

## **Doktori értekezés tézisei**

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

**Fehér Sándor**

**Nyugat-Magyarországi Egyetem  
Sopron**

**2003.**

***Doktori Iskola:*** Fa- és fatechnológia tudományok  
Vezető: Winkler András DSc.

***Program:*** Faanyagtudomány  
Vezető: Molnár Sándor DSc.

***Tudományág:*** Anyagtudományok és technológiák

***Témavezető:*** Molnár Sándor DSc.

**Doktori értekezés tézisei**

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

**Fehér Sándor**

**Nyugat-Magyarországi Egyetem  
Sopron**

**2003.**

## 1. A kutatómunka célja

Nemzetgazdaságunk dinamikus fejlődéséhez elengedhetetlenül szükséges a megújuló erőforrások – ilyenek 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:

### 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.

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

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.

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

A kutatómunkára vonatkozó szakirodalmat három csoportra lehet osztani, a vadkár, a sebzési reakciók és a sebzések hatása a faanyag minőségére.

A vadkárral foglalkozó szakirodalmakkal bőségesen rendelkezünk. 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. A teljesség igénye nélkül megemlítek néhány magyar kutatót, akik kiemelkedő jelentőségű kutatómunkát végeztek a témakörrel kapcsolatban: *Keresztes Gy., Bencze L., Bondor A., Kató F., Kőhalmy T., Nagy Gy. Cs., Páll M., Walterné I. V.*

A sebzések reakciófolyamataival foglalkozó kutatások az Egyesült Államokban indultak el az 50-es évek végén. **Alex Shigo** professzor vezetésével indultak kísérletsorozatok az idős fák ápolásával kapcsolatban. Szinte azt lehet mondani, hogy a témakörrel kapcsolatos első publikációk az ő tollából íródtak. Számtalan publikáció fémjelzi munkásságát, úgymint: *Shigo, Sharon (1968), Shigo, Larson (1969), Shigo, Sharon (1970)*. 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 több európai kutató is, *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 favédőszerek hatásának az összefüggéseire a gyógyulási folyamatban (*Dujesiefken, Liese, 1988, 1992*).

A sebzési reakciók finomszerkezetének megismerésével kapcsolatos kutatások elsőként *Schmitt és Liese (1990, 1992, 1993)* nevéhez fűződnek. Az első hazai vizsgálatok *Molnár, Schmitt (1994)* kutatásaival kezdődtek el.

A sebzési reakciók következtében kifejlődő sebszövetek (kallusz) vizsgálatával kapcsolatos kutatások száma már jóval szerényebb. Az első hazai kutatások *Majer (1961)* nevéhez fűződnek. Különösen jelentősek a külföldi kutatások: *Sharon (1973); Moore (1978); Rademacher, Bauch, Shigo (1984); Liese, Dujesiefken (1988); Schulze-Dewitz, Götze (1986)*.

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? Ilyen irányú kutatásokat végzett többek között *Pagony (1967), Nolte (1977), Varga (1995)*.

A sebzések és a faanyagminőség összefüggésével kapcsolatos kutatások száma igen szerény. A károsodott, pontosabban hántáskár, vagy más mechanikai sérülés következtében

megváltozott szövetű (abnormális) faanyag vizsgálatáról így nagyon kevés publikáció látott napvilágot. **Götze, Schultze-Dewitz, Wenk (1989)** duglászfenyő (*Pseudotsuga menziesii*) kalluszának vizsgálta a sűrűségét és a térfogati zsugorodását. Hasonló kutatást végzett az Egyesült Államokban **Lowerts, Wheeler és Kellison (1985)**. Majd az Erdészeti és Faipari Egyetem **Faanyagismeretani Tanszék, a Vadgazdálkodási Tanszék** és az **Erdővédelmi Tanszék (1995)** együttműködésével indult vizsgálat a hántáskár komplex hatásainak felderítésére.

### 3. Vizsgálati anyag és módszer

#### 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 µm. A szürke nyár ellenben tilliszképzésre alkalmas faj.

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 Bőszénfa 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.

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 Mintavétel az anatómiai vizsgálatokhoz

Az anatómiai (mikroszkópikus) vizsgálatok kiterjedtek a három védőfal (1., 2., ill. 3. védőfal) kialakulásával lezárt, 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 három pontot jelöltem ki a vizsgálati anyagon. Majd 10x10x10 mm-es mintákat vágtam ki az anatómiai vizsgálatokhoz 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.

