

Biokuro katilinės oro ir darbo aplinkos taršos tyrimai

Liucija Klimavičienė, Ričardas Butkus

Aleksandro Stulginskio universitetas

Pastaraisiais metais Lietuvoje, kaip ir daugelyje kitų pasaulio šalių, viena didžiausių aplinkosaugos problemų yra oro ir darbo aplinkos tarša. Viena iš pagrindinių klimato kaitos priežasčių yra oro tarša katilinių išmetamų deginių teršalais. Svarbiausi dideliais kiekiais išmetami teršalai išsiskiria deginant kurą, t.y. azoto oksidai (NO_x), anglies monoksidas (CO), lakieji organiniai junginiai (LOJ), sieros dioksidas (SO_2) bei kietosios dalelės, o jų kiekiai priklauso nuo kuro rūšies. Jei aplinkos oro taršos tyrimų nemažai, tai darbo aplinka mažai tiriama, todėl šiame straipsnyje nagrinėjama ne tik biokuro katilinių skleidžiama oro tarša, bet ir darbo aplinkos kenksmingi veiksniai.

Katilinė, aplinkos oro tarša, darbo aplinka, kenksmingi veiksniai

Įvadas

Brangstant ir senkant tradicinio iškastinio kuro ištekliams bei didėjant susirūpinimui klimato kaita, vis daugiau yra naudojami atsinaujinantys energijos ištekliai (AEI) ir ypač biokuras (REN 21, 2012).

2012 metais iš viso Lietuvoje biokuro buvo panaudota apie 1 mln. tne (energetinių išteklių sunaudojimo vienetas, metrinė tona). Centralizuotame šilumos tiekimo sektoriuje naudojant daugiau biomasės, prognozuojama, kad vartojimas didės ir 2014–2020 metais. Vertinama, kad iki 2020 metų pagrįstas vietinis potencialas Lietuvoje gali siekti iki 1,8 mln. tne (Nacionalinės šilumos ūkio plėtros programos strateginio pasekmių aplinkai vertinimo ataskaita, 2014).

Bioenergijai gaminti Lietuvoje šiuo metu dažniausiai naudojamas įvairių rūšių medienos biokuras. Tai lemia nemažos jo atsargos, santykinai nedidelė kaina ir nebrangios energijos gavybos iš jo technologijos, be kita ko, leidžiančios sumažinti su degimo produktais išmetamų teršalų kiekius lyginant su kai kuriomis kitomis kuro rūšimis. Tačiau teršalų emisija labai priklauso nuo deginamos medienos kokybės, o vieni iš svarbiausių ją lemiančių veiksnių yra drėgnis ir švarumas.

Nors ir laikoma, kad biokuru kūrenamos katilinės yra ekologiškos, tačiau bet kokia technologija daro tam tikrą poveikį ir gamtinei aplinkai, ir regiono gyventojams. Tiesioginį biokuru kūrenamų katilinių daromą poveikį aplinkai galima apibendrinti taip:

- dujiniai ir kietųjų dalelių išmetimai į atmosferą;
- pelenai, kuriuos reikia utilizuoti;
- triukšmas;
- kuro gabenimas sunkiosiomis transporto priemonėmis (Vares et al., 2007).

Aplinkos epidemiologiniais tyrimais nustatyta, kad egzistuoja tiesioginis priklausomumas tarp aplinkos taršos ir žmogaus sveikatos (The Emecam, 2002).

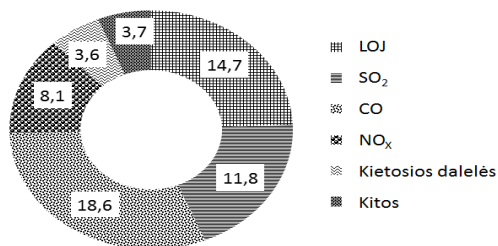
Per dieną įkvepiame vidutiniškai 10 tūkst. litrų oro. Ką įkvepiame kartu su juo? Priklauso nuo to, kur gyvename ir dirbame.

