

**NYUGAT-MAGYARORSZÁGI EGYETEM**

**DOKTORI (PH.D.) ÉRTEKEZÉS TÉZISEI**

**ÚJ TERMÉK KIFEJLESZTÉSE KÍSÉRLETTERVEZÉSEL**

**DÉNES LEVENTE**

**SOPRON  
2005**

---

## 1. A kutatómunka célja

A fa az a megújuló, megújítható erőforrás, amely mindennapi életünkben igen változatos formában jelenik meg, annak elválaszthatatlan, szerves részét képezi, hisz elképzelhetetlen a világ erdők, szűkebb környezetünk pedig fából készült tárgyak nélkül. Ezért a harmadik évezred küszöbén joggal tehetjük fel a kérdést: lesz-e elegendő faanyag a szükségleteink kielégítésére, és ha igen, akkor hol, milyen formában találjuk? A válaszkeresés a fafeldolgozó-ipar számára óriási jelentőséggel bír, ugyanis ez a felelet fogja meghatározni az ágazat fejlődésének irányát.

A rendelkezésre álló faalapú erőforrások mennyiségi és minőségi elemzésének összegzése azt mutatja, hogy a jövőben elégséges mennyiségű alapanyag áll rendelkezésre, de az erdők termelte fa minősége, mérete és fafajösszetétele jelentős változásokon megy át, ami szükségszerűen a feldolgozási technológiák változását is maga után vonja. Ezért a kutatás, fejlesztés a megváltozott erőforrások optimális és hatékony felhasználására, új rugalmas és környezetbarát technológiák kidolgozására, a feldolgozás vagy az elhasználódás során keletkező hulladékok hasznosítására kell összpontosuljon.

Az erőforrások megőrzésének egy másik fontos lehetősége a robusztus, tartós termékek gyártása, illetve a termékminőség kérdése. Napjainkban a minőség és megbízhatóság az egymással versengő termékek és szolgáltatások harcában a vásárlók döntésének egyik legfontosabb tényezőjévé vált. Következésképpen a termékek és folyamatok minőségének állandó javítása kulcsszerepet játszik a vevői elégedettség, és az ennek eredményeként jelentkező gazdasági siker elérésében. A költség és teljesítmény versenye során bebizonyosodott, hogy ellenőrzéssel nem lehet a minőséget gazdaságosan biztosítani. Jóval előnyösebb a minőséget megtervezni, mint gyártás közben ellenőrizni és hibák esetén, a gyártási vonalon, rosszabb esetben a vevőnél korrigálni. Ez a tény sok – a minőséget fontosnak tartó – szervezetet arra készítetett, hogy a terméktervezés optimalizálására koncentráljon.

Az olyan új termékek vagy folyamatok fejlesztésénél, ahol várhatóan sok a termékminőséget befolyásoló tényezők száma, és azok hatása a termék minőségjellemzőire jelentős, a kísérlettervezés módszere lehet célravezető. A módszer segítségével lehetőségünk nyílik a minőségjellemzőket jelentős mértékben meghatározó, valamint a szórásukat befolyásoló faktorok azonosítására. Felírható a kapcsolatot becsülő matematikai modell, megállapíthatók a tényezők optimális beállítási szintjei. Ezek ismeretében a termék vagy folyamat tulajdonságai előre megtervezhetők, a zavaró hatásokra való érzékenységük minimalizálható, azaz a termék vagy folyamat robusztussá tehető.

---

*A kutatás fő célja szerkezeti célra is alkalmas, új termék kifejlesztése a színfurnérgyártás során keletkező késelési eselékből, a termék rugalmassági tulajdonságainak optimalizálása a kísérlettervezés és válaszfelület módszerek segítségével, a termék tulajdonságok sztochasztikus modellezése.*

## **2. A kutatómunka célkitűzései:**

- A kutatás *első szakaszában* a színfurnérok késelési eselékének alkalmazhatósági vizsgálata történik, lap vagy tartó típusú termék előállítására. Az eselék felhasználása önmagában vagy más „strand” típusú alapanyaggal keverve történik, itt kerül kidolgozásra a terítékképzés, a préselés technológiája, a nyersanyagok arányának, a felhordott optimális gyantamennyiségnek a meghatározása. Továbbá ebben a szakaszban kerül sor a gyártási paramétereknek a kompozit alapanyagául szolgáló alkotóelemek mechanikai jellemzőire gyakorolt hatásának tanulmányozására. A szerkezeti felhasználás igényéből fakadóan, célszerű megvizsgálni a színfurnérok hajlítómerevségének anizotrópiáját az anatómiai irányok függvényében. Emellett az egyedi furnérsíkokat a ragasztási és hőpréselési folyamat során fellépő hatásoknak is érdemes alávetni, hogy azt követően a hajlító rugalmassági modulus megváltozását értékelni lehessen az ortotrópia különböző irányjaiban. A kapott eredmények hozzájárulhatnak a műszaki fatermékek mechanikai tulajdonságait szimuláló modellek becslési pontosságának növeléséhez.

- *Második lépésben* az alapanyag-jellemzőknek, a préselési paramétereknek a laptulajdonságokra gyakorolt hatása kerül kiértékelésre. Tekintettel a lehetséges befolyásoló tényezők magas számára, a hatások kiértékeléséhez alacsony szintű, frakcionált faktoriális terv alkalmazása indokolt. Ez a kísérleti tervtípus lehetőséget nyújt nagyszámú tényező bevonására, további előnyt jelent, hogy a frakcionálás mértékének, illetve a faktorok számának függvényében a kísérleti beállítások száma is mérsékelhető. A szálfurnérok szélességének és orientációjának – mint fontosnak vélt faktoroknak – a vizsgálata szabályos oldalélű furnérsíkok alkalmazását indokolja, ezért ebben a szakaszban párhuzamos oldalú alapanyagot célszerű használni. A vizsgált minőségjellemzők a hajlító rugalmassági modulus, a hajlítószilárdság, a vastagsági dagadás és a lappal párhuzamos nyírószilárdság. A faktorhatások nagyságát és szignifikanciáját meghatározva lehetőség nyílik az egyes jellemzők modellezésére, a legkedvezőbb tulajdonságokkal rendelkező termékek előállításához szükséges optimális faktorszint-kombináció kijelölésére.

- *A fejlesztés utolsó szakaszában* a technológiai paraméterek vizsgálata történik magasabb, háromszintes kísérleti terv segítségével. Ebben az esetben lehetőség nyílik négyzetes modellek előállítására, a Taguchi-féle jel/zaj viszony elemzésére. A kísérletekhez érdemes a színfurnér-hulladékot abban a formában fölhasználni, ahogy az

---

az ollózás során keletkezik, hiszen ez jelenti a tulajdonképpeni hulladékhasznosítást. Mivel az így előállított lapok képezik a kísérleti munka végső célját, az új termék minősítéséhez szükség van a mért szilárdsági tulajdonságok jellemző értékeinek összehasonlítására hasonló termékek vagy a szerkezeti faanyag értékeivel. Az eredmények alapján meghatározhatók a színfurnér-hulladékból előállítható lap és gerenda típusú termékek alkalmazási területei, a továbbfejlesztés irányai.

### **3. Tudományos előzmények**

A kutatói munka célkitűzéseinek megfelelően a tudományos előzmények áttekintése három fő területet érint: a műszaki fatermékek modellezésének eddigi, legfontosabbnak tartott eredményeit, az alkalmazni kívánt kísérlettervezés módszerének faiparban történt megvalósításait, illetve az ultrahangos vizsgálatok faipari előzményeit.

#### **3.1. Műszaki fatermékek modellezése**

A műszaki fatermékek gyártásának legfőbb célja az alapanyag változékonyságának csökkentése, a késztermék tulajdonságainak homogenizálása. Ennek eléréséhez a faanyagot terméktípustól függően különböző méretű és alakú részecskékre (furnérlap, furnércsík, szálforgács vagy „strand”) bontották, majd különböző műgyanták segítségével nagyméretű termékeket hoztak létre. A termék-előállítás folyamatában ekkor már nem az input (faalapanyag) változékonysága jelent problémát, hanem a gyártás bonyolultsága. Ugyanis ahhoz, hogy a késztermék tulajdonságait előre meg lehessen tervezni, a gyártási folyamatok pontos szabályozására van szükség. Ez a teljes folyamatrendszer ismeretét és megértését feltételezi. A gyártási paraméterek szisztematikus elemzése és optimalizálása a kompozitok teljesítményének fokozásához, nagyobb termelési hatékonysághoz vezet. Az optimalizálás csak a termékre ható anyagi és gyártási jellemzők ismeretében, illetve e tényezők rugalmassági és szilárdsági tulajdonságokra gyakorolt hatásainak feltárása által valósítható meg.

A folyamatváltozók és a késztermék fizikai, mechanikai tulajdonságai között fennálló kapcsolatok szimulálására több modell is készült, amelyek a gyártási folyamat valamely részét, vagy teljes egészét eltérő pontossággal szimulálják. A legtöbb modellnél a gyártási folyamatok bonyolultsága különböző egyszerűsítések, peremfeltételek alkalmazását tette szükségessé. A gyártási paraméterek számától és a köztük fennálló kapcsolatok komplexitásától függően ezek a modellek sztochasztikus vagy kombinált, azaz sztochasztikus-determinisztikus jellegűek.

Az első modellek között szerepel Suchsland statisztikai modellje, amelyet az ostyalapok tömörödése és az alkotóelemek sűrűsége, geometriája, és az elemek közötti rések kapcsolatának modellezésére állított fel (Suchsland 1967). Később Suchsland és Xu (Suchsland 1989) a vízszintes sűrűségeloszlást vizsgálták párhuzamos

---

szálfurnérokából készült lapoknál. A rétegelt lemezhez hasonló modellt párhuzamosan rendezett furnércsikókból épül fel, és figyelembe veszi az elemek közötti légréseket is.

Cha és Pearson (Cha, 1994) kétdimenziós végeelem modellt dolgoztak ki három rétegű furnérlapok húzórugalmassági tulajdonságainak becslésére, ahol a középső réteg orientációja változó. Dai és Steiner a rövidforgács alapú kompozitok véletlenszerű elrendeződését probablisztikus modellel vizsgálták (Steiner, 1994; Dai, 1994a, 1994b). A modell egyenletes szálforgácsot feltételez, a forgács helyének és orientációjának meghatározása a Poisson eloszlás alapján történik. Egyetlen réteg jellemzőiből indulnak ki, majd a rétegek kombinációjából építik fel a terítéket.

A terítékképzés szimulálására dolgozta ki Láng és Wolcott (Láng, 1996a, 1996b) az úgynevezett él modellt. Ők a terítéket véges méretű és számú képzeletbeli oszlopra osztották, majd meghatározták az egységoszlop geometriai tulajdonságait. A mért adatokra valószínűség-eloszlási görbét illesztettek, majd az oszlopokat az eloszlásjellemzők alapján reprodukálták. Wang és Lam (Wang, 1999) empirikus összefüggést állapított meg a szálforgácsok karcsúsági foka, a felületi orientáció és a lapsűrűség között. A fakompozitok konszolidációja során végbemenő változások leírására és becslésére Oudjehane egy nem-lineáris viszkoelasztikus modellt dolgozott ki (Oudjehane, 1998b).

A gyártási paramétereknek az irányított elrendezésű kompozitok szilárdsági tulajdonságaira gyakorolt hatásának becslésére dolgozott ki integrált modellt Barnes (Barnes, 2000). A modell a kompozit tulajdonságokat a falapanyag-jellemzők és nyolc paraméter (faanyagtartalom, gyanta tartalom, szálforgácsok síkbeli orientációja, hosszúsága, vastagsága, portartalom, és az orientáló korongok vagy lemezek közötti távolság) szorzataként határozza meg.

Az alkotóelemek tulajdonságaiból kiindulva, a szálforgács alapú kompozitok feszültségének és alakváltozásának szimulálására dolgoztak ki nemlineáris sztochasztikus modellt Clouston és Lam (Clouston, 2001).

Zombori terítékképzésre vonatkozó szimulációs modellje (Zombori 2001) a szálforgácsok méreteinek eloszlásjellemzőit is beépíti, továbbá a forgácssűrűséget is véletlen változónak tekinti. A modell képes a rétegelt elrendezésű terítéket három dimenzióban is megjeleníteni. Doktori disszertációjában komplex sztochasztikus-determinisztikus modellt dolgozott ki a kompozitok préselése során végbemenő hő- és anyagtranszport folyamatok leírására.

Fa-kompozit alapú tartószerkezeti anyag műszaki és minőségi jellemzőinek előrejelzési és tervezési lehetőségét egy közös magyar-amerikai kutatócsoport is vizsgálta (Láng, 2002; Kovács, 2002; Bejő, 2000). A kutatás fő célkitűzése a fáforgács terítékek és tulajdonságaik alakulásának modellezése a farészecskék jellemzői és elhelyezkedése alapján. A tenzorelméleten alapuló modelltől kiindulva olyan kombinált

---

modellt dolgoztak ki, amely külön-külön a 0°-os rostirány, illetve a 90°-os rostirány mellett az évyűrűk orientációjának 0°-tól 90°-ig való változtatásával írja le a mechanikai tulajdonságok változását.

Dai és társai (Dai, 2005) a kompozit lapok préselése során végbemenő konszolidációs folyamatok porozításra és permeabilitásra gyakorolt hatásának becslésére dolgoznak ki elméleti modellt. Figyelembe veszik mind a szálforgácson belüli, mind a szálforgácsok közötti légrések változását.

