VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Raimondas GRUBLIAUSKAS

APLINKOS TRIUKŠMO IR JO MAŽINIMO, TAIKANT LENGVAS KONSTRUKCIJAS, TYRIMAI BEI SKAITINIS MODELIAVIMAS

DAKTARO DISERTACIJA

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI,
APLINKOS INŽINERIJA IR KRAŠTOTVARKA (04T)

VGTU
LEIDYKLA
Vilnius TECHNIKA 2009

Disertacija rengta 2005–2009 metais Vilniaus Gedimino technikos universitete.

Mokslinis vadovas

prof. habil. dr. Donatas BUTKUS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, technologijos mokslai, aplinkos inžinerija ir kraštotvarka – 04T).

Konsultantai:

doc. dr. Vytautas NAINYS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, technologijos mokslai, mechanikos inžinerija – 09T),

prof. habil. dr. Petras VAITIEKŪNAS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, technologijos mokslai, aplinkos inžinerija ir kraštotvarka – 04T).

http://leidykla.vgtu.lt

VGTU leidyklos TECHNIKA 1627-M mokslo literatūros knyga

ISBN 978-9955-28-431-4

© Vilniaus Gedimino technikos universitetas, 2009
© Raimondas Grubliauskas, 2009
Autoriaus el. paštas *raimondas.grubliauskas@ap.vgtu.lt*

VILNIUS GEDIMINAS TECHNICAL UNIVERSITY

Raimondas GRUBLIAUSKAS

RESEARCH AND DIGITAL MODELLING OF ENVIRONMENTAL NOISE AND ITS REDUCTION BY APPLYING LIGHT STRUCTURES

DOCTORAL DISSERTATION

TECHNOLOGICAL SCIENCES,
ENVIRONMENTAL ENGINEERING (04T)

VGTU
LEIDYKLA
TECHNIKA
Vilnius 2009

Doctoral dissertation was prepared at Vilnius Gediminas Technical University in 2005–2009.

Scientific Supervisor

Prof Dr Habil Donatas BUTKUS (Vilnius Gediminas Technical University, Technological Sciences, Environmental Engineering – 04T).

Consultants:

Assoc Prof Dr Vytautas NAINYS (Vilnius Gediminas Technical University, Technological Sciences, Mechanical Engineering – 09T),

Prof Dr Habil Petras VAITIEKŪNAS (Vilnius Gediminas Technical University, Technological Sciences, Environmental Engineering – 04T).

Reziumė

Disertacijoje nagrinėjamas triukšmo šaltinių keliamo triukšmo sklidimas į aplinką bei ieškoma mažinimo priemonių jam slopinti. Disertacijos tikslas – įvertinti stacionarių ir mobilių šaltinių keliamo triukšmo sklaidą aplinkoje ir numatyti efektyvias priemones jai mažinti, naudojant triukšmo slopinimo kamerą, o priemonių efektyvumą įvertinti modeliuojant.

Šiame darbe sprendžiami keli pagrindiniai uždaviniai: sukurti ir įrengti triukšmo slopinimo kamerą; nustatyti triukšmo sklaidą, esant skirtingiems mobiliems ir stacionariems triukšmo šaltiniams; numatyti bei modeliavimo būdu įvertinti priemones triukšmui slopinti.

Disertaciją sudaro įvadas, penki skyriai, rezultatų apibendrinimas, naudotos literatūros ir autoriaus publikacijų disertacijos tema sąrašai.

Įvadiniame skyriuje aptariama tiriamoji problema, darbo aktualumas, aprašomas tyrimų objektas, formuluojamas darbo tikslas bei uždaviniai, aprašoma tyrimų metodika, darbo mokslinis naujumas, darbo rezultatų praktinė reikšmė, ginamieji teiginiai. Įvado pabaigoje pristatomos disertacijos tema autoriaus paskelbtos publikacijos ir pranešimai konferencijose bei disertacijos struktūra.

Pirmasis skyrius skirtas literatūros apžvalgai. Jame išnagrinėti skirtingi triukšmo parametrai, jo šaltiniai, triukšmo mažinimo būdai, poveikis aplinkai, triukšmo sklaidos modeliavimo programos bei medžiagų akustinių savybių tyrimai. Skyriaus pabaigoje formuluojamos išvados.

Antrajame skyriuje pateiktos eksperimentinių tyrimų, skirtingų šaltinių keliamo triukšmo sklaidos įvertinimo bei modeliavimo metodikos.

Trečiajame skyriuje pristatyti triukšmo slopinimo kameros bei joje vykdytų medžiagų bei konstrukcijų akustinių savybių tyrimo rezultatai. Taip pat įvertinti rezultatai, gauti triukšmo lygio matavimus atlikus esant skirtingiems mobiliems bei stacionariems triukšmo šaltiniams ir pasiūlytos priemonės triukšmui slopinti.

Ketvirtajame skyriuje analizuotas mobilių ir stacionarių šaltinių sukeliamo triukšmo sklaidos bei jos mažinimo ypatumai su „CadnaA“ kompiuterine programa.

Penktame skyriuje aprašyta sukurta triukšmo slopinimo kamera.

Disertacijos tema yra atspausdinta 12 mokslinių straipsnių: du – mokslo žurnaluose, įtrauktuose į Thomson ISI Web of Science duomenų bazę; du – mokslo žurnaluose, įtrauktuose į Thomson ISI Master Journal List, trys – recenzuojamose tarptautinių konferencijų leidiniuose, įtrauktuose į Thomson ISI Proceedings duomenų bazę, keturi – respublikinių, vienas – tarptautinėje konferencijų medžiagoje. Disertacijos tema perskaityti 6 pranešimai Lietuvos bei tarptautinėse konferencijose.

Abstract

The dissertation analyses the problem of environment noise pollution and mitigation. The dissertation is aimed to evaluate the dispersion of noise from stationary and mobile sources, provide for effective techniques and measures to reduce it by using a noise suppression chamber for research into acoustic properties and to estimate the efficiency of the noise reduction measures through modelling.

The work deals with main tasks: to design and fit out a noise suppression chamber and use it for research into the noise absorption and insulation properties of different materials; to determine the levels and dispersion of noise from different mobile and stationary sources of noise; to determine the longitudinal sound wave attenuation coefficient for individual building materials and for building structures - the airborne sound attenuation index; to estimate the efficiency of the measures reducing noise from diferent sources with software "CadnaA".

The scientific work consist of the general characteristic of the dissertation, 5 chapters, conclusions and recommendations, list of literature, list of publications.

The introduction discusses the problem addressed, topicality of the work, describes the object of research, and formulates the aim and tasks of the work, scientific novelty of the work, practical value of the research results and defended propositions. It presents the author's publications and conference reports on the topic of the dissertation and the structure of the dissertation.

The first chapter is intended for literature review. It investigates noise pollution, noise sources, effect of noise on humans and the environment, ways of noise reduction and acoustical researches. It also describes the modeling of noise dispersion. The chapter ends with formulated conclusions.

The second chapter presents the methodologies of research in the acoustical chamber, experimental research on noise and digital modeling of its dispersion.

The third chapter presents the results of research on acoustic properties of building materials and structures. It also presents the research results and analysis of the noise generated by industrial stationary and mobile sources.

The fourth chapter represents the estimation of the measures reducing noise from mobile and stationary sources with the software CadnaA.

The fifth chapter desribes designed and buildet noise suppression chamber.

On the basis of the work results, 2 articles were published in reviewed publications included in the list of Thomson ISI Web of Science journals, 2 articles – in reviewed publications being on the Thomson ISI Master List, 3 articles – in reviewed publications on the list of Thomson ISI Proceedings, and 5 articles – in other scientific publications.

Žymėjimai

Simboliai

$L_{Aeq,T}$ – ekvivalentinis nuolatinis A svertinis garso slėgio lygis, dBA;

L_p – garso slėgio lygis, dB;

c – garso greitis ore, m/s;

h – medžiagos storis, mm;

R_w – garso izoliacijos rodiklis, dB;

$D_{nT,W}$ – standartizuotas garso lygių skirtumas, dB;

r_{rib} – ribinis atsispindėjusios zonos spindulys, m;

ΔL – garso slėgio lygio sumažėjimas, dB;

B – patalpos pastovioji iki paviršių padengimo akustinėmis medžiagomis;

B_1 – patalpos pastovioji po paviršių padengimo akustinėmis medžiagomis;

B_{1000} – patalpos pastoviosios dydis esant 1000 Hz dažniui;

μ_1 – dažnių daugiklis;

A_0 – ekvivalentinis nepadengtų atitvarinių konstrukcijų paviršių plotas, m^2;

α_{vid} – patalpos iki padengimo atitvarinių konstrukcijų garso sugerties vidutinis koeficientas;

V – patalpos tūris, m^3;

α_p – padengtų paviršių akustinėmis medžiagomis garso sugerties koeficientas;

S_p – padengtų paviršių plotas, m^2;

S – bendras atitvarinių konstrukcijų patalpoje plotas, m^2;

ΔL_r – reikalingas garso slėgio sumažėjimas patalpoje, dB;

L – garso slėgio lygis skaičiuojamame taške iki padengimo, dB;

α_{vid} – vidutinis garso sugerties koeficientas;

T – išmatuota aidėjimo trukmė priimamojo garso patalpoje, s;

DL_R – garso ore silpninimo rodiklis, dB;

μ – ilginis garso bangų intensyvumo silpimo koeficientas, m^{-1};

R_i – garso izoliavimo rodiklis i-joje 1/3 oktavos juostoje, dB;

L_i – normuotasis, garso slėgio lygis triukšmo i-joje 1/3 oktavos juostoje, dB;

ΔL_v – garso bangos, praeinančios per ekrano viršų, slėgio lygis, dB;

ΔL_R – garso bangos, įtakojamos ekrano akustinės varžos, slėgio lygis, dB;

N_v – akustinis ekrano efektas, dB;

δ – garso bangos kelio skirtumas, m;

λ – bagos ilgis, m;
f – garso virpesių dažnis, Hz;
T – garso virpesių periodas, s;
I – garso intensyvumas, W/m^2;
P – garso šaltinio galia, W;
Φ – garso šaltinio kryptingumo veiksnys;
r – atstumas nuo triukšmo šaltinio iki priėmėjo, m;
Ω – erdvinis spinduliavimo kampas, ^{o};
L_{AImaks} – didžiausia triukšmo lygio vertė pagal laiko charakteristiką „impulsinis“, dB;
L_{ASmaks} – didžiausia triukšmo lygio vertė pagal laiko charakteristiką „lėtai“, dB;
L_{AFmaks} – didžiausia triukšmo lygio vertė pagal laiko charakteristiką „greitai“, dB;
L_w – garso galios lygis, dB.

Santrumpos

VGTU – Vilniaus Gedimino technikos universitetas;
AAK – Aplinkos apsaugos institutas;
HN – higienos norma;
LTL – leistinas triukšmo lygis, dBA;
SAZ – sanitarinė apsaugos zona;
JAV – Jungtinės Amerikos valstijos;
EAA – Europos Aplinkos agentūra;
PSO – Pasaulio sveikatos organizacija.

Turinys

ĮVADAS 1
Tiriamoji problema 1
Darbo aktualumas 2
Tyrimų objektas 2
Darbo tikslas 2
Darbo uždaviniai 2
Tyrimų metodika 3
Darbo mokslinis naujumas ir jo reikšmė 3
Darbo rezultatų praktinė reikšmė 4
Ginamieji teiginiai 4
Darbo rezultatų aprobavimas 4
Disertacijos struktūra 5

1. APLINKOS TRIUKŠMAS IR JO PROBLEMA 7
1.1. Pagrindiniai triukšmo parametrai ir jų įvertinimas 8
1.2. Skirtingo pobūdžio triukšmo šaltinių analizė 10
1.2.1. Mobiliųjų ir stacionariųjų šaltinių keliamas triukšmas 12
1.2.2. Impulsinis triukšmas ir jo šaltiniai 16
1.3. Triukšmo poveikis žmogui ir aplinkai 17

1.4. Triukšmo mažinimo būdai 20
1.4.1. Triukšmo mažinimas pramonės zonų teritorijose 21
1.4.2. Transporto keliamo triukšmo mažinimas 24
1.5. Laboratoriniai akustiniai garsą slopinančiųjų medžiagų tyrimai 32
1.6. Triukšmo sklaidos modeliavimas 35
1.7. Pirmojo skyriaus išvados ir disertacijos uždavinių formulavimas 38

2. EKSPERIMENTINIŲ TRIUKŠMO TYRIMŲ IR JO SKLAIDOS SKAITINIO MODELIAVIMO METODIKA 39
2.1. Triukšmo slopinimo kamera ir jos akustiniai tyrimai 40
2.2. Triukšmo slopinimo sienelėms rekomenduotinų medžiagų ir konstrukcijų akustiniai kameriniai tyrimai 41
2.3. Tyrimo objektai ir priemonės triukšmui mažinti 47
2.3.1. Pramoniniai stacionarieji triukšmo šaltiniai 47
2.3.2. Mobilieji triukšmo šaltiniai 55
2.4. Skaitinis triukšmo sklaidos modeliavimas 59
2.5. Matavimo ir skaičiavimo duomenų apdorojimas 64
2.6. Antrojo skyriaus išvados 66

3. EKSPERIMENTINIŲ TYRIMŲ REZULTATAI 67
3.1. Triukšmo slopinimo kameros akustinių savybių tyrimo rezultatai 68
3.2. Statybinių medžiagų ir konstrukcijų akustinių savybių tyrimo rezultatai 72
3.3. Pramoninių stacionariųjų šaltinių keliamo triukšmo tyrimai ir analizė 83
3.3.1. Stacionariojo šaltinio sukeliamo triukšmo ir jo sklaidos tyrimai 83
3.3.2. Priemonės stacionariųjų šaltinių keliamo triukšmo sklaidai į aplinką mažinti 85
3.4. Mobiliųjų šaltinių keliamo triukšmo tyrimai ir analizė 91
3.4.1. Geležinkelių ir automobilių transporto keliamo triukšmo plitimo ypatumai 91
3.4.2. Priemonės mobiliųjų šaltinių keliamam triukšmui mažinti 100
3.5. Trečiojo skyriaus išvados 103

4. TRIUKŠMO SKLAIDOS SKAITINIS MODELIAVIMAS 105
4.1. Triukšmo sklaidos į aplinką nuo stacionariųjų šaltinių įvertinimas modeliuojant 105
4.2. Geležinkelio transporto keliamo triukšmo sklaidos modeliavimas 108
4.3. Automobilių transporto keliamo triukšmo sklaidos modeliavimas 112
4.4. Ketvirtojo skyriaus išvados 119

5. INŽINERINIAI SPRENDINIAI 121
5.1. Triukšmo slopinimo kameros konstrukcija 121
5.2. Perforuotos skardos ekrano su užpildu taikymas 124
5.3. Penktojo skyriaus išvados..... 127

BENDROSIOS IŠVADOS 128

REKOMENDACIJOS .... .130

LITERATŪROS SĄRAŠAS..... 131

AUTORIAUS MOKSLINIŲ PUBLIKACIJŲ DISERTACIJOS TEMA SĄRAŠAS..... 137

Contents

INTRODUCTION 1
Problem of the work 1
Topicality of the work 2
Object of research 2
Aim of the work 2
Tasks of the work 2
Methodology of research 3
Scientific novelty of the work and its value 3
Practical value of the work results 4
Defended propositions 4
Approbation of the work results 4
The scope of the dissertation 5

1. ENVIRONMENTAL NOISE AND RELATED PROBLEMS 7
1.1. The main parameters of noise and their evaluation 8
1.2. Different characters of noise sources analysis 10
1.2.1. Noise generated by mobile and stationary sources 12
1.2.2. Impulse noise and its sources 16
1.3. The effect of noise on humans and the environment 17
1.4. Ways of noise reduction 20

1.4.1. Noise reduction in the territory of industrial areas 21
1.4.2. Reduction of transport-generated noise 24
1.5. Laboratory acoustic research on sound insulating materials 32
1.6. Modelling of noise dispersion 35
1.7. The first chapter conclusions and formulation of the dissertation tasks 38

2. THE METHODOLOGY OF EXPERIMENTAL RESEARCH ON NOISE AND DIGITAL MODELLING OF ITS DISPERSION 39
2.1. A noise suppression chamber and acoustic research on it 40
2.2. Acoustic chamber research on materials and structures recommended for noise suppression walls 42
2.3. Objects of research and noise reduction measures 47
2.3.1. Industrial stationary source of noise 47
2.3.2. Mobile sources of noise 55
2.4. Digital modelling of noise dispersion 59
2.5. Processing of measurement and calculation data 64
2.6. The second chapter conclusions 66

3. EXPERIMENTAL RESEARCH RESULTS 67
3.1. Results of research on the acoustic properties of the noise suppression chamber 68
3.2. Results of research on acoustic properties of building materials and structures 72
3.3. Research and analysis of the noise generated by industrial stationary source of noise 83
3.3.1. Research on noise generated by the stationary source and its dispersion 83
3.3.2. Measures of reducing dispersion to the environment of the noise caused by stationary sources 85
3.4. Research and analysis of the noise caused by mobile sources 91
3.4.1. Dispersion peculiarities of the noise caused by railway and motor transport 91
3.4.2. Measures to reduce the noise caused by mobile sources 100
3.5. The third chapter conclusions 103

4. DIGITAL MODELLING OF NOISE DISPERSION 105
4.1. The evaluation of noise dispersion from a stationary source of noise through modelling 105
4.2. Modelling of dispersion of the noise caused by railway traffic 108
4.3. Modelling of dispersion of the noise caused by motor traffic 112
4.4. The fourth chapter conclusions 119

5. ENGINEERING SOLUTIONS 121
5.1. Constuction of a noise suppression chamber 121
5.2. Application of a perforated tin shield with a filler 124
5.3. The fifth chapter conclusions 127

GENERAL CONCLUSIONS 128

RECOMMENDATIONS 130

REFERENCES 131

LIST OF THE AUTHOR'S SCIENTIFIC PUBLICATIONS ON THE DISERTATION TOPIC 137

Įvadas

Tiriamoji problema

Šiandieniniame gyvenime, mechanizavus pramonės ir žemės ūkio gamybą, didėjant transporto srautams miestuose ir gyvenvietėse, modernėjant buitinei technikai, sparčiai didėja padidinto triukšmo zonos.

Žmones vargina triukšmas ne tik darbo vietoje, bet ir gatvėse, butuose. Medikai teigia, kad triukšmas mažina imuninį organizmo atsparumą ir įspėja, kad triukšmas, kaip lėtinis streso šaltinis, veikia centrinę nervų sistemą ir kelia įvairių sveikatos sutrikimų. Net palyginti nestiprus 60–70 dB triukšmas sukelia galvos skausmą, svaigimą, cypimą ausyse, nemigą, pablogėja atmintis, dėmesys, orientacija. Triukšmingoje aplinkoje blogėja darbingumas, judesių koordinacija, didėja nervinė įtampa ir traumų rizika.

Triukšmas nuo šaltinio koncentriškai sklinda į visas puses. Yra įvairių būdų triukšmo taršos mažinimui bei slopinimui. Paprastai inžineriniai sprendimai būna pigesni, jei įvertinami architektūrinio planavimo stadijoje.

Stacionariųjų šaltinių skleidžiamas triukšmas mažinamas keičiant jų detales, dengiant įrenginių paviršius guma, plastmase ir kt. Jeigu neįmanoma sumažinti triukšmo ten, kur jis kyla, įrengiami gaubtai, izoliuojamosios patalpos bei taikomos garsą slopinančios sistemos (įrengiami triukšmą mažinantys barjerai ar tūriniai garso sugėrikliai, sienos dengiamos garsą izoliuojančiąja medžiaga).

Transporto keliamo triukšmo sklaidą mažina triukšmo slopinimo sienelės, želdiniai, pastatai. Taip pat veiksmingi būdai yra transporto greičio apribojimas, kelių dangos paviršiaus keitimas, eismo ribojimas bei reguliavimas.

Nagrinėjant triukšmo mažinimo priemonių bei metodų įgyvendinimo galimybes, ypač svarbus skaitinis triukšmo sklaidos modeliavimas, įvertinantis topografines, meteorologines vietovės sąlygas, eismo charakteristikas ir kt.

Darbo aktualumas

Įvairūs technologiniai procesai sukelia triukšmą. Leistinieji triukšmo lygiai viršijami ne tik darbo vietose ar įmonės teritorijose, bet ir už įmonių ribų, t. y. gyvenamosiose teritorijose. Dėl šių priežasčių pažeidžiamos saugaus darbo sąlygos darbo vietose, trikdomas poilsis ir kenkiama sveikatai. Todėl akivaizdu, kad būtina riboti mobiliųjų ir stacionariųjų šaltinių triukšmo sklaidą aplinkoje, jį sugeriant ar izoliuojant triukšmo slopinimo sienelėmis. Šių sienelių konstrukcijai naudojamos įvairios naujos kartos medžiagos, kurių akustinės savybės nėra pakankamai gerai ištirtos. Ypač tai svarbu keičiant stambiagabarites ir masyvias medžiagas lengvomis, paprasčiau montuojamomis, estetiškai tinkamesnėmis konstrukcijomis. Šiame darbe panaudota tikslinė eksperimentinė bazė bei įranga, reikalinga tokių medžiagų ir jų konstrukcijų akustinių savybių laboratoriniams tyrimams.

Tyrimų objektas

Darbo tyrimų objektas – stacionarieji ir mobilieji triukšmo šaltiniai bei triukšmo slopinimo kamera.

Darbo tikslai

1. Įvertinti stacionariųjų ir mobiliųjų šaltinių keliamo triukšmo aplinkoje sklaidą ir numatyti efektyvius būdus bei priemones jai mažinti, naudojant triukšmo slopinimo kamerą akustinėms medžiagų savybėms tirti.
2. Triukšmo slopinimo priemonių efektyvumą įvertinti modeliuojant triukšmo sklaidą aplinkoje.

Darbo uždaviniai

1. Sukurti bei įrengti triukšmo slopinimo kamerą ir ją panaudoti įvairių medžiagų triukšmo sugerčiai ir izoliavimui tirti.
2. Nustatyti triukšmo lygius ir sklaidą, esant skirtingiems mobiliesiems ir stacionariesiems triukšmo šaltiniams.
3. Tam tikroms statybinėms medžiagoms nustatyti ilginį garso bangų intensyvumo silpimo koeficientą μ.
4. Laboratoriniais eksperimentais triukšmo slopinimo kameroje įvertinti statybinėse konstrukcijose garso lygių mažėjimą ir nustatyti jų garso ore silpninimo rodiklį DL_R.
5. Numatyti priemones triukšmui, keliamam geležinkelių ir automobilių transporto bei iš pramonės įmonių teritorijų, slopinti.
6. Mobiliųjų ir stacionariųjų šaltinių keliamo triukšmo mažinimo priemonių efektyvumą įvertinti triukšmo sklaidos programa „CadnaA“.

Tyrimų metodika

Medžiagų bei iš jų pagamintų konstrukcijų akustinių savybių tyrimai atlikti pagal ISO standartuose pateikiamas bandymų atlikimo metodikas. Darbe taikomos stacionariųjų ir mobiliųjų šaltinių keliamo triukšmo nustatymo metodikos. Siekiant įvertinti triukšmo sklaidą mažinančių priemonių efektyvumą naudotos empirinės formulės. Triukšmo sklaidai aplinkoje modeliuoti naudota triukšmo sklaidos modeliavimo programa CadnaA.

Darbo mokslinis naujumas ir jo reikšmė

Darbo naujumas pasireiškia kompleksiniais stacionariųjų ir mobiliųjų šaltinių keliamo triukšmo ir jo mažinimo tyrimais. Statybinių medžiagų, rekomenduojamų naudoti triukšmo sugerčiai ir izoliavimui, akustinės savybės tiriamos specialiojoje triukšmo slopinimo kameroje. Tokių medžiagų ir iš jų pagamintų statybinių konstrukcijų triukšmo mažinimo efektyvumas vertinamas teoriškai ir modeliuojant „CadnaA“ programa.

Mobiliųjų ir stacionariųjų šaltinių keliamo triukšmo sklaida ir esamų mažinimo priemonių efektyvumas tiriamas natūriniais eksperimentais, akustinės statybinių medžiagų savybės vertinamos koeficientais μ ir DL_R.

Darbo rezultatų praktinė reikšmė

Šiame darbe sprendžiamas mobiliųjų ir stacionariųjų triukšmo šaltinių keliamo triukšmo sklidimas ir jo mažinimo būdai. Įvertinama esama situacija ir ieškoma būdų triukšmo sklaidai sumažinti. Atsižvelgiant į gautus duomenis ir skaičiavimus parinktos triukšmo mažinimo priemonės gali būti taikomos natūroje. Natūrinių ir kamerinių eksperimentų tyrimų rezultatus bei triukšmo mažinimo priemones galima taikyti įvairiems stacionariesiems bei mobiliesiems triukšmo šaltiniams.

Ginamieji teiginiai

1. 1 m^2 bandinyje triukšmo slopinimo kameroj*e* ±3 dB tikslumu galima įvertinti ISO 140-3 nurodytą rodiklį – standartizuotą garso lygių skirtumą ($D_{nT,W}$).
2. Akustinės vienalyčių statybinių medžiagų savybės, remiantis triukšmo slopinimo kameroje įvertintais parametrais, gali būti lyginamos pagal ilginį garso bangos intensyvumo silpimo koeficientą μ, o statybinių konstrukcijų – pagal garso ore silpninimo rodiklį DL_R.
3. Efektyvus triukšmo slopinimas gali būti pasiekiamas plonasienių medžiagų konstrukcijų sienelėmis.

Darbo rezultatų aprobavimas

Disertacijos tema atspausdinta 12 mokslinių straipsnių: du – mokslo žurnaluose, įtrauktuose į Thomson ISI Web of Science duomenų bazę (Baltrėnas *et al.* 2007; Grubliauskas and Butkus 2009); du – mokslo žurnaluose, įtrauktuose į Thomson ISI Master Journal List (Baltrėnas *et al.* 2008; Baltrėnas *et al.* 2009), trys – recenzuojamuose tarptautinių konferencijų leidiniuose, įtrauktuose į Thomson ISI Proceedings duomenų bazę (Butkus *et al.* 2008a; Butkus *et al.* 2008b; Grubliauskas 2005), keturi – respublikinių Lietuvos konferencijų medžiagose (Grubliauskas and Butkus 2005; Grubliauskas and Butkus 2006; Grubliauskas and Butkus 2007; Grubliauskas and Butkus 2008), vienas – tarptautinėje konferencijų medžiagoje (Grubliauskas and Butkus 2009).

Disertacijos tema skaityti pranešimai šešiose mokslinėse konferencijose Lietuvoje:

- Tarptautinėje konferencijoje „*Environmental Engineering*“, 2008 m., Vilniuje;
- Jaunųjų mokslininkų konferencijose „*Mokslas – Lietuvos ateitis*“, 2006–2009 m., Vilniuje;
- Tarptautinėje jaunųjų mokslininkų konferencijoje „*Jaunimas siekia pažangos – 2009*“, 2009 m., Kaune.

Disertacijos struktūra

Disertaciją sudaro įvadas, penki skyriai, bendrosios išvados ir rekomendacijos, literatūros sąrašas, autoriaus publikacijų sąrašas.

Darbo apimtis yra 154 puslapiai, tekste panaudotos 33 numeruotos formulės, 79 paveikslai ir 17 lentelių. Rašant disertaciją panaudoti 105 literatūros šaltiniai.

1

Aplinkos triukšmas ir jo problema

Apie triukšmo žalą sveikatai žmonija žinojo jau gilioje senovėje. Istorijos šaltiniai mini, kad jau antikinės Romos gyventojai skundėsi miesto valdžiai, kad ši uždraustų ankstaus ryto metu ginti į ganyklas ožkas ir galvijus centrinėmis miesto gatvėmis, kadangi gyvulių bliovimas ir mekenimas labai trikdė ramų miestelėnų miegą. Apie 2000 metus prieš mūsų erą Kinijoje nuteistuosius mirti pririšdavo netoli varpo ir liepdavo skambinti tol, kol pasmerktasis žūdavo nuo triukšmo (Gražulevičienė ir kt. 2003).

Šiandieniniame gyvenime, mechanizavus pramonės ir žemės ūkio gamybą, didėjant transporto srautams miestuose ir gyvenvietėse, modernėjant buitinei technikai, sparčiai didėja ir triukšmas. Daugelyje miestų ir gyvenviečių triukšmas pagrįstai yra laikomas viena svarbiausia ekologine problema. Triukšmas trukdo darbui, poilsiui, neigiamai veikia žmonių sveikatą (Baltrukonis 1997). Natūralus gamtinis triukšmas (jūros ošimas, upelio čiurlenimas, medžių šlamėjimas, paukščių čiulbėjimas), pasižymėdamas visai kitokiomis akustinėmis charakteristikomis, nekelia neigiamų emocijų bei pasekmių sveikatai (Mačiūnas ir kt. 1999).

Triukšmo jutimas, supratimas priklauso nuo garso stiprumo ir garso bangų virpesių dažnio: kuo didesnis garso stiprumas ir virpesių dažnis, tuo garsas juntamas stipriau, t. y. didesnis jo garsumas. Triukšmo garsumas priklauso ir nuo akustinių patalpų savybių, kurias nulemia jų tūris, forma, apstatymas baldais ar įrengimais, grindų, sienų, lubų danga (Stauskis 2007).

1.1. Pagrindiniai triukšmo parametrai ir jų įvertinimas

Akustinis triukšmas skiriasi dažniu, intensyvumu, kitimu bėgant laikui bei sklidimo kryptimi (Merkevičius 1998). Šiuos garsus skleidžia virpantys kietieji arba dujiniai kūnai.

Triukšmą galima įvardyti nepageidaujamu garsu. Vertinant subjektyviai, garsas – tai žmogaus ausies jaučiami oro virpesiai. Vertinant objektyviai, garsas yra tam tikro intensyvumo (dar vadinamo garso stiprumu) ir tam tikro bangos dažnio (garso aukščio) virpesiai, kurių bangoms būdingas atitinkamas slėgis (garso slėgis) (Garsas ir triukšmas 2008). Triukšmo pagrindinės charakteristikos yra dažnis, matuojamas hercais (Hz) ir intensyvumas (W/m^2). Aplinkos triukšmas – nepageidaujami arba žmogui žalingi išoriniai garsai, kuriuos sukelia žmonių veikla, įskaitant transporto priemonių, kelių eismo, geležinkelių eismo, oro eismo spinduliuojamą triukšmą ir triukšmą iš pramonės veiklos zonų (Stauskis 2007).

Bet kokį garsą galima apibūdinti garso slėgio lygiu, dažniu, garso bangos ilgiu, garso intensyvumu, garso šaltinio galingumu, svyravimo greičiu. Garso intensyvumas apibūdinamas pernešamu energijos kiekiu W/m^2. Garso intensyvumas ties apatiniąja žmogaus girdimumo riba yra 10^{-12} W/m^2, o ties viršutiniąja arba skausmo riba – 10^2 W/m^2. Apibūdinti tokį platų girdimumo diapazoną absoliučiais dydžiais nepatogu, todėl praktiniams tikslams naudojama logaritminė arba decibelų (dB) matavimo skalė. Ji priklauso nuo garso slėgio santykio su apatiniosios girdimumo ribos garso intensyvumu ar slėgiu.

Triukšmą galima išskaidyti į sudėtines skirtingo intensyvumo ir dažnio tono dalis. Grafinis tų sudėtinių dalių vaizdas vadinamas spektru. Spektras yra svarbiausia triukšmo charakteristika.

Sklisdamas aplinkoje garsas silpsta. Visa jo vidinė energija, tolstant nuo šaltinio, išsisklaido ir yra sugeriama. Tačiau ir garso šaltinio galia gali smarkiai keistis. Pvz., žmogaus balso galia gali keistis nuo šnabždesio iki garsaus šauksmo, nuo kambarinio varpelio skambėjimo iki bažnyčios varpų gaudesio, nuo fleitos garso iki garvežio švilpuko gaudesio ir t. t. (Rimovskis 2005).

Pažymėtina, kad žmogaus klausa yra labai jautri – ji atskiria garsus, milijoną kartų silpnesnius už elementarų žmogaus skleidžiamą garsą, ir kartu ji pripranta prie varginančių garsų. Taigi mes susiduriame su labai skirtingo stiprio garsais (Pilipavičiūtė ir Bakas 1999).

Pagrindinės banginio judėjimo charakteristikos yra bangos ilgis λ ir bangos amplitudė. Garso bangos ilgis (λ) yra susietas su garso virpesių dažniu (f) ir jų periodu (T) lygtimi:

$$\lambda = \frac{v}{f} = v \cdot T, \tag{1.1}$$

Be amplitudės ir bangos ilgio, svyravimo procese didelę įtaką turi svyravimų fazė ir fazių pasislinkimas, t. y. vienos sinusoidės, charakterizuojančios svyravimą kitos sinusoidės atžvilgiu. Jį apibūdina kampas, rodantis, kiek sinusinis svyravimas pralenkia ar atsilieka nuo kito panašaus svyravimo. Jeigu šis kampas lygus nuliui, tai svyravimai vyksta vienoje fazėje. Fazės atskaitos taškas yra ramybės būsena ar pusiausvyros padėtis (Augustaitis 2000).

Garso bangos ilgis yra susijęs su dažniu, t. y. tono aukščiu. Garso bangos, kurių dažnis žemesnis už 16 Hz, vadinamos infragarsu, nuo 16 Hz iki 20 kHz – girdimu garsu, virš 20 kHz – ultragarsu, o nuo 10^9 iki 10^{13} Hz – hypergarsu. Žmogus atskiria garsus vienus nuo kitų pagal jų aukštį. Žmogaus girdimų dažnių diapazonas yra 20–16000 (20000) Hz. Virpantis kūnas išjudina aplink esančias molekules, kurių sutankėjimai ir praretėjimai sukuria slėgio pokyčius – garso bangą. Pasiekusi ausį, garso banga (mechaniniai virpesiai) paverčiama elektriniais signalais ir tada girdimas garsas. Garsas yra girdimasis pojūtis. Tai be galo maži pasikartojantys oro slėgio pasikeitimai, kuriuos priima ausies būgnelis.

Aplinkoje garso bangos sklinda skirtingais greičiais. Garso greitis priklauso nuo medžiagos, kurioje jis sklinda. 1.1 lentelėje pateikti garso greičiai kai kuriose medžiagose.

1.1 lentelė. Garso bangų sklidimo greitis medžiagose

Table 1.1. The rate of sound wave spread in materials (Stauskis 2007)

Medžiaga	Garso greitis, m/s
Gipsas	5500–6000
Aliuminis, plienas	5 100
Medis	3 400–4 500
Betonas	4 000
Plytos	3 600
Vanduo	1 500
Kamštis	500
Oras	340
Mineralinė vata	180

Garso bangos, sklisdamos aplinkoje, sukuria skirtingą slėgį, t. y. skirtumą tarp momentinio pilnojo slėgio ir vidutinio slėgio, esančio aplinkoje, kai nėra garso lauko. Suspaudimo fazėje slėgis yra teigiamasis, išretėjimo fazėje – neigiamasis. Kuo didesnė garso šaltinio virpesių amplitudė, tuo didesnis garso slėgis ir tuo labiau girdimas garsas (Bogdanovičius 2005).

Garso bangos iš šaltinio sklinda visomis kryptimis greičiu *c*, kuris priklauso nuo aplinkos pobūdžio ir bangos tipo. Garso greičio negalima sutapatinti su dalelių svyravimo greičiu *v*, kuris yra kintamas dydis, priklausantis nuo dalelių svyravimo dažnio ir garso slėgio.

Triukšmas, sklisdamas atvirame ore, praranda savo energiją tuo daugiau, kuo didesnis atstumas iki šaltinio. Sklindant erdvėje sferinei garso bangai, garso galia mažėja atvirkščiai proporcingai atstumo kvadratui r^2, o sklindant cilindrinei bangai atvirkščiai proporcingai tik atstumui *r*. Garso intensyvumas atviroje erdvėje, kurį sukuria taškinis šaltinis, skaičiuojamas pagal formulę

$$I = \frac{P \cdot \Phi}{\Omega \cdot r^2}, \tag{1.2}$$

čia *P* – šaltinio garso galia; *Φ* – kryptingumo veiksnys; *r* – atstumas nuo spinduliavimo centro iki klausytojo; *Ω* – erdvinis spinduliavimo kampas.

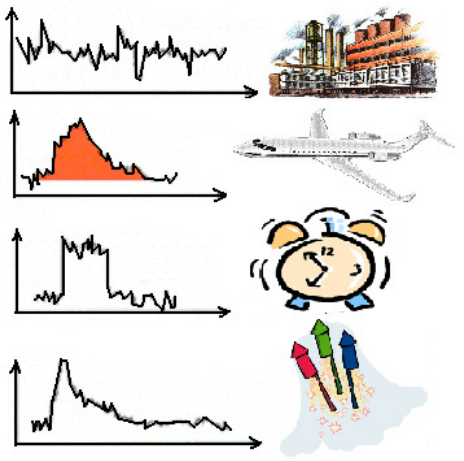
Iš 1.2 formulės matyti, kad didėjant atstumui nuo šaltinio, intensyvumas dėl jo išsklaidymo į didelę erdvę mažėja proporcingai r^2.

Dėl oro klampos, jame esančių garų, dulkių ir kitų aerozolio dalelių, vyksta garso energijos sugertis ir sklaida. Todėl apytiksliai jo lygis sumažėja: 50 m atstumu – 0,5 dB; 100 m atstumu – 1,5–2 dB; 300 m atstumu – 3–3,5 dB (Stauskis ir Kunigėlis 1997).

Užstatytoje vietovėse dėl bangų atspindžių susidaro papildomas triukšmas, kuris aprašomas lūžio bei difrakcijos dėsniais.

1.2. Skirtingo pobūdžio triukšmo šaltinių analizė

Yra skiriami išoriniai ir vidiniai triukšmo šaltiniai. Išorinio triukšmo šaltiniai yra automobilių, geležinkelių, aviacijos transporto keliamas triukšmas. Vidinis triukšmas pasireiškia pastatų viduje – tai orinis, struktūrinis, smūginis, sklindantis konstrukcijomis (Fasold and Veres 2003). Įvairių triukšmų garso slėgio lygio priklausomybė nuo dažnio yra labai skirtinga (1.1 pav.), todėl ypač svarbu atsižvelgti į keliamo triukšmo pobūdį (triukšmo rūšį) ir triukšmo spektro charakteristikas, siekiant mažinti triukšmą ir ieškant tam tikrų mažinimo priemonių.

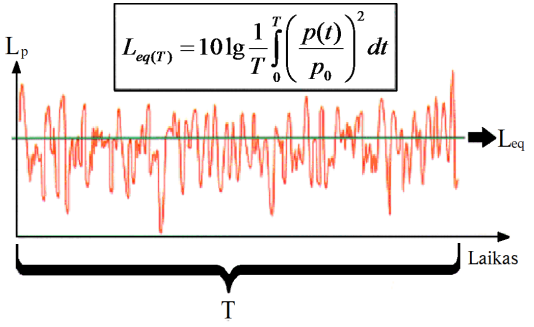


1.1 pav. Triukšmo šaltinių garso lygio dažninė charakteristika

Fig. 1.1. Frequency characteristics of the sound level of the sources of noise (Bruel&Kjaer 2000)

Kaip matyti iš 1.1 paveiksle pavaizduotų reiškinių, galimos įvairios garso lygio nuo vyraujančių dažnių priklausomybės.

2002 m. birželio 25 d. Europos Parlamentas ir Taryba priėmė direktyvą 2002/49/EB dėl aplinkos triukšmo įvertinimo ir valdymo. Tai buvo pirmasis dokumentas Europoje, kuriuo buvo siekiama teisiškai sureguliuoti aplinkos triukšmą. Bendrai triukšmas vertinamas pagal ekvivalentinį A garso slėgio lygį $L_{eq(T)}$ (1.2 pav.) ir didžiausią A svertinį garso slėgio lygį $L_{A,maks}$.



1.2 pav. Nepastovaus triukšmo vertinamo schema

Fig. 1.2. Inconstant noise is estimated according to the equivalent noise pressure level

Triukšmas pagal pobūdį skirstomas į pastovųjį ir nepastovųjį. Pastoviajame triukšme vyraujant tolydžiam spektrui, viršijančiam oktavos pločio dažnių juostą, išskiriamas plačiajuostis triukšmas, o esant atskiriems ryškiems tonams – toninis. Nepastovus triukšmas būna nuolat kintantis (garso slėgis nuolat kinta), impulsinis (triukšmas susidedantis iš vieno ar kelių garsinių signalų, kurių trukmė mažiau negu 1 sekundė) arba pertrūkstantis (triukšmas staigiai kinta su didesniais negu 1 sekundė pastovaus triukšmo periodais).

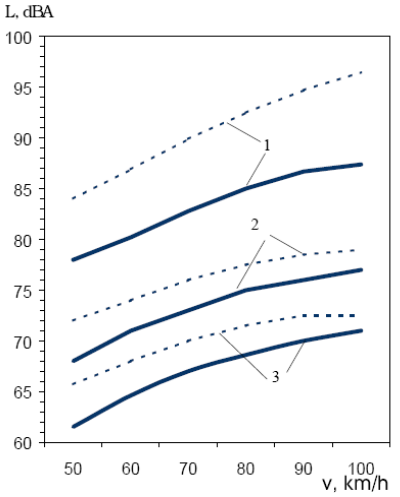
1.2.1. Mobiliųjų ir stacionariųjų šaltinių keliamas triukšmas

Pastaruoju metu visoje Europoje vis daugiau kalbama apie transporto keliamą triukšmą. Europos transporto ir aplinkos federacijos duomenimis, dėl transporto keliamo triukšmo ES kenčia apie 200 mln. žmonių (Gražulevičienė ir Gražulevičius 2002). Vystantis pramonei, didėjant automobilių skaičiui, didėja ir akustinė tarša. Ypač didelis autotransporto keliamas triukšmo lygis nustatomas automobilių koncentravimosi vietose: greitkelių prieigose, prie pagrindinių gatvių sankryžų, automobilių stovėjimo aikštelėse (Baltrėnas *et al.* 2004). Visų rūšių transporto priemonių sukelta akustinė tarša skirstoma į oro (triukšmo) ir struktūrinę (vibracija) (Juodzevičius 2001). Transporto keliamas triukšmo lygis priklauso nuo daugelio priežasčių: važiavimo greičio, techninės transporto priemonių būklės, eismo intensyvumo, padangų, kelio dangos ir kt. Tyrimais nustatyta, kad automobilių, važiuojančių 100 km/h greičiu, padangų keliamas triukšmas yra 16 kartų didesnis negu važiuojant 50 km/h (Juodzevičius 2001).

Riedančių padangų skleidžiamų garsų šaltinis yra vienas: protektoriaus kontakto su kelio danga metu tarp protektoriaus elementų ir lamelių suspaustas oras su švilpesiu išsiveržia į aplinką.

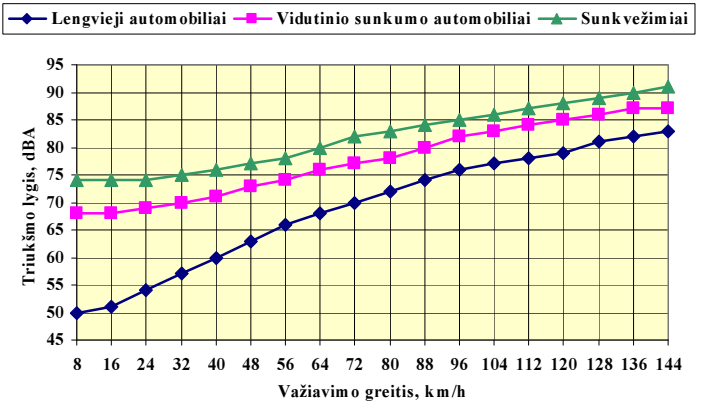
Dr. E. Juodzevičius cituoja atliktų tyrimų rezultatus, kurie įrodo triukšmo įtaką esant skirtingam padangų protektoriaus raštui (1.3 pav.). Padangų su vyraujančiu giliuoju protektoriaus raštu triukšmo lygis vidutiniškai 5–7 dBA žemesnis nei padangų su skersiniu protektoriaus raštu.

Taip pat skiriama automobilių keliamo triukšmo priklausomybė nuo važiavimo greičio. Iš 1.4 paveikslo matyti, kad Minesotos valstijoje (JAV) atliktų triukšmo tyrimų metu sunkiasvorių automobilių, pravažiuojančių vidutiniškai 100 km per valandą greičiu, keliamas triukšmas siekė apie 87 dBA. Tuo tarpu vidutinio sunkumo automobilių, pravažiuojančių tokiu pat greičiu, siekė 83 dBA, o lengvųjų – 77 dBA. Kaip matyti iš 1.4 paveikslo, išryškėja beveik tiesinė transporto keliamo triukšmo lygio priklausomybė nuo važiavimo greičio, nepriklausomai nuo transporto rūšies tipo (Federal highway... 2005). Todėl akivaizdu, kad ribojant važiavimo greitį, galima išvengti žalingo triukšmo poveikio.



1.3 pav. Padangų skleidžiamo triukšmo lygio priklausomybė nuo greičio: restauruotos padangos (ištisinė linija); nerestauruotos padangos (punktyrinė linija); 1 – protektorius su išėmomis (eglute, atskira eglute); 2 – protektorius su skersiniu raštu; 3 – protektorius su dominuojančiu išilginiu raštu

Fig. 1.3. The dependence of the tyre-generated noise level on speed: remould (countinous line); not remould (dotted line); 1 – groove tread; 2 – crossed tread; 3 – longitudinal tread (Juodzevičius 2001)



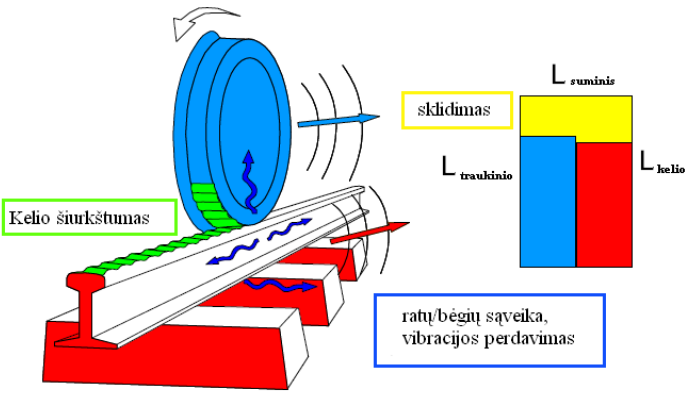
1.4 pav. Automobilių transporto rūšių keliamo triukšmo lygio priklausomybė nuo greičio

Fig. 1.4. The dependence of the noise generated by types of motor vehicles on speed (Federal highway... 2005)

Triukšmo režimui miesto sąlygomis didelę reikšmę turi miesto magistralių rūšys. Paprastai bendrose miesto magistralėse triukšmo lygis siekia 65–70 dBA (Mačiūnas 1999). Didinant kelio dangos šiurkštumą, didėja ir automobilių padangų keliamas triukšmas. Nuolat didėjant sunkiųjų krovininio transporto tranzito automobilių srautams Lietuvos keliuose, atsiranda ir toliau plėtojasi liekamosios dangų deformacijos (Sivilevičius ir Šuškevičius 2007). Todėl tiesiant kelius per gyvenvietes ar šalia jų, rekomenduojama į asfalto mišinius dėti gumos granulių – sumažėja ne tik padangų keliamas triukšmas, bet ir padidėja dangos atsparumas šalčiui bei deformacijoms, be to, ji mažiau dyla (Suslavičius 2004).

Geležinkelių transportas yra vienas iš pagrindinių triukšmo šaltinių, jis daro ypač didelę ir neigiamą įtaką aplinkai. Tobulėjant geležinkelio traukos riedmenims, didėja judėjimo greitis, kartu didėja ir jų keliamas triukšmas (Bazaras ir kt. 2002). Traukiniui judant bėgiais, judančios jo dalys ir bėgiai perduoda judesį aplinkinės terpės dalelėms. Vyraujančio garso, sąlygojamo ratų ir bėgių kontaktų, dažnis kinta nuo 800 iki 4 000 Hz (Ver 2006).

Traukinių keliamas triukšmas priklauso nuo traukinio, bėgių tipo, važiavimo greičio, režimo ir kt. (1.5 pav.). Šilumvežių keliamas triukšmas yra 5–8 dBA didesnis už vagonų keliamą triukšmą. Elektriniai traukiniai sukelia 8–10 dBA mažesnį triukšmo lygį nei šilumvežis. Triukšmas vyrauja esant pilnam variklio apkrovimui – važiuojant su pagreičiu, įkalnėn, maksimaliu greičiu (Klibavičius 2003). Ypač su dideliu geležinkelių transporto keliamu triukšmu susiduriama gyvenamosiose teritorijose arti geležinkelio.



1.5 pav. Geležinkelių transporto keliamo triukšmo priežastys

Fig. 1.5. Reasons of the noise caused by railroad traffic

Traukiniui judant bėgiais, judančiosios jo dalys ir bėgiai perduoda judesį aplinkinės terpės dalelėms. Geležinkelių transporto keliamo triukšmo lygio dydis priklauso nuo bėgių, ratų tipo ir būklės, stabdžių sistemos tipo ir vagonų sukabinimo būdo bei ašinio apkrovimo. Lemiamą įtaką turi bėgių sujungimo būdas, bėgių kokybė ir jų paviršiaus nusidėvėjimo laipsnis (Frohner and Li 1998).

Triukšmo lygis taip pat priklauso ir nuo ratų sukimosi ant bėgių ir trumpalaikių ratų dūžių bėgių sujungimuose (Bazaras ir Rutka 2002). Charakteringą ratų – bėgio kontakto impulsinį triukšmą sukelia kiekviena ratų pora, riedėdama per bėgių sujungimus.

Taip pat prie vienų iš didžiausių triukšmo šaltinių miestuose priskiriamas pramonės įmonių sukeltas triukšmas. Pramoniniai šaltiniai gali būti mechaniniai, oriniai, dujiniai, hidrodinaminiai, taip pat elektromagnetiniai nestacionarieji procesai, charakterizuojami greičių ir vibracijų pulsavimu. Akustinis tokių šaltinių fonas papildomas perkrovimo – transportavimo procesų triukšmu, kylančiu iš pramoninių zonų bei kelių. Atsižvelgiant į gyvenamąsias teritorijas, pramoninių įmonių zonose kylantis triukšmas dažniausiai laikomas erdviniu triukšmo šaltiniu. Jo specifika ypatinga tuo, kad tai pastovus arba impulsinis triukšmas, kuris sklinda ne tik dieną, bet ir nakties metu. Prie akustinio diskomforto šaltinių gyvenamosiose zonose priskiriamos komunalinio ir buitinio aptarnavimo įstaigos, sporto ir poilsio aikštelės, techniniai inžineriniai įrengimai, miesto ūkio ir prekybos objektų aptarnavimo vietos.

1.2.2. Impulsinis triukšmas ir jo šaltiniai

Pagal Lietuvoje galiojančius teisės aktus, reglamentuojančius triukšmą (HN 33:2007), impulsinis triukšmas apibrėžiamas kaip nepastovus triukšmas, susidedantis iš vieno arba kelių garsinių signalų, kurių trukmė mažesnė kaip 1 sekundė. Užsienio literatūroje aptinkamas kiek kitoks impulsinio triukšmo sąvokos apibrėžimas, teigiantis, kad impulsinis triukšmas susideda iš atsitiktinių energijos šuolių, turinčių atsitiktinę amplitudę ir spektrinę formą.

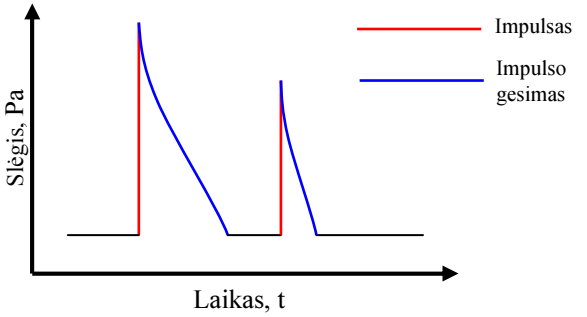
Akustinės energijos pokytis gali susidėti iš vieno impulso ar keleto impulsų serijų. Staigus slėgio šuolis, veikiamas pavienio impulso, pasiekia didžiausią vertę ir palaipsniui, mažiau negu per vieną sekundę, užgęsta iki buvusiojo, nesužadintos jį supančios aplinkos oro slėgio lygio (Hamernik and Hsueh 1991).

Impulsinis triukšmas apibrėžiamas keliomis charakteristikomis (Vér and Beranek 2006):

- impulsų trukme, kuri susideda iš sužadinimo, didžiausios amplitudės ir gesimo;
- intensyvumu, apibrėžiamu maksimumo faktoriumi (dB), kai garsas pasiekia triukšmingiausią lygį;

- impulsinio triukšmo tipu, kuris priklauso nuo impulsų pasikartojimų skaičiaus.

Praktikoje triukšmo impulsiškumas nustatomas triukšmo lygio matavimo metu išskiriant L_{AImaks}, L_{ASmaks} ir L_{AFmaks} vertes. Kai $L_{AImaks} - L_{ASmaks} > 6$ dB, o takto trukmė mažesnė negu 1 sekundė, nustatomas impulsinis triukšmas (Bruel & Kjaer 2000).



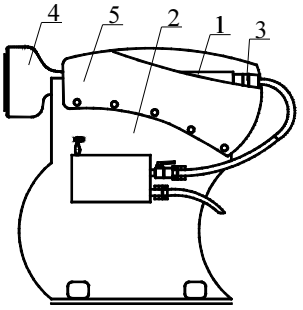
1.6 pav. Impulsinio garso bangos slėgio – laiko diagrama

Fig. 1.6. Impulse sound wave pressure – time diagram (Andren 1982)

Impulsinė banga charakteringa dėl staigaus charakteristikų pokyčio (1.6 pav.). Smūginis impulsas – pirminis mechaninės sistemos pusiausvyros sutrikdymas apibūdinamas pagreičio didėjimu ir slopimu per santykinai trumpą laiką (Starck *et al.* 2003). Smūgiams būdingas platus vibracijos dažnių diapazonas ir staigūs pagreičio pokyčiai.

Daugelio mokslininkų tyrimais nustatyta, kad impulsinių garsų poveikis yra labiau įkyrus negu kitų šaltinių triukšmo poveikis, kai kiekvienas iš jų skleidžia vienodą, tokį patį ekvivalentinį garso lygį (Starck *et al*. 2003). Žalinguosius virpesius, sukeliančius tiesioginį pavojų aplinkai, statiniams, svarbiems įrenginiams, mašinoms ir jų dalims, sužadina šaltiniai, kuriuos bendrais bruožais galima klasifikuoti į determinuotuosius vidinius bei išorinius šaltinius (Suvorov *et al.* 2001).

Iš impulsinio triukšmo kategoriją apibrėžiančių triukšmo šaltinių tik mažas skaičius šaltinių gali būti priskirtas impulsiniams: mažos galios nešiojamojo šaunamojo ginklo šūviai, metalo kalimas, smūgiai apdorojant medieną, poliakalės darbas su tvokle, štampavimas krintančiu kūju, pneumatinio kūjo ar betono laužtuvo darbas, smūgiai, atsirandantys manevruojant sąstatams geležinkelio stotyje, arba panašių charakteristikų ir panašaus įkyrumo laipsnio garsas (LST ISO 1996-1:2004).



1.7 pav. Vibracinio įrenginio principinė schema: 1 – kreipiamasis mechanizmas; 2 – stovas; 3 – smūginis mechanizmas; 4 – mažasis garsą slopinantis ir nuo dulkių saugantis ekranas; 5 – didysis garsą slopinantis ir nuo dulkių saugantis ekranas

Fig. 1.7. Principle scheme of vibrodevice: 1 – deflective mechanism; 2 – support; 3 – impact mechanism; 4 – minor noise and dust barrier; 5 – large noise and dust barrier

Jūrų uostuose impulsinio triukšmo problema taip pat aktuali. Juose vykdomi įvairių krovinių, biriųjų trąšų, feromagnetinių lydinių, žemės ūkio produktų krovos darbai. Perkraunant krovinius iš laivų, konteinerių, geležinkelio vagonų, mašinų, sandėlių, naudojami įvairių tipų portaliniai kranai, krautuvai, vilkikai, biriųjų krovinių transporteriai, savaeigiai biriųjų krovinių krautuvai, kita moderniausia technologija (Merkevičius and Deikus 1998).

Kadangi įvairiems biriesiems kroviniams turi įtakos meteorologinės sąlygos, t. y. esant drėgmei jos sulimpa bei susisluoksniuoja, iškrovimo procesui pagreitinti bei esant sunkesnėms produkto iškrovimo sąlygoms (pvz., susigulėjus trąšoms vagonuose) yra naudojami pneumatiniai vibraciniai įrenginiai bei kūjai, kurie veikdami vagono sieneles sukelia smūginę vibraciją bei skleidžia impulsinį triukšmą (1.7 pav.). Smūgio į vagono sienelę metu įvyksta energijos nutekėjimas ir dalis jos virsta vibroakustine energija (Gužas *et al.* 2006).

Jūrų krovinių uostuose pasitaiko atvejų, kai sklinda metalo smūgių, atsirandančių manevruojant sąstatams, vienimpulsinis garsas. Atskiri anksčiau paminėti pavieniai triukšmo šaltiniai sudaro bendrąjį triukšmo foną.

1.3. Triukšmo poveikis žmogui ir aplinkai

Triukšmas yra susijęs su daugeliu žmonių veiklos rūšių, tačiau didžiausią poveikį turi kelių, geležinkelio ir oro transporto keliamas triukšmas. Apie 70 %

miesto gyventojų vienaip ar kitaip jaučia neigiamą triukšmo poveikį. Pabrėžiama – būtent miestiečiai, nes kaip tik juos labiausiai vargina eismo triukšmas. Pagal Europos Aplinkos agentūros (EAA) duomenis, maždaug 75 % Europos gyventojų gyvena miestuose, kuriuose eismo intensyvumas vis dar tebeauga. Europos gyventojų, veikiamų 65 dBA ir didesnio triukšmo, skaičius per praėjusį dešimtmetį padidėjo nuo 15 iki 26 % (Lercher *et al.* 1996).

Inžinieriaus L. Suslavičiaus publikuojamoje medžiagoje (Suslavičius 2004) teigiama, kad Vokietijos aplinkos apsaugos tarnyba neseniai paskelbė grėsmingą statistiką: specialistų nuomone, Vokietijoje kasmet nuo per didelio gatvės triukšmo net 4000 žmonių patiria infarktą. Jei triukšmo lygis aplinkoje pasiekia 65 dBA, čia esančių žmonių kraujotakos sistema apkraunama gerokai daugiau nei normaliomis sąlygomis. Triukšmui dar padidėjus, 20 % padidėja širdies infarkto tikimybė. Todėl, pavyzdžiui, Vokietijoje sunkvežimių vairuotojus, visą darbo dieną veikiamus dyzelinio variklio garso, sveikatos draudimo bendrovės priskiria aukščiausios rizikos grupei. O, kaip žinia, tinkamų darbo sąlygų sudarymas labai veikia socialinius reiškinius (Šukys ir kt. 2004).

Transporto priemonių ir mašinų skleidžiamas triukšmas Europos Sąjungoje reglamentuojamas jau kelis dešimtmečius. Tačiau tik praėjusiojo amžiaus paskutiniajame dešimtmetyje pradėta reglamentuoti triukšmo poveikį žmogui. 6-oji Europos Bendrijos 2002–2012 m. aplinkosaugos veiksmų programa siekia „žymiai sumažinti skaičių žmonių, kurie pastoviai kenčia nuo ilgalaikio vidutinio dydžio triukšmo, ypač keliamo eismo, kuris, kaip rodo moksliniai tyrimai, kenkia žmogaus sveikatai“.

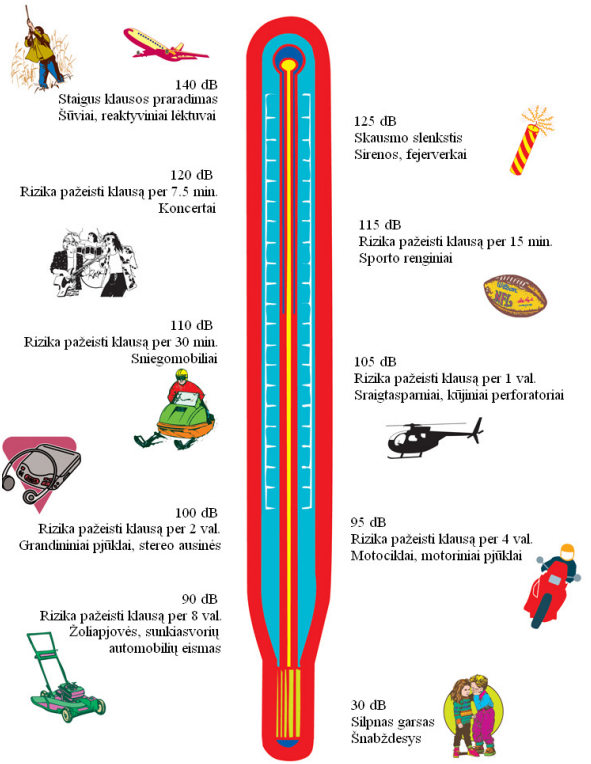
Vis dažniau panaudojant techniką gamybos sferoje (pramonėje, transporte, žemės ūkyje) ir buityje, triukšmas tampa svarbia ekologine aplinkos problema. Šis sveikatai žalingas veiksnys aptinkamas lengvosios pramonės (ypač tekstilės), mašinų gamybos ir metalų apdirbimo, medžio ir statybinių medžiagų pramonės įmonėse. Triukšmas žaloja vairuotojų ir visų specialybių žemės ūkio mechanizatorių bei kitų darbuotojų sveikatą (Juodzevičius 2001).

Tyrimais nustatyta, kad triukšmo poveikis atskiriems žmonėms labai nevienodas, tačiau kiekvieno žmogaus organizmas priverstas būti nuolatinėje gynybinėje būsenoje (1.8 pav.) (Levine *et al.* 1998; Ašmenskas ir kt. 1997). Teigiama, kad dėl ankstyvos senatvės 30 % kaltas triukšmas (Valikonienė 2001).

Triukšmas gali tapti klausos sutrikimų, su darbu susijusio streso, padidėjusios nelaimingų atsitikimų darbo vietoje rizikos, kenksmingo poveikio būsimam kūdikiui priežastis arba juos sukeliančiu veiksniu (Stankiuvienė ir Čyras 2006).

Teigiama, kad dėl triukšmo prarastą klausą lydi ūžesys arba spengimas ausyse, tačiau duomenų apie tai yra mažai. 2003 metų Europos saugos ir sveikatos darbe agentūros duomenimis (2004), pagal atliktų mokslinių tyrimų vertinimą aiškėja, kad 153 000 vyrų ir 26 000 moterų, kurių amžius 35–64 metai, dėl

triukšmo darbe turėjo sunkių klausos problemų, be to, apie 266 000 vyrų ir 84 000 moterų dėl to kentė nuolatinį spengimą ausyse.



1.8 pav. Triukšmo lygio poveikis žmogui

Fig. 1.8. The effect on noise level on humans (Levine *et al.* 1998)

Jeigu klausa perdirginama ir klausos nuovargis kartojasi kasdien, tai ilgainiui gali išsivystyti progresuojantis klausos susilpnėjimas (lot. *neuritis cochlearis*), kuris dažniausiai baigiasi profesiniu kurtumu. Taip pat svarbu įvertinti individualaus organizmo jautrį triukšmui. Kai kuriems darbininkams klausa susilpnėja nuo triukšmo per kelis mėnesius, kitiems – tik po kelerių metų. Vaikų ir paauglių klausa pažeidžiama greičiau nei suaugusiųjų (Toppila *et al.* 2000).

Pradinei profesinio kurtumo stadijai yra būdingas klausos susilpnėjimas tik aukštų dažnių, ypač 4 000 Hz diapazono garsams. Jam progresuojant, blogiau girdimi dar aukštesnio dažnio (6 000 Hz ir daugiau), o vėliausiai — vidutinių ir žemų dažnių garsai. Pradinėse klausos susilpnėjimo stadijose žmogus gali nejausti klausos susilpnėjimo, nes jis palyginti gerai girdi žmonių kalbą, gali klau-

sytis radijo, žiūrėti televizorių (žemi ir vidutiniai dažniai) (Ašmenskas ir kt. 1997).

Dėl nespecifinio triukšmo poveikio organizmui labiausiai veikiama centrinė nervų sistema, todėl atsiranda funkcinių centrinės bei vegetacinės nervų sistemos sutrikimų: vargina galvos skausmai, svaigimas, blogėja dėmesys, atmintis ir darbingumas, sutrinka miegas, vystosi neurozės. Šie pakitimai dažnai išsivysto anksčiau, negu sutrinka klausa (Malinauskienė *et al.* 2002). Triukšmas neigiamai veikia ir kitų analizatorių funkcijas: blogėja šviesinė akių adaptacija, sensomotorinės regos ir klausos reakcijos, atsiranda vibracinis jautris, sutrinka judesių koordinacija ir susilpnėja raumenų jėga. Blogėja nuolatinio ryškaus matymo funkcija, trumpėja informacijos apdorojimo greitis bei sutrinka dauguma kitų psichofiziologinių funkcijų (Malinauskienė ir Gražulevičienė 2000).

Sunku nustatyti ir prognozuoti triukšmo poveikį gyvūnams. Tai priklauso nuo gyvūno rūšies, gyvenimo etapo, sezono, ekologinių sąlygų, gebėjimo daugintis, gyvenimo būdo ir triukšmo rūšių. Mokslininkai mano, kad keliamo triukšmo poveikį gyvūnams galima įvertinti taikant keliamo triukšmo poveikio žmogui įvertinimo metodą, tai yra įvertinti triukšmo poveikį gyvūnams ekvivalentiniu lygiu (Klibavičius 1998).

Triukšmui ypač jautrūs paukščiai ir žinduoliai. Paprastai stambieji žinduoliai (dramblys, lokys, delfinas) jautriau reaguoja į žemo dažnio garso signalus ir ultraaukštuosius dažnių garsus, kurių žmogus negirdi. Smulkieji žinduoliai (pelės, kiškiai, šikšnosparniai) geriau jaučia silpnus garsus ir virpesio signalus (Geležinkelių transporto... 2001).

Paukščių jautrio atstumas žmogui ir nepažįstamiems objektams – 500 m. Kai paukščiai pripranta prie aplinkos, jų jautrio atstumas tampa trumpesnis (Mačiūnas ir kt. 1999).

1.4. Triukšmo mažinimo būdai

Pagrindiniai triukšmo mažinimo būdai yra (Černiauskas 2007; Gudaitytė ir Butkus 2007):

- triukšmo mažinimas pačiame jo kilimo šaltinyje;
- garso sugertis;
- garso izoliacija;
- aktyvus triukšmo mažinimas;
- organizacinės administracinės priemonės;
- architektūrinės statybos priemonės.

Pati efektyviausia priemonė – tai triukšmo mažinimas jo kilimo šaltinyje. Tačiau ją realizuoti dėl sudėtingų triukšmo įrengimo konstrukcijos pakeitimų ne

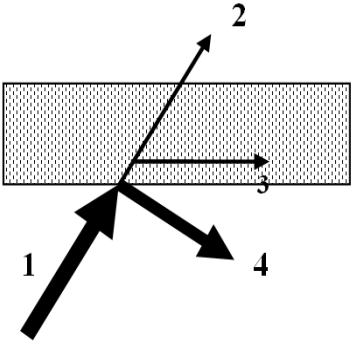
visada galima (Čyras 2000). Negalint sumažinti triukšmo pačiame šaltinyje iki reikiamų triukšmo lygių, taikytini kiti metodai (Steponaitis 2007; Nainys and Šukys 2001):

- smūginis veikimas keičiamas nesmūginiu;
- grįžtamasis slenkamasis įrenginio dalių judesys keičiamas sukamuoju;
- silpninama vibracija, sujungiant detales ir atskirus mazgus medžiagomis, kurios turi didelę vidaus trintį (guma, kamščiu, kartonu, bitumu ir t. t.);
- tarp detalių ir mazgų įrengiami lankstieji ryšiai (spyruoklės, elastingieji tarpikliai);
- metalinės detalės keičiamos detalėmis iš plastmasės arba iš kitų „neskambiųjų“ medžiagų;

1.4.1. Triukšmo mažinimas pramonės zonų teritorijose

Garso lauką pramonės zonų teritorijose sukuria garso bangos, sklindančios nuo išorinių triukšmo šaltinių, arba išspinduliuojamos iš triukšmingų cechų ar kitų patalpų. Padengus patalpos vidaus paviršių garsą sugeriančiomis medžiagomis arba pačioje patalpoje pastačius garso absorberius (garsą sugeriančias konstrukcijas), spinduliuojamas į aplinką triukšmas gerokai sumažinamas (Transportas, tarša ... 2006).

Statybinės pramonės akustikoje garsą sugeriančios sienų ir perdangų konstrukcijos yra naudojamos dviems tikslams: siekiama mažinti garso stiprumo lygį ir koreguojama patalpos aidėjimo trukmė. Garso sugeriamosios medžiagos turi pasižymėti gana dideliu aerodinaminiu pasipriešinimu, nes nuo to priklauso dėl trinties patiriami energijos nuostoliai.



1 – krintančioji garso energija
2 – praleistoji garso energija
3 – sulaikytoji garso energija
4 – išsklaidytoji garso energija

1.9 pav. Garso energijos sugertis medžiagoje

Fig. 1.9. Sound energy absorption in material (Stauskis 2007)

Kiekvienos medžiagos garso sugerties koeficientas priklauso nuo garso bangų dažnio, taip pat nuo kampo, kuriuo garso bangos patenka į medžiagą (1.9 pav.).

Pramonės įmonėse kylančiam triukšmui mažinti skiriamos trys garsą sugeriančių medžiagų ir konstrukcijų grupės (Judin 1984):

- pluoštinės ir akytosios medžiagos;
- membraniniai garso slopintuvai;
- perforuotosios konstrukcijos ir rezonatoriai.

Pluoštinių garsą sugeriančių medžiagų iš mineralinės vatos garso sugerties koeficientas priklauso nuo medžiagos porų didumo ir aerodinaminio pasipriešinimo. Jei medžiaga yra su didelėmis poromis – trintis jose yra maža, o garso sugertis nedidelė. Norint, kad medžiaga sugertų daugiau garso energijos, reikia siekti, kad sklisdama medžiagoje garso banga prarastų kuo daugiau energijos. Šioje srityje ypač daug nuveikė buvusios Tarybų Sąjungos mokslininkai su E. J. Judinu (Е. Я. Юдин), V. N. Nikolskiu (В. Н. Никольский)), G. L. Osipovu (Г. Л. Осипов) priešakyje. Taip pat triukšmo tyrimo ir mažinimo srityje daug nuveikė JAV mokslininkas L. L. Beranekas (L. L. Beranek), 2002 metais apdovanotas mokslo premija kaip vienas iš labiausiai nusipelniusių šios srities mokslininkų.

Didėjant medžiagos storiui, didėja ir trinties plotas, o kartu ir aerodinaminis pasipriešinimas. Garso sugerties koeficientas didžiausias vertes turi tada, kai, didėjant medžiagos storiui, aerodinaminis pasipriešinimas pasidaro toks didelis, kad garso bangos negali prasiskverbti į medžiagos gylį (Gužas *et al.* 2006). Sluoksnio poros, esančios giliau, garso sugerties požiūriu jau pasidaro neefektyvios. Jei sluoksnio storis yra per mažas, garso bangos tik atsispindės nuo standaus paviršiaus, o garso sugertis liks maža. Jei sluoksnio storis bus per didelis, krentanti garso banga praras savo energiją, nepasiekusi viso medžiagos storio ir standaus paviršiaus. Taigi tokia medžiaga bus per stora ir neekonomiška (Stauskis 2007). Bet kokia medžiaga turi optimalų storį, kuriame krentanti garso banga praranda daugiausia energijos. Garso sugertis esant žemiems dažniams padidės, naudojant puresnę medžiagą ir didinant jos storį. Kiekviena medžiaga turi ribinį storį, kurio viršyti yra netikslinga, nes nuo to sugertis beveik nedidėja. Pvz., ribinis vatos storis yra net 30–40 cm, vilnonio puraus audinio – 18 cm, tankaus audinio – 12 cm, mineralinės vatos – 9 cm, plokštės ir kamščio – 7,5 cm, popierinio kartono – 1,8 cm. ir akytojo gipso – 0,6 cm. Taigi didžiausias ribinis storis būdingas purioms pluoštinėms medžiagoms, nes jos gali gerai sugerti garsą plačiame dažnių diapazone (Judin 1984).

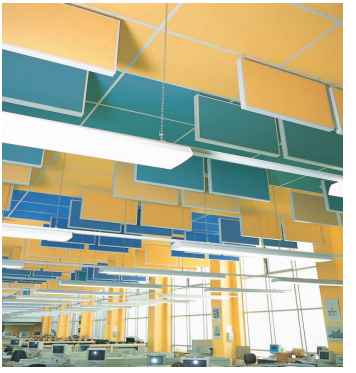
Poringosios medžiagos garso sugertis priklauso nuo jos fizinių savybių ir padėties ant atitvarinio paviršiaus. Jeigu tokia medžiaga montuojama tiesiogiai prie atitvaros, ji gerai sugers vidutinių ir aukštų dažnių garsus.

Siekiant sumažinti iš gamybinių pastatų į įmonės teritoriją, arba į gyvenamąją aplinką sklindantį triukšmą, viena iš efektyviausių triukšmo mažinimo priemonių yra patalpų sienų, lubų, grindų dengimas garsą sugerenčiomis medžiagomis (Авдотьин 1989). Didelį aidėjimą turinčiose patalpose įrenginių triukšmas dėl daugkarčių garso bangų atspindžių nuo atitvarinių konstrukcijų gali padidėti 10–12 dB, todėl ši aplinkybė dažnai yra ir per didelio triukšmo priežastis.

Ant išorinės atitvarinės sienos montuojami akmens arba stiklo vatos dembliai, padengti stiklo audinio sluoksniu, tvirtinami prie rėminės konstrukcijos metaliniu tinklu arba perforuotomis plokštėmis (Judin 1984). Tokio tipo garsą absorbuojanti konstrukcija yra paprasta, tačiau ji gali sumažinti triukšmą iki 10–12 dB (priklausomai nuo sugeriančios medžiagos tankio, storio bei dažnio).

Dabartinėje pramoninių objektų statyboje plonosios sienos gaminamos iš lakštinio metalo arba plastiko, o jų storis palyginti su krintančios garso bangos ilgiu yra mažas. Todėl dvigubosios plonosios sienos su akmens vatos (5 kg/m^2 tankio) užpildu geriau izoliuoja garsą, lyginant su tokios pačios masės viengubąja siena. Švedijoje atlikti tyrinėjimai patvirtino teiginį, kad didesnis medžiagos tankis ne tik kad nepadidina, bet, atvirkščiai, pablogina visos konstrukcijos garso izoliavimo savybes. Iš tikrųjų, jei tankis – tuo pačiu ir standumas – yra gana dideli, medžiagos sąlytis su pertvaros lakštais neigiamai paveiks visos konstrukcijos garso izoliacines savybes.

Tūriniai garso sugėrikliai, palyginti su garsą sugeriančiomis konstrukcijomis sienose, pasižymi dideliu garso sugėrimo efektyvumu plačiame dažnių diapazone, todėl jie gali būti naudojami įvairiose gamybinėse sąlygose, nekeičiant patalpų apdailos, be to, šie sugėrikliai išsiskiria gana paprastu montavimu ir valymu (Merkevičius 2004). Tūriniai triukšmo slopintuvai kabinami virš triukšmą keliančių įrenginių (1.10 pav.).



1.10 pav. Tūrinių garso sugėriklių panaudojimas

Fig. 1.10. The application of volumetric sound absorbers

Triukšmui gamybinėse patalpose mažinti naudojamos konstrukcijos iš pluoštinių medžiagų, padengtų kietos medžiagos ekranais su kiaurymėmis. Tokie ekranai apsaugo nuo mechaninio pažeidimo ir suteikia konstrukcijai malonų estetinį vaizdą. Ekranams dažniausiai naudojamos metalo, plastmasės, faneros lakštai bei nestoros plokštės iš statybinių medžiagų.



1.11 pav. Triukšmo slopinimo ekranų ir gaubtų panaudojimo pavyzdžiai

Fig. 1.11. Samples of using noise suppressing shields (www.avtinc.net/barrier_ walls/large/industrial_barriers)

Gamyklos teritorijose, siekiant sumažinti atviro šaltinio triukšmo poveikį administracinėms patalpoms ir šalia esantiems gyvenamiesiems rajonams, naudojami ekranai (Stauskis 1998). Jų panaudojimo pavyzdžiai pavaizduoti 1.11 paveiksle.

Parenkant tokią konstrukciją būtina įvertinti jos aukštį, kad ji gerai atspindėtų ir sugertų garso bangas, o už ekrano susidarytų pakankamo aukščio nuslopinto triukšmo zona (Ramonas 2003). Triukšmo slopinimo efektyvumas priklauso nuo garso šaltinio padėties ekrano atžvilgiu. Pažymėtina, kad ekranai negali visiškai sustabdyti sklindančio garso bangų, jie tik sumažina garso lygį už ekrano esančioje teritorijoje (Merkevičius 2004).

Aplinkoje garso sumažėjimui įtakos turi temperatūra, oro drėgnumas ir švarumas bei vėjo kryptis. Tačiau gyvenamiesiems namams esant apie 100 m atstumu nuo triukšmo šaltinio, triukšmo sugertis atmosferoje praktiškai jokios įtakos neturi ir skaičiavimuose neįvertinama.

1.4.2. Transporto keliamo triukšmo mažinimas

Transporto keliamas triukšmas yra viena pagrindinių aplinkos kokybės problemų Europoje. Ji susijusi su vis didėjančiu visuomenės nepasitenkinimu esama

padėtimi (Gražulevičienė ir Deikus 1999). Daugelyje miestų triukšmas vidutiniškai per metus padidėja 1–3 dBA (Community noise 1994). Prognozuojama, kad triukšmo lygis per 15 metų padvigubės (Future Noise Policy 2007). Nuolatinis triukšmas veikia kaip nervinę įtampą ir stresą keliantis veiksnys, todėl Pasaulio sveikatos organizacija (PSO) triukšmą priskyrė prie fizinių veiksnių, skatinančių profesinių ligų atsiradimą ir plitimą (Ng 1998).

2002/49/EB direktyvoje minimos dažniausiai taikomos priemonės: eismo planavimas, žemėnaudos planavimas, techninių priemonių triukšmo šaltiniuose taikymas, tylesnių šaltinių parinkimas, garso perdavimo mažinimas; kontrolės ir ekonominės priemonės ar paskatos. Yra daug įvairių galimybių transporto priemonių keliamam triukšmui ir tokio triukšmo poveikiui mažinti (1.2 lentelė).

Prie automobilių srautų keliamo triukšmo mažinimo galėtų prisidėti ir kelininkai, jei jie naudotų geresnės kokybės kelio dangas. Inžinierius Liucijus Suslavičius pastebi, kad ypač miestuose atkreiptinas dėmesys į gatvių dangas, kurios lopytos ir perlopytos, su įdubimais perkasimų vietose, su kyšančiais iš dangos arba joje paskendusiais požeminių komunikacijų dangčiais. Tada ir tenka statyti garsą slopinančias sienutes išilgai kelių, riboti eismą kelio ženklais (Suslavičius 2004).

Krovininiai automobiliai nulemia bendrą triukšmo lygį gatvėse. Užsienio literatūroje aptinkama duomenų, kad jei sunkiasvoriai automobiliai sudarytų 4 % automobilių srauto, būtent jie diktuotų vidutinį triukšmo lygį toje gatvės ar kelio atkarpoje. Todėl kai kuriose Vakarų Europos šalyse sunkiojo krovininio automobilių transporto eismas naktimis draudžiamas ne tik per gyvenvietes einančiais keliais, bet net ir atokiau nuo jų.

1.2 lentelė. Autotransporto keliamo triukšmo mažinimo būdai

Table 1.2. Ways of reducing noise generated by motor traffic (2002/49/EB)

Priemonės	Galimas triukšmo sumažinimas, dBA
Variklio priemonės	5
Netriukšmingos padangos	3
Triukšmą slopinantis kelio paviršius	9
Eismo intensyvumo mažinimas	3
Nenutrūkstamas eismas (sinchronizuoti šviesoforai)	3
Sunkvežimių eismo uždraudimas	3
Transporto priemonių parko mažinimas (20 % / 50 % / 90 %)	1 / 3 / 10
Nauja transporto koncepcija, specialios autobusų juostos	2
Kliūtys (užtvaros, ekranai, kt.)	15

Didžiausia triukšmo sumažinimo viltis – architektūrinės urbanistinės priemonės. Tačiau daug galima padaryti ir be didelių kapitalinių įdėjimų – racionaliai zonuojant miesto teritoriją bei prie magistralių įrengiant triukšmą izoliuojančius įrenginius.

Miestuose ir miesteliuose triukšmo mažinimo užtvaros paprastai reikalingos pagrindinėse intensyvaus eismo gatvėse, nutiestose per tankiai apgyvendintus rajonus prie geležinkelio linijų. Šioje aplinkoje triukšmo mažinimo užtvara turi atspindėti būdingąsias miesto savybes ir turėti urbanistinę išvaizdą. Čia tiktų tokios statybinės medžiagos: plienas, stiklas, betonas.

Akustinės sienos paprastai naudojamos ten, kur nėra galimybės įrengti kitokių apsaugos priemonių nuo triukšmo ir taršos, t. y. tankiai užstatytose arba brangiose teritorijose. Nors architektai aiškina, kad dėl akustinių ekranų įdiegimo nukentės architektūra, miestų vaizdas, tačiau vakarų šalių pavyzdžiai rodo, kad gražia akustine sienele vaizdą galima net pataisyti. Akustinių sienų medžiagos ir formos visų pirma parenkamos atsižvelgiant į pagrindinę jų paskirtį – ekranuoti triukšmą. Antra – akustinės sienos konstrukcijos ir medžiagos turi atlaikyti didelį vėjo slėgimą, tai yra, garantuoti saugumą (Klibavičius 2003).

Ypač su padidinto triukšmo problema susiduriama arti intensyvių gatvių, kelių ar geležinkelių. Arti magistralių ar geležinkelių yra pastatų, kurių gyventojai dėl važiuojančių automobilių ar traukinių keliamo triukšmo ir vibracijos patiria nepatogumų (Ono 2000).

Automobilių triukšmo emisijos lygis yra charakterizuojamas maksimaliu pravažiuojančio pro šalį automobilio garso lygiu $L_{A,maks}$ (dBA), matuojamu 7,5 m atstumu nuo ašinės automobilio trajektorijos linijos. Šis garso lygis kiekvienam automobilių tipui, greičiui ir transporto srautui yra nustatomas atskirai. Kadangi nustatomas kelio nuolydis, į kelio paviršių ypatingai neatsižvelgiama. Garso galios lygis L_W yra skaičiuojamas iš išmatuotų garso slėgio lygio L_p verčių:

$$L_W = (L_p + 25{,}5)\text{, dBA.} \tag{1.3}$$

Triukšmo emisijos sąvoka yra apibrėžiama taip:

$$E = (L_W - 10 \cdot \log v - 50)\text{, dBA,} \tag{1.4}$$

čia v – automobilio važiavimo greitis, km/h.

Emisija E (dBA) yra garso lygis, kuris gali būti aprašomas kaip ekvivalentinė garso lygio foniniame triukšme išraiška L_{eq} vienam važiuojančiam automobiliui per valandą. Emisija priklauso nuo automobilio tipo, greičio, transporto srauto, išilginio profilio. Prognozėms naudojami du pagrindiniai automobilių tipai: lengvieji automobiliai (automobiliai su mažesne nei 3,5 t keliamąja galia) ir sunkvežimiai (automobiliai su 3,5 t ar didesne keliamąja galia).

Traukinių keliamas triukšmas priklauso nuo traukinio tipo, jo galios, kelio kokybės ir tipo, greičio, judėjimo režimo ir t. t. Ekvivalentinis judančio traukinio triukšmo lygis priklauso nuo daugelio veiksnių, kurie yra kintami ir skaičiuojami pagal formulę:

$$L_{A_{ekv.}} = f\left(L_{tr}, r, l, v, N_{\text{int}}\right), \text{dBA}, \tag{1.5}$$

čia L_{tr} – triukšmas, kurį sukuria pavienis traukinys; *r* – atstumas nuo geležinkelio bėgių iki stebėjimo taško; *l* – kelio ilgis, kuriame matuojamas triukšmo lygis; v – traukinio judėjimo greitis; N_{int} - traukinių intensyvumas.

Prieš skaičiuojant ekvivalentinį tęstinį garso slėgio lygį, visi traukiniai, važiuojantys specifinėmis geležinkelių linijomis ir kurie yra tinkamai prižiūrimi, pagal savo technologinius ypatumus skirstomi į kategorijas. Traukinių triukšmo emisijos vertės yra nustatomos taip:

$$E = 10 \times \lg\left(\sum_{c=1} y \times 10^{\frac{E_{nr,c}}{10}} + \sum_{c=1} y \times 10^{\frac{E_{r,c}}{10}}\right), \text{dBA}, \tag{1.6}$$

čia $E_{nr,c}$ – geležinkelių transporto kategorijos emisijos išraiška nestabdomiems traukiniams; $E_{r,c}$ – stabdomų traukinių emisijos išraiška; c – traukinio kategorija; y – bendras kategorijų skaičius.

Geležinkelių transporto kategorijos emisijos reikšmės yra nustatomos pagal:

$$E_{nr,c} = a_c + b_c \cdot \lg v_c + 10 \cdot \lg Q_c + C_{b,c}, \text{dBA}, \tag{1.7}$$

$$E_{r,c} = a_{r,c} + b_{r,c} \cdot \lg v_c + 10 \cdot \lg Q_{r,c} + C_{b,c}, \text{dBA}, \tag{1.8}$$

čia standartinės emisijos reikšmės a_c, b_c, $a_{r,c}$ ir $b_{r,c}$ yra pateiktos Olandijos nacionalinėje skaičiavimo metodikoje (RMR). Kiekvienai traukinio kategorijai ir skirtingiems garso šaltinio aukščiams (iki 5 m) yra nustatomos emisijos reikšmės oktavos intervale.

Charakterizavus skirtingų traukinių kategorijų emisijas, skaičiuojama nurodytų geležinkelių ruožų emisija, atsižvelgiant į skirtingų traukinių kategorijų pravažiavimą ir į traukinių pravažiavimą, esant skirtingoms sąlygoms. Emisijos veiksnys oktavos intervale yra skaičiuojamas taip (Transportinio triukšmo 2006):

$$L_{E,i} = 10 \times \lg\left(\sum_{c=1} n \times 10^{\frac{E_{nb,i,b}}{10}} + \sum_{c=1} n \times 10^{\frac{E_{br,i,c}}{10}}\right), \text{dBA}, \tag{1.9}$$

čia n – traukinio kategorijos numeris, naudojantis nagrinėjama geležinkelio linija; $E_{nb,i,b}$ – emisijos išraiška nestabdomiems (atitinkamai: stabdomiems) kiekvienoje traukinių kategorijos vienetams (c = 1 iki n), oktavos intervale i ir esant įvertinimo aukščiui h (h=0 m, 0,5 m, 2 m, 5 m – priklausomai nuo traukinio kategorijos), apskaičiuojami taip:

$$E_{nb,i,c} = a_{i,c} + b_{i,c} \times \log V_c + 10 \times \log Q_c + C_{bb,i,m,c}, \text{ dBA}, \quad (1.10)$$

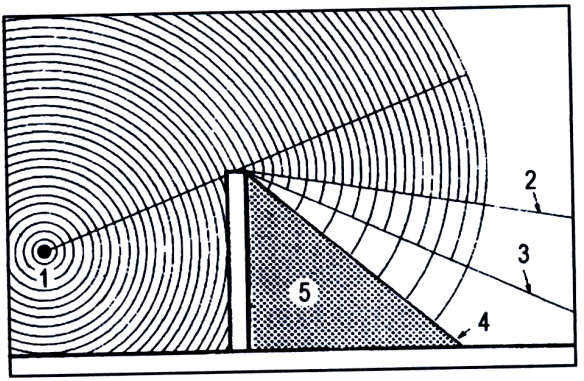
$$E_{br,i,c} = a_{br,i,c} + b_{br,i,c} \times \log V_{br,c} + 10 \times \log Q_{br,c} + C_{bb,i,m,c}, \text{ dBA}, \quad (1.11)$$

čia a_{hci}, ir b_{hci} – emisijos išraiškos traukinio kategorijai c nestabdymo (atitinkamai: stabdymo) sąlygomis, oktavos intervalui i ties aukščiu h; Q_c – geležinkelių transporto priemonės kategorijos vienetų skaičius; $Q_{br,c}$ – geležinkelių transporto priemonės kategorijos vienetų skaičius; V_c – nestabdomos pravažiuojančios geležinkelio transporto priemonės greitis; $V_{br,c}$ – stabdomos pravažiuojančios geležinkelio transporto priemonės greitis; b_b – geležinkelio kelio rūšis; m – geležinkelių kelių atsiskyrimo pasireiškimo tikimybė; $C_{bb,i,m,c}$ – geležinkelių kelių netolydumų ir nelygumų pataisa;

Transporto priemonių keliamas triukšmas mažinamas prieštriukšminiais ekranais, užtvaromis, pylimais, želdiniais. Triukšmą slopinančiais ekranais gali būti negyvenamieji pastatai – parduotuvės, garažai, dirbtuvės ir kiti panašios paskirties žemaaukščiai namai (Gužas *et al.*2006). Triukšmo mažėjimo dėl ekranavimo dydis priklauso nuo efektinio užtvaros aukščio.

Žemųjų dažnių garso bangos ilgis dažnai lygus akustinio ekrano matmenims arba yra didesnis už jį (Bracciali and Cascini 1997). Tokiu atveju didelė triukšmo energijos dalis sklis aplink ekraną, ir jo akustinis efektyvumas bus nedidelis. Ekranas geriausiai slopina aukštųjų dažnių garso bangas, kurių ilgis mažesnis už geometrinius ekrano matmenis. Tokiu atveju pasidaro veiksminga akustinio šešėlio zona už ekrano (1.12 pav.) (Stauskis 2007).

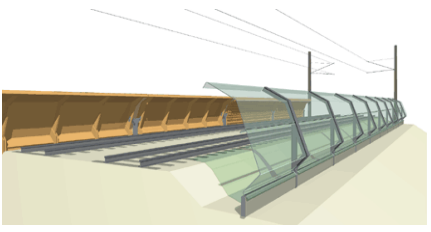
Užtvaros efektyvumas mažėja, didėjant imtuvo aukščiui ir atstumui nuo užtvaros iki imtuvo. Tikslų triukšmo sumažėjimą reikėtų apskaičiuoti. Paprastai užtvara negalima triukšmo sumažinti daugiau, kaip 25 dB. Aukšti pastatai arba aukšti pylimai triukšmą gali sumažinti 20 dB ar net daugiau. Akustinio ekrano veiksmingumas priklauso nuo garso bangų ilgio, kurį išspinduliuoja garso šaltinis. Paprastai statomos sienos, kurios triukšmo lygį sumažina ne mažiau kaip 15–20 dBA. Tokių charakteristikų reikalaujama net iš skaidrių sienų. Pavyzdžiui, skaidrios 8–12 mm storio leksano plokštės sumažina triukšmo lygį 25–29 dBA ir atlaiko nuo 9,6 kg iki 14,4 kg į 1 m^2 slėgimą (Triukšmo mažinimo ... 2002).



1.12 pav. Akustinio ekrano schema: 1 – triukšmo šaltinis; 2 – aukštų dažnių sritis; 3 – vidutinių dažnių sritis; 4 – žemųjų dažnių sritis; 5 – akustinio šešėlio zona

Fig. 1.12. Scheme of acoustic barrier: 1 – noise source; 2 – high frequency range; 3–middle frequency range;4 – low frequency range; 5 – acoustic shadow zone (Stauskis 2007)

Skaidrios triukšmo sienelės taikomos miestų zonose, siekiant nesumažinti matomumo bei nesumenkinant estetinio barjero vaizdo. 1.13 paveiksle pateikiamas triukšmo ekranų pritaikymas geležinkelio stoties regione. Austrijoje planuojama diegti ekranų kompozicijas, kurios triukšmą mažina ne dėl ekrano sienų akustinių savybių pagerinimo dengiant sugeriančia medžiaga, bet dėl ekrano konstrukcijos formos. Triukšmo mažinimo efektas pasiekiamas dėl ekrano palinkimo į geležinkelio bėgių pusę, sudarant „C raidės“ formą. Pravažiuojančių traukinių sukeliamų garso bangų išspinduliavimas nukreipiamas į geležinkelio bėgius t. y. traukinio riedmenis (Züge mit Aussicht 2008).



a)



b)

1.13 pav. Skaidrios triukšmo sienelės: a) Austrijoje; b) Kinijoje

Fig. 1.13. Transparent noise barrier: a) in Austria; b) in China

Su tokios formos ekranu situacijos triukšmo modeliavimo ir teorinis apskaičiavimas parodė, kad rezultatai gauti beveik vienodi kaip ir su tiesiais, garsą absorbuojančiais ekranais (1.13 b pav.). Be to, šie ekranai lengvai surenkami arba išmontuojami ir be didelių išlaidų termiškai perdirbami.

Japonijos mokslininkų atliktų eksperimentų rezultatai su skirtingos formos triukšmo slopinimo sienelių briaunomis parodė, jog briaunos forma veikia triukšmo lygio sumažinimą. Pavyzdžiui, „T“ raidės formos sienelės garso sumažinimas yra 1–2 dB didesnis negu tokio paties aukščio ekrano su „O“, „U“ arba „Y“ raidės formos briauna (Ishizuka and Fujiwara 2004).

Be aplinkos estetikos sumenkinimo, galimi ir kitokie autotransporto mažinimo būdai. Melburne (Australijoje) įrengtas skaidrus tunelis, uždengiantis magistralę iš šonų bei ribojantis triukšmo sklaidą į aplinką (1.14 pav.).



1.14 pav. Triukšmingų gatvių dengimas prieštriukšminiais ekranais

Fig. 1.14. Installation of anti-noise shields along noisy streets (Noise barrier 2008)

Ieškant dermės su gamtinės aplinkos formomis, Vokietijoje ir Austrijoje gana plačiai naudojami perforuoto metalo skydai. Tarp metalo plokščių paprastai dedamos garsą sugeriančios medžiagos.

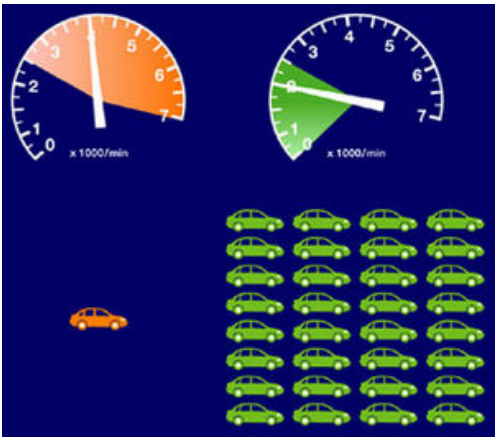
Užmiesčių vietovės turi daugiau tapatumo su kaimo aplinka. Čia puikiai dera medinės arba apželdintos triukšmo mažinimo užtvaros. Į atvirą kaimišką kraštovaizdį gali būti gana sunku įkomponuoti triukšmo mažinimo užtvarą, kuri netrikdytų vizualiosios aplinkos.

Nors akustiniams ekranams vis dažniau naudojamos specialiai tam sukurtos medžiagos ir konstrukcijos, neatsisakoma ir tradicinių medžiagų – medžio, įvairių spalvų betono (Kazragis ir Gailius 2006). Panaudodami žemės ūkio gamybos atliekas (šiaudus, pelus, spalius) bei nekultūrinę augmeniją (nendres, meldus, švendres) Vilniaus Gedimino technikos universiteto mokslininkai sukūrė nemažai garso ir šilumos izoliacinių medžiagų kompozitų, į kurių sudėtį taip pat įeina cementas, statybinis gipsas, celiuliozės gamybinės atliekos bei polimeriniai rišikliai (Kazragis ir kt. 1995).

Neblogomis garsą sugeriančiomis savybėmis pasižymi šiaudų arba nendrių turintys kompozitai. Taikant autorių sukurtų kompozitų konstrukcijas, mažiausi garso sugerties koeficientai gaunami esant žemam garso dažniui (100–500 Hz), o esant vidutinio aukštumo ir aukšto garso dažniui, garso sugerties koeficientas gali siekti 0,84. Taip pat pastebima, kad akustinės savybės susijusios su panaudoto celiuliozės užpildo prigimtimi (Kazragis ir kt. 2002). Dirbiniuose, kurių sudėtyje yra nendrių, būdinga geresnė garso sugertis negu tų, į kurių sudėtį įeina šiaudai.

Triukšmo ekranų estetiką praturtina želdiniai. Želdiniai sulaiko ir sugeria triukšmą tarsi filtras (Červienec and Levinska 1996). Želdiniai geriausiai slopina aukšto dažnio garsus. Varšuvoje atlikti tyrimai rodo, kad kiekvienas kompozicinis miesto želdynų elementas slopinant triukšmą atlieka didesnį ar mažesnį vaidmenį. Pavyzdžiui, 6 m, 10 m ir 15 m pločio liepos laja atitinkamai sumažina triukšmo lygį 3, 4 ir apie 5 dB. Tuo pat metu 160 cm aukščio ir 100 cm pločio skroblų gyvatvorė, esanti 13 m atstumu nuo garso šaltinio, mažina triukšmą apie 6–7 dB. Tanki 40 m pločio juosta triukšmą sumažina 17–23 dB, o reta 30 m pločio medžių ir krūmų juosta mažina triukšmą tik 8–11 dB. Atlikti tyrimai rodo, kad želdinių efektyvumas slopinti triukšmą numetus lapus sumažėja maždaug 50–80 % (Orzeszek–Gajewska 1982). Tai priklauso nuo medžių rūšies. Apytikriai, vieno metro pločio tokia želdinių juosta mažins triukšmą vidutiniškai 0,5 dBA/m. Vienos želdinių juostos triukšmo slopinimo efektyvumą galima apskaičiuoti pritaikius B. Prutkovo, P. Šiškino, G. Osipovo ir P. Karagodinos formules. Rekomenduojama sodinti ir spygliuočius medžius, nes jie slopina triukšmą ir žiemą, nors jų garso slopinimo efektyvumas, palyginti su lapuočių, yra mažesnis.

Siekiant paneigti nuomonę, kad per paskutiniuosius metus smarkiai padaugėjus automobilių padidėjo triukšmo lygiai, ekologinio vairavimo puslapyje (žr. www.ecodrive.org) pateikiami duomenys, jog vieno automobilio sukeltas triukšmas, varikliui veikiant 4000 sūkių per minutę, sukelia tokį patį triukšmą, kaip 32 automobilių, važiuojančių tokiu pačiu greičiu, tačiau varikliui veikiant 2000 sūkių per minutę (Ecodrive 2006).



1.15 pav. Vairavimo kultūros įtaka sukeliamam triukšmui

Fig. 1.15. The influence of driving culture on noise generation (http://ecodrive.org/Benefits-of-ecodriving.277.0.html).

Iš 1.15 paveiksle pateikto palyginimo matyti skirtumas, kurį gali sukelti net ir vairavimo kultūros ypatybės. Todėl galima teigti, kad net ir didžiausios investicijos į prevencines triukšmo priemones gali būti bevaisės, jei nebus kreipiamas dėmesys į kultūrą, etiką, pagarbą aplinkiniams.

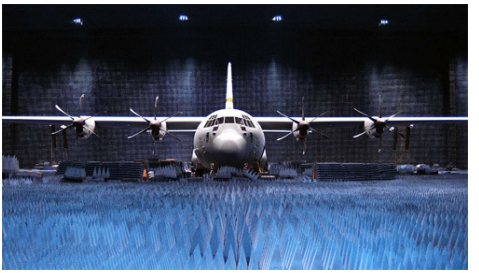
1.5. Laboratoriniai akustiniai garsą slopinančiųjų medžiagų tyrimai

Vis labiau susiduriant su triukšmo valdymu, būtina ieškoti naujų ir efektyvių triukšmą sugeriančių medžiagų, nuodugniau ištirti esamas medžiagas, taip pat ir įvairius triukšmą keliančius šaltinius (1.16 pav.). Tokio pobūdžio tyrimams naudojamos triukšmą slopinančios (beaidės) kameros. Užsienio literatūroje aptinkama duomenų, kad, net 1940 metais buvo sukurtos aukštos kokybės beaidės kameros, skirtos įvairių triukšmo šaltinių sklidimo charakteristikoms tirti (Beranek and Sleeper 1998).

Miurei Hilas (Murray Hill) beaidę kamerą sukonstravo 1940 metais, ir tai yra seniausia išlikusi beaidė kamera. Vidiniai patalpų parametrai apytiksliai siekia 30 pėdų aukščio, 28 pėdas pločio, 32 pėdas gylio. Išorinė siena, sudaryta iš cemento blokelių, yra 3 pėdų storio, siekiant apsaugoti beaidę kamerą nuo aplinkos triukšmo įtakos.

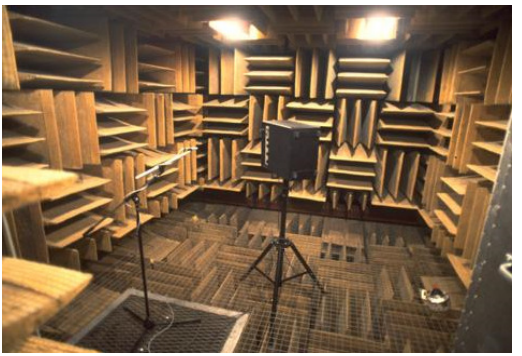
Pavadinimas „beaidė“ literatūriškai reiškia „be aido“. Dideli stiklo pluošto pleištai, sumontuoti ant vidinių kameros sienos paviršių, absorbuoja garso aidą arba atspindžius. Pleišto formos sugėriklių pagrindas yra 4,5 pėdų ilgio ir 2 pėdų pločio. Daugiausia šiuo metu paplitusių beaidžių kamerų naudoja alternatyviąsias jos pluošto struktūras (Chung 2003).





1.16 pav. Įvairių šaltinių sukeliamo triukšmo tyrimai

Fig. 1.16. Research on noise generated by different sources (www.swri.org; www.gizmodo.com.au)



1.17 pav. Beaidė triukšmo kamera Orfieldo laboratorijoje, Minesotos valstijoje

Fig. 1.17. An anechoic noise chamber in the Orfield laboratory, the State of Minnesota

Pleišto forma pasirenkama siekiant suderinti absorberio impedansą su supančiu oru. Kintančios jos formos pasirenkamos, norint išgauti kuo didesnę kampinę sugertį. Kamera absorbuoja 99 % krintančios akustinės energijos, didesnės nei 200 Hz. Vienu metu ši kamera netgi buvo cituojama Gineso rekordų knygoje kaip tyliausia pasaulio patalpa (http://www.bell-abs.com/org/1133/Research/Acoustics/AnechoicChamber.html). Šiuo metu tyliausia vieta žemėje yra tituluojama Orfieldo laboratorija, Minesotos valstijoje (JAV). Šioje laboratorijoje ka-

mera įrengta viduje didesnės patalpos, kuri susideda iš vienos pėdos storio cementinių sienų ir lubų (1.17 pav.). Mažesnioji patalpa yra užpildyta 3,3 pėdų storio stiklo pluošto pleištais, o joje 2004 m. išmatuotas foninis triukšmo lygis siekė neigiamą, –9,4 dBA, vertę.

Garsą slopinančios kameros erdvė gerai izoliuojama nuo vidinių garsų ir vibracijų perdavimų. Šioje erdvėje garsas beveik visiškai (99 %) sugeriamas kamerą ribojančio paviršiaus (Meyer *et al.* 1940). Sienų padengimui būna naudojamos įvairių formų (kubo, piramidės, plokštės ir kt.) garso sugėrikliai. Jie surenkami blokais iš 3–4 sugėriklių ir montuojami atstumu *l* nuo vidinio kameros paviršiaus (Velizanina and Rzevskij 1957). Šis atstumas *l* priklauso nuo garso sugėriklių matmenų, konstrukcijos ir medžiagos. Kai kuriais atvejais atstumas *l*, atliekantis rezonatoriaus vaidmenį žemuose dažniuose, pripildomas garsą sugeriančiomis medžiagomis.

Siekiant sumažinti aplinkos triukšmo įtaką kameroje atliekamiems tyrimams, dažnai stengiamasi kameros atitvaras daryti iš didelio tankio medžiagų, nepraleidžiančių triukšmo iš aplinkos. Dažniausiai kameros statomos iš plytų ir sumontuojamos ant amortizatorių, o kai kuriais atvejais ant pamatų, izoliuotų nuo bendro pastato pamatų. Dažnai kamerose įmontuojama oro vėdinimo-šildymo sistema, apšvietimas t. y. sudaromos normalinės darbo sąlygos. Kameros durys turi sandariai užsidaryt ir būti tokių pat akustinių ypatybių kaip ir sienos. Kameros dydis ir naudojama įranga parenkami, priklausomai nuo paskirties ir materialiųjų galimybių (Judin 1984). Pasaulyje žinomų kamerų plotas siekia nuo 2,2 m^2 iki 3300 m^2. Judėjimui kameroje, norint nepažeisti garso sugėriklių, ant grindų tiesiamas vielinis tinklas.

Taip pat literatūroje aptinkama įvairių laboratorinių kamerų akustinėms statybinių medžiagų ir konstrukcijų savybėms tirti. Tokio tipo kameros sudarytos iš dviejų patalpų, atskirtų pertvara, kurioje sumontuojamas tiriamasis bandinys. Pasitaiko tokių modifikacijų, kad kameros patalpos yra išdėstomos vertikaliai, t. y. turi sąlytį per grindis-lubas (Koidan and Hruska 1977). Tokių kamerų paskirtis yra smūgio garso perdavimo iš viršuje esančios patalpos į apatinę, t. y. perdangos akustinių savybių tyrinėjimas. Horizontaliai išdėstytos kameros yra naudojamos statybinių medžiagų gebai sugerti ar atspindėti garso bangas, taip pat statybinių medžiagų kompozicijų tinkamumui nustatyti ir garso izoliacijai tyrinėti (Salford Universitetas, D.Britanija).

Tiriamoji konstrukcija įrengiama akustikos kameros bandymų angoje. Abiejose kameros patalpose (siunčiamojo ir priimamojo garso) yra įrengiamos kelios mikrofonų pozicijos. Siunčiamojo garso patalpoje įjungiamas garso šaltinis, tokiu būdu kiekvienoje patalpoje susidaro po keletą garso slėgio lygio matavimo taškų, pagal kuriuos nustatomos reikalingos difuzinio garso lauko sąlygos. Difuzinio lauko sąlygos gali būti pagerintos pasitelkus difuzinius elementus.

Greta garsą sugeriančių kamerų, kurių sienos, grindys ir lubos padengtos garsą sugeriančiomis medžiagomis, yra ir „pusiau garsą sugeriančių kamerų“, kurių grindys nėra padengtos garso sugėrikliais. Tokiose kamerose negalimi kai kurie akustiniai tyrimai, tačiau yra daug paprasčiau atgabenti sunkius ar didelių gabaritų tyrimo objektus į patalpą (pvz.: automobilius, dideles stakles).

1.6. Triukšmo sklaidos modeliavimas

Planuojant naujų kelių tiesimą, naujų rajonų statybą, eismo sąlygų keitimą miestuose, labai svarbu numatyti, kaip tokiu atveju keisis esami triukšmo lygiai. Triukšmo lygis atskiruose teritorijų taškuose matuojamas integruojančiais skaitmeniniais triukšmomačiais. Tačiau šis metodas turi didelį trūkumą – negalima prognozuoti triukšmo lygio dar projektavimo stadijoje, be to, negalima įvertinti skirtingų triukšmo šaltinių atskirai (Klibavičius 1998).

Naudojamos įvairios triukšmo lygio skaičiavimo ir jo sklidimo modeliavimo programos: „EKOL“ (Vilniaus Gedimino technikos universitetas), „MapNoise“ (Danijos nacionalinė programa), „LAERM“ (Karlsrūhės technikos universitetas), „CadnaA“ (Datakustik, Vokietija), „IMMI“, „SoundPlan“ (SoundPLAN LLC, JAV) ir t. t. Pavyzdžiui, „MapNoise“ programa skaičiavimai atliekami, remiantis Šiaurės šalių kelių transporto sąlygojamo triukšmo prognozavimo modeliu. Naudojant šią programą buvo parengti kartografiniai triukšmo žemėlapiai Vilniaus, Kauno, Klaipėdos, Šiaulių ir Panevėžio miestams.

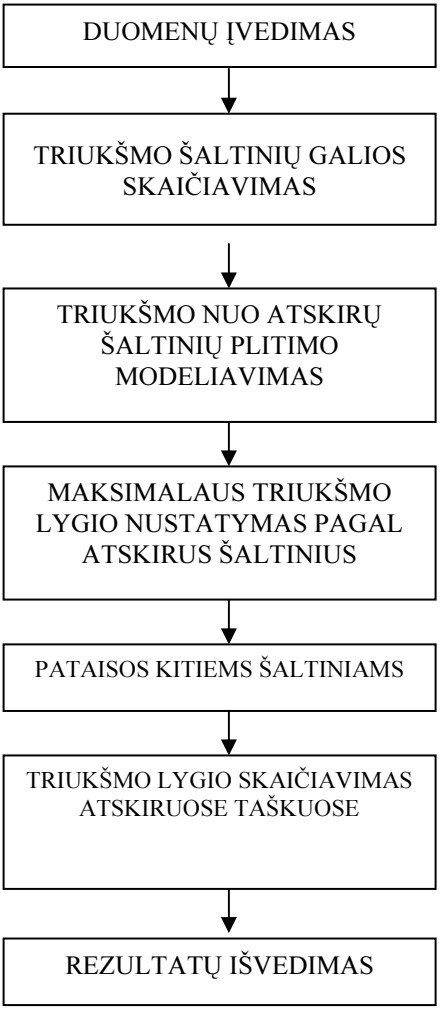
„EKOL“ programa gali naudotis projektavimo organizacijos, sudarydamos išsamius mikrorajonų projektus, pagrindinius planus, kompleksines transporto schemas, bei aplinkos apsaugos organizacijos (Ramonas 2003).

Programa „EKOL“ skirta atskirų miesto mikrorajonų kompleksiškam neigiamam transporto poveikiui įvertinti. Čia įvertinamas teritorijos reljefas, apstatymas, transporto srautų sudėtis, vėjo greitis ir kiti veiksniai. Atskirai vertinamos srauto važiavimo sąlygos gatvių atkarpose ir sankryžose, taip pat sankryžų reguliavimo metodai.

Triukšmo plitimas nagrinėjamas daugelyje literatūros šaltinių, tačiau nėra bendro modelio, nusakančio triukšmo plitimą mikrorajone, įvertinant vėjo veiksnius, teritorijos reljefą, apstatymą. 1.18 pav. pateikiamas modelis, paremtas 1988–1996–2002 m. natūriniais matavimais, atliktais Vilniuje, Šiauliuose, Panevėžyje, Palangoje, Minske, Drezdene. Todėl šioje programoje panaudotas hibridinis “kanjono, teritorijos turbulencinis” modelis, geriausiai modeliuojantis triukšmo plitimą (Klibavičius 1998).

Vokietijoje triukšmo sklaidai modeliuoti ir prognozuoti naudojama kompiuterinė programa „CadnaA“. „CadnaA“ (Computer Aided Noise Abatement) – tai kompiuterinė programa, skirta modeliuoti pačius įvairiausius scenarijus, pasiren-

kant vieno ar kelių tipų triukšmo šaltinius (mobilieji - keliai, geležinkeliai, oro transportas, taškiniai - pramonės įmonės ir kt.), įvertinant teritorijos reljefą, sudėtingas kelių bei tiltų konstrukcijas ir pan.



1.18 pav. Triukšmo plitimo skaičiavimo programos schema

Fig. 1.18. Scheme of noise spread calculation programme (Klibavičius 1998)

Vienas iš programos privalumų yra tas, kad triukšmo sklaida skaičiuojama remiantis Europos Sąjungos patvirtintomis metodikomis (kelių transportui – NMPB-Routes-96, pramonei – ISO 9613, geležinkeliams – SRM II bei oro trans-

portui – ECAC. Doc. 29), todėl modeliavimo rezultatai gali būti lyginami su Lietuvos bei ES normomis bei reikalavimais triukšmo lygiui. Programa turi nemažai kitų privalumų, ypač lyginant su kitomis Lietuvoje naudojamomis programinėmis triukšmo prognozavimo įrangomis.

1.3 lentelė. „CadnaA“ triukšmo modeliavimo metodikų taikomi standartai

Table 1.3. The standards applied in CadnaA noise modelling methodologies (CadnaA calculations ... 2006)

Pramonės šaltinių triukšmas	ISO 9613-2; ÖAL 28; VDI 2714/2720; DIN 18005; Nordic prediction Method (Šiaurės Europos duomenų apskaičiavimo metodas); Swedish Guideline for Air Turbine Noise
Autotransporto triukšmas	RLS-90; DIN 18005; CRTN; NMPB – Routes – 96; Nordic Prediction Method; RVS 3.02; STL 86; TNM; Liberko;
Geležinkelių transporto triukšmas	Schall03; DIN 18005; CRN; Nordic Prediction Method; ÖNorm S 5011; Semibel SRMII; Schall03 200X; NMPB - Fer

Skaičiavimo rezultatai apima transporto srautų keliamo triukšmo lygį atskiruose taškuose, įvertinami ir lokalinio triukšmo šaltiniai, taip pat išmetamųjų dujų koncentracijos atskiruose modeliavimo taškuose (CadnaA calculztions 2006).

Čia detaliai įvertinamas teritorijos reljefas, vietovės apstatymas, pastatų akustinės savybės, transporto srautai, maksimalūs greičiai, meteorologinės sąlygos ir kt.

Kaip ir kitos modeliavimo programinės įrangos, „CadnaA“ programos modeliavimo proceso eiga susideda iš trijų pagrindinių etapų:

I etapas – duomenų, reikalingų modeliui sukurti, įrašymas;

II etapas – įrašytų duomenų apdorojimas ir modelio skaičiavimo procesas;

III etapas – skaičiavimo rezultatų ekrane vaizdavimas.

„CadnaA“ išskiria triukšmo lygius bet kuriose vietose ar taškuose, esančiuose horizontaliosiose ar vertikaliosiose plokštumose arba ant pastatų fasadų. Kai kuriems specialiesiems šaltiniams – kelių, geležinkelių transportas, oro uostai – akustinis emisijų kiekis išskiriamas iš techninių parametrų. Tai gali būti atrinkta iš daugelio nacionalinių ir tarptautinių standartų.

Sudarant judančiojo šaltinio modelį, įrašomas taškinio šaltinio garso lygis (PWL_l), įvykių kiekis per valandą ir greitis. Šių duomenų pagrindu, kartu su linijiniais šaltiniais, gaunamas triukšmo lygio rezultatas *PWL*.

Linijinis triukšmo šaltinis

$$PWL = PWL_t + 10\lg Q + 10\lg l - 10\lg v - 30dB, \qquad (1.12)$$

čia Q – įvykių kiekis per valandą; v – greitis, (km/h); l – ilgis (m).

Plotinis triukšmo šaltinis

$$PWL = PWL_t + 10\lg Q\,. \tag{1.13}$$

„CadnaA“ programa, kuriami triukšmo žemėlapiai kuriami išskiriant triukšmo lygius, taškus, išsidėsčiusius vietovėje. Jie gali būti konkretaus aukščio arba absoliutinio aukščio.

Kita triukšmo sklaidos modeliavimo programinė įranga „MapNoise“ yra sukurta bendradarbiaujant RAPIDIS ir „TetraSoft“ kompanijoms. „MapNoise“ yra „ArcGIS“ taikomosios programos skaičiavimo modulis. „MapNoise“ skaičiavimo modelis yra pagrįstas Šiaurės šalių kelių transporto sąlygojamo triukšmo prognozavimo modeliu. „MapNoise“ programinė įranga naudinga vertinant kelių transporto triukšmo poveikį aplinkai, analizuojant planuojamą triukšmo poveikį bei planuojant triukšmo mažinimo užtvaras.

1.7. Pirmojo skyriaus išvados ir disertacijos uždavinių formulavimas

1. Negalint sumažinti triukšmo lygio, pasiekiančio gyvenamąją aplinką iš pramoninių zonų modifikuojant patį jo šaltinį, geriausias būdas – triukšmingų cechų, gamybinių pastatų vidines sienas dengti garsą sugeriančiomis medžiagomis. Šis būdas leidžia sumažinti triukšmo lygius ne tik darbo zonose, bet sumažinus triukšmo lygį patenkantį į aplinką, supaprastinti triukšmo sklaidai slopinti taikomų sienelių konstrukciją.
2. Užmiestyje tikslinga taikyti akustiniu požiūriu efektyvias medžiagas, iš kurių pagaminus garsą mažinančias sieneles jos derėtų prie esamo kraštovaizdžio.
3. Statybinių medžiagų bei jų kompozicijų akustinių savybių tyrimui plačiai taikomi laboratoriniai eksperimentai. Tokio pobūdžio tyrimams naudojamos triukšmą slopinančios (beaidės) arba reverberacinės kameros.
4. Triukšmo sklaidos modeliavimo programų taikymas projektuojant automobilių kelius, geležinkelius, gyvenamuosius rajonus įgalina efektyviau diegti ir vertinti triukšmo mažinimo priemones konkrečioje vietovėje.
5. Triukšmo slopinimo sienelėms naudojamų medžiagų ir konstrukcijų akustinės savybės nėra plačiai išnagrinėtos, ypač taikomų žemo dažnio garsui slopinti.

2

Eksperimentinių triukšmo tyrimų ir jo sklaidos skaitinio modeliavimo metodika

Mobiliųjų ir stacionariųjų šaltinių keliamas triukšmas sutinkamas visur: gyvenamojoje teritorijoje, gyvenamosiose patalpose, darbo vietose. Mobiliųjų šaltinių keliamas per didelis triukšmas ypač juntamas arti jų judėjimo vietų esančiose teritorijose. Stacionariųjų triukšmo šaltinių keliamas triukšmas leistinuosius triukšmo lygius viršija gyvenamosiose zonose, esančiose arti pramonės įmonių teritorijų. Iš jų į gyvenvietes ir miestų teritorijas atsklindantis triukšmas trukdo gyventojams dirbti ir ilsėtis. Taip pat nustatomas per didelis triukšmo lygis darbo vietose, kur per didelio triukšmo lygio veikiami darbuotojai. Todėl būtina ieškoti šios problemos sprendimo būdų – įvairiomis priemonėmis slopinant triukšmo sklaidą į aplinką.

Šiame skyriuje pateikiamos stacionariųjų ir mobiliųjų šaltinių triukšmo sklaidos bei įvairių medžiagų akustinių savybių eksperimentinių tyrimų metodikos. Sprendžiant aplinkos triukšmo problemą, pirmiausia nustatomi jo lygiai ir sklaidos charakteristikos. Statybinių medžiagų ir iš jų montuojamų konstrukcijų akustinėms savybėms tirti buvo sukurta ir įrengta triukšmo slopinimo kamera. Pagal atliktų tyrimų rezultatus ieškoma naujų triukšmo mažinimo priemonių.

Atliktų kamerinių eksperimentų bei mobiliųjų ir stacionariųjų triukšmo šaltinių tyrimų rezultatai paskelbti 2 moksliniuose straipsniuose leidiniuose, referuotuose ISI Web of Science duomenų bazėje, 2 moksliniuose leidiniuose įrašytuose į Mokslinės informacijos instituto (MII) pagrindinių sąrašą (ISI Master Journal list), 3 moksliniuose straipsniuose konferencijų pranešimų rinkiniuose, įtrauktuose į MII duomenų bazę (ISI Proceedings) bei 5 straipsniuose mokslo konferencijų leidiniuose. Taip pat atliktų tyrimų tematika skaityti 6 pranešimai mokslo konferencijose.

2.1. Triukšmo slopinimo kamera ir jos akustiniai tyrimai

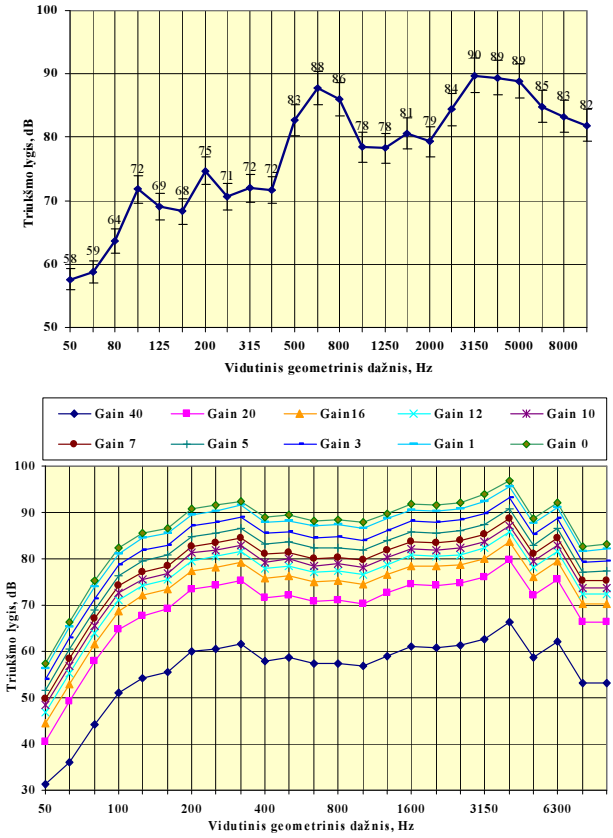
Medžiagų akustinių savybių tyrimams VGTU Aplinkos apsaugos katedroje sukurta ir įrengta triukšmo slopinimo kamera. Ši kamera skirta įvairių medžiagų ir iš jų sudarytų konstrukcijų garso sugerties, atspindžio moksliniams tyrimams (patikros metodas yra apibrėžtas EN ISO 140-3 standarte) bei prietaisų skleidžiamo triukšmo lygiui nustatyti.

Triukšmo tyrimams triukšmo slopinimo kameroje naudojami du pagal skleidžiamo triukšmo pobūdį skirtingi triukšmo šaltiniai. Tai vieni naujausių danų firmos Bruel&Kjaer gaminių: standartizuotą impulsinį triukšmą sukelianti taptavimo mašina bei dvylikos pastovaus triukšmo garsiakalbių šaltinis. Akustiniams tyrimams naudojamų skirtingų triukšmo šaltinių panaudojimas grindžiamas tuo, kad, siekiant nustatyti triukšmo slopinimo sienelėms taikytinas medžiagas, palyginami bandymais gauti rezultatai, išryškinant skirtingo pobūdžio triukšmą geriau slopinančias medžiagas.

Taptavimo mašinos veikimo principas grįstas tuo, kad ją padėjus ant metalinės plokštės ir įjungus, cikliškai iš 40 mm aukščio krintantys penki svareliai sukuria impulsinį garsą. Šio impulsinio šaltinio sukeliamo impulsinio triukšmo tyrimų rezultatai pateikti 2.1 a paveiksle.

Kaip matyti iš 2.1 a paveikslo, didžiausi impulsinio triukšmo šaltinio lygiai nustatyti esant aukštiems dažniams (t.y. esant didesniems nei 2000 Hz). Impulsinį triukšmą sukeliančio šaltinio triukšmo lygiai palaipsniui didėja – esant žemiems dažniams jie siekia 58–75 dB, vidutinio aukštumo dažniuose – 71–88 dB, o esant aukštiems dažniams kito nuo 79 iki 90 dB.

Dvylikabriaunio visakrypčio garso šