszen a fának a vízszállítást továbbra is biztosítaniuk kell. Másodrészt pedig a mikroorganizmusokat, gombakártevőket követik a rovarkárosítók is, amivel még nagyobb a veszélye a fatest degradációjának. Ezt megakadályozandó kezd kifejlődni a kallusz, valamint hogy a tér minden irányába egyenletes legyen a vastagsági növekedés és a fa állékonysága (ellenállása a különböző külső igénybevételekkel szemben) továbbra is biztosított legyen, a megsérült kambiumgyűrűt újjá kell építeni. Amint látható a kallusz kifejlődésének több célja is van. Ennek megfelelően a vizsgálataimat igyekeztem úgy felépíteni, hogy minél részletesebben feltárjam a kallusz fejlődésének ok-okozati összefüggéseit.

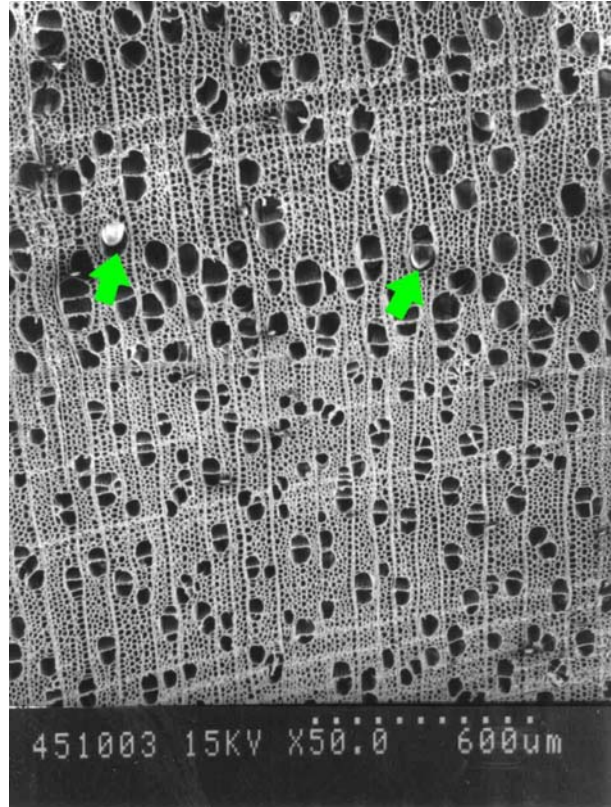
A kallusz morfológiai felépítését vizsgálva, könnyen látható, hogy rendezetlen szövetű. Erre utal az egyenlőtlen és hullámos évgyűrű szerkezet. Mielőtt elkezdtem a konkrét méréseket, kis nagyításon megnéztem (összehasonlítottam) a normál faszövetet és a kallusz szövetét. Mint ahogy az elektronmikroszkópos felvételek is igazolják (48-49. ábra), az eltérés a két faszövet között szembeötlő.



Fotó: Fehér S. [keresztmetszet]

48. ábra A kallusz mikroszkópikus felépítése (*Populus x canescens*)

A legelső ami szembetűnik a felvételen (48. ábra), hogy az edények átmérője jelentősen lecsökkent, de mennyiségileg nem történt változás. A farostok esetében viszont már mennyiségi változás is várható. Az évgyűrű határ hullámos szerkezetű.



Fotó: Fehér S. [keresztmetszet]

49. ábra A kallusz és a normál fatest határa (*Populus x canescens*)

A következő ábra (49. ábra) választ ad arra a kérdésre, hogyan is védi a az újonnan létrejövő szöveteket a károsítóktól. A normál szövetek és a sebszövet határán jól látható sötét sáv formájában a 4. védőfal. Ez a védőfal korábban nem létezett. A sérülést követően kezd kifejlődni. A bélsugarak futásában, ill. számában nem történik változás a kalluszban.

A kutatásaim alatt igyekeztem hű képet adni az elváltozásokról. Ezért a mikroszkópos vizsgálatokhoz szükséges mintavételnél úgy jártam el, hogy a seb szélétől haladva több ponton is vettem mintaanyagot a metszet készítéshez. A kallusz szöveti vizsgálatához a seb szélétől 1,5 cm-re (A minta), az „átmeneti szakaszhoz” 3,5 cm-re (B minta), míg a normál szövetű faanyaghoz 5,5 cm-re (C minta).

A kallusz szöveti szerkezetének felépítésére irányuló vizsgálataimat egy fénymikroszkópon alapuló képanalizátorral végeztem. A mérések során elsősorban az edények, a farostok és a parenchimasejtek mennyiségi változásának meghatározására törekedtem.

4.4.1 A szürke nyár

A fatestet felépítő elemek elkülönítéséhez a metszeteket megfestettem, s így azok megkülönböztetése a képelemző segítségével már leegyszerűsödött. Sajnos azonban a szürke nyár esetében a parenchimasejtek kiválogatása lehetetlen volt. Bármilyen festési technológiát is alkalmaztam, azok megbízható elkülönítése lehetetlen volt. Ennek oka elsősorban mennyiségi előfordulásában és a sejtfal felépítésében keresendő. A mérések során így a farostokat és a parenchimasejteket együtt kezeltem. A mérési eredményeket a 83-88. mellékletek tartalmazzák.

A vizsgálatok alapján, ill. a 20. táblázat nagyon jól kirajzolódik az elváltozások a szürke nyár sebszövetében. Legjelentősebb elváltozások az edények, valamint a farostok, ill. parenchimasejtek területi részarányában volt megfigyelhető.

20. táblázat A kallusz és a normál fa felépítésének eltérései (*Populus x canescens*)

Stat. adatok	Anatómiai jellemzők							
	Edény területi részarány [%]				Farost és parench. területi részarány. [%]			
	A	B	C	Δ [%]	A	B	C	Δ [%]
Min.	20,47	18,15	26,82		62,83	37,56	49,48	
Max.	29,65	62,44	50,52		92,24	81,85	73,18	
Átlag	25,27	<u>36,74</u>	<u>38,56</u>	-34,47	78,45	<u>63,26</u>	<u>61,44</u>	+27,69
Szórás	2,38	8,93	6,86		5,82	8,93	6,86	
Var. %	9,40	24,32	17,79		7,42	14,12	11,16	

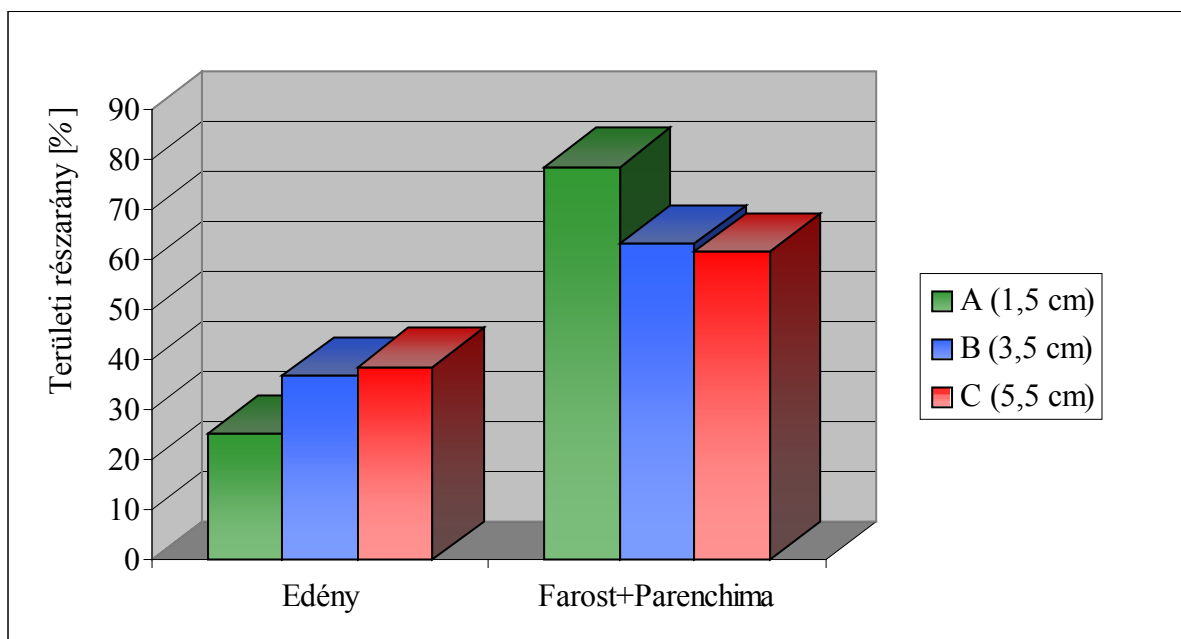
Szignifikancia vizsgálat 95%-os megbízhatósági szinten.

A statisztikailag homogén átlagok piros színnel vannak kiemelve, ill. aláhúzva.

Az edények területi részarányát vizsgálva megállapítható, hogy a két távolabbi pont között (B és C) nincs különbség, 36-38%. A sebszélétől 1,5 cm-re már az edények részaránya jelentősen lecsökkent, mintegy 35%-kal. A mérési adatok azt mutatják, hogy az átmeneti szakasz is már inkább a normál faanyag szerkezetének felel meg, alig-alig van közöttük különbség. Szignifikáns különbség csak az A mintánál mutatható ki. Ezért az eltérések arányának kimutatásánál (Δ) az A és a C minták közötti eltérést vettem figyelembe.

Az edények mennyiségi csökkenésével párhuzamosan megnőtt a farostok és a parenchimák által elfoglalt terület. A kalluszban ez az érték megközelítette a 80%-ot. A normál faanyagban ez az arány csak mintegy 61-63%. Mint említettem a parenchimasejtek aránya benne foglaltatik a farostokéban, ez az érték nem több mint 1-2%, tehát nagyon minimális.

A növekedés elég nagy mértékű (27,69%), ami arra utal, hogy a fa igyekszik megerősíteni a seb körüli részeket. A mennyiségi változásokat mind az edényeknél, mind a farostoknál, ill. parenchimáknál jól érzékelteti a grafikus ábrázolás is (50 ábra).



50. ábra Az edények és a farostok, ill. parenchimák mennyiségi változása a seb szélétől távolodva. (*Populus x canescens*)

A fenti változásokat figyelve érdemes megtekinteni az edények átmérőjének csökkenését a sebhez közeledve, valamint milyen irányba változik sejtfalak által elfoglalt terület a normál szövetekhez képest (21. táblázat).

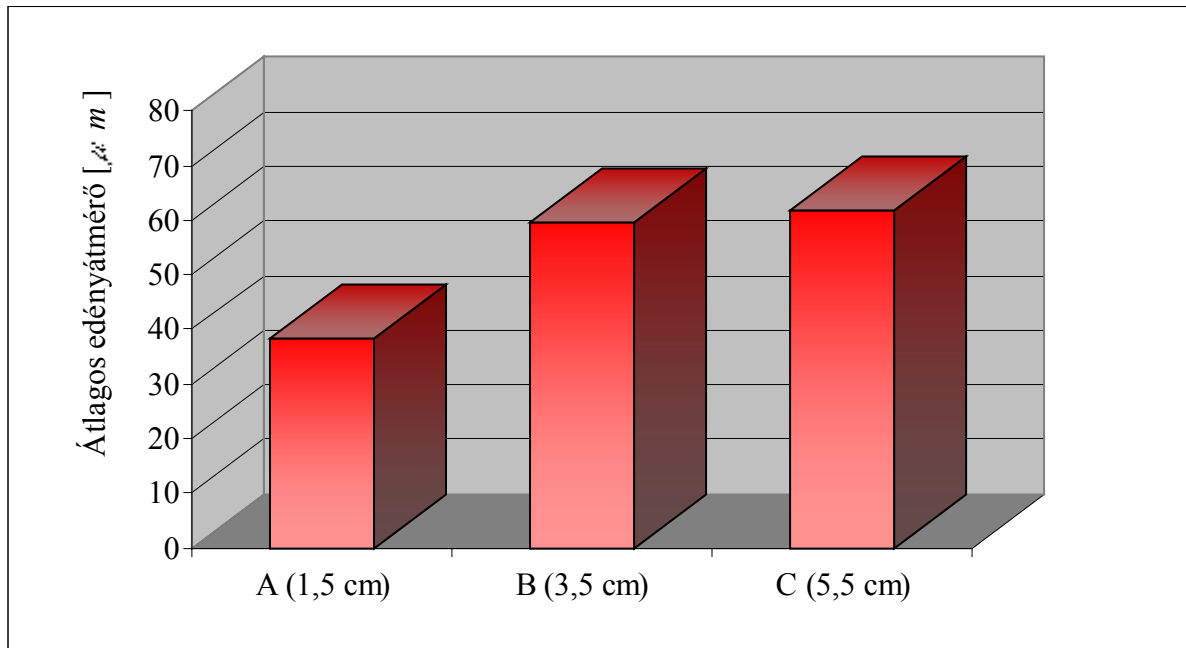
21. táblázat Az edényátmérő és az összes sejtfal területi részarányának változása (*Populus x canescens*)

Stat. adatok	Anatómiai jellemzők							
	Átlagos edényátmérő [μm]				Összes sejtfal területi részarány [%]			
	A	B	C	Δ [%]	A	B	C	Δ [%]
Min.	24,40	36,75	36,56		49,91	43,57	40,87	
Max.	51,02	73,09	83,51		75,57	65,51	68,84	
Átlag	38,25	59,53	61,70	-38,01	61,07	54,98	51,25	+19,16
Szórás	7,23	8,73	11,37		6,74	6,20	7,12	
Var. %	18,89	14,66	18,43		11,04	11,28	13,89	

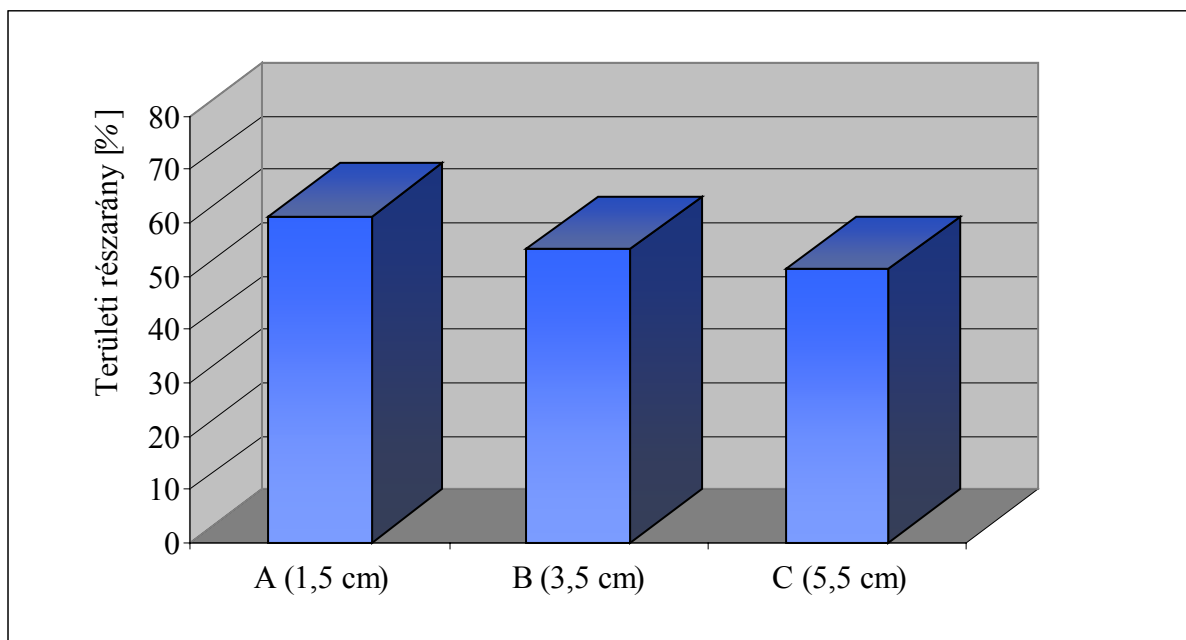
Szignifikancia vizsgálat 95%-os megbízhatósági szinten.

A statisztikailag homogén átlagok piros színnel vannak kiemelve, ill. aláhúzva.

A táblázatból, valamint az 51. ábra alapján egyértelművé válik, hogy mi okozta az edények részarányának csökkenését. Az átlagos átmérő csökkenés közel hasonló, mint a területi részarány változás, 38%-os. Míg a B és a C minták közötti eltérés itt sem mondható lényegesnek.



51. ábra Az átlagos edényátmérő változása a seb szélétől távolodva (*Populus x canescens*)



52. ábra A sejtfal mennyiségi változása a seb szélétől távolodva (*Populus x canescens*)

A sejtfalak által elfoglalt területeknél viszont már mind három pontban szignifikáns eltérés mutatható ki. Az A és a C pont között 19,16%-os növekedés tapasztalható. Ez is arra mutat,

hogyan a növény az állékonyság biztosításához növeli a sejtfal részarányát a kalluszban (52. ábra).

4.4.2 Az ezüst hárs

Az ezüst hárs vizsgálatánál a parenchimasejtek megfestése már nem okozott gondot, így azoknak a sebszövet felépítésében való részvételi arányát meg tudtam határozni. Ez alapján viszont már a farostok szerepének pontos meghatározása lehetségessé vált. A mérések elvégzése során kapott adatok a 89-97. melléletekben vannak feltüntetve.

A mérési eredmények értékelésekor rögtön feltűnik, hogy az edények szerepe, mintha kisebb jelentőséggel bírna, hiszen az arányuk mintegy 50%-kal csökkent a sebszövetben (22. táblázat). A seb szélétől távolabbi pontokon (B, ill. C) már közel azonos a szövetek felépítése, hasonlóképpen, mint a nyárnál. Szignifikáns eltérés így csak az A és B, ill. A és C között volt kimutatható.

22. táblázat A kallusz és a normál fa felépítésének eltérései (*Tilia argentea*)

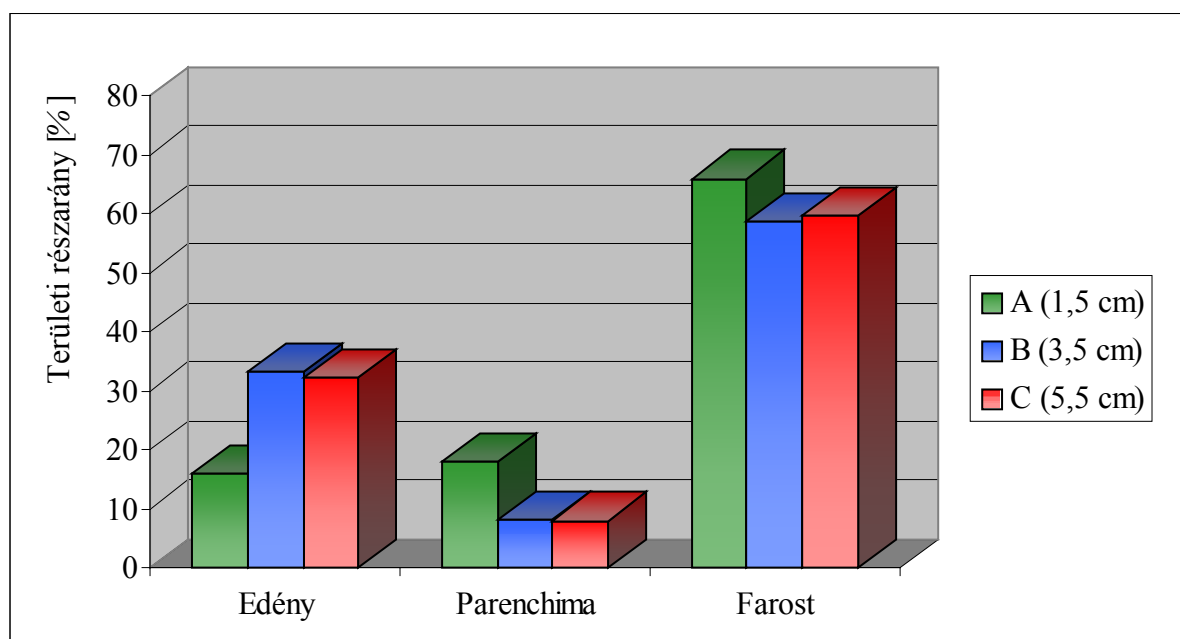
Stat. adatok	Anatómiai jellemzők											
	Edény területi részarány [%]				Parenchima ter. részar. [%]				Farost területi részarány [%]			
	A	B	C	Δ [%]	A	B	C	Δ [%]	A	B	C	Δ [%]
Min.	9,41	11,03	17,78		10,75	5,01	4,13		37,40	27,59	45,47	
Max.	28,31	66,02	46,03		20,82	10,97	10,95		82,97	88,29	79,71	
Átlag	16,01	33,16	32,14	-50,17	17,96	8,19	7,93	+126,4	66,03	58,65	59,76	+10,49
Szórás	4,41	12,91	7,41		1,97	1,54	1,61		11,49	12,86	9,86	
Var. %	27,56	38,94	23,05		10,97	18,78	20,33		17,40	21,94	16,49	

Szignifikancia vizsgálat 95%-os megbízhatósági szinten.

A statisztikailag homogén átlagok piros színnel vannak kiemelve, ill. aláhúzva.

A parenchimasejtek területi részaránya a 7-8%-ról több mint megduplázódott (17,96%). A növekedés meghaladta a 120%-ot. A vizsgálat választ adott arra a kérdésre, milyen nagy szerepe is van a parenchimasejteknek a kallusz felépítésében. Ahhoz hogy a seb záródása minél előbb végbemenjen, sok olyan sejtre van szükség a kalluszban, amely osztódásra képes. Feltűnően nagy a részvételi arányuk (53. ábra). Ez viszont már arra mutat, hogy a farostok mennyisége nem növekedik olyan nagy mértékben, mint ahogy a sűrű nyár mutatta, csak 10-11%-al. A területi részarányuk 66% körüli lesz. A fentiek azt mutatják, hogy mind a nyílt sebészek viszonylagos gyors záródása, mind a meggyengült oldal megerősítése fontos szempont az újonnan fejlődő szövetek felépítésénél.

A mérési adatok szórását értékelve megállapítható, hogy nem csak a sebszövet mutat magas szórás eredményt, hanem a normál fa szövetei is. Mindezek a nagy inhomogenitásra utalnak.



53. ábra Az edények, farostok és a parenchimák mennyiségi változása a seb szélétől távolodva. (*Tilia argentea*)

Az edényátmérő csökkenése itt is arra utal (23. táblázat, ill. 54. ábra), hogy az edények területi részarányának csökkenését nem az edények számának a változása eredményezi. Az átlagos átmérő a kalluszban mindössze 24% lesz. Ez közel 45%-os csökkenést jelent, ami majdnem teljesen megfelel a területi részarány változásnak (50%).

23. táblázat Az edényátmérő és az összes sejtfal területi részarányának változása (*Tilia argentea*)

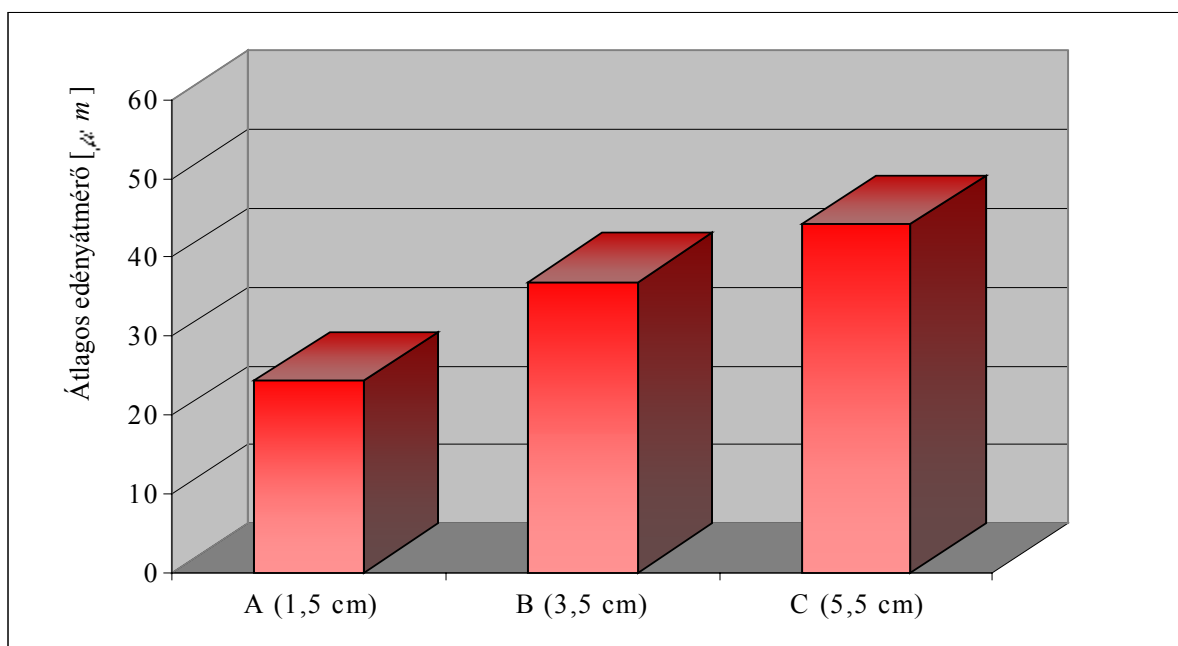
Stat. adatok	A kallusz anatómiai jellemzői							
	Átlagos edényátmérő [μm]				Összes sejtfal területi részarány [%]			
	A	B	C	Δ [%]	A	B	C	Δ [%]
Min.	11,60	22,06	29,49		45,97	46,47	40,79	
Max.	38,19	48,19	57,52		78,22	80,91	69,61	
Átlag	24,34	<u>36,87</u>	<u>44,21</u>	-44,94	<u>63,07</u>	<u>59,49</u>	52,97	+19,07
Szórás	5,98	5,86	6,30		8,54	9,96	8,27	
Var. %	24,58	15,90	14,26		13,54	16,74	15,62	

Szignifikancia vizsgálat 95%-os megbízhatósági szinten.

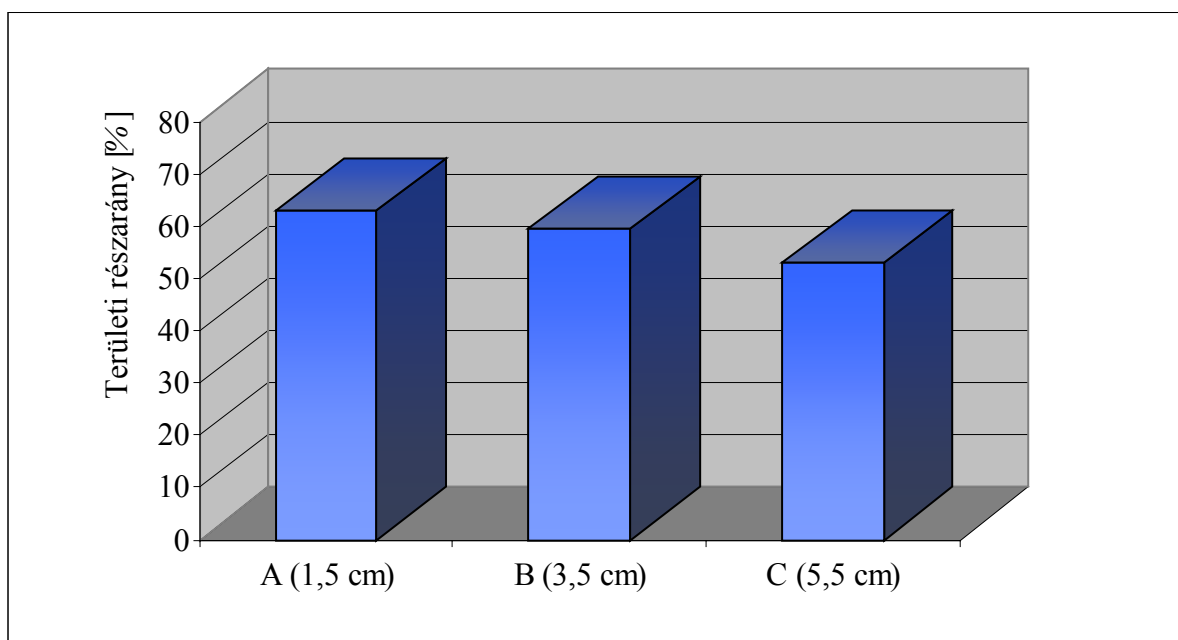
A statisztikailag homogén átlagok piros színnel vannak kiemelve, ill. aláhúzva.