### **3.2. Kísérlettervezés a faiparban**

A tervezett kísérletekkel történő minőségjavításra a faiparban csak szórványosan találunk példákat, hatékonyságukról, alkalmazhatóságuk sajátosságairól kevés tapasztalattal rendelkezünk. Más területeken beigazolódtott, hogy a módszer eredményes, ezért a jelen kutatásban a kísérlettervezést, mint új faipari termékfejlesztési technikát alkalmazom.

A kísérlettervezés és válaszfelület módszerét sikeresen alkalmazták a furnérkihozatal és furnérminőség maximálására (Warren, 1980), nyárból készült irányított elrendezésű szálforgács-lemezek (OSB) középrétegében elhelyezett papírkérgű nyír optimális arányának meghatározására (Au, 1992).

Hsu (Hsu, 1996) a válaszfelület módszert a préselési paraméterek (préslapok hőmérséklete, prészárási idő) és a fedőréteg nedvességtartalma közötti kölcsönhatások feltárására alkalmazta. Wang (Wang, 1999) a szálforgácsok karcsúsági tényezőjének, orientációjának és a lapsűrűségnek az OSB hajlítórugalmissági modulusára, hajlítószilárdságára, lapra merőleges szakítószilárdságára és vastagsági dagadására gyakorolt hatását elemezte forgatható kompozíciós tervvel.

Akác, eukaliptusz és nyár fafajokból készített faliszt és fagyapot portlandcementtel való kompatibilitását kombinált faktoriális kísérleti tervvel vizsgálták Semple és társai (Semple, 1999). Németh (Németh, 2000) az akác lúgos-antrakinonos feltárási folyamatának vizsgálatára és optimalizálására szintén elforgatható középpontos tervet alkalmaz.

Réteglemezek préselésekor keletkező illékony szerves vegyületek mennyiségét a préselési paraméterek függvényében vizsgálták Barry és társai (Barry, 2001). A tényezőket 3 szinten vizsgálták egy Box-Behnken terv (15 kísérleti beállítás, 3 ismétlés a centrumponuban) segítségével. Gumiörlemény és farost keverékből előállított kompozit termék mechanikai tulajdonságainak optimalizálására 4<sup>2</sup> típusú teljes faktoriális tervet alkalmaz Song és Hwang (Song, 2001). Andrews és társai OSB lapok vastagsági sűrűségprofilját vizsgálták úgynevezett split-plot terv segítségével (Andrews, 2001).

A furnérozáskor megjelenő enyvátütés problémáját Nagy egy L<sub>27</sub> (3<sup>3</sup>) típusú Taguchi terv felhasználásával vizsgálta (Nagy, 2001). A rétegelt-ragasztott tartóknál

---

alkalmazott écksapos kötések kifáradási húzószilárdságát  $3^2$  típusú faktoriális tervvel vizsgálták Martínez és Calil (Martínez, 2003). A kísérlettervezés és szimuláció kombinált módszerét alkalmazzák Baesler és társai (Baesler, 2004) egy fűrészüzem teljesítményének növelésére.

A tervezett kísérletek eddigi szerény faipari alkalmazásai rávilágítanak arra, hogy a módszer sikeresen alkalmazható új termékek fejlesztésére, a gyártási folyamatok optimalizálására, a vizsgálatokba bevont tényezők és a válaszjellemzők viszonyának leírására.

### **3.3. Faanyagjellemzők vizsgálata ultrahangos módszerrel**

Az ultrahangos vizsgálat egyike azoknak, az utóbbi években, a faiparban is elterjedt roncsolásmentes vizsgálati eljárásoknak, amelyek lehetővé teszik az alapanyag-felhasználás optimalizálását és a gyártási folyamatok hatékony és megbízható minőség szabályozását. Előnye a termelési vonalba történő integrálhatóságában és a viszonylag alacsony bevezetési költségekben rejlik. A fa és faalapú anyagok ultrahangos vizsgálatára általában két módszert, az árnyék eljárást és terjedési időn alapuló eljárást használják (Divós, 1999).

Az utóbbi módszer az elektromos energia mechanikai energiává alakításának elvén alapszik, amely hullám formájában terjed a vizsgált anyagban. A hullám terjedési sebessége összefüggésben van a vizsgált faanyag számos tulajdonságával (merevség, szilárdság, anizotrópia), ezért felhasználható a fáhibák kiszűrésére (Divós, 2000), az alapanyagok és késztermékek osztályozására, a kompozitok ragasztási jóságának becslésére.

A rezgésjellemzők és az anyag rugalmassági tulajdonságai között fennálló szoros kapcsolatot már igen korán kimutatták (Ricatti, 1747 in: Bejó, 2000), azonban a faipar a roncsolásmentes – és ezen belül az ultrahangos – vizsgálati módszereket csupán a 60-as évektől kezdte alkalmazni.

A faanyagjellemzőknek és környezeti változóknak (nedvességtartalom, hőmérséklet), a rostiránynak és a rostszögnek az ultrahang terjedési sebességére, és a vele szoros kapcsolatban álló merevségre gyakorolt hatását többen is vizsgálták (Suzuki és Sasaki 1990, Mishiro 1996, Bucur 1988), a rostszög korrelációja minden esetben erősnek bizonyult.

A terjedési sebesség alkalmas a fakompozitok ragasztási jellemzőinek (Ross, 1988; Beall, 1991; Biernacki, 1996), valamint a forgácslapok visszarugózásának, és lapra merőleges szakítószilárdságának becslésére (Sun, 1998), a fűrészáru szárítása közben keletkező felületi és belső repedések (Fuller, 1994), műszaki furnérok hámozási repedéseinek (Wang, 2001a), rétegelt lemezek rétegelválásainak (Iancu, 2000) kimutatására.

Wang és Chen OSB lapok szálforgácsainak elrendezését és az ebből következő

---

ortotrop tulajdonságokat (hangsebesség, dinamikus rugalmassági modulus, hajlítórugalmassági modulus, hajlítószilárdság) vizsgálták ultrahangos módszerrel (Wang, 2001b). Az ultrahang terjedési sebességének ortotropiáját a Hankinson és Jacoby formulákkal becsülték.

A dinamikus és statikus rugalmassági modulusok között fennálló lineáris kapcsolatot Passialis és Adamopoulos, illetve Ilic is kimutatták (Passialis, 2002; Ilic, 2001).

A szakirodalom alapján nyilvánvalóvá válik, hogy az ultrahangos vizsgálati módszerek a faiparban is igen sokoldalúan felhasználhatók, segítségükkel vizsgálható a fa és faalapú kompozitok mechanikai tulajdonságainak anizotrópiája, kimutathatók a különböző fahibák, ragasztási hiányosságok, alkalmasak a különböző fatermékek szilárdsági osztályozására.

