

Ekološka problematika nusprodukata hidrotermičkih procesa obrade drva

Ecological issues of byproducts in hydrothermal wood processing

Pregledni rad • Review paper

Prispjelo – received: 2. 3. 2007.

Prihvaćeno – accepted: 5. 6. 2008.

UDK: 630*847.2; 630*846

SAŽETAK • Cilj ovog rada jest prikazati osnovna kemijska obilježja nusprodukata hidrotermičkih procesa na temelju dosadašnjih istraživanja te problematike i usporediti ih s postojećom zakonskom regulativom u Hrvatskoj. U prikazanim su radovima obrađena istraživanja toksičnosti nusprodukata termičkih procesa obrade drva uz pomoć organskih otapala, a navedene su vrste spojeva koje se oslobađaju takvim postupcima. Kamdem, Pizzi i Triboulot (2000) navode da se u takvim procesima stvaraju neki otrovni aromatski ugljikovodični derivati fenantrena kao i ostalih vrsta poliaromatskih tvari. U tom se istraživanju također navodi da postojanje takvih tvari donekle pridonosi većoj otpornosti termički obrađenog drva protiv gljiva i ostalih bioloških štetnika. Definitivna količina otrovnih i neotrovnih tvari u takvom drvu nije ustanovljena pa se ne može sa sigurnošću reći koliko je takvo drvo sigurno sa zdravstvenog stajališta.

McDonald i sur. (2002) proveli su istraživanja na borovini i ustanovili da 90% ukupnog iznosa tvari oslobođenih tijekom sušenja (405 g/m³ drva) čine hlapljive organske komponente α -pinen i β -pinen. Većina hlapljivih komponenti oslobađa se tijekom ranih faza sušenja, dok je emisija potencijalno opasnih tvari (formaldehida, acetaldehida, furfurala) bila relativno malena (1,1; 8,7; i 0,1 g/m³ drva) i dobro raspršena u sušionici. Pretpostavka je da navedene razine emisija ne utječu bitno na okoliš.

U radu su također citirana istraživanja (McDonald, Gifford, Dare i Steward 1999a) hlapljivih komponenti prilikom sušenja borovine u eksperimentalnoj vakuumskoj sušionici. Hlapljive su se komponente, zajedno s vodenom parom, kondenzirale i prikupljale tijekom 114 sati sušenja. Kemijskom analizom sirovog drva utvrđeno je da se u kondenzatu iz sušionice nalazi 10% početne količine monoterpena. Glavne grupe organskih komponenti pronađenih u kondenzatu bile su: alkoholni monoterpeni (endoborneol, α -terpineol i 1,4-terpineol), metanol, formaldehid, furfural i diterpeni. Ukupna količina ugljika i kisika u kondenzatu upućuju na potrebu smanjenja koncentracije organskih komponenti prije ispuštanja u okoliš.

Ključne riječi: hidrotermička obrada drva, emisije plinova, kondenzat, kemijski sastav

ABSTRACT • Based on previous research, this paper presents the basic characteristics of chemical substances formed as a result of hydrothermal wood processing.

Wood that had been exposed to a mild thermal treatment was extracted with organic solvents to determine the presence of potentially toxic compounds. The formation of some toxic polynuclear aromatic hydrocarbons derivatives of phenantrene were detected as well as other classes of polyaromatic compounds. It is most likely that the presence of all such compounds contributes to a relatively substantial extent to the reported resistance of heat treated timber to fungal and other biological attack. Other allegedly non-toxic compounds were also found, mainly the

¹ Autori su docent, student i asistent na Šumarskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, Hrvatska.

¹ The authors are assistant professor, student and assistant at the Faculty of Forestry, Zagreb University, Croatia.

by-products of lignin pyrolysis. The extent of toxic and non-toxic compounds in heat treated wood were not quantified, and therefore it is not determined whether the final product (thermal treated wood) is toxic or not, and to what extent.