Oro užterštumas tampa sudėtinga bei didėjančia problema. Oro, kuriuo kvėpuojame patalpose, kokybė taip pat turi tiesioginį poveikį mūsų sveikatai. Kas lemia patalpų oro kokybę? Ar lauko ir patalpų oro teršalai skiriasi (Sinha et al., 2006).

Darbo aplinkoje dažnai pasitaiko kenksmingų veiksnių, kurie veikdami ilgą laiką darbuotojo organizmą, žaloja sveikatą ir gali sukelti profesinę ligą.

Daugelį iš mūsų gali nustebinti tai, kad vidutinio intensyvumo miesto gatvės oras gali būti švaresnis už orą mūsų svetainėje. Anksčiau patalpų oro užterštumas sulaukdavo žymiai mažiau dėmesio nei lauko, ypač nei lauko oro užterštumas pramonės ir transporto priemonių išmetamais teršalais. Tačiau pastaraisiais metais patalpų oro taršos poveikio keliami grėsmė tapo aiškiau matoma (Dherani et al., 2008).

Remiantis Aplinkos apsaugos agentūros (AAA) parengtos ataskaitos „Oro kokybė aglomeracijose ir zonoje, 2013 m.“ duomenimis, 2013 m. stacionarūs taršos šaltiniai iš viso Lietuvoje į atmosferą išmetė 60,6 tūkst. tonų teršalų. Šalies pramonės ir energetikos įmonės daugiausia į orą išmetė tokių degimo produktų, kaip anglies monoksidas (CO), sieros dioksidas (SO_2) ir lakieji organiniai junginiai (1 pav.) (Nacionalinės šilumos ūkio plėtros programos strateginio pasekmių aplinkai vertinimo ataskaita, 2014).



1 pav. Stacionarių taršos šaltinių išmetimai (tūkst. tonų) 2013 m.
Fig. 1. Stationary source emissions (thousand tons) 2013.

Didžiausią riziką aplinkai daro oro teršalai, susidarantys degimo procese: anglies monoksidas (CO), sieros dioksidas (SO_2), azoto oksidai (NO_x) bei kietosios dalelės (KD), anglies dvideginis (CO_2), deginant kai kurias kuro rūšis galimos lakiųjų organinių junginių emisijos (LOJ). Anglies dioksidas dažnai laikomas kaip indikatorius darbo patalpose, kuriose oro teršalai susidaro dėl žmonių buvimo jose.

Taikant oro taršos tyrimo metodus, galima išsiaiškinti, kokia dalis ligų kyla dėl darbo bei gyvenamosios aplinkos oro taršos.

Energiją generuojantys objektai išmeta į atmosferą didelius kiekius įvairių dujų ir kitų degimo produktų. Skaičiuojant išmetimus energetikos objektų grupės įvertinamos pagal emisijos faktorius, taip supaprastinami skaičiavimai. Šis metodas leidžia lengviau gauti palyginamus rezultatus, nustatant susidarančių teršalų kiekius. Gimbutaitė, 2007 atlikusi tyrimus, nustatė įvairių kuro rūšių emisijų kiekius, siekiant pagaminti atitinkamą kiekį šilumos (1 lentelė).

1 lentelė. Įvairių kuro rūšių emisijų kiekiai (siekiant pagaminti 15 592 TJ šiluminės energijos) (Gimbutaitė, 2007).

Table 1. Various types of fuel emission levels (to produce 15 592 TJ of thermal energy)(Gimbutaitė, 2007).

Kuro rūšis Type of fuel	Teršalai, t/metus Pollutants, t/year				
	CO	CO ₂	SO ₂	NO _x	KD
Medienos kuras Wood fuel	2 495	1 590	2 027	2 027	3 196
Gamtinės dujos Natural gas	390	887 185	5	2 495	23
Krosnių kuras Heating oil	2 339	115	2 189	2 339	370

Oro teršalai yra normuojami, o normos yra taikytinos tik kurą deginantiems įrenginiams, kurie yra skirti energijai gaminti (LAND 43-2013). Teršalai kenkia biosferai, ypač juos deginant, bei kenkia visuomenės sveikatai, turi kenksmingos įtakos darbuotojų darbingumui. Todėl kenksmingų kuro degimo išlakų kiekiai ribojami – tarša apmokestinama. Visa tai turi nemažos įtakos energijos gamybos savikainai bei visuomenės socialinei gerovei.