#### 4. Vizsgálati anyag és módszer

A szerző az előkísérleteket a Nyugat-Virginiai Egyetem Faipari Intézetében végezte, így a kompozitok elkészítéséhez három, a színfurnérgyártáshoz az Apalache régióban gyakran használt fafaj keverékét alkalmazta, megközelítőleg a következő arányokban: cseresznye (*Prunus Serotina*) 60%, vörös tölgy (*Quercus Rubra*) 35%, és juhar (*Acer spp.*) 5%.

A száraz ollózási eselék alaki változtatás nélkül került felhasználásra, amiből különböző összetételű és réteg-felépítésű lapok készültek. A ragasztáshoz fenol-rezorcinol formalhedid műgyantát választott, 50%-os szárazanyag tartalommal. A felhordás dobos enyvfelhordó segítségével történt, a száraz alapanyag tömegére vonatkoztatott 8-12%-os mennyiségben. A száleselék irányítottságát a terítékképzéshez alkalmazott formázó keret biztosította. A terítékképzés kézzel történt, a préselési paraméterek a következők voltak: préselési hőmérséklet 135°C, nyomás 2,2 MPa. A ragasztó kikötéséhez előírt hőmérsékletet a lapközépből elhelyezett termoelemmel ellenőrizte, a sűrűség és lapvastagság szabályozásához különböző vastagságú távtartókat alkalmazott. Az így elkészített lapok hajlító rugalmassági modulusának és hajlítószilárdságának értékeit az ASTM D-1037 szabvány szerint határozta meg.

A színfurnérok hajlítórugalmassági modulusának anizotrópiáját a szerző a Hankinson és a tenzor elmélet szerinti modellekkel becsülte. A dinamikus hajlítórugalmassági modulusát az ultrahang terjedési sebessége alapján határozta meg, a statikus modulusát hajlítással mérte, 15° fokenként. A vizsgálatokat bükk (*Fagus sylvatica*) és juhar (*Acer pseudoplatanus*) színfurnérokon végezte, fafajonként 30-30 mintán. A színfurnér minták függőleges hasítással készültek, orientációjukat tekintve a sugár (LR) és tangenciális (LT) metszetek közötti átmeneti zónából kerültek ki.



---

A technológiai behatások méréséhez a 120x120 mm-es próbatesteket rezol típusú fenol-formaldehid műgyantával vonta be, a felhordást hengeres enyvfelhordóval végezte. A gyanta szárazanyag-tartalma 40%, a felhordott átlagos mennyiség 75 g/m<sup>2</sup>. A préselés szimulálásához a próbatesteket nem közvetlenül a préslapok közé, hanem egy furnérköteg közéjébe helyezte. Préselési paraméterek: préselési hőmérséklet 145° C; présnyomás 1,5 MPa; présidő 10 perc. A kikeményedés után a mintákon ismét elvégezte – 15°-ként – az ultrahang terjedési sebességének mérését.

Az ultrahang terjedési sebességéből becsült dinamikus- és a statikus rugalmassági modulusok összehasonlítása végett mind a száraz, mind a gyantával bevont próbatesteket kétpontos statikus hajlító vizsgálatoknak vetette alá.

A két alapanyag-jellemző, három terítékképzési és két préselési paraméter hatását a szerző frakcionált faktoriális kísérleti terv segítségével vizsgálja. A kísérletbe bevont tényezők és beállítási szintjeik a következők:

	<b>Faktor</b>	<b>-1 szint</b>	<b>+1 szint</b>
1	x <sub>1</sub> – Fafaj	bükk	juhar
2	x <sub>2</sub> – Szálforgács szélesség	15 mm	35 mm
3	x <sub>3</sub> – Hossztoldás	0 %	50 %
4	x <sub>4</sub> – Lapvastagság	35 réteg	75 réteg
5	x <sub>5</sub> – Orientáció	15°	30°
6	x <sub>6</sub> – Nyomás	2,16 MPa	3,14 MPa
7	x <sub>7</sub> – Hőmérséklet	130°C	160°C

A furnérok 2,2-4,2% nedvességtartalommal kerültek feldolgozásra, a ragasztóanyag felhordása hengeres felhordógép segítségével történt. A ragasztáshoz fenol-formaldehid műgyantát alkalmaz. Az ellentétesen elforgatott, és párhuzamos rétegekből felépített teríték préselése laboratóriumi hőprésben történt. A préselési idő meghatározásához, a lapközépen elhelyezett molibdén és réz szálabból készített termoelemek szolgáltak.

A vizsgált laptulajdonságok:

- lapra merőleges hajlítórugalmassági modulus
- élre merőleges hajlítórugalmassági modulus
- lapra merőleges hajlítószilárdság
- élre merőleges hajlítószilárdság
- vastagsági dagadás
- lappal párhuzamos nyírószilárdság

---

Az utolsó kísérleti szakaszban három technológiai tényező laptulajdonságokra gyakorolt hatását elemzi a szerző,  $L_9$  típusú Taguchi terv felhasználásával. A kísérleteket ebben az esetben is a Nyugat-Virginiai Egyetem Faipari Intézetében végezte, az alkalmazott alapanyagok és részarányok az előkísérletekben ismertetettek szerinti. A lapok előállítás módja is teljes mértékben megegyezik az ott leírt technológiával. Ahhoz, hogy a kiválasztott technológiai paraméterek négyzetes hatását is vizsgálni lehessen, a faktorok beállítási szintjeinek számát háromra növelte, így lehetőség van a lineáris hatások meghatározásán kívül a válaszfelület görbeségének becslésére is. A vizsgált faktorok és variációs intervallumuk:

Faktorok	Szintek		
	1	2	3
A – Ragasztóanyag tartalom – $R_t$ , %	5	8	11
B – Lapsűrűség – $\rho_l$ , kg/m <sup>3</sup>	650	700	750
C – Végeselék tartalom – $V_t$ , %	0	25	50

A ragasztóanyag-tartalmat itt is a légszáraz eselék tömegéhez viszonyított százalékos arány jelenti, a lapsűrűséget a préslapok és távtartó rudak által határolt térfogat, illetve a célsűrűség alapján kiszámított eseléktömeg határozta meg.

A vizsgált válaszjellemzők a kompozitok lapra merőleges hajlítórugalmassági modulusa és hajlítózilárdsága voltak, amelyek az ASTM D-1037 szabvány szerint kerültek meghatározásra.