The two major volatile organic compounds found while researching atmospheric emissions from an industrial kiln, drying radiata pine, were α -pinene and β -pinene, which accounted for up to 90% of the total discharge (405 g/m³ wood). Most of the volatile organic compounds were released during early stages of drying. The release of potentially hazardous components (formaldehyde, acetaldehyde, furfural) was found to be relatively low (1.1, 8.7, and 0.1 g/m³ wood) and well dispersed all over the kiln. These levels of release are unlikely to cause adverse environmental effects. Volatile organic components were also researched on radiata pine wood dried in an experimental vacuum kiln. The condensate (volatilised components with water vapour) was sampled at regular time intervals throughout a 114 h drying period. Chemical analysis data from a green wood sample indicated that 10% of monoterpenes present were recovered in the kiln condensate. The main classes of organic compounds identified in the condensate were alcohol monoterpenes (endborneol, α -terpineol, and 1,4-terpineol), methanol, acetic acid, formaldehyde, furfural, and diterpenes. Total amount of carbon and oxygen in the experimental vacuum kiln condensate indicate that the treatment aimed at reducing the concentration of organic compounds in the condensate will be required prior to discharge into environment.

Key words: hydrothermal wood processing, atmospheric emission, condensate, chemical constituents

1. UVOD 1 INTRODUCTION

Sve veće potrebe za osušenom piljenom građom postavljaju sve veće ekološke zahtjeve glede postupka sušenja, s naglaskom na ispuštanju tvari u okolni zrak. Tijekom sušenja i parenja drva isparavanjem, destilacijom vodenom parom ili toplinskom razgradnjom oslobađa se složena mješavina kemijskih tvari (Cronn i sur., 1983; McDonald i Wastney, 1995; Fraser i Swan, 1972; Roffael, 1987). Emisije plinova tijekom procesa sušenja mogu nastati kao produkt oslobađanja prirodnih hlapljivih komponenti, kao nusprodukt termičke razgradnje ili zbog degradacijskih i transformacijskih reakcija sa sušionicom i okolnim zrakom. Cronn i sur., (1983) navode da neugodni mirisi plinova iz sušionice mogu izazvati prigovore vezane za poštovanje ekoloških uvjeta, a katkad mogu prouzročiti i određene zdravstvene probleme. Uz istraživanje vakuumske sušenja (McDonald, Gifford, Dare i Steward, 1999a) prikazan je način na koji je moguće spriječiti ispuštanje potencijalno opasnih tvari u atmosferu zahvaljujući mogućnosti uklanjanja vlage i hlapljivih komponenti iz sušionice u obliku kondenzata.

Termička obrada drva omogućila je poboljšanje svojstava drva na nekoliko načina. Kao najveća prednost drva obrađenog na taj način ističe se njegova otpornost na napad gljiva, bez naknadne uporabe zaštitnih sredstava (Kamdem, Pizzi i Triboulot, 2000). Sama obrada ima manje nepovoljan utjecaj na okoliš, a drvu se ima poboljšava vodootpornost i povećava dimenzijska stabilnost na utjecaj promjenjivih uvjeta vlažnosti. Tamnija boja te karakterističan intenzivan miris termički obrađenog drva znakovi su stvaranja derivata ekstraktivnih tvari, lignina, hemiceluloze i celuloze. Daljnjim reakcijama navedenih tvari nastaju polimolekularni aromatski ugljikohidrati. S obzirom na to da je otrovnost bilo kojeg proizvoda danas vrlo važna, potrebno je detaljnije istražiti razgradnju nastalih spojeva.

2. DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA 2 RECENT RESEARCHES

Termička razgradnja drva bitno utječe na emisije organskih tvari. Kemijske analize drva prije termičke obrade pokazale su stabilnost kemijskih komponenti drva (celuloze, hemiceluloze i lignina) na temperaturama do 100 °C, ali se iznad te temperature sve komponente počinju mijenjati. Prema istraživanjima koja su proveli Marutzky i Roffael (1977), formaldehid nastaje termičkom razgradnjom lignina i ostalih ugljikovodika, neovisno o temperaturi.

