

**Nyugat-Magyarországi Egyetem**

Doktori értekezés tézisei

A faanyag ultraibolya lézerfényvel előidézett  
fotodegradációjának infravörös spektroszkópiás vizsgálata

Barta Edit

Sopron  
2002

Doktori Iskola: Faanyagtudomány és Technológiák Doktori Iskola  
(vezető: Dr. Winkler András DSc.)

Program: Faanyagtudomány (vezető: Dr. Molnár Sándor DSc.)

Tudományág: Anyagtudományok és technológiák

Témavezető: Dr. Papp György CSc.

## **1. A kutatási téma előzményei, jelentősége és célkitűzései**

A fa kedvező esztétikai és mechanikai tulajdonságai miatt régóta kedvelt ipari alapanyag. Napjainkban egyre több helyen használják épületek külső és belső díszítő és funkcionális elemeként, kerítésként, bútorként. Ugyanakkor a szabadba kitett faanyag érzékeny a környezeti hatásokra, melyek közül elsősorban a napsugárzás ultraibolya komponense károsítja leginkább a felületét. A faanyag ultraibolya fotodegradációjának vizsgálata fontos a faanyag védelme szempontjából. Csak a folyamatok pontosabb megismerése révén válik lehetővé olyan védőszerek kifejlesztése és tesztelése, amelyek lassítják a degradációt, tovább megőrizve a faanyag minőségét, természetes színét.

Az ultraibolya fény faanyagra gyakorolt degradáló hatását néhány évtizede kezdték vizsgálni. A fotodegradáció előidézéséhez először be kell sugározni a faanyagot ultraibolya fénnel. Ez alapvetően kétféleképpen történhet: természetes körülmények között, a napfény felhasználásával, és mesterséges körülmények között, különböző UV lámpák segítségével. A természetben a degradációs folyamatok lassan mennek végbe, ezért vizsgálatukhoz hosszú idő (5-12 hónap) szükséges. Továbbá az UV fény hatására az egyéb környezeti tényezők (hőmérséklet, csapadék, gombakárosítás, légszennyezettség) hatása is ráakódik. Abból a célból, hogy a napsugárzásnak csak bizonyos hullámhossz tartományba eső komponenseinek hatását vizsgálhassák, különböző szűrőkön keresztül engedik a fényt a minta felületére, melynek legnagyobb része még így is 320 nm-nél nagyobb hullámhosszúságú komponensekből áll, tehát egy kevés ultraibolya komponens mellett elsősorban a látható és az infravörös fény hatásának tanulmányozására nyílik inkább lehetőség. A mintára jutó fény energiája nem mérhető pontosan, így a degradáció mértékének energiafüggését nem lehet vizsgálni.

A mesterséges úton történő besugárzással egyrészt a degradációs folyamatokat fel lehet gyorsítani, másrészt lehetővé válik az egyes tényezők hatásának egymástól elkülönített vizsgálata. A leggyakrabban használt UV sugárzókkal (higanygőz- és xenonlámpák) elvégzett kísérletek még mindig túlságosan hosszú időt vesznek igénybe (néhányszor tíz órától egészen 2400 óráig), s a mintára jutó fény a legtöbb esetben nem az UV tartományba eső komponens is tartalmaz. Ismét indokolt a fényszűrők

használata, mellyel viszont a mintára jutó energia jelentős csökkenése miatt a besugárzási idő nagyban megnövekedik. A lámpák által kibocsátott látható és infravörös sugarak növelik a besugárzási kamra hőmérsékletét, ami azt eredményezi, hogy a fotodegradáció hatására jelentős hődegradáció is rakódik. Ennek elkerülésére hűteni szokták a kamrákat.

A famintára jutó energia sem mérhető kellő pontossággal, így a besugárzási idővel való arányossága miatt a degradáció energiatartóssága helyett az időfüggését szokták vizsgálni.

A nagyenergiájú ultraibolya lézerek megjelenése lehetővé tesz egy másfajta besugárzási módot, mely az eddigieknél sokkal gyorsabb és pontosabb mérés elvégzésére alkalmas.

A fentiek alapján az alábbi kutatási célokat fogalmaztam meg:

1. Egy az eddigiektől eltérő ultraibolya fotodegradációs vizsgálati módszer kidolgozása, mely azon alapul, hogy a hagyományos UV sugárzók helyett impulzuslézert használok a faminták besugárzására.
2. Az ultraibolya lézerfényel besugárzott faanyag infravörös színekében bekövetkezett abszorpcióváltozások vizsgálata és összehasonlítása a hagyományos módon besugárzott minták színeképváltozásával.
3. A faanyag besugárzása során beállított kísérleti paraméterek közül kizárólag a mintára jutó energiamennyiséget változtatva a színeképváltozások bekövetkező változások energiatartósságának vizsgálatát.
4. Negyedik célja kutatásaimnak az, hogy a tűlevelű és a lombos fafajok pásztaiban színeképváltozásokban jelentkező abszorpcióváltozásokat összehasonlítsam, megállapítsam, melyik fafaj, illetve melyik pászta a legellenállóbb az ultraibolya fotodegradációval szemben.

Azáltal, hogy az impulzuslézer néhány nanoszekundum alatt juttatja a faanyag felületére azt az energiamennyiséget, amelyet a Nap vagy az annak hatását szimuláló folytonos sugárzású hagyományos UV fényforrások néhány perc vagy óra alatt, számos olyan hatás fellépésével is számolni kell, melyek az eddigi vizsgálatok során nem jelentkeztek. Ezért az általam kidolgozott besugárzási módszer nem a hagyományos UV sugárzókkal

végzett kísérletek gyorsabb és pontosabb változata, hanem egy alternatív lehetőség az ultraibolya fotodegradáció tanulmányozására.

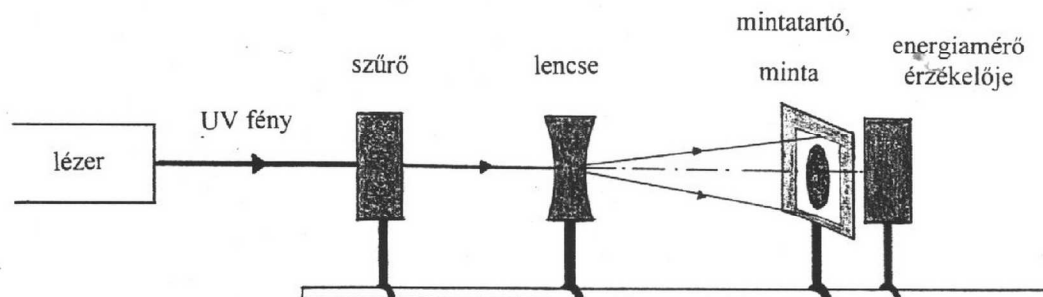
## 2. Az alkalmazott kísérleti módszerek

### 2.1. Mintakészítés

A kísérletekhez négy lombos fafajt és négy fenyőfélét választottam. Maguk a minták 1,5-2 mm vastagságú, 10 mm átmérőjű korongok voltak, melyeknek a besugárzandó felülete csak egyféle pásztát tartalmazott. Két mintasorozat készült, az egyik a besugárzás előtt semmiféle vegyszeres vagy hőkezelést nem kapott, a másikat mesterségesen szárítottam 2-3 napon át 70-75 °C hőmérsékleten.

### 2.2. A minták besugárzása ultraibolya fénnel

A mintáknak az ultraibolya fénnel történő besugárzását egy kripton-fluorid excimer lézerrel végeztem el. A kísérleti elrendezést az ábra szemlélteti. A kemény kartonlapból készített mintatartóba úgy fúrтам lyukat, hogy abba a 10 mm átmérőjű korongok éppen beleillesszkedjenek. A mintákat úgy helyeztem el, hogy felületük merőleges legyen a fény útjára. A fénysugarakat kvarclencse (fókusz távolsága -10 cm) segítségével divergenssé tettem, hogy a minta felületének minden részét egyenletesen érje a sugárzás.



Ábra. Kísérleti elrendezés a faminták UV lézerténnel történő besugárzásához

A lézer 248.5 nm hullámhosszúságú ultraibolya fényt bocsátott ki 15 ns-os impulzusidővel. Egy impulzus nagy energiája (50-400 mJ) energiaszűrő segítségével lett lecsökkentve. Közvetlenül a mintatartó mögött állt az energiamérő érzékelője, melyre csak a tartó lyukán áthaladó fény jutott, így csak annak energiáját mérte. A lencse és a mintatartó távolságának növelésével tovább csökkenthettem a mintára jutó energiát. A szűrőt úgy választottam meg, és a lencse-minta távolságot úgy állítottam be, hogy a tartó lyukán áthaladó fénynyaláb, azaz a mintára jutó fény energiája 20 mJ legyen impulzusonként.

Két kísérletsorozatot végeztem. Az elsőben minden mintát egyszeri alkalommal sugároztam be; ennek az volt a célja, hogy a faanyag spektrumának meghatározott körülmények között bekövetkező abszorpcióváltozásait tanulmányozzam. Ebben a kísérletben az előzőleg mesterségesen nem hőkezelt minták vettek részt. Minden mintára 5000 impulzust lőttem 10 impulzus/másodperc frekvenciával. Így egy minta  $100 \pm 10$  J energiát kapott. Ez 10 mm átmérőjű felület esetén  $1273 \text{ kJ/m}^2$  felületi energiasűrűségnek felel meg.

A másik kísérletsorozatban a mintákat többszöri alkalommal sugároztam be, és minden egyes besugárzást követően fölvettem a színeképüket. Ennek célja az volt, hogy az abszorpcióváltozásokat a besugárzási energia függvényében tanulmányozzam. Ebben a kísérletben az előzőleg szárítókamrában légszárazra szárított mintasorozat vett részt. Minden egyes mintát négy alkalommal sugároztam be, alkalomként 2000 impulzussal. Az impulzusfrekvencia 10 impulzus/másodperc volt, hasonlóan az előző kísérlethez. Így egy besugárzási alkalommal 40 J energia jutott egy mintára, ami  $510 \text{ kJ/m}^2$  energiasűrűségnek felel meg.

A besugárzást nyitott térben, légköri nyomáson, szobahőmérsékleten valósítottam meg. Nem alkalmaztam hűtést a minta felületén.

### 2.3. Infravörös spektroszkópiás vizsgálatok

A felületi tulajdonságok infravörös spektroszkópiás tanulmányozásának legalkalmasabb eszköze a diffúz reflexiós Fourier-transzformációs

spektrofotometria. A minták diffúz reflexiós spektrumát egy Bio-Rad Digilab FTS-65A/896 FTIR spektrofotométerrel vettem fel. A korongokat úgy helyeztem az eszköz mintatartójába, hogy a fa száliránya párhuzamos legyen a beeső infravörös fénysugárral, vizsgálandó felületük pedig a tartó peremével legyen egy szintben mindenütt. Minden egyes korong színeképét felvettem közvetlenül az ultraibolya fénnel való besugárzás előtt és közvetlenül utána a  $400\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$  hullámszám tartományban  $4\text{ cm}^{-1}$ -es felbontással, 256-szor pásztázva végig ezt a tartományt. A nyers színeképeken három pont, a  $3800$ ,  $1900$  és  $850\text{ cm}^{-1}$  segítségével elvégeztem az alapvonal-korrekcíót.

A spektrumok változásának tanulmányozására együtt alkalmaztam az egyszerű összehasonlítás és a különbségi színekép képzésének módszerét. Először a besugárzott minta színeképét a nem besugárzott minta színeképéhez normáltam az alábbiak szerint: a spektrum belső vonatkoztatási pontjaként az  $1373\text{ cm}^{-1}$ -es sávot választottam, majd a besugárzás utáni színeképet megszoroztam ezen hullámszám besugárzás előtti és utáni intenzitásának hányadosával. A különbségi színekép képzésekor a besugárzott minta normált színeképéből kivontam a nem besugárzott minta színeképét.

### **3. Az új tudományos eredmények összefoglalása**

#### **3.1.**

A hagyományostól eltérő olyan módszert dolgoztam ki a faanyag ([1], [3]) és összetevőinek ([4], [6]) ultraibolya fény hatására bekövetkező fotodegradációjának vizsgálatára, melynek lényege az, hogy a korábbi kísérletekben használt mesterséges UV sugárzók helyett lézert használok a faminták besugárzásához.

**3.1.1.** Az alkalmazott impulzuszézer nagyságrendekkel nagyobb energia- és teljesítménysűrűséggel szállítja az energiát a minta felületére, mint a természetes napfény vagy a hagyományos UV sugárzók.

**3.1.2.** A minták besugárzása egyszerűen és gyorsan elvégezhető. Egyetlen minta besugárzása az általam használt kísérleti beállításokkal kevesebb mint tíz percet vett igénybe.

**3.1.3.** A lézer jól meghatározott hullámhosszúságú fényt bocsát ki, így lehetőséget nyújt arra, hogy tisztán az ultraibolya fény hatására létrejövő fotodegradációt tanulmányozzuk, elkülönítve a látható és az infravörös tartomány hatásától.

**3.1.4.** Pontosan mérhető a mintára jutó energia, így lehetővé válik a fotodegradáció előrehaladta energiától való függésének a vizsgálata.

**3.1.5.** A mintára jutó összenergia, a lézerimpulzus energiája és frekvenciája valamint a lézerfény hullámhossza változtatható, így lehetővé válik több paraméter együttes és egymástól elkülönített hatásának vizsgálata is.

### 3.2.

Az ultraibolya lézerfényvel besugárzott faanyag infravörös színekében bekövetkező abszorpcióváltozások vizsgálata során a következőket állapítottam meg ([2], [3], [5]):

**3.2.1.** Az OH-csoportok széles sávjának ( $3700-3050\text{ cm}^{-1}$ ) intenzitása minden egyes minta esetén jelentősen növekedett. A hagyományos UV sugárzókkal végzett kísérleteknél a publikációk itt kizárólag csökkenésről számolnak be, melyet én csak néhány esetben tapasztaltam a sáv baloldalán, de ennek mértéke jóval elmaradt a sáv közepének intenzitásnövekedéséhez képest. A csökkenést elsősorban a hidrogénhidas kötések felszakadásának, a növekedést a feldurvult felület által a levegőből megkötött nedvességtartalom megjelenésének tulajdonítom.

**3.2.2.** A  $\text{CH}_n$ -régió két főcsúcsának ( $2910$  és  $2845\text{ cm}^{-1}$  környékén) intenzitása a legtöbb vizsgált mintánál csökkenést mutatott, míg a két legjelentősebb vállé ( $2947$  és  $2895\text{ cm}^{-1}$  környékén) növekedett. Ez alól néhány lombos pászta képez kivételt. Jelentős megfigyelés azonban az, hogy fafajtól függetlenül azonos folyamatok mennek végbe ebben a tartományban, amelyről a különbségi színeképek hasonló alakja tanúskodik. A szakirodalom ebben a régióban változatlanról számol be.



**3.2.3.** Az 1850-850  $\text{cm}^{-1}$ -ig terjedő tartományban végzett megfigyeléseim egy része egyezett a hagyományos UV sugárzókkal előidézett fotodegradáció ezen tartományban okozott abszorpcióváltozásaival. Ezek a következők:

- növekedett az intenzitás a nem konjugált helyzetben levő karbonilcsoportok sávjában ( $1780\text{-}1700\text{ cm}^{-1}$ );
- a lignin aromás gyűrűinek  $1510\text{ cm}^{-1}$  környéki karakterisztikus sávjának jelentősen csökkent az intenzitása;
- szintén jelentősen csökkent az intenzitása a fenyőligninben nagyarányban előforduló guajacil egységek  $1273\text{ cm}^{-1}$  környéki karakterisztikus sávjának;
- fafajonként eltérő volt a változás az  $1650\text{ cm}^{-1}$ -es sáv környékén, ahol jól felismerhető a faanyagban adszorbeált víz okozta intenzitáscsökkenés;
- szintén nem volt egységes az intenzitásváltozás az  $1170\text{ cm}^{-1}$ -nél alacsonyabb hullámszámtartományban.

Az a tény, hogy ezek a megfigyelések megegyeznek a szakirodalomban közöltekkel, azt jelzi, hogy vannak olyan hatások, amelyek az eltérő energiaközlési mód ellenére azonosak. Ebben a vonatkozásban a lézeres kezelés összehasonlítható a klasszikus módszerekkel.

**3.2.4.** Az eddig is ismert abszorpcióváltozások mellett felléptek olyan változások is, amelyekre alig vagy egyáltalán nem található utalás a szakirodalomban. Ezek a következők:

- Jelentősen csökkent az intenzitás az  $1537$ ,  $1460$ ,  $1398$  és  $1170\text{ cm}^{-1}$  környéki sávoknál minden vizsgált minta esetén, valamint  $1425$  és  $1234\text{ cm}^{-1}$  környékén a lombos fajoknál. Az  $1456$ ,  $1425$  és az  $1170\text{ cm}^{-1}$ -es sávok erőteljes intenzitáscsökkenése azt mutatja hogy a faanyag alkotóelemei közül nemcsak a lignin, hanem a cellulóz is jelentősen károsodik ultraibolya lézertény hatására; az  $1398\text{ cm}^{-1}$  csökkenéséből nem vonható le egyértelmű következtetés; az  $1234\text{ cm}^{-1}$ -es sáv csökkenése a lignin aromás szerkezetének károsodására utal, míg az  $1537\text{ cm}^{-1}$  környéki sávval kapcsolatos megfigyelések további kutatásokat tesznek szükségessé.

- Növekedett az intenzitás a lombos fafajoknál  $1320$  és  $1209\text{ cm}^{-1}$  környékén. Az előbbit több összetevő koncentrációjának változása, az utóbbit a lignin szabad fenolos hidroxilcsoportjának koncentrációnövekedése okozta.
- Az  $1132\text{ cm}^{-1}$  környéki abszorpciós maximum alacsonyabb hullámszámok felé tolódott, melyet a felület feldurvulása okozott olyaténképpen, hogy a DRIFT-spektrum ezen tartományában fellépő felületi tulajdonságoktól függő anomáliák mértékét megváltoztatta.

Ezen új megfigyelések azt mutatják, hogy a lézerrel előállított ultraibolya fény olyan kémiai kötések is felszakít, amelyeket a hagyományos módon történő besugárzás nem.

### 3.3.

Az ultraibolya lézerfényvel besugárzott faanyag infravörös színekében bekövetkező abszorpcióváltozások energiafüggésének vizsgálata során a következőket állapítottam meg [publikálás alatt]:

**3.3.1.** Az OH- és a  $\text{CH}_n$ -régióban kisebb energiamennyiség hatására a szakirodalomban leírtakhoz hasonló jellegű változásokat tapasztaltam: abszorpciócsökkenés az OH-, viszonylagos változatlanság a  $\text{CH}_n$ -tartományban. Csak nagyobb energiamennyiség hatására jelentkező markáns növekedés a hidroxilcsoportok elnyelési sávjában. Ennek oka az, hogy először a gyenge hidrogénhidas kötések mennek tönkre. Ugyanakkor az óriási teljesítménysűrűséggel besugárzott minta felülete egyre durvább lesz, a környező levegőből egyre több nedvességet képes megkötni. Ez a megkötött nedvességtartalom jelentkezik az OH-csoportok folyamatos intenzitásnövekedésében.

**3.3.2.** Azok a sávok, amelyek egyetlen kémiai alkotóelemhez rendelhetők ( $1510\text{ cm}^{-1}$  környéke: aromás gyűrűk;  $1273\text{ cm}^{-1}$  környéke: guajacil egységek;  $1170\text{ cm}^{-1}$  környéke: C–O–C kötések a cellulózban), és a közelükben nem található más elnyelési maximum, egységesen csökkenést mutattak. Ez folyamatos, de lassuló ütemű, mely egy bizonyos energiamennyiség elnyelése után le is állhat.

**3.3.3.** Azok a tartományok, ahol egymáshoz közel található két vagy több különböző kémiai csoport elnyelési sávja (pl.  $1650\text{ cm}^{-1}$  környéke: konjugált karbonilcsoportok és a fában kötött víz;  $1620\text{-}1560\text{ cm}^{-1}$ : sziringil egységek és a lignin karboxilátionjai;  $1460, 1425, 1130\text{ cm}^{-1}$  környéki sávok), nem mutattak egyértelmű változást a besugárzás során. A kezdeti csökkenést növekedés követte. Fafajtól függött, hogy mennyi energia elnyelése után következett be a növekedés, és hogy a növekedés mértéke meghaladta-e a kezdeti csökkenés mértékét.

**3.3.4.** Az ultraibolya lézerfény hatására a minta felületén fafajtól és pásztától függetlenül lényegében hasonló folyamatok játszódnak le. A színképváltozásban a fafaji sajátosságok kevesebb energia elnyelése esetén mutatkoznak meg, míg kellően nagy energia besugárzása után felvett színképen az abszorpcióváltozások egységesebbek, egyre inkább eltűnnek a fafaji jellegzetességek. A kezelt minta színképének felvételekor a felszín degradációs fokának megfelelő pillanatnyi állapotot rögzítjük. Az ekkor észlelt abszorpcióváltozások mintánkénti különbözősége eredhet a kiinduló színképek különbözőségéből (fafaji, felületi tulajdonságok), de abból is, hogy az adott energiamennyiség elnyelése után melyik minta a degradációnak mely szakaszában tart. Az abszorpcióváltozások mértéke az energia növelésével lelassul.

### 3.4.

A fafajokat és az egyes pásztákat összehasonlítva a következőket állapítottam meg [3]:

**3.4.1.** A fenyők és a lombos fafajok közötti eltérések az infravörös spektrum abszorpcióváltozásaiban elsősorban a kémiai összetételükkel magyarázhatók. A tűlevelűek ligninje jóval nagyobb mennyiségben tartalmaz guajacil egységeket, mint sziringil egységeket, míg a lombos fák ligninjében nagyjából azonos mennyiségben fordul elő e két alkotóelem. Ez a különbség megjelenik az alapszínképeken is, és a degradáció hatására is eltérő változásokat okoz ezen két komponens elnyelési sávjainak környezetében: az  $1620\text{-}1560$ , az  $1340\text{-}1315$  és az  $1280\text{-}1230\text{ cm}^{-1}$ -es hullámszámtartományokban.

**3.4.2.** Egyazon fafajon belül fenyőféléknél mindig a geszt késői pásztája változott a legkevésbé, míg a szijács korai pásztája a leginkább. A lombos fafajoknál nem volt ilyen egyértelmű különbség korai és késői pászta között. Itt az akác majd a bükk elnyelési sávjai változtak a legkevésbé.

**3.4.3.** Minden vizsgált minta közül a vörösfenyő gesztjének késői pásztája bizonyult messze a legellenállóbbnak az ultraibolya fotodegradációval szemben.

Azok a fafajok illetve pászták bizonyultak a legfotostabilabbaknak, amelyekben több járulékos anyag található. Ennek magyarázata az, hogy a járulékos anyagok mintegy védik a faanyagot az ultraibolya fotodegradációval szemben azáltal, hogy maguk is energiát nyelnek el a felületre eső sugárzásból, és a degradáció során stabil gyököket képeznek.

#### **4. Javaslatok az értekezés eredményeinek hasznosítására, további kutatásra**

Az általam kidolgozott hagyományostól eltérő besugárzási módszer előrelépést jelent a faanyag fotodegradációja terén végzett kutatásokban. A lézer alkalmazása lehetővé teszi gyors, pontos és reprodukálható kísérlet sorozatok elvégzését. Az általam beállított besugárzási paraméterek (impulzusenergia, impulzusfrekvencia, mintára jutó összenergia, fénycsugárhossz) bármelyike változtatható. Javasolt ezen paraméterek faanyagdegradációra gyakorolt hatásának egymástól elkülönített és együttes vizsgálata. Pontosabb mérések elvégzése szükséges annak kiderítésére, hogy azonos energiamennyiség esetén a besugárzás időtartama hogyan befolyásolja a faanyag degradációját. Lényeges a fotodegradációnak a beérkező fény hullámhosszától való függésének feltárása is, hiszen a földfelszín védő ózonréteg vékonyodásával számolnunk kell a rövidebb hullámhosszú ultraibolya fény káros hatásaival is. További vizsgálatok szükségesek az általam felvett színeképekben megjelenő eddig még nem azonosított sávok ( $1537, 1209 \text{ cm}^{-1}$ ) azonosításához, intenzitásváltozásuk interpretálásához. A fotodegradáció különböző tényezőktől való függésének megismerése után megindul-

hatnak a kutatások a különböző fotodegradáció elleni favédőszerek kifejlesztése irányában, melyek hatásosságának tesztelésére szintén kiválóan alkalmas az ultraibolya lézerrel való besugárzás hatásának vizsgálata.

## **5. Az értekezés témájában megjelent publikációk**

### **5.1. Külföldön megjelent idegen nyelvű folyóiratcikk:**

- [1] Barta, E., L. Tolvaj, T. Nagy, S. Szatmári, O. Berkesi, G. Papp (1998):  
*Wood degradation caused by UV-laser of 248 nm wavelength*  
Holz als Roh- und Werkstoff (Germany) 56. pp. 318.
- [2] Barta, E., L. Tolvaj, T. Nagy, S. Szatmári, O. Berkesi, G. Papp (1999):  
*Photodegradation of Leaf-woods Caused by 248.5 nm Laser*  
Drevársky Vyskum (Slovakia) 44 (1) pp. 13-19.
- [3] Papp, G., E. Barta, L. Tolvaj, T. Nagy, S. Szatmári, O. Berkesi (2001):  
*Wood degradation caused by KrF UV-laser*  
Technology Letters 5 (1) pp. 1-6.

### **5.2. Magyarországon megjelent idegen nyelvű folyóiratcikk:**

- [4] Tolvaj, L., E. Barta, B. Kosikova, O. Berkesi, T. Nagy, S. Szatmári, G. Papp (1998): *UV-laser induced photodegradation of lignin impregnated into cellulose plate*  
Acta Facultatis Ligniensis (Sopron) pp. 51-54.

### **5.3. Nemzetközi konferencia-kiadványban megjelent idegen nyelvű előadás:**

- [5] Barta, E., L. Tolvaj, T. Nagy, S. Szatmári, O. Berkesi, G. Papp (1998):  
*Hardwood degradation caused by 248.5 nm UV laser*  
Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Symposium „Wood Structure and Properties '98”. Arbora Publishers, Zvolen, Slovakia, pp. 59-60.  
Zvolen, Slovakia, August 24-27.

- [6] G. Papp, L. Tolvaj and E. Barta (1999): *Changes in DRIFT Spectra of Silver Maple and Lignin Extracted From the Same Wood Caused by 248.5 nm Laser*. Proceedings of The Fourth International Conference on The Development of Wood Science, Wood Technology and Forestry. Missenden Abbey 14<sup>th</sup>-16<sup>th</sup> July 1999. Fair Print Ltd., High Wycombe, Buckinghamshire

### **6. Nem publikációértékű munkák**

#### **Csak szóban elhangzott előadás:**

Papp, G., L. Tolvaj, E. Barta (1998):

*Photodegradation in lignin and wood caused by UV-laser*

Environment and Wood Science Jubilee Conf. Sopron, szept. 1-3.

Barta, E., L. Tolvaj, T. Nagy, S. Szatmári, O. Berkesi, G. Papp (1998):

*Hardwood degradation caused by 248.5 nm UV laser*

The 3<sup>rd</sup> International Symposium „Wood Structure and Properties '98”.

Zvolen, Slovakia, August 24-27. (Poszter)

Tolvaj, L., E. Preklet, E. Barta, G. Papp (2001):

*Dependence on light sources of the artificial photodegradation of wood*

Workshop within COST action E-18, High Performance Wood Coatings

Paris, France, June 18-19.

Tolvaj, L., E. Preklet, E. Barta, G. Papp (2001):

*Photodegradation of wood caused by UV lasers*

Workshop on photodegradation of wood within COST action E-18

(23<sup>rd</sup> of November) BRE Watford England