

**Nyugat-magyarországi Egyetem**  
Sopron

Doktori (Ph.D.) értekezés tézisei

**A TERMÍKUS KEZELÉS HATÁSA A FAANYAG  
TULAJDONSÁGAIRA, KÜLÖNÖS TEKINTETTEL A  
GOMBAÁLLÓSÁGRA**

Horváth Norbert

**Sopron**  
**2008**

# 1. A KUTATÓMUNKA IDŐSZERŰSÉGE, ELŐZMÉNYEI ÉS CÉLJA

## Időszerűség

A hőkezelt fa napjainkban éli virágkorát és egyre gyakrabban alkalmazott ipari alapanyag.

A választott téma újszerűsége a hőkezelés alkalmazása a hazai pannónia nyár és csertölgy alapanyagok esetében, mindemellett fontos szerepet tölthet be a közeljövőben a bükk és álgesztes bükk alapanyagok hőkezelése is. A vizsgálati anyagok kiválasztásánál a következő két tényező motivált:

- A hőkezelt fa, mint a továbbfeldolgozás új alapanyaga a természetes faanyag hő hatására történő módosításával készül. A kezelés célja **a faanyag tulajdonságainak javítása**, s ezzel a felhasználási területének bővítése. Közismert, hogy termikus modifikáció hatására a faanyag a gombakárosítókkal szemben ellenállóbbá válik s mindez **vegyszeres kezelés nélkül oldható meg**.
- **A cseresek és bükkösök** hazánk erdőterületének jelentős hányadát alkotják és az ültetvényes fatermesztésnek köszönhetően a **Pannónia nyár** is iparilag nagy jelentőséggel bír. Ezek a **faanyagok természetes állapotukban a gombakárosítókkal szemben kevésbé ellenállóak**.

## **Előzmények**

Az áttanulmányozott külföldi és hazai szakirodalomban nem találtam utalásokat a cser és pannónia nyár tartósságának növelésére irányuló hőkezelésre vonatkozólag, a bükk tekintetében pedig a hazai eredmények bővítése vált szükségessé. A vizsgálati faanyagok farontó gombákkal szembeni természetes tartóssága az MSZ EN 350 szabvány alapján a cser gesztjét kivéve alacsony ezért az ilyen alapanyagok felhasználási területe korlátozott. Európában a hőkezelt faanyag előállítása az utóbbi 10 évben felgyorsult a növekvő igényeknek megfelelően, s hazánk jelenleg importra szorul e téren. Felismerve a hazai kutatás-fejlesztés ilyen irányú lehetőségeit a GVOP- „Vegyszermentes faanyagvédelem” projekt keretében a Gazdasági és Közlekedési Minisztérium támogatásával végeztem laboratóriumi vizsgálatokat a Nyugat-magyarországi Egyetem Faanyagtudományi Intézetében. A komplex vizsgálatoknak köszönhetően az ipari hasznosítás a közeljövőben a Sokon Kft.-nél fog megvalósulni. A kísérleti hőkezelések, a szakirodalom részletes feldolgozása alapján, normál légköri levegőben 180-200°C hőmérsékleten és különféle hőtartási idők mellett folytak. A kifejlesztett kezelési menetrendek know-how-ja a projekt megvalósulásáért felelős konzorcium szellemi tulajdonát képezi. Disszertációmmal reményeim szerint sikerült a hazai szakirodalmat bővítenem és a hazai faipar és gazdaság fejlődését elősegítenem.

## **Célkitűzések**

A disszertáció legfőbb célja a hazai hőkezelt fa előállításához szükséges alapkutatás eredményeinek összefoglalásán túlmenően az ipari méretű gyártás előmozdítása volt. Ezen belül a kutatási részfeladatokat a következőkben határoztam meg:

- a szakirodalom részletes áttekintésével a kezelési eljárásra és a kísérleti kezelő berendezés kivitelére vonatkozóan a kutató és fejlesztőmunka irányának meghatározása és a fejlesztés koordinálása
- a kialakított berendezés segítségével új, a gyakorlatban is alkalmazható technológia kísérleti megalapozása a hazai lombos fafajok száraz termikus modifikálására
- a kidolgozott menetredek hatásainak analitikus feltárása a nagy tömegben rendelkezésre álló, alacsony tartósságú bükk, nyár és cser faanyagok gombaállóságára és a felhasználás tekintetében fontos fizikai és mechanikai tulajdonságaira vonatkozóan
- a hőkezelés hatására megváltozott tulajdonságok figyelembevételével meghatározni a modifikált vizsgálati faanyag felhasználási területét

## 2. VIZSGÁLATI ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

### A vizsgálatba vont fajok

Csertölgy (*Quercus cerris* L.)

