

### Irodalomjegyzék

1. Askenazi, E. K. 1959. *On the Problem of Anisotropy of Construction Materials*. Sov. Phys. Tech. Phys. Vol 4. 1959 pp. 333-338.
2. Bejó L., Láng E., Szalai J., Kovács Zs., Divós F. 2003. *Lombos fajok ortotrop szilárdsága és rugalmassága. I. rész: elméleti alapok, kísérleti módszerek*. Faipar 51(2):19-25
3. Divós, F., T. Tanaka. 2000. *Effect of creep on Modulus of Elasticity determination of wood*. ASME J. of Vibration and Acoustics 122(1):90-92.
4. Lang, E. M., Bejó, L., Szalai, J., Kovács, Zs., 2000. *Orthotropic Strength and Elasticity of Hardwoods in Relation to Composite Manufacture. Part I. Orthotropy of Shear Strength*. Wood Fiber Sci. 32(4):502-519.
5. Lang, E. M., Bejó, L., Szalai, J., Kovács, Zs., Anderson, R. B. 2002. *Orthotropic Strength and Elasticity of Hardwoods in Relation to Composite Manufacture. Part II.: Orthotropy of Compression Strength and MOE*. Wood Fiber Sci. 34(2):350-365
6. Lang, E. M., Bejó, L., Kovács, Zs., Divós F., Anderson, R. B. 2003. *Orthotropic Strength and Elasticity of Hardwoods in Relation to Composite Manufacture. Part III: Orthotropic Elasticity of Structural Veneers*. Wood Fiber Sci. 35(2):308-320
7. Szalai J. 1994. *A faanyag és faalapú anyagok anizotrop rugalmasság- és szilárdságtana. I. rész: a mechanikai tulajdonságok anizotrópiája*. EFE, Sopron.
8. Ylinen, A. 1963. *A Comparative Study of Different Types of Shear Tests of Wood*. Paper presented on the Fifth Conference of Wood Technology. U.S. Forest Products Laboratory, Madison, Wisconsin, September 16-27, 67 pp.

## A természetes fa vágása lézerrel – 2. rész

Gerencsér Kinga\*

### Cutting solid wood with lasers. Part 2

The first part of this article presented the main areas of laser utilisation, the theoretical background, the properties of laser light and an analysis of the operation principles and characteristics of the cutting mechanism. In the second part, the author discusses the challenges of using lasers for cutting wood, and describes the experimental work done on solid wood. Laser cutting compared favourably to traditional and high-pressure pneumatic cutting in terms of surface roughness and kerf width. Carbonisation of the surfaces and the high costs of the method are the most important drawbacks of the method.

**Key words:** Laser, Laser cutting, Surface quality

A cikk első része a lézerekkel kapcsolatos legfontosabb alapfogalmakat, illetve a lézervágás alapelveit és mechanizmusát ismertette. A második rész a faanyag lézeres vágásának kérdéseivel, kihívásaival foglalkozik, illetve ismerteti az ezen a területen elvégzett munkát, és annak eredményeit.

#### *A vágáshoz használt lézersugár tulajdonságai*

A vágáshoz vagy folytonos üzemi, vagy olyan ismétlési frekvenciájú impulzuslézere van szükség, ahol az egymást átlapoló lyukak sorozatával végzik a vágást. A vágásrendszernek lehetőleg legkisebbnek kell lennie, anélkül, hogy az anyag újra-összehegedése bekövetkezne. Ez főként műanyagokra vonatkozik, ahol a vágásrés 0,025 mm-nél kisebb is lehet (Myring és Kimmitt 1988).

A vágás mélysége nő a nyomás növekedésével, amíg a nyomás el nem éri azt az értéket (kb. 2-3 bar), amikor a további nyomásnövekedésnek már nincs többé hatása. A vágási sebesség nagymértékben független az alkalmazott gáztól és a gáznyomástól olyan esetekben, amikor az anyagnak nincs exotermikus reakciója a vágógázzal. Olyan anyagokat is, amelyek levegőn elégnak, mint pl. a papír, el lehet vágni, mivel a fókuszon kívül a hűtés hatása többnyire elég nagy ahhoz, hogy megakadályozza az égést. Az anyag tulajdonságaitól függően, nagy relatív mélységű, párhuzamos oldalú vágásrészt lehet kapni a fókuszmélységen túl is.

