

Svojstva usitnjenog materijala nastaloga pri mehaničkoj obradi drva

Properties of chipped wood generated during mechanical wood processing

Prethodno priopćenje • Preliminary report

Prispjelo - received: 1. 6. 2005. • Prihvaćeno - accepted: 5. 12. 2005.

UDK 630*822.04; 674.823

SAŽETAK • Zbog važnosti za uporabu, transport i skladištenje istraživani su i analizirani granulometrijski sastav i nasipna gustoća usitnjenog drva nastaloga pri mehaničkoj obradi drva različitim strojevima. Uzorci usitnjenog drvnog materijala uzeti su na sedam strojeva: tračnoj brusilici, ručnoj tračnoj brusilici, tračnoj pili, bušilici, kružnoj jednolisnoj i višelisoj pili te na blanjatici. Uzorak uzet na jednolisnoj kružnoj pili pri obradi bukovine detaljnije je analiziran te je određena nasipna gustoća određenih frakcija čestica, a mikrofotometrijski su na mikroskopskoj slici izmjerene dimenzije čestica u pojedinim frakcijama. Rezultati mjerenja pokazali su različite udjele sitnih čestica drva (drvne prašine) u istraživanim uzorcima te potvrdili utjecaj načina obrade drva na raspodjelu frakcija čestica i na nasipnu gustoću materijala. Mikrofotometrijom drvnih čestica nastalih obradom na kružnoj pili utvrđeno je da su čestice u većini frakcija vlaknastoga oblika (imaju više od tri puta veću duljinu od širine), a nastaju uzdužnim cijepanjem većih čestica koje se odvajaju pri prolasku oštrice alata kroz drvo. U frakcijama većih čestica smanjuje se omjer duljine i širine čestice, a isti se trend bilježi i u čestica manjih od 0,2 mm. Rezultati mjerenja veličina čestica u pojedinim frakcijama pokazali su da je pri granulometrijskoj analizi propusnost sita slaba.

Ključne riječi: usitnjeni drveni materijal, granulometrijska analiza, nasipna gustoća, mikrofotometrija

ABSTRACT • Research and analyses were focused on the characteristics of chipped wood generated during its mechanical processing on different machines due to the importance of these characteristics for use, transport and storage. This paper presents particle size analysis and bulk density determination of chipped wood generated on seven different wood machines: belt sander, manual belt sander, band saw, drilling machine, circular saw, multiple circular saw and four sided jointer. Microphotometry measurements of particles dimensions and bulk density determination were made on chipped wood fractions obtained by granulometric analysis of a sample taken from a circular saw during processing of beech wood. The measurement results showed the influence of machining process on particles dimensions and bulk density of generated chipped material. It was determined by microphotometry method that wood particles have a fibrous form in most fractions and that they are generated during longitudinal chopping of larger particles in the cutting process. It was also established that the particles elongation was lower in larger particle fractions and in fractions of particle size under 0.2 mm. The results of particle dimension measurement of individual fractions showed that low sieve throughput was achieved during particle size analysis.

Key words: chipped wood material, particle size analyses, bulk density, microphotometry

¹Autori su, redom, izvanredna profesorica, viša asistentica i asistent na Šumarskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, ²Autorica je docentica Tekstilno-tehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, ³Autorica je diplomirani inženjer drvene tehnologije.

¹The authors are associate professor, senior assistant and assistant at the Faculty of Forestry, University of Zagreb, ²Author is assistant professor at the Faculty of Textile Technology, University of Zagreb, ³Author is BSc in wood technology.

1 UVOD

1 INTRODUCTION

Poznavanje svojstava usitnjenoga drvnog materijala važno je radi pravilnog odabira transportnoga sredstva i značajki transporta te opreme za skladištenje. Stoga je istraživanje mehaničkih, fizičkih i kemijskih svojstava usitnjenoga drva značajno i za cjelokupno rukovanje drvom i drvnim proizvodima. Za izbor transportnoga sredstva i opreme za skladištenje posebno su važni nasipna gustoća, granulacija, nasipni kut, kohezivnost, vlažnost, temperatura, abrazivnost te još neka fizička i kemijska svojstva usitnjenoga drva.

Svojstva usitnjenoga drva određuju parametre odsisnog uređaja u pogonu mehaničke obrade, i to prije svega transportnu brzinu zraka, parametre odvajanja drvnih čestica od zračne struje te potrebni volumen silosa za skladištenje. Brzina zraka odnosno količina njegova protoka ovisi o vrijednostima naleta čestica, njihova satnog volumena i kinetičke energije. Debljina čestice osnovni je parametar koji određuje transportnu brzinu zraka. Čestice se u vertikalnoj struji okreću okomito oko svoje uzdužne osi tako da su svojom većom površinom okomite na smjer strujanja zraka. Pri većoj debljini čestice veća je i težina na jedinicu površine tog presjeka. Duljina čestice ne utječe bitno na promjenu brzine lebdenja, dok širina čestice ima utjecaj na brzinu lebdenja zbog zaokretanja oko uzdužne osi, ali samo ako je manja ili jednaka dvostrukoj debljini čestice (Svjatkov, 1969).

Problematika usitnjenog drvnog materijala vrlo je složena zbog brojnih čimbenika koji utječu na njegova svojstva, značajke njegova transporta, skladištenja, pakiranja i zaštite, ali i na njegovu daljnju uporabu za ogrjev ili kao sirovine za daljnju preradu (kemijska prerada, proizvodnja ploča, briketa, peleta, utekućenog drva, drvno-plastičnih kompozita i druge namjene).

Poznavanje veličina čestica i udjela pojedinih frakcija u usitnjenome drvnome materijalu pri tome je iznimno važno. Osobitu pozornost pri određivanju granulometrijskoga sastava usitnjenog drva treba pridati drvnj prašini. Njemački propis (TRD 414) definira drvnu prašinu kao čestice promjera manjega od 0,5 mm, nastale obradom drva brusilicom, glodalicom ili bušilicom. U smjesi za ručno punjenje kotlova, na primjer, takvih čestica ne smije biti više od 20 %. Većina autora (Hamm, 1982; Kiosseff i Arndet, 1973) navode 0,3 mm kao graničnu vrijednost veličine čestice do koje postoji veća mogućnost eksplozije drvene prašine. Dodatni su uvjeti za eksplozivnost smjese drvnih čestica sadržaj vode manji od 12 - 14 % te masena koncentracija u zraku od 35 do 55 mg/m³.

Za ljudsko su zdravlje posebno štetne lebdeće čestice drvene prašine (veličina čestica manja od 100 µm) koje se nalaze u radnom okruženju i radnici ih udišu. Drvna prašina nekih vrsta drva zbog štetnih tvari u njima, može u radnika uzrokovati alergiju i astmu (Hinnen i dr., 1995; Hessel i dr., 1995; Malo i dr., 1995), a najveći je problem za drvodjeljske radnike

opasnost obolijevanja od adenokarcinoma nosne šupljine zbog dugotrajne izloženosti drvnj prašini bukovine i hrastovine (Kubel, 1988; Klein, 2001). Naime, drvna prašina hrastovine i bukovine u Europskoj je uniji 1999. proglašena kancerogenom na temelju klasifikacija *Međunarodnog instituta za istraživanje karcinoma* (IARC) iz 1995. godine (Kohler, 1995).

Obradom drva na različitim strojevima nastaje usitnjeni drvni materijal koji sadržava čestice različitih dimenzija u različitim udjelima i, prema tomu, različite udjele drvene prašine. Veći udjel drvene prašine u usitnjenome materijalu koji nastaje pri obradi drva povećava rizik od izloženosti radnika drvnj prašini iznad propisanih graničnih vrijednosti (Kos i Beljo Lučić, 2004).

Dzurenda je (2000) granulometrijskom analizom prikazao distribuciju frakcija drvnih čestica nastalih uzdužnim propiljivanjem smrekovine kružnom pilom te sirove smrekovine na pilama trupčarama - jarmači te tračnoj i kružnoj pili (Dzurenda, 2004). Granulometrijskom analizom obrađeni su uzorci nastali brušenjem borovine, a prikazane su i veličine najmanjih i najvećih čestica u smjesi (Očkajová i Dzurenda, 2002). Očkajová i Beljaková (2004) granulometrijski su analizirale bruševinu smrekovine i bukovine nastalu ručnim brušenjem uzdužno i okomito na vlakanca u radikalnom smjeru.

Kopecký i Pernica (2004) fotometrijski su mjerili dimenzije čestica smrekovine, borovine i bukovine nastalih na glodalici. U uzorku od 4 205 lebdećih čestica bukovine (aerodinamički promjer 100 µm) izmjeren je prosječan omjer duljina/širina čestice $\mu = 1,63$ standardne devijacije $\sigma = 0,69$. Kopecký i Pernica (2004) svrstavaju čestice drva u čestice vlaknastog oblika ako im omjer duljina/širina iznosi $\mu > 3$.

Budući da udisanje drvene prašine tvrdih vrsta drva predstavlja veći rizik nego udisanje prašine mekih vrsta drva (Kohler, 1995) te da se strojnom obradom zbog velikih brzina rezanja stvara više drvene prašine (Fujimoto i Takano, 2003; Hammilä, 2003), provedena su istraživanja na uzorcima usitnjenog drva nastaloga pri obradi bukovine različitim strojevima. Cilj je provedenih istraživanja usporediti svojstva tako nastalih usitnjenih materijala te iskoristiti dobivene rezultate za određivanje značajki njihova transporta, skladištenja i uporabe. Prikazana istraživanja dijelom su i podloga za sustavna istraživanja utjecajnih čimbenika na nastajanje drvene prašine pri mehaničkoj obradi drva.

2 MATERIJALI I METODE 2 MATERIALS AND METHODS

Istraživanje svojstava usitnjenoga drvnog materijala provedeno je na sedam različitih uzoraka. Šest je uzoraka uzeto pri obradi bukovine na četverostranoj blanjalici, jednolisnoj kružnoj pili, višelisnoj kružnoj

pili, doradnoj tračnoj pili, bušilici i brusilici. Jedan je uzorak dobiven obradom ploče vlaknatice (MDF) ručnom tračnom brusilicom. Uzorci su uzeti tijekom obrade na odsisnom ušću stroja.

