

Vizsgálatok a természetes faanyag folyadéksugaras vágásával kapcsolatban

Gerencsér Kinga, Bejő László*

A folyadéksugaras vágás a forgácsolós technológiák egyik lehetséges alternatívája, mely hatékony megoldást kínál az olyan problémákra, mint a munkahelyi porterhelés, vagy a famegmunkáló berendezések magas zajkibocsátása. A tömörfa folyadéksugaras vágásának gyakorlati bevezetéséhez szükséges bizonyos technológiai paraméterek vizsgálata. Munkánkban a folyadéksugárral vágott tömör fa nedvességfelvételét, a vágásrés vastagságát, és a vágási felület érdességét vizsgáltuk. Megállapítottuk, hogy a faanyag felületi rétegei a vágás során viszonylag sok nedvességet vesznek fel, azonban ezt rövid időn belül le is adják. A faanyag nedvességtartalma összességében nem emelkedik jelentősen. A vágásrés vastagsága lényegesen kisebb, mint a hagyományos forgácsoló szerszámok esetében. A vágásrés mérete az anyag belseje felé haladva csökken, ezért a vágott élék nem merőlegesek a felfekvési felületre, ami a fűvóka megfelelő beállításával korrigálható. A vizsgált előtolás tartományban a felületi érdesség az előtolás növelésével nő, azonban minden esetben lényegesen alacsonyabb, mint a gyalult vagy fűrészelt felületek érdessége.

Kulcsszavak: Folyadéksugaras vágás, Vágásrés, Nedvességfelvétel, Felületi minőség,

Investigations concerning waterjet-cutting of solid wood

Waterjet cutting is a viable alternative of traditional cutting methods. It offers an effective solution for problems like dust exposure and high noise output from wood processing machines. The examination of some technical parameters is necessary for the practical application of waterjet cutting on wood. Our project involved the assessment of moisture uptake, kerf width and surface roughness of waterjet-cut solid wood. The surface layers of wood took up much water, but they lost most of it in a short period of time. The overall moisture content did not increase significantly. Kerf width was found significantly smaller than that of traditional wood cutting tools. Kerf width decreases as the waterjet propagates into the material. This means that the edges will not be perpendicular to the face of the material. This can be corrected by a slight inclination of the nozzle. In the examined range of feed rates, surface roughness increased with increasing feed, but it always stayed significantly lower than the roughness of planed or sawn surfaces.

Key words: Waterjet cutting, Kerf width, Moisture uptake, Surface quality

Bevezetés

A fa- és faanyagú termékekkel kapcsolatos igény egyre nő, és egyes területeken a kereslet jelentősen meghaladja a kínálatot. A fából készíthető termékek összességét tekintve – még a mai technológiai színvonalon is – a késztermékben a felhasznált fa nyersanyagának csak mintegy 35-40 %-a van jelen. Ebben már kedvező hatással mutatkoznak az olyan technológiák, mint a faforgácslap- és farostlemez-gyártás, amelyek a korábban hulladéknak számító, visszamaradó faanyag nagy hasznosítói (Winkler 1998, Takáts 1998).

Érthető tehát a rendelkezésre álló nyersanyagkészlet mind teljesebb hasznosítására irányuló törekvés.

A fa- és faalapú anyagok vágásakor, például a fűrészeléskor különböző típusú forgácsoló fejekkel elérték a felső teljesítménycélhatárt, azonban a fűrészelés során keletkező fűrészpor a kihazatalt jelentősen csökkenti és szennyezi a környezetet. A faanyag 6-40 %-a is lehet fűrészpor a rönkátmérőtől, a termékösszetételtől és a technológiától függően (Vorreiter 1963).

* Dr. Gerencsér Kinga CSc., egyetemi docens, Dr. Bejő László PhD., egyetemi docens, NyME Fa- és Könnyűipari Technológiák Intézet

A különböző fafeldolgozó üzemekben keletkező por jelentős része igen kis méretű. A 7 µm-nél kisebb porrészecskék, az ún. respirábilis porok belélegezve lesüllyednek a tüdőbe és ott maradnak, ott fejtik ki károsító hatásukat (Varga és tsai. 2006). A levegő tisztaságának védelméről szóló EüM-SzCsM 25/2000 (IX. 30.) rendelet értelmében a teljes munkahelyi porkoncentráció maximum 5 mg/m³ lehet, a respirábilis por mennyisége pedig nem haladhatja meg az 1 mg/m³ értéket. A fafeldolgozó üzemekben ez csak úgy oldható meg, ha ún. multiciklonokat alkalmaznak, ami a feldolgozási költségek jelentős növekedésével jár. A határértékek betartása a hazai és külföldi fafeldolgozó üzemek számára egyaránt jelentős kihívást jelent.

