

ANALÝZA KONDENZÁTU ZE SUŠENÍ DŘEVA V KONDENZAČNÍ SUŠÁRNĚ ŘEZIVA

A. Dejmal, J. Zejda

Došlo: 2. července 2008

Abstract

DEJMAL, A., ZEJDA, J.: *The analysis of condensate fluid from wood drying in the condensation drying kiln*. Acta univ. agric. et silvic. Mendel. Brun., 2008, LVI, No. 5, pp. 31–38

Some associated substances which are not innate to the drying wood may be evaporated together with moisture to the surrounding environment during the drying process. These substances in high concentrations can be dangerous and have negative influence on the living environment. This work deals about the results of expertize condensation arose during the drying of spruce wood. Wet spruce lumber was dried by dehumidification system with low temperature conditions (55 °C). The analysis of condensate fluid (water) collected during the first part of drying process shows on a content of some volatile organic compounds. The condensed fluid was got from drying of spruce timber of 24 mm of width. The timber was dried in a small semi industrial scale drying kiln when the moisture of the lumber was 56% in the beginning of the process. Volume of the lumber under examination was 2.2 m³. The condensate fluid was originally from down pipe. The condensate fluid was collected during the initiatory phase of the drying, four hours after the initiation of the drying process itself. First, the value of pH of the condensate fluid was measured. Determination of volatile organic compounds was done by accredited method SOA-16. The concentration of these substances were under the limits set in the statute No. 61/2003 Law Digest.

VOC, dehumidification system, drying, spruce

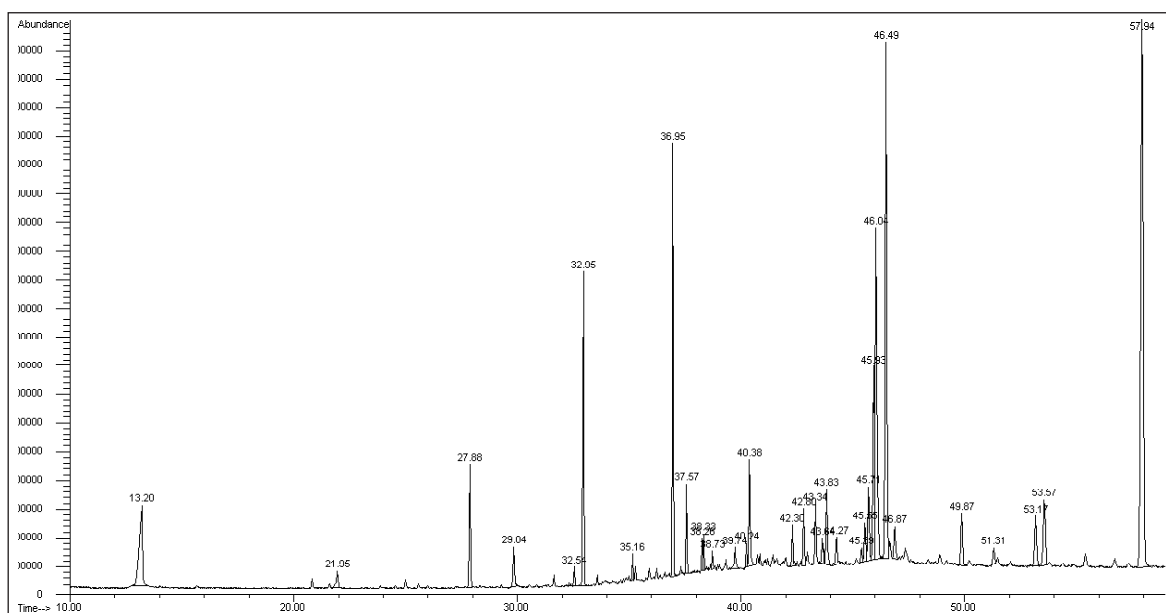
Sušení řeziva v kondenzačních a vakuových sušárnách je spojeno se vznikem odpadní látky. Touto látkou je zkondenzovaná voda, která je v průběhu sušicího procesu postupně odstraňována ze dřeva. Voda může obsahovat různé látky, které by v nadlimitním množství mohly při volném vypouštění do okolí poškozovat životní prostředí (Gandelová, Horáček, Šlezingerová; 1996). Princip uvedených sušáren spočívá v tom, že voda odpařená ze dřeva není vypouštěna do okolí ve formě vodní páry, tak jako u většiny běžných komorových sušáren řeziva, ale kondenzuje uvnitř pracovního prostoru sušárny na chladné části tepelného čerpadla (TČ), odkud je odváděna ve formě kapaliny – kondenzátu (Trebula, 1996). Analýza chemického složení kondenzátu je proto jednou z možností jak identifikovat a stanovit množství nebezpečných látek, které by se při sušení dřeva mohly dostat do okolního prostředí (Bučko, 2001).