Zabrinutost za stanje okoliša zbog ispuštanja hlapljivih organskih tvari sve je veća jer su oni mogući uzročnici fotokemijskog nastanka ozona i drugih atmosferskih oksidanata i aerosola. Mehanizam nastanka ozona iz ugljikohidrata nejasan je i obuhvaća složene fotokemijske reakcije među reaktivnim ugljikohidratima, dušičnim dioksidom i sunčevom svjetlosti. Nije poznato ni to koliko ugljikohidrati pridonose nastanku ozona s obzirom na to da je utvrđeno kako neki terpeni ubrzano reagiraju s ozonom, pri čemu nastaju oksidirani kemijski spojevi i aerosoli. Primjerice, produkti oksidacije α -pirena bili su formaldehid, aceton, pinonaldehid i glikosal. Rice je (1995) je uz pomoć mutagenih i citotoksičnih testova kondenzata nastalog u sušionici utvrdio da ugljikohidrati minimalno utječu na nastanak ozona, bez obzira na otrovnost nekih tvari (primjerice formaldehida) nastalih u postupku sušenja.

Nedavna istraživanja količine ugljika oslobođenog u procesu sušenja borovine pri temperaturama od 100/70 °C (temperatura suhog termometra/temperatura vlažnog termometra), provedena su prema metodi 25A Agencije za zaštitu okoliša (EPA – Environmental Protection Agency) za područje SAD-a (NCASI, 1996; Shimulsky, 2000a, b, c; Ingram et al., 2000). Tom se metodom, karakterističnom za određivanje emisije ugljika, procjenjuje stanje atmosfere u sušionici uz pomoću ionizacije zraka plamenom. Prema tim istraživanjima, dominantnu grupu oslobođenih tvari, osim vodene pare, čine spojevi na bazi ugljika, u obliku

plinovitih i aerosolnih organskih spojeva. Osnovni hlapljivi organski sastojci (VOC) bili su monoterpeni, među kojima je β -pinen tipičan predstavnik (Cronn i sur., 1983; McDonald i Wastney, 1995; Mc Donald i sur., 1999b). Osim hlapljivih organskih komponenti, pronađene su i znatne količine nehlapljivih komponenti poput masnih kiselina dugih molekularnih lanaca.

Iako monoterpeni imaju točku vrenja veću od radnih temperatura u sušionici (od 150 do 180 °C), njihova je zastupljenost u emisijama plinova iz sušionice znatna. Ta se pojava pripisuje visokom tlaku vodene pare. Primijećeno je da su monoterpeni skloni reakcijama s drvom, pa se smanjuje njihova koncentracija u usporedbi s koncentracijama koje se mogu predvidjeti na temelju vrijednosti tlaka vodene pare (NCASI, 1983).

U istraživanjima postupka vakuumske sušenja jasenovine, bukovine i hrastovine utvrđeno je da se kondenzat sastoji od mravlje kiseline, octene kiseline, levulinskih kiselina, furfurala, hidroksimetil-furfurala, formaldehida i acetaldehida (Bicho i sur., 1996). Kislost tih kondenzata vrlo je velika (pH 3,0±3,6) i imaju vrlo velik COD broj (kemijski zahtjev za kisikom: COD - *chemical oxygen demand*) od približno 300 mg/l. Bicho i sur. (1996) djelomice su karakterizirali kondenzate koji se stvaraju tijekom radiofrekventno/vakuumske sušenja drva duglazije, sekvoje i čuge, za koje je utvrđeno da su ekstremno toksični prema nekim vrstama gljiva i bakterija. Također je poznat negativan utjecaj nekih hlapljivih komponenti na ljudsko zdravlje pa se u sklopu ove studije proučavala mogućnost obrade kondenzata radi smanjenja toksičnosti i veličine iznosa BOD (engl. BOD – biokemijska potreba za kisikom).