- 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 „B”.

### 3.3 Mintavétel a fizikai, mechanikai tulajdonságok meghatározásához

A fizikai és mechanikai vizsgálatokhoz kidöntött törzseket a próbatestek kialakítása céljából zónákra osztottam a keresztmetszeten. A bálnél 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 báltól számított ellentétes oldal biztosította, amely a vizsgálatok szerint valóban egészségesnek is mutatkozott.

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.

A mintatörzsek mindkét oldalán, a középpalóból kivett faanyagot 4-4 zónára osztottam, amelyekből zónánként alakítottam ki a különböző vizsgálatoknak megfelelő próbatesteket. A hegszöveti 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. Ezzel a módszerrel hű képet kaptam az abnormális szerkezetű faanyag műszaki jellemzőiről is.

### 3.4 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 behegesedés 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. Vizsgálataim során a törzsen 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 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 károsodott faanyag fizikai, mechanikai tulajdonságai:

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.

*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  |

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. Ettől az eljárástól vártam a szövetek közötti eltérések minél aprólékosabb kimutatását. A szakirodalom áttekintését követően ez alábbi mikroszkópos jellemzők mérését tűztem ki céloomul:

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

- hosszparenchimák száma
- hosszparenchimák területi részaránya

A kallusz fizikai, mechanikai tulajdonságai:

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 |

### 3.5 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. Az erdőszet és a faipar területén, a gyakorlat a 95%-os megbízhatósági szintet alkalmazza a vizsgálatok során, amely elfogadhatónak tekinthető e két szakterületen.

## 4. 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.

#### 4.1 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. Kiseb 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 – ütés-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 a faanyaghoz képest. Az edények területi részaránya drasztikusan lecsökken, elsősorban az edényátmérők csökkenése következtében. A parenchímasejtek

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 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 vizsgálataiban 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<sub>3</sub> 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.

## 4.2 A kutatási eredmények hasznosítása

A kutató munkámmal kidolgoztam egy olyan módszert a károsodott faanyag vizsgálatára, amellyel objektíven föl lehet tárnai 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.

## 5. Az értekezés tézisei

1. Kutató munkám során kidolgoztam egy olyan komplex vizsgálati módszert, melynek segítségével objektíven föl lehet tárni 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 behegesedés 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 minőségcsökkenésre 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.

## **6. A témában megjelent tudományos közlemények**

### **Könyvfejezet**

1. Fehér S. (2000): A faanyag műszaki tulajdonságai. In Faipari Kézikönyv I. Szerk.: Dr. Molnár S., Faipari Tudományos Alapítvány, Sopron, 74-88.

### **Cikk szerkesztett könyvben**

1. Molnár, S. – Osztrogonác, J. – Fehér, S. (1989): Wirkung der Verjüngungsarten bei Robinienbeständen auf die Gewebestruktur und technischen Eigenschaften des Holzes. Acta Facultatis Ligniensis, Sopron, 1989. 37 - 50.
2. Molnár, S. – Fehér, S. – Szóják, P.né. (1991): Macroscopic structure-wood density relationships in *Populus trichocarpa* x *P. deltoides* poplar hybrids. Acta Facultatis Ligniensis, Sopron, 1991/1. 137-144.
3. Fehér, S. (1998): Effect of game stripping on the quality of wood. Acta Facultatis Ligniensis, Sopron, 1998. 31-37.

### **Külföldön megjelent idegen nyelvű folyóiratcikk**

1. Molnár, S. - Németh, R. - Fehér, S. - Tolvaj, L. - Papp, Gy. - Varga, F. - Apostol, T. (2001): Technical and technological properties of hungarian beach wood consider the red heart. Wood Research Drevársky vyskum, Vol 46/1. Bratislava, 21-29.
2. Fehér, S. – Gerencsér, K. (2003): Auswirkung von Wundreaktionen auf die anatomischen Merkmale von Gehölzen. Forst und Holz, 58. Jahrgang, Nr. 6. 25. März 2003. Alfeld-Hannover, 150-152.

### **Nemzetközi konferencia kiadványban megjelent idegen nyelvű előadás**

1. Cunderlik, I. - Babiak, M. - Peszlen, I. - Németh, R. - Fehér, S. (2000): Static and dynamic properties of black locust. „Technology for High Quality Products from Black Locust” INCIO-COPERNICUS Project, Conference, Bugac, October 8-11. 2000.