Az összes sejtfal mennyiségi változása hasonló tendenciájú, mint a szürke nyárnál. Jelentős növekedés következik be a kalluszban (55. ábra). A normál faszövetekben a sejtfal aránya 52% volt, ami kallusz felé közeledve fokozatosan növekszik. Itt már az A és a B pontokon

vett minták átlagai mutatnak azonosságot (59,49 ill. 63,07%). A seb szélétől legtávolabbi minta átlaga tér el szignifikáns mértékben a kalluszétól, 19%-al.



54. ábra Az átlagos edényátmérő változása a seb szélétől távolodva (*Tilia argentea*)



55. ábra A sejtfal mennyiségi változása a seb szélétől távolodva (*Tilia argentea*)

4.5 A kallusz fizikai-mechanikai tulajdonságainak vizsgálata

A kallusz makroszkópikus jellemzőit figyelembe véve, fizikai és mechanikai tulajdonságainak eltérőnek kell lennie a normál faszövetek tulajdonságaitól. Elsősorban a szabálytalan évgűrűszerkezet és a hullámos rostúság alapján erre lehet következtetni. A sebszövet mikroszkópikus felépítésének vizsgálatával természetesen még több információ áll rendelkezésünkre a műszaki jellemzők becslésére. Az előző fejezetben leírt vizsgálatok erre irányultak, azaz a kallusz anatómiai felépítésének meghatározására. A mérési eredményekből arra lehet következtetni, hogy az abnormális faszövetekben az edények részaránya jelentősen lecsökken. A parenchimasejtek aránya viszont szinte megduplázódik. A farostok mennyisége is változik – növekszik –, de már jóval kisebb mértékben mint az előző kettő. Ami még említést érdemel az a sejtfal mennyiségi növekedése a sebszövetekben.

A fentiekben leírt szöveti elváltozások arra engednek következtetni, hogy a műszaki tulajdonságok tekintetében javulás várható. Annak eldöntésére, hogy a mechanikai sebzéseket követően kifejlődő új farész, milyen tulajdonságokkal is rendelkezik, végeztem el a legfontosabb fizikai és szilárdsági paraméterek meghatározását.

4.5.1 Fizikai tulajdonságok

A fizikai tulajdonságok közül itt is a sűrűséget, ami az egyik legfontosabb jellemző a faanyag megítélésénél, valamint a zsugorodási paramétert határoztam meg. A kallusz anatómiai vizsgálatánál kapott eredmények tükrében, különösen ezen tulajdonságoknak a csökkenő tendenciáját vártam, ill. a zsugorodásnál a növekedését. A kallusz összes sejtfalának a növekedésétől vártam ezeket a változásokat.

4.5.1.1 Sűrűség

A kallusz sűrűségének meghatározása során kapott eredményeket a 98-103. mellékletek tartalmazzák. Az adatok értékelése során megállapítható, hogy az ezüst hárs sűrűsége a sebszövetben a vártakkal ellentétben jelentős mértékben lecsökkent (24. táblázat) a normál faanyagéhoz képest, mintegy 7%-kal. A mikroszkópos vizsgálatokkal ellentétben, itt viszont az A és a B minták között nincsen számottevő különbség.

A szürke nyárnál ellenben már a kallusznál figyelhető meg egy kicsit magasabb érték (56. ábra), de ez a vizsgálatok alapján elhanyagolható. Az anatómiai vizsgálatok is alátámasztják a hársnál kapott eredményeket, de még a nyárnál is. Mindkét esetben sejtfalvolumen növekedés, valamint edényátmérő csökkenés tapasztalható. A két fafaj sűrűség vizsgálatánál az ellentétes tendenciát nagyon jól szemlélteti az 56. ábra.

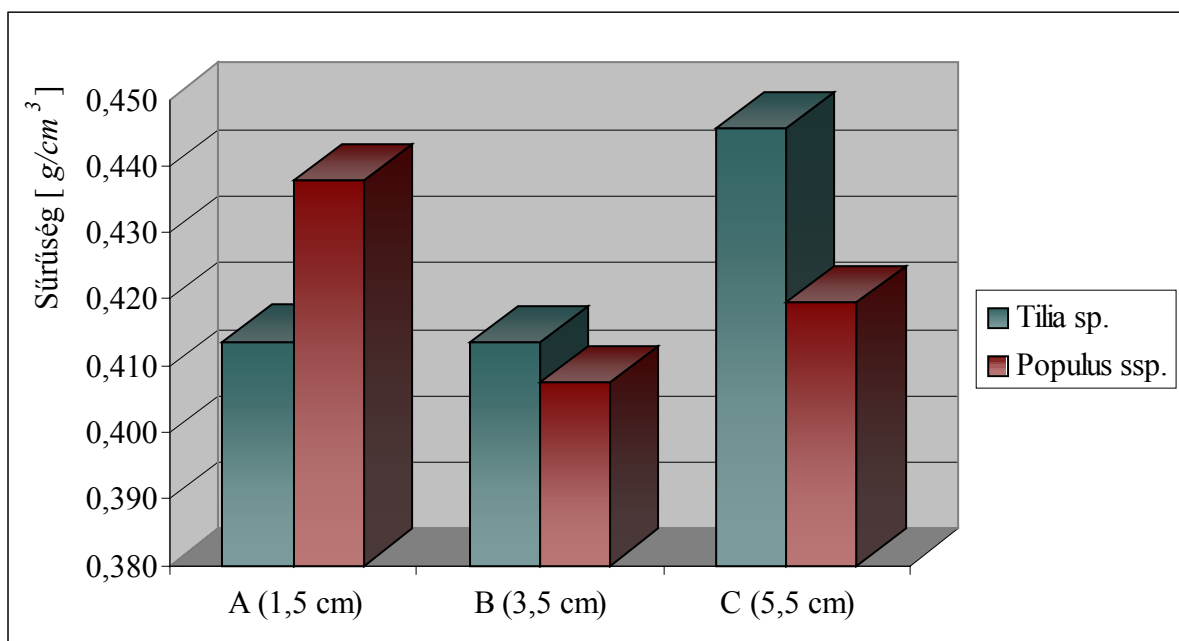
Az értékelésnél viszont mindenképp meg kell említeni a viszonylagos magas szórás értékeket, melyek meghaladják a 10%-ot. A nagy szórási paraméterek viszont magas bizonytalansági tényezőt hordoznak magukban a vizsgált jellemzővel kapcsolatosan.

24. táblázat A sűrűség statisztikai értékelése

Stat. adatok	Sűrűség [g/cm^3] u=12%							
	Tilia argentea				Populus x canescens			
	A	B	C	$\Delta\rho$ [%]	A	B	C	$\Delta\rho$ [%]
Min.	0,245	0,293	0,334		0,263	0,269	0,360	
Max.	0,535	0,550	0,582		0,579	0,494	0,541	
Átlag	<u>0,414</u>	<u>0,414</u>	0,446	-7,17	<u>0,438</u>	<u>0,407</u>	<u>0,419</u>	+4,53
Szórás	0,062	0,060	0,057		0,072	0,050	0,042	
Var. %	14,95	14,60	12,70		16,43	12,27	10,10	

Szignifikancia vizsgálat 95%-os megbízhatósági szinten.

A statisztikailag homogén átlagok piros színnel vannak kiemelve, ill. aláhúzva.



56. ábra A sűrűség változása a sebtől távolodva.

4.5.1.2 Térfogati zsugorodás

A különböző helyekről kivett minták zsugorodási-dagadási jellemzőit mérve (104-109. melléklet) a sűrűség változásnak megfelelő eredményekre jutottam. Azokban a pontokban, ahol a sűrűség csökkent, ott a zsugorodás is annak megfelelően változott (25. táblázat). Egyedül a szürke nyárnál volt ingadozás a zsugorodási értékek változásánál. Összességében kedvezőbb zsugorodási értékek jellemzik a kallusz anyagát mindkét fafajnál.

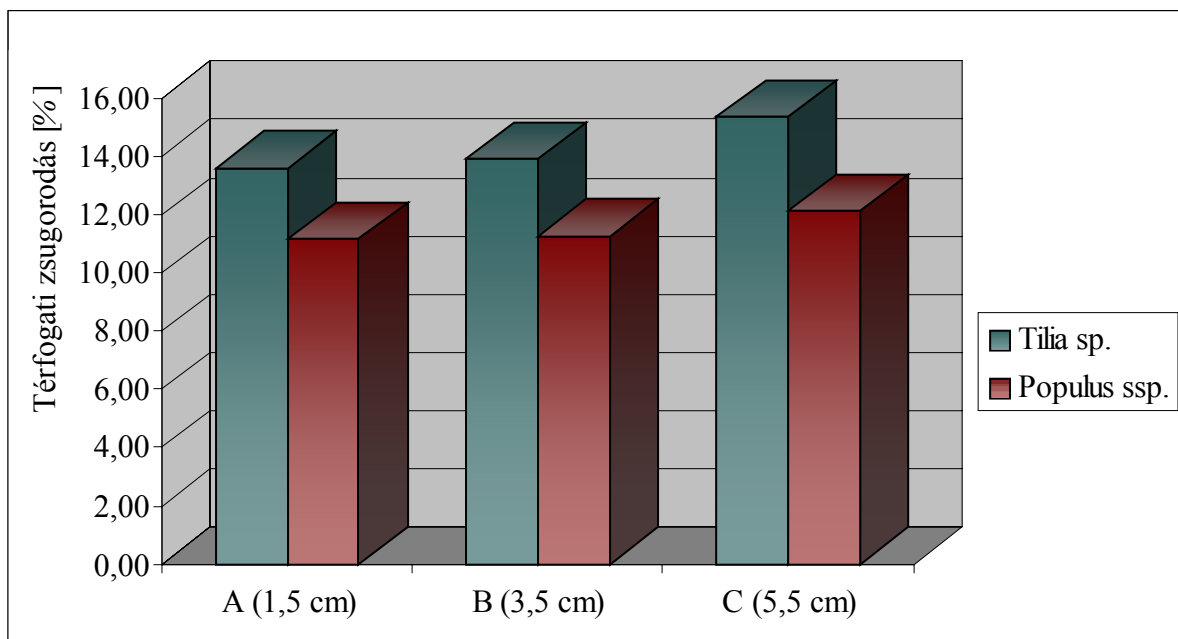
25. táblázat A térfogati zsugorodás statisztikai értékelése

Stat. adatok	Térfogati zsugorodás [%] u=12%							
	Tilia argentea				Populus x canescens			
	A	B	C	ΔZ [%]	A	B	C	ΔZ [%]
Min.	8,39	7,78	7,87		5,90	6,88	9,64	
Max.	21,34	26,15	23,51		13,17	14,11	14,20	
Átlag	<u>13,61</u>	<u>13,92</u>	15,36	-11,39	<u>11,15</u>	<u>11,27</u>	<u>12,12</u>	-8,00
Szórás	3,29	3,39	3,26		1,51	1,77	1,25	
Var. %	24,17	24,33	21,24		13,50	15,71	10,34	

Szignifikancia vizsgálat 95%-os megbízhatósági szinten.

A statisztikailag homogén átlagok piros és kék színnel vannak kiemelve, ill. aláhúzva.

A hárs sebszövetében 11,39%-os csökkenés volt mérhető a normál faanyaghoz képest, ami már lényeges különbségnek számít. A szürke nyár esetében is hasonló eredményre jutottam (57. ábra)



57. ábra A térfogati zsugorodás változása a seb szélétől távolodva.

Az adatok szórását figyelembe véve viszont már fenntartással kell fogadni ezeket az eredményeket, hiszen elég magasak ezek az értékek. Különösen a hársnál, ahol 25%-os eltérés is kimutatható. Ezek az eredmények arra utalnak, hogy a vizsgált faanyag a fizikai tulajdonságok tekintetében megbízhatatlan, mert jelentős eltérésekre is lehet számítani.

4.5.2 Szilárdsági tulajdonságok

A szilárdsági paraméterek közül, itt az abnormális faanyag vizsgálatánál is a legfontosabbak meghatározására törekedtem. A vizsgálati anyag mennyiségét erősen korlátozta a sebszövet mennyisége. Ennek megfelelően a nyomó- és hajlítoszilárdságot, ill. a hajlító rugalmassági moduluszt mértem. A fenti tulajdonságok ismeretében a megváltozott szerkezetű faanyag minősítése már megoldható. Az egyes vizsgálandó tulajdonságok kiválasztását a szövetszerkezeti elváltozások következményei is meghatározták.

4.5.2.1 Nyomószilárdság

A kallusznak nyomó igénybevétellel szembeni ellenállását vizsgálva (110-115. melléklet), hasonló következtetésekre jutottam, mint a fizikai tulajdonságok ismeretében.

26. táblázat A nyomószilárdsági statisztikai értékelése

Stat. adatok	Nyomószilárdság [MPa] u=12%							
	Tilia argentea				Populus x canescens			
	A	B	C	$\Delta\sigma$ [%]	A	B	C	$\Delta\sigma$ [%]
Min.	11,71	15,16	15,74		15,09	15,09	20,17	
Max.	49,55	50,64	47,40		44,73	44,73	45,57	
Átlag	<u>27,77</u>	<u>29,05</u>	<u>32,09</u>	-13,46	<u>29,72</u>	<u>29,72</u>	<u>31,47</u>	-5,56
Szórás	9,34	8,68	6,98		6,40	6,40	5,57	
Var. %	33,65	29,87	21,75		21,53	21,53	17,69	

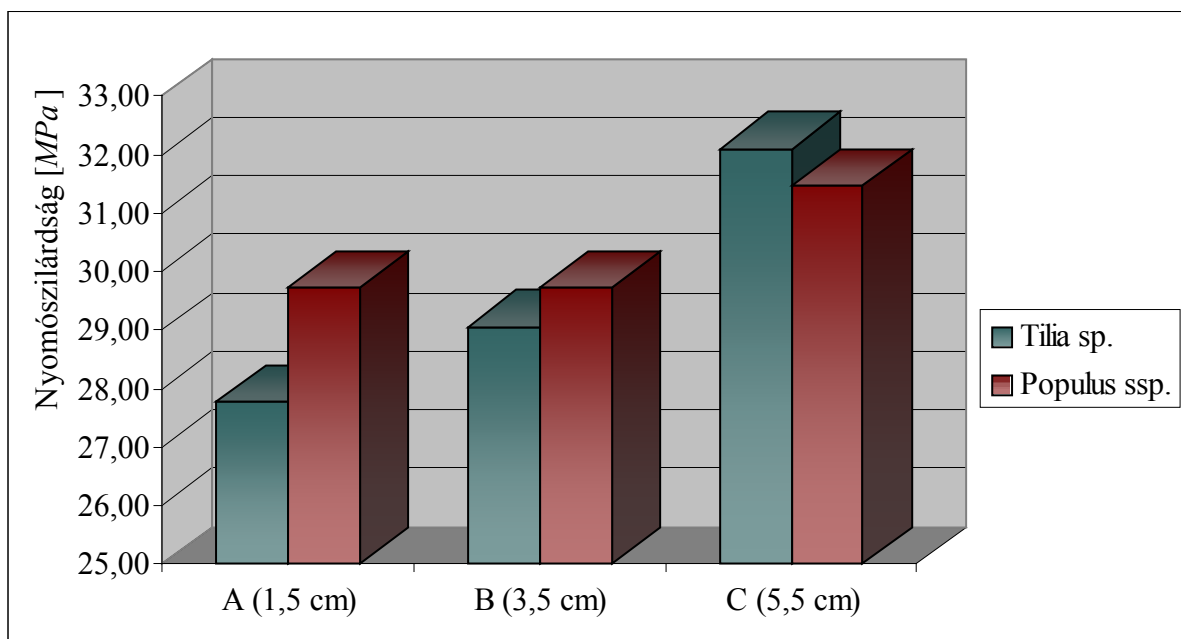
Szignifikancia vizsgálat 95%-os megbízhatósági szinten.

A statisztikailag homogén átlagok piros és kék színnel vannak kiemelve, ill. aláhúzva.

Az ezüst hárs esetében szignifikáns eltérések tapasztalhatók a normál faanyag nyomószilárdságához képest (26. táblázat). Fokozatosan csökken az anyag szilárdsága a kallusz felé közeledve, amely végül is meghaladja a 13%-ot. A szürke nyár vizsgálatánál is megfigyelhető egy minimális csökkenés (5,56%), de ez nem tekinthető lényeges eltérésnek. Itt mind három mérési ponton statisztikailag azonos nagyságú nyomószilárdságot mértem (29-31 MPa).

Az 58. ábra oszlopdiagramjai is erről árulkodnak, ill. hogy a kallusz szövetében hiába növekedik a farostok száma, az edények rovására, ez még nem okoz szilárdsági növekedést. Holott a nyomóterheléssel szembeni ellenállásnak kellett volna igazából növekvő tendenciát mutatnia. Továbbá a sejtfal mennyiségi növekedése is ezt a változást vetítette előre.

A mérési eredmények szórására tekintve itt is egyből szembetűnnek a magas értékek (21-33%), különösen a sebszövetben, melyek az abnormális faanyag megbízhatatlanságáról árulkodik. Ez a tulajdonság viszont erősen kidomborítja a kallusz rendszertelen szöveti felépítését, azaz az inhomogenitását.



58. ábra A nyomószilárdság változása a seb szélétől távolodva.

4.5.2.2 Hajlítószilárdság

A faanyagok minősítésénél a kiindulási állapot mindig a hajlítószilárdság biztosítja, ill. annak ismerete elengedhetetlenül szükséges. A normálistól eltérő szerkezetű faanyag tekintetében is így van ez, különösen akkor, ha a 4.3.2.2 fejezetre gondolunk, ahol a károsodott faanyag hajlítószilárdságát dolgoztam föl. A mérési eredmények nagyon jól kihangsúlyozták a károsodott faanyag hajlító igénybevétellel szembeni érzékenységét.

27. táblázat A hajlítószilárdság statisztikai értékelése

Stat. adatok	Hajlítószilárdság [MPa] u=12%							
	Tilia argentea				Populus x canescens			
	A	B	C	$\Delta\sigma$ [%]	A	B	C	$\Delta\sigma$ [%]
Min.	13,45	11,79	8,18		21,99	22,97	45,94	
Max.	76,68	86,58	103,67		81,79	78,93	89,55	
Átlag	<u>48,31</u>	<u>50,33</u>	60,10	-19,62	<u>58,95</u>	<u>59,33</u>	70,00	-15,79
Szórás	16,28	18,85	17,25		16,91	14,03	11,59	
Var. %	33,71	37,46	28,70		28,69	23,65	16,55	

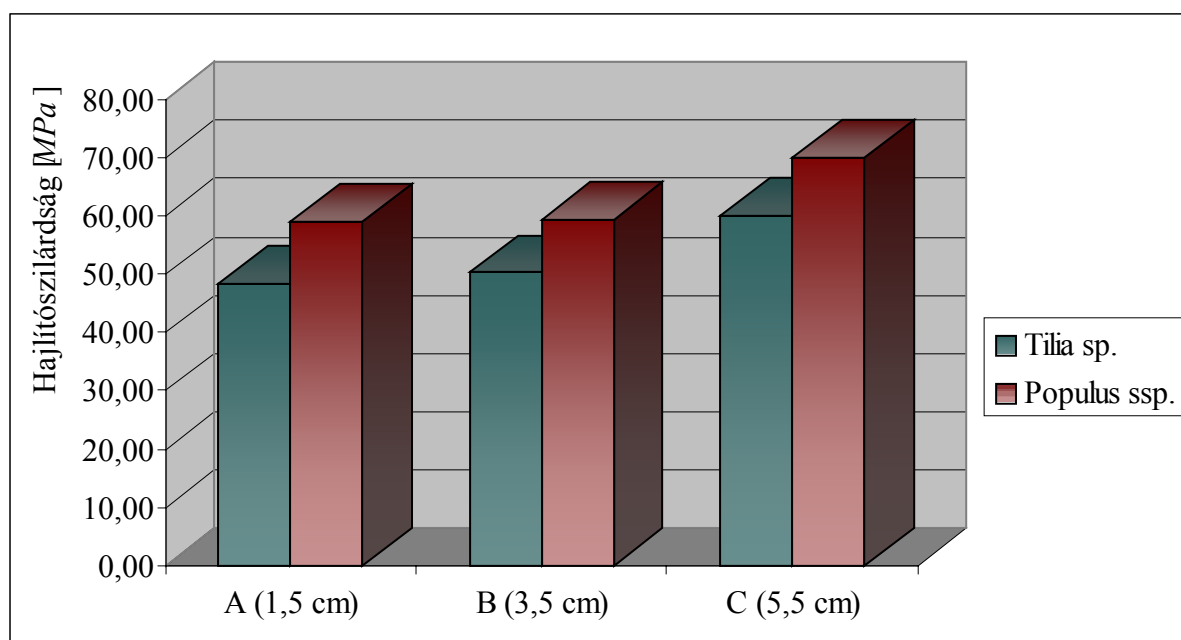
Szignifikancia vizsgálat 95%-os megbízhatósági szinten.

A statisztikailag homogén átlagok piros színnel vannak kiemelve, ill. aláhúzva.

A kallusz hajlító igénybevétellel szembeni ellenállásának vizsgálati eredményeit a 116-121. mellékletek mutatják be. Ha csak röviden foglalnánk össze, akkor itt is elmondható, hogy a sebszövet hajlítószilárdsága jelentős mértékben csökken. Az ezüst hárs vizsgálatánál ez az értékcsökkenés megközelíti a 20%-ot (27. táblázat). Ez a különbség pedig már szignifikánsnak számít.

Különösen magasak a szórás értékek, melyek a faanyag megbízhatatlanságát emelik ki, főleg abban az esetben, ha felhasználás során bekerül az értékes alapanyag közé. Ha a szórás tartományát vizsgáljuk meg, akkor válik ez fontossá. Átlagosan tekintve, a hársnál a hajlítószilárdsági értékek kb. 10 és 100 MPa között mozognak.

A szürke nyárnál is hasonló tendencia mutatható ki, mint a hársnál (59. ábra). A hajlítószilárdság a kallusz felé haladva csökken, ami végül itt is eléri a 15-16%-ot.



59. ábra A hajlítószilárdság változása a seb szélétől távolodva.

A normál (C) és az abnormális (A) faanyag közötti szilárdság eltérés itt is szignifikánsnak mondható, 70 MPa-ról lecsökken úgy 59-60 MPa-ra. A mérési adatok viszont már nem szórnak olyan nagy tartományban, mint az ezüst hársnál.

Összefoglalva, a sebszövetek anatómiai eltéréseinek hatása a faanyag hajlítószilárdságára jelentősnek mondható. Mindkét faj esetében lényeges csökkenés figyelhető meg, mely 15-20%-nak felel meg. A kallusz szerkezeti felépítését figyelembe véve, meg kell jegyezni itt is, hogy a szerkezeti változással ellentétes irányú szilárdsági változás állapítható meg a mérési eredményekből. Gondolok itt is elsősorban a sejtfal volumen, ill. a farostok mennyiségének növekedésére, mivel ezen mikroszkópikus tényezők növekedésének egyértelműen a hajlító igénybevétellel szembeni ellenállás növekedését kellene maga után vonnia.

4.5.2.3 A hajlító rugalmassági modulusz

A hajlító rugalmassági modulusz megismerésével információt kapunk a faanyag rugalmasságáról, mely annak további felhasználását jelentősen befolyásolhatja. A kallusz és annak közelében lévő faszövetek vizsgálatával (116-121. melléklet) fontos információt kaphatunk a szöveti elváltozások rugalmasságra gyakorolt hatásáról.

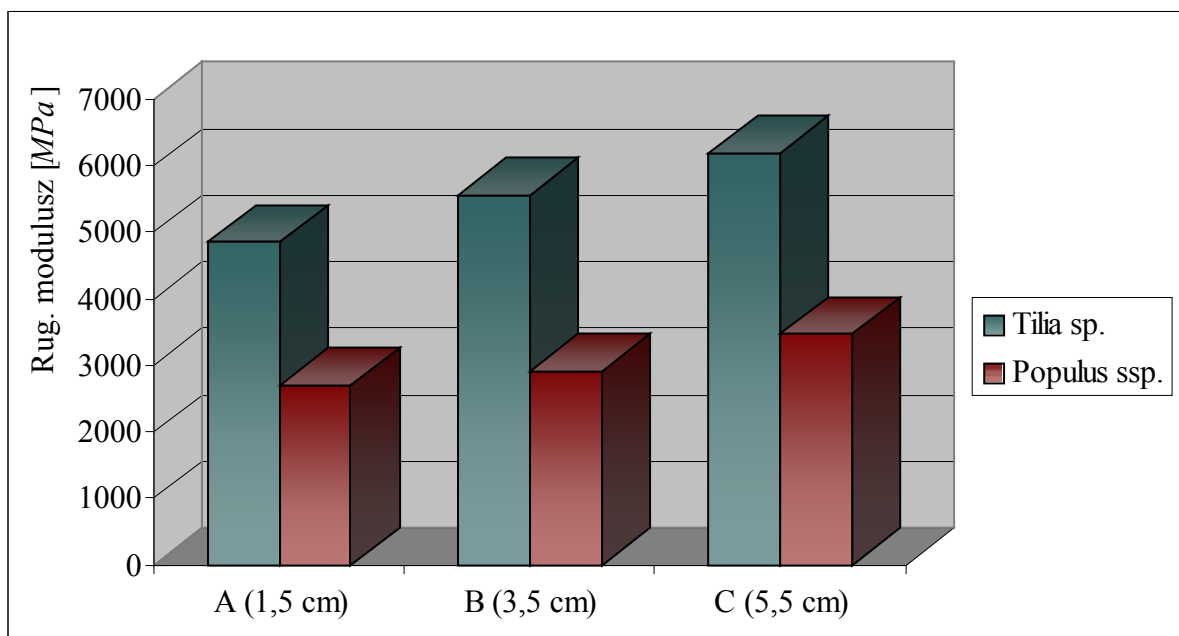
28. táblázat A rugalmassági modulusz statisztikai értékelése

Stat. adatok	Rugalmassági modulusz [MPa] u=12%							
	Tilia argentea				Populus x canescens			
	A	B	C	ΔE [%]	A	B	C	ΔE [%]
Min.	1524,6	2532,3	3388,5		1431,3	1937,6	2607,7	
Max.	8039,6	9146,2	11128,8		4319,7	4217,3	5429,9	
Átlag	4850,3	<u>5566,9</u>	<u>6183,6</u>	-21,56	<u>2705,2</u>	<u>2908,1</u>	3475,3	-22,16
Szórás	1609,6	1807,2	1560,6		616,9	479,7	563,6	
Var. %	33,18	32,46	25,24		22,80	16,50	16,22	

Szignifikancia vizsgálat 95%-os megbízhatósági szinten.

A statisztikailag homogén átlagok piros színnel vannak kiemelve, ill. aláhúzva.

A mérési eredmények értékelésénél (28. táblázat) a legelső, ami felhívja magára a figyelmet, a rugalmassági modulusz jelentős értékcsökkenése.



60. ábra A rugalmassági modulusz változása a seb szélétől távolodva.

Mindkét fafaj esetében szignifikáns csökkenés állapítható meg, ami eléri a 21-22%-ot. A közbelső mintavételi hely (B) megítélését nagy mértékben meghatározza az adatok magas szórása is. A hársnál elérheti a 32-33%-ot is. Fontosnak tartom megjegyezni, hogy a nyárnál nem mutathatók ki ilyen magas szórás értékek, melyek segítséget nyújthatnak a faanyag inhomogenitásának megítélésénél.

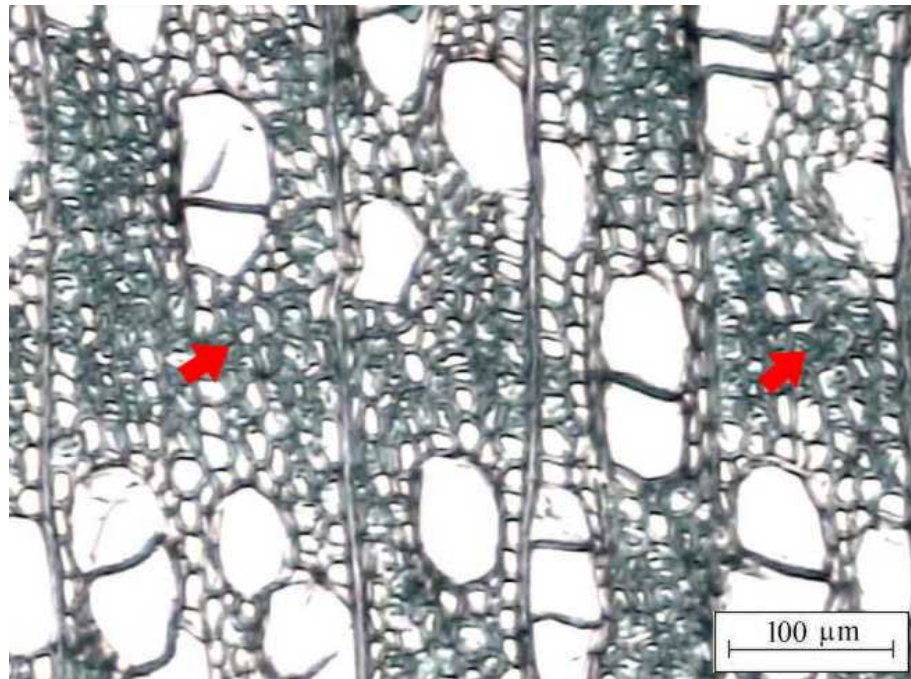
A 60. ábra adatai is hasonló információkat hordoznak magukban, mint a hajlítószilárdság oszlopdigramjai. Ez alapján minél nagyobb mértékű a szöveti elváltozás a kalluszban, annál nagyobb arányban lehet a faanyag rugalmas jellemzőinek csökkenésével számolni.

4.6 A kallusz anatómiai és műszaki tulajdonságainak összefüggése

A kallusz anatómiai vizsgálata során arra a megállapításra jutottam, hogy annak felépítése jelentősen különbözik a normál faanyaghoz képest. Az edények területi részaránya mindkét fafaj esetén drasztikusan lecsökkent, elsősorban az edényátmérők csökkenése következtében. A szürke nyárnál mintegy 35%-kal, az ezüst hársnál pedig kb. 50%-kal. A parenchimasejtek területi részaránya az edények változásával ellentétben jelentősen megnőtt (126,4%) az ezüst hársnál. A farostok területi részaránya is lényeges növekedést mutat (10,49%). A szürke nyár esetében nem lehet egyértelműen elkülöníteni a parenchimasejteket a farostoktól, így azok változása együtt lett figyelembe véve, ami kb. 27-28%-os növekedésre utal. Mindezek alapján arra lehet következtetni a vizsgált fafajoknál, hogy a sérülések után, a sebszövetek kifejlődésénél elsődleges szempont a fa állékonyságának biztosítása.

A fizikai és szilárdsági vizsgálatok ellenben nem támasztják alá az anatómiai vizsgálatok eredményeit. A kallusz faanyagának a sűrűsége igen változékony. Egyértelműen megállapítani, hogy növekszik vagy csökken, nem lehet. Az ezüst hárs sebszövetének a sűrűsége a normál faanyaghoz képest a varianciaanalízis alapján lényeges mértékben csökken, mintegy 7%-al. A szürke nyár esetében viszont már egy ellenkező irányú folyamat figyelhető meg, ugyanis a kallusz sűrűsége lesz a nagyobb. Az eltérés, ha nem is szignifikáns, de említésre méltó, hiszen eléri a 4%-ot. A két fafaj kalluszának az eltérő irányú sűrűségváltozása elsősorban a tilliszképzésre való alkalmasságban keresendő (lásd. 2.2.2.2 fejezet), mivel a tillisesedés növeli a sűrűséget. Hasonló hatása van továbbá, mind a szürke nyárnál, mind az ezüst hársnál megfigyelhető elgélesedésnek, amely különböző intenzitású, mértékű lehet. A szilárdsági tulajdonságok tekintetében viszont már egyértelmű csökkenés figyelhető meg a kalluszban a normál faanyaghoz képest mindkét fafajnál. A nyomószilárdság a szürke nyárnál és az ezüst hársnál is csökken. Az utóbbi fafajnál a csökkenés szignifikáns eltérést is eredményez (13,46%). A hajlítószilárdság és rugalmassági modulus vizsgálata is hasonló eredményeket hozott. A kallusz hajlítószilárdsága 15-19%-al, a rugalmassági modulusza pedig 20-22%-al csökken a normál faanyag jellemzőihez képest.

A kallusz vizsgálata alapján megállapítható, hogy a fizikai és szilárdsági jellemzők csökkenése ellentmond az anatómiai változásoknak, mivel annak következtében fordított irányú változásoknak kellene föllépnie. Hogy ez még sem így történik annak oka a sejttal szerkezetében keresendő. Az anatómiai vizsgálatok során kimutatható, hogy a kallusz jelentős mennyiségben géles rostokat tartalmaz (61. ábra).



Fotó: Fehér S. [keresztmetszet]

61. ábra Géles rostok a kalluszban (*Populus x canescens*)

A géles rostok jelenlétéből pedig arra lehet következtetni, hogy a lombos fákra jellemző, a reakciófához (húzott fa) hasonló szöveti szerkezetű fa fejlődik a kalluszban. Az ilyen sejteknél a sejtfal S_3 rétege teljesen hiányozhat, s ilyenkor a géles réteg helyettesíti azt, sőt még ki is töltheti a sejtüreget teljesen. A géles réteg egyáltalán nem tartalmaz lignint, hanem csak cellulóz építi föl (*Bentum, Coté, Day, Timmel, 1969*). Szilárdsági tulajdonságai alapján az ilyen faanyag gyengébb minőségű, mint a normál (*Peszlen, 1993*).

5. Új tudományos eredmények összefoglalása

A mechanikai sebzésekkel kapcsolatos kutatások a 80-as évek második felétől vettek új lendületet. Ettől az időszaktól lehet datálni a sebzések következtében kialakuló reakciófolyamatok finomszerkezetével foglalkozó kutatásokat. Különösen Nyugat-Európában és Észak-Amerikában indultak be a vizsgálatok. Köszönhető ez talán annak is, hogy a faápolás (sérült, beteg fák) szükségességét itt érezték át igazán először, elsősorban is a városok és parkok faállományában. Sajnos a kutatások szinte csak teljesen a sejt szinten végbemenő reakciófolyamatokra korlátozódtak. A reakciók faanyagminőségre gyakorolt hatásával foglalkozó kutatásokkal csak elvétve lehetett találkozni. Azok is inkább csak egy-egy fizikai jellemzővel foglalkoztak. Ezen hiányosság pótlására kezdtem el foglalkozni a mechanikai sebzések és a faanyagminőség összefüggéseinek feltárásával.

Kutatásaimat elsősorban a hántáskár okozta sebzések vizsgálatára terjesztettem ki, mivel e témakör körüli helyzet tisztánlátása mindig is problémákat vetett föl. Pro és kontra hangzottak el a szakmai viták során a szemben álló felek véleményei a hántáskár jelentőségével kapcsolatban. Kutatásom elsődleges célja így az volt, hogy egy olyan kutatási módszert dolgozzak ki, amely megfelelő alapot nyújt a felvetett probléma – mechanikai sérülés-faanyagminőség összefüggés – tisztánlátásához, különösen a faanyagminőség változásának oldaláról.

5.1 Eredmények

A kutatásaimmal Magyarországon elsőként kezdtem el foglalkozni a mechanikai sebzések következtében kialakuló reakciófolyamatok feltárásával, ill. annak megismerésével. A vizsgálataimat elsősorban a faanyagminőség változásának szemszögéből szerveztem. Mivel a külföldi kutatások a témakör egy-egy kisebb részletére terjedtek ki, így én vizsgáltam a mechanikai sebzések hatását komplexen a fára nézve. Vizsgálataim ennek megfelelően kiterjedtek a reakciófolyamatok következtében védőfallá átalakuló faszövetek, valamint a közben már károsodott faanyag anatómiai, fizikai és mechanikai tulajdonságainak meghatározására. Továbbá a sérülés következtében létrejött nyílt seb beforradására, ill. a kifejlődő kallusz teljes körű vizsgálatára, úgymint anatómiai, fizikai, mechanikai tulajdonságok feltárására. Mind hazai, mind világviszonylatban először én határoztam meg a sebzések hatására megváltozott, károsodott, ill. újra fejlődött faszövetek fizikai-mechanikai tulajdonságait.

A kutatómunka főbb eredményeit a következőkben lehet összefoglalni:

- A mechanikai sérülést követően a seb széléről, az élő szövetből hegedési szövet (kallusz) képződik, amely a seb szélén kidomborodik. Kisebb sebek esetében ezek összeérnek és a seb begyógyul. Vizsgálataim szerint a seb begyógyulása szempontjából döntő szerepe van a seb szélességének. Abban az esetben, ha a seb szélességi mérete meghaladja a 4 cm-t, akkor a gyógyulási folyamat nem tud befejeződni mielőtt a másodlagos károsítók (gombák, rovarok) már olyan mértékű károsítást okoznak a fában, mely annak további

életére erős hatással van. Ennek következtében a 4 cm-nél szélesebb sérüléseket szenvedett fákat az állományokból a tisztító- és gyéritővágások során ki kell emelni. A 4 cm-nél keskenyebb sebzések esetén a beforradást (sebzáródást) követően a fák még minőségi faanyagot szolgálhatnak, hiszen ilyenkor többnyire csak elszíneződésként jelentkezik a károsodás kisebb, nagyobb területen.

- Azok a sérülések, melyek télen keletkeztek, többségében olyan következményekkel járnak, ami a fa pusztulásához vezet. A téli sérülések során a nyitott seb felületen keresztül olyan mértékű vízvesztés lép föl a külső szövetekben, mely megakadályozza a sebkambium kifejlődését, vagy hosszabb-rövidebb ideig akadályozza azt.
- A sebzés (hántáskár) után pár nappal már megindul egy reakció folyamat a fatestben, melynek során a nyílt sérülés közelében lévő parenchímasejtek gesztesítő anyagokat kezdenek termelni, majd azzal a környezetében található sejteket (edényeket) eltömítik. Egyes fafajok, mint pl. az általam vizsgált szürke nyár nem csak gesztesítő anyag berakódásával, hanem tilliszesedéssel is védekezik. Az így kialakult védőzónában esetenként szuberinizálódás is végbemegy a parenchímasejtekben. Ezekkel a védekező reakció folyamatokkal a növény – a fa – elzárja a beljebb elhelyezkedő sejteket, ill. szöveteket a különféle mikroorganizmusok károsító hatása elől.
- A fizikai tulajdonságok közül a sűrűségi vizsgálat során megállapítást nyert, hogy a seb közelében elhelyezkedő szövetek sűrűsége csökkent, abban az esetben viszont, ha a preventív védekezési reakció időben lezajlik, akkor nő a faanyag sűrűsége. Vizsgálataim szerint a szürke nyár gyorsabban és hatékonyabban reagál a sebzésre, mert csak az első zónában csökkent le a sűrűség az egészséges faanyaghoz viszonyítva, míg a beljebb fekvő zónákban már növekedett. A zsugorodás-dagadási vizsgálat is alátámasztja a fentieket.
- A statikus szilárdsági vizsgálatok közül a nyomószilárdság esetében nem tapasztalható minőség csökkenés a tilliszesedő fafajoknál, míg a nem tilliszesedők már minőségcsökkenést szenvednek. A hajlítószilárdsági és a hajlító rugalmassági modulus vizsgálatánál már összességében igen komoly eltérés mutatható ki az egészséges faanyag javára a károsodottal szemben. A dinamikus szilárdság – ütő-hajlító szilárdság – vizsgálata során a nyomószilárdsághoz hasonlóan már szintén nem tapasztaltam lényeges eltérést a károsodott és az egészséges faanyag között az ezüst hársnál, miközben a szürke nyárnál növekedés mutatható ki a tilliszesedés következtében.
- A termékszerkezet méretű vizsgálat is rámutat arra, ill. alátámasztja azt, ha a felhasználásra kerülő faanyagot károsodott részek terhelik – gyengítik –, akkor jelentős hajlítószilárdság csökkenéssel kell számolnunk, valamint a károsodások a faanyag rugalmas tulajdonságait gyengítik.
- A vizsgálatok lefolytatása után elvégzett statisztikai elemzések alapján, többek között a varianciaanalízis során kimutatható, hogy ha a szilárdsági tulajdonságok átlagértékei még hasonlóak is, a megváltozott szöveti szerkezetű faanyag vizsgálati eredményeinek nagy szórása volt. Ezen tapasztalatok alapján megfogalmazható, hogy a károsodott faanyag a fizikai-mechanikai tulajdonságok tekintetében megbízhatatlan. Ezek alapján a sebzett

fatest későbbi ipari felhasználása során elsősorban a deformációk, ill. a szerkezeti megbízhatóság szempontjából okozhat problémát.

