

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Klemen BOŽIČ

**VPLIV VELIKOSTI IVERI NA EMISIJO
FORMALDEHIDA IZ ENOSLOJNE IVERNE
PLOŠČE**

DIPLOMSKO DELO

Visokošolski strokovni študij

Ljubljana, 2016

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Klemen BOŽIČ

**VPLIV VELIKOSTI IVERI NA EMISIJO FORMALDEHIDA IZ
ENOSLOJNE IVERNE PLOŠČE**

DIPLOMSKO DELO
Visokošolski strokovni študij

**INFLUENCE OF PARTICLE SIZE IN PARTICLEBOARD ON
EMISSION OF FREE FORMALDEHYDE**

GRADUATION THESIS
Higher professional studies

Ljubljana, 2016

Popravki:

Diplomsko delo je zaključek Visokošolskega študija lesarstva. Opravljeno je bilo na Katedri za lepljenje, lesne kompozite in obdelavo površin Oddelka za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani, kjer so bili v laboratoriju pripravljene lesni preizkušanci in opravljene meritve emisije prostega formaldehida.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega dela imenoval prof. dr. Sergeja Medveda, za recenzenta pa prof. dr. Milana Šerneka.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Diplomsko delo je rezultat lastnega raziskovalnega dela. Podpisani se strinjam z objavo svoje naloge v polnem tekstu na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je naloga, ki sem jo oddal v elektronski obliki, identična tiskani verziji.

Klemen Božič

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

- ŠD Vs
- DK UDK 630*862.2
- KG iverna plošča/iveri/prosti formaldehid/emisija
- AV BOŽIČ, Klemen
- SA MEDVED, Sergej (mentor)/ŠERNEK, Milan (recenzent)
- KZ SI-1000 LJUBLJANA, Rožna dolina, c. VIII/34
- ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
- LI 2016
- IN VPLIV VELIKOSTI IVERI NA EMISIJO FORMALDEHIDA IZ ENOSLOJNE
IVERNE PLOŠČE
- TD Diplomsko delo (visokošolski strokovni študij)
- OP VII, 26 str., 6 pregl., 5 sl., 17 vir.
- IJ sl
- JJ sl/en
- AI Formaldehid je prisoten povsod v našem okolju. Emisija formaldehida iz lesnih plošč je primarno posledica rabe lepil na osnovi formaldehida. Na samo emisijo formaldehida lahko vplivajo tudi morfološke značilnosti gradnika v plošči. Raziskovali smo vpliv velikosti iverja v iverni plošči na vsebnost prostega formaldehida. Iz lesa smreke (*Picea abies L.*) smo naredili 3 iverne plošče iz različnih velikosti iveri, za lepljenje pa smo uporabili melamin-urea-formaldehidno lepilo. Emisijo formaldehida smo določili po steklenični metodi (SIST EN 717-3). Vsebnost prostega formaldehida v iverni plošči se z uporabo različnih velikosti iverja spreminja. Ugotovili smo, da je emisija največja pri uporabi najmanjših gradnikov.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Vs

DC UDC 630*862.2

CX particle board/bark/free formaldehyde/emission

AU BOŽIČ, Klemen

AA MEDVED, Sergej (supervisor)/ŠERNEK, Milan (reviewer)

PP SI-1000 LJUBLJANA, Rožna dolina, c. VIII/34

PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology

PY 2016

TI INFLUENCE OF PARTICLE SIZE IN PARTICLEBOARD ON EMISSION OF FREE FORMALDEHYDE

DT Graduation Thesis (Higher professional studies)

NO VII, 26p., 6 tab., 5 fig, 17 ref.

LA sl

AL sl/en

AB Formaldehyde is present every where in our environment. Formaldehyde emission from wood based panels is mainly due to use of formaldehyde based adhesives. Formaldehyde emission is also influenced by morphological characteristics of constituents in panels. Influence of size of constituents (particles) on emission of formaldehyde was investigated. Three particle boards from spruce wood (*Picea abies L.*) with different particles sizes were made in laboratory conditions. For bonding melamine-urea-formaldehyde adhesive was used. Formaldehyde emission was determined by flask method (SIST EN 717-3). The highest emission was determined when smaller particles were used.

KAZALO VSEBINE

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO PREGLEDNIC	VII
KAZALO SLIK	VIII
1 UVOD	1
1.1 OPREDELITEV PROBLEMA.....	2
1.2 CILJ RAZISKOVANJA	2
2 PREGLED OBJAV	3
3 MATERIAL IN METODE DELA	7
3.1 MATERIAL.....	7
3.1.1 Iveri.....	7
3.1.2 Lepilo	7
3.2 METODE DELA	7
3.2.1 Izdelava plošč	7
3.2.2 Določanje vlage	9
3.2.3 Določanje gostote	10
3.2.4 Merjenje ph iverja	10
3.2.5 Določanje emisije formaldehida	12
4 REZULTATI.....	15
4.1 VLAŽNOST PREISKUŠANCEV	16
4.2 GOSTOTA IVERNE PLOŠČE	17
4.3 VREDNOSTI pH.....	18
4.4 MERJENJE VSEBNOSTI PROSTEGA FORMALDEHIDA	19

5	RAZPRAVA IN SKLEPI.....	21
5.1	RAZPRAVA.....	21
5.2	SKLEPI.....	23
6	VIRI	24
	ZAHVALA	

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Emisijski razredi ivernih plošč v Evropi glede na ppm perforator vrednosti (Roffael 2006).....	4
Preglednica 2: Povprečna debelina, gostota, vsebnost vlage in formaldehida glede na velikost gradnikov.....	15
Preglednica 3: Vlažnost preizkušancev v %.....	16
Preglednica 4: Povprečna gostota preizkušancev.....	17
Preglednica 5: Izmerjene vrednosti pH.....	18
Preglednica 6: Povprečne vrednosti emisije formaldehida (mgHCHO/kg).....	19

KAZALO SLIK

Slika 1: Razporeditev sit v laboratorijskem sejalniku	8
Slika 2: pH titracija.....	11
Slika 3: Skica določanja emisije formaldehida po steklenični metodi	12
Slika 4: Spektrofotometer.....	13
Slika 5: Vpliv gostote na emisijo prostega formaldehida.....	22

1 UVOD

Večina lepil, ki jih uporabljamo v proizvodnji lesnih ploščnih kompozitov, vsebuje formaldehid. Do emisije prostega formaldehida pride zaradi presežka formaldehida, ki je potreben za proces utrjevanja lepila. Ta presežek formaldehida oz. nezreagirani ali šibko vezan formaldehid, se kasneje sprošča v okolico. Formaldehid lahko dodatno nastane tudi s hidrolizo že utrjenega lepila in zaradi degradacijskih procesov v lesu.

Vpliv vrste lesa na emisijo prostega formaldehida je povezan s kemijsko zgradbo posamezne lesne vrste, oz. deležem posamezne komponente kot so hemiceluloze-polioze, tanin, lignin in ekstraktivi. Te komponente so namreč sposobne vezave formaldehida nase. Les lahko vsebuje tudi fenolom podobne komponente, ki se vežejo s formaldehidom in posledično zmanjšujejo tudi emisijo formaldehida. Prav tako pa je v lesu že manjša količina formaldehida, ki variira v odvisnosti od lesne vrste in lokacije znotraj drevesa. Poleg kemijskih sestavin dokazano vpliva na emisijo prostega formaldehida tudi velikost in vlažnost gradnikov oziroma vlažnost plošče (Medved, 2008).

Za izdelavo ivernih plošč se uporabljajo gradniki različnih velikosti in sicer fine frakcije za zunanji in velike za srednji sloj. Temu primerno se spreminja tudi delež lepila s katerim oblepljamo gradnike.

Pri ugotavljanju vpliva velikosti iverja na stopnjo oblepljenosti je Dunky (1988) ugotovil, da porazdelitev lepila ni bila enakomerna pri vseh frakcijah, ampak je bilo na večjih frakcijah več lepila. Avtor je svojo ugotovitev razlagal predvsem z velikostjo kapljice lepila, ki naj bi bila večja kot je širina finejših delcev. Ugotovil je, da večja specifična površina finejšega iverja ne pomeni tudi večje stopnje oblepljenosti iverja. Ravno tako je ugotovil, da normalna količina lepila ne zagotavlja enakomerne oblepljenosti vsega iverja, ampak bo več lepila na večjem iverju.

1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

V lesnih ploščah so zaradi samih lastnosti plošče iveri različnih velikosti (zunanji sloj finejši, srednji sloj večji gradniki). Kakšna je sestava lesne plošče je odvisno od lesne surovine in samega postopka izdelave iveri pa tudi od debeline in zelene gostote plošč. Ker je delež dodanega lepila odvisen od sloja (posledično velikosti gradnikov), nas zanima stopnja emisije formaldehida v odvisnosti od velikosti uporabljenih gradnikov.

1.2 CILJ RAZISKOVANJA

Cilj raziskovanja je ugotoviti, kako velikost gradnikov iverne plošče vpliva na emisijo formaldehida.

2 PREGLED OBJAV

Urea- formaldehidno (UF) lepilo je zelo razširjeno v proizvodnji furnirnih in ivernih plošč, pri proizvodnji ploskovnega pohištva in polproizvodov. Odlikujejo ga predvsem enostavna uporaba, trdni lepilni spoji, brezbarvnost lepilnega spoja, cenenost in možnost modificiranja z drugimi lepili. Njegove pomanjkljivosti so slaba odpornost proti vlagi in vodi, hidroliza lepilnega spoja, trdota - velika obraba rezil, padanje trdnosti z debelino lepilnega spoja in sproščanje formaldehida (Šernek, 2005).

Do emisije prostega formaldehida iz iverne plošče pride zaradi presežka prostega formaldehida, ki je potreben za proces kondenzacije. Ta formaldehid je ujet v obliki plina v utrjenem lepilnem filmu. Formaldehid je ujet tudi v lesnih celicah, iz katerih počasi izhaja v okolico. Pri hidrolizi pride do nastanka dodanega formaldehida v utrjenem filmu. Hidrolizo sprožimo pri dovajanju toplotne energije in s spreminjanjem vlažnosti v procesu stiskanja ali s prenizko pH vrednostjo lepila oziroma iverja (Medved, 2002).

Za ugotavljanje prostega formaldehida v ploščah poznamo več metod:

- metoda komore SIST EN 717/1
- metoda plinske analize SIST EN 717/2
- steklenična metoda SIST EN 717/3
- perforator metoda SIST EN 120

Preglednica 1: Emisijski razredi ivernih plošč v Evropi glede na ppm in po perforator vrednosti (Roffael 2006)

Standard	Metoda	Emisijski razred	(mg HCHO/kg)
EN 13986	Metoda komore SIST EN 717/1 Perforator metoda SIST EN 120	E1-PB, MDF, OSB	$\leq 0,1$ ppm $\leq 8\text{mg}/100\text{g}$
	Metoda komore SIST EN 717/1 Metoda plinske analize SIST EN 717/2	E1-PW	$\leq 0,1$ ppm $\leq 3.5 \text{ mg/h}^* \text{ m}^2$
	Metoda komore SIST EN 717/1 Perforator metoda SIST EN 120	E2-PB, MDF, OSB	>0.1 ppm $>8 - \leq 30\text{mg}/100\text{g}$
	Metoda komore SIST EN 717/1 Metoda plinske analize SIST EN 717/2	E2-PW	>0.1 ppm $> 3.5 \leq \div$ $8.0\text{mg/h}^* \text{ m}^2$

1 ppm = 1,2 mg formaldehida v 1m^3 zraka mg formaldehida/100 g atro plošče

PB - iverna plošča

MDF - vlaknena plošča srednje gostote

PW - vezana plošča

OSB - plošča z usmerjenim ploščatim iverjem

atro- v absolutno suhem stanju

V Evropi je Nemčija vodilna država pri izdajanju predpisov, kot tudi pri zmanjševanju emisij formaldehida iz lesnih plošč. Zato tudi ostale evropske države sledijo Nemčiji in njihovim visokim standardom.

Danes je v Evropi dovoljena uporaba plošč, ki sodijo v E₁ emisijski razred. (UL EU, 2009)

Emisijo prostega formaldehida iz iverne plošče lahko znižamo na več načinov:

- Uporaba osnovne plošče emisijskega razreda E1 ali nižje
- z uporabo lepil, ki ne vsebujejo formaldehida ali lepila z nizkim deležem formaldehida
- uporaba vlažnejšega iverja; več formaldehida izhaja že v samem procesu stiskanja, ko odvečna para izhlapi
- z lovilci prostega formaldehida
- z večjim deležem iveri večjih gradnikov
- z večanjem debeline plošče
- oblepljanje robov in površin elementa (furnir, folija, laminati in razna premazna sredstva)
- količina nanesenega lepila in temperatura stiskanja
- z ustrežnejšim razmerjem med formaldehidom in ureo, melaminom in fenolom
- pH reakcije (pri nižjem pH izhaja manjša količina formaldehida v okolico)

V procesu utrjevanja lepila se formaldehid absorbira v komponente lesa in kasneje postopoma emitira v okolico. Od količine metiolnih skupin v neutrjenem UF lepilu pa je odvisna količina formaldehida, ki izhaja iz iverne plošče v procesu utrjevanja. Vsebnost teh skupin narašča z naraščanjem pH reakcije. Z naraščanjem temperature in pH reakcije, narašča tudi količina formaldehida, ki emitira v okolico (Tohmura in sod., 2000).

V lesu prav tako obstaja manjša količina naravnega formaldehida, ki variira v odvisnosti od lesne vrste. Tako imajo iglavci običajno več formaldehida kot listavci. Količina tega formaldehida je odvisna tudi od lokacije znotraj drevesa (jedrovina – beljava). Lelis (1993, 1994) je v svoji raziskavi dokazal manjše emisije formaldehida iz plošč, ki so iz jedrovine, kot pa plošč iz beljave.

Neorganske snovi ne vplivajo direktno na emisijo formaldehida iz lesa. Vsaka drevesna vrsta ima svoje značilne emisije formaldehida zaradi svoje obstoječe kemične sestave. Lignin sprošča bistveno več formaldehida kot ogljikovi hidrati (Roffael, 2006). Celuloza v lesu je visoko kristalinična, s 65% območij, ki imajo kristalno obliko, ostala področja so amorfná- z nižjo gostoto. Celuloza dokazano emitira le minimalno količino formaldehida (Schafer in Roffael, 2006). Pentoze in heksoze so monosaharidi, ki sestavljajo hemicelulozo in pri višjih temperaturah oddajajo več formaldehida kot celuloza in škrob. Obdelava lignina s kislinami lahko privede do sprostitve formaldehida. Kalish je 1969 leta ugotovil, da plošče, narejene iz iverja jedrovine, emitirajo veliko več formaldehida kot tiste, ki so narejene iz iverja beljave.

3 MATERIAL IN METODE DELA

V laboratorijskih pogojih smo izdelali tri iverne plošče, ki so vsebovale različno velike gradnike. Za lepljenje smo uporabili melamin-urea-formaldehidno lepilo. Emisijo formaldehida smo določili po steklenični metodi (SIST EN 717-3).

3.1 MATERIAL

3.1.1 Iveri

Iveri smo izdelali iz smrekovih sekancev (*Picea abies L.*). Sekance smo dobili pri podjetju GG Postojna.

3.1.2 Lepilo

Za lepljenje smo uporabili melamin-urea-formaldehidno lepilo Meldur H97 (Melamin Kočevje). Kot utrjevalec smo uporabili 20% vodno raztopino utrjevalca amonijevega sulfata (Sigma-Aldrich).

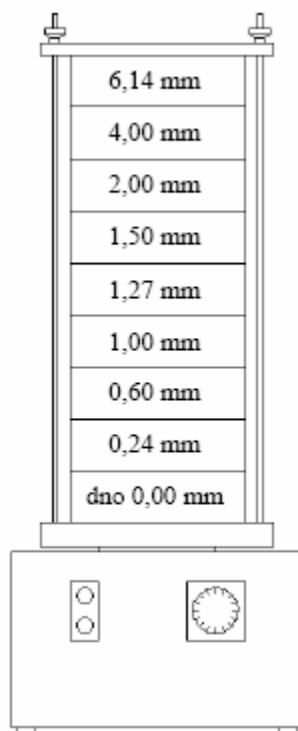
3.2 METODE DELA

3.2.1 Izdelava plošč

Sveže sekance smreke smo iverili v laboratorijskem iverilniku Condux LT 61. Iveri smo nato posušili v laboratorijski sušilni komori Heraeusvotsch VTRK 500 MU. Iveri smo sušili 24 ur pri temperaturi 70°C.

Posušene iveri (vlažnost približno 10%) smo nato sortirali glede na velikost. Sortiranje smo izvedli z laboratorijskim sejalnikom Pal LT 62 (slika 1). Iveri smo razvrstili po velikosti in sicer:

- Veliki gradniki: ostanek na situ 4 in 6,14 (oznaka A).
- Srednje veliki gradniki: ostanek na situ 1,5 in 2 (oznaka B).
- Majhni gradniki: ostanek na sitih 1,27; 1; 0,60; 0,237 (oznaka C).



Slika 1: Razporeditev sit v laboratorijskem sejalniku

Iveri smo nato oblepili v laboratorijskem stroju za oblepljanje Lodige LT 64. Delež lepila (MUF) je bil 10% (masa suhega lepila/masa suhega lesa). Lepilu smo dodali utrjevalec (3%). Razpršitev lepila smo dosegli s pomočjo stisnjenega zraka (tlak 3,5 bar). Postopek oblepljanja je trajal okoli 10 minut. Oblepljene iveri smo natresli v lesen okvir dimenzij 500×500 mm².

Iverno pogačo smo nato stisnili v laboratorijski stiskalnici pri temperaturi 190 °C in tlaku 3 N/mm². Debelino stiskanja smo regulirali z distančno letvijo. Čas stiskanja je bil 3 minute.

Po končanem stiskanju smo plošče 60 minut ohlajali pri sobnih pogojih, nato pa sedem dni klimatizirali v normalni klimi (20°C/65 % RZV). Po klimatiziranju smo plošče razžagali na preskušance velikosti 50 mm x50 mm x16 mm.

3.2.2 Določanje vlage

Vsebnost vlage smo določili po standardu SIST EN 322. Preskušance smo stehali in jih postavili za 16 ur v sušilnik s temperaturo 103 ± 2°C. Iz razlik mas smo izračunali vlažnost preskušancev po formuli:

$$H = \frac{m_H - m_0}{m_0} \times 100 \quad \dots(1)$$

H... vlažnost lesa (%)

m_H... masa vlažnega lesa (g)

m₀... masa absolutno suhega lesa (g)

3.2.3 Določanje gostote

Gostoto smo določali po standardu SIST EN 323. Gostota je količnik med maso in volumnom. Izražamo jo v enotah g/cm^3 .

$$\rho = \frac{m}{l \times w \times t} \quad \dots(2)$$

Preizkušancem smo izmerili:

- Debelino t [mm] z mikrometrom na 0,01 mm natančno.
- Dolžino l [mm] in širino w [mm] z elektronskim kljunastim merilom na 0,01 mm natančno.
- Maso m [g] z elektronsko tehtnico na 0,01 g natančno.