A fűrészipari gépek, valamint az élzógépek másik hátránya, hogy túl magas a zajkibocsátási értékük. A munkások fizikai károsító hatásából (zajból) származó veszélyeztetésével kapcsolatos minimális egészségügyi és biztonsági előírásokról rendelkező 2003/10/EC sz. EU direktíva szerint egy 8 órás műszakban megengedett átlagos hangnyomásszint 85 dB, heti átlagban pedig 80 dB. A fűrészgépek zajszintje 95-104 dB, ezért tartós használat esetén a fenti határértékek betartása jelentős anyagi nehézségekbe ütközik.

Felmerül az igény ezeknek a problémáknak a kiküszöbölésére, egy olyan vágóeszköz alkalmazására, amelynél nem keletkezik fűrészpor és a zajkibocsátás sem nagyobb a megengedettnél. Ilyen eljárás lehetne a fának vízszaggal való vágása, amely anyagtakarékos és környezetbarát technológiának mutatkozik.

A folyadéksugaras vágás előnyei között megemlíthetjük, hogy lényegesen kisebb vágásrés érhető el, mint a forgácsoló berendezésekkel, és nagy üzemeltetési biztonsággal rendelkezik. Különösen alkalmas lehet az eljárás nagy szériás, bonyolult alakú, nagy pontosságot igénylő termékek előállítására, például intarziakészítésre, falemezek szabására, valamint vékonyabb fűrészárak hasító és daraboló vágására.

A fenti előnyök mellett meg kell említeni a módszer néhány hátrányát is. Ezek közül a legfontosabb a jelenlegi technikai színvonalon elérhető alacsony előtolási sebesség, ami az egyik oka annak, hogy a módszer jelenleg még kevéssé elterjedt. Problémát jelent továbbá a viszonylag magas energiaigény, és a vágás után visszamaradt, szennyezőanyagokat is tartalmazó víz kezelésének, tisztításának igénye is. E nehézségek dacára a fent említett előnyök mégis indokoltá teszik a faanyag folyadéksugaras vágásának vizsgálatát, amely a későbbiekben, a technikai fejlődés előrehaladtával gyakorlati jelentőségre is szert tehet.

Folyadéksugaras vágással szinte minden anyag megmunkálható. A szakirodalom többnyire forgácslapok, MDF lapok és cementkötésű forgácslapok vágását említi, természetes faanyag vágásával kevésbé találkoztunk. Dolgozatunkban többek között ezt a hiányt igyekszünk pótolni.

A folyadéksugaras vágás elmélete

A vízszaggár eróziós tulajdonságait először a '30-as években hasznosították a bányászatban, barnaszén darabolására. Később, a '60-as évek vége felé amerikai repülőgépgyárak ezt a technológiát használták szállal erősített, sejt szerkezetű, valamint szendvicsanyagok vágására. Ezek az anyagok különösen érzékenyen reagálnak a magas hőmérsékletű, ill. a nagy mechanikai igénybevétele beavatkozásokra. A hagyományos lángvágó, fűrészelő, nyíró technológiák itt jelentősen károsíthatják az anyagszerkezetet (Vlastnik 1982).

A vízszaggal való vágással foglalkozó nagyszámú publikációk viszonylag kis része foglalkozik a folyamat alapjaival. Ennek oka, hogy ma még nincsen teljesen tisztázva a nagynyomású folyadéksuggal való vágás elmélete. Bonyolult feladatról van szó, amelynek fizikai megnyilvánulásai (folyadék csőben való áramlása, a fűvókából való kilépés, a folyadéksuggal becsapódása és kölcsönhatása a munkadarab anyagával stb.) különböző tudományágak részterületei.

