

Matija Jug obranio doktorski rad



Matija Jug, mag. ing. techn. lign., obranio je 12. svibnja 2014. na Šumarskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu doktorski rad pod naslovom *Primjena infracrvene termografije i termogravimetrijske metode u istraživanju činitelja zapaljenja drvnih čestica*, pred poverenstvom u sastavu: prof. dr. sc. Vlado Goglia (Šumar-

ski fakultet Sveučilišta u Zagrebu), prof. ing. Štefan Barcik, CSc. (Fakultet šumarstva i znanosti o drvu, Sveučilište bioloških znanosti u Pragu, Češka) i doc. dr. sc. Igor Đukić (Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu), i time stekao akademski stupanj doktora znanosti s područja biotehničkih znanosti, znanstvenog polja drvena tehnologija. Mentorice rada bile su prof. dr. sc. Ružica Beljo Lučić (Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu) i prof. dr. sc. Ivanka Boras (Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu).

PODACI IZ ŽIVOTOPISA

Matija Jug rođen je u Virovitici 11. svibnja 1984. godine. Osnovnu školu pohađao je u Virovitici, a zatim i srednju Drvodjeljsku školu, u kojoj je 7. lipnja 2002. maturirao i stekao zvanje drvodjeljskog tehničara. Iste se godine upisao na Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, a 13. srpnja 2007. obranom diplomskog rada *Utjecaj modifikacije drva obične bukve (Fagus sylvatica) limunskom kiselinom na biološku otpornost* stekao je zvanje diplomiranog inženjera drvne tehnologije, što je izjednačeno sa zvanjem magistra inženjera drvne tehnologije. Nakon studija zaposlio se u drvnjoj industriji TVIN d.o.o., gdje je radio kao konstruktor tehnolog, a potom se zaposlio na Šumarskom fakultetu u Zagrebu, na kojemu od 1. siječnja 2008. radi kao znanstveni novak na Zavodu za procesne tehnike. Iste, 2008. godine, upisao se na poslijediplomski doktorski studij Drvena tehnologija.

Nastavni rad započinje kao asistent za kolegij Transport u drvnjoj industriji (stari program), a prelaškom na bolonjski sustav obrazovanja postaje asistent za kolegije Transportna tehnika u drvnjoj industriji i Primijenjena tehnička grafika na preddiplomskom sveučilišnom studiju Drvena tehnologija, za kolegij Rukovanje materijalom na diplomskom sveučilišnom studiju Drvnotehnoški procesi te za kolegij Informatika (AutoCAD) na stručnom studiju Drvena tehnologija u Virovitici. Pri tome je kao neposredni voditelj sudjelovao u izradi dvaju završnih radova s temom usko povezanom sa sustavom odisavanja drvnih čestica u pogonima za preradu drva. Od 2008. kao istraživač sudjeluje u znanstvenom projektu Ministarstva znanosti, obrazovanja i sporta broj 068-0682094-2095 pod nazivom

Optimiranje energijskih i ergonomskih čimbenika mehaničke obrade drva voditeljice prof. dr. sc. Ružice Beljo Lučić. Ukupno je kao autor ili suautor objavio 17 znanstvenih radova. Sudjelovao je na dvanaest međunarodnih znanstvenih skupova i jednom hrvatskome. Član je Hrvatskog udruženja za zaštitu zraka.

PRIKAZ DOKTORSKOG RADA

Doktorski rad Matije Juga, mag. ing. techn. lign., *Primjena infracrvene termografije i termogravimetrijske metode u istraživanju činitelja zapaljenja drvnih čestica* sastoji se od 135 stranica (I-IV + 131) teksta, u koje je uključeno 80 slika, 33 tablice i 111 navoda citirane literature. Doktorski rad podijeljen je na sedam osnovnih dijelova. To su:

1. *Uvod*, 5 stranica,
2. *Problematika*, 38 stranica,
3. *Cilj istraživanja*, 1 stranica,
4. *Mjerne metode i pribor*, 21 stranica,
5. *Rezultati istraživanja s diskusijom*, 45 stranica,
6. *Zaključci*, 4 stranice,
7. *Literatura*, 8 stranica.

Eksperimentalni dio rada vezan za infracrvenu termografiju i analizu zatupljenosti oštrice proveden je na Šumarskom fakultetu, u Laboratoriju za mehaničku obradu drva Zavoda za procesne tehnike, uz primjenu mjerne opreme Fakulteta strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu. Termogravimetrijska mjerenja provedena su u laboratoriju Tekstilno-tehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

1. Uvod

U uvodnom dijelu rada navode se brojne opasnosti pri mehaničkoj obradi drva, među koje se ubraja zapaljenje usitnjenih drvnih čestica i pojava požara pri radu, ali autor naglašava i to da izlaganje radnika drvnjoj prašini hrastovine i bukovine tijekom duljega vremenskog razdoblja povećava opasnost od pojave adenokarcinoma nosne šupljine. Nadalje, u radu je istaknuto da se pri mehaničkoj obradi drva mora voditi briga o odabiru brzine rezanja, posmičnoj brzini, vrsti alata i broju njegovih oštrica kako bi se osigurala optimalna mehanička obrada drva, uz postizanje potrebne kvalitete obrade i zaštite radnika. Pritom se navodi da se tijekom mehaničke obrade drva pojavljuje temperaturno opterećenje oštrice alata, obrađivane plohe i odvojenih čestica, što može dovesti do zapaljenja drvnih čestica koje nastaju tijekom obrade te do nagorenosti obrađene površine. Valja spomenuti da se smanjuje čvrstoća termički modificiranog drva na cijepanje, kao i tvrdoća u smjeru vlakana. Pri izlaganju drva visokim temperaturama smanjuju se njegova mehanička svojstva, a povećava se krtošć drva u smjeru vlakana i okomito na njih, što je uzrok povećanja udjela sitnijih lebdećih čestica pri mehaničkoj obradi termički modificiranog drva. Čestice termički modificiranog drva opasnije su za čovjekov respiracijski sustav nego česti-

ce nemodificiranog drva, i to zbog niza kemijskih reakcija koje se događaju u drvu tijekom termičke modifikacije. Zato je bitno optimizirati debljinu odvojene čestice kako bi se smanjio njezin utjecaj na čovjekovo zdravlje. Današnji visokoproduktivni strojevi primjenjuju alate s postojanjim oštricom, zbog čega se smanjuje njezino zagrijavanje. S obzirom na moguće štetne posljedice razvijanja visokih temperatura pri mehaničkoj obradi drva te na mogućnost zapaljenja usitnjenih drvnih čestica, izuzetno je važno istražiti i analizirati činitelje koji utječu na zagrijavanje mjesta reza. Zbog velike opasnosti, mjerenja zagrijavanja lista pile, drvnih čestica i obrađene površine temperatura obavljala su se beskontaktnom metodom, uz primjenu infracrvene (IC) termografije. Primjena IC termografije pokazala se korisnom na mnogim područjima ljudskog djelovanja, iako još nije našla primjenu u drvnoj industriji, osim pri određivanju toplinskih gubitaka u sušionicama drva. Dugi se niz godina IC termografija upotrebljava u graditeljstvu, pri kontroli toplinske izolacije objekata, odnosno pri mjerenju toplinskih gubitaka na stambenim objektima ili u proizvodnim pogonima.

Nadalje, u radu je analizirana temperatura zapaljenja drvnih čestica. Svaka vrsta drva ima neku kritičnu temperaturu pri kojoj dolazi do zapaljenja ili samozapaljenja. Većina vrsta drva ima sličnu temperaturu zapaljenja, a najčešće je to temperatura od približno 200 °C. Temperatura zapaljenja tvari određuje se termogravimetrijskom (TG) analizom u strogo kontroliranim uvjetima rada s mogućnošću podešavanja režima zagrijavanja. Metoda se temelji na analizi promjene mase uzorka u ovisnosti o temperaturi.

2. Problematika

U poglavlju *Problematika*, podijeljenome na sedam potpoglavlja, opisane su metode određivanja koncentracije drvene prašine i mjerenje temperature tijekom mehaničke obrade drva. Naglasak je i na svojstvima zapaljive i eksplozivne prašine. U poglavlju se najprije upozorava na opasnost zapaljive i eksplozivne smjese drvene prašine te se objašnjavaju opasnosti od drvene prašine u radnom okruženju za zdravlje poslužitelja radnih strojeva. Pritom su citirani i komentirani rezultati dosadašnjih dostupnih istraživanja. Navedeni su postupci i potrebna oprema za mjerenje koncentracije prašine u zraku. Potom se problematika usmjerava na neposredni zahvat alata i obratka pri mehaničkim obradama drva, analiziraju se tokovi mehaničke energije te posljedice njezine pretvorbe u toplinsku energiju. Dalje su u radu detaljno opisani načini mjerenja temperature primjenom infracrvene termografije. Spominju se mogući mjerni sustavi za određivanje temperature alata i obrađene plohe te temperature odvojenih čestica. Razmatra se i mogućnost mjerenja temperature primjenom infracrvene termografije. Pozornost se pridaje mogućnostima određivanja temperature zapaljenja drva te se autor pri tome osvrće na primjenu termogravimetrijske metode za određivanje te temperature. Analizirana su fizikalna svojstva drva i tehnološki parametri obrade koji utječu na proces zatupljenja oštrice te, posljedično, na temperaturu u prostoru neposrednog zahvata alata i obratka. Na kraju poglavlja navedene su mjere sprečavanja požara, i to preventivne ili zaštitne mjere, te optimalni parametri pri mehaničkoj obradi drva.

3. Cilj istraživanja

Cilj rada bio je istražiti mogućnost primjene IC termografije za mjerenje temperature zagrijavanja oštrice alata, temperature odvojenih drvnih čestica i temperature obrađivane plohe. IC termografijom i TG metodom utvrđene su temperature nastale tijekom piljenja kružnom pilom odnosno temperature zapaljenja drvnih čestica nastalih pri piljenju kružnom pilom uz odabrane parametre obrade. Ciljevi istraživanja bili su:

- TG analizom odrediti temperaturu zapaljenja drvnih čestica hrastovine i bukovine nastalih pri piljenju kružnom pilom
- usporediti temperature zapaljenja drvnih čestica hrastovine i bukovine različitog sadržaja vode i različitih veličina
- IC kamerom izmjeriti te analizirati temperature na oštrici alata, odvojenoj čestici i obrađivanoj površini tijekom mehaničke obrade drva piljenjem
- utvrditi utjecaj zatupljenosti alata i posmične brzine na vrijednosti temperature razvijene na alatu, odvojenim česticama i površini obrade.

Osnovna je hipoteza planiranih istraživanja bila da jedinični otpor pri mehaničkoj obradi drva ima važan utjecaj na temperaturu alata, odvojenih čestica i obrađivane površine. Pretpostavka je također bila da postoji granična posmična brzina, odnosno srednja debljina strugotine pri kojoj se znatno povećava temperatura oštrice alata i odvojene drvene čestice. Pretpostavljeno je da povećanje zatupljenosti alata utječe na razvijanje većih temperatura, a da povećani sadržaj vode u drvu ima suprotan učinak. Usto, pretpostavljeno je da temperatura zapaljenja drvnih čestica ovisi o vrsti drva, sadržaju vode u njemu i o veličini drvnih čestica.