Pannonia nyár (*Populus × euramericana* Pannonia)

Bükk (*Fagus sylvatica* L.)

### Próbatestek

A vizsgálati faanyagok azonos termőhelyű törzsek mellmagassági zónájából kerültek ki. A próbatestek a fizikai és mechanikai vizsgálatok esetén a hatályos szabványok alapján lettek kialakítva és normál klímán ( $\varphi=65\%$ ;  $t=20^{\circ}\text{C}$ ) kerültek kondicionálásra. A gombaállóság vizsgálatánál  $20\times 20\times 6$  mm-es (radiális  $\times$  tangenciális  $\times$  rostirány) próbatesteket alkalmaztam. A mintaszám a vizsgálatoknál fajoként és kezelésként 25db volt. A hőkezelési méret és tömegcsökkenés vizsgálatánál a próbatestek  $35\times 20\times 15$ mm-esek (rostirány  $\times$  radiális  $\times$  tangenciális) voltak és a mintaszám fajoként és kezelésként 5db volt.

### Módszerek

#### *Gombaállóság meghatározása*

A vizsgálatokat az MSZ EN 113 szabványra támaszkodva végeztem, az inkubációs idő 12 hét volt és a cser gesztjét, szíjácsát

külön vizsgáltam. Az alkalmazott vizsgálati gombafajok fafajonként a következők voltak:

bükk, pannónia nyár - Lepketapló (*Coriolus versicolor*)

cser - Labirintustapló(*Daedalea quercina*)

A próbatestek gombabontásának mértéke a gombatenyésztésre helyezéskor és az inkubációs idő elteltével mért abszolút száraz tömegek különbségből állapítható meg.

### ***Fizikai tulajdonságok vizsgálata***

A vizsgálatok többsége a hatályos szabványok alapján került elvégzésre:

-egyensúlyi fanedvesség meghatározása: MSZ 6786-2; 1988

-sűrűség meghatározása: MSZ 6786-3; 1988

-színmérés: MSZ 9619-3; 1975

-dagadás meghatározása: MSZ 6786-9; 1989

-hőkezelési méret- és tömegcsökkenés: A hőkezelés során végbement tömeg- és méretbeli változásokat százados pontosságú digitális mérleg és digitális tolómérő segítségével határoztam meg.

### ***Mechanikai tulajdonságok vizsgálata***

A mechanikai vizsgálatok a hatályos szabványok alapján kerültek elvégzésre:

-hajlítószilárdság és hajlító-rugalmassági modulusz:

MSZ EN 6786/5-70

-ütő-törő munka:

MSZ EN 6786/7-75

-rostirányú nyomószilárdság:

MSZ EN 6786/8-71

### **3. AZ ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK ÖSSZEFOGLALÁSA**

#### **3.1. A hőkezelési technológiára vonatkozó új eredmények**

Laboratóriumi és félüzemi kísérletsorozattal optimális menetrendeket dolgoztam ki a cser, bükk és pannónia nyár faanyagok száraz termikus modifikálására. 180 és 200°C-on három különböző hőntartási idővel végeztem száraz hőkezeléseket, melyek menetrendjei a minőségi hőkezelt faanyag előállítását célozták. Kísérleteim igazolták, hogy a faanyagban lévő kötött víz szerepe nagy a végtermék minőségét illetően.

#### **3.2. Gombaállósággra vonatkozó új eredmények**

Gombaállósági vizsgálataimmal igazoltam, hogy a levegőben történt 200°C-os hőkezelés hatására a pannónia nyár ellenálló-képessége a lepketapló enzimatikus bontásával szemben közel 40%ponttal, míg a bükké 25%ponttal növelhető a kezeletlen faanyagokhoz képest. Így e két faanyag természetes állapotban közel azonos ellenálló képessége a pannónia nyár esetében módosult erőteljesebben.