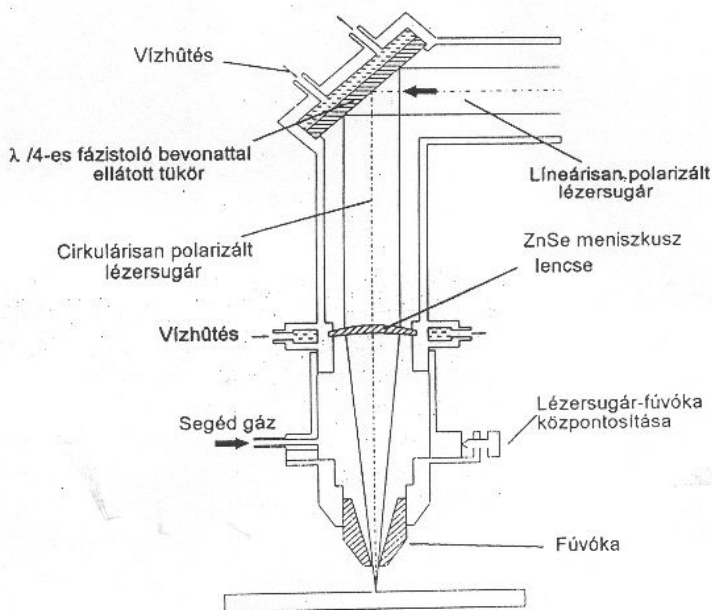
A vágás során kiáramló segédgáz keresztuláramlik a vágásrészen, és kisöpri onnan a keletkező melléktermékeket. Amennyiben a gáz a szűk vágásrésben lelassul, a felszabaduló

\* Dr. habil Gerencsér Kinga CSc., tszv. egy. docens, NYME Fűrészipari Tanszék

melléktermékeket rosszabb hatásfokkal söpri ki, és ekkor a lézersugár energiájának egy részét ezek nyelik el, csökkentve ezzel a lézer szilárd fatest kölcsönhatási frontfelületére jutó energiáját. A jobb gázáramlás biztosítása érdekében dolgozták ki az úgynevezett szuperszonikus fúvókát, amelyből a segédgáz 1,8-szoros hangsebességgel áramlik ki. Ezzel a fúvókával a maximális vágási sebesség kb. egyharmadával növelhető, mivel a lézersugár a gázsugárban halad, energiájának egy része a gáz felmelegítésére fordítódik. Előmelegített gázsugárral jelentősen csökken a vágás energiaigénye. A vágásrészben azokon a helyeken, ahol a hőmérséklet már akkora, hogy lejátszódnak a kémiai reakciók, ott azok menete a vágógázzal befolyásolható. Ezáltal csökkenthető a vágásfelület beégésének mértéke. Nemes gázzal, pl. héliummal is csökkenthető a beégés mértéke, de alkalmazása nem gazdaságos. A megadott vágási sebességek nem általános érvényűek, mivel ezek függenek a lézeroptika paramétereitől.

### ***A faanyag szerkezeti jellemzőinek hatása a fa lézeres vágására***

Az anyag sűrűségének hatása egyértelmű, hiszen ha sűrűbb az anyag, akkor ugyanakkora térfogatról több anyagot kell eltávolítani, több kémiai kötést kell felszabadítani és ebben



**1. ábra** – A lézersugár irányítása

az esetben lassabbak a bomlási folyamatok. Mivel a fa hővezető képessége függ az anatómiai iránytól, a fa бүtű felülete a vágáskor jobban megég. Különbözö fahibák (pl. göcsös-ség) is kedvezötlen hatással lehetnek a fa lézeres vágására, ugyanis eltérö teljesítmény kell az átvágásához (Nagy 2002).

### ***Az alkalmazott alapanyagok***

Egyelőre – anyagi okokból – csak kevés vágási kísérletet tudtunk elvégezni. A fűrészipari feldolgozásra alkalmas fafajok közül a legnagyobb mennyiségben előforduló fafajokon (tölgy, akác, bükk, kőris, gyertyán, nyár, hárs, éger és fenyő) végeztük el a vágásokat 25 mm vastag deszkán, furnéron és rétegelt lemezen.