4. Mjerne metode i pribor

Poglavlje donosi detaljan opis metoda mjerenja, mjerne opreme te potrebnog pribora. Obrazloženi su razlozi izbora hrastovine i bukovine za izradu uzoraka na kojima je provedeno istraživanje. Detaljno su opisana svojstva izabranih vrsta drva. Iznesen je plan istraživanja te su definirane pripremne aktivnosti nužne za provođenje plana istraživanja. Uzorci na kojima su obavljena istraživanja podijeljeni su na četiri osnovne skupine: po dvije skupine za svaku vrstu drva te još po dvije skupine unutar toga, prema sadržaju vode u drvu. Za određeni sadržaj vode u drvu uzorci su dodatno podijeljeni na još četiri podskupine kako bi se istraživanja, sukladno planu, obavila pri četiri razine posmičnih brzina. Iz toga proizlazi da su istraživanja pojava pri neposrednom zahvatu oštrice i obratka obavljena na 672 uzorka. Tijekom rezanja svakoga pojedinog uzorka termovizijskom je kamerom snimljen veći broj termograma. U konačnici, uz potporu odgovarajućeg softvera analizirano je više tisuća termograma. Usporedno sa snimanjima temperature neposrednog prostora zahvata oštrice alata i obratka periodički su mjereni geometrijski parametri vrha oštrice koji su omogućili uvid u dinamiku zatupljenja. Usto je termogravimetrijskom metodom određivana i zapaljivost drvnih čestica.

5. Rezultati istraživanja s diskusijom

Rezultati mjerenja izneseni su u skladu s postavljenim ciljevima te provedenim planom istraživanja te su stoga grupirani u tri skupine: rezultati mjerenja temperature, rezultati termogravimetrijske metode i rezultati mjerenja zatupljenosti oštrice. Na kraju poglavlja analizirani

su odnosi temperature na bočnoj obrađenoj plohi u ovisnosti o stanju glavnoga reznog brida. Kroz cijeli rad provlači se kritički osvrt na dostupne radove sličnih istraživanja, uspoređuju se rezultati te izvode pravilni zaključci. U potpoglavlju *Rezultati mjerenja temperature infracrvenom termografijom* pokazalo se da smanjenje posmične brzine utječe na povećanje temperature na svim mjernim mjestima. S obzirom na to da su veće posmične brzine u skladu s ciljem postizanja većeg učinka, istraživanja su pokazala da povećanje posmične brzine nema ograničenja u smislu razvijanja temperature na mjestu reza. No istraživanja upućuju na moguće posljedice malih posmičnih brzina, što može biti problem pri ručnom pomaku obratka. S druge strane, autor je upozorio na praktične mogućnosti smanjenja temperature promjenama u konstrukciji stroja kružne pile. U potpoglavlju *Rezultati termogravimetrijske analize drva* pokazano je da je temperatura zapaljenja za sve uzorke gotovo jednaka, a da su temperature konačne degradacije za uzorke hrastovine nešto veće. Temperatura konačne degradacije za uzorke bukovine bila je nešto niža nego za uzorke hrastovine. U posljednjem potpoglavlju – *Rezultati mjerenja zatupljenosti oštrice*, ustanovljeno je da se oštrica lista pile više zatupi pri piljenju drva s manjim sadržajem vode, kao i pri piljenju bukovine nego pri piljenju hrastovine. Navedena potpoglavlja prate predviđeni slijed eksperimentalnog dijela istraživanja, pa su i rezultati analizirani istim slijedom, uz statističku obradu dobivenih podataka.

6. Zaključci

Poglavlje *Zaključci* posljednje je poglavlje doktorskog rada u kojemu se navode dostignuća rada izvedena iz rezultata istraživanja i rasprave o njihovu značenju. Iz zaključaka proizlaze novostečena znanja koja su dobra osnova za daljnji znanstvenoistraživački rad na području mehaničke obrade drva, a odnose se na zagrijavanje alata, drvnih čestica i obrađene površine. Prema ciljevima postavljenima u ovom istraživanju, dobivene su važne spoznaje o problematici zagrijavanja alata i usitnjenih drvnih čestica tijekom piljenja na kružnoj pili, kao i o zatupljivanju alata u različitim uvjetima obrade. Na osnovi rezultata i spomenutih činjenica doneseni su sljedeći zaključci.

