

PREDBEŽNÝ MODEL ROZPTYLU BODOVÝCH A FUGITÍVNYCH EMISÍ TUHÝCH ZNEČISŤUJÚCICH LÁTOK Z VÝROBY DREVNÝCH PELIET

PRELIMINARY MODEL OF DISPERSION OF FUGITIVE AND POINT EMISSIONS OF PARTICULATE MATTER SOURCES FROM WOOD PELLETS PRODUCING

Emília Hroncová, Juraj Ladomerský, Miriam Ťahúňová

doc. Ing. Emília Hroncová, PhD., prof. Mgr. Juraj Ladomerský, CSc., Ing. Miriam Ťahúňová, Univerzita Mateja Bela v Banskej Bystrici, Fakulta prírodných vied, Katedra životného prostredia, Tajovského 40, 974 01 Banská Bystrica, e-mail: emilia.hroncova@umb.sk, juraj.ladomersky@umb.sk

DOI <http://doi.org/10.24040/actaem.2018.20.1.97-104>

Abstrakt: V tomto príspevku sa zameriavame na znečisťovanie pracovného ovzdušia a vonkajšieho ovzdušia ultrajemnými a respirabilnými časticami pri výrobe drevených peliet o maximálnej spotrebe pilín na výrobu peliet 18,5 ton/deň. Navrhnutým predbežným modelom hodnotíme ako fugitívne a bodové emisie PM_{10} (a $PM_{2,5}$, alebo TSP) môžu ovplyvniť čistotu ovzdušia v blízko stojacej obytnej budove (do 50 m). Predbežným modelom bola zistená teoreticky najvyššia hodnota hmotnostnej koncentrácie $38,1 \mu g \cdot m^{-3}$ respirabilnej frakcie na atike najbližšej obytnej budovy (vo vzdialenosti 42 m od zdroja), pričom najväčším príspevkom sa na tom podieľajú fugitívne emisie $37,6 \mu g \cdot m^{-3}$. Tieto hodnoty by sa dosiahli pri rýchlosti vetra $4 m \cdot s^{-1}$ vo výške 10 m, prúdiacom v smere od zdroja presne k sledovanej obytnej budove. Požiadavky kvality ovzdušia sú splnené, napriek tomu obyvatelia majú pocit silne znečisteného ovzdušia. Následne bude predbežný model verifikovaný reálnymi meraniami, simuláciou a ďalej spresňovaný.

Kľúčové slová: znečisťovanie ovzdušia, emisie, výroba peliet, PM, model

Abstract: V tomto príspevku sa zameriavame na znečisťovanie pracovného ovzdušia a vonkajšieho ovzdušia ultrajemnými a respirabilnými časticami pri výrobe drevených peliet o maximálnej spotrebe pilín na výrobu peliet 18,5 ton/deň. Navrhnutým predbežným modelom hodnotíme ako fugitívne a bodové emisie PM_{10} (a $PM_{2,5}$, alebo TSP) môžu ovplyvniť čistotu ovzdušia v blízko stojacej obytnej budove (do 50 m). Predbežným modelom bola zistená teoreticky najvyššia hodnota hmotnostnej koncentrácie $38,1 \mu g \cdot m^{-3}$ respirabilnej frakcie na atike najbližšej obytnej budovy (vo vzdialenosti 42 m od zdroja), pričom najväčším príspevkom sa na tom podieľajú fugitívne emisie $37,6 \mu g \cdot m^{-3}$. Tieto hodnoty by sa dosiahli pri rýchlosti vetra $4 m \cdot s^{-1}$ vo výške 10 m, prúdiacom v smere od zdroja presne k sledovanej obytnej budove. Požiadavky kvality ovzdušia sú splnené, napriek tomu obyvatelia majú pocit silne znečisteného ovzdušia. Následne bude predbežný model verifikovaný reálnymi meraniami, simuláciou a ďalej spresňovaný.