3.2.4 Merjenje pH iverja

pH vrednost iveri smo ugotavljali s pomočjo Subramanainove metode (Medved in Resnik, 2004), pri kateri ugotovimo kolikšen je delež skupnih kislin v lesu. Gre za vodotopne kisline, ki se z vodo izločijo in pa netopne kisline (v vodi), ki sodelujejo pri reakciji utrjevanja (deloma same, deloma pa s povišano temperaturo).

3.2.4.1 Ekstrakcija z destilirano vodo

Iveri smo sušili v sušilniku pri temperaturi 105°C in nato ohladili na 20°C . Nato smo 25 g iveri stresli v laboratorijsko čašo in dodali 300mL destilirane vode. Vzorce smo pustili namočene 24 ur. Po pretečenem času smo ekstrat filtrirali in nato iveri izprali štirikrat z

175mL destilirane vode. Filtratu in izpirancu smo dodali še toliko destilirane vode, da smo skupaj dobili 1000mL.

3.2.4.2 Ekstrakcija z natrijevim acetatom

Postopek je podoben kot pri ekstrakciji z destilirano vodo, le da se tu namesto 300mL destilirane vode doda 300mL 0,1 M natrijevega acetata. Pri izpiranju prvič uporabimo 175mL 0,1 M natrijevega acetata, za naslednja tri izpiranja pa 175 mL destilirane vode.

3.2.4.3 pH titracija

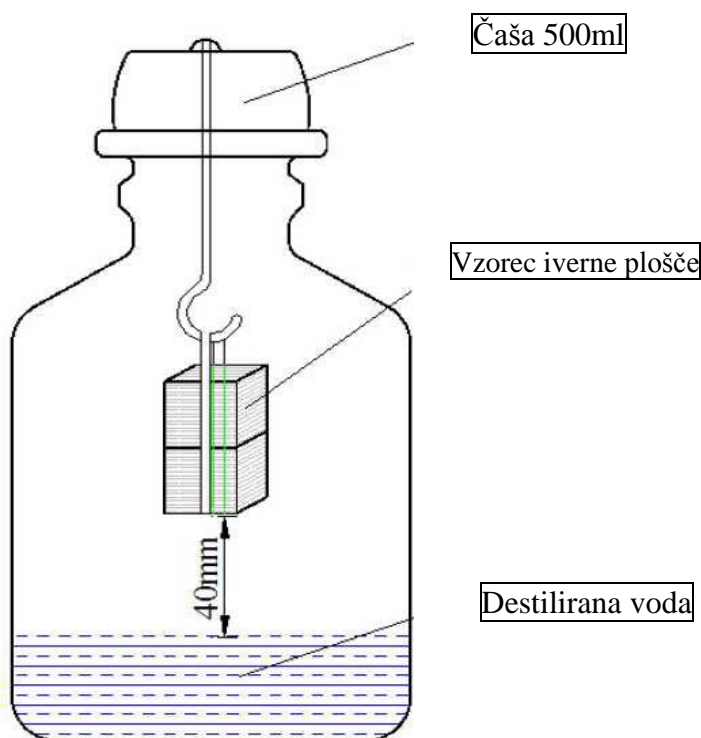
V čašo smo odpipetali 200mL ekstrata (aliquot) od skupnega volumna 1000mL (filtrat in izpirek) ter izmerili pH vrednost pri konstantnem mešanju z magnetnim mešalom. Alikvotu smo dodali 0,1mL 0,1M natrijevega hidroksida, ter po 2 minutah ponovno izmerili pH vrednost (slika 3). Postopek smo ponavljali dokler pH ni konstanten.



Slika 2: pH titracija

3.2.5 Določanje emisije formaldehida

Emisijo formaldehida smo določili po standardu SIST EN 717-3 (steklenična metoda). Za izvedbo poskusa smo uporabili tri polipropilenske steklenice, katere smo napolnili s 50 mL destilirane vode. Na pokrov steklenice smo z elastično gumico privezali preizkušanec (4 cm nad površino vode). Za vsako različico smo opravili dve meritvi. Stekleničke (slika 4) smo postavili v komoro, kjer smo jih pri $40 \pm 1^\circ\text{C}$ pustili 180 ± 1 minut.



Slika 3: Skica določanja emisije formaldehida po steklenični metodi

Po preteku časa smo stekleničke ohladili na sobno temperaturo in odpipetirali 10mL ekstrakta iz stekleničke in mu dodali 10mL acetilacetona in 10mL amonijevega acetata. Omenjena reagenta sta potrebna da poteče reakcija s formaldehidom, zaradi katere se tekočina obarva v rumeno barvo. Kivete smo zaprli, premešali in postavili v sušilnik za 15 min pri $T= 40^{\circ}\text{C}$. Po preteku časa smo kivete za eno uro postavili v temen prostor, da se ohladi in dokončno poteče reakcija med komponentami. Za merjenje količine formaldehida v vodni raztopini smo uporabili spektrofotometer Jenway, model 6405. Meritve smo opravili pri valovni dolžini 412 nm.



Slika 4: Spektrofotometer

Enačba za izračun vsebnosti prostega formaldehida pri vlažnosti H po steklenični metodi:

$$F_v = \frac{(A_s - A_B) \times f \times 50 \times 10 \times (100 + H)}{m_H} \quad \dots(3)$$

A_s ... absorpcija ekstrahirane raztopine v mg/ml

A_B ... absorpcija slepega poizkusa v mg/ml

f ... naklon standardne krivulje mg/mm

H ... vlažnost preizkušanca v %

m_H ... masa preizkušanca v g

S_v ... steklenična vrednost v mg/kg suhe plošče

4 REZULTATI

V preglednici 2 so prikazane povprečne vrednosti debeline, gostote, vlažnosti in emisije formaldehida glede na velikost gradnikov uporabljenih za izdelavo plošče.

Preglednica 2: Povprečna debelina, gostota, vsebnost vlage in formaldehida glede na velikost gradnikov

	Povprečna Debelina (mm)	Povprečna vlažnost (%)	Povprečna gostota (g/ cm ³)	Povprečna emisija formaldehida (mg HCHO/kg)
Plošča A	17,295	7,90	0,698	2,11
Plošča B	16,298	7,70	0,735	2,85
Plošča C	15,898	6	0,765	2,99

Kot opazimo iz dobljenih rezultatov, smo najmanjše vrednosti emisije formaldehida ugotovili pri plošči z največjimi gradniki, kjer smo ugotovili tudi najmanjšo gostoto, največjo debelino in največjo vsebnost vlage. Emisija formaldehida se z večanjem debeline in vlažnosti zmanjšuje, medtem ko se z večanjem gostote povečuje.

Z večjim deležem iveri manjših gradientov se gostota povečuje, debelina pa zmanjšuje. Manjše iveri lahko bolj stisnemo, imajo manj praznih prostorov med sabo kot večje iveri, zato tudi večja gostota in manjša debelina.

4.1 VLAŽNOST PREISKUŠANCEV

V preglednici 3 so podatki o vlažnosti posameznih plošč. Rezultati so bili pridobljeni po gravimetrični metodi.

Preglednica 3: Vlažnost preskušancev v %

		Meritev 1	Meritev 2	Meritev 3	Meritev 4	Meritev 5	Meritev 6
Plošča A	H(%)	8,03	8,05	7,64	7,72	8,35	7,56
	H(%)	7,89					
Plošča B	H(%)	8,31	7,96	7,54	7,63	7,27	7,56
	H(%)	7,69					
Plošča C	H(%)	6,13	5,49	6,17	6,70	6,32	5,22
	H(%)	5,96					

Velikost gradnikov iveri uporabljenih za izdelavo plošče vpliva na vlažnost. Vidimo lahko, da se z velikostjo gradnikov iveri vlažnost spreminja. Pri iverih največjih gradnikov je vlažnost največja, zato ker je plošča bolj porozna in absorbira več vlage.

4.2 GOSTOTA IVERNE PLOŠČE

Že iz podatkov v literaturi (Medved in Resnik, 2003; Fan in sod., 2009; Turner in Kern 1950, Kollmann 1975) je bilo mogoče zaslediti, da velikost gradnikov vpliva tako na debelino, kakor tudi na gostoto ivernih plošč. Podobno smo ugotovili tudi v naši raziskavi (preglednica 4).

Preglednica 4: Povprečna gostota preizkušancev

	Povprečna debelina (mm)	Povprečna gostota (g/cm ³)
Plošča A	17,295	0,698
Plošča B	16,298	0,735
Plošča C	15,898	0,765

Razlike v debelini plošče in tudi gostoti so posledica različnih velikosti gradnikov iveri. Gradniki se po odpiranju stiskalnice skušajo povrniti v nedeformirano stanje. Pojavu s tujko pravimo tudi »springback« efekt. Ta efekt pa je večji pri iverih večjih gradientov, kar opazimo tudi iz naših rezultatov. Posledica tega pojava je različna gostota in debelina plošče glede na velikost gradnikov. Pri nastanku gostotnega profila moramo upoštevati več dejavnikov. Eden bolj pomembnih je velikost gradnikov. Plošča z večjimi gradniki predstavlja večjo oviro pri prehodu toplote in vlage. Ta dva parametra pa sta bistvenega pomena za plastifikacijo delcev, ki bi pri plošči z največjimi gradniki iveri morala med stiskanjem potekati bolj intenzivno za doseganje višje gostote.

Ugotovimo lahko, da z naraščanjem debeline gostota plošč pada. Manjše iveri lahko bolj stisnemo kot večje, zato ima plošča z najmanjšimi ivermi največjo gostoto in tudi najmanjšo debelino.

4.3 VREDNOSTI pH

V preglednici 5 so navedene vrednosti pH glede na velikost gradnikov iveri.