Vizsgálataim alapján a 200°C-os hőkezelés hatására a cser gesztje és szíjácsa azonos, 3% alatti gombabontást szenvedett a labirintustapló által, mely jelenséget a faalkotók fungicid bomlástermékeinek és a faanyag lecsökkent hidrophil jellegének tulajdonítok. A cser gesztje az MSZ EN 350 szerint a közepesen tartós kategóriába sorolandó, míg a szíjácsa a gyengén tartós faanyagok közé tartozik. A 200°C-os hőkezelések

eredményeiből arra a következtetésre jutottam, hogy a labirintustapló enzimatis bontásával szemben a hőkezelt geszt és a szíjács már nem tekinthető a tartósság tekintetében különbözőnek, jóllehet a kezeletlen gesztnél még feleakkora (12%-os) gombabontást tapasztaltam. A 200°C-os hőkezelés hatására a gombabontás mértéke mindkét faszöveti résznél 3%-alá csökkent, amiből megállapítható volt, hogy a hőkezelt cser szíjács ellenálló-képességének javulásánál nem a járulékos anyagok a meghatározóak. Vizsgálataimmal igazoltam, hogy a gombabontás csökkenése nem csupán a hőkezelés okozta tömegcsökkenés mértékével azonos, hanem azon felüli mértékű. Ennek egyenes következménye, hogy a degradáció fungicid hatású melléktermékei és a faanyag csökkent higroszkópossága is hozzájárul a rezisztencia növekedéséhez.

### **3.3. A fa és víz kapcsolatával összefüggő új eredmények**

**Igazoltam, hogy vizsgálati faanyagok 200°C-os hőkezelésével a légszáraz fanedvesség 4-5%pontal csökkenthető.** A normál klímán meghatározott egyensúlyi nettó fanedvesség értékeiből igazoltam, hogy a 200°C-os hőkezelés hatására a sejtfalban kötött víz mennyisége a kezeletlen fa mintaátlagainak 12%-körüli értékéhez képest bükknél és csernél 7%-ra, míg a pannónia nyár esetén 8%-ra csökkenthető. **Megállapítottam, hogy a csökkenő egyensúlyi fanedvesség a 180°C-os kezeléseknél a hődegradáció hajlítoszilárdság csökkentő hatását egy bizonyos szintig kompenzálja.**



**Eredményeimmel alátámasztottam, hogy a vizsgálati faanyagok 200°C-os kezelése a dimenzióstabilitást 30% feletti mértékben javítja.** A tangenciális dagadás meghatározásával igazoltam, hogy a 200°C-on végzett hőkezelésekkel vizsgált faanyagok maximális dagadása cser és pannónia nyár esetében közel 50%-kal és bükk esetében 40%-kal csökkenthető. A maximális radiális irányú dagadás cser és nyár esetében 40%-kal míg bükknél 30%-kal volt javítható ugyanezen a hőfokon.

**Megállapítottam, hogy a 200°C-on hőkezelt cser és bükk faanyagok dagadási anizotrópiája kis mértékben, míg a pannónia nyáré akár 20%feletti mértékkel csökken.**

### **3.4. A hőkezelési tömeg és méretváltozásokkal kapcsolatos új eredmények**

**Megállapítottam, hogy a cser, bükk, pannónia nyár faanyagok keresztmetszeti kontrakciója a 200°C-os kezelés hatására 5%feletti mértékű.** A 180°C-os kezeléseknél bekövetkezett változások nem jelentősek, a térfogati kontrakció értéke 3% alatti. A 200°C-os kezeléseknél a bükk esetében 8,73%-os, a csernél 6,34%-os, a nyárnál 5,21%-os maximális térfogati kontrakciót tapasztaltam, mely lényegében csak keresztmetszeti méretcsökkenést jelentett a szinte kimutathatatlan rostirányú változások figyelembevételével.

**A vizsgálati eredményeimből megállapítottam, hogy a vizsgált faminták hőkezelési tömegcsökkenése a 180°C-os**

kezeléseknél maximálisan csak 3-5%, addig 200°C-on már 10-15% közötti értékű.

A sűrűség meghatározásával igazoltam, hogy 180°C-on a kontrakció és a tömegcsökkenés ellenére a vizsgálati faanyagok nedves sűrűsége nem változik, de 200°C-on már 7-12%-kal csökken.

### **3.5. A színmérésre vonatkozó új eredmények**

A színmérés során kimutattam, hogy a vizsgált faanyagok világossága ( $L^*$ ) a 200°C-os kezelés hatására a felére csökkenthető. Míg a natúr bükk és pannónia nyár minták világossága a közel azonos 80-84 értékről 40-re, addig cser geszt esetében a kezeletlen minták 70-es értéke ugyancsak közel a felére (36-ra) módosult a 200°C-os kezelés hatására.

Megállapítást nyert, hogy a sárga és vörös színezet színkoordináták a hőkezelés hatására kezdetben növekednek, majd a faanyag egy degradációs szintjét elérve már csökkenő tendenciát mutatnak.