3. TVARI KOJE SE OSLOBAĐAJU TIJEKOM HIDROTERMICKIH POSTUPAKA

3 CHEMICAL COMPOUNDS RELEASED DURING HYDROTHERMAL TREATMENT

McDonald i sur. (2002.) sušili su 40,9 m³ borovine u industrijskoj sušionici. Piljenice debljine 41 mm sušene su na 100 °C suhog termometra i 70 °C vlažnog termometra (relativna vlažnost zraka 30%, ravnotežna vlaga drva 3%). Tijekom sušenja uzimani su uzorci zraka iz atmosfere unutar sušionice. Sušenje je trajalo ukupno 33 h, tijekom kojih je izdvojeno pet uzoraka koji su potom podvrgnuti kemijskoj analizi. Sušenju je prethodilo pretparenje u trajanju 4,5 i 7,5 h. Tijekom postupka oslobodile su se sljedeće kemijske komponente:

Aldehidi

Najveće koncentracije acetaldehida zabilježene su na početku (16 mg/m³ zraka) i na samom kraju (20,5 mg/m³ zraka) procesa sušenja. Koncentracija formaldehida kretala se od 0,4 do 3,1 mg/m³ zraka, a najveće vrijednosti zabilježene su na početku i na kraju procesa. U zajedničkoj su koncentraciji utvrđeni acetoni i akrolein, koji nastaju kao derivati dinitrofenilhidrazina (McDonald i sur., 2002).

Marutzky i Roffael (1977) navode da formaldehid nastaje zbog termičke dekompozicije lignina i ugljikovodičnog materijala, a ovisi o temperaturi. Ukupna količina formaldehida, acetaldehida i aldehida oslobođena tijekom sušenja u odnosu prema volumenu drva iznosi 1,05, 8,66 i 17,9 g/m³ drva. McDonald i Wastney (1995) navode da se visoke razine aldehida (20–31 g/m³ sirovog drva) otpuštaju tijekom visokotemperaturnog sušenja borovine pri temperaturama 120 i 140 °C. U ukupnoj emisiji tvari (izraženoj u g/m³ drva/h) količine formaldehid i acetaldehida, kao i ukupna količina aldehida, bile su relativno visoke s obzirom na činjenicu da je postupak sušenja proveden nakon pretparenja (u trajanju 4,7 i 7,5 h), a znatno su se snizile tijekom drugog uzimanja uzoraka. Tendencija smanjivanja nastavila se daljnjim tijekom postupka sušenja.

Formaldehid koji nastaje u postupku sušenja ima najveće ekološko značenje zbog svoje kancerogenosti, te je na listi otrovnih tvari, onečišćivača zraka (NN 92/1993). Poznato je da formaldehid ima kronični utjecaj na ljude pri razinama manjim od 0,4 mg/m³ (MFE, 1994). Na izlazima za zrak iz sušionica za većinu je kontroliranih procesa ustanovljena koncentracija formaldehida od 0,4 do 3,1 mg/m³ zraka (McDonald i sur., 2002).

Najveća koncentracija acetaldehida utvrđena istraživanjem McDonalda i sur. (2002) bila je 20,5 mg/m³ zraka. Nakon otpuštanja iz sušionica u atmosferu aldehidi se intenzivno miješaju s okolnim zrakom.

Tvari polarne prirode

Ukupne količine metanola i etanola oslobođene tijekom cijelog procesa bile su 28,6 i 74,9 g/m³ drva. Kosik i sur. (1968) navode da je nastanak metanola rezultat demetilacije 4-O-metil-D-glukuronske kiseline koja čini oko 1,6 % težine bjeljike bora (*Pinus radiata*). Podrijetlo etanola još je uvijek nejasno. Veći dio metanola i etanola oslobađa se na početku sušenja i njihova se količina s vremenom smanjuje. Iako se metanol smatra nepovoljnim za ljudsko zdravlje, njegova pojava u sušionici nema negativan utjecaj na okoliš. Najveća koncentracija metanola oslobođenoga iz sušionice iznosila je približno 51 mg/m³ zraka.