Preglednica 5 : Izmerjene vrednosti pH.

	pH
Plošča A	6,81
Plošča B	7,39
Plošča C	6,94

Ker so rezultati med meritvami zelo podobni in se ne razlikujejo veliko lahko trdimo, da ni večjih razlik med ploščami.

4.4 MERJENJE VSEBNOSTI PROSTEGA FORMALDEHIDA

Emisija formaldehida je povezana z velikostjo gradnikov, kar lahko vidimo v preglednici 6.

Preglednica 6: Povprečne vrednosti emisije formaldehida (mg HCHO/kg)

		Meritev 1	Meritev 2	Meritev 3	Meritev 4
Plošča A	Fv(mgHCHO/kg)	2,11	2,11	2,11	2,12
	Fv(mgHCHO/kg)	2,11			
Plošča B	Fv(mgHCHO/kg)	2,82	2,83	2,83	2,83
	Fv(mgHCHO/kg)	2,83			
Plošča C	Fv(mgHCHO/kg)	2,97	2,98	3,01	3,01
	Fv(mgHCHO/kg)	2,99			

Iz rezultatov je razvidno, da ima najnižjo emisijo formaldehida (2,11 mg HCHO/kg) plošča, ki je narejena iz največjih iveri. Najvišjo emisijo formaldehida ima plošča, ki je narejena iz najmanjših iveri (2,99 mg HCHO/kg).

Iverne plošče z manjšimi gradniki oddajo večjo količino prostega formaldehida. Opažanja so v skladu z navedbami iz literature, da na količino sproščenega formaldehida vpliva sestava iverne plošče. Na emisijo vpliva gostota, debelina, vlažnost iverne plošče in pa velikost gradnikov. Vpliv debeline plošč na emisijo formaldehida je ugotavljal tudi Pirkmaier (1993) in ugotovil, da z naraščanjem debeline emisija formaldehida pada.

Na emisijo formaldehida ima velik vpliv relativna zračna vlažnost okolja in posledično tudi vsebnost vlage v plošči. Ploščni kompoziti se uporabljajo v najrazličnejših klimatskih pogojih, ki z vidika emisije formaldehida niso zanemarljiv dejavnik. Višja kot je vlažnost plošče, več formaldehida izhaja že v fazi stiskanja, pozneje je manjša emisija, ker ni toliko pare, ki veže nase formaldehid.

5 RAZPRAVA IN SKLEPI

5.1 RAZPRAVA

Na vsebnost prostega formaldehida v iverni plošči vplivajo velikosti gradnikov oz. iveri. Pri iverih večjih gradnikov, je manjši faktor oblepljanja zaradi večje specifične površine. Zaradi manjšega faktorja oblepljanja se je naredil tanjši film lepila in hitreje je prišlo do procesa utrjevanja kot pri debelejšem filmu lepila. Zaradi hitrejše utrditve lepila imamo užete formaldehidne enote in zato je emisija formaldehida manjša.

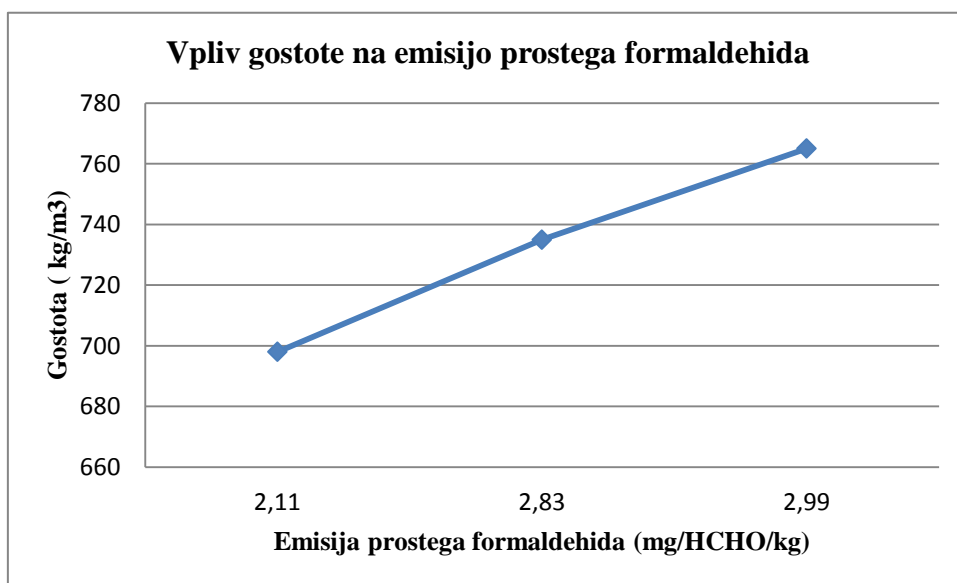
Opažanja so v skladu z navedbami iz literature, da na količino sproščenega formaldehida vpliva tudi sestava materiala. V našem primeru smo izdelali tri iverne plošče z različnimi velikostmi iveri. Večji delež iveri večjih gradnikov pomeni večji delež materiala s poroznejšo strukturo in nižjo prostorninsko maso. To pa so dejavniki, ki vplivajo na lažje oziroma hitrejše sproščanje prostega formaldehida.