**Vékony anyagok vágása.** A lézersugár fókusz-zónájának mondhatjuk azt a részét, ahol a teljesítmény koncentráció olyan nagy, hogy a faanyag égési folyamatai nem mehetnek végbe a nagy hőmérséklet miatt. Itt domináns folyamat az, hogy a lézer közvetlenül annyira felmelegíti a fát, hogy az egy pillanat alatt desztillálódik és a maradék faszén is elgőzölög. A segédgáz szerepe ekkor szinte csak a keletkezett gőzök kisöprése a vágásrészből. Ez a folyamat akkor játszódik le, ha a fókusz-zóna vastagsága nagyobb vagy egyenlő az anyagvastagsággal. Ez a vastagság függ a fókusz-távolságtól (**1. ábra**), és a fókuszpontban elérhető teljesítménysűrűségtől. Ez utóbbi növelhető a lézer teljesítményének fokozásával és az optika utolsó lencséjére érkező fénysugár átmérőjének csökkentésével, pl. fénysűritővel. Hogy sikerrel vághassuk a fát, a részben a lézer-fa kölcsönhatási helyen a hőmérsékletnek a szén forráspontja felett kell lennie, ami 4273 K. Ezt a vágásrés alján is el kell érni, ezért a kölcsönhatás környékén kb. 5000 K a hőmérséklet. A hőmérséklet gradiens a rés alja felé csökken, egyrészt a fénysugár-átmérő változás miatt, másrészt a keletkező gőzök fényelnyelése miatt. Mivel a vágáskor mozog a fa-lézer kölcsönhatási zóna és a fa rossz hővezető, ezért a lézersugár távolabbi környezete (néhány tized mm) kevésbé melegszik fel. Ehhez némileg hozzájárul a segédgáz hűtőhatása is. Nagyobb

teljesítménysűrűség és a vágást javító eljárások alkalmazása esetén gyorsabb a fa elgőzölése, ezért nagyobb előtolási sebességet alkalmazhatunk. Ezért a hőátadásra rendelkezésre álló idő lecsökken, s ezek miatt a vágásfelület megégése csökken.

Vastag anyagok vágása. Ha az anyagvastagság nagyobb, mint a fókuszzóna, csak az anyag egy részének vágása történik közvetlen lézer elgőzöléssel. Ekkor a gázsugár keveredve a gőzökkel felmelegszik és a maradék részt termikusan bontja. A vágásfelületen világosan elkülöníthető a két zóna. Ez a vágásmód nagyon érzékeny a nedvességtartalomra. Nem sokkal 12 % felett a hőmérséklet annyira lecsökken, hogy az önfenntartó bomlási folyamatok leállnak. Ezért ennél a folyamatnál nagyobb szerepe van a segédgáznak. Itt az előmelegített gázsugár és az oxigén jelenléte egyértelműen javítja a vágás energiaháztartását.

A vágási kísérleteket a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Közlekedésmérnöki Kar, Járműgyártás és Javítás Tanszékén végeztük el, CO<sub>2</sub>-dal működő lézerrel. A lézersugár fókusztávolsága a lencsétől mért, 127 mm-es távolságra történt, mivel más érték beállítása nem volt lehetséges.

A kísérleti körülmények a következők voltak:

- A lézerfény hullámhossza:  $\lambda = 10.6 \mu\text{m}$
- A maximális lézersugár-teljesítmény:  $P = 1,5 \text{ kW}$
- A lencse anyaga: ZnSe (cinkszelenid)
- A felhasznált energiaforrás: ipari áram  $U = 400 \text{ V}$ ,  $I = 1-2 \text{ A}$
- A gázlézer aktív közege 4 % CO<sub>2</sub>, 16 % N<sub>2</sub> és 80% He
- Belső (vákuum) nyomás:  $p = 100 \text{ mbar}$
- Összes energia felvétel üzem közben 16-20 kW
- A fókusztávolságban a fény sugár átmérője:  $d = 0,1-0,15 \text{ mm}$
- A fúvóka átmérője:  $D = 0,8 \text{ mm}$
- A segédgáz anyaga: N<sub>2</sub> és Ar
- A segédgáz nyomása:  $p = 2-5 \text{ bar}$
- Az előtolást a CNC vezérlésű asztal végezte.
- A lézer folytonos üzemmódban működött, az impulzus üzemmódot nem tudtuk kipróbálni.