2. Fehér, S. – Gerencsér, K. (2002): Einfluss der Wildschäden auf den Wert des Holzes. Europaforum Forstverwaltung, 18. September 2002.

### **Konferencia kiadványban megjelent magyar nyelvű előadás**

1. Fehér Sándor - Dr. Molnár Sándor - Dr. Uwe Schmitt (1995): A csülkösvad okozta kéregsebzés hatása a faanyagminőségre. WOOD TECH Erdészeti és Faipari Szakvásár, IV. Erdészeti Szakmai Konferencia, Sopron, 1995. aug. 23.
2. Dr. Molnár Sándor - Dr. Szoják Péterné - Fehér Sándor (1996): "Faanyag vagy tájesztétika" avagy a fehér nyarak kora és faanyagminősége közötti összefüggések. WOOD TECH Erdészeti és Faipari Szakvásár, IV. Erdészeti Szakmai Konferencia, Sopron, 1996. aug. 28.
3. Fehér Sándor - Martonos Ildikó (1997): Az alföldi termőhelyű károsodott tölgyesek felhasználhatósága. Természetszerű erdőgazdálkodás a Duna - Tisza között szakmai konferencia, Kecskemét, 1997. okt. 3.
4. Dr. Vargáné Földi Hajnalka - Fehér Sándor (2001): A kor és a szilárdsági tulajdonságok összefüggés-vizsgálata bükk faanyagnál. A Magyar Tudomány Napja 2001. Alkalmazott matematika és mechanika. Tudományos Konferencia, Nyugat-Magyarországi Egyetem, 2001. nov. 23. Sopron

### **Poszter**

1. Molnár, S. - Peszlen, I. - Németh, R. - Fehér, S. - Varga, M. (2002): Modeling the Wood Processing Chain for Red Heart Beech Part II. Forest Products Society 56th Annual Meeting, June 23-26. 2002. Monona Terrace Convention Center/Hilton Hotel Madison, Wisconsin, USA
2. Molnár, S. - Peszlen, I. - Führer, E. - Fehér, S. (2003): Wood quality of poplars in Hungary. IUFRO - All Division 5 Conference, Forest Products Research - Providing for Sustainable Choices, 11-15. March 2003. Rotorau, New Zealand

### **Magyar nyelvű folyóiratcikk**

1. Dr. Molnár Sándor - Fehér Sándor (1988): A faanyag szöveti felépítése és műszaki-technológiai felhasználhatóságának kapcsolata I. Faipar, 1988/6, 170 - 176.
2. Fehér Sándor - Dr. Szoják Péterné (1990): A levegőszennyezés hatása az ipari fa anyagtulajdonságára. Faipar, 1990/5, 152 - 153.
3. Dr. Molnár Sándor - Fehér Sándor - Pápai Lászlóné (1990): Újabb adatok a nyárültetvények faanyagminőségének változékonyságára. Faipar, 1990/7, 208 - 209.

4. Dr. Molnár Sándor - Fehér Sándor (1991): Erdeink faanyag minősége. Faipar, 1994/5. 68 - 75.
5. Dr. Molnár Sándor - Fehér Sándor (1996): A csülkös vad okozta hántáskár és a faanyag minőség. Erdészeti Lapok, 1996. március, 90 - 91.
6. Fehér Sándor - Fillinger Balázs (2001): A sebzési reakciók hatása a faanyag anatómiai jellemzőire. Faipar, 2001/1. Budapest, 16-17.

### **Magyar nyelvű konferencia előadás**

1. Fehér Sándor (1995): Mechanikai sérülések hatására fellépő reakciók a fatestben. Országos Erdészeti Egyesület Konferenciája, Jánossomorja, 1995. márc. 9.
2. Dr. Molnár Sándor - Fehér Sándor - Walterné Dr. Illés Valéria (1995): Beszéljünk őszintén a vadkáróról! Szakmai Konferencia, Kardosfa, 1995. nov. 24.
3. Fehér Sándor (1999): A sebzési reakciók hatása a faanyag anatómiai jellemzőire. Új tudományos és gyakorlati eredmények a faiparban. Tudományos Konferencia, Sopron, 1999. 08. 26.