Istraživana su i određena ova svojstva usitnjenoga drvnog materijala: granulometrijski sastav, nasipna gustoća, dimenzije i oblik čestica (omjer duljine i širine čestice).

2.1 Granulometrijska analiza

2.1 Particle size analysis

Za granulometrijsku je analizu od svih sedam uzoraka usitnjenog materijala pripremljeno po pet uzoraka mase 100 g i sadržaja vode oko 8 %. Granulometrijska je analiza provedena propuštanjem svih uzoraka kroz 11 sita s kvadratnim šupljinama stranica 2,36 mm, 1,25 mm, 1,19 mm, 0,8 mm, 0,63 mm, 0,5 mm, 0,4 mm, 0,25 mm, 0,2 mm, 0,1 mm i 0,09 mm (ISO 2395). Masa pojedine frakcije usitnjenoga materijala izmjerena je digitalnom tehničkom vagom. Rezultati granulometrijske analize prikazani su sukladno normi ISO 9276-1:1998.

2.2 Nasipna gustoća

2.2 Bulk density

Nasipna je gustoća masa jedinice volumena slobodno nasutoga sipkog materijala. Ovisi o fizičkim svojstvima materijala, veličini čestica i udjelu poje-

droz lijevak. Pri nasipavanju do zadanog volumena i očitavanja na 100 ml sadržaj menzure nije "uznemiravan" radi isključivanja mogućeg vanjskog utjecaja na sabijenost čestica i njihovu gustoću. Menzura je digitalnom vagom izvagana prije i nakon nasipavanja materijala. Iz razlike tih dviju masa dobivena je masa drvnih čestica u gramima te nasipna gustoća izračunana prema formuli:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

gdje je: m - masa usitnjenog materijala, g

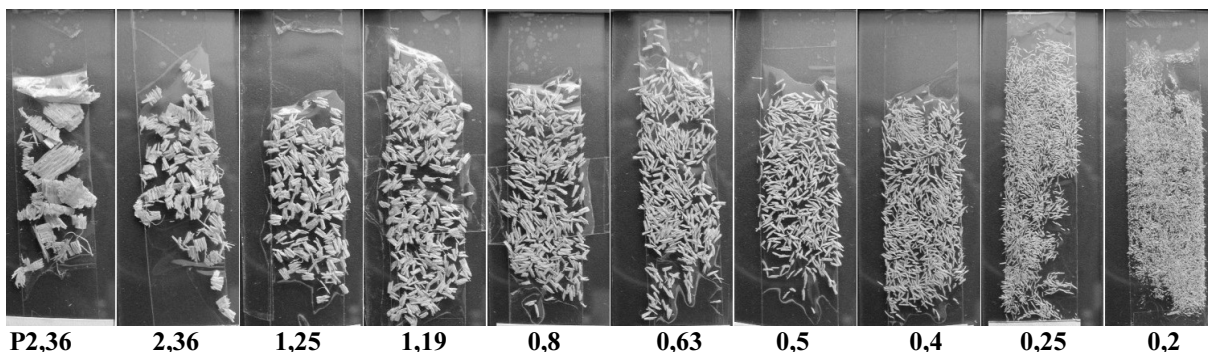
V - volumen usitnjenog materijala ($V = 100 \text{ cm}^3$).

2.3 Mikrofotometrija

2.3 Microphotometry

Duljine i širine čestica pojedine frakcije mjerene su na mikroskopskoj slici uz uporabu univerzalnog mikroskopa OLYMPUS BX51 opremljenoga digitalnom kamerom OLYMPUS DP12 priključenom na računalo i softver za digitalnu analizu slike AnalySIS (Soft Imaging System GmbH). Mjerenja na mikroskopskoj slici izvedena su uz povećanje 10×10 i $1,25 \times 10$.

Slika 1. prikazuje pripremljene čestice pojedinih frakcija za mjerenje dimenzija čestica na mikroskopskoj slici dobivenoj mikrofotometrijom.



Slika 1. Pripravci čestica pojedinih frakcija za mikrofotometriju

Figure 1 Samples of chipped wood fractions for microphotometry

dinih frakcija veličina čestica. Razlikuju se nasipna gustoća slobodno nasutoga materijala ili nasipna gustoća (ρ) i gustoća stlačenog materijala (ρ_s).

Nasipna je gustoća određena za svih sedam uzoraka uz pet ponavljanja. S ciljem utvrđivanja utjecaja veličine čestica na nasipnu gustoću, za uzorak usitnjenog materijala bukovine pri obradi na kružnoj pili, za svaku od 10 granulometrijski izdvojenih frakcija (P2,36; 2,36; 1,25; 1,19; 0,8; 0,63; 0,5; 0,4; 0,25; 0,2) posebno je određena nasipna gustoća. Za frakcije čestica manjih od 0,1 mm nije određivana nasipna gustoća jer je količina izdvojenih čestica tih dimenzija u istraživanome uzorku bila vrlo malena.

Svaki uzorak odnosno frakcija nasipavane su, uz pet ponavljanja, u menzuru od 100 ml s visine 450 mm

3 REZULTATI I DISKUSIJA

3 RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Granulometrijski sastav

3.1 Particle size distribution

U tablici 1. dani su rezultati granulometrijske analize usitnjenoga drvnog materijala odnosno srednje vrijednosti udjela pojedinih frakcija čestica za sve istraživane uzorke. Prikazana razlika predočuje pogrešku mjerenja, koja je najvećim dijelom posljedica gubitka lebdećih čestica drvene prašine pri mjerenju.

Dijagram na slici 2. prikazuje krivulje kumulativnih vrijednosti udjela pojedinih frakcija, i to od frakcija sitnijih čestica (0,09 mm) prema frakcijama krupnijih čestica.

Tablica 1. Prikaz veličina čestica za svih sedam uzoraka usitnjenoga drvnog materijala
Table 1 Particle size distribution of researched samples of chipped wood material

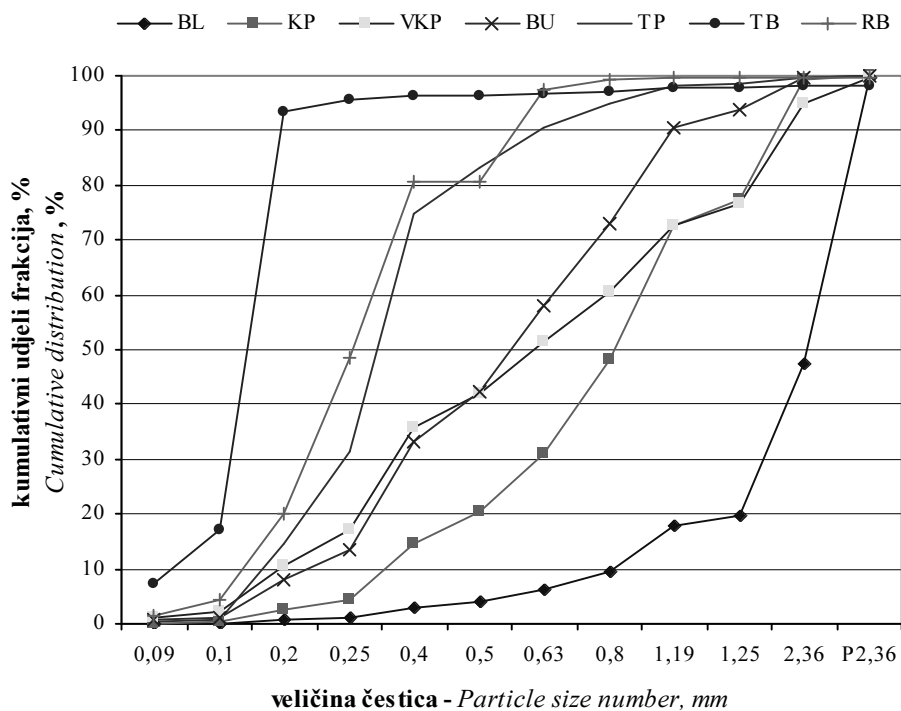
Oznaka frakcije Particle size number	Veličina čestica frakcije Particle size dimension mm	Udjel pojedinih frakcija – Share of the fraction (%)						
		BL	KP	VKP	RB	TP	BU	TB
0,09	< 0,09	0,06	0,15	1,12	1,29	0,45	0,66	7,25
0,1	0,09 – 0,1	0,10	0,36	1,05	2,95	0,46	0,55	10,02
0,2	0,1 – 0,2	0,61	1,90	8,33	15,90	13,87	6,78	76,04
0,25	0,2 – 0,25	0,37	2,11	6,71	28,49	16,59	5,41	2,42
0,4	0,25 – 0,4	1,79	10,19	18,50	31,94	43,39	19,79	0,53
0,5	0,4 – 0,5	1,10	5,89	6,20	0,16	8,61	9,16	0,14
0,63	0,5 – 0,63	2,22	10,52	9,55	16,88	7,02	15,66	0,21
0,8	0,63 – 0,8	3,14	16,91	9,23	1,70	4,34	14,86	0,46
1,19	0,8 – 1,19	8,33	24,76	12,04	0,14	3,50	17,80	0,72
1,25	1,19 – 1,25	1,84	4,71	3,83	0,08	0,43	2,96	0,09
2,36	1,25 – 2,36	27,82	21,71	18,41	0,00	1,10	6,18	0,28
P2,36	> 2,36	52,30	0,77	4,62	0,00	0,12	0,14	0,05
Razlika - Difference		0,33	0,02	0,41	0,45	0,12	0,05	1,80

BL - četverostrana blanjalica (four sided jointer), KP - kružna pila (circular saw), VKP - višelisna kružna pila (multiple circular saw), BU - bušilica ovalnih rupa (drilling machine), TP - doradna tračna pila (band saw), TB - tračna brusilica / bukovina (belt sander / beechwood), RB - ručna tračna brusilica / vlaknatica (manual belt sander / fiberboard)

Prikazane krivulje kumulativne distribucije veličina čestica jasno pokazuju različite udjele pojedinih frakcija čestica u uzorcima nastalim pri različitim postupcima mehaničke obrade drva. Očekivano, najveći je udjel drvene prašine (čestica manjih od 0,5 mm) u uzorcima nastalim pri brušenju (brušenju bukovine tračnom brusilicom i MDF ploča ručnom tračnom brusilicom) i iznosi više od 80 %, a pri brušenju bukovine čak 96 %. Vrlo visoki udjel sitnih drvnih čestica, gotovo kao pri brušenju MDF-a, izmjeren je u uzorku piljevine uzetome pri piljenju bukovine dorad-

nom tračnom pilom. Najmanji udjel drvene prašine (samo 4 %) izmjeren je u uzorcima nastalim pri blanjanju drva, a zatim slijedi uzorak piljevine nastao pri obradi bukovine jednolisnom kružnom pilom (oko 20 %). Dvostruko više čestica manjih od 0,5 mm nastaje pri uzdužnom piljenju bukovine višelisnom kružnom pilom, što je posljedica različitih parametara obrade, a ponajprije okomitog presijecanja drvnih vlaknaca.

Posebnu pozornost treba pridati relativno velikim postotnim udjelima čestica manjih od 0,1 mm u uzorcima nastalima obradom tračnom brusilicom i



Slika 2. Dijagram kumulativnih raspodjela veličina čestica granulometrijski analiziranih uzoraka
Figure 2 Cumulative distribution of particle size of samples analysed granulometrically

ručnom brusilicom te nezanemarivim udjelima lebdećih čestica koje nastaju pri obradi višelisnom kružnom pilom.

Poredak strojeva prema udjelu sitnih čestica (od većega prema manjemu) u uzorku usitnjenog drva je ovakav: tračna brusilica, ručna tračna brusilica, doradna tračna pila, bušilica za rupe, višelisna kružna pila, kružna pila, četverostrana blanjalica. Budući da raspodjela veličina čestica usitnjenog materijala pri mehaničkoj obradi drva ne ovisi samo o stroju nego i o drugim utjecajnim čimbenicima (kinematički parametri obrade, parametri alata, vrsta drva ili drvnog materijala, kut presijecanja vlakancima i drugi čimbenici), dobiveni rezultati daju približnu sliku očekivanih raspodjela veličina čestica koje nastaju pri različitim postupcima mehaničke obrade drva.

3.2 Nasipna gustoća

3.2 Bulk density

Nasipne gustoće istraživanih uzoraka usitnjenog materijala dane su u tablici 2. Gustoća drva ili drvnog materijala od kojega je obradom nastao usitnjeni materijal, sadržaj vode te raspodjela veličina čestica najvažniji su utjecajni čimbenici na nasipnu gustoću slobodno nasutog materijala. Budući da je nasipna gustoća određivana pri približno jednakom sadržaju vode (oko 8 %), a usitnjeni je materijal u šest od sedam uzoraka od bukovine, razlike u nasipnoj gustoći pretežito su posljedica različitih veličina čestica. Uzorcima nastalim na blanjalici i višelisnoj kružnoj pili izmjerena je najmanja nasipna gustoća, dok uzorci nastali na brusilici i bušilici imaju dva puta veću nasipnu gustoću.

Tablica 2. Nasipna gustoća uzoraka usitnjenog materijala
Table 2 Bulk density of chipped wood samples

Stroj - Machine	Nasipna gustoća - Bulk density	
	g/100 cm ³	kg/m ³
četverostrana blanjalica - four sided jointer	9,90	99,0
višelisna kružna pila - multiple circular saw	10,79	107,9
kružna pila - circular saw	16,53	165,3
ručna brusilica (MDF) - manual belt sander (MDF)	17,28	172,8
tračna brusilica - belt sander	21,46	214,6
bušilica - drilling machine	21,99	219,9
doradna tračna pila - band saw	30,52	305,2

Dobiveni rezultati mjerenja nasipne gustoće nedvojbeno su pokazali da se usitnjeni materijali koji imaju veći udjel sitnih drvnih čestica svrstavaju u materijale veće nasipne gustoće, i obrnuto. Međutim, uzorci uzeti na bušilici i tračnoj pili imaju jednaku ili veću nasipnu gustoću od bruševine, što, uz nepreciznost mjerenja, može biti posljedica različite gustoće bukovine od koje su dobiveni uzorci, razlike u sadržaju vode, ali i nepostojanja stroge ovisnosti nasipne gustoće usitnjenog drvnog materijala o veličini čestica. Prema dobivenim rezultatima, grupi materijala veće nasipne gustoće za koje je pri skladištenju potreban manji volumen spremnika pripadaju uzorci nastali na tračnoj pili, brusilici i bušilici. U drugoj su skupini uzorci usitnjenog materijala manje nasipne gustoće, za

koje je potreban veći volumen skladišta, a koji nastaju obradom na kružnim pilama i blanjalici.

Da bi se pokušao definirati utjecaj veličina čestica usitnjenog drva na nasipnu gustoću između sedam ispitivanih uzoraka izabran je uzorak bukovine nastao na kružnoj pili te je prosijavanjem uzorka izdvojeno 10 frakcija čestica kojima je zatim određena nasipna gustoća. Vrijednosti nasipne gustoće smanjuju se s povećanjem veličine čestica u istraživanome rasponu prema trendu prikazanom na slici 3. Odstupanja izmjerenih podataka od pravca koji prikazuje trend vjerojatno su dijelom posljedica nepreciznosti mjerenja, a dijelom i nedovoljne propusnosti sita odnosno zadržavanja sitnijih čestica u frakciji većih čestica. Na temelju dobivenih rezultata može se ipak utvrditi trend smanjenja nasipne gustoće s povećanjem veličine čestica.

3.3 Dimenzije čestica pojedinih frakcija

3.3 Measurement of particle dimensions

Radi utvrđivanja prosječne veličine i definiranja oblika čestica, mikrofotometrijski su mjerene duljina i širina čestica svake frakcije dobivene prosijavanjem uzorka materijala nastalog pri obradi bukovine kružnom pilom. Za mjerenje dimenzija čestica poslužile su mikroskopske slike od 4. do 13.

U tablicu 4. uvršteni su rezultati mikrofotometrije. Prema dobivenim rezultatima vidljivo je da srednja širina čestica za svaku frakciju iznosi manje od veličine otvora sita na kojemu su se čestice zadržale. Prosječna je duljina čestica u svakoj frakciji veća od otvora sita kroz koje su čestice prošle, što potvrđuje prolazak čestica kroz sita u vertikalnom položaju, tj.

razdiobu čestica u frakcije prema njihovoj širini. Može se zaključiti da je propusnost svih sita s obzirom na širinu čestica slaba, odnosno da se u svakoj frakciji nalaze i čestice koje su trebale biti propuštene i zadržane u situ s manjim otvorom. Takvi rezultati upućuju na mogući utjecaj slabije propusnosti sita i na rezultate mjerenja nasipne gustoće materijala u pojedinim frakcijama. Navedeni nedostatak metode prosijavanjem djelomice je posljedica ručne trešnje sita i može se riješiti primjenom vibracijskih sita.

Na slici 14. prikazane su srednje vrijednosti duljina i širina čestica pojedinih frakcija. Na temelju dobivenih rezultata može se zaključiti da sa smanjenjem veličine otvora sita, tj. veličine drvnih čestica raste omjer duljine i širine čestica odnosno oblik čestica

postaje izduženiji. Iz mikroskopskih se slika može zaključiti da je oblik čestica u frakcijama manjega otvora sita nastao trganjem većih čestica odvojenih

oštricom alata. Među česticama frakcija većih dimenzija omjer duljine i širine se smanjuje i udjel širine u duljini čestica iznosi od 1/3 do 1/2. I u vrlo sitnih čestica (frakcija 0,1 - 0,2 mm) omjer duljine i širine se smanjuje.

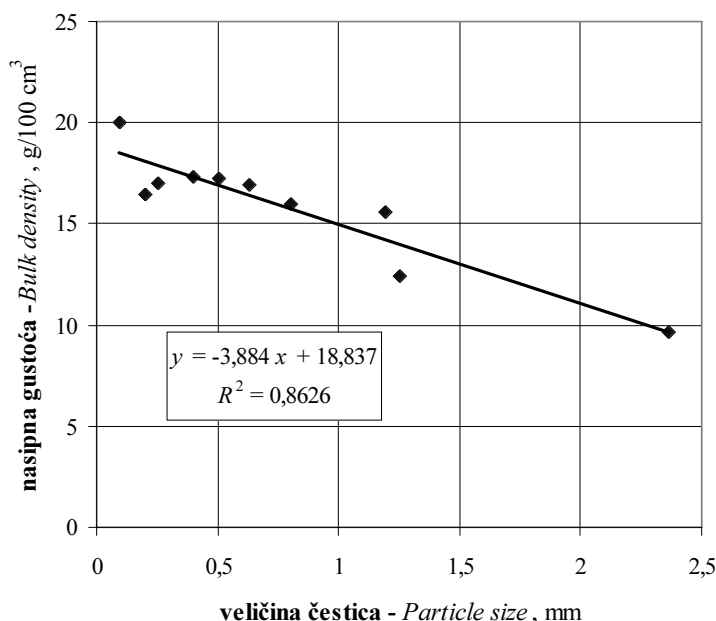
Tablica 3. Vrijednosti nasipne gustoće pojedine frakcije
Table 3 The bulk density values of individual fractions

Veličina čestica <i>Particle size</i>	Nasipna gustoća Bulk density, g/100 cm ³
0,2	19,99
0,25	16,45
0,4	17,01
0,5	17,30
0,63	17,26
0,8	16,91
1,19	15,98
1,25	15,55
2,36	12,46
P2,36	9,67

4 ZAKLJUČAK

4 Conclusion

Dobiveni rezultati pokazuju relativne odnose udjela sitnih drvnih čestica i razlike između nasipnih gustoća sedam uzoraka usitnjenoga drva nastalih pri mehaničkoj obradi drva različitim strojevima. Rezultati se mogu koristiti pri planiranju transporta, skladištenja i daljnje uporabe tako nastalih usitnjenih materijala. Ovisno o daljnjoj uporabi usitnjenog drva, treba prosuditi je li svrsishodnije zajedničko ili odvojeno rukovanje usitnjenim materijalima s većim i s



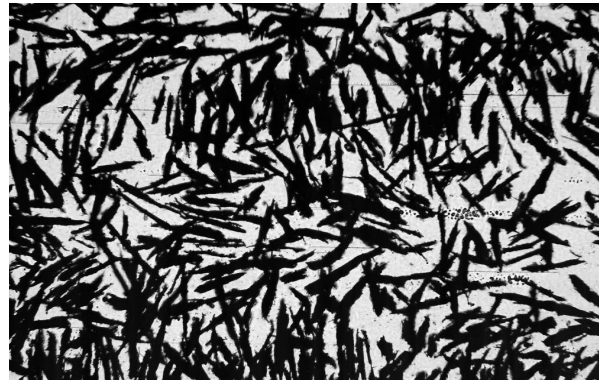
Slika 3. Ovisnost nasipne gustoće usitnjenog materijala o veličini čestica
Figure 3 Dependence of bulk density on particle size

Tablica 4. Rezultati mikrofotometrije čestica pojedine frakcije
Table 4 Results of particles measured by microphotometry

Veličina čestica u frakciji <i>Particle size</i> mm	Oznaka frakcije <i>Particle size</i> number	Broj izmjera <i>Number of</i> <i>measurements</i>	Srednja vrijednost širine <i>Average of width,</i> mm	Broj izmjera <i>Number of</i> <i>measurements</i>	Srednja vrijednost duljine <i>Average of length,</i> mm	Omjer duljina/širina <i>Particle</i> <i>elongation</i>
> 2,36	P2,36	12	3,1920	12	6,8200	2,14
1,25 – 2,36	2,36	41	0,8429	53	2,4317	2,89
1,19 – 1,25	1,25	59	0,7438	49	2,5435	3,42
0,8 – 1,19	1,19	45	0,6257	32	2,3663	3,78
0,63 – 0,8	0,8	90	0,4412	49	1,9602	4,44
0,5 – 0,63	0,63	62	0,3477	48	2,0152	5,8
0,4 – 0,5	0,5	66	0,2809	50	1,8343	6,53
0,25 – 0,4	0,4	53	0,2126	62	1,3539	6,37
0,2 – 0,25	0,25	51	0,1585	52	0,9749	6,15
0,1 – 0,2	0,2	96	0,0752	91	0,3485	4,63



Slika 4. Čestice frakcije 0,2 mm
Figure 4 Particle size number 0,2



Slika 5. Čestice frakcije 0,25 mm
Figure 5 Particle size number 0,25



Slika 6. Čestice frakcije 0,4 mm
Figure 6 Particle size number 0,4



Slika 7. Čestice frakcije 0,5 mm
Figure 7 Particle size number 0,5



Slika 8. Čestice frakcije 0,63 mm
Figure 8 Particle size number 0,63



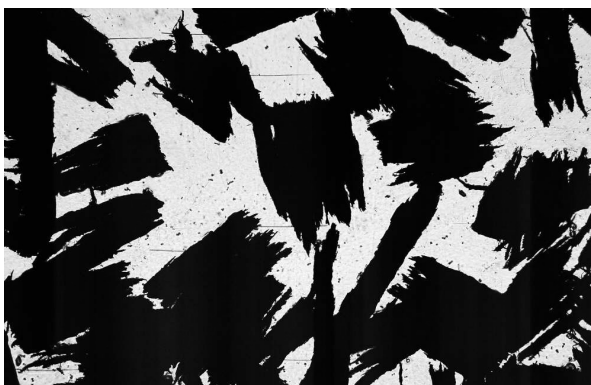
Slika 9. Čestice frakcije 0,8 mm
Figure 9 Particle size number 0,8



Slika 10. Čestice frakcije 1,19 mm
Figure 10 Particle size number 1,19



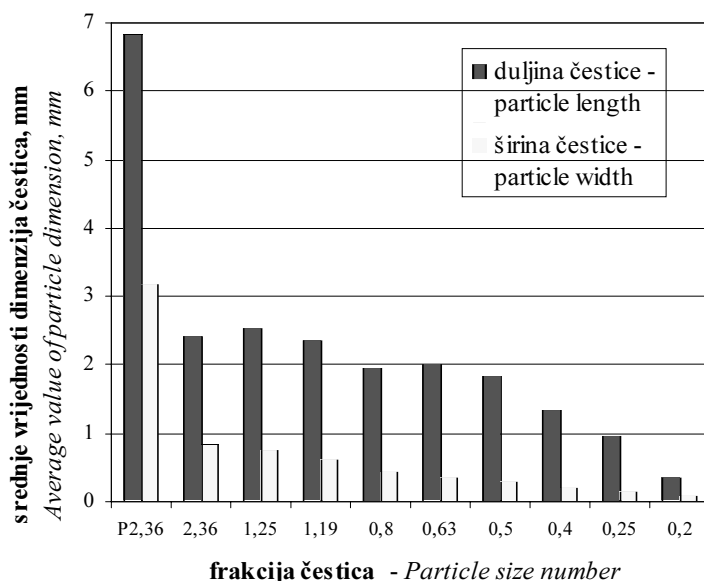
Slika 11. Čestice frakcije 1,25 mm
Figure 11 Particle size number 1,25



Slika 12. Čestice frakcije 2,36 mm
Figure 12 Particle size number 2,36



Slika 13. Čestice frakcije veće od 2,36 mm
Figure 13 Particle size number P2,36



Slika 14. Odnos duljina i širina čestica u pojedinim frakcijama
Figure 14 Relation of particle length and width in individual particle fractions

manjim udjelom drvene prašine.

Radi štetnog utjecaja na ljudsko zdravlje, treba provesti analizu raspodjele veličina čestica manjih od 100 μm , za što treba upotrijebiti prikladnu metodu jer je riječ o vrlo sitnim lebdećim česticama. Budući da se lebdeće čestice često, i unatoč postojanju sustava za odsis, zadržavaju u radnom okruženju, nužno je istražiti i odrediti utjecaj pojedinih parametara obrade na nastajanje većeg udjela sitnih čestica kako bi se količine drvene prašine regulirale parametrima obrade drva, ne zanemarujući pritom kvalitetu obrade, učinak i energetske normative.

5 LITERATURA 5 REFERENCES

- Dzurenda, L., 2000: Emission technological valuation of separation of dry spruce sawdust in technological equipments from the viewpoint of emission limits in Slovak Republic. II. Medzinarodna vedecka konferencia "Trieskove a beztrieskove obradbenia dreva 2000", Stary Smokovec - Tatry, 49- 55.
- Dzurenda, L., 2004: Granulometric analysis of wet spruce sawdust from the process of timber production.

The growth and development in forestry and wood industry, Scientific book, Faculty of Forestry, Zagreb, 105-112.

- Fujimoto, K., Takano, T., 2003: Mass concentration and particle size distribution of suspended dust during circular sawing. 16th International Wood Machining Seminar, Matsue, Japan, 724-731.
- Hamm, Đ., 1982: Utjecaj stanja zraka na trajnost uređaja za odsisavanje i uređaja za pneumatski transport u drvenoj industriji, Đurđenovac.
- Hammilä, P., Gottlöber, C., Welling, I., 2003: Effect of cutting parameters to dust and noise in wood cutting, laboratory and industrial tests. 16th International Wood Machining Seminar, Matsue, Japan, 375-384.
- Hessel, P.A., Herbert, F.A., Melenka, L.S., Yoshida, K., Michaelchuk, D., Nakaza, M., 1995: Lung health in sawmill workers exposed to pine and spruce. Chest, 108 (3), 642-646.
- Hinnen, U., Willa-Craps, C., Elsner, P., 1995: Allergic contact dermatitis from iroko [*Milicia excelsa*] and pine [*Pinus*] wood dust. Contact Dermatitis, 33(6), 428.
- Klein, R.G., Schmezer, P., Amelung, F., Schroeder, H.G., Woeste, W., Wolf J., 2001: Cancerogenicity assays of wood dust and wood additives in rats exposed by long-term inhalation. Int Arch Occup Environ Health, 74, 109-118.
- Kiosseff, H., Arndet, B., 1973: Messungen an pneumatischen Staubsaugern.

- tischen Anlagen in der Holzindustrie, Holzindustrie, 1973/6, 169-173.
10. Kos. A., Beljo Lučić, R., 2004: Wood dust emission of different woodworking machines. The growth and development in forestry and wood industry, Scientific book, University of Zagreb, Faculty of Forestry, 2004, 121 - 127.
 11. Kubel, H., Weißmann, G., Lange, W., 1988: Untersuchungen zur Cancerogenität von Holzstaub. Die Extraktstoffe von Buche und Fichte. Holz als Roh- und Werkstoff, 46, 215-220.
 12. Kohler, B., 1995: Wood dust and cancer. National Rep - Health, Safety and Environment, IARC, France.
 13. Kopecký, Z., Pernica, J., 2004. Effects of the dimensional specification of dust on the quality of air. "Trieskove a beztrieskove obrabanie dreva '04", Sary Smokovec Tatry, 125-130.
 14. Malo, J.L., Cartier, A., Desjardins, A., Weyer, R., Vandenplas, O., Vande-Weyer, R., 1995: Occupational asthma caused by oak wood dust. Chest, 108(3), 856-858.
 15. Očkajová, A., Dzurenda, L., 2002: Granulometrická analýza drevného prachu z procesu rovinného brúsenia dreva borovice lesnej. III. Medzinarodna vedecka konferencia "Trieskove a beztrieskove obradbenie dreva 02", Sary Smokovec - Tatry, 103-109.
 16. Očkajová, A., Beljaková, A., 2004: The chosen physical properties of sanding dust part I. The growth and development in forestry and wood industry, Scientific book, Faculty of Forestry, Zagreb, 129-134.
 17. Svjatkov, S., 1969: Pneumatski transport usitnjenog drva, Zavod za tehnologiju drveta, Sarajevo, 80-88.
 18. ***ISO 2395 Test sieves and test sieving - Vocabulary.
 19. ***ISO 9276-1 Representation of results of particle size analysis - Part 1: Grafical representation.
 20. ***Technische Regeln für Dampfkessel (TRD 414).

Corresponding address:

Associate Professor RUŽICA BELJO LUČIĆ, PhD

Department for process technique
Faculty of Forestry, University of Zagreb
P.O. Box 422
10002 Zagreb
CROATIA
beljo@sumfak.hr