A szabad sugarat, amely 2-4-szeres hangsebességgel halad, szilárd és elasztikus testnek tekintjük. A folyadéksugár becsapódásakor a tárgy ún. „vízütést” szenved. Ennek hatása, hogy nagy nyomás nagyon kis felületen keletkezik, amely lökeshullámok formájában terjed tovább a vágandó anyagban. A nyomás hatására az anyagot a folyadék szétrombolja, a keletkezett mikro-repedések a váltakozó terhelés miatt gyorsan elmélyülnek, és az anyagot vonalszerűen elválasztják. A gyors nyomásváltozások elasztikus deformációkat is előidéznak, amelyek a folyadéksugár destruktív hatását erősítik. A folyadék hatása nagyobb a megmunkálandó anyagra, mint egy ugyanolyan súlyú szilárd tárgy ütés-hatása, amely ugyanolyan sebességű, mint a folyadék. Ez a hatás a folyadék összenyomhatóságával magyarázható (Vlastnik 1982).

A vízszaggal történő vágás folyamán „lágú” szerszámmal dolgozunk, így a hagyományos eljárásoknál ismeretlen problémák merülnek fel, amit a vezérlésnek megfelelően kompenzálnia kell. Ilyen probléma pl. az, hogy a vízszagg önmagához képest késik a belépési és a kilépési oldal között. A jelenség főleg vastagabb daraboknál, irányváltáskor okozhat gondot, amit a vágási sebesség csökkentésével lehet kiküszöbölni. Mivel a „szerszámnak” nincs határozott geometriája, így a vágásrés széles határok között változhat, amit egyszerűen úgy lehet kiküszöbölni, hogy a vágandó geometriát korrigálni kell a vágósugár méretével. Emellett számolni kell a fűvókából kilépő vízszagg divergenciájával, ami növeli a vágásrés méretét. Ugyanez a vízszagg a vágni kívánt anyagba belépve viszont már konvergenciává válik, azaz a vágásrés mérete az anyagba befelé haladva valamelyest csökken, és a vágási felület nem lesz teljesen merőleges a felfekvési síkra. Ez a probléma viszonylag kevésbé jelentős kisebb vastagságú termékek, lemezek esetében, viszont gondot okozhat nagyobb vastagságú anyagok – például fűrészáru – vágásakor.

Kemény anyagok vágására újabban a vízszaggba apró szemcséjű abrazív anyagot (gránithomokot) kevernek. Ilyenkor nem maga a víz, hanem a gránitszemcse vág, miközben a víz kb. 800 m/s sebességgel

sodorja. Az anyagleválasztás ilyenkor alapvetően erózió eredményeként jön létre (Maros és Deszpoth 1999).

Amint egy részecske anyagot választ le a munkadarabról, energiát veszít és lelassul. Ez azt eredményezi, hogy mozgáspályája elhajlik a munkadarabon, aminek következtében növekszik a támadási szög, mellyel a munkadarab felületéhez csapódik. Ez a jelenség jellegzetes, görbült érdességi vonalak kialakulását eredményezi a vágott felületen, melyet bordáknak neveznek.

Anyagok és módszerek

A fafeldolgozásra alkalmas fafajok közül a Magyarországon legnagyobb mennyiségben előforduló fafajokon végeztük el a vizsgálatokat. Az alkalmazott fafajok a következők voltak: tölgy (*Quercus spp.*), akác (*Robinia pseudoacacia*) bükk (*Fagus sylvatica*), kőris (*Fraxinus excelsior*), gyertyán (*Carpinus betulus*) nyár (*Populus spp.*), hárs (*Tilia spp.*), éger (*Alnus glutinosa*) és lucfenyő (*Picea abies*). A vágásokat szárított (lég- illetve szobaszáraz), 25 mm és 50 mm vastag fűrészárún végeztük. Megkíséreltük emellett 15 cm átmérőjű fenyőrönk vágását is. A nagyobb vastagságú fűrészáru és rönk vágása során kiderült, hogy a rendelkezésre álló folyadéksugaras vágó berendezésekkel ezeket nem lehet megfelelő minőségben feldolgozni, ezért a cikkünkben található adatok kivétel nélkül 25 mm vastag fűrészárura vonatkoznak. Ezen alapanyag esetén a vágási minőség kielégítő volt.

A próbatestek elkészítéséhez egy 3000 bar nyomáson üzemelő Inno Cutter megmunkáló gépet alkalmaztunk, változtatható előtolással, és 5 g/min abrazív anyagárammal. A berendezés INC (intelligent numerical control) vezérlése lehetővé tette a vágási irányok és az előtolás pontos szabályozását.