Megjegyzés: A fókusztávolság a felső felületre történt, amely a vágásrés vizsgálatok szerint előnytelen volt, hiszen a sugár belépési oldalán mért vágásrés általában nagyobb volt egy-két tized milliméterrel, mint a kilépési oldalán mért vágásrés. Előnyösebb lett volna az anyagvastagság felére, illetve alsó harmadára fókusztávolságot a lézer fény sugarat, de ennek kipróbálására megfelelő fúvóka hiányában nem volt lehetőség. A segédgáz (vágógáz) anyagának a nitrogén tűnik a alkalmasabbnak, hiszen nem volt látható különbség a nitrogén és az argon (nemesgáz) között. Ennek ismeretében az olcsóbb, a célnak jól megfelelő nitrogén ajánlható vágógáznak.

Vizsgálataink során azt tapasztaltuk, hogy a fa szálirányának nincs meghatározó jelentősége a lézeres vágás szempontjából. Ez a jelenség azzal magyarázható, hogy – szemben a többi vágási lehetőséggel – nincs mechanikus kapcsolat a vágóközeg (a lézer) és a faanyag között. Ez a fa megmunkálása esetében nagy előnyt jelent, hiszen nincsenek szálkiszakadások a bütü felületén.

#### *A tapasztalt jelenségek*

- A kéreg (háncs+héjkéreg) átvágása nem járt sikerrel, miközben a faanyag belsőbb részeit (a gesztet és a szíjácst) átvágta a lézer. Ennek az oka az eltérő szövetszerkezeti felépítés, az eltérő szervesanyag-összetétel, esetleg a magasabb nedvességtartalom lehet.
- Az egyik legjelentősebb, a vágás szempontjából legfontosabb szövetszerkezeti hiba a göcsösség. A göcs átvágása azonban nem okozott gondot.
- Az erdeifenyő gyantatartalma a vágás közben kifolyva a felületen elszenesedett, csúnya foltot okozva.
- A vágás következtében a faanyagmintákon nem jelentkezett repedés, illetve más, belső feszültség okozta jelenség. Ez azzal magyarázható, hogy bár meglehetősen magas hőhatás éri a vágott felületet és közvetlen környezetét, ez a hatás túl rövid idejű ahhoz, hogy változásokat okozhasson, hiszen a fa kifejezetten rossz hővezető, az elszenesedett felület pedig hőszigetelő tulajdonságú. A hő okozta tágulást pedig a szintén hő okozta

nedvességvesztés zsugorító hatása ellen-súlyozza.

A vágást követően vizsgáltuk a faanyag felületén az elszenesedés mélységét, a vágásrés szélességét és a vágott felület érdes-ségét.

### ***A vágott felület elszenesedésének mértéke***

A fa lézeres vágásának kísérőjelensége, hogy az anyag felülete elszenesedik. Vizsgálataink során arra voltunk kíváncsiak, hogy milyen vastag a vágott felületen az elszenesedett réteg. A mérést a NyME Faanyagtudományi Intézet mikroszkópján végeztük el. A mérési eredmények azt mutatják, hogy a faanyag 20  $\mu\text{m}$ -ig szenesedett el és további 10  $\mu\text{m}$ -ig lelhetőek fel égési nyomok.

A vágott felület elszenesedésének csökkentési lehetőségei:

- optimálisabb, azaz gyorsabb előtolás alkalmazása,
- a fókuszfolt kiterjedésének csökkentése, vagyis jobb sugár összpontosítás,
- impulzus üzemmódú lézervágás alkalmazása. Ez tűnik a legalkalmasabb megoldásnak az elszenesedés megakadályozására, mely ráadásul nagyobb előtolási sebességet is lehetővé tesz.

### ***A vágásrés vizsgálatainak eredménye***

A faanyagok lézeres vágását a famegmunkálásban alkalmazott három fő megmunkálási iránynak megfelelően végeztük, vagyis rosttal párhuzamosan, merőlegesen és arra  $45^\circ$ -os szögben (**2. ábra**).