Ukupne količine octene i mravlje kiseline oslobođene tijekom procesa sušenja bile su 13,1 i 7,7 g/m³ drva. Pokazalo se da količina octene i mravlje kiseline stupnjevitom raste s vremenom, a na kraju sušenja se smanjuje. Lindberg i Rosell (1974) navode da octena kiselina u hlapljivim emisijama plinova iz sušionice potječe od O-deacetilacije drvnih hemiceluloza. Prema mjerenjima koja su proveli McDonald i Wastney (1995), količina octene kiseline neznatno je manja od količine izmjerene tijekom sušenja borovine u sušionici pri temperaturama od 120 i 140 °C (22 i 38 g/m³) zraka. Najveća koncentracija mravlje kiseline od 18,8 mg/m³ zraka i octene kiseline od 43,5 mg/m³ zraka pojavila se pri kraju sušenja.

Hlapljive organske tvari u drvu

Da bi se utvrdilo postojanje monoterpena, analiziran je sirovi uzorak i uzorak drva osušen u sušionici.

Podaci dobiveni masenom spektrometrijom pokazuju smanjenu količinu hlapljivih organskih komponenti u drvu osušenoj u sušionici. Ukupne koncentracije hlapljivih komponenti u sirovom i osušenom drvu iznose su 239 g/m³ i 71,3 g/m³ drva. Najveći udio tvari identificiranih u sirovom drvu činili su α -pinen, β -pinen, limonen, β -felandren, 1,4-terpineol i α -terpineol. Osim monoterpena, u kondenzatu su ustanovljeni i neutralni diterpeni, poput pimarinal dehidroabietata i metil dehidroabietata. S obzirom na već poznate podatke utvrđena je viša razina monoterpena u sirovom drvu borovine, a količina se kretala između 67 i 210 g/m³ drva (McDonald i sur., 1999a). Glavne hlapljive organske tvari u osušenom drvu kojih nema u sirovom drvu bili su furfural i neutralni diterpeni. Furfural je nastao razgradnjom pentoza i njegov nastanak u drvu ovisi o pH-vrijednosti i temperaturi.

Hlapljive organske komponente koje se oslobađaju tijekom sušenja

Glavna tvar utvrđena u kondenzatu bila je α -terpineol. Od ostalih tvari u manjim je količinama ustanovljen 1,4-terpineol, endo-borneol i fenhol. Utvrđeno je postojanje α -pinena, kamfena, β -pinena i limonena. Prema Burdon i sur. (1992) te McDonald i sur. (1999b), ti su monoterpeni česti sastojci borovine.

Dvije glavne komponente ispuštene u okolni zrak bile su α -pinen i β -pinen. Koncentracije α -pinena kretale su se u rasponu od 53,7 do 228 mg/m³ zraka, a β -pinena od 120 do 474 mg/m³ zraka. Te su se koncentracije između šestog i devetog sata sušenja smanjile oko tri puta. Ukupna količina α -pinena, β -pinena te ukupne količine hlapljivih organskih tvari oslobođenih tijekom sušenja iznosile su 119, 251 i 405 g/m³ drva. Niže vrijednosti ukupnih količina monoterpena utvrđene su tijekom proučavanja kondenzata iz vakuumske sušionice prilikom sušenja borovine na 80 °C (McDonald i sur. 1999a). Rezultati tih istraživanja upućuju na činjenicu da postoji znatna varijacija izmjerenih razina ukupnih hlapljivih organskih komponenti koje se ispuštaju iz sušionica. Pri takvim istraživanjima potrebno je uzeti u obzir dob drveta i stanište na kojem je drvo raslo te skladištenje i način izrade uzoraka jer sve to može utjecati na koncentraciju monoterpena u drvu. Navedeni podaci upućuju na činjenicu da se količine emisije znatno smanjuju tijekom prvih deset sati sušenja i da smanjenje emisije organskih hlapljivih komponenti s vremenom prati trend jednak trendu krivulje sušenja. S obzirom na zastupljenost hlapljivih organskih komponenti istraživanje njihove moguće uloge u nastajanju fotooksidanata kao što je ozon ima iznimno veliko ekološko značenje. Ozon je poznat kao intenzivan onečišćivač atmosfere jer je oksidant i nanosi velike štete na šumama u Europi i Sjevernoj Americi. Poznate su i druge reakcije između ozona i organskih hlapljivih komponenti koje mogu uzrokovati stvaranje različitih organskih tvari u atmosferi. Iako su hlapljive organske tvari označene kao jedan od mogućih uzroka atmosferskog ozona, to još uvijek nije potvrđeno.