A vágások befejezése után az anyagot és a vágási felületet háromféle szempontból vizsgáltuk;

- mértük a faanyagok vízfelvételét,
- a vágásrés vastagságát különböző vágási irányokban, és

- a vágási felületek érdességét különböző előtolási értékek alkalmazása mellett.

A nedvességtartalom mérése tölgy, akác, kőris, bükk, gyertyán és fenyő próbatesteken, egy VIVA 12 típusú ellenállásos rétegnedvesség-vizsgáló berendezéssel történt. A műszer mélységhatárolóval felszerelt, amely biztosítja, hogy az elektródákat pontosan a kívánt mélységig üssük be az anyagba. A nedvességtartalmat a felszín közelében (1-1,5 mm mélyen), valamint 10, 20 és 30 mm-es mélységben mértük. Minden fafaj esetében egy-egy mérést végeztünk a forgácsolt oldal- illetve bütüfelületen, közvetlenül a vágás előtt, a vágás befejezése utáni 5 percen belül, illetve 24 óra elteltével.

A vágásrés szélességének vizsgálatához a fűrészárún rostirányban, rostra merőlegesen, illetve 45°-ban, 300 mm/min előtolási sebességgel 1-1 vágást ejtettünk. A vágásrés vastagságát közvetlenül a vágás után, a folyadéksugár bemeneti és kilépési oldalán 10 helyen hézagmérővel mértük, és az eredményeket átlagoltuk. A vágásrés méretét akác, kőris, gyertyán, bükk, hárs, éger és fenyő fűrészárún mértük.

A felületi érdesség vizsgálata egy Pertherm S3P (PGK) típusú felületi érdesség-vizsgáló berendezésen történt, amelyet egy 10 µm átmérőjű letapogató fejjel szereltek fel. A felületi érdesség mérését tölgy, akác, bükk, nyár és fenyő anyagon végeztük, rostirányú és rostra merőleges, 100, 200, 300, 400, 500 illetve 600 mm/min előtolási sebességgel kialakított vágási felületeken. Minden esetben egy vágást végeztünk, és minden vágási felületen egy 17-25 mm hosszú szakasz érdességi profilját rögzítettük az érdességvizsgáló műszerrel. A műszer előtolási sebessége 0,5 mm/s volt.

A rögzített érdességi profilok értékelését egy nemrégiben kifejlesztett módszerrel végeztük (Csiha és Alpár 2003, Csiha 2005). Ezzel a módszerrel nemcsak a profil dőlését és hullámosságát lehet korrigálni, hanem a nagyedényes fafajok edényei által okozott érdességet is, így valóban a megmunkálásból eredő érdességet vizsgálhatjuk. Az érdességi paraméterek közül az egyenetlenség mélység (Rz) paraméter alapján értékeltük a felületeket.

Eredmények és értékelés

Nedvességfelvétel

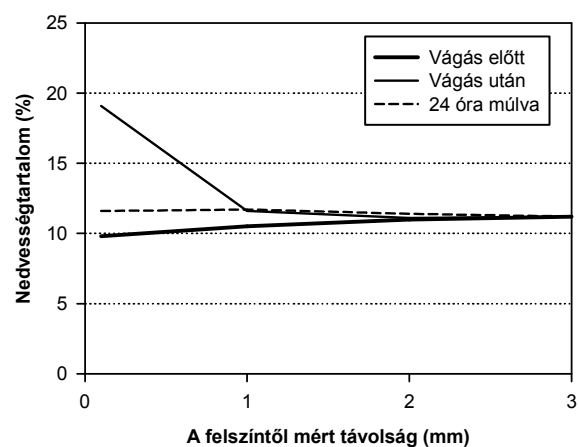
Az **1. ábra** egy tipikus vízfelvételi diagramot mutat. Ebből az ábrából látható, hogy a vágási felület közelében a nedvességtartalom vágás után jelentős mértékben (fafajtól és vágásiránytól függően 5-30%-kal) megnő. Ennek a nedvességnek a nagy része azonban a felszíni rétegekből a vágást követő 24 órán belül távozik.

Rostirányú vágás esetén a nedvesség behatolása minden fafaj esetében viszonylag csekély volt. 10 mm mélységben a nedvességtartalom mindössze 2-4%-kal emelkedett a vágás után, az ennél beljebb fekvő rétegek nedvességtartalma még kevésbé nőtt. A vágást követő 24 órás időszakban azonban a külső rétegekből a nedvesség egy része az anyag belsejébe vándorolt, különösen a permeábilisabb fafajok (fenyő, éger, bükk) esetében. A vágás következtében a vizsgált rétegek nedvességtartalma átlagosan 0-5%-kal nőtt.

