

**SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
MATERIÁLOVOTECHNOLOGICKÁ FAKULTA SO SÍDLOM V TRNAVE**

Ing. Annamarie Velič

Autoreferát dizertačnej práce

**Meranie a modelovanie emisií pachových látok
z procesu vysokoteplotného sušenia dreva pri
výrobe drevotrieskových dosák.**

**na získanie akademického titulu:
doktor („philosophiae doctor“ v skratke „PhD.“)**

v doktorandskom študijnom programe: Integrovaná bezpečnosť

v študijnom odbore: 8.3.5 bezpečnosť a ochrana zdravia pri práci

Forma štúdia: externá forma štúdia

Miesto a dátum: Trnava, máj 2020

Dizertačná práca bola vypracovaná na Ústave Integrovannej bezpečnosti Materiálovotechnologickej fakulty STU v Trnave.

Predkladateľ: **Ing. Annamarie Velič**

Materiálovotechnologická fakulta v Trnave
Ulica Jána Bottu č. 2781/25
917 24 Trnava

Školiteľ:

prof. Ing. Maroš Soldán, PhD.

Materiálovotechnologická fakulta v Trnave
Ulica Jána Bottu č. 2781/25
917 24 Trnava

Oponenti:

Autoreferát bol rozoslaný: 1.6. 2020

Obhajoba dizertačnej práce sa bude konať dňa: **19.8. 2020**,
miestnosť č. 235, na Ústave integrovanej bezpečnosti MTF,
Botanická 49, Trnava.

prof. Ing. Miloš Čambál, CSc.
Dekan fakulty

ABSTRAKT

VELIČ, Annamarie: *Meranie a modelovanie emisií pachových látok z procesu vysokoteplotného sušenia dreva pri výrobe drevotrieskových dosák.* [Dizertačná práca] - Slovenská technická univerzita v Bratislave. Materiálovotechnologická fakulta so sídlom v Trnave; Ústav integrovanej bezpečnosti – Školiteľ: prof. Ing. Maroš Soldán, PhD. Trnava: MTF STU, 2020, 105 s.

Dizertačná práca sa zaoberá environmentálnymi aspektami výroby drevotrieskových dosák so zameraním na emisie pachových organických látok z procesu vysokoteplotného sušenia drevnej hmoty a lisovania drevotriesky. V úvodnej časti je popísaný problém pachových látok, ktoré vznikajú z rôznych, a to najmä priemyselných prevádzok. Sú predstavené používané veličiny, definície a postupy vzorkovania a analyzovania koncentrácie pachových látok. Poskytnutá je taktiež legislatívu, ktorá sa týka regulácie zápachu v rôznych krajinách EÚ a Spojeného kráľovstva. Na experimentálnych meraniach pachových látok z výroby drevotrieskových dosák sú ukázané možnosti analýzy a vyhodnocovania zápachu z procesov sušenia a lisovania. Na záver sú zhodnotené možné spôsoby začiatku regulácie zápachu v krajine ako Slovenská republika, kde sa táto problematika doteraz rieši len okrajovo.

Kľúčové slová: výroba drevotrieskových dosák, pachové látky, zápach, meranie koncentrácie pachových látok, modelovanie šírenia zápachu.

Obsah

ÚVOD	3
1 ENVIRONMENTÁLNE ASPEKTY VYROBY DREVOTRIESKY.....	4
2 CIELE PRÁCE	5
3 METODIKA PRÁCE	6
4 VÝSLEDKY MERANÍ A DISKUSIA	9
5 ZÁVER	16
6 ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY	18
7 ZOZNAM PUBLIKÁCIÍ AUTORA	20

ÚVOD

Výroba drevotrieskových dosák je z hľadiska vplyvov na životné prostredie jednou z priemyselných výrob s nízkymi dopadmi na jeho jednotlivé zložky. Menej hodnoteným vplyvom, najmä na Slovensku, je zápach, ktorý vzniká počas výroby najmä pri vysokoteplotnom sušení dreva. Tento zápach je tvorený množstvom organických látok, prirodzene sa nachádzajúcich v dreve a vylúčených pri vysokej teplote sušenia. Zápach samotný v sebe nenesie žiadne zdravotné riziká pre obyvateľov, ktorí obývajú územie priľahlé k závodu, počas výraznej inverzie a koncentrácie vetra smerom k obydliam, môže však pôsobiť obťažujúco.

Na Slovensku doposiaľ nie sú stanovené limity na zápach a v čase prípravy tejto práce neboli u nás žiadne meracie skupiny, ktoré by boli akreditované na meranie zápachu. Meranie intenzity zápachu, miera obťažovania zápachovými látkami a ďalšie charakteristiky zápachu sú pritom v Európe bežnou praxou. V tejto dizertačnej práci sa preto venujeme aj porovnaniu riešenia problematiky zápachu v rôznych krajinách EÚ.

V práci sú popísané výsledky merania emisií pachových látok z výroby drevotriesky, metodika merania zápachu a porovnanie s limitmi v zahraničí. Analýza nielen celkového zápachu, ale tiež jednotlivých frakcií – t.j. organických látok s intenzitou zápachu, ktoré najviac vplývajú na celkový zápach je v práci detailne rozvedená. Navyac je aplikovaný disperzný model šírenia pachových látok.

Práca by mohla slúžiť ako príklad merania a vyhodnocovania zápachu pre iné priemyselné závody, ktoré svojou výrobou potenciálne obťažujú obyvateľov ich priľahlých štvrtí, či susediacich miest.

1 ENVIRONMENTÁLNE ASPEKTY VÝROBY DTD

Environmentálne vplyvy drevospracujúceho priemyslu na životné prostredie nie sú v porovnaní s inými priemyselnými odvetviami natoľko negatívne, napriek tomu sú pri ňom dotknuté takmer všetky zložky. Táto dizertačná práca sa primárne zaoberá emisiami a zvlášť emisiami pachových látok. Z hľadiska celkového objemu sú najpodstatnejšie emisie zo sušiarne triesok a z lisovania dosák. Keďže spaliny z kotolne sú vedené priamo do sušiarne, vo výduchu zo sušiarne sa miešajú emisie tak zo spaľovania drevnej biomasy a zemného plynu kde sa pri nábehu kotolne používa zemný plyn, ako aj zo samotného sušenia triesok. Vo všetkých nových závodoch na výrobu DTD sa na kontrolu emisií zo sušiarne a súčasne z kotolne používajú odlučovače, najčastejšie mokré elektrostatický filter (Wet Electrostatic Precipitator, WESP).

Zápach zo sušenia a lisovania dreva

Pri výrobe DTD sa uvoľňujú emisie organických látok a to najmä v časti sušenia dreva a v časti lisovania (Granström, 2009). Tieto dva hlavné zdroje emisií obsahujú rôzne prchavé organické látky (VOC), ktoré majú zapáchajúce vlastnosti (Johansson, 2004). Zloženie týchto VOC zo sušenia dreva závisí najmä: na druhu drevín, ktoré sú v sušiarňi (Schreiner, 2018; Wang, 2017; Marutzky, 1978; Granström, 2003; Sassoli, 2017), typu sušiarne (Manninen, 2002), teploty sušenia (Ting, 2002; EPA USA, 2002); veku dreva a tiež od ročného obdobia (Raunkjær Stubdrup - BREF, 2016).

Pachové znečisťujúce látky

Pachové znečisťujúce látky sú látky alebo ich zmes, ktoré spôsobujú obťažujúci pachový vnem. Sú to predovšetkým plynné látky, ale často sú to aj aerosóly, z ktorých sa pachové látky časom uvoľňujú. Väčšina pachových látok nebýva natoľko zdraviu škodlivá ako toxické znečisťujúce látky, napriek

tomu niektoré môžu spôsobiť nevoľnosť, bolesti hlavy, dýchacie, či psychické problémy.

Vlastnosti týchto látok sú v krajinách, kde sa zápach kvantifikuje, často vyjadrované pomocou štyroch veličín: koncentrácia pachových látok, intenzita, charakter a hedonický tón, t.j. miera obťažovania zápachom. Zápach popisuje tzv. **Európska jednotka zápachu** (odour unit, ou_E.), čo je také množstvo pachových znečisťujúcich látok v 1 m³ neutrálneho plynu za štandardných podmienok, ktoré vyvolá aspoň u 50% testujúcich posudzovateľov čuchový vnem. Meranie pachových látok štandardizovala norma EN 13725 (ČSN EN 13725, 2003), ktorá zavádza nový postup merania zápachu na praktickom počte hodnotiteľov – minimálne 4 vybrané osoby, ktorých čuchový vnem je porovnateľný s priemerom populácie.

Výpočet koncentrácie pachových látok vo vzorke

Koncentrácia pachových látok sa vypočítava na základe individuálnych odhadov prahovej koncentrácie detekcie látky (Individual Threshold Estimate, ITE) u hodnotiteľov porovnaných so zriedovacím faktorom. Pričom najväčší zriedovací faktor, t.j. ten, ktorý je určený pri prahovej koncentrácii detekcie zápachu aspoň polovicou hodnotiteľov z komisie, je rovný odozve 1 európskej jednotke zápachu na meter kubický ou_E/m³. V praxi to znamená, že najnižšia koncentrácia zmesi pachových látok, pri ktorej je zaznamenaná čuchová odozva aspoň u 50% hodnotiteľov sa rovná 1 ou_E/ m³.

2 CIELE PRÁCE

Hlavným cieľom dizertačnej práce je poukázať na možnosť merania zápachu z priemyselnej činnosti a motivovať priemysel na Slovensku, ktorý ovplyvňuje svojím zápachom okolie, aby venoval pozornosť nielen emisiám regulovaných látok v odpadových plynach, ale aj emisiám zápachu.

Zároveň má práca ambíciu poslúžiť zákonodarcom na Slovensku pri rozhodovaní o rámcových limitoch zápachu z najviac zapáchajúcich prevádzok tak, ako je tomu už dnes v mnohých krajinách EÚ. Na Slovensku máme niekoľko typov prevádzok od živočíšnej výroby po priemyselnú výrobu, pri ktorej sa používajú alebo vznikajú obzvlášť zapáchajúce látky. Keďže zápach sa dá merať použitím existujúcej EN normy, je na mieste, aby intenzívne zapáchajúce zdroje boli regulárne merané pri zdroji (EN 13725) a/alebo in situ v komunite blízko závodu (EN 16841). Z týchto meraní je po čase možné spracovať trendy a pre jednotlivé prevádzky navrhnúť spracovanie plánov zamedzovania zápachu, ako súčasť plánu riadenia systému environmentálneho manažérstva.

Práca mala nasledovné čiastkové ciele:

1. Objasnenie dôležitých pojmov v oblasti merania zápachu
2. Analýza spôsobov a kritérií merania zápachu
3. Analýza existujúcej legislatívy v EÚ
4. Analýza histórie legislatívy na Slovensku a jej súčasný stav
5. Na príklade merania zápachu z existujúcej prevádzky a analýzy výsledkov ukázať výhody a úskalia merania a vyhodnocovania zápachu
6. Na príklade merania zápachu ukázať rozdiely medzi rôznymi normami na pachové látky.

3 METODIKA PRÁCE

Sušiareň dreva v študovanom závode na výrobu DTD je sušiareň s priamym ohrevom. Horúci vzduch sa počas prechodu sušiarňou postupne chladí z približne 350°C na 120°C a pritom naberá vlhkosť, menšie prachové častice dreva a organické výpary zo sušeného dreva. Do sušiarne sa nepridávajú žiadne chemikálie, preto organické látky v emisiách pozostávajú z organických molekúl prirodzene sa nachádzajúcich v dreve, ktoré sú pri

danej teplote sušenia z dreva postupne uvoľňované. Kvôli vysokej teplote, je lis ďalším zdrojom VOC emisií, z ktorých mnohé majú zápachajúce vlastnosti.

Pracovný postup merania a získavania dát

Skúmaný závod na výrobu DTD v Ruskej federácii sa nachádza asi 1700 metrov od najbližšej rezidenčnej oblasti. Norma EN 13725 bola prevzatá aj v Ruskej federácii. Limit, ktorý pre daný závod predpísal miestny úrad bol definovaný ako ten hodinový priemer koncentrácie zápachu na zdroji, ktorý nespôsobí v blízkej rezidenčnej oblasti viac ako 16% mieru obťažovania (annoyance) pri percentile 98. Miestny limit neudával informácie o limite na zdroji, prípadne in situ v bežných jednotkách, t.j. OUE/m³, ale bol vyjadrený len ako výsledok disperzie, z ktorého bolo potrebné späťne vypočítať maximálnu prípustnú koncentráciu pachových a zároveň prchavých organických látok.

Na splnenie týchto očakávaní, bolo preto najprv potrebné získať zloženie a koncentráciu všetkých prchavých zápachajúcich organických látok v odpadovom plyne. Keďže limit nešpecifikoval počet látok, ktoré majú byť brané do úvahy pri vyjadrení koncentrácie zápachu, rozhodli sme sa vybrať z tohto zoznamu 10 VOC, ktoré svojím zápachom a koncentráciou najviac prispievajú k zápachu. Následne bola vypočítaná koncentrácia pachových látok na výduchu zo sušiarne a z lisu podľa normy EN 13725. Na nájdenie koncentrácie, pri ktorej dochádza k 16% obťažovaniu zápachom, bolo potrebné nájsť vzťah medzi koncentráciou pachových látok a obťažovaním.

Z vypočítanej koncentrácie zápachu, parametrov odpadového plynu a meteorologických hodinových dát získaných z lokálnej meteorologickej stanice, bol pripravený disperzný model emisií zápachu. Na záver boli výsledky disperzného modelu porovnané s predpísaným limitom.

Metodika merania

Pri vzorkovaní a analýzach emisií zápachu zo sušenia a lisu sme postupovali podľa normy EN 13725 a Holandskej technickej normy (Netherlands Technical Agreement NTA 9065:2012). Z oboch emisných zdrojov, t.j. sušiarne a lisu, boli zobrať tri vzorky výduchových plynov, každá o objeme 40 litrov. Vzorky boli odobraté do vzorkovacích plastových vakov a nariadené suchým dusíkom použitím dynamického riedenia. Vzorky plynu vo vakoch boli ihneď po naplnení expresne zaslané do laboratória. Z každej vzorky sa časť analyzovala na zápach olfaktometricky podľa EN 13725 a časť bola podrobená analýze na kvalitatívne a kvantitatívne zistenie VOC.

Merania organických látok

Vzorky plynu zo sušiarne, vzorky z lisu a vzorka okolitého vzduchu boli z vakov prečerpávané na Tenax trubičky a z nich termálne desorbované do plynového chromatografu Agilent 7890A v spojení s hmotnostným spektrometrom doby letu (GCeTOFMS) BenchTOF-dx (Almsco).

Merania zápachu

Analýzy koncentrácie pachových látok boli vykonané podľa Európskeho štandardu EN 13725 v akreditovanom laboratóriu (ISO 17025). Laboratórium, ktoré bolo použité na analýzu zápachu, použilo metódu vynútenej voľby, kde olfaktometer generuje pre posúdenie každého hodnotiteľa jednu nariadenú vzorku zápachajúcej zmesi a jednu vzorku čistého vzduchu. Hodnotitelia sú nútení vybrať si ten modul, v ktorom svojím čuchom zistia vzorku nariadenej zmesi. Počas každej série je zaznamenaná každá odozva hodnotiteľa. Z riedenia tejto odozvy a z predchádzajúceho riedenia sa geometrickým priemerom vypočíta pre každého hodnotiteľa ITE. ITE je teda vypočítaný ako geometrický priemer dvoch riedení, ktoré oddeľujú prechod od nezaznamenania zápachu po jeho zaznamenanie.

Zried'ovací faktor celej komisie, t.j. všetkých posudzovateľov - $\bar{Z}_{ITEpan}$ - je vypočítaný ako geometrický priemer ITE prahovej koncentrácie zápachu. Koncentrácia pachových látok (zápachu) v jednotkách ouE/m^3 sa potom rovná číselnej hodnote tohto zried'ovacieho faktora $\bar{Z}_{ITEpan}$.

Merania koncentrácie pachových látok boli spojené s určením vzťahu medzi koncentráciou a mierou obťažovania zápachom. Okrem štandardnej odozvy, mali hodnotitelia indikovať, či je pre nich vzorka obťažujúca alebo nie (Áno/Nie). Z týchto výsledkov sa potom určí pomer medzi koncentráciou zápachu a obťažovaním ako percento hodnotiteľov, ktorí označili dané riešenie vzorky ako vzorku, ktorá už má obťažujúci charakter.

Disperzný model

Na účely disperzného modelovania šírenia zápachu bol pre konkrétne miesto zostavený Geografický Informačný Systém (GIS). Dáta z GIS, koncentrácie zápachu, meteorologické údaje a topografické dáta boli vložené do softwaru Lakes Environmental AERMOD verzia 8.1 (USA Environmental Protection Agency, AERMOD 2005).

4 VÝSLEDKY MERANÍ A DISKUSIA

Výsledky analýz emisií organických látok

V odpadových plynoch z vysokoteplotného sušenia drevnej zmesi bez akéhokoľvek chemického prídavku lepidla, či iných činidiel bolo analyzovaných 289 chemických látok. V odpadových plynoch z lisovania dosák bolo analyzovaných 152 chemických látok. Dizertačná práca uvádza chemické skupiny látok a početnosť analyzovaných látok v každej z týchto skupín.

Najväčšie zastúpenie v odpadových plynoch zo sušenia drevnej zmesi, až 60% hmotnostnej koncentrácie, mali terpény. Z nich prvých päť bolo: α -pinény, β -pinén, limonén, kamfén β -felandrén. Po terpénoch

nasledovali alkoholy cyklobutanol a α -terpineol. Celková suma koncentrácie organických látok vo výduchu zo sušenia drevnej štiepky bola 164 mg/m³.

Najväčšie zastúpenie v odpadových plynch z lisovania drevotrieskových dosák mali opäť terpény, z nich prvé tri boli α -pinén, β -pinén a limonén. Terpény tvorili až 72% hmotnostnej koncentrácie všetkých analyzovaných organických látok vo výduchu z lisu. Celková suma koncentrácie organických látok tu bola 5,4 mg/m³.

Výsledky meraní koncentrácie zápachu

Počas analýzy koncentrácie pachových látok v každej vzorke, boli šiestim hodnotiteľom prezentované dve série (dve kolá) rôznych riedení zmesi. Výsledkom každej zo sérií bol individuálny odhad prahovej hodnoty zápachu (ITE). Výsledná koncentrácia zápachu zo sušiarne je 49 712 ou_E/m³ a bola vypočítaná ako aritmetický priemer koncentrácií zápachu zo všetkých troch vzoriek. Tabuľka 1 uvádza výsledky koncentrácie pachových látok pre sušiareň.

Tabuľka 1. Koncentrácie pachových látok vo výduchu zo sušiarne

Emisný zdroj:		Sušiareň			
Číslo vzorky:		R73AA N	R73A AO	R73A AP	Priemer
Počet posudzovateľov:	[-]	6	6	6	
Počet hodnotených sérií posudzovania		2	2	2	
Počet riedení v 1 sérii		9	9	9	
Počet platných ITE hodnôt		12	12	10	
Koncentrácia zápachu (EN13725)	[ou_E/m³]	6 543	2 558	5 228	
Riedenie vzorky počas odberu	[-]	10,9	11,7	9,1	
Koncentrácia zápachu na zdroji	[ou _E /m ³]	71 537	29 965	47633	49 712

Podobným spôsobom, použitím šiestich hodnotiteľov zápachu a dvoch sérií riedení pri každej z troch odobratých vzoriek z výduchu, boli vypočítané emisie pachových látok z lisu. Tabuľka 2 uvádza výsledky koncentrácie pachových látok pre lis.

Nájdené koncentrácie pachových látok zo sušiarne a z lisu boli v Tabuľke 3 následne vynásobené prietokom plynu na výpočet toku pachových látok [ou_E/h].

Tabuľka 2. Koncentrácie pachových látok vo výduchu z lisu

Emisný zdroj:		Lis			
Číslo vzorky:		R73A AQ	R73A AU	R73A AT	Priemer
Počet posudzovateľov:	[-]	6	6	6	
Počet hodnotených sérií posudzovania		2	2	2	
Počet riedení v 1 sérii		9	9	9	
Počet platných ITE hodnôt		10	10	12	
Koncentrácia zápachu (EN13725)	[ou _E /m ³]	6.473	1.472	4.037	
Riedenie vzorky počas odberu	[-]	1,0	1,0	1,0	1,0
Koncentrácia zápachu na zdroji	[ou _E /m ³]	6.473	1.472	4.037	3.994

Tabuľka 3. Emisie zápachu zo sušiarne a z lisu

Zdroj	Prietok vzduchu (1.013 hPa, 20°C, mokrý plyn)	Koncentrácia zápachu (priemer z trojice)	Tok pachových látok	Tok pachových látok
	[10 ³ m ³ /h]	[ou _E /m ³]	[10 ⁶ ou _E /h]	[ou _E /s]
Sušiareň - komín	154,0	49 712	7 656	2 126 569
Lis - výduch	102,0	3 994	407	113 163

Závislosť medzi koncentráciou zápachu a obťažovaním zápachom

Zároveň s koncentráciou pachových látok bola vo vzorkách odpadového plynu zo sušiarne a z lisu meraná aj miera obťažovania zápachom. V každej sérii meraní a pri každom jednotlivom riedení vzorky boli hodnotitelia vyzvaní, aby zaznačili, či ich daná pachová vzorka obťažuje – ÁNO alebo NIE. Percento obťažovania bolo vypočítané pre každé riedenie vzorky ako pomer čísel s pozitívnymi odpoveďami k celkovému počtu odpovedí. Vzťah medzi logaritmom koncentrácie zápachu a percentom obťažovania bol vyjadrený pomocou lineárnej regresie. Koncentrácia zápachu, ktorá vedie k obťažovaniu 16% hodnotiteľov, bola odvodená z tejto funkcie.

Výsledná koncentrácia, ktorá vedie k obťažovaniu 16% populácie vo vzorkách zo sušiarne bola nájdená tesne nad prahovou hodnotou koncentrácie detekcie zápachu z týchto vzoriek s hodnotou 1,1. Výsledná koncentrácia u vzoriek z lisu je dokonca pod prahovou hodnotou koncentrácie detekcie s hodnotou 0,75.

Merania prchavých organických látok, ktoré majú vlastnosti zápachu

Na určenie emisií pachových VOC zo závodu na výrobu DTD, bolo zo vzoriek všetkých analyzovaných prchavých organických látok, vybraných 10 najdôležitejších látok, z hľadiska celkového zápachu vzorky. Dôležitosť látky bola určená podľa pomeru koncentrácie látky v zmesi vzorky a jej prahovej koncentrácie detekcie zápachu (Olfasense BV, 2018).

Prvých päť látok sú všetko aldehydy, pričom hexanal je najviac dominantnou látkou. Zdroje z literatúry potvrdzujú dôležitosť tejto látky v zápachu zo spracovania dreva (Svedberg, 2004; Wilke, 2012). Kyselina octová a kyselina maslová sú druhým najväčším prispievateľom k zápachu a terpény - α -pinén a d-limonén sú tretím.

Suma koncentrácie 10 chemických látok, ktoré najviac prispievajú k zápachu v emisiách zo sušiarne bola $31,476 \text{ mg/m}^3$, čo môžeme zaokrúhliť na $31,5 \text{ mg/m}^3$. Suma týchto látok vo výduchu z lisovania bola $3,088 \text{ mg/m}^3$, zaokrúhlené $3,1 \text{ mg/m}^3$.

Závislosť medzi emisiami VOC a obťažovaním zápachom.

Závislosť medzi celkovou koncentráciou emisií pachových látok z výduchov a emisiami vybraných 10 chemických látok je popísaná v Tabuľke 4.

Tabuľka 4. Koncentrácia pachových látok v emisiách zo sušiarne a z lisu porovnaná s koncentráciou 10 vybraných chemických látok, ktoré najviac prispievajú k zápachu.

Zdroj	Koncentrácia pachových látok	Suma koncentrácie 10 vybraných chemických látok	1 ou_E/m³ sa rovná
	[ou _E /m ³]	[10 ³ µg/m ³]	
Sušiareň	49 712	31,476	0,657 µg/m ³
Lis	3 994	3,088	0,914 µg/m ³

Výpočet ekvivalentu 1 ou_E/m³ sa použije k výpočtu koncentrácie VOC, ktoré spôsobujú obťažovanie u 16% populácie (Tabuľka 5).

Tabuľka 5. Koncentrácia vybraných VOC, ktoré spôsobujú u 16% populácie obťažovanie zápachom.

	Koncentrácia pachových látok spôsobujúca 16% obťažovanie	Koncentrácia 10 vybraných VOC, ktoré spôsobujú 16% obťažovanie
Zdroj	[ou _E /m ³]	[µg/m ³]
Sušiareň	1,1	0,72
Lis	0,75	0,68

Pre zjednodušenie na výpočet vplyvu emisií na imisie zápachu v okolí závodu budeme počítať s nižšou a teda konzervatívnejšou hodnotou $0,68 \mu\text{g}/\text{m}^3$ kumulatívne pre oba zdroje. Táto koncentrácia bude smerodajná na porovnanie imisii zápachu zo závodu pomocou disperzného modelu.

Disperzné modelovanie emisií

Disperzné modelovanie emisií malo za úlohu potvrdiť alebo vyvrátiť, že emisie produkované vo výrobe drevotriekových dosák zo sušiarne a z lisu nepresiahnu koncentráciu zápachu, ktorá by viedla pri percentile 98 k obťažovaniu 16% populácie v blízkej obci. Obec je vzdialená od závodu približne 1700 m. Ako vstupné dáta do modelového softwaru boli použité dáta v Tabuľke 6.

Tabuľka 6. Vstupné dáta do modelu AERMOD zo sušiarne a z lisu.

	Sušiareň	Lis
Výška komína/výduchu:	60 m	42 m
Priemer:	2,4 m	1,25 m
Koncentrácia zápachu na výduchu:	$49\,712 \text{ ou}_E/\text{m}^3$	$3\,994 \text{ ou}_E/\text{m}^3$
Prietok pachových látok:	$2\,004\,886 \text{ ou}_E/\text{s}$	$95\,477 \text{ ou}_E/\text{s}$
Prietok (20 °C, mokrý plyn)	$154\,420 \text{ m}^3/\text{hr}$	$101\,823 \text{ m}^3/\text{hr}$
Prietok (nameraný)	$207\,341 \text{ m}^3/\text{hr}$	$111\,077 \text{ m}^3/\text{hr}$
Teplota odpadových plynov:	125°C	46°C
Koncentrácia vybratých 10 VOC	$31,5 \text{ mg}/\text{m}^3$	$3,1 \text{ mg}/\text{m}^3$
Prietok vybratých 10 VOC (20 °C, mokrý plyn)	1,35 g/s	0,088 g/s

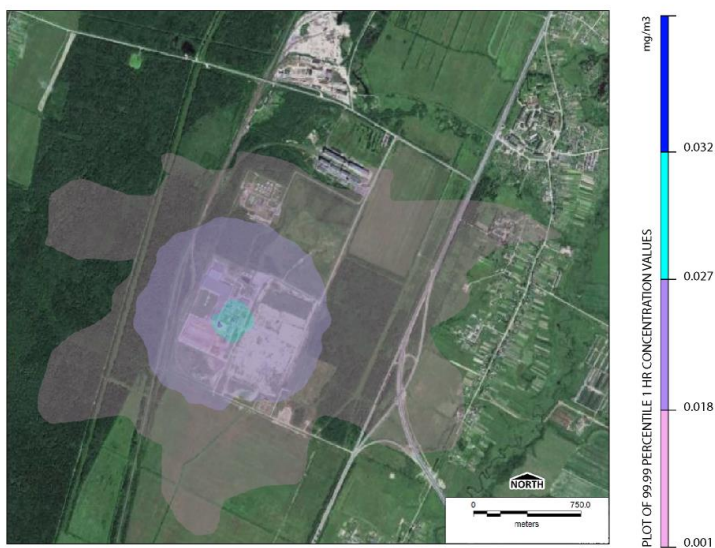
Výsledky disperzného modelovania boli porovnané s limitnou hodnotou, ktorá bola vypočítaná ako tá koncentrácia 10 vybraných VOC, ktoré spôsobujú 16% obťažovanie zápachom – 0,68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pri 98 percentile (zjednodušene maximum 2% hodín v roku). Obrázok 1 poskytuje výsledok disperzného modelu emisií z oboch zdrojov.



Obrázok. 1 Kontúra koncentrácie vybraných 10 VOC: 0.68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ako 98-percentil.

Na obrázku 1 je znázornená kontúra emisií vybraných 10 prchavých organických látok, pre ktoré bola vypočítaná koncentrácia 0,68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ako koncentrácia imisií, pri ktorej nebude viac ako 16% populácie obťažovaných zápachom viac ako 2% času v roku (175 hodín). V tomto prípade bola táto koncentrácia menšia ako priemerná prahová koncentrácia detekcie zápachu hodnotiacej komisie. Jej hodnota bola preto veľmi nízka. Napriek tomu táto koncentrácia nebola presiahnutá v blízkej obci. Polomer izoplety dosahoval vzdialenosť 1000 metrov od zdroja, pričom najbližšie rezidenčné budovy v obci sú vzdialené približne 1700 metrov.

Hoci týmto sa legislatívna časť práce skončila a bola dokázaná zhoda s podmienkami, ktoré stanovil miestny úrad, chceli sme v práci porovnať modelovanie emisií, ak by limitná hodnota bola určená pre 99,9 percentil – t.j. aká je možnosť emisných koncentrácií menej ako 1 hodinu v roku. Obrázok 2 znázorňuje výsledok disperzného modelu emisií z oboch zdrojov ako 99,99 - percentil.



*Obrázok 2. Kontúry koncentrácie vybratých 10 VOC,
ako 99,99-percentil.*

Na obrázku 2 sú znázornené izoplety koncentrácie zmesi 10 vybraných VOC pri percentile 99,99. Z celkového počtu hodín v roku – 8760, je 0,01% menej ako jedna hodina. Z obrázku je zrejmé, že menej ako 1 hodinu v roku môžu byť v obci dosiahnuté koncentrácie, ktoré sú vyššie ako vypočítaná hodnota, ktorá môže obťažovať 16% populácie. Toto sa môže stať

napríklad v čase úplnej inverzie a bezvetria, resp. predchádzajúceho vetra v smere rezidenčnej štvrti.

5 ZÁVER

Hlavným cieľom predkladanej dizertačnej práce bolo poukázať na možnosť merania zápachu z priemyselnej činnosti a motivovať priemysel na Slovensku, aby venoval pozornosť emisiám zápachu. Práca splnila tento cieľ najmä naplnením čiastkových cieľov – objasnili sme najmä dôležité pojmy v oblasti vnímania zápachu a tiež spôsoby a kritériá merania zápachu. Na príklade merania zápachu z existujúcej prevádzky výroby DTD sme ukázali, ako sa dá stanoviť koncentrácia pachových látok na výduchu, ale aj in situ v blízkej obci. Tiež sme ukázali, ako sa dá limit stanovený na obťažovanie prepočítať na celkové množstvo emitovaných prchavých organických látok vybraním látok, ktoré najviac prispievajú k zápachu. Nakoniec sme modelovaním emisií vypracovali disperzné mapy, ktoré vizuálne a numericky preukázali zhodu s určeným limitom zápachu.

Práca mala taktiež ambíciu poslúžiť zákonodarcom na Slovensku pri rozhodovaní o rámcových limitoch zápachu z najviac zapáchajúcich prevádzok tak, ako je tomu už dnes v mnohých krajinách EÚ. Mnohé krajiny začali v začiatkoch regulácie zápachu z priemyselnej výroby s plošným obmedzovaním zápachu bez rozlíšenia miery obťažovania (hedonický tón) a ten istý limit bol uplatňovaný pre výrobcu čokolády ako aj pre kafilérie. Dnešné vyspelé krajiny regulujú zápach v troch rovinách: miera obťažovania, vek závodu (nový/existujúci) a percentil, t.j. počet hodinových priemerov, kedy je prípustné prekročenie limitu z dôvodu úplne nepriaznivých poveternostných podmienok.

V práci sme na praktickom príklade ukázali rozdiel medzi 98 a 99,99 percentilom, t.j. reguláciou % času, v ktorom je prípustné prekročenie limitnej hodnoty zápachu. V prípade akéhokoľvek priemyselného podniku,

ktorého odpadom sú aj zápachové látky, budú tieto v 0,1% - 2% času s veľkou pravdepodobnosťou zaznamenané v blízkom okolí. Ide však o mieru obťažovania daného typu zápachu, ktorá by mala určiť, či je dôležité tento percentil sprísniť alebo ponechať na prijateľnej miere - napríklad 98%.

Príklad krajín, ktoré prechádzajú na jednoduchý systém regulácie zápachu rozlišovaním napríklad troch rôznych limitov zápachu pri troch rôznych mierach obťažovania (najviac obťažujúci, stredne obťažujúci a menej obťažujúci zápach), všetky pri 98-percentile je pravdepodobne vhodným začiatkom pre krajinu ako Slovensko, ktoré chcelo v čase písania tejto práce začať s reguláciou zápachu.

6 ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

Česká technická norma: Kvalita ovzduší – Stanovení koncentrace pachových látek dynamickou olfaktometrií, ČSN EN 1375, 2003.

GRANSTRÖM, K. M., 2009. Emissions of Sesquiterpenes from Spruce Sawdust during Drying. *European Journal of Wood and Wood Products*, 2009, 67(3), 343–350. <https://doi.org/10.1007/s00107-009-0325-1>

GRANSTRÖM, K. M., 2003. Emissions of Monoterpenes and VOCs during Drying of Sawdust in a Spouted Bed. *Forest Products Journal*, 2003, 53(10), 48–55.

JOHANSSON, I.; KARLSSON, T.; WIMMERSTEDT, R., 2004. Volatile Organic Compound Emissions when Drying Wood Particles at High Dewpoints. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 2004, 12(6), 767–772. <http://lup.lub.lu.se/record/141741>

MANNINEN, A. M.; PASANEN, P.; HOLOPAINEN, J. K., 2002. Comparing the VOC Emissions between Air-Dried and Heat-Treated Scots Pine Wood. *Atmos. Environ*, 2002, 36 (11), s. 1763–1768.

MARUTZKY, R. Untersuchung Zum Terpengehalt Der Trocknungsgase von Holzspanetrocknern. *Holz Als Roh-Und Werkstoff*, 1978, 36, s. 407–411.

NTA 9065:2012 - Air quality - Odour measurements - Odour measurement and calculation. Dostupné na: <https://www.nen.nl/NEN-Shop-2/Standard/NTA-90652012-nl.htm>

Olfasense BV, 2018. Database of odour thresholds of various chemical compounds studied by Olfasense BV and determined according to EN13725. Dostupné na vyžiadanie na: www.olfasense.com.

RAUNKJAER STUBDRUP K., PANAGIOTIS K., ROUDIER S., DELGADO SANCHEZ L. – BREF, 2016. *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Wood-Based Panels*; JRC Science or Policy Report; EU Joint Research Center, 2016.

SASSOLI, M.; NISSIM, W. G.; COSTA, C.; TAITI, C.; MANCUSO, S.; MENESATTI, P.; FIORAVANTI, M., 2017. Characterization of VOC Emission Profile of Different Wood Species during Moisture Cycles. *iForest*, 2017, 10, str. 576–584. <https://doi.org/10.3832/ifer2259-010>.

SCHREINER, L.; BAUER, P.; BUETTNER, A., 2018. Resolving the Smell of Wood-Identification of Odour-Active Compounds in Scots Pine (*Pinus Sylvestris*). *Scientific Reports*, 2018, 8:8294. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-26626-8>.

SVEDBERG, U. R. A.; Hoegberg, H.-E.; Hoegber, J.; Galle, B., 2004. Emission of Hexanal and Carbon Monoxide from Storage of Wood Pellets, a Potential Occupational and Domestic Health Hazard. *Ann. Occup. Hyg.* 2004, 48, s. 339–349. DOI: 10.1093/annhyg/meh015.

TING, J.; GARDNER, J. D.; BAUMANN, M. G. D., 2002. Volatile Organic Compound Emissions Arising from the Hot-Pressing of Mixed-Hardwood Particleboard. *Forest Products Journal*, 2002, 52 (11/12), S. 66–77.

USA Environmental Protection Agency, AERMOD, 2005. Air Quality Dispersion Modelling system, available at: www.epa.gov

WANG, Q.; SHAO, Y.; CAO, T.; SHEN, J., 2017. Identification of Key Odor Compounds from Three Kinds of Wood Species. In *Yong Wang (Editor), ESSE 2017: Proceedings of the 2017 International Conference on Environmental Science and Sustainable Energy*, Ed.by ZhaoYang Dong (pp. 101–116). Berlin, Boston: De Gruyter. <https://doi.org/10.1515/9783110540048-011>

WILKE, O.; Wiegner, K.; Jann, O.; Brödner, D.; Scheffer, H., 2012. Emission Behaviour of Wood and Materials Produced from Wood. *Environmental Research of the Federal Ministry of the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety*; BAM Bundesanstalt Für Materialforschung Und – Prüfung, 2012.

7 ZOZNAM PUBLIKÁCIÍ AUTORA

Vedecké práce v zahraničných karentovaných časopisoch

VELIČ, Annamarie - ŠURINA, Igor - HÁZ, Aleš - VOSSEN, Frans - IVANOVA, Irina - SOLDÁN, Maroš. Modeling of Odor from a Particleboard Production Plant. In *Journal of Wood Chemistry and Technology*. september, (2019), s. 1-10. ISSN 0277-3813 (2018: 1.880 - IF, Q1 - JCR Best Q, 0.459 - SJR, Q2 - SJR Best Q). V databáze: DOI: 10.1080/02773813.2019.1668416 ; CC: 000487915000001.

Vedecké práce v ostatných domácich časopisoch

SOLDÁN, Maroš - KOBETIČOVÁ, Hana - GERULOVÁ, Kristína - BLINOVÁ, Lenka - VELIČ, Annamarie. UV degradation of methylene blue catalyzed with black nickel mud. In *Journal of Environmental Protection, Safety, Education and Management*. Vol. 4, No. 7 (2016), s. 66-71. ISSN 1339-5270.

SOLDÁN, Maroš - KOBETIČOVÁ, Hana - GERULOVÁ, Kristína - SIROTIK, Maroš - VELIČ, Annamarie. Degradation of phenanthrene and naphthalene with the use of potassium permanganate. In *Journal of Environmental Protection, Safety, Education and Management*. Vol. 4, No. 8 (2016), s. 58-61. ISSN 1339-5270.

Vedecké práce v domácich časopisoch registrovaných v databázach Web of Science alebo SCOPUS

VELIČ, Annamarie - SOLDÁN, Maroš - HÁZ, Aleš - ŠURINA, Igor - JABLONSKÝ, Michal. Determination of volatile organic compounds' emissions from wood processing. In *Wood Research*. Vol. 64, iss. 3 (2019), s. 461-469. ISSN 1336-4561 (2018: 0.642 - IF, Q3 - JCR Best Q, 0.349 - SJR,

Q2 - SJR Best Q). V databáze: WOS: 000475298300008 ; SCOPUS: 2-s2.0-85072076575.

Publikované pozvané príspevky na domácich vedeckých konferenciách

VELIČ, Annamarie - SOLDÁN, Maroš. Minimizing effects of particle board production on the environment. Can particle board manufacturing be done in a sustainable way? In *Wood, Pulp and Paper 2014, Polygrafia Academica 2014 - WPP a PA 2014 : vedecká konferencia. Bratislava, Slovensko, 12-13 marca 2014*. 1. vyd. Bratislava : Slovenská chemická knižnica, 2014, s. 10-13. ISBN 978-80-89597-16.