A vágásrés szélességét hézagmérővel mértük, 25 mm vastag faanyagon a lézer be- és kilépésénél. A lézervágásnál a vágásrés 0,35-0,7 mm között változott, a vágási iránytól függetlenül. Összehasonlítva a folyadéksugaras, illetve a körfűrész vágás vágásréseivel, jobb eredményeket mutatnak a lézeres vágások. A körfűrészsel való vágáskor a vágásrés a szerszámtól függően 2-5 mm között változhat. A folyadéksugaras vágás átlagos vágásrése 0,8-1,2 mm között változott. Meg kell jegyeznünk, hogy a lézervágás vágásrése tovább csökkenthető az



**2. ábra** – Vágási irányok a mintadarabon

optimális vágási paraméterek megtalálásával (fókuszálás, előtolási sebesség).

### ***A fa vágási felületének érdeségi vizsgálata***

A vágás minősítésének egyik legfontosabb vizsgálati módszere a vágott felület érdeségének mérése. A vizsgálathoz a drezdai székhelyű Fakutató Intézet módszerét használtuk. E módszer a fa, illetve a falemezek felületeinek hullámosságát és durvaságát, tehát annak minőségét mutatja meg.

A berendezés tapogatófejének sugara 5-10  $\mu\text{m}$  között változhat. Az egyenetlenséget a tapogatófej rádiusza és a mért felület aránya adja meg. A mozgó tapogatófej letapogatja a felületet és a szintkülönbségeket, pontosan jelzi a megfelelő program segítségével, a számítógépen keresztül az átlagos érdeséget ( $R_a$ ), az egyenetlenség magasságát ( $R_z$ ) és a maximális érdeséget ( $R_{max}$ ). A vizsgálatokat a NyME Fűrészipari Tanszéken végeztük el.

A próbadarabunk kitapinthatóan a legdurvább felületű, száliránnyal merőlegesen vágott, kőris fafajú mintánk volt. Az **1. táblázat** segítségével összevethetjük a lézerral és egyéb eljárásokkal kialakított felületek egyenetlenségi mélységeit. Az értékekből kitűnik, hogy a legjobb felületi minőséget a lézervágás adja,

Vágási eljárás	$R_z$
Lézer (kőris, szálirányra merőleges)	54,64
Folyadéksugaras	75-95
Fűrészelt	Duzzasztott 250-290 Stellites 160-220

megelőzve a folyadéksugaras vágás által elért felületi minőséget. Ez a felületi minőség nagyon finom, csiszolt minőségű. A fa lézeres vágásánál a felületi érdességet három tényező befolyásolja lényegesen:

- A lézersugár teljesítménye; ha ez növekszik, akkor a felületi érdesség is nagyobb.
- Az előtolási, vagy másképp a vágási sebesség, amelynek növekedésével a felületi érdesség csökken.
- A segédgáz sebessége és áramlási viszonyai. Fontos, hogy a gáz egyenletesen áramoljon át a rés egyik oldaláról a másik oldalra. Ha ez nem így történik, egyenetlenül éghet meg a felület. A segédgáz sebességének növekedésével nagyobb a felületen végzett hűtés és jobban kiszorítja környezetéből az oxigént, ezáltal a beégés mélysége kisebb lesz, kevésbé elszenesítve a felületet. A folyadéksugaras vágással csak úgy érhetünk el jobb eredményt, ha a vágás sebességét jelentősen csökkentjük. Láthatjuk, hogy lézervágásnál az előtolási sebesség növekedésével a felületi érdesség javul, míg folyadéksugaras vágásnál romlik.

### **Összefoglalás**

Eddigi vizsgálataink alapján a lézerrel való vágás előnyeit és hátrányait a következőképpen fogalmazhatjuk meg.

A lézervágás előnyei a fűrészeléssel szemben:

- Nincs szükség szerszámra, ami jelentős költségcsökkentést jelent, figyelembe véve azt is, hogy megtakarítjuk a szerszámkarbantartás és élezés költségeit;
- Nem keletkezik fűrészpor, csak csekély mennyiségű füst, melynek elszívása jóval olcsóbb beruházási és üzemeltetési költségű elszívórendszert igényel;
- A vágás szinte zajtalan;
- Könnyen automatizálható, illetve CAD-CAM rendszerbe illeszthető;
- Könnyen végezhető vele bonyolult mintájú figurális vágások (3. ábra);
- Jobb anyagkihozatal érhető el;
- Nincs szálkiszakadás;
- Csiszolásnál elért érdességű felület kapható a megfelelő technológiával történő lézeres vágás esetén.



**3. ábra** – Bonyolult alakzatok vágása lézerrel

### A lézervágás hátrányai a fűrészeléssel szemben:

- A mai nagyteljesítményű lézerek hatásfoka kicsi, szerkezetük bonyolult és speciális anyagokat kívánnak, emiatt drágák,
- A fűrészeléshez képest sokkal kisebb előtolási sebességek érhetők el, még a vékonyabb anyagok vágásánál is,
- A vágási felület égett, mely esztétikai problémát okozhat,

A fűrészrel és a lézerrel történő vágás összehasonlítása során komplex, még sok mindenre kiterjedő vizsgálatokat kell végezni, és csak ezután lehet objektíven eldönteni, hogy mely esetekben célszerű, sőt előnyösebb a lézer alkalmazása.

### *Irodalomjegyzék*

1. Nagy R. 2002. Fa vágása lézerrel. Szakdolgozat, Sopron
2. L. Myring, M. Kimmitt 1988. Első könyvem a lézerekről.

## **A Silentium kerti pihenőbútor-család**

Standeisky Dániel<sup>✧</sup>

### **Silentium garden furniture product line**

The article introduces a new line of garden furniture made of Hungarian Black locust material. The goal of the designers was to develop a product line that, besides its utility value, has a character that is both consistent and distinctive, as well as being comfortable and pleasant looking. The raw material is a very durable species that is also an environment friendly, renewable resource. Through cooperation with the industrial partner, the designer was able to develop products that are constructionally sound, and can be produced using the manufacturer's existing equipment. The new products that are designed to be used both indoors and outdoors, received first prize at the 2003 Hungarian Design Award competition.

**Key words:** Product design, Garden furniture, Black locust

### *Bevezetés*

A cikkben bemutatott termékcsalád egy sorozatban gyártott kerti bútorcsalád akácfaából. Tervezése 2002. februárjában kezdődött, egy diplomamunka keretében, a sorozatgyártás pedig 2003. tavaszán. Kereskedelmi forgalomban 2003. májusától kapható. A gyártó, a kisvárdai Blondel Kft. kínálatában nem szerepelt modern bútorcsalád, és mert a modellváltás szükségessé vált, felmerült az igény egy új esztétikusabb bútorcsalád kifejlesztésére. A bútorcsalád megalkotása az NKFP Erdő-Fa Kutatási Program keretén belül történt, végigkövetve a fa útját a csírázó magtól a dobozba csomagolt termékig. A megfelelő faipari és műszaki tartalomhoz a tudományos háttérrel a Nyugat-Magyarországi Egyetem Faipari Mérnöki Kara biztosította. A piackutatási alapokon meghatározott design a Kar Sopronban működő Alkalmazott Művészeti Intézetében a Forma-

tervezési Tanszéken készült, Tóth Tibor Pál bútortervező egyetemi magántanár vezetésével. A tervezőmunka 2002-ben formatervező-szakos diplomafeladatként kezdődött, amit további egy éves közös fejlesztőmunka követett. Eredménye a kereskedelemben jelenleg kapható bútorcsalád. A bútorcsalád sikerrel mutatkozott be számos magyar és nemzetközi kiállításon 2002-2003-ban, mint pl. Stuttgartban a Magyar Innovációs Napokon, Genovában kertészeti szakkiállításon, Rostockban a Kertészeti Világkiállításon, itthon pedig a BNV-n és a Formal Formatervezési kiállításon.

A Silentium bútorcsalád a Gazdasági és Közlekedési Minisztérium és a Magyar Formatervezési Tanács által meghirdetett Magyar Formatervezési Díj nevű nyilvános pályázaton termék kategóriában 2003. decemberében I. helyezést ért el.

<sup>✧</sup> Standeisky Dániel, okl. formatervező művész