Bütüfelület vágásakor a fentiekhez hasonló tendenciák figyelhetők meg, azzal az eltéréssel, hogy a puhább, porózusabb faanyagok (fenyő, éger, bükk) esetében a nedvesség mélyebben behatolt a fába. Ezeknél, a fafajoknál még 10 mm mélységben is 20-25% nedvességtartalom-növekedést regisztráltunk, 20 mm mélységben azonban már nem volt jelentős nedvesedés.

Tölgy fűrészáru nedvességtartalma

Rostra merőleges folyadéksugaras vágás



1. ábra – A folyadéksugárral vágott tölgy fűrészáru felszínközeli rétegeinek nedvességtartalma a vágás előtt és után

Ugyanakkor a porózusabb szerkezet a vágást követő 24 órában elősegítette a bejutott nedvesség eltávozását is. Ezzel szemben a kevésbé permeábilis fajok – különösen a tölgy és az akác – esetében a nedvesség nem hatolt be jelentősen az anyagba. 24 óra elteltével ebben az esetben is kiegyenlítődtött a nedvesség a keresztmetszetben. Az átlagos nedvességtartalom 0-3%-kal nőtt a kiindulási értékekhez képest. A vágási felületeken száradás okozta repedés, deformáció nem volt megfigyelhető.

Általánosságban elmondható, hogy bár a tömör fa folyadéksugaras vágása a higroszkópos anyag nedvesedéséhez vezet, a nedvességfelvétel csak a felszíni rétegekben jelentős, és ott is csak ideiglenesen lép fel. 24 órás pihentetés után a nedvességtartalom kiegyenlítődik, és csak kis mértékben növekszik a kiindulási nedvességtartalomhoz képest.

A vágásrés vastagsága

Az **1. táblázat** tartalmazza a különböző fafajok vágásrés mérési eredményeit. Amint látható, a varakozásoknak megfelelően a kimeneti oldalon mindig szűkebb a vágásrés, mint a folyadéksugár belépésekor. Ezen túlmenően azonban semmilyen összefüggést sem sikerült kimutatni. A vágásrés szélessége egyes esetekben nőtt, máskor csökkent a rostirány változásakor, egyes esetekben pedig változatlan maradt. Ugyanez igaz a vágásrés szűkülésére is. A fafaj hatását sem lehet egyértelműen leírni; nem volt számottevő összefüggés a sűrűséggel, vagy egyéb szöveti tulajdonságokkal sem. A tapasztalható különbségek valószínűleg vélet-

len tényezők hatásának tudhatók be. Egy szélesebb körű, nagyobb próbatest-számmal végzett vizsgálat esetleg rámutathat bizonyos összefüggésekre, de nagyon valószínű, hogy a technológiai paraméterek – az előtolási sebesség, a folyadéksugár sebessége, illetve a víznyomás – a fafajnál jóval nagyobb szerepet játszik.

Az **1. táblázatban** közölt eredmények alapján elmondható, hogy a folyadéksugaras vágás lényegesen kisebb vágásrészt tesz lehetővé, mint a hagyományos technológiák. A vágásrés kónikus, azaz a behatolási felületől befelé haladva csökken, tehát a vágott felület nem lesz merőleges az anyag felfekvési felületére. Az esetleges gyakorlati alkalmazásoknál ezt figyelembe kell venni, és a folyadéksugár beesési szögének állításával korrigálni kell.

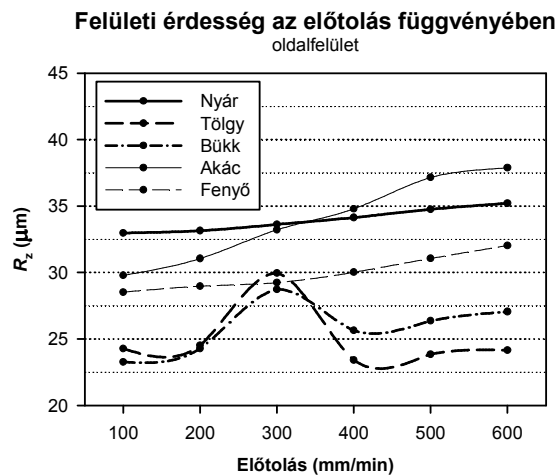
Felületi érdesség

Az egyes fafajok rosttal párhuzamosan és merőlegesen vágott felületein mért R_z értékeket a **2. és 3. ábra** szemlélteti. Az érdességi értékek 15-85 μm -es tartományon belül mozogtak, fafajtól és vágásiránytól függően. Rostra merőleges vágáskor többnyire – a nyár kivételével – valamivel magasabb R_z értékeket mértünk.