Tarša aplinkoje sklinda tiek vertikaliai, tiek horizontaliai, priklausomai nuo įvairių sąlygų. Sieros dioksidas ir azoto oksidai, į atmosferą išmesti vienoje vietoje, iškristi gali visai kitoje, dažnai net kitoje valstybėje. Aplinkos oro kokybės vertinimui yra naudojami konkretūs kiekybiniai rodikliai – didžiausia leistina teršiančių medžiagų koncentracija atmosferos ore – ribinė vertė (RV) (Laurinavičienė, 2010).

Lietuvoje teršalų koncentracijos darbo vietoje ir gyvenamojoje aplinkoje yra ribojamos teisės aktais. Kai kurių kenksmingų aplinkai ir žmogaus sveikatai dujų (azoto dioksido, azoto monoksido ir sieros dioksido) koncentracijų ribinės vertės gyvenamajai aplinkai (HN 35) ir aplinkos oro užterštumui (Aplinkos oro, 2010) riboti pateiktos 2 lentelėje.

2 lentelė. Kai kurių cheminių medžiagų koncentracijų RV gyvenamojoje aplinkoje (HN 35) ir aplinkos taršai (Aplinkos oro, 2010)

Table 2. Limit concentrations of some substances in living environment (norm HN 35) and environment pollution (Environment air, 2010).

Medžiaga Material	Didžiausia leidžiama koncentracija The maximum allowable concentrations in ppm:		
	HN 35		Aplinkos taršos environment pollution (vidurkis / average)
	Vienkartinė One-off	Paros Diurnal	
Kietosios dalelės / PM10	0,50 mg · m ⁻³	0,15 mg · m ⁻³	0,040 mg · m ⁻³ (per metus / year)
SO ₂	0,19 ppm	0,019 ppm	0,13 ppm (valanda /hour)
NO ₂	0,05 ppm	0,02 ppm	0,11 ppm (valanda /hour) arba / or 0,040 mg · m ⁻³ (per metus / year)
CO	5 ppm	3 ppm	10 mg · m ⁻³ (para / day)

Siekiant apsaugoti darbuotojus nuo kenksmingo dulkių poveikio, pagal HN 23:2011 ribojama ilgalaikio poveikio koncentracijos įkvėpjamajai ir alveolinei frakcijoms, atitinkamai 10 mg·m⁻³ ir 5 mg·m⁻³ vertėmis.

Lietuvoje biokuro katilinių oro taršos tyrimų rezultatų paskelbta mažokai, o aptikti darbo aplinkos taršos tyrimų iš viso nepavyko, todėl šio tyrimo tikslas – atlikti vidutinės galios biokuro katilinės oro taršos ir darbo aplinkos kenksmingų veiksnių tyrimus.

Tyrimų metodika

Deginių emisijai į aplinkos orą nustatyti taikytas elektrocheminis analizės metodas. Temperatūra, deguonies kiekis dūmuose ir pagrindinių teršalų – anglies monoksido, azoto oksidų ir sieros dioksido – koncentracijos dūmuose buvo išmatuotos dujų analizatoriumi „TESTO-350“. Prietaiso anglies monoksido matavimo diapazonas yra nuo 0 iki 40000 ppm, o matavimo tikslumas siekia ±10 proc., azoto oksidų matavimo diapazonas yra nuo 0 iki 5000 ppm, o matavimo tikslumas siekia ±5 proc. Tyrimai vidutinės galios biokuro degalinėje atlikti tris kartus pasikartojančiais 10 min. trukmės matavimais. Tarp mėginių ėmimo taikytas 30 min. laikotarpis katilo šiluminiam režimui atstatyti. Automatiškai paimtų dūmų bandiniai apdorojami matavimo prietaiso bloke, įkaitinant dūmus iki 160 °C ir po to staigiai atšaldant iki 0 °C, drėgmės pasišalinimui iš bandinio. Toliau vyksta išvalymas nuo kietųjų dalelių – perleidžiant per pluštinį filtrą ir automatiškai analizės bloke fiksuojant anglies monoksido, sieros dioksido, azoto monoksido ir deguonies koncentracijos (TESTO-350, 1997).