Méréseim alapján a hőkezelés a cser szijácsa és gesztje közötti teljes színeltérést a kezelés hőfokától függetlenül 70-75%-al csökkenti.

Álgesztes bükköt vizsgálva az eredményeim igazolták, hogy 180°C-on a színeltérés 60%-al csökkenthető, ám a 200°C-os kezeléseknél az álgeszt határfelületeinek színeltérései már növelték az inhomogenitást.

### 3.6. A mechanikai vizsgálatok eredményeire vonatkozó új eredmények

A mechanikai vizsgálatok eredményei alapján megállapítottam, hogy a hajlítoszilárdság a 200°C-os kezelések hatására csernél 40%-kal, bükknél 20%-kal és pannónia nyárnál 34%-kal csökkent.

Megállapítottam továbbá, hogy a fajlagos ütő-törő munka cser és bükk esetében 40%-os, míg pannónia nyárnál 70% feletti maximális csökkenést szenvedett a 200°C-os hőkezelés hatására.

Bebizonyosodott, hogy a dinamikus hajlítás során a próbatestek tompa törésének gyakorisága a 200°C-os kezeléseknél növekedik.

A vizsgálati eredményeim alapján megállapítást nyert, hogy a cser, bükk, pannónia nyár rostirányú nyomószilárdsága hőkezelés hatására szignifikánsan nő, mely jelenséget a keresztmetszeti kontrakció hatásának tulajdonítottam.

### 3.7. A vizsgált tulajdonságok közötti kapcsolatokra vonatkozó új eredmények

A korrelációs együtthatók vizsgálatánál megállapítottam, hogy a vizsgálati faanyagok hőkezelési tömegcsökkenése nem csak a hőkezelés során végbement hóbomlás fokát mutatja meg, hanem a legjobb indikátora a várható fizikai és mechanikai tulajdonságoknak.

**Megállapítottam, hogy a vizsgálat faanyagok várható gombaállóságának, hajlító-, nyomószilárdságának, fajlagos ütő-törő munkájának és dagadásának az előrejelzése a gyakorlat számára legegyszerűbben a világosság mérésével történhet.**

A vizsgálati faanyagok 180 és 200°C-os menetrendjeihez tartozó gombaállósági, hajlító- és nyomószilárdsági, fajlagos ütő-törő munkai, sűrűségi és dagadási átlagértékei a világosság függvényében egy egyenes mentén helyezkednek el, melyből **megállapítottam, hogy a végtermék tulajdonsága a degradációs fok függvénye és az, hogy ezt 180 vagy 200°C-on értem el teljesen lényegtelen.**

#### **4. A GYAKORLATI HASZNOSÍTÁS LEHETŐSÉGEI**

Laboratóriumi és félüzemi kísérletsorozatok eredményei, a kidolgozott menetrendek az ipari méretekben történő cser, bükk és pannónia nyár faanyagok száraz termikus kezelését alapozták meg. A hőkezelés kedvező hatása a gombaállóság javulására lehetővé teszi az így modifikált faanyagok kültérben való szélesebb körű alkalmazhatóságát. Vizsgálataim eredményei megalapozhatják a hazai hőkezelt faanyagokkal kapcsolatos egyéb, még fel nem tárt kérdések tisztázását. Az eredmények tükrében kijelenthető, hogy a kültéri tartóssági vizsgálatok, illetőleg a bomlástermékek emissziójának, fából történő kioldódásának vizsgálatai is szükségesszerűvé váltak. A kedvező színhomogenizáló hatás segíthet az alacsonyabb értékű faanyagok értéknövelésében. Az álgesztes bükk hőkezeléssel történő színhomogenizálása hozzájárulhat a felhasználási területének szélesítéséhez. Az esztétikai célú