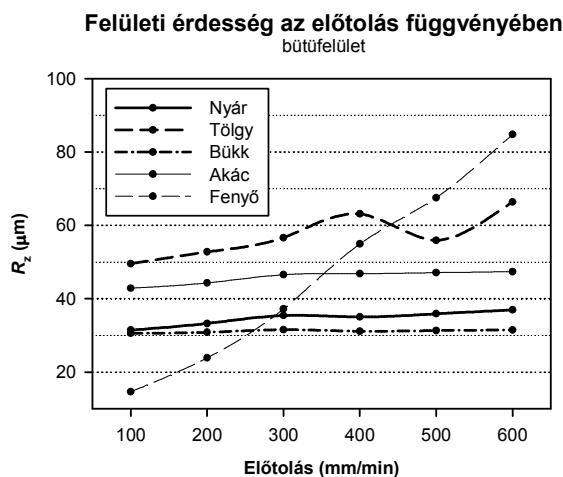
Az előtolás növelésével, a tölgy rostirányú vágási felületétől eltekintve, a felületi érdesség értékek növekvő tendenciát mutatnak. Egyes esetekben – például a nyár és az akác rostirányú vágáskor – a felületi érdesség monoton növekvő tendenciát mutatott. Több fafajnál figyelhetők meg kisebb-nagyobb anomáliák a 300 mm/min előtolási érték környezetében. Mivel ez a jelenség nem

1. táblázat – Különböző fafajok folyadéksugaras vágása után mért átlagos vágásrés vastagsági értékek, 3 különböző anatómiai irányban. (Minden érték 10 mérés átlaga, mm)

Fafaj	Rostirányban		45°-ban		Rostra merőlegesen	
	Belépés	Kilépés	Belépés	Kilépés	Belépés	Kilépés
Akác	1,00	0,80	1,00	0,80	1,20	0,65
Kőris	1,60	0,60	1,40	0,70	1,40	0,50
Gyertyán	0,90	0,45	0,90	0,50	0,90	0,50
Bükk	0,90	0,50	0,80	0,45	1,00	0,50
Hárs	1,10	0,75	1,10	0,65	1,10	0,40
Éger	1,70	0,70	1,25	0,55	1,25	0,55
Fenyő	1,20	0,80	1,00	0,50	1,00	0,50



2. ábra – Különböző fafajok rosttal párhuzamos vágási felületén mért egyenetlenség mélység értékek az előtolás függvényében



3. ábra – Különböző fafajok rostra merőleges vágási felületén mért egyenetlenség mélység értékek az előtolás függvényében

mutakozott minden esetben, feltételezhető, hogy inkább véletlen tényezők hatásáról, semmint tendenciózus jelenségről van szó, ezért ennek további vizsgálata szükségtelen.

A mért eredmények alapján a fafaj és a folyadéksugárral vágott felület érdessége közötti összefüggést nagyon nehéz megállapítani. Fontos megjegyezni, hogy az érdességi értékek többnyire egy viszonylag keskeny, 23 és 67 μm közötti tartományon belül maradtak. Kivételt képezett ez alól a fenyő rostra merőleges vágása, amikor is az R_z értékek igen egyenletesen és meredeken emelkedtek a 100-600 mm/min előtolási tartományban. Ennek az oka nem tisztázott; esetleg összefügghet a fenyők eltérő anatómiai tulajdonságaival, a tracheidák eltérő visel-

kedésével a vágás közben. Ennek a jelenségnek az okaira további, kiterjedtebb, esetlegesen elektronmikroszkópos vizsgálatokkal kiegészített mérésekkel lehetne fényt deríteni.