4. USPOREDBA PRIKAZANIH REZULTATA I PROPISA U HRVATSKOJ

4 COMPARISON OF RESEARCH RESULTS AND REGULATIONS IN CROATIA

Dopuštene koncentracije i emisije štetnih tvari u Hrvatskoj su regulirane jednim pravilnikom Ministarstva rada i socijalne skrbi i jednom uredbom Vlade Republike Hrvatske. Pravilnikom o maksimalno dopustivim koncentracijama štetnih tvari u atmosferi radnih prostorija i prostora i o biološkim graničnim vrijednostima (NN 92/1993) propisane su maksimalno dopustive koncentracije (MDK) i kratkotrajne dopustive koncentracije (KDK) pojedinih štetnih plinova, para i aerosola u zraku radnih prostorija. Vrijednosti MDK i KDK za tvari ustanovljene u atmosferi sušionica dane su u tablici 1, iz čega je vidljivo da su tijekom sušenja izmjerene koncentracije mravlje kiseline, octene kiseline i formaldehida nešto veće od kratkotrajno dopustivih koncentracija.

Granične vrijednosti emisija štetnih tvari u zrak iz industrijskih pogona, tehnoloških procesa te uređaja i objekata iz kojih se onečišćujuće tvari ispuštaju u zrak definirane su Uredbom o graničnim vrijednostima emisija onečišćujućih tvari u zrak iz stacionarnih izvora (NN 140/1997). Tom su uredbom štetne tvari razvrstane u tri razreda štetnosti. Za tvari koje pripadaju prvom razredu štetnosti granična vrijednost emisije pri masenom protoku od 100 g/h iznosi 20 mg/ml. Od tvari emitiranih u procesima sušenja u prvi razred štetnosti ubrajaju se formaldehid i mravlja kiselina. U drugi razred štetnosti pripada octena kiselina, a granična vrijednost emisije pri masenom protoku 2000 g/h iznosi 100 mg/ml. Za treći razred štetnosti propisana granična vrijednost emisije iznosi 150 mg/ml pri 3000 g/h, a toj skupini pripadaju acetaldehid i pinen.

Valja imati na umu da se rezultati prikazani u ovom radu ne mogu iskoristiti za ocjenjivanje stanja emisija štetnih tvari u hrvatskim sušionicama. Osim specifičnih uvjeta sušenja, dodatne probleme pri usporedbi stvara i borovina (*Pinus radiata*), na kojoj su obavljena ispitivanja, a koja se u Hrvatskoj rijetko rabi kao pilanska sirovina, dok pretežni dio piljene građe koja se suši čini drvo listača koje ima svoje specifičnosti.

5. ZAKLJUČAK

5 CONCLUSION

U ukupnoj emisiji plinova iz sušionice prevladavaju monoterpeni, od grupe spojeva najviše ima α -pinena i β -pinena, a od ostalih važnijih kemijskih komponenti koje se nalaze u emisiji iz sušionice pronađeni su etanol, metanol te mravlja i octena kiselina. Iznosi emisije kemijskih tvari iz sušionice bile su najveće tijekom početnog dijela sušenja, odnosno u prvih deset sati sušenja. Najveća emisija octene i mravlje kiseline izmjerena je nakon 25 sati sušenja. Koncentracija formaldehida rasla je prema kraju postupka sušenja.