színmódosító kezelések segíthetnek a sötét tónusú egzóta fafajok hazai lombosokkal történő kiváltásában, mely nem csak költségkímélő, de a hazai gazdaságot is élénkítheti. A hőkezelés jótékony hatása a dimenzióstabilitásra a hőkezelt fa új alkalmazási területeken való megjelenését biztosítja. Eredményeim a faanyag egyéb tulajdonságaira vonatkozólag körvonalazzák a hőkezelt cser, bükk és pannónia nyár alkalmazási lehetőségeit. A tömegsökkenésre vonatkozó megállapításaim a gyártás során keletkező bomlástermékek várható mennyiségét teszik megbecsülhetővé, mely a gyártás körülményeit is befolyásolja. A hőkezelési kontrakcióval és a nedvesség hatására bekövetkező dagadással kapcsolat megállapításaim lehetővé teszik a hőkezelt faanyagok légszáraz köbtartalmának meghatározását, s ezzel a „faanyagvesztesség” számítását. A maximális dagadás ismerete információt nyújt a kültéri hőkezelt burkolatok fektetési hézagainak tervezésében, s a mechanikai vizsgálatok eredményei a hőkezelt fából készült szerkezetek méretezésénél hasznosíthatók. A színméréssel kapcsolatos eredményeim a jövőben hozzájárulhatnak a hazai hőkezelt faanyagok gyors minősítéséhez. A gyártó számára a világosság ( $L^*$ ) meghatározása egyszerűen megoldható, mellyel értékes információk birtokába juthat az egyéb tulajdonságok tekintetében és egyéb költséges anyagvizsgálatokat spórolhat meg.

## 5. KÖZLEMÉNYEK, ELŐADÁSOK ÉS POSZTEREK

1. HORVÁTH N.: „A faanyagvédelem jelentősége”-előadás  
*RODOSZ -Konferencia Kolozsvár, felelős rendező  
Romániai Doktoranduszok Szövetsége, megjelent:  
Konferencia-kiadvány, 2003*
2. HORVÁTH N., CSUPOR K., MOLNÁR S.: „Hitzebehandlung von Holz”-poszter, megjelent a 3. *Europäische Thermoholz- Workshop konferencián, felelős rendező IHD-Dresden 2004*
3. HORVÁTH N., CSUPOR K., MOLNÁR S.: „Hitzebehandlung von Zerreiche- Ergebnisse”-poszter, megjelent a 4. *Europäische Thermoholz –Workshop Leipzig, konferencián, felelős rendező: IHD-Dresden 2005*
4. HORVÁTH N., CSUPOR K.: „A fa termikus modifikálása”-poszter, megjelent a *Ligno Novum-2004* alkalmából rendezett „ A minőségi hengeresfa feldolgozás fejlesztésének új kihívásai” konferencián *Dr. Csupor Károly* a „A faanyagok védelemének új lehetőségei” c. előadásához kapcsolódóan
5. HORVÁTH N., CSUPOR K., MOLNÁR S., NÉMETH R.: “The effect of thermal modification on the durability of wood against fungal decay”-poszter, megjelent: *Proceedings of the 5th International Symposium Wood Structure and Properties '06. Technical University in Zvolen, Slovakia*
6. HORVÁTH N.: „Termikus kezelés” c. alfejezet, megjelent könyvrészletként *Molnár S., Várkonyi G. (szerk.)“Parketták, fapadlók” c. -könyvben, Szaktudás Kiadóház Zrt. Budapest, 2007*
7. HORVÁTH N., MOLNÁR S., NIEMZ P.: „Untersuchungen zum Einfluss der Holzfeuchte auf

*ausgewählte Eigenschaften von Fichte, Eiche und Rotbuche*”-cikk, megjelent: *Holztechnologie* (kiadó: IHD-Dresden) 2008/1 oldal: 10-15.

8. HORVÁTH N., CSUPOR K., MOLNÁR S.: „A hőkezelés hatása a Bükk (*Fagus sylvatica* L.) és a Csertölgy (*Quercus cerris* L.) tulajdonságaira, különös tekintettel a gombaállóságra” Faipar, a cikk szerkesztőségileg elfogadva, várható megjelenés 2008 májusa
9. HORVÁTH N., CSUPOR K., MOLNÁR S.: „Vegyszermentes faanyagvédelem, A hőkezelés hatása a bükk (*Fagus sylvatica* L.) és a csertölgy (*Quercus cerris* L.) faanyagok tulajdonságaira-cikk, *Magyar asztalos és faipar* 2008/4. 135-137.o.
10. HORVÁTH N.: „Untersuchungen an thermisch behandelten Laubhölzern” 5.Thermoholz WorkshopDresden-2008 április 24.-25. Konferencia-kiadvány2008 1.-6.o. kiadó: IHD- Dresden
11. HORVÁTH N., CSUPOR K., MOLNÁR S.: „Vegyszermentes faanyagvédelem - A faanyag hőkezelése” *Hírfa* 2008/4. 34. o.

**Doktori Iskola:** Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák

Doktori Iskola, vezető: Dr. Winkler András

**Program:** Faanyagtudomány (F1)

**Tudományág:** Anyagtudományok és technológiák

**Témavezető:** Dr. Csupor Károly