- Rezultati upućuju na to da je pri piljenju drva poželjno odabirati veće posmične brzine uzimajući pritom u obzir sva ograničenja koja se pojavljuju u sustavu stroj – alat – obradak. Valja imati na umu i činjenicu da takav izbor posmičnih brzina vodi razmjernom povećanju učinka stroja.
- Smanjeni sadržaj vode u drvu utječe na jače zagrijavanje oštrice alata, pa stoga veći sadržaj vode u drvu uvelike smanjuje mogućnost zapaljenja. Nadalje, važno je navesti i činjenicu da piljenje drva iznad točke zasićenosti vlakana rezultira nižim vrijednostima jedinične energije rezanja. Stoga su i sile, kao i zagrijavanje oštrice, mnogo manje.
- Preporuka je da se prije izbora parametara mehaničke obrade za pojedinu vrstu drva uzimaju u obzir i osnovna fizikalna svojstva drva koje se obrađuje.
- Istraživanja su nedvojbeno pokazala da infracrvena termografija može imati važnu ulogu u nadzoru mjesta na kojima se unutar tehnoloških procesa pojavljuju visoke temperature.
- Termogravimetrijskom analizom nije moguće sasvim točno odrediti početnu temperaturu razgradnje sva-

koga drvnog sastojka pa se navode približne početne i konačne temperature, odnosno temperaturni rasponi razgradnje. Pretpostavka je da bi se detaljniji podaci dobili analizom plinova odnosno hlapljivih komponenta koje se oslobađaju tijekom pirolize drva.

- Temperatura zapaljenja gotovo je jednaka za obje skupine uzoraka s jednakim sadržajem vode. Razumljivo, potrebno je više vremena za isparavanje vode i početak pirolize u uzorcima sa sadržajem vode većim od 30 %.

U posljednjem dijelu istraživanja analiziran je proces zatupljivanja oštrica lista kružne pile.

- Pri piljenju uzoraka bukovine s manjim sadržajem vode oštrica alata brže se zatupljuje nego pri piljenju uzoraka hrastovine. Isto je uočeno pri piljenju uzoraka bukovine sa sadržajem vode većim od 30 %.
- Povećanje sadržaja vode u drvu pri jednakim radnim uvjetima pridonosi smanjenju radne temperature oštrice, zbog čega se usporava proces njezina zatupljivanja. Osim toga, povećan sadržaj vode pridonosi smanjenju temperature drvnih čestica i propiljka. Stoga je logična preporuka da se što više tehnoloških operacija izvede dok drvo ima visok sadržaj vode.
- Istraživanje je pokazalo da se oštrica alata brže i više zatupljuje pri manjim nego pri većim posmičnim brzinama piljenja.
- Povećanje radijusa oštrice pridonosi većim vrijednostima jediničnih energijskih normativa, a time i povećanju temperature vrha oštrice, porastu temperature odvojenih drvnih čestica, kao i višim temperaturama u propiljku. Stoga je važno list kružne pile nakon određenog broja efektivnih sati rada zamijeniti novopripremljenim, tj. iznova naoštrenim listom.

OCJENA DOKTORSKOG RADA

Doktorski rad Matije Juga, mag. ing. techn. lign., pod naslovom *Primjena infracrvene termografije i termogravimetrijske metode u istraživanju činitelja zapaljenja drvnih čestica* obrađuje dosad neistražene metode i njihovu primjenu kako u drvnoj industriji, tako i u znanstvenoistraživačkom radu u polju drvne tehnologije. Istraživanje je specifično po tome što je napravljena sinteza mjerenja temperature tijekom mehaničke obrade drva piljenjem, temperature zapaljenja drvnih čestica i zatupljenosti alata kao posljedice njegova zagrijavanja. Tijekom istraživanja velika je pozornost pridana sintezi rezultata pojedinih faza eksperimenta, pri čemu su rezultati jasno i nedvosmisleno objašnjeni.

Ovim su radom stečene nove, znanstveno utemeljene spoznaje i postavljeni dobri temelji za buduća istraživanja na području zagrijavanja alata, drvnih čestica i zatupljenosti oštrice. Vrijedni rezultati istraživanja podrazumijevaju autorov angažman na tom zanimljivom i slabo istraženom interdisciplinarnom području. Provedena istraživanja kojih su rezultati izneseni u radu dala su odgovore na neka zanimljiva, otprije nerazjašnjena pitanja, zbog čega je rad vrijedan doprinos drvno-tehnološkoj znanosti na području mehaničke obrade drva.

prof. dr. sc. Vlado Goglia