Katilinės darbo aplinkoje atlikti dulkių, triukšmo ir šiluminės aplinkos matavimai operatoriaus darbo vietoje: prie valdymo pulto, katilo patalpoje, kogeneracinėje jėgainėje, biokuro saugyklos patalpoje.

Dulkių koncentracijos ir dalelių kiekio tyrimai atlikti pagal HN 23:2011 reikalavimus. Matavimai atlikti dulkių koncentracijos matavimo prietaisu TSI 8520 DustTrak (TSI 8520 DustTrak), o dalelių kiekio – Fluke 983. Dulkių koncentracija nustatyta pagal dalelių ne didesnių kaip 10,0 μm kiekį. Dalelių kiekiai nustatyti pagal 6 frakcijas: mažesnes kaip 0,3 μm, nuo 0,3 iki 0,5 μm, nuo 0,5 iki 1,0 μm, nuo 1,0 iki 2,0 μm, nuo 2,0 iki 5,0 μm, nuo 5,0 iki 10,0 μm – 1 litro tūryje. Triukšmo tyrimai atlikti pagal Darbuotojų apsaugos nuo triukšmo rizikos nuostatų (2005) reikalavimus. Matavimams naudotas garso slėgio lygių matuoklis-analizatorius Delta OHM 2010. Šiluminės aplinkos parametrai tirti pagal HN 69:2003 reikalavimus, panaudojant matuoklį TESTO 445.

Matavimai atlikti būdingųjų darbo procesų metu, taikant ne mažiau kaip 1 minutės trukmę. Matavimų kartotinumumas – 3 kartai. Tyrimų galutiniai rezultatai pateikiami matavimų aritmetinio vidurkio išraiška, nurodant kai kurių matavimų standartinės neapibrėžties vertes.

Rezultatai ir aptarimas

Tyrimo metu iš katilinės kamino išmetamų kietųjų dalelių, sieros oksidų, anglies monoksido ir azoto oksidų kiekiai aprašyti 3 lentelėje.

Biokuro katilinės kamine išmetamuose dūmuose sieros oksidų deginiuose nebuvo, o azoto oksidų koncentracijos siekė $146,5 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$. Anglies monoksido teršalų vidurkis siekė $167,3 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$, kietųjų dalelių vidutinė koncentracija prie 6 proc. O_2 siekė $201 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$.

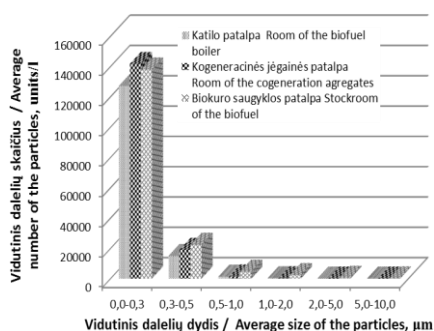
Apibendrinant galima teigti, kad atlikus tyrimus biokuro katilinės aplinkos tarša išmetamųjų dujų kamine

pagal „Išmetamųjų teršalų iš kurų deginančių įrenginių normos“ (LAND 42-2013) teršalai nustatyti teršalų ribinių verčių neviršija, tačiau lieka tikimybė, kad ir maži teršalų kiekiai kenkia aplinkai ir žmonių sveikatai.

3 lentelė. Biokuro katilinės išmetamųjų aplinkos oro teršalų tyrimo rezultatai $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$.
Table 3. Results of biofuel boiler air pollutants emissions in the environment $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$.