---

## 5. Az eredmények összefoglalása

Az európai favagyron alakulását vizsgáló felmérések és jövőre vonatkozó becslések az ipar számára rendelkezésre álló alapanyagbázis mennyiségi és minőségi változását mutatják. Az előrejelzések szerint a jövőben elégséges mennyiségű alapanyag áll rendelkezésre, de az erdők termelte fa minősége, mérete és fafajösszetétele jelentős változásokon megy át, ami szükségszerűen a feldolgozási technológiák változását is maga után vonja. Ennek megfelelően a kutatás, fejlesztés a megváltozott erőforrások optimális és hatékony felhasználására, új, rugalmas és környezetbarát technológiák kidolgozására, a feldolgozás vagy az elhasználódás során keletkező hulladékok hasznosítására kell összpontosuljon. Az erőforrások megőrzésének egy másik fontos lehetősége a környezeti hatások ingadoztató hatásával szemben ellenálló, úgynevezett robusztus termékek gyártása. A fenti követelményeknek megfelelő termékek fejlesztési törekvéseinek eredményeként, olyan új műszaki fatermékek (LVL, PSL, LSL, OSB), fa-műanyag kompozitok, módosított faanyagok jelentek meg, amelyek képesek a fának, mint megújuló erőforrásnak a leghatékonyabb felhasználására, a faalapú hulladékok újrahasznosítására. Ilyen hasznosítható másodnyersanyagnak minősülhet a színfurnérgyártás során keletkező hulladék is, hiszen a fa alapanyagbázis legjobb alakú és szövetszerkezeti tulajdonságokkal bíró választékából kerül ki.

Az elvégzett kísérleti-fejlesztési munka a színfurnérgyártás ollózási eselékének hasznosítási lehetőségeit vizsgálja, illetve az elkészített új termékek mechanikai, fizikai tulajdonságait befolyásoló paraméterek hatását elemzi. A fejlesztés gazdasági szempontból is indokolt, hiszen az európai színfurnérgyártás során jelentős eselékmenyiség keletkezik.

A fejlesztés első szakaszában a szerző három, a színfurnérgyártáshoz az Apalache (USA) régióban gyakran használt fafaj keverékét alkalmazza, amiből különböző összetételű és réteg-felépítésű lapokat állított elő. Az elkészített kompozitok rugalmas jellemzői bizonyították, hogy – akár más strand típusú anyaggal keverve, akár önmagában felhasználva – a színfurnérgyártás ollózási hulladékából építőipari alkalmazásokra is megfelelő termékek állíthatók elő. Ezen termékek tulajdonságai a keverési arányok és a szálanyagok irányítottságának változtatásával befolyásolhatók, szabályozhatók. A késztermék előállításán kívül ultrahangos és statikus módszerekkel vizsgálta két hazai fafajból, bükkből és hegyi juharból készült színfurnérok hajlítórugalmassági modulusának anizotrópiáját. Megállapította a hangsebesség és a dinamikus rugalmassági modulus rostiránytól függő értékeit és ezen értékek eloszlásjellemzőit. A hangsebesség és rugalmassági modulus ortotrópiáját gyakorlatilag

---

egyformán jól írja le az általánosított Hankinson-formula és a Szalai által levezetett, tenzor-elméleten alapuló összefüggés is. A vizsgálati eredmények alapján a statikus hajlítási vizsgálat papíriparban alkalmazott szabványos eljárása a statikus rugalmassági modulusra a reálisnál alacsonyabb értékeket ad, a fóliaszzerű anyagokra, mint például a színfurnér is, reprodukálható minősítést tesz lehetővé. A mérés pontosságát a késelési repedések átlagos mélységének figyelembe vételével növelhetjük. A színfurnér lapok bevonása műgyantával, és hőprésben való kikeményítése a kisméretű egyedi fűrészecskék kompozit termékben mutatkozó tulajdonságainak megismerését célozta. Megállapítható, hogy a fafaj a hangsebességet csak a rosttal közel párhuzamos irányban ( $0-15^\circ$ ) befolyásolja, ennél nagyobb rostszőgeknél a műgyanta hatása érvényesül. A kezelt furnér látszólagos dinamikus rugalmassági modulusa a technológiai hatásoknak betudhatóan nagyobb, mint a kezeletlené. A növekedés – a kísérleteinkben alkalmazott kezeléssel együtt – a rostiránnyal bezárt szög függvényében növekszik, a növekedés első megközelítésben lineáris függvényrel jellemezhető. A vizsgált két fafajra a dinamikus rugalmassági modulus kísérletekben meghatározott ortotrópia függvények, eloszlásjellemzők, valamint a kezelt és kezeletlen furnérok értékei közötti összefüggések, mint bemeneti jellemzők, felhasználhatók az adott hulladék-furnéryanagból készített, PSL jellegű kompozit lapok hajlítómerevségének a matematikai modell alapján való előrejelzésére.

A terméktulajdonságokat befolyásoló paraméterek nagy száma a kísérlettervezés módszerének alkalmazását indokolta, amely lehetővé teszi az oksági törvényszerűségek feltárását, az ok-okozati összefüggések matematikai leírását, a független változók optimális működési tartományának kiválasztását, a környezeti hatásokkal szemben érzéketlen termék megvalósítását. A robusztus tervezés tulajdonképpen egy szisztematikus és hatékony módszer a teljesítmény-, minőség- és költségközpontú tervezés optimalizálására. A módszer lényege a környezeti feltételek ingadoztató hatásával szembeni érzéketlen termékek biztosítása már a tervezési szakaszban, a kísérlettervezés segítségével. A Taguchi-féle minőségjavító stratégia a kísérleti erőfeszítések lényeges csökkentéséhez vezet, használata lehetővé teszi a termékek és folyamatok optimalizálását, növeli a fejlesztések, kutatások hatékonyságát. A minőség tervezési szakaszba történő beépítésével a környezeti feltételekkel és egyéb zajtényezőkkel szemben érzéketlen termékek tervezését eredményezi. Ez folyamaton kívüli (off-line) minőség szabályozást tesz lehetővé. Egy rendszerezett és hatékony módszer a tervezési paraméterek beállítási értékeinek, a költségek kísérleti úton történő optimális meghatározására. Újdonság, hogy a szórás okozta pénzügyi veszteségek csökkentésére a kísérlettervezés módszerét használja. A veszteségfüggvény segítségével kimutatható a vásárlónál jelentkező globális veszteségek nagyságrendje, becsülhető a szórás csökkentésből adódó költségmegtakarítás. A Taguchi által megadott ortogonális kísérleti tervek közül néhányban a főhatások másodrendű kölcsönhatásokkal vagy

---

egymással keverednek. Ez hamis következtetések levonását eredményezheti, hacsak nem ismerjük a részfaktorialis tervek keveredési rendszerét és a faktorok között fennálló kölcsönhatásokat. A módszer a kísérleti tervek és adatelemzési módok továbbfejlesztésével még hatékonyabb minőségtervezést tesz lehetővé.

A fejlesztés második, Sopronban végzett szakaszában az alapanyag-jellemzők, terítékképzés és hőpréselés paramétereinek, összesen hét faktornak, a lapok rugalmasságára, vastagsági dagadására és lappal párhuzamos nyírószilárdságára gyakorolt hatásának vizsgálata történik egy  $2^{7-3}_{IV}$  típusú frakcionált faktorialis terv segítségével. A kiválasztott kísérleti terv alkalmasnak bizonyult a kísérletekbe bevont hét tényező hatásának elemzésére, és a válaszjellemzők változásának regressziós egyenletekkel való leírására. A frakcionálás azonban elvette a lehetőséget az elemzések során szignifikánsnak mutató másodrendű kölcsönhatások független értékelésére.

A lapok hajlítórugalmissági és hajlítószilárdsági tulajdonságait befolyásoló tényezők hatásainak ismeretében, a kifejlesztett termékek eme tulajdonságai előre megtervezhetők, a faktorok optimális működési tartományai meghatározhatók. A vizsgált tulajdonságokra legnagyobb hatást a lapvastagság, a furnérszálak orientációja és a présnyomás gyakorolta, a fafaj az élre merőleges hajlítószilárdságot és rugalmassági modulust erőteljesebben befolyásolta. A terhelés irányának függvényében mind az átlagértékek, mind a faktorhatások nagysága változik, élre merőleges irányban az átlagértékek jelentősen nagyobbak. A kísérleti terv háromszori megismétlése lehetőséget teremtett a beállítások ingadozásának becslésére, a regressziós egyenletek adekvátságának ellenőrzésére. A létező kölcsönhatások figyelmen kívül hagyása csökkentette a regressziós modellek becslési pontosságát. Az ismétlések szórása jóval nagyobb, mint az egyes faktorok szórásra gyakorolt hatása, illetve a szórások mérséklése csak az átlagértékek csökkenése árán lehetséges.

A kifejlesztett színfurnérkompozitok vastagsági dagadása kedvezően alacsony értékeket mutat, melyek az optimális faktorszint-kombináció kiválasztásával tovább csökkenthetők. A vastagsági dagadást csupán a fafaj befolyásolja jelentősen, de a regressziós modell a  $p < 0,25$  értékkel rendelkező szálforgács-szélességet és a présnyomást is tartalmazza. A redukált modell adekvát és jól illeszkedik a mérési adatokra.

A színfurnérkompozitok lapsíkkal párhuzamos nyírószilárdsági értékeit más műszaki fatermékek hasonló értékeivel összehasonlítva ( $\tau_{//LSL} = 2,8$ ;  $\tau_{//PSL} = 2,2$ ;  $\tau_{//OSB} = 1,38-2,1 \text{ N/mm}^2$ ) megállapítható, hogy a kifejlesztett új termék alkalmas szerkezeti

---

célú felhasználásra. A bükk lapok variációs együtthatói igen magasak, juharfurnérból mind az átlagértékek, mind a szórások tekintetében stabilabb lapok készíthetők. A faktorhatások varianciaanalízise a szálfurnérok szélességét és hosszoldását jelentéktelennek mutatja, a maradék tényezők együtthatóiból előállított regressziós modell jól illeszkedik a mért adatokra. A ragasztás minőségének javításával az átlagos nyírószilárdsági értékek valószínűleg tovább növelhetők. A fejezetben elvégzett kísérletek megerősítették, hogy a színfurnérok ollózási eselékéből igen kedvező hajlítórugalmassági és hajlítószilárdsági tulajdonságokkal rendelkező, szerkezeti felhasználásra is alkalmas termékek állíthatók elő. A kompozitok mechanikai tulajdonságai az alkalmazott technológia finomításával tovább növelhetők.

Utolsó lépésként a szerző három technológiai paraméter hajlítórugalmassági modulusra és hajlítószilárdságra gyakorolt hatását vizsgálta. A három tényező a műgyanta-tartalom, a lapsűrűség és a középrétegben elhelyezett végeselék-tartalom volt. Kísérleti tervként egy L9 típusú Taguchi tervet választott. A színfurnérkompozitok előállítására a 4. fejezetben bemutatott módszerrel és préselési paraméterekkel történt, az eredmények pedig ismételtén igazolták, hogy lombos fafajokból gyártott színfurnérok késelési eselékéből szerkezeti célra is alkalmas, nagy hajlítószilárdságú laptermékek állíthatók elő. Az L9 Taguchi terv kiértékelése a lapsűrűség és lapközépban elhelyezett végeselék-tartalom rugalmassági modulusra és hajlítószilárdságra gyakorolt lineáris hatását mutatja szignifikánsnak. A ragasztóanyag-tartalom az 5-11%-os variációs intervallumban jelentősen nem befolyásolja a lapok rugalmassági tulajdonságait. A lapkészítés során megjelenő szélhatás a lapsűrűség beállítási pontatlanságát idézte elő, melyet a sűrűség és rugalmassági tulajdonságok között fennálló regressziós összefüggések segítségével részben korrigáltam. Mind az eredeti, mind a korrigált értékekre a folyamatot kellő pontossággal becsülő regressziós modelleket illesztett. E függvények segítségével a faktorok variációs intervallumán belül a rugalmassági tulajdonságok becsülhetők. A regressziós modelleket mind a kódolt, mind a kódolatlan értékekre meghatározta. A folyamat optimalizálása céljából a kísérleti pontokra válaszfelületeket illesztettem, így az egyes minőségi jellemzők optimális működési tartományai kijelölhetők.

A szerkezeti felhasználás lehetőségét szem előtt tartva a kísérleti eredmények alapján kiszámítottam a sűrűség, rugalmassági modulus és hajlítószilárdság jellemző értékeit. Az optimális faktorkombináció becsült értékei szerint a rugalmassági modulus teljesíti a szerkezeti faanyagra vonatkozó D60 szilárdsági osztály követelményét, a hajlítószilárdság pedig a legmagasabb D70-es követelményszintet is jóval túlteljesíti. Ez egyben azt is jelenti, hogy a kifejlesztett új termék rugalmassági tulajdonságai jobbak a kereskedelemben is megtalálható hasonló felépítésű műszaki fatermékek hasonló

---

tulajdonságainál. A szilárdsági osztályok küszöbértékeit felhasználva, a sűrűség és hajlítószilárdság jellemző értékeinek, illetve a rugalmassági modulus átlagos értékének együttes optimalizálására kívánatosági függvényt állított fel, melyek segítséget nyújtanak egy adott szilárdsági osztálynak megfelelő kompozit faktorszintjeinek megállapítására. A gazdaságossági (alacsony ragasztóanyag-tartalom), a technológiai (végeselék feldolgozás) és a szerkezeti felhasználás (alacsony sűrűség) szempontjait is figyelembe véve, olyan lapok állíthatók elő, melyek rugalmassági tulajdonságai teljesítik a PSL, LVL és a D50-es szilárdsági osztály követelményeit.

A kutatás eredményei lehetővé teszik a teljes mértékben tervezett tulajdonságú, és a szerkezeti felhasználás igényeit is kielégítő színtűrép alapú kompozitok előállítását, valamint tulajdonságaik előrejelzését a felhasznált alapanyag ortotróp jellemzői és gyártási paramétereire alapján.

---

## 6. Az értekezés tézisei

I. Először vizsgáltam lombos fafajokból (bükk, juhar, cseresznye, vörös tölgy) előállított színfurnérok ollózási eselékének laptípusú termékként való hasznosítási lehetőségét. Laboratóriumi kísérletekkel bebizonyítottam, hogy az ollózási eselékből akár önmagában, akár más szálforgács típusú alapanyaggal keverve nagy szilárdságú, szerkezeti célra is alkalmas termékek állíthatók elő.

II. A száraz és a rezol típusú fenol-formaldehid műgyantával bevont bükk és juhar színfurnérok síkbeli anizotrópiájának ultrahangos módszerrel és statikus hajlítással történő vizsgálata alapján a következő megállapításokra jutottam:

- A hajlítórugalmassági modulus anizotrópiája mind a módosított Hankinson, mind a tenzorelméleten alapuló modellekkel jól becsülhető. A módosított Hankinson egyenlet optimális  $n$  kitevői a következők:
  - A hangsebesség anizotrópiájára  $n = 1,88$  száraz furnéroknál,  $n = 1,78$  fenolformaldehid műgyantával bevont furnéroknál.
  - A dinamikus hajlítórugalmassági modulus esetében  $n = 2,25$  száraz furnéroknál,  $n = 1,99$  fenolformaldehid műgyantával bevont furnéroknál.
- A rosttal közel párhuzamos irányban ( $0-15^\circ$ ) a dinamikus rugalmassági modulusok elkülönülése a fafajok eltérő sűrűségének és a felületre felvitt műgyanta sűrűségnövelő hatásának köszönhető, ennél nagyobb rostszögeknél a tömörödés és a ragasztóanyag repedéskitöltő hatása is érvényre jut.
- A színfurnér alapanyag fenol-formaldehid műgyantával való bevonása és hőpréselése jelentősen megváltoztatja a színfurnér rugalmassági tulajdonságait, ezért a késztermék modellezésekor e hatásokat figyelembe kell venni. Megállapítottam, hogy a bevonás és préselés során a színfurnérok sűrűséggel korrigált dinamikus hajlítórugalmassági modulusa a  $0-10$  fokos rostszög tartományban jelentősen nem változik, a  $10-75$  fokos tartományban a műgyantás furnérok modulusa a rostszög növekedésével a száraz furnérok modulusához viszonyítva  $1,75$ -szörösére nő, a növekedés közel lineáris és a következő egyenlettel írható le:

$$MOE_{dm} = 1 + 0,0101 \cdot MOE_{dsz}$$

A  $75-90$  fokos rostszög tartományban a változás statisztikailag nem szignifikáns.



III. Elsőként alkalmaztam nagyméretű frakcionált faktoriális és Taguchi-féle kísérleti terveket új faalapú termékek kifejlesztésére. Felhasználásukkal megállapítottam, hogy a szífnurnér-kompozitok hajlítási, lappal párhuzamos nyirási és vastagsági dagadási tulajdonságainak változásában lényeges szerepet az ortotrópia, a lapsűrűség, a fafaj, a présnyomás és végeyelék-tartalom játszanak. A választott variációs intervallumban a szálfurnérok szélessége és a hosszoldás nem bizonyultak szignifikánsnak.

IV. A fafajnak, a terítékképzési és préselési paramétereknek a kifejlesztett új termék mechanikai és fizikai tulajdonságaira gyakorolt hatását  $2^{7-3}_{IV}$ ,  $2^{6-3}_{III}$  típusú frakcionált faktoriális kísérleti tervekkel megvizsgálva kimutattam, hogy:

- Az alkalmazott présciklus alapján a hajlítórugalmassági modult legnagyobb mértékben a lapvastagság, a szálfurnérok orientációja, a présnyomás és a fafaj befolyásolja, a terhelési irány függvényében az egyes faktorok hatása változik. A főhatásokon kívül egyes kölcsönhatások is szignifikánsak, azonban a keveredési rendszer következtében ezek a kölcsönhatások egymástól függetlenül a választott kísérleti tervvel nem becsülhetők. A hajlítórugalmassági modulus regressziós modelljei a terhelési irány függvényében:

$$\hat{y}_{MOE_{bp}} = 9613 - 404x_1 - 117x_2 - 239x_3 - 1367x_4 - 1833x_5 + 684x_6 + 446x_7 + \\ + 464x_1x_2 + 316x_1x_3 + 640x_1x_4 + 339x_1x_5 - 529x_1x_6$$

$$\hat{y}_{MOE_d} = 10236 - 894x_1 + 53x_2 - 1144x_4 - 1646x_5 + 681x_6 + 18x_7 + 342x_1x_2 + \\ + 409x_1x_4 - 573x_1x_6 + 268x_1x_7$$

- A hajlítószilárdságra a lapvastagság, orientáció, présnyomás és préselési hőmérséklet hatása jelentős, de élre merőleges hajlításkor a fafaj is szignifikánsná válik. A kölcsönhatások tekintetében a fenti megállapítások érvényesek, a regressziós modellek pedig a következők:

$$\hat{y}_{MOR_{bp}} = 72 + 0,22x_1 + 2,07x_2 - 30,16x_4 - 9,62x_5 + 5,65x_6 + 4,74x_7 + 4,08x_1x_2 + \\ + 7,54x_1x_4 - 3,18x_1x_7$$

$$\hat{y}_{MOR_d} = 90,3 - 4,84x_1 + 1,6x_2 - 4,48x_3 - 13,5x_4 - 10,82x_5 + 5,85x_6 + 3,73x_7 + 1,58x_1x_2 \\ + 1,69x_1x_3 + 3,37x_1x_4 + 2,43x_1x_5 - 3,62x_1x_6$$

- A lapok vastagsági dagadását kizárólag a fafaj befolyásolja jelentősen, a regressziós modell a következő polinom:

$$\hat{y}_{G_i} = 9,08 - 2,3x_1 + 0,4x_2 + 0,44x_6$$

- 
- A színfurnérkompozitok lappal párhuzamos nyírószilárdsági vizsgálatai alapján megállapítottam, hogy a fafaj és a présnyomás hatása szignifikáns, a felállított modell pedig a következő:

$$\hat{y}_{f_r} = 4,341 + 1,121x_1 - 0,24x_5 + 0,631x_6 + 0,244x_7$$

V.  $L_9$  típusú Taguchi terv alkalmazásával három technológiai paraméter, a ragasztóanyag-tartalom, a lapsűrűség és a végeselék-tartalom hatását vizsgáltam a lapok rugalmassági tulajdonságaira. Megállapítottam hogy:

- A ragasztóanyag-tartalom az 5-11%-os variációs intervallumban nincs jelentős hatással a rugalmassági tulajdonságokra
- A vizsgált faktorok négyzetes hatásai nem szignifikánsak
- A faktorhatások szignifikanciája alapján a jellemző hajlítórugalmasság és hajlítószilárdság regressziós modelljei a következők:

$$\hat{y}_{MOE} = -5932,25 + 27,21 \cdot \rho_l - 38,03 \cdot V_l$$

$$\hat{y}_{MOR} = -153,14 + 43,257 \cdot R_l - 2,53 \cdot R_l^2 + 0,113 \cdot \rho_l - 0,712 \cdot V_l$$

- A sűrűség, a hajlítórugalmassági és hajlítószilárdsági jellemző értékek szilárdsági osztályok szerinti optimális értékei a ragasztóanyag-tartalom 10%-os, a lapsűrűség  $750 \text{ kg/m}^3$ -es és a végeselék-tartalom 0%-os beállítási szintjein adódnak.

---

## **7. Az értekezés témájához kapcsolódó publikációs jegyzék:**

### **A. Tudományos publikációk magyar nyelven:**

1. DÉNES L., 2003: Tervezett tulajdonságú termék kifejlesztése a kísérlettervezés alkalmazásával. Alkalmazott matematika és mechanika konferencia - Magyar Tudomány Napja konferencia-kiadvány, Sopron, 2003.
2. DÉNES L., KOVÁCS Zs., 2003: Kísérlettervezés alkalmazása új termék kifejlesztéséhez. Faipar 51(1): 22-27. ISSN: 0014-6897
3. DÉNES L., KOVÁCS Zs., BÁLINT Zs., LÁNG E., 2002: Színfumérok rugalmasságának anizotrópiája – II. rész. Faipar 50(3): 21-24.
4. KOVÁCS Zs., DÉNES L., BÁLINT Zs., LÁNG E., 2002: Színfumérok rugalmasságának anizotrópiája – I. rész. Faipar 50(2): 3-7.
5. DÉNES L., 2001: Minőségfejlesztés Taguchi módszerrel, 77-100 old. In: Romániai Magyar Doktoranduszok és Fiatal Kutatók Szövetsége: Tanulmányok II., Kriterion Könyvkiadó, Bukarest. ISBN 973 26 0628 2

### **B. Tudományos publikációk idegen nyelven:**

6. ZSOLT KOVÁCS, LEVENTE DÉNES, 2005: Innovative wood composites from veneer residues, Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Conference of Innovation-Technics-Education IN-TECH-ED'05, 8-9 september Budapest Tech
7. LEVENTE DÉNES, ELEMÉR LÁNG, ZSOLT KOVÁCS, 2004: Product development from veneer-mill residues: An application of the Taguchi's method, Wood and Fiber Science (publikálásra elfogadva, várható megjelenés 2006 január)
8. LEVENTE DÉNES, ELEMÉR LÁNG, ZSOLT KOVÁCS, 2004: Innovative wood composites from veneer residues, Proceedings of the International Symposium on Advanced Timber and Timber-Composite Elements for Buildings, COST E29 Action, Florence
9. FERENC DIVÓS, LEVENTE DÉNES, GUILLERMO INIGUEZ, 2004: Effect of cross-sectional change of a board specimen on stress wave velocity determination, Holzforschung Vol 59(2): 230-232 pp.
10. LEVENTE DÉNES, ZSOLT KOVÁCS, 2003: Analysis of the Flexural Properties of sliced veneer Waste Composites Using Experimental Design Method, Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Conference of PhD Studies, Miskolc.

### **C. Konferencia-előadások magyar nyelven:**

1. DÉNES L., KOVÁCS Zs., LÁNG E., 2004: Műszaki fatermékek tulajdonság-optimalizálása kísérlettervezéssel, International Conference: Wood Scientists from the Sopron Alma Mater in the World, Sopron, szeptember 16, 2004

- 
2. DÉNES L., 2003: Új termék tervezése a kísérlettervezés módszerével. Alkalmazott matematika és mechanika konferencia - Magyar Tudomány Napja, Sopron, 2003. november 21.
  3. DÉNES L., 2002: Műszaki fatermékek, tervezett tulajdonságú párhuzamos szálú furnérfa-típusú termék előállítására kísérlettervezéssel. Erdészeti és faipari TDK, Brassó, 2002. nov. 30-dec. 01.
  4. DÉNES L., 2002: Kísérlettervezés alkalmazása új termék kifejlesztéséhez. Magyar Tudomány Napja, Sopron, 2002. november 28.
  5. DÉNES L., 2001: Párhuzamos szálú furnérfa típusú termékek. FAIPAR – 2001, az Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság, Faipari Szakosztályának Szakmai Konferenciája, Székelyudvarhely, 2001. május 16-19.
  6. DÉNES L., 2001: Tervezett tulajdonságú furnérfa típusú termék előállítására. Romániai Magyar Doktoranduszok és Fiatal Kutatók Szövetségének II. Tudományos Konferenciája, Kolozsvár, 2001. április 6-8.
  7. DÉNES L., 2000: A Taguchi-féle veszteségfüggvény. FAIPAR – 2000, az Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság, Faipari Szakosztályának Szakmai Konferenciája, Székelyudvarhely, 2000. május 17-21.
  8. DÉNES L., 2000: A Taguchi-féle minőségjavító módszer. Romániai Magyar Doktoranduszok és Fiatal Kutatók Szövetségének I. Tudományos Konferenciája, Kolozsvár, 2000. március 11-12.

#### **D. Konferencia-előadások angol nyelven:**

9. LEVENTE DÉNES, 2005: Orthotropic behavior of sliced veneer changed by technological parameters, International Conference of Hardwood Research and Utilization in Europe, New Challenges, 6 september 2005 University of West Hungary, Sopron
10. LEVENTE DÉNES, ELEMÉR LÁNG, ZSOLT KOVÁCS, 2004: Innovative wood composites from veneer residues, International Symposium on Advanced Timber and Timber-Composite Elements for Buildings, COST E29 Action, Florence
11. DÉNES L., 2004: New hardwood composite development on a sliced veneer residue basis. PhD seminar „New processes in the Forest Products Industry”, Georg August University, Faculty of Forestry and Forest Ecology, January 13, 2004, Goettingen.
12. DÉNES L., 2003: New hardwood composite development. Issues of Hardwood Research and Utilization in Europe, International Conference September 25-26, 2003, University of West Hungary, Sopron.
13. DÉNES L., 2003: Analysis of the Flexural Properties of Sliced Veneer Waste Composites using the Experimental Design Method, 4<sup>th</sup> International Conference of PhD Studies, august 11-17, 2003, Miskolc.