Vzhledem k významu a závažnosti ochrany životního prostředí byl uskutečněn experiment, jehož cílem bylo provést rozbor kondenzátu vzniklého při sušení smrkového řeziva v kondenzační sušárně. Ko-

morových kondenzačních sušáren řeziva je v současnosti v provozu poměrně značné množství. Proto je důležitá a aktuální otázka chemického složení odpadního kondenzátu, který je tímto typem sušáren řeziva produkován a provozovateli zpravidla vypouštěn do kanalizace. Současné moderní laboratorní přístrojové vybavení umožňuje relativně jednoduchou, rychlou a přesnou analýzu vzniklé odpadní vody.

Ústav nauky o dřevě LDF MZLU v Brně vlastní pro výukové a výzkumné účely kondenzační sušárnu řeziva. Experimentální materiál (kondenzát) byl získán při sušení řeziva přímo v areálu laboratoří a dílen LDF MZLU v Brně. Pro účely experimentu byla použita technika mikroextrakce na vlákno (metoda SPME) a plynová chromatografie ve spojení s hmotnostně selektivním detektorem (technika GC-MS).

Kromě základních složek, kterými jsou celulóza, hemicelulóza a lignin, obsahuje dřevo značné množství doprovodných látek. Jejich počet je poměrně vysoký, ale ve dřevě se vyskytují v relativně malých množstvích. Některé tyto látky se dají ze dřeva extrahovat. Ve dřevě jsou obsaženy jak látky anorganické



2: Celkový chromatogram z analýzy

VÝSLEDKY

Orientačně byla změřena kyselost vzorku pomocí univerzálního indikátorového papírku. Hodnota pH vzorku kondenzátu byla v rozmezí 5–6, vzorek je tedy mírně kyselý.

Výsledky stanovení těkavých organických sloučenin v kondenzátu, meze stanovitelnosti použité metody a limitní hodnoty přípustného znečištění povrchových a odpadních vod podle Nařízení vlády č. 229/2007 Sb. jsou uvedeny v tabulce I. Ve vzorku kondenzátu byly stanoveny tyto sloučeniny: toluen, ethylbenzen, m,p-xylen, o-xylen, n-propylbenzen, 1,2,4-trimethylbenzen, 1,3,5-trimethylbenzen, p-isopropyltoluen a naftalen v koncentracích od 0,09 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ pro 1,2,4-trimethylbenzen až po 4,95 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ u toluenu. Všechny tyto látky patří do skupiny alkyl-aromatických sloučenin, jejich koncentrace je možné porovnat s limitními hodnotami určenými nařízením vlády. Obvyklé koncentrace v povrchových vodách v České republice jsou pro toluen od hodnot pod mezí stanovitelnosti až do ~3 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$, ethylbenzen, m,p-xylen a o-xylen bývají obvykle přítomny ve stopách pod mezí stanovitelnosti. Ve vzorku kondenzátu se vyskytovaly další alkyl-aromáty ve stopách: benzen, styren, isopropylbenzen, sec-butilbenzen a n-butilbenzen. Identifikovány byly také stopy 1,2-dichlorpropanu. Další chlorované nebo bromované sloučeniny ve vzorku obsaženy nebyly.