A fenti eredményeket összevetve a mechanikai megmunkálással kialakított felületekkel megállapítható, hogy a folyadéksugárral vágott felületek minősége lényegesen jobb, mint a fűrészelt vagy gyalult fűrészárú. Például Killic és tsai. (2006) eredményeit alapul véve, a gyalult nyár és bükk fűrészárú R_z értéke a folyadéksugaras vágással kialakított felületekének mintegy 2-3-szorosa. Magoss (2002) eredményei alapján az új eljárással kialakított felület a nagy sebességű felsőmaróval készített felületnél is jobb minőségű.

Összefoglalás és következtetések

A magyarországi fafeldolgozás szempontjából jelentős fafajok folyadéksugaras vágására vonatkozó vizsgálataink alapján az alábbi következtetéseket sikerült levonni:

- Átlagos teljesítményű folyadéksugaras vágóberendezésen maximum 30 mm vastag anyag megmunkálására van lehetőség. Az ennél vastagabb alapanyag megmunkálása akadályokba ütközik.
- A természetes faanyag vágása folyamán a nedvesség többnyire csak a felületi rétegekbe hatol be. Jelentősebb (10 mm-t meghaladó) behatolás csak nagy permeabilitású fafajok rostra merőleges vágásakor következik be. A vágás után 24 órával a vágási felület 30 mm-es környezetében a nedvesség 0-5%-kal lehet magasabb az eredeti állapothoz képest. A nedvességbehatolás tehát viszonylag kis jelentőségű, nem jelent komoly problémát az új technológia alkalmazása szempontjából.
- Más anyagokhoz hasonlóan a faanyag folyadéksugaras vágásakor a vágásrés az anyag belseje felé haladva kis mértékben csökken. A vágásrés mérete, mely 0,5-1,2 mm között változik, nem függ az alapanyagtól és a megmunkálás irányától.
- A folyadéksugárral megmunkált anyag felületi érdessége az előtolás növelésével többnyire romlik. Az előtolás hatása a fenyő faanyag rostra merőleges megmun-

kálásakor a legjelentősebb. A folyadéksugaras vágással elérhető felületi minőség lényegesen jobb, mint a körfűrészszel kialakított vagy gyalult fűrészárúé.

A továbbiakban szeretnénk az optimális technológiai paramétereket meghatározni különböző méretű és fafajú anyagokra, valamint gazdaságossági számításokat végezni a vágási költségekre vonatkozóan. A vágásfelületeknek pontosabb, mikroszkópos vizsgálatát is szükségesnek tartjuk.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetüket szeretnék kifejezni a Bay Zoltán Kutatóintézetnek és munkatársainak, amiért lehetőséget biztosítottak a folyadéksugaras vágóberendezésük használatára. A kutatás a T 032052 számú OTKA pályázat támogatásával készült.

Irodalomjegyzék

1. Csiha Cs., Alpár T. 2003. *Nagyedényes fafajok felületi érdességének értékelése*. Faipar 51(1): 11-16
2. Csiha, C. 2005. *Surface roughness of two main large porous wood species of Hungary*. Proc. 2nd European Conference on Hardwood, Sopron, Sept. 6., 2005., pp. 30-33.
3. Killic, M., H. Salim, E. Burdurlu. 2006. *Effect of machining on surface roughness of wood*. Building and Environment 41:1074-1078.
4. Magoss E. 2002. *Természetes faanyag felületi érdességének alapvető összefüggései*. II. rész: kísérleti eredmények és értékelésük. Faipar 50(3):8-11.
5. Maros, Zs., Deszpoth, I., Dadvandipour, S. 1999. *CNC High Pressure Abrasive Waterjet Cutting System* MicroCAD '99. Proc. Int. Computer Sci. Conf., Miskolc, Hungary, 24-25 Feb. 1999. pp. 89-94.
6. Takáts P. 1998. *Szervetlen kötésű fa- és rost kompozitok*. Egyetemi Jegyzet, Soproni Egyetem. 109. old.
7. Varga, M., T. Alpar, G. Nemeth. 2006. *Global waste handling and reuse in particleboard production*. Proc. 2nd European Conference on Hardwood, Sopron, Sept. 6., 2005., pp. 103-112.
8. Vlastnik, J. 1982. *Trennen von Holz mit Flüssigkeitsstrahlen*. Holztechnologie 23(2):94-102
9. Vorreiter, L. 1963. *Holztechnologisches Handbuch*. Georg Fromme Co. Verlag, Wien/München.
10. Winkler A. 1998. *Faforgácslapok*. Dinasztia Kiadó, Budapest. 183 oldal.