- A kallusz anatómiai vizsgálata rámutat arra, hogy annak anatómiai felépítése jelentősen különbözik a normál faanyaghoz képest. Az edények területi részaránya drasztikusan lecsökken, elsősorban az edényátmérők csökkenése következtében. A parenchimasejtek jelentős mennyiségi növekedésen mennek át (közel megduplázódik a számuk), miközben a farostok részaránya is növekszik, 5-10%-kal. Az összes sejtfal volumen is megnövekszik.
- A kallusz faanyagának a sűrűsége igen változékony. Egyértelműen megállapítani, hogy növekszik vagy csökken, nem lehet. A szürke nyár sűrűsége nő, az ezüst hársé pedig csökken. A térfogati zsugorodás viszont már kedvezőbben alakul a sebszövetben.
- A szilárdsági tulajdonságok tekintetében egyértelmű csökkenés figyelhető meg a kalluszban a normál faanyaghoz képest, különösen a hajlítószilárdság és a rugalmassági modulusnál, ahol is 20%-os értékcsökkenés mutatható ki.
- A kallusz vizsgálata során kapott fizikai és szilárdsági jellemzők csökkenése ellentmond az anatómiai változásoknak, mivel annak következtében fordított irányú változásoknak kellene föllépnie. Hogy ez még sem így történik annak oka a sejtfal szerkezetében keresendő. Az anatómiai vizsgálatok során kimutattam, hogy a kallusz jelentős mennyiségben géles rostokat tartalmaz. Ez pedig arra utal, hogy a lombos fákra jellemző, a reakciófához (húzott fa) hasonló szöveti szerkezetű fa fejlődik a kalluszban. Az ilyen sejteknél a sejtfal S_3 rétege teljesen is hiányozhat, s ilyenkor a géles réteg helyettesíti azt, sőt még ki is töltheti a sejtüreget teljesen. A géles réteg egyáltalán nem tartalmaz lignint, hanem csak cellulóz építi föl. Szilárdsági tulajdonságai alapján az ilyen faanyag gyengébb minőségű, mint a normál.

5.2 A kutatási eredmények hasznosítása

A kutató munkámmal kidolgoztam egy olyan módszert a károsodott faanyag vizsgálatára, amellyel objektíven föl lehet tárni annak műszaki tulajdonságait, a lehetséges hasznosíthatóságuk függvényében. A hántáskárt szenvedett faanyag minél nagyobb értékű felhasználási területének kiválasztásához meghatároztam a minőséget befolyásoló fontosabb fizikai-mechanikai jellemzőket annak érdekében, hogy a károsítás során várhatóan milyen minőség csökkentő hatással kell számolni.

A téli viszonylatban keletkező hántáskár során sérült faegyedeket az erdőállományból ki kell szedni a tisztító- és gyérítővágások alkalmával, mivel azoknál a sebbeforradás esélye nagyon minimális és a másodlagos károsítók sorozatos kártevősei folytán elpusztulnak.

A 4 cm-nél szélesebb sérülések begyógyulása szintén kétséges, így azok eltávolítását az állományokból meg kell oldani annak érdekében, hogy az előhasználat során még értékesnek mondható faanyag felhasználása lehetséges legyen.

6. Az értekezés tézisei

1. Kutató munkám során kidolgoztam egy olyan komplex vizsgálati módszert, melynek segítségével objektíven föl lehet tární a mechanikai sérülések (sebzések) hatására megváltozott, károsodott, ill. újra fejlődött faszövetek anatómiai jellemzőinek és fizikai-mechanikai tulajdonságainak összefüggéseit. Mindez nagyban elősegíti a **mechanikai sérülés-faanyagminőség** összefüggés tisztánlátását, különösen a faanyagminőség változásának oldaláról.
2. Elsőként mutattam ki, hogy a mechanikai sebzések okozta sérülések záródásának sikerességét nem a sebfelület mérete, hanem a seb szélessége határozza meg. Amennyiben a sebszélesség nem haladja meg a 4 cm-t, a behegésedés megtörténhet még az előtt, hogy a másodlagos károsítók jelentős kárt tennének a fában. A téli keletkezésű sérülések begyógyulására nem sok esély van a nagy fokú vízvesztés következtében, ami akadályozza a sebkambium létrejöttét.
3. Megállapítottam, hogy a mechanikai sérülést követő reakciófolyamatok következtében megváltozott faanyag műszaki tulajdonságai közül a hajlító igénybevételekkel szembeni ellenállás csökken jelentős mértékben. Ez alapján az ilyen faanyag szerkezeti célú felhasználásra kevésbé alkalmas. A többi tulajdonság tekintetében lényeges minőségsökkenésre nem lehet számítani.
4. Kimutattam, hogy a kallusz anatómiai felépítése eltér a normál fa mikroszkópikus szerkezetétől. Az edények területi részaránya 35-50%-kal visszaesik az átmérő csökkenése következtében. Ezzel egyidejűleg a parenchimasejtek aránya közel kétszeresére, a farostok mennyisége pedig 5-10%-kal nő. A sejtfa területi részaránya is megváltozik, közel 20%-os növekedés figyelhető meg.
5. Vizsgálataim szerint a kallusz fizikai-mechanikai tulajdonságai többnyire csökkenő tendenciát mutatnak a normál faanyaghoz képest. A rugalmas jellemzők változása azonban kiemelkedik ezek közül, mivel azokban 20% körüli értékcsökkenés állapítható meg a normál faanyag rugalmas jellemzőihez képest.
6. Feltártam azt az ellentmondást, hogy az összes fizikai és szilárdsági paraméter változása a kallusz esetében ellentétes irányú az anatómiai felépítésben bekövetkező módosulással. A farostok mennyiségének, ill. a sejtfa volumen növekedésének a műszaki tulajdonságok javulását kellene determinálnia. Ezzel ellentétben azok csökkenő tendenciát mutatnak a farostok elgélesedésének következtében.

7. A vizsgálatokkal határozottan igazoltam, hogy a szarvas által okozott téli hántáskár kiemelkedő veszélyforrás az erdők egészségi állapota tekintetében, amelynek alapvetően két lényeges összefüggése van:
- ha a sebszélesség nem haladja meg a 4 cm-t, akkor egy álgesztes, csökkent minőségű faanyag keletkezik.
 - amennyiben a seb szélesség meghaladja a 4 cm-t, akkor a sebzés következtében kialakuló csökkent minőségű faanyag keletkezése mellett, a fa további élete is veszélybe kerül, a tartósan (3 évnél hosszabb) nyitott sebfelületen keresztül támadó másodlagos károsítók károsítása következtében.

7. Irodalomjegyzék

1. Allen, R. M. – Hiatt, E. N. (1994): Tissue culture of secondary xylem parenchyma of four species of southern pines. *Wood and Fiber Science*, 26: 2, 294-302.
2. Andrásévits, Z. (2000): A vadkár elleni védekezési módszerek gazdasági elemzése. *Erdészeti Lapok*, CXXXV. 7-8, 239-242.
3. Armstrong, J. E. – Shigo, A. L. – Funk, D. T. – McGinnes, E. A. – Smith, D. E. (1981): A macroscopic and microscopic study of compartmentalization and wound closure after mechanical wounding of black walnut trees. *Wood and Fiber*, 13: 4, 275-291.
4. Babos, K. (1968): Az óriás nyár anatómiai jellemzői és egyes fiziko-mechanikai tulajdonságai közötti összefüggések. *Faipari Kutatások*, 283-293.
5. Babos, K. – Filló, Z. – Somkuti, E. (1979): *Haszonfák*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1979. 117-229.
6. Babos, K. (1986a): A kocsánytalan tölgy pusztulás vizsgálata. Részjelentés I. *Faipari Kutató Intézet*, Budapest
7. Babos, K. (1986b): A hazánkban előforduló fontosabb egzóta (fenyő) fafajok néhány fizikai-mechanikai tulajdonsága a nemes nyárok és az erdei fenyők jellemzőinek függvényében. *Faipar*, XXXVI, 8, 246-248.
8. Babos, K. (1988a): Vizsgálati adatok eltérő korú cv. "I-214" nyár törzsek faanyagának néhány anatómiai és fizikai-mechanikai tulajdonságáról. *Faipar*, XXXVIII, 7, 193-197.
9. Babos, K. (1988b): Vizsgálati adatok eltérő korú nemesített nyárfajták és fajtajelöltek faanyagának néhány anatómiai és fizikai-mechanikai tulajdonságáról. *Faipar*, XXXVIII, 12, 360-366.
10. Babos, K. (1992): Nemesített nyárfajták és fajtajelöltek fájának anatómiai és szilárdsági tulajdonságai és szerepük a faanyag hasznosíthatóságában. *Doktori Értekezés Tézisei*, Budapest
11. Babos, K. – Zsombor, F. (2002): Néhány nyárfajta faanyag-tulajdonságának összefoglaló jellegű ismertetése. *Faipar*, L, 4, 4-7.
12. Bangerter, U. M. (1984): Der Verschlußmechanismus von Längswunden am Stamm von *Larix decidua* Mill. und *Picea abies* (L.) Karst. *Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich*, 129, 339-398.

13. Bartelheimer, P.–Kollert, W. (1990): Hilfsmittel zur Bewertung von Verbiss- und Fegeschäden Neuberechnung von Bestandeswerttabellen AFZ 14-15. 369-371.
14. Bauch, J. – Shigo, A. L. – Starck, M. (1980): Wound effects in the xylem of *Acer* and *Betula spp.* Holzforschung, 34, 153-160.
15. Bauch, J. (1986): Verfärbungen von Rund- und Schnittholz und Möglichkeiten für vorbeugende Maßnahmen. Holz-Zentralblatt, 112, 2217-2218.
16. Bencze, L. (1978): A vadkárok és a vad táplálkozásának néhány kérdése. Vadbiológiai Kutatás, Gödöllő, 22. 25-27.
17. Bencze, L. – Kiss, G. – Walter, D-né. (1977): Erdőgazdasági vadkárok becslése és értékelése nemes nyár állományokban. Az Erdő, XXVI. évf. 3.
18. Bentum, A. L. K. – Coté, W. A. – Day, A. C. – Timmel, T. E. (1969): Distribution of lignin in normal and tension wood. Wood Science and Technology, Vol. 3. 218-231.
19. Biggs, A. R. (1984): Intracellular suberin: occurrence and detection in tree bark. IAWA Bulletin, 5, 243-248.
20. Biggs, A. R. (1985): Suberized boundary zones and the chronology of wound response in tree bark. Phytopathology, 75, 1191-1195.
21. Biggs, A. R. (1987): Occurrence and location of suberin in wound reaction zones in xylem of 17 tree species. Phytopathology, 77: 5, 718-725.
22. Bodig, J – Jayne, B. A. (1982): Mechanics of Wood and Wood Composites. Van Nostrand Reinhold Publishing, Scarborough, 48-655.
23. Bondor, A. – Führer, E. – Járó, Z. – Kollwenz, Ö. – Márkus, L. – Murányi, J. (1988/89): Az erdei vadkárok értékelése az erdőértékszámítás módszereivel. Erdészeti Kutatások, Budapest, 195-203.
24. Bensen, K. J. M. – Kucera, L. (1990): Vessel occlusion in plants: morphological, functional and evolutionary aspects. IAWA Bulletin, 11, 393-399.
25. Bensen, K. J. M. (1991): Gefäßverschluss-Mechanismen in Laubbäumen. Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich, 136: 1, 13-50.
26. Butterfield, B. G. – Meylan, B. A. – Peszlen, I. (1997): A fastest háromdimenziós szerkezete. Faipari Tudományos Alapítvány, Budapest, 133-134.
27. Diehl, M. – Seidenschnur, W. (1990): Gutes Überwallungsvermögen der Rotbuche bei Schältschäden im Dickungsstadium. Allgemeine Forst Zeitschrift, 19. 453-454.

28. Dujesiefken, D. – Liese, W. (1988): Holzbiologisches Untersuchungsprogramm zu Methoden der Baumpflege. *Das Gartenamt*, 37: 10, 618-622.
29. Dujesiefken, D. – Ebenritter, S – Liese, W. (1989): Wundreaktionen im Holzgewebe bei Birke, Buche und Linde. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 47, 495-500.
30. Dujesiefken, D. – Liese, W. (1990): Einfluß der Verletzungszeit auf die Wundheilung bei Buche (*Fagus sylvatica* L.) *Holz als Roh- und Werkstoff*, 48, 96-99.
31. Dujesiefken, D. – Liese, W. (1991): Sanierungszeit und Kronenschnitt-Stand der Kenntnis. *Das Gartenamt*, 40: 7, 455-459.
32. Dujesiefken, D. – Peylo, A. – Liese, W. (1991): Einflu der Verletzungszeit auf die Wundreaktionen verschiedener Laubbäumen und der Fichte. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 110, 371-380.
33. Dujesiefken, D. – Liese, W. (1992): Holzschutzmittel zur Wundbehandlung bei Bäumen. *Gesunde Pflanzen*, 44: 9, 303-306.
34. Dujesiefken, D. – Seehann, G. (1992): Desinfektion und Pilzbefall künstlicher Baumwunden. *Gesunde Pflanzen*, 44, 5, 157-160.
35. Dujesiefken, D. (1995): Wundbehandlung an Bäumen. Bernhard Thalacker Verlag, Braunschweig
36. Dujesiefken, D. – Kowol, T. – Schmitz-Felten, E. (1995): Einfluß verschiedener Sanierungszeiten und Wunverschlussmittel auf die Wundreaktionen von Bäumen. in *Wundbehandlung an Bäumen*, Bernhard Thalacker Verlag, Braunschweig 85-99.
37. Eckstein, D. – Liese, W. – Shigo, A. L. (1979): Relationship of wood structure to compartmentalization of discolored wood in hybrid poplar. *Canadian Journal of Forest Research*, 9: 2, 205-210.
38. Eom, Y. G. (1991): Histological characteristics of tumorous wood formed in a stem of *Robinia pseudoacacia* L. by artificial fastening. *Journal of Korean Forestry Society*. 80: 4, 408-415.
39. ERTI Kutatási Jelentés (1990): Fakitermelési állománykárok meghatározása. Sopron
40. Faanyagismerettani, Vadgazdálkodási és Erdővédelmi Tanszék (1995): A csülkösvad okozta kéregsebzés és annak hatása a faanyag minőségére. OTKA Zárójelentés, Sopron
41. Fehér, S. (1997) Az erdei fák mechanikai sérüléseinek hatása a fatest szöveti és fizikai-mechanikai tulajdonságaira. OTKA Zárójelentés, Sopron

42. Frühwald, A – Bauch, J. – Götttsche-Khün, H. (1984) Holzeigenschaften von Fichten aus Waldschadensgebieten. Holz als Roh- und Werkstoff, 42, 441-449.
43. Gencsi, L. (1980): Erdészeti növénytan I. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 171-193.
44. Ghimessy, L. (1987): Módszertani útmutató az erdőben és fásításokban keletkezett károk rendezéséhez és értékeléséhez. Állami Biztosító Mezőgazdasági és Kárrendezési Főosztály, Budapest
45. Götze, H. – Schulze-Dewitz, G. – Wenk, M. (1989): Abnorme Holzstrukturen Teil II: Stocküberwallungen an Nadelholz. Drevársky Vyskum, 121, 33-47.
46. Gyarmati, B. – Igmándy, Z. – Pagony, H. (1964): Faanyagvédelem. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 31-58.
47. Hajdu, G. (1994): Vadkárosítás a zselici ezüst hársasokban. ERTI Kutatási Jelentés, Kaposvár
48. Hauer, L. (1989): Az erdei vadkárrelhárítás 1977. évi eredményei. Vadbiológiai Kutatás, Gödöllő, 22, 31-32.
49. Houston, D. (1971): Discoloration and decay in red maple and yellow birch: reduction through wound treatment. Forest Science, 17, 402-406.
50. Igmándy, Z. (1974): Erdészeti növénykórtan I. Sopron, 1974. 5-67.
51. Iváncsics, L. (1983): Vadkárók a novai erdészeti területén. Doktori disszertáció, Sopron, 75.
52. Jakus, L.(1974): Vadgazdálkodás, vadkár, vadkárrelhárítás. Szakdolgozat, Sopron, 67.
53. Kató, F. (1969): Stammfäuleschäden der Fichte. Forstarchiv, 40 Jg. Heft, Nr. 5. Mai, 81-92.
54. Kató, F. (1983): Ein einfachen Verfahren zur Schältschadenbewertung. Der Forst- und Holzwirt. 36. Jg. Heft, Nr. 9. Mai, 193-200.
55. Keresztes, Gy. (1991): A gyéritéskor visszamaradó fákon keletkező sérülések vizsgálata. Erdészeti lapok CXXVI.évf.10.sz. 301-302.
56. Ketskemény, L. – Izsó, L. (1996): Az SPSS for Windows. SPSS Partner Bt. Budapest, 54-63.
57. Kollman, F.(1951): Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe I. Springer-Verlag, Berlin, 574-948.

58. Kovács, I. (1979): Faanyagismerettan. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 239-365.
59. Kozák, A. (1990): A többváltozós regressziószámítások alapjai és fagazdasági alkalmazása. Sopron, 85-110.
60. Köhalmy, T. (1987): A mezőgazdasági vadkár. Kézirat, Sopron.
61. Köhalmy, T. (1990): Vadgazdálkodás. Mezőgazdasági Kiadó, 188-189.
62. König, E. (1968): Der Einfluss des jahresperiodischen Verlaufs des Wasser- und Zuckergehaltes einiger Baumrinden auf das Schälen durch Rotwild. Stuttgart, 1-110.
63. Kroth, W. – Sinner, U. – Bartelheimer, P. (1985): Hilfsmittel zur Bewertung von Verbiss- und Fegeschäden. Neuberechnung von Bestandeswerttabellen AFZ, 14-15, 369-371.
64. Kucera, L. (1971): Wundgewebe in der Eibe (*Taxus baccata*). Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich, 116, 445-470.
65. Lemke, K. (1977): Verhüten von Wildschäden VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin, 1-144.
66. Liese, W. – Dujesiefken, D. (1988): Reaktionen von Bäumen auf Verletzungen. Das Gartenamt, 37: 7, 436-440.
67. Liese, W. – Dujesiefken, D. – Bremer, J. (1988): Wundreaktionen bei Linde nach Astung in der Baumpflege. Forstwissenschaftliches Centralblatt, 107, 184-196.
68. Liese, W. – Dujesiefken, D. (1989a): Wundreaktionen bei Laubbäumen, Tagungsbericht, 2. Symposium, Ausgewählte Probleme der Gehölzphysiologie, Tharandt
69. Liese, W. – Dujesiefken, D. (1989b): Aspekte und Befunde zur Sanierungszeit in der Baumpflege. Das Gartenamt, 38: 6, 356-360.
70. Linde, M. (1938): Der Wildschäden in Wald und Feld. Verlag von J. Neumann, Berlin, 380.
71. Lowerts, G. – Wheeler, E. A. – Kellison, R. C. (1985): Characteristics of wound-associated wood of yellow-poplar (*Liriodendron tulipifera* L.). Wood and Fiber Science, 18: 4, 537-552.
72. Lugosi, A. (1976): Faipari Kézikönyv. Műszaki Könyvkiadó. Budapest, 96-114.
73. Majer, A. (1961): Gyökérször összenövések előfordulása és jelentősége. Erdészeti Kutatások, 165-186.

74. Mayer, H. (1984): Waldverwüstende Wildschäden in Tirol St.Jakob/St.Anton am Erlberg. Inst. für Waldbau für Bodenkultur Wien, Band II.
75. Molnár, S. – Schmitt, U. (1994): Stammverfärbungen nach Schälsschäden durch Rotwield. *Holzforschung und Holzverwertung*, 46: 1, 17-18.
76. Molnár, S. – Peszlen, I. (1996): Magyar nyár klónok fatechnológiai tulajdonságai. *Bútor és Faipar*, 11-12, 26-28.
77. Molnár, S. (1999): Faanyagismerettan. *Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó*, Budapest, 278-441.
78. Molnár, S. (2000): Faipari kézikönyv I. Faipari Tudományos Alapítvány, Sopron, 74-88.
79. Molnár, S. – Bariska, M. (2002): Magyarország ipari fái. *Wood species of Hungary. Szaktudás Kiadó Ház*, 118-122., 142-149.
80. Moore, K. E. (1978): Barrier-zone formation in wounded stems of Sweetgum. *Canadian Journal Research Results*, 8, 389-397.
81. Mullick, D. B. (1975): A new tissue essential to necrophylactic periderm formation in the bark of four conifers. *Canadian Journal Botany*, 53, 2443-2457.
82. Nádas, J. (2002): Vadkárhelyzet, vadkár gondok Somogyban. *Erdészeti Lapok*, CXXXVII, 9, 255-257.
83. Nagy, Gy. Cs. (1969): Az erdőgazdasági vadkárok értékelése és megelőzése a Tanulmányi Erdőgazdaság Hegyvidéki Erdészet területén. *Diplomaterv*, Sopron, 1-47.
84. Nagy, Gy. Cs. (1978): A szarvas hántáskárának vizsgálata a Lillafüredi Erdészet lucfenyő-állományaiban. *Vadbiológiai Kutatás*, Gödöllő 22. sz. 27-30.
85. Nagy, I. (1990): A nagyvad által okozott károk és elhárítási lehetőségeik. *Keszthely, Szakmérnöki diplomadolgozat*.
86. Neely, D. (1970): Healing of wounds on trees. *Journal American Society Horticulturae Science*, 95, 536-540.
87. Niemz, P. (1993): *Physik des Holzes und der Holzwerkstoffe*. DRW Verlag, Leinfelden-Echterdingen
88. Noel, A. R. A. (1968): Callus Formation and Differentiation at an Exposed Cambial Surface. *Annals of Botany*, 32, 347-359.

89. Nolte, N. (1977): Die Auswirkungen spezifischer Wuchsbedingungen und Holzfehler auf Eigenschaften und Verwendbarkeit des Rundholzes. Diplomarbeit, Institut für Forstbenutzung der Georg-August-Universität, Göttingen
90. Oven, P. – Torelli, N. (1994): Wound response of the bark in healthy and declining silver firs (*Abies alba*). IAWA Journal, 15, 407-415.
91. Oven, P. – Torelli, N. – Vilhar, B. – Grill, D. – Guttenberger, H. (1999): Response of the cambial zone in conifers to wounding. Phyton-Horticolture, 39: 3, 133-137.
92. Pagony, H. (1967): A nyárok nyesésének kérdése, különös tekintettel az álgesztesedésre és gombafertőzésre. Erdészeti kutatások, 1-3, 271-281.
93. Páll, M. (1930): Erdőgazdasági problémák, vadkárak. Erdészeti Lapok, LXIX évf. 9. füzet
94. Páll, M. (1992): Vadkárosítás fenyőállományokban. Egyetemi doktori értekezés, Sopron, EFE.
95. Peszlen, I. (1993): Influence of site, clone, age, and growth rate on wood properties of three *Populus x euramericana* clones. Dissertation, Blacksburg
96. Polacsek, K. (1993): Wildschäden und ihre Ursachen. Österreich Weidwerk 5. 17-20.
97. Rademacher, P. – Bauch, J. – Shigo, A. L. (1984): Characteristics of xylem formed after wounding in *Acer*, *Betula* and *Fagus*. IAWA Bulletin, 5, 141-151.
98. Schmitt, U. – Liese, W. (1990): Wound reaction of the parenchyma in *Betula*. IAWA Bulletin, 11. (4), 413-420.
99. Schmitt, U. – Liese, W. (1992a): Seasonal influences on early wound reactions in *Betula* and *Tilia*. Wood Science and Technology, 26, 405-412.
100. Schmitt, U. – Liese, W. (1992b): Veränderungen von Parenchym-Tüpfeln bei Wundreaktionen im Xylem von Birke (*Betula pendula* Roth). Holzforschung, 46. No. 1. 25-30.
101. Schmitt, U. – Liese, W. (1993): Wundreaktionen im Xylem einiger Laubbäume. Vorlesung, Schriftliche Zusammenfassung, Hamburg
102. Schmitt, U. – Liese, W. (1994): Wound tyloses in *Robinia pseudoacacia* L. IAWA Journal, 15: 2, 157-160.
103. Schmitt, U. (1994): Wundreaktionen im Xylem von *Acacia Mangium* Willd. nach mechanischer Verletzung. Arbeitsbericht, Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Hamburg

104. Schulze-Dewitz, G. – Götze, H. (1986): Abnorme Holzstrukturen Teil I: Haselwuchs und Wimmerwuchs. *Drevársky Vyskum*, 111, 1-10.
105. Sharon, E. M. (1973): Some histological features of *Acer saccharum* wood formed after wounding. *Canadian Journal Research Results*, 3, 83-89.
106. Shigo, A. L. – Sharon, E. M. (1968): Discoloration and decay in hardwoods following inoculations with *Hymenomyces*. *Phytopathology*, 58, 1493-1498.
107. Shigo, A. L. – Larson, E. H. (1969): A photo guide to the patterns of discoloration and decay in living northern hardwood trees. U.S.D.A. Forest Service Research Paper, NE-127, Forest Service, U.S. Department of Agriculture
108. Shigo, A. L. – Sharon, E. M. (1970): Mapping columns of discolored and decayed tissues in sugar maple, *Acer saccharum*. *Phytopathology*, 60, 232-237.
109. Shigo, A. L. – Wilson, C. L. (1971): Are tree wound dressing beneficial? *Arborist's News*, 36, 85-88.
110. Shigo, A. L. – Marx, H. G. (1977): Compartmentalization of decay in trees. Forest Service U. S. Department of Agriculture, Agriculture Information Bulletin, No. 405.
111. Shigo, A. – Shortle, W. – Garrett, P. (1977): Compartmentalization of discolored and decayed wood associated with injection-type wounds in hybrid poplar. *Journal of Arboriculture*, 3: 2, 114-118.
112. Shigo, A. L. (1984): Compartmentalisation: A conceptual framework for understanding how trees grow and defend themselves. *Annals of Rev. Phytopathology*, 22, 189-214.
113. Shigo, A. L. (1985): Kompartimentierung als Abwehrreaktion bei Bäumen. *Spektrum der Wissenschaft, Internationale Gesellschaft für Baumflege, Scientific American, Heidelberg*
114. Shigo, A. L. (1986): An new tree biology. *Shigo and Trees. Associates, New Hampshire*, 595
115. Stobbe, H. – Schmitt, U. – Eckstein, D. – Dujesiefken, D. (2002): Developmental stages and fine structure of surface callus formed after debarking of living lime trees (*Tilia* sp.). *Annals of Botany*, 89:6, 773-782.
116. Szalai, J. (1994): A faanyag és faalapú anyagok anizotróp rugalmasság- és szilárdságtana I. Sopron, 31-70.
117. Tardosi, J. (1969): A vad takarmányozása és a vadkárok megelőzése. *Diplomaterv, Sopron*, 53.

118. Torelli, N. – Krizaj, B. – Oven, P. (1994): Barrier zone (CODIT) and wound-associated wood in beech (*Fagus sylvatica* L.). *Holzforschung und Holzverwertung*, 46: 3, 49-51.
119. Trockenbrodt, M. (1990): Entwicklung, Variabilität und taxonomische Bedeutung der Rindenstrukturen von *Quercus robur* L., *Ulmus glabra* Mill., *Populus tremula* L. und *Betula pendula* Roth. Dissertation, Fachbereich Biologie, Universität Hamburg
120. Trockenbrodt, M. – Liese, W. (1991): Untersuchungen zur Wundreaktionen in der Rinde von *Populus tremula* L. und *Platanus x acerifolia* (Ait.) Willd. *Angewandte Botanik*, 65, 279-287.
121. Vanek, J. (1958): A szarvashántás és következményei. *Erdőgazdaság és Faipar* 7. 15.
122. Varga, F. (1995): A sebzések és a farontó gombák kapcsolata. In A csülkösvad okozta kéregsebzés és annak hatása a faanyag minőségére. OTKA Zárójelentés, (Szerk.: Faanyagismerettani, Vadgazdálkodási és Erdővédelmi Tanszék), Sopron
123. Vargáné, F. H. (1995): Tölgyeseink faanyagminősége. *Faipar*, XXXXV, 7, 103-105.
124. Vincze, I. (1975): Matematikai statisztika ipari alkalmazásokkal. Budapest, 110-212.
125. Vorreiter, L. (1949): *Holztechnologisches Handbuch. Band I. Allgemeines, Holzkunde, Holzschutz und Holzvergütung.* Verlag Georg Fromme & Co., Wien, 225-531.
126. Wagenführ, R. (1996): *Holzatlas.* Fachbuchverlag, Leipzig
127. Walterné Illés, V.(1978): Szimulált rágáskár hatásának vizsgálata tű- és lomblevelű fajokon. *Vadbiológiai Kutatás, Gödöllő*, 21-25.
128. Walterné Illés, V.(1988): Vadkár a hazai adatok és a szakirodalom tükrében. *EFE Tudományos Közleményei* 1. 143-151.
129. Walterné Illés, V.(1990): A vadkár. *Venatus* 1990/2, Budapest, 1-58.
130. Walterné Illés, V.(1991): A vadkár II. *Venatus* 1991/6. Budapest
131. Walterné, I. V. (1998): Hántáskár-elhárítás. *Erdészeti Lapok*, CXXXIII, 5, 156-157.
132. Woodward, S. – Pearce, R. B. (1988): Wound-associated response in Sitka spruce root bark challenged with *Phaeolus schweinitzii*. *Physiology Molecular Plant Pathology*, 33, 151-162.
133. Zalaegerszegi Erdőfelügyelőség Állami Osztálya (1989): A vadkárosítás vizsgálata LF, SF, ZDF állományokban. Nagykanizsa, Kézirat, 1-10.

8. Ábrajegyzék

1. ábra	Vadkárosított ezüst hárs állomány (Zselici Erdészeti)	4
2. ábra	Makroszkópikus elváltozások a hántáskár hatására ezüst hársnál	4
3. ábra	Többszöri sebzések okozta károsodás (<i>Populus x canescens</i>)	5
4. ábra	Lignifikáció a felloderma sejtjeiben	12
5. ábra	A sejtfalak szuberinizálódása	13
6. ábra	Összefüggő védőzóna a kéregben	13
7. ábra	A fa védőzónái (CODIT modell)	16
8. ábra	Mintavétel axiális irányú vizsgálathoz	16
9. ábra	Mintavétel radiális irányú vizsgálathoz	16
10. ábra	Fibrilláris/amorf anyagok szekrécója (<i>Tilia sp.</i>)	17
11. ábra	A reakciózóna, elzáródott edénnyel és rosttal (<i>Tilia sp.</i>)	17
12. ábra	A váladékanyagok szekrécója, ill. a sejtek elzáródása sematikusán	18
13. ábra	Tilliszképződés (<i>Nothofagus solandri</i>)	19
14. ábra	Szuberinréteg a szekunderfalán (<i>Tilia sp.</i>)	20
15. ábra	A szuberinréteg plazmolemmái (<i>Tilia sp.</i>)	20
16. ábra	Terepi felvétel, Jánossomorjai Erdészeti (1993)	28
17. ábra	Terepi felvétel, Zselici Erdészeti (1993)	28
18. ábra	Mintavétel a kallusz vizsgálatához (<i>Tilia argentea</i>)	29
19. ábra	A vizsgálati zónák kialakítása	30
20. ábra	Mesterséges sebzés szürke nyáron	38
21. ábra	A sebszélesség és a záródás összefüggése	40
22. ábra	A gödörkemembránok felszakadozása (<i>Tilia argentea</i>)	41
23. ábra	Gesztesítő anyagok kiválasztódása az edényekbe (<i>Tilia argentea</i>)	42
24. ábra	Elzáródott edények (<i>Tilia argentea</i>)	42
25. ábra	Egészséges faszövet (<i>Tilia argentea</i>)	43

26. ábra	Károsodott faszövet (<i>Tilia argentea</i>).....	43
27. ábra	Gombahyfák az edényekben.....	42
28. ábra	Bélsugár sejtek elhalása (<i>Tilia argentea</i>)	43
29. ábra	A gödörkemembrán beöblösödik az edénybe (<i>Populus x canescens</i>).....	43
30. ábra	Az edényeket tilliszek tömítik el (<i>Populus x canescens</i>)	43
31. ábra	Egészséges faszövetek (<i>Populus x canescens</i>)	44
32. ábra	Károsodott faszövetek (<i>Populus x canescens</i>)	45
33. ábra	A fertőzés sugár és hossz irányú terjedése	46
34. ábra	A sűrűség változása zónánként (<i>Populus x canescens</i>).....	47
35. ábra	A sűrűség változása zónánként (<i>Tilia argentea</i>)	48
36. ábra	A térfogati zsugorodás változása zónánként (<i>Populus x canescens</i>)	49
37. ábra	A térfogati zsugorodás változása zónánként (<i>Tilia argentea</i>).....	51
38. ábra	A nyomószilárdság változása zónánként (<i>Populus x canescens</i>).....	52
39. ábra	A nyomószilárdság változása zónánként (<i>Tilia argentea</i>)	53
40. ábra	A hajlítószilárdság változása zónánként (<i>Populus x canescens</i>).....	54
41. ábra	A hajlítószilárdság változása zónánként (<i>Tilia argentea</i>).....	55
42. ábra	A rugalmassági modulus változása zónánként (<i>Populus x canescens</i>)	57
43. ábra	A rugalmassági modulus változása zónánként (<i>Tilia argentea</i>).....	58
44. ábra	Az ütő-hajlító szilárdság változása zónánként (<i>Populus x canescens</i>).....	59
45. ábra	Az ütő-hajlító szilárdság változása zónánként (<i>Tilia argentea</i>).....	60
46. ábra	A hajlítószilárdság változása egészséges és károsodott termék méretű faanyagnál (<i>Tilia argentea</i>)	62
47. ábra	A rugalmassági modulus változása egészséges és károsodott termék méretű faanyagnál (<i>Tilia argentea</i>)	62
48. ábra	A kallusz mikroszkópikus felépítése (<i>Populus x canescens</i>)	63
49. ábra	A kallusz és a normál fatest határa (<i>Populus x canescens</i>)	64
50. ábra	Az edények és a farostok, ill. parenchimák mennyiségi változása a seb szélétől távolodva. (<i>Populus x canescens</i>)	66

51. ábra	Az átlagos edényátmérő változása a seb szélétől távolodva (<i>Populus x canescens</i>)	67
52. ábra	A sejtfal mennyiségi változása a seb szélétől távolodva (<i>Populus x canescens</i>)	67
53. ábra	Az edények, farostok és a parenchimák mennyiségi változása a seb szélétől távolodva. (<i>Tilia argentea</i>).....	69
54. ábra	Az átlagos edényátmérő változása a seb szélétől távolodva (<i>Tilia argentea</i>).....	70
55. ábra	A sejtfal mennyiségi változása a seb szélétől távolodva (<i>Tilia argentea</i>)	70
56. ábra	A sűrűség változása a sebtől távolodva.....	72
57. ábra	A térfogati zsugorodás változása a seb szélétől távolodva.....	73
58. ábra	A nyomószilárdság változása a seb szélétől távolodva.....	75
59. ábra	A hajlítószilárdság változása a seb szélétől távolodva.....	76
60. ábra	A rugalmassági modulusz változása a seb szélétől távolodva.....	77
61. ábra	Géles rostok a kalluszban (<i>Populus x canescens</i>)	81

9. Táblázatjegyzék

1. táblázat	A normál (egészséges) faanyag fontosabb műszaki jellemzői néhány fafajnál ..	23
2. táblázat	A vizsgált törzsek átlagadatai	25
3. táblázat	Terepi felvétel, a károsított törzsek száma (<i>Populus x canescens</i>).....	26
4. táblázat	Terepi felvétel, a károsított törzsek száma (<i>Tilia argentea</i>).....	27
5. táblázat	A sebszélesség hatása a beforradás sikerére (<i>Tilia argentea</i>)	37
6. táblázat	A sebszélesség hatása a beforradás sikerére (<i>Populus x canescens</i>).....	39
7. táblázat	A sűrűség statisztikai értékelése (<i>Populus x canescens</i>)	47
8. táblázat	A sűrűség statisztikai értékelése (<i>Tilia argentea</i>).....	48
9. táblázat	A térfogati zsugorodás statisztikai értékelése (<i>Populus x canescens</i>).....	49
10. táblázat	A térfogati zsugorodás statisztikai értékelése (<i>Tilia argentea</i>)	50
11. táblázat	A nyomószilárdság statisztikai értékelése (<i>Populus x canescens</i>)	52
12. táblázat	A nyomószilárdság statisztikai értékelése (<i>Tilia argentea</i>).....	53
13. táblázat	A hajlítószilárdság statisztikai értékelése (<i>Populus x canescens</i>)	54
14. táblázat	A hajlítószilárdság statisztikai értékelése (<i>Tilia argentea</i>)	55
15. táblázat	A rugalmassági modulus statisztikai értékelése (<i>Populus x canescens</i>).....	56
16. táblázat	A rugalmassági modulus statisztikai értékelése (<i>Tilia argentea</i>).....	57
17. táblázat	Az ütő-hajlítószilárdság statisztikai értékelése (<i>Populus x canescens</i>).....	58
18. táblázat	Az ütő-hajlítószilárdság statisztikai értékelése (<i>Tilia argentea</i>)	60
19. táblázat	Termékszerkezet méretű faanyag hajlítószilárdságának és rugalmassági modulusának statisztikai értékelése (<i>Tilia argentea</i>).....	61
20. táblázat	A kallusz és a normál fa felépítésének eltérései (<i>Populus x canescens</i>)	65
21. táblázat	Az edényátmérő és az összes sejtfal területi részarányának változása (<i>Populus x canescens</i>).....	66
22. táblázat	A kallusz és a normál fa felépítésének eltérései (<i>Tilia argentea</i>).....	68
23. táblázat	Az edényátmérő és az összes sejtfal területi részarányának változása (<i>Tilia argentea</i>).....	69

24. táblázat	A sűrűség statisztikai értékelése	72
25. táblázat	A térfogati zsugorodás statisztikai értékelése.....	73
26. táblázat	A nyomószilárdsági statisztikai értékelése	74
27. táblázat	A hajlítósilárdság statisztikai értékelése	75
28. táblázat	A rugalmassági modulusz statisztikai értékelése.....	77

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnék köszönetet mondani kollégáimnak a Nyugat-Magyarországi Egyetem valamennyi Intézetében, Tanszékén, akikhez munkámmal kapcsolatban bármilyen kéréssel fordulhattam, s hasznos tanácsaikkal segítettek e dolgozat megírását.

Köszönettel tartozom témavezetőmnek, Dr. Molnár Sándor professzor úrnak, munkám több éven keresztül támogatásáért, segítségéért, valamint Dr. Winkler András professzor úrnak az elmúlt években nyújtott támogatásáért. Ugyancsak köszönettel tartozom közvetlen kollégáimnak, munkatársaimnak, a Faanyagtudományi Intézet dolgozóinak, akik a dolgozatom megírásában végig támogattak és segítettek.

Külön köszönet illeti a Jánossomorjai Erdészeti és a Zselici Erdészeti munkatársait, akik a terepi felvételek, ill. vizsgálatok során önzetlenül segítségemre voltak, annak sikeres végrehajtásában, valamint a Hamburgi Fabiológiai Intézet munkatársait, Dr. Walter Liese professzor urat, Dr. Dieter Eckstein professzor urat és Dr. Uwe Schmitt professzor urat, akik az anatómiai vizsgálatokban nyújtott segítségükkel, tanácsaikkal nagyban hozzájárultak munkám eredményes befejezéséhez.

Sopron, 2003. április 10.

.....
Fehér Sándor

Mellékletek

Mellékletek

A károsodott és az egészséges faanyag fizikai tulajdonságai

Sűrűség vizsgálat.....	1-16. melléklet
Zsugorodás-dagadás vizsgálat.....	17-32. melléklet

A károsodott és az egészséges faanyag mechanikai tulajdonságai

Nyomószilárdság vizsgálat.....	33-48. melléklet
Hajlítószilárdság és rugalmassági modulusz vizsgálat.....	49-64. melléklet
Útó-hajlító szilárdság vizsgálat.....	65-80. melléklet
Termékszerkezet méretű faanyag vizsgálata.....	81-82. melléklet

A kallusz anatómiai jellemzői

Szürke nyár (<i>Populus x canescens</i>).....	83-88. melléklet
Ezüst hárs (<i>Tilia argentea</i>).....	89-97. melléklet

A kallusz fizikai tulajdonságai

Sűrűség vizsgálat.....	98-103. melléklet
Zsugorodás-dagadás vizsgálat.....	104-109. melléklet

A kallusz mechanikai tulajdonságai

Nyomószilárdság vizsgálat.....	110-115. melléklet
Hajlítószilárdság és rugalmassági modulusz vizsgálat.....	116-121. melléklet

Matematikai statisztikai értékelés

Varianciaanalízis.....	122-134. melléklet
------------------------	--------------------