Ve vzorku byly identifikovány přírodní látky ze skupiny alifatických alkoholů, aldehydů, karboxylových kyselin, esterů, alkyl-aromátů, dále terpeny a terpenoidy.

Přítomny byly alkoholy butanol a 2-ethylhexanol, alifatické aldehydy s počtem atomů uhlíku

$\text{C}_9\text{--C}_{13}$. Ve vzorku byla identifikována ve větším množství kyselina octová, dále kyselina hexanová a kyselina nonanová. Kyselina šťavelová a kyselina mravenčí ve vzorku přítomny nebyly. Nalezeny byly 2 isomery β -methyl- γ -oktalaktonu. Nalezena byla skupina acetátů: butyl acetát, butoxy-ethyl acetát a oktyl acetát a další estery: isoamyl benzoát, ethyl para-ethoxybenzoát, isopropyl laurát (dodekanoát) a isopropyl myristát (tetradekanoát). Ve vzorku byly přítomny terpeny a terpenoidy (kyslíkaté deriváty terpenů). Byly to monoterpeny α -pinen, kamfen, δ -3-karen, limonen, p-cymen (isopropyltoluen), seskviterpeny dehydro-isolongifolen, calacoren, α -cubeben, α -amorphen a α -copaen a terpenoidy eukalyptol, α -terpineol, verbenon, geranyl aceton, α -cadinol, τ -cadinol, β -eudesmol, 4-isopropyl-6-methyl-1,2,3,4-tetrahydronaphthalen-1-on.

Ve vzorku byly přítomny škodliviny ze skupiny těkavých organických látek (TOL), polycyklických aromatických sloučenin (PAH) a ftaláty. Ve vzorku se vyskytují TOL alkyl-aromatické látky: toluen, ethylbenzen, m,p-xylen, o-xylen, C3-benzeny a C4-benzeny uvedené v předchozím odstavci. Ze skupiny polycyklických aromatických sloučenin PAH jsou to: naftalen (limit 1 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$), acenaftylen, acenaften, fluoren, fenantren a anthracen (limit 0,1 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$). Dále byly přítomny polyaromáty bifenyl, 1-methylnaftalen, 2-methyl-naftalen, dimethyl-naftalen a dibenzofuran. Z látek používaných jako změkčovadla jsou to dibutyl ftalát a jeho dva izomery a 2,2,4-trimethyl-pentan-1,3-diol diisobutyrate.

Přehled identifikovaných sloučenin s plochou píku větší než 0,1 % včetně jejich retenčních časů (RT) a zařazení do skupin uvádí tabulka II.