Key words: air pollution, emission, production of pellets, PM, model

Úvod

Mechanické procesy spracovania surovín sú vo väčšine prípadov príčinou emisií hrubých častíc o rozmeroch častíc menších $10\text{ }\mu\text{m}$, označovaných ako PM_{10} , ale aj častíc o rozmeroch väčších ako $10\text{ }\mu\text{m}$, ktoré sú súčasťou celkových emisií tuhých znečisťujúcich látok, označovaných ako TSP. V týchto prípadoch je z hľadiska znečisťovania ovzdušia a ich vplyvu na zdravie človeka dôležitá ich hmotnostná koncentrácia ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) v ovzduší. Iné procesy, najmä vysokoteplotné spaľovanie, zváranie, hutnícke procesy a pod., môžu byť zdrojom emisií ultrajemných častíc ($\leq 0,1\text{ }\mu\text{m}$), ktoré sú označované ako UFP. Ultrajemné častice vznikajú hlavne nukleáciou, chemickou reakciou plyných látok za vznikú tuhej látky, alebo evaporáciou. Principiálne nie je vylúčená ani ich tvorba pri mechanických procesoch ako sú mletie, brúsenie, rezanie alebo leštenie, ale sú to menej preskúmané deje (Zimmer and Maynard, 2002).

O mnohých zdrojoch znečisťovania ovzdušia, hlavne v menších výrobných jednotkách, ktoré sú situované v blízkosti obytných sídiel, nemáme dostatočne podrobný prehľad o ich vplyve na človeka. Takouto výrobou je napr. výroba peliet, ktorú analyzujeme v našom príspevku. Výroba drevných peliet je v súčasnosti ekonomicky veľmi atraktívna aktivita. Keďže drevo je prírodná surovina, proti výstavbe zariadení na spracovanie dreva nie sú protesty verejnosti. Preto prevádzky na spracovanie dreva a energetické celky (teplárne, kotolne) na báze dreva sa často vybudujú v tesnej blízkosti obytných budov. Neskôr pribúdajú sťažnosti obyvateľov na prašnosť alebo zápach z takýchto prevádzok. Rozhodnutia orgánov ochrany ovzdušia sú v takýchto prípadoch sťažený tým, že stále chýba široký rozsah výsledkov reálnych meraní vplyvov takýchto prevádzok na znečisťovanie ovzdušia v pracovných priestoroch a vo vonkajších priestoroch v blízkom okolí prevádzok.

Podľa (Guidance, 2012) celkové emisie TSP dosahujú $0,03\text{ kg}\cdot\text{t}^{-1}$ peliet, ktoré sú tvorené prakticky z častíc $\text{PM}_{2,5}$, t.j. menších ako $2,5\text{ }\mu\text{m}$. Nie je však známe, aká je rozmerová distribúcia častíc $\text{PM}_{2,5}$ a či je prevádzka výroby peliet významnou prevádzkou z hľadiska tvorby ultrajemných častíc. Reálna hodnota emisií PM a ich koncentrácie v pracovnom prostredí, ako aj rozptyl vo vonkajšom ovzduší sú pochopiteľne ovplyvnené konkrétnymi lokálnymi podmienkami prevádzky a poveternostnými podmienkami.

Cieľom tohto príspevku zistiť stav pracovného ovzdušia pri výrobe peliet, vrátane skladu pilín a emisie kotla na vykurovanie administratívnej časti výrobného haly, fugatívne emisie z otvorenej brány haly a predbežným modelom odhadnúť najvyššie možné koncentrácie PM na najbližšej obytnej budove.

Materiál a metodika

Výroba peliet zahŕňa okrem murovanej výrobného haly murovanú halu skladu suroviny – drevné piliny s obsahom drevného prachu, kancelárske a sociálne priestory (na poschodí nad technologickými priestormi). Pohyb suroviny a výrobku: Skladovanie pilín v hale - Silo pilín - Dopravník zo sila do granulátora – Granulátor – Vzduchotechnická jednotka na odsávanie vzduchu od granulátora a z haly – Balička peliet. Vyrobené drevné peletky sú takmer výlučne exportované na náročné západoeurópske trhy.

Surovina na výrobu drevných peliet

Na výrobu drevných peliet sa dováža vyložené suchá pilina z mechanického spracovania ihličnatého dreva s obsahom prachu, ktorá sa priamo bez sušenia používa na výrobu peliet. V pilinách nesmie byť viac než 19 % listnatého dreva. V danej výrobe drevných peliet odpadá často využívaná technologická operácia sušenia pilín, ktorá ôže byť aj významným zdrojom nielen emisií tuhých znečisťujúcich látok, ale hlavne aj emisií prchavých organických látok.

Doprava a skladovanie pilín

Dopravu suroviny a odvoz výrobkov zabezpečia priemerne 3 kamióny denne. Kamióny privážajú surovinu do osobitného hermeticky uzatvoriteľného skladu, kde sa vysype na hladkú betónovú podlahu. Brána skladu sa otvára len na krátky čas pri vjazde kamióna a pri jeho výjazde, ako aj pri vjazde a výjazde nakladača, ktorým sa nakladajú dovezené piliny do sila. Brána skladu je však otvorená len minimálnu dobu – pri nacúvaní kamiónu 5 minút, potom sa brána zavrie, kamión vyprázdni, očistí a pri vychádzaní kamiónu je brána otvorená 2 minúty. Toto je maximálne 3 krát za deň. Priemerne 2 krát denne je potrebné nahrnúť surovinu do sila. Brána je otvorená cca 1 minútu pri vstupe nakladača a 1 minútu pri výstupe. V ostatnom čase je brána hermeticky zatvorená. Takže emisie z tejto brány sú prakticky nulové a nebudeme s touto operáciou uvažovať.

Výroba drevených peliet

Piliny zo skladu pilín sa dopravujú do výrobnéj haly. Dávkovanie suroviny do granulátora je dopravníkom zo sila, ktorý je v sklade suroviny. Vo výrobnéj hale je umiestnený granulátor GAMA Pardubice, odsavacie a filtračné zariadenie ELBH Ružomberok, peletový kotol WOODY je dánskej výroby (www.nordjysk-bioenergi.dk) a balička peliet, ktorá nemá vplyv na kvalitu ovzdušia. Vylisované pelety sa pásovým dopravníkom dopravia do baličky peliet. Manipuláciu s peletami zabezpečuje vysokozdvížný vozík LUGLI.

Granulátor je kontinuálne zariadenie je vhodné na granulovanie sypkých surovín, okrem iného sušených pilín. Surovina je vtlačovaná do otvoru matrice a zlisovaný produkt je zo spodu rezaný na valčeky o priemere najčastejšie 16 mm a dĺžky podľa počtu nastavených nožov. Z dôvodu zamedzeniu nadmernej prašnosti v pracovnom priestore sa na granulátor napája odsávacie zariadenie.

Maximálna spotreba pilín na výrobu peliet 18,5 ton za deň. Pracovný priestor v hale nie je potrebné vykurovať, nakoľko granulátor vyprodukuje dostatočné množstvo tepla. Keďže výrobná hala je intenzívne vyhrievaná peletovacím strojom, preto je prakticky celý rok vetraná stále otvorenou bránou o rozmeroch 3,3 x 3,6 m. Výhrevnosť peliet sa pohybuje na úrovni 18 MJ.kg⁻¹.

Vzduch od granulátora je odsávaný a čistený odsávacou a filtračnou jednotkou ELBH s patrónovým filtrom FP. Patrónový filter FP 2/1000 má odsávací výkon 1730 m³.h⁻¹ a plochu filtra 40 m². Má 2 papierové filtračné patróny o dĺžke 1000 mm. Regenerácia filtra sa uskutočňuje každých 15 – 30 s stlačeným vzduchom. Účinnosť odlučovania filtra je veľmi vysoká 99,985 %. Tento filter zabezpečuje koncentráciu TSP v emisiách ≤ 1 mg.m⁻³. Vyčistený vzduch je vyfukovaný cez výdych na čelnej stene haly (na opačnej strane ako je situovaná obytná budova) do voľného priestoru. Na tej istej strane je situovaný dvojplášťový komín o výške 9 m.

Malé množstvo vyrobených peliet je palivom pre vykurovanie administratívnych priestorov. Osobitným zariadením v prevádzke je preto kotol na vykurovanie administratívnych priestorov, teda nie je to súčasť technológie. Menovitý výkon kotla je 30 kW. Kotol má spotrebu paliva – drevených peliet 6 t/rok. Maximálna denná spotreba paliva je 0,1 t/deň.

Vo vzdialenosti 42 m od výrobnéj haly sa nachádza bytový dom so štyrmi podlažiami. Medzi výrobnou halou a bytovým domom je terénna vlna do výšky 4 m a hospodárske budovy obyvateľov domu. Pozdĺž bytového domu je vedená málo frekventovaná miestna cesta.

Kvantifikácia emisií z bodovýc miest znečisťovania ovzdušia

Výpočet hmotnostných tokov znečisťujúcich látok z granulátora čistené patrónovým filtrom

Výpočet hmotnostných tokov znečisťujúcich látok z granulátora čistené patrónovým filtrom M_{TSP} sa uskutoční podľa tohto vzťahu

$$M_{TSP} = V \times c \times 10^{-6} \text{ [kg.h}^{-1}\text{]}$$

kde V – prietok odpadového plynu [$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$]
 c – koncentrácia TSP [$\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$]
 10^{-6} - prepočet ($1 \text{ mg} = 10^{-6} \text{ kg}$)

Výpočet hmotnostných tokov znečisťujúcich látok pri prevádzke kotla

Výpočet hmotnostných tokov znečisťujúcich látok pri prevádzke kotla M sa vykoná podľa nasledovného vzorca, pričom:

$$M = V \times c \times 10^{-6} [\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}]$$

Symbolsy sú rovnaké ako v predchádzajúcom prípade.

Možnosti kvantifikácie fugitívnych emisií

Je niekoľko možno odhadnúť fugitívne emisie PM z výroby peliet. Najjednoduchším riešením je použiť publikovaný emisný faktor (Guidance, 2012). My sme vypracovali predbežný model rozptylu PM do ovzdušia z výroby peliet. Jeho podstatou je zisťovanie tokov vzduchu na veľkorozmerovej bráne. Druhým krokom je meranie hmotnostných koncentrácií PM v hornej tretine veľkorozmerovej brány. Vypočítaný hmotnostný tok sa v treťom kroku použije na výpočet rozptylu PM schváleným programom (*do 100 m*) (Informácia o postupe výpočtu, 1996).

Výsledky a diskusia

Miesta emisií z prevádzky výroby drevených peliet

1. Granulátor – výdych z patrónového filtra
2. Kotol na drevné palivo - komín
3. Fugitívne emisie z:
 - otvorenej brány výrobnéj haly
 - otvorenej brány skladovacej haly pri vjazde a výjazde kamiónu a nakladača suroviny
4. Dopravy suroviny a odvozu výrobku v areáli prevádzky, čo je približne len 50 metrov od cesty.

Tuhé znečisťujúce látky sú pri danej technológii z dvoch evidovaných bodových miest:

- výdych z patrónového filtra
- komín z kotla na drevné pelety.

Doprava suroviny a peliet (priemerne 3 kamióny denne) má prakticky nulový vplyv z hľadiska emisií.

Emisie z granulátora čistené patrónovým filtrom

Hmotnostné toky vypočítané z garancií dodávateľa sú veľmi nízke

$$M_{\text{TZL}} = 1700 \times 1 \times 10^{-6} = 0,0017 [\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}]$$

Emisie z kotla

Výpočty vychádzajú z autorizovaného testu kotla v Dánsku (Report no.: 300-ELAB-1765).

Výsledky sú uvedené v tab. 1.

Tab 1 Výsledky testu pri nominálnom výkone (A) a pri nízkom výkone (B)**Tab 1** Test results at nominal power (A) and low power (B)

Parameter	Jednotka	Hodnota (A)	Hodnota (B)
Trvanie testu	h	6	6
Spotreba paliva	kg.h ⁻¹	4,93	1,48
Výhrevnosť	MJ.kg ⁻¹	18,247	18,230
Príkon	kW	24,97	7,47
Účinnosť	%	94,7	92,9
Teplota spalín	°C	87	69
Prietok spalín	m ³ .h ⁻¹	50,4	27,9
Hmotnostný tok spalín	kg.h ⁻¹	49,6	28,8
CO ₂	%	12,6	6,1
Koncentrácia TZL pri 10% O ₂	mg.m _n ⁻³	5	5
CO pri 10% O ₂	mg.m _n ⁻³	130	308
TOC pri 10% O ₂	mg.m _n ⁻³	6	6
NO _x (NO ₂) pri 10% O ₂	mg.m _n ⁻³	234	232

Pre rozptylovú štúdiu volíme najhoršie varianty, oveľa nepriaznivejšie hodnoty v porovnaní s autorizovanými meraniami, ktoré tento kotol za žiadnych podmienok nemôže vyprodukovať pri spaľovaní peliet:

- Prietok spalín 50 m_n³.h⁻¹ (pri obsahu O₂ 10%); *Pozn. Najvyšší prietok spalín pri prepočte z 87 °C na 0 °C a z obsahu kyslíka cca 8 % na 10 % by bol cca 45 m_n³.h⁻¹, pre posúdenie sme zámerne zvolili najvyššiu hodnotu, ktorá sa nedá prekročiť pri nijakom intenzívnom kúrení.*
- Koncentrácia TZL 20 mg.m_n⁻³; *Pozn.: Volíme o vyše 200 % vyššiu koncentráciu aká bola nameraná a ktorá by sa ani nevhodným spôsobom prevádzkovania nedala dosiahnuť.*

Za uvedených podmienok hmotnostný tok TSP bude $50 \times 20 \times 10^{-6} = 0,001 \text{ kg.h}^{-1}$.

Výpočet množstva emisií podľa emisného faktora

Publikovaný emisný faktor TSP je 0,03 kg.t⁻¹ peliet (Guidance, 2012). Menovitý výkon granulátora je 18,5 ton za deň, čo predstavuje teoretický priemerný hodinový výkon 771 kg pri rozpočte na 24 h. Granulátor však nemôže byť prevádzkovaný 24 h a jeho hodinový výkon je vyšší. V manuáli granulátora je uvedená kapacita výroby peliet 800 – 1200 kg.h⁻¹, čo závisí od spracovávanej suroviny, rozmerov častíc, vlhkosti a i.

Skutočný pracovný čas v prevádzke je max. 12 hod/deň (pracuje sa na dve smeny), pričom prevádzka podľa prevádzkovej dokumentácie (evidencia o spotrebe paliva) reálne vyrobí okolo 3 500 t/rok peliet a spotreba pilín je o niečo väčšia 3 520 t/rok = 9,785 t/deň (teda približne do 10 t/ deň). Predstavuje to reálny priemerný výkon 0,815 t.h⁻¹.

Maximálny hmotnostný tok TSP (m_{TSP}) bude

$$m_{TSP} = 0,03 \times 1,2 \times 10^3 = 36,0 \text{ g.h}^{-1}$$

Reálny hmotnostný tok TSP (m_{TSP}) bude

$$m_{TSP} = 0,03 \times 0,815 \times 10^3 = 24,4 \text{ g.h}^{-1}$$

Tento zdroj znečisťovania ovzdušia je zaradený medzi malé zdroje na základe tejto bilancie: Keďže hustota suchého ihličnatého dreva je minimálne 0,37 t.m⁻³, vypočítaný čistý teoretický objem spracovaného dreva za deň je maximálne $18,5 : 0,37 = 50 \text{ m}^3$. Sypaný objem pilín je pochopiteľne väčší. Pri sypnej hmotnosti pilín 0,188 t.m⁻³ je denná spotreba objemu sypaných

pilín 18,5: $0,188 = 98,4 \text{ m}^3$. Keďže kapacita granulátora je menej než 100 m^3 spracovanej drevnej suroviny denne, zdroj výroba peliet patrí do kategórie malých zdrojov.

Výpočet množstva emisií podľa nového modelu

Pomery prúdenia vzduchu cez bránu výrobné haly boli nasledovné:

- prúdenie vzduchu do haly od podlahy do cca dvoch tretín výšky brány o rýchlosti prúdenia $0,3 - 1,3 \text{ m.s}^{-1}$
- výstup vzduchu z brány od cca dvoch tretín výšky brány do vonkajšieho ovzdušia o rýchlosti $0,4 - 0,6 \text{ m.s}^{-1}$. Priemerná rýchlosť úniku TZL z haly $0,5 \text{ m.s}^{-1}$.

Meranie bolo uskutočnené v marci. Pri iných teplotných pomeroch môžu byť pomery prúdenia opačné – v lete v čase vysokých vonkajších teplôt horúci vzduch z vonku by pravdepodobne prúdil z hora a prúdenie z haly zo spodu. Vzhľadom na odsávanie vzduchu z haly cez patrónový filter je, že viac vzduchu prúdi do výrobné haly ako naopak z výrobné haly. Preto meraniu pomerov prúdenia vzduchu treba venovať veľkú pozornosť.

Priemerné koncentrácie TZL boli výrazne nižšie ako 10 mg.m^{-3} . Ale do matematického modelu výpočtu rozptylu bude vzatá najvyššia hodnota koncentrácie prachu v pracovnom prostredí 10 mg.m^{-3} . Úniková plocha brány (jedna tretina plochy brány) $3,3 \times 3,6/3 = 3,96 \text{ m}^2$. Najvyšší možný hmotnostný tok fugitívnych emisií cez otvorenú bránu bude

$$m_{\text{TSP}} = 3,96 \times 0,5 \times 10 \times 10^{-3} = 0,02 \text{ g.s}^{-1}.$$

Táto hodnota je výrazne nižšia ako hodnota výpočtu podľa emisného faktora. Kompletná výroba peliet zahŕňa mletie štiepok, sušenie pilín, peletovanie, chladenie peliet a balenie do fólií. Z hľadiska emisií PM pri hodnotenej výrobe peliet chýbajú najzávažnejšie operácie – mletie a sušenie, pričom aj na chladenie peliet je minimálne doba a ešte horúce peletky sú zabalené. Preto pre takýto prípad, ktorý je dosť častý pri malých prevádzkach, nie je možné použiť emisný faktor na výpočet emisií. Takže výpočet fugitívnych emisií podľa nového modelu považujeme za správnejší pre daný prípad. Aj tento výpočet ukazuje, že fugívne emisie PM cez bránu sú oveľa vyššie ako emisie z granulátora a z kotla.

Ďalej uvádzame výpočet rozptylu fugitívnych emisií na atike najbližšej obytnej budovy (tab. 2).

Záver

Prevádzka výroby peliet ovzdušia vypúšťa emisie tuhých znečisťujúcich látok (PM):

- v spalinách z bodového miesta z komína
- z granulátora po ich čistení patrónovým filtrom
- z otvorenej brány výrobné haly.

Výpočet podľa emisného faktora poskytuje veľmi vysoké hodnoty fugitívnych emisií PM, čo môže byť spôsobené aj tým, že do prevádzky sú dodávané suché piliny a proces sušenia odpadá. Bol navrhnutý nový model výpočtu fugitívnych emisií, ktorý je kombináciou meraní a modelovania rozptylu, ktorý môže poskytnúť reálnejšie výsledky.

Predbežným modelom bola zistená teoreticky najvyššia hodnota hmotnostnej koncentrácie $38,1 \text{ } \mu\text{g.m}^{-3}$ respirabilnej frakcie PM_{10} na atike najbližšej obytnej budovy (vo vzdialenosti 42 m od zdroja), pričom najväčším príspevkom sa na tom podieľajú fugitívne emisie $37,6 \text{ } \mu\text{g.m}^{-3}$. Tento prípad by nastal len zriedkavo za suchého počasia a rýchlosti prúdenia vetra 4 m.s^{-1} presne smerom od zdroja k obytnej budove.

Tab 2 Výpočet rozptylu fugitívnych emisií na atike najbližšej obytnej budovy

Tab 2 Calculation of fugitive emissions scattering at the nearest residential building

Vstupné údaje			
	Označ.	Jednotka	hod.
Objemový tok emitovaného plynu	V _s	m ³ .s ⁻¹	1,98
Výška koruny komína	H	m	5,5
Vzdialenosť posudz. bodu od osi komína	X	m	41,5
Výška bodu nad rovinou päty komína	Z	m	9,6
Rýchlosť vetra vo výške 10 m nad zemou	u	m.s ⁻¹	1
Hmotnostný tok emitovanej TZL	M	g.s ⁻¹	0,0198
Teplota emisie	t _s	°C	22

Pomocné výpočty																	
Merné teplo emisie	c _s	kJ.m ⁻³ .K ⁻¹	1														
Tepelná výdatnosť emitovaného plynu Q=10 ⁻³ .V _s .c _s .t _s	Q	MW	0,0436														
-(h-z) ² /2*σ _Z ²			-18,270	-2,478	-0,559	-0,126	-0,017	0,000	-0,014	-0,038	-0,063	-0,088	-0,111	-0,131	-0,150		
-(h+z) ² /2*σ _Z ²			-53,306	-21,168	-14,247	-11,441	-9,960	-9,057	-8,454	-8,024	-7,703	-7,455	-7,258	-7,099	-6,966		

Tabuľka výsledných hodnôt koncentrácie TZL v posudzovanom bode na atike susednej budovy																	
Rýchlosť vetra vo výške 10 m nad zemou	u	m.s ⁻¹	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
Rýchlosť vetra vo výške koruny komína u _k =u.(0,1.H) ^{0,14}	u _k	m.s ⁻¹	0,9197	1,8394	2,7591	3,6788	4,5985	5,5183	6,4380	7,3577	8,2774	9,1971	10,1168	11,0365	11,9562		
Prevýšenie vlečky h=H+7,34.[(Q ^{0,25} .X ^{0,573})/u _k ^{1,148}]	h	m	36,713	19,585	14,343	11,856	10,419	9,490	8,843	8,368	8,005	7,720	7,490	7,301	7,143		
Smerodajná odchýlka rozptylu ZL - Y σ _Y =0,156.X ^{0,91}	σ _Y	m	4,6297	4,6297	4,6297	4,6297	4,6297	4,6297	4,6297	4,6297	4,6297	4,6297	4,6297	4,6297	4,6297		
Smerodajná odchýlka rozptylu ZL - Z σ _Z =0,239.X ^{0,787}	σ _Z	m	4,4854	4,4854	4,4854	4,4854	4,4854	4,4854	4,4854	4,4854	4,4854	4,4854	4,4854	4,4854	4,4854		
A=(10 ³ .M)/(2.π.σ _Z .σ _Y .u _k +V _s)			0,1651	0,0825	0,0550	0,0413	0,0330	0,0275	0,0236	0,0206	0,0183	0,0165	0,0150	0,0138	0,0127		
B={ [e ^{-(((h-z)/2)/(2.σ_Z²))}] + [e ^{-(((h+z)/2)/(2.σ_Z²))}] }			0,0000	0,0839	0,5717	0,8812	0,9834	0,9997	0,9859	0,9630	0,9388	0,9159	0,8952	0,8769	0,8606		
Koncentrácia v posudzovanom bode	χ	mg.m ⁻³	0,0000	0,0069	0,0315	0,0364	0,0325	0,0275	0,0233	0,0199	0,0172	0,0151	0,0134	0,0121	0,0109		

Pod'akovanie

Táto práca bola podporovaná Vedeckou grantovou agentúrou MŠ SR a Slovenskej akadémie vied č. VEGA 1/0547/15 „Experimentálne meranie a modelovanie fugitívnych emisií“ a za podpory Kultúrnej a edukačnej grantovej agentúry MŠ SR v rámci riešenia projektu KEGA č. 030UMB-4/2017 „Vzdelávacie centrum integrovanej bezpečnosti“.

LITERATÚRA

Guidance document on control techniques for emissions of sulphur, NO_x, VOCs, dust (including PM₁₀, PM_{2.5} and black carbon) from stationary sources. Working Group on Strategies and Review, Fiftieth session, 10-14 September 2012.

Informácia o postupe výpočtu výšky komína na zabezpečenie podmienok rozptylu vypúšťaných znečisťujúcich látok a zhodnotenie vplyvu zdroja na imisnú situáciu v jeho okolí pomocou matematického modelu výpočtu očakávaného znečistenia ovzdušia, zverejnené vo vestníku MŽP SR ročník IV 1996 čiastka 5.

Peletový kotol WOODY (Dostupné na: www.nordjysk-bioenergi.dk)

Report no.: 300-ELAB-1765. Danish Technological Institut. Date: 31.01.2013. (Dostupné na: <http://nbe-global.com/wp-content/uploads/2012/11/30-kW-test.pdf>).

Zimmer A.T., Maynard A.D. 2002. Investigation of the aerosols produced by a high-speed hand-held grinder using various substrates. Ann Occup Hyg; 46: 663–72.