Katilo tipas, galia MW, kuras <i>The boiler type, capacity MW, fuel</i>	Teršalo pavadinimas <i>Pollutant name</i>	Vidutinė koncentracija, perskaičiuota prie 6 proc. O_2 , $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ <i>The average concentration corrected to 6 proc. O_2, $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$</i>	O_2 koncentracija tūrio proc. <i>O_2 concentration by volume</i>	Sausų dujų tūrio debitas normaliomis sąlygomis Nm^3/s <i>Dry gas volume flow rate at standard conditions Nm^3/s</i>	Dūmų temperatūra, $^{\circ}\text{C}$ <i>Smoke temperature $^{\circ}\text{C}$</i>	Išmetamųjų teršalų ribinė vertė $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ kietajam kurui <i>The emission limit value $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ solid fuel</i>
Katilas Boiler VLB 4000, smulkinta mediena chipped wood	Kietosios dalelės PM_{10}	201	10,566	1,274	82,9	400
	CO	167,3	11,7	-	107,4	4000
	NO_x	146,5	11,7	-	109,9	650

Atlikus dulkių koncentracijos matavimus katilinės katilo patalpoje, kogeneracinės jėgainės patalpoje bei biokuro saugyklos patalpoje paaiškėjo, kad didžiausia dulkių koncentracija vyrauja kogeneracinėje jėgainėje ($0,18 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$) bei biokuro saugyklos patalpoje ($0,16 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$). Tokios dulkių koncentracijos neviršija ribinių verčių, nustatytų HN 23. Norint įvertinti dulkių įtaką žmogaus sveikatai, svarbu žinoti ir dulkių dalelių dydžius. Biokuro darbo aplinkos tyrimų rezultatai rodo (2 pav.), kad vyraujančios yra iki $0,5 \mu\text{m}$ dydžio kietosios dalelės visuose matavimo taškuose. Šių dalelių kiekis 1 litre oro siekė 88 – 87 proc. nuo bendrojo dalelių skaičiaus.



2 pav. Vidutinio dalelių skaičiaus pasiskirstymas pagal jų dydį biokuro katilinės patalpų darbo vietose.

Fig. 2. Distribution of the particles number dependence of its size in work pleases of biofuel boiler

Triukšmo tyrimo apibendrinti rezultatai pateikti 4 lentelėje.

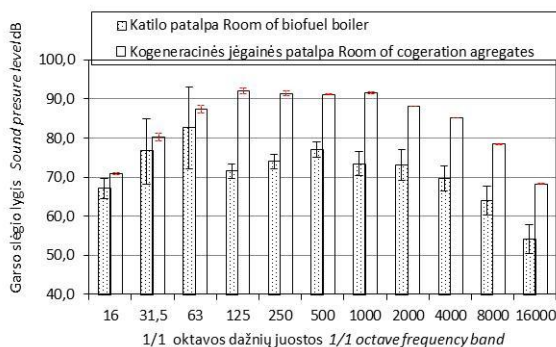
4 lentelė. Ekvivalentiniai A svertiniai ($L_{A,eq}$, dBA) ir didžiausieji C svertiniai ($L_{C,peak}$, dBC) garso slėgio lygiai katilinės operatoriaus darbo vietose ir apytikslė darbo trukmė jose.

Table 4. Equivalent A weighted ($L_{A,eq}$, dBA) and C weighted peak ($L_{C,peak}$, dBC) sound pressure levels in operator workstations of the boiler rooms and approximate work duration in there in.

Patalpa <i>Room</i>	Parametrai <i>Parameters</i>		
	$L_{A,eq}$, dBA	$L_{C,peak}$, dBC	t , val. <i>hours</i>
Katilo <i>Boiler</i>	79,6±2,9	104,3±1,2	1,0
Kogeneracijos <i>Cogeneration</i>	95,9±0,1	108,3±0,1	0,5
Saugykla <i>Stock</i>	82,5±1,3	99,2±1,0	0,5
Operatorinė <i>Control</i>	60,3	-	5,5

Apibendrinti triukšmo tyrimo rezultatai rodo, kad didžiausieji garso slėgio lygiai yra kogeneracinės jėgainės patalpoje. Triukšmo ekspozicijos lygis (1 lygtis) rodo, kad viršijama kasdienio triukšmo veikimo žemutinė vertė veiksmams pradėti (80 dBA). Turėtų būti nustatyta griežtesnė darbuotojų sveikatos priežiūra ir klausos asmeninių apsaugos priemonių naudojimo tvarka. Sudarant triukšmo poveikio mažinimo programą, reikėtų ieškoti galimybių kogeneracinės jėgainės ir katilo patalpų sienas bei lubas padengti garsą sugeriančių medžiagų dangomis. Projektuojant tokias dangas reikia turėti garso slėgių lygio pasiskirstymą 1/1 oktavos dažnių juostose, kurios pagal mūsų tyrimų rezultatus pateiktos 3 pav. Šios garso slėgio charakteristikos labai naudingos ir parenkant tinkamas klausos asmenines apsaugos priemones.

$$L_{EX,8h} = 10 \lg \left[\frac{1}{T_0} \sum_{i=1}^n t_i \cdot 10^{0,1L_{Aeq,i}} \right] = 10 \lg \left[\frac{1}{8} \left(10^{0,1 \cdot 79,6} + 0,5 \cdot 10^{0,1 \cdot 95,9} + 1 \cdot 10^{0,1 \cdot 77,7} + 0,5 \cdot 10^{0,1 \cdot 80,3} + 5,5 \cdot 10^{0,1 \cdot 60,3} \right) \right] \approx 84 \text{ dBA}. \quad (1)$$



3 pav. Garso slėgio lygiai 1/1 oktavos dažnių juostose.
Fig. 3. Sound pressure levels in 1/1 octave frequency band.

Išvados

1. Biokuro katilinės kamine išmetamuose dūmuose sieros oksidų deginiuose nebuvo, o azoto oksidų koncentracijos siekė $146,5 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$. Anglies monoksido teršalų vidurkis siekė $167,3 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$, kietųjų dalelių vidutinė koncentracija prie 6 proc. O_2 siekė $201 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$. Išmatuotos teršalų koncentracijos neviršijo teršalų ribinių verčių, tačiau visada išlieka tikimybė, kad net ir nedideli kiekiai turi neigiamos įtakos aplinkai bei žmonių sveikatai.

2. Biokuro darbo aplinkos tyrimų rezultatai parodė, kad vyraujančios yra iki $0,5 \mu\text{m}$ dydžio kietosios dalelės visuose matavimo taškuose. Šių dalelių kiekis 1 litre oro siekė 88 – 87 proc. nuo bendrojo dalelių skaičiaus. Kietosios dalelės ore išsilaiko kelias dienas ar savaites, o įkvėpus nusėda plaučiuose, tad būtina ieškoti efektyvių sprendimų taršos šaltinio reguliavimui.

3. Triukšmo sklaidos ir garso atspindžiams kogeneracinės jėgainės ir katilų patalpose sumažinti siūloma patalpų sienas ir lubas padengti garsą sugeriančiomis medžiagomis, o parenkant dangas

Liucija Klimavičienė, Ričardas Butkus

Research of air and working environment in biofuel boiler plants

Summary

One of the biggest environmental problems in Lithuania, as in many other countries in the world, is pollution of the air and the working environment. The main cause of the climate change is air pollution by heating boilers exhaust emissions. Nitrogen oxides (NO_x), carbon monoxide (CO), volatile organic compounds (VOCs), sulphur dioxide (SO_2) and particle matters are the main environment pollutants. The quantity of the emission depends on the fuel type during combustion process. There are number of the studies about environmental air pollution but only few of them investigate the pollution of the working environment. Beside the environmental air pollution the article investigates the harmful factors of the working environment.

Boiler room, environmental air pollution, working environment, harmful factors.

Gauta 2015 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2015 m. balandžio mėn.

Liucija KLIMAVIČIENĖ. Aleksandro Stulginskio universiteto Žemės ūkio inžinerijos fakulteto Žemės ūkio inžinerijos ir vadybos programos magistrantė. Adresas: P. Lukšio g. 42-45, LT-49353 Tel: (8 606) 55 135, el. pastas l.klimaviciene@gmail.com

Liucija KLIMAVIČIENĖ Post graduate of Agricultural Engineering and Management Program at Aleksandras Stulginskis University.

Address: P. Lukšio g. 42-45, LT-49353 Phone: (+370 606) 55 135 e-mail: l.klimaviciene@gmail.com

Ričardas BUTKUS. Aleksandro Stulginskio universiteto Žemės ūkio inžinerijos ir saugos instituto docentas, daktaras. Adresas: Studentų g. 15b, LT-53362 Akademija, Kauno r. Tel. (8 681) 96 244, el. paštas: ricardas.butkus@asu.lt

Ričardas BUTKUS. Assoc. prof., dr. Institute of Agriculture Engineering and Safety of Aleksandras Stulginskis University; Address: Students 15b, LT-53362 Akademija, Kauno r. Tel. (+370) 681 96 244, e-mail: ricardas.butkus@asu.lt

pasinaudoti mūsų nustatytais garso lygiais 1/1 oktavos dažnių juostose.

Literatūra

1. Aplinkos oro užterštumo sieros dioksidu, azoto dioksidu, azoto oksidais, benzenu, anglies monoksidu, švinu ir kietosiomis dalelėmis normos, 2010. http://oras.gamta.lt/files/Nacionalines_oro_uzterstumo_normos.pdf (2015. 02.07).
2. Darbuotojų apsaugos nuo triukšmo keliamos rizikos nuostatai // Valstybės žinios, 2013, Nr. 70-3541.
3. DHERANI M., POPE D., et al., 2008. Indoor air pollution from unprocessed solid fuel use and pneumonia risk in children aged under five years: a systematic review and meta-analysis // *B. World Health Organ.* 86 (5), P. 360-398.
4. Dėl išmetamų teršalų iš didelių kurą deginančių įrenginių normų ir išmetamų teršalų iš kurą deginančių įrenginių normų LAND 43-2013 nustatymo, 2013 m. balandžio 10 d. Nr. D1-244 LR Aplinkos ministro įsakymas, Vilnius // Valstybės žinios. 2013, Nr. 16-35.
5. GIMBUTAITĖ I., 2007. Comparison of Application of Wood Wastes in Energy Production whit Other Fuel Sorts. 10-oji jaunuųjų mokslininkų konferencija „Mokslas–Lietuvos ateitis“.
6. HN 23:2011. Cheminių medžiagų profesinio poveikio ribiniai dydžiai. Matavimo ir poveikio vertinimo bendrieji reikalavimai.
7. HN 35:2007. Didžiausia leidžiama cheminių medžiagų koncentracija gyvenamosios aplinkos ore.
8. LAURINAVIČIENĖ D., 2010. Aplinkos chemijos paskaitų medžiaga. 2010, VDU.
9. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21). Renewables 2012. Global Status Report. 172 p.
10. Nacionalinė atsinaujinančių energijos išteklių plėtros programa iki 2020 m. Strateginio pasekmių aplinkai vertinimo ataskaitos dokumentas, 2014. http://www.enmin.lt/NAEIPP_SPAV.pdf (2015 02 09).
11. SINHA, S.N., KULKARNI, P.K., SHAH, S.H., et al., 2006. Environmental 586 monitoring of benzene and toluene produced in indoor air due to 587 combustion of solid biomass fuels. *Sci. Total Environ.* 357, 280–287.
12. The Emecam Project: a multicentre study on air pollution and mortality in Spain: combined results for particulates and for sulphur dioxide // *Occup Environ Med.* 2002, 59: p. 300-308.
13. VARES V., KASK U., MUISTE P., PIHU T., SOOSAAR S., 2007. Biokuro naudotojų žinynas. Vilnius: Žara, 99 p.