Ukupna izmjerena količina monoterpena u atmosferi sušionice u usporedbi s ukupnom količinom desti-

Tablica 1. Usporedba koncentracija štetnih tvari dobivenih u obrađenim istraživanjima s maksimalno dopustivim (MDK) i kratkotrajno dopustivim (KDK) koncentracijama pojedinih štetnih tvari (plinova, para i aerosola) u zraku radnih prostorija – važeći hrvatski propisi (masno otisnuti brojevi – prekomjerne vrijednosti)

Table 1 Comparison of concentrations of harmful substances measured in researches with maximum allowed concentrations and short term allowed concentrations of specific harmful substances (gases, steams and aerosoles) in the working environment – applicable Croatian regulations (bold – exceeding values)

Kemijski spoj <i>Chemical compound</i>	Najveća koncentracija izmjerena u istraživanjima¹ <i>Maximum measured concentration¹⁾</i>	Maksimalno dopustiva koncentracija (MDK) (NN 92/1993) <i>Maximum allowed concentration NN 92/1993</i>	Kratkotrajno dopustiva koncentracija (KDK) (NN 92/1993) <i>Short term allowed concentrations NN 92/1993</i>
	mg/m ³ zraka	mg/m ³ zraka	mg/m ³ zraka
metanol <i>methanol</i>	51,3	260	310
mrvlja kiselina <i>formic acid</i>	18,8	9	18
octena kiselina <i>acetic acid</i>	43,5	23	37
formaldehid <i>formaldehyde</i>	3,14	0,6	3
aracetaldehid <i>acetaldehyde</i>	20,5	90	270
pentanal <i>pentanal</i>	0,37	175	-
furfural <i>furfural</i>	1,02	8	-

¹ Prema McDonaldu et al., 2002.

liranih tvari iz sirovoga i suhog drva pokazuje da se u postupku sušenja puno više tvari emitira u zrak od tvari koje se izlučuju u destilatu. Istaknute su prevelike koncentracije određenih tvari u usporedbi s važećim hrvatskim propisima koje se oslobađaju u procesima sušenja. S obzirom da se istraživanja baziraju na borovini, potrebno bi bilo napraviti detaljno istraživanje u Hrvatskoj na domaćim vrstama drva, te nakon toga napraviti suporedbu s važećim propisima i istraživanjima provedenim van granica Hrvatske.

Namjena rezultata je procjena mogućeg utjecaja na okoliš novoinstaliranih sušionica te modeliranje daljnjeg mogućeg utjecaja postupka sušenja na okoliš.