Naraščanje debeline plošče zniža emisijo formaldehida zaradi manjše gostote plošče in težje difuzije pri višji gostoti plošče.

Med vrednostmi pH smrekovih iveri glede na njihovo velikost ni prišlo do tako velike razlike, da bi to vplivalo na rezultate emisij formaldehida. Ugotovljeno je bilo, da velikost iverja ne vpliva na pH vrednost iverja.

Višja vlažnost gradientov iveri povzroči hitrejši prenos toplote v iverni plošči medtem ko se voda upari. Ko pride lepilo v stik s toploto se prične segrevati, zmanjša se mu viskoznost kar pomeni, da se zmanjša odpornost proti tečenju. Lepilo se tako lažje razliva in poveča se mu penetracija oz. prodor v iveri. Plošča največjih gradnikov iveri po končanem stiskanju hitreje sprejme vlago iz okolja, kot plošče manjših gradnikov iveri. Večji gradniki so manj stisnjeni oziroma manj zgoščeni zato hitreje absorbirajo vlago.

Sklepamo lahko, da je pri iverah večjih gradnikov zaradi prehajanja večje količine vlage in toplote v fazi stiskanja, prišlo do manjše emisija prostega formaldehida.



Slika 5: Vpliv gostote na emisijo prostega formaldehida

Iverna plošča z najvišjo gostoto je imela največjo vrednost emisije prostega formaldehida. Prehod toplote je hitrejši pri iverah večjih gradnikov, zato je tudi emisija formaldehida najmanjša.

5.2 SKLEPI

Glede na dobljene rezultate opravljene raziskave lahko podamo naslednje ugotovitve:

- Emisija formaldehida narašča z zmanjševanjem velikosti gradnikov.
- Gostota plošč je pri manjših gradnikih večja in posledično je tudi emisija formaldehida večja.
- Emisija formaldehida narašča s padanjem vlažnosti.
- Z manjšanjem debeline plošče se emisija formaldehida zmanjšuje.

6 VIRI

Bučar Gornik D., Medved S. 2000. Ugotavljanje prostega formaldehida v lesnih tvorivih.
Zbornik gozdarstva in lesarstva, 63: 27–46

Čermak M. 1996. Furnirji in plošče. Ljubljana, Lesarska založba: 204 str.

Čermak M. 2013. Lepila in materiali za površinsko obdelavo in zaščito lesa.

<http://www.cpi.si/files/cpi/userfiles/Ucbeniki/LepilainMaterialiZaPovrsinskoObdelavo.pdf>
(2.1. 2013)

Dunky M. 1998. Ure- formaldehyde (UF) adhesive resinsfor wood. International Journal
of Adhesion & Adhesives, 18: 95-107

Formaldehyde, Wikipedia (2013)

<http://sl.wikipedia.org/wiki/Formaldehid> (2.1 2013)

Gorišek Ž. 2009. Zgradba in lastnosti lesa - njegova variabilnost in heterogenost.
Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 178 str.

Irle M., Belloncle C., Guezguez B. 2008. Freeformaldehyde-wherecan i find it? V:
International panel productssymposium: 31–37

Medved S. 2002. Iverne plošče in prosti formaldehid (6.1 2013)

http://www.gzs.si/slo/panoge/zdruzenje_lesne_in_pohistvene_industrije/zaprte_strani_za_cilan_e_zdruzenja/strokovna_podrocja/lesna_tvoriva/7230 (4.1.2013)

- Medved S., Resnik J. 2003 Influence of beach particle size used in surface layer on Bending strenght o fthree-layer particle board. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 72: 197-207
- Pirkmaier S. 1988. Formaldehid v ploščah, pohištvu in okolju. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo.
- Resnik J. 1989. Lepila in lepljenje lesa. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 30–48
- Tišler V. 1981. Priloga k poznavanju razgradnje urea- formaldehidnega lepila, uporabljenega v proizvodnji iverk. Magistrska radnja. Zagreb: 99 str.
- Tohmura S., HseCh-Y., Higuchi M. 2000. Formaldehyde emission andhigh-temperature Stability of curedurea-formaldehyde resins. Journal of Wood Science, 46: 303-309
- Tsoumis G. 1991. Scienceand Tehnology of Wood, Structure, Properties, Utilization. Kaltenengers, Verlag Kessel: 361-387
- Uradni list Evropske unije L 320. 5.december. 2009

ZAHVALA

Hvala mentorju prof. dr. Sergeju Medvedu za vso pomoč pri eksperimentalnem in pisnem delu diplomske naloge.

Zahvalil bi se tudi prof. dr. Milanu Šerneku za strokovno recenzijo diplomskega projekta.

Posebna zahvala gre tudi moji družini, ki mi je stala ob strani in me podpirala celo študijsko obdobje.