I: Výsledky stanovení těkavých organických sloučenin v kondenzátu

Č.	Název sloučeniny	Jednotky	Vzorek kondenzátu	Meze stanovitelnosti	Limity
3	Dichlormethan	µg/l	<	1.00	10
7	Bromchlormethan	µg/l	<	0.50	
16	Dibrommethan	µg/l	<	0.50	
13	Tetrachlormethan	µg/l	<	0.10	1
8	Chloroform	µg/l	<	1.00	1
19	Bromdichlormethan	µg/l	<	0.05	
23	Dibromchlormethan	µg/l	<	0.05	
31	Bromoform	µg/l	<	0.05	
Suma trihalomethanů		µg/l			
2	1,1-Dichlorethylen	µg/l	<	1.00	
4	trans-1,2-Dichlorethylen	µg/l	<	0.50	10
6	cis-1,2-Dichlorethylen	µg/l	<	0.10	10
18	Trichlorethylen	µg/l	<	0.05	1
25	Tetrachlorethylen	µg/l	<	0.10	0.5
Suma ethylenů					
5	1,1-Dichlorethan	µg/l	<	0.10	
10	1,2-Dichlorethan	µg/l	<	0.10	1
11	1,1,1-Trichlorethan	µg/l	<	0.10	130
20	1,1,2-Trichlorethan	µg/l	<	0.10	
24	1,2-Dibromethan	µg/l	<	0.05	
26	1,1,1,2-Tetrachlorethan	µg/l	<	0.05	
33	1,1,2,2-Tetrachlorethan	µg/l	<	0.05	
Suma ethanů					
12	1,1-Dichlorpropen	µg/l	<	0.10	
9	2,2-Dichlorpropan	µg/l	<	0.50	
17	1,2-Dichlorpropan	µg/l	stopy	0.10	
22	1,3-Dichlorpropan	µg/l	<	0.10	
35	1,2,3-Trichlorpropan	µg/l	<	0.10	
50	1,2-Dibrom-3-chlorpropan	µg/l	<	0.10	
Suma propanů					
14	Benzen	µg/l	stopy	0.10	30
21	Toluen	µg/l	4.95	0.05	5
29	Ethylbenzen	µg/l	0.43	0.05	0.01
30	m,p-Xylen	µg/l	1.04	0.05	30
32	Styren	µg/l	stopy	0.05	
34	o-Xylen	µg/l	0.44	0.05	30
36	Isopropylbenzen	µg/l	stopy	0.05	1.4
38	n-Propylbenzen	µg/l	0.09	0.05	
41	1,2,4-Trimethylbenzen	µg/l	0.09	0.05	
43	1,3,5-Trimethylbenzen	µg/l	0.39	0.05	
42	tert-Butylbenzen	µg/l	<	0.05	
44	sec-Butylbenzen	µg/l	stopy	0.05	
47	p-Isopropyltoluen	µg/l	0.12	0.05	
49	n-Butylbenzen	µg/l	stopy	0.05	
52	Naftalen	µg/l	0.28	0.05	1
Suma alkyl-aromátů			7.83		
28	Chlorbenzen	µg/l	<	0.05	1
37	Brombenzen	µg/l	<	0.05	
39	2-Chlortoluen	µg/l	<	0.05	
40	4-Chlortoluen	µg/l	<	0.05	
45	1,3-Dichlorbenzen	µg/l	<	0.05	0.5
46	1,4-Dichlorbenzen	µg/l	<	0.05	0.5
48	1,2-Dichlorbenzen	µg/l	<	0.05	0.5
51	1,2,4-Trichlorbenzen	µg/l	<	0.05	0.4
54	1,2,3-Trichlorbenzen	µg/l	<	0.05	0.4
Suma chlor-aromátů					
53	Hexachlorbutadien	µg/l	<	0.05	0.1
	Suma Dichlorbenzenů	µg/l			0.5
	Suma Trichlorbenzenů	µg/l			0.4

Limity ... limitní hodnoty přípustného znečištění povrchových a odpadních vod podle Nařízení vlády č. 61/2003 Sb.

Stopy ... analyt byl ve vzorku identifikován, jeho koncentrace byla pod mezí stanovitelnosti

II: Přehled identifikovaných sloučenin s plochou píku větší než 0,1 %

Pk #	RT (min)	Area%	Název	Skupina
1	13.20	4.2	Acetic acid	kyseliny
2	20.82	0.2	Toluene	aromáty
3	21.95	0.5	Acetic acid, butyl ester	estery
4	27.88	2.5	Cyclotetrasiloxane, octamethyl-	siloxany
5	29.84	1.0	1-Hexanol, 2-ethyl-	alkoholy
6	31.64	0.2	Butyl glycol acetate	estery
7	32.54	0.3	Nonanal	aldehydy
8	32.95	5.4	Cyclopentasiloxane, decamethyl-	siloxany
9	33.57	0.2	n-Octyl acetate	estery
10	35.16	0.4	Decanal	aldehydy
11	35.29	0.2	l.-alpha.-Terpineol	terpeny
12	35.89	0.2	Naphthalene	polyaromáty
13	36.23	0.2	VERBENONE	terpeny
14	36.95	6.4	Cyclohexasiloxane, dodecamethyl-	siloxany
15	37.31	0.2	Undecanal	aldehydy
16	37.57	1.3	cis-.beta.-Methyl-.gamma.-octalactone	laktony
17	38.26	0.5	.beta.-methyl-.gamma.-octalactone	laktony
18	38.33	0.6	Naphthalene, 1-methyl-	polyaromáty
19	38.73	0.3	Naphthalene, 2-methyl-	polyaromáty
20	39.33	0.2	Dodecanal	aldehydy
21	39.74	0.6	1,1'-Biphenyl	polyaromáty
22	40.24	0.3	GERANYL ACETONE	terpeny
23	40.39	2.2	TETRADECAMETHYLCYCLOHEPTASILOXANE	siloxany
24	40.74	0.2	Naphthalene, dimethyl-	polyaromáty
25	40.85	0.2	unknown	
26	41.44	0.3	Tridecanal	aldehydy
27	42.30	0.9	Benzoic acid, 4-ethoxy-, ethyl ester	estery
28	42.80	1.3	ACENAPHTHENE	polyaromáty
29	42.97	0.5	4,5,9,10-DEHYDRO-ISOLONGIFOLENE	terpeny
30	43.34	1.7	CALACORENE	terpeny
31	43.64	0.7	Dibenzofuran	polyaromáty
32	43.73	0.3	Isopropyl dodecanoate	estery
33	43.83	1.9	PENTAN-1,3-DIOLDIISOBUTYRATE, 2,2,4-TRIMETHYL-	změkčovadla
34	44.27	0.7	HEXADECAMETHYLCYCLOOCTASILOXANE	siloxany
35	45.39	0.4	.alpha.-Cubebene	terpeny
36	45.55	1.1	9H-Fluorene	polyaromáty
37	45.71	2.0	.alpha.-amorphene	terpeny
38	45.93	4.5	.alpha.-cadinol	terpeny
39	46.04	10.4	.ALPHA.-COPAENE	terpeny
40	46.49	13.6	T-Cadinol	terpeny
41	46.66	0.6	unknown aldehyde	aldehydy
42	46.88	1.2	.BETA.-EUDESMOL	terpeny
43	47.35	0.6	1-Butanol, 3-methyl-, benzoate	estery
44	48.90	0.4	4-Isopropyl-6-methyl-1,2,3,4-tetrahydronaphthalen-1-one	terpeny
45	49.87	1.5	Isopropyl myristate	estery
46	51.31	0.4	unknown terpenoide	terpeny
47	53.17	1.6	1,2-Benzenedicarboxylic acid, dibutyl ester	změkčovadla
48	53.57	2.4	Phenanthrene	polyaromáty
49	55.41	0.5	1,2-Benzenedicarboxylic acid, dibutyl ester	změkčovadla
50	57.94	22.3	1,2-Benzenedicarboxylic acid, dibutyl ester	změkčovadla

Pozn.: Barevně jsou vyznačeny látky, které lze považovat za škodliviny

DISKUSE

Objemy těkavých organických látek, které vznikají při kondenzačním sušení smrkového řeziva a dostávají se do okolního prostředí, jsou podle současných hygienických kritérií z pohledu ochrany životního prostředí nevýznamné. Není proto v tomto případě v současnosti patrně důvod speciálně upravovat páru vypouštěnou z klasických komorových sušáren řeziva nebo kondenzát z kondenzačních sušáren z důvodu nadlimitního obsahu těkavých organických látek. Výsledky rozborů kondenzátu z průmyslového sušení dřeva z některých provozů

mohou být ovlivněny charakterem výroby a místně používanými těkavými chemickými látkami. S ohledem na různý obsah látek ve dřevě a jejich chemické složení lze předpokládat, že se podíl jednotlivých komponentů v kondenzátu může měnit v čase sušení, případně i se změnami parametrů sušicího prostředí; případně se změnou druhu sušeného dřeva. Vzhledem k tomu, že se nejedná o zařízení hermeticky uzavřené, může mít určitý vliv na složení kondenzátu i složení vzduchu v blízkém okolí kondenzační sušárny řeziva, zejména je-li umístěna v interiéru výrobní haly.

Rozbory škodlivosti vypouštěných látek se u nejvíce používaných sušáren (komorové sušárny s konvekčním ohřevem) neprovádějí z důvodů malých koncentrací a snadného rozptýlu škodlivin do ovzduší. Pouze u komor nad 50 m³ se stanovuje stupeň zápachu v jednotkách ou. Nebylo tedy možné porovnat výsledky z kondenzátu, který byl získán během sušení v kondenzačním sušárně.

Rozsah experimentu limitovaly vysoké finanční náklady na chemickou analýzu. V budoucnu by bylo žádoucí provést obdobný experiment s tím, že by se kondenzát odebíral v určitých časových intervalech v průběhu celého procesu sušení, při různých teplotách sušicího prostředí a u jiných druhů dřev.

ZÁVĚR

Zkoumán byl kondenzát získaný v počáteční fázi kondenzačního sušení mokrého smrkového ře-

ziva při teplotě sušicího prostředí 55 °C. K rozboru kondenzátu byla použita technika mikroextrakce na vlákno (metoda SPME) a plynová chromatografie ve spojení s hmotnostně selektivním detektorem. Výsledky experimentu ukázaly, že vzniklý odpadní kondenzát sice obsahuje určitý podíl sledovaných škodlivých látek, ale v množstvích, která vyhovují stávajícím vodohospodářským předpisům (Nařízení vlády č. 229/2007 Sb.). Při expertize se potvrdilo, že kondenzát obsahuje extraktivní látky, které se ve dřevě běžně vyskytují (Bučko, 2001), ale i látky, které dřevo nemůže obsahovat, a tudíž jimi musel být kondenzát dodatečně kontaminován z okolního prostředí. Siloxany nalezené v chromatogramu a uvedené v tabulce mohou být nečistoty z použité techniky a nepocházejí ze zkoumaného vzorku.

SOUHRN

V průběhu procesu sušení se mohou do ovzduší současně s odpařovanou vlhkostí dostat některé těkavé látky. Pokud by se tyto látky vyskytly ve větších koncentracích, mohou negativně ovlivnit životní prostředí. Tato práce se zabývá rozбором získaného kondenzátu vzniklého vysoušením smrkového řeziva kondenzačním způsobem při nízkých teplotách (55 °C). Předmětem rozboru byl kondenzát odebraný v počáteční fázi procesu sušení a výsledky ukazují na obsah některých těkavých organických sloučenin (TOL). Tento kondenzát byl získán vysoušením smrkového řeziva tloušťky 24 mm o počáteční vlhkosti 56 %. Řezivo bylo experimentálně sušeno v malé poloprovozní výzkumné sušárně nacházející se v prostorách MZLU v Brně. Celkový objem řeziva činil 2,2 m³. Zkoumán byl kondenzát z odpadního potrubí, který byl jímán v počáteční fázi procesu sušení přibližně po uplynutí 4 hodin od zahájení vlastního procesu sušení. V první fázi byla měřena hodnota pH vzorku kondenzátu. Stanovení obsahu TOL bylo provedeno akreditovanou metodou SOA-16 (Stanovení těkavých organických látek (TOL) ve vodách včetně odběru vzorků). Byla použita technika mikroextrakce na vlákno (metoda SPME) a plynová chromatografie ve spojení s hmotnostně selektivním detektorem (technika GC-MS).

Tento kondenzát byl následně podroben rozboru TOL na výskyt nadlimitních množství závadných látek vypouštěných do životního prostředí. Sušicí prostředí bylo nastaveno tak, aby odpovídalo standardním podmínkám sušení smrkového dřeva. S ohledem na různý obsah látek ve dřevě a jejich chemické složení lze předpokládat, že se podíl jednotlivých komponent v kondenzátu může měnit s časem sušení, případně i se změnami parametrů sušicího prostředí, případně se změnou druhu sušeného dřeva. Při samotném rozboru se potvrdil předpoklad, že kondenzát obsahuje extraktivní látky, které se ve dřevě běžně vyskytují (Bučko, 2001). Zároveň byly nalezeny i látky, které dřevo nemůže obsahovat, a tudíž jimi musel být kondenzát dodatečně kontaminován z okolního prostředí (zařízení sušárny). S ohledem na výsledné rozboru není nutné zavádět speciální opatření při likvidaci kondenzátu či par z vysoušení smrkového řeziva umělým sušením. Výsledky experimentu ukázaly, že vzniklý odpadní kondenzát sice obsahuje určitý podíl sledovaných škodlivých látek, ale v množstvích, která vyhovují stávajícím vodohospodářským předpisům.

VOC, vakuové sušení, smrk

PODĚKOVÁNÍ

Tato práce vznikla za podpory grantu MSM6215648902. Dále bychom rádi poděkovali RNDr. Aleně Ansorgové, Ph.D. za pomoc při zpracování chromatografického rozboru zkoumaného kondenzátu.

SUMMARY

Some volatile substances may be evaporated at the same time with the moisture during the drying process. If these substances occur in larger concentrations they can adversely affect the environment. This work deals with the analysis of the gained condensate fluid resulting from the spruce timber by

the condensing way at low temperatures (55 °C). The object of the analysis was the condensate taken in the initial phase of the drying process and the results show the content of certain volatile organic compounds. The condensed fluid was get from drying of spruce timbre of 24mm of width. The timbre was dried in a small semi industrials scale drying kiln, located in the MUAJ, when the moisture of the lumber was 56% in the beginning of the process. The total volume of timber amounted to 2.2 m³. Condensate from the waste pipe was investigated, which was obtained in the initial stage of the process of drying approximately after 4 hours from the start of the process of drying itself. In the first phase has been measured pH value of a sample of condensate. Determination of the content of VOC was carried out using accredited SOA-16 (determination of volatile organic compounds in the waters, including sampling). The used techniques were: micro extraction on thread (method SPME) and gas chromatography combined with mass selective detector (GC-MS technology).

The condensate was subsequently subjected to analysis of VOC for the presence of surplus quantity of harmful substances discharged into the environment. Drying environment has been set to correspond to standard conditions of drying of spruce timber. With regard to the content of different substances in wood and their chemical composition, it can be assumed that the proportion of individual components in the condensate can change with the time of drying, or possibly with changes of drying parameters, or eventually with the change of type of dried wood. The analysis confirmed the assumption that the extractive condensate contains substances that are commonly found in wood (Bučko, 2001). At the same time, there were found substances which can't be included in the wood. Therefore the condensate fluid had to be additionally contaminated by these substances from the surrounding environment (kiln equipment). With respect to the final analysis, there is no need to introduce special measures for the disposal of condensate fluid or vapor by artificial drying of timber. The results of the experiment showed that the resulting waste condensate fluid does include a proportion of monitored harmful substances, but in quantities that meet the current water regulations.

LITERATURA

- BUČKO, J., 2001: *Chemické spracúvanie dreva v teórii a praxi*. Technická univerzita vo Zvolene, ISBN 80-228-1089-4
- GANDELOVÁ, L., HORÁČEK, P., ŠLEZINGEROVÁ, J., 1996: *Nauka o dřevě*. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, ISBN 80-7157-194-6

- Nařízení vlády ČR č. 229/2007 Sb. (Limitní hodnoty přípustného znečištění povrchových a odpadních vod)
- PELEŠKA, K., 1963: *Přirozené sušení dřeva*, SNTL
- TREBULA, P., 1996: *Sušenie a hydrotermická úprava dreva*. Technická univerzita vo Zvolene, ISBN 80-228-0574-2

Adresa

Ing. Aleš Dejmal, Ph.D., Ing. Jiří Zejda, Ústav nauky o dřevě, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 602 00 Brno, Česká republika, e-mail: dejmal@mendelu.cz