6. LITERATURA 6 REFERENCES

- Bicho, P.A.; Chen, T.; Avramidis, S.; Zwick, R.L.; Breuil, C.; Saddler, J.N. 1996: Characterisation and treatment of condensates generated from softwoods that have been radio-frequency/vacuum kiln dried. *For. Prod. J.* 46(10): 51–56.
- Burdon, R.D.; Gaskin, R.E.; Low, C.B.; Zabkiewicz, J.A. 1992: Clonal repeatability of monoterpene composition of cortical oleoresin of *Pinus radiata*. *N. Z. J. For. Sci.* 22: 299–305.
- Kamdem, D.P.; Pizzi, A.; Triboulot, M.C. 2000: Heat-treated timber: potentially toxic byproducts presence and extent of wood cell wall degradation. *Holz als Roh- und Werkstoff* 58, Springer-Verlag, p. 253–257.
- Cronn, D.R.; Truitt, S.G.; Campbell, M.J. 1983: Chemical characterisation of plywood veneer dryer emissions. *Atmospheric Environment* 7:201–211.
- Fraser, H.S.; Swan, E.P. 1972: Chemical analyses of veneer-dryer condensates. Canada Forest Service Western Products Lab. Information report VP-X-101.
- Ingram, Jr. L.L.; Shmulsky, R.; Dalton, A.T.; Taylor, F.W.; Templeton, M.C. 2000: The measurement of volatile organic emissions from drying southern pine lumber in a laboratory-scale kiln. *Forest Prod. J.* 50(4): 91–94.
- Kosik, M.; Herain, J.; Domansky, R. 1968: Pyrolysis of beech wood at low temperatures. IV. Basic views on the formation of volatile products. *Holzforschung Holzverwertung* 20:56–59.
- Lindberg, B.; Rosell, K.G. 1974: Hydrolysis and migration of O-acetyl groups during the preparation of chlorite holocellulose. *Svensk Papperstidning* 77: 286.
- Marutzky, V.R.; Roffael, E. 1977: On the formaldehyde liberation by drying of wood chips. *Holzforschung* 31: 8–12.
- McDonald, A. G.; Dare, P. H.; Gifford, J. S.; Steward, D.; Riley, S. 2002: Assessment of air emissions from industrial kiln drying of *Pinus radiata* wood. *Holz als Roh- und Werkstoff* 60, Springer-Verlag, pp. 181–190.
- McDonald, A. G.; Gifford, J. S.; Dare, P.H.; Steward, D. 1999a: Characterisation of the condensate generated from vacuum-drying of radiata pine wood. *Holz als Roh- und Werkstoff* 57, Springer-Verlag, pp. 251–258.
- McDonald, A.G.; Steward, D.; Franich, R.A. 1999b: Monoterpene composition of radiata pine (*Pinus radiata* D.Don) sapwood from a 13 year old progeny trial. *Holz Roh- Werkstoff* 57: 301–302.
- McDonald, A.G.; Wastney, S. 1995: Analysis of volatile emissions from kiln drying of radiata pine. In *Proceedings of the 8th International Symposium of Wood and Pulping Chemistry*. Helsinki, June 6–9, Vol. III, pp. 431–436.

14. Rice, R.W. 1995: Assessing human health and environmental effects related to drying wood. In: Measuring and controlling volatile organic compounds and particulate emissions from wood processing operations and wood-based products. Forest Products Society, 2801 Marshall Court, Madison, WI, USA, pp. 14–16.
15. Roffael, E. 1987: Drying of pine particles and the effect on the strength of particle board. In: Proc. of the Washington State University Particleboard Symposium, No. 21: 361–381.
16. Roffael, E. 1993: Formaldehyde release from particleboard and other wood based panels. Malayan Forest Records No. 37, pp. 119–137.
17. Shmulsky, R. 2000a: Influence of lumber dimensions on VOC emissions from kiln-drying loblolly pine lumber. Forest Prod. J. 50(3): 63–66.
18. Shmulsky, R. 2000b: Influence of drying schedule on VOC emissions from kiln-drying loblolly pine lumber. Forest Prod. J. 50(4): 45–48.
19. Shmulsky, R. 2000c: End-grain influence on VOC emissions from kiln-drying loblolly pine lumber. Forest Prod. J. 50(5): 21–23.
20. *** MFE 1994: Ambient air quality guidelines. Published by the Ministry for the Environment, Wellington, New Zealand, p. 41.
21. NCASI (1983) A study of organic compound emissions from veneer dryers and means of their control. Technical Bulletin No. 405.
22. *** NCASI 1996: A small-scale study on method 25A measurements of volatile organic compound emissions from lumber drying. Technical Bulletin No. 718
23. *** NN 92/1993: Pravilnik o maksimalno dopustivim koncentracijama štetnih tvari u atmosferi radnih prostori-ja i prostora i o biološkim graničnim vrijednostima.
24. *** NN 140/1997: Uredba o graničnim vrijednostima emisije onečišćujućih tvari u zrak iz stacionarnih izvora.

Corresponding address:

Assist. Prof. STJEPAN PERVAN, PhD

Department for Material Technologies
University of Zagreb, Faculty of Forestry
Svetošimunska cesta 25
10002 Zagreb
Croatia
e-mail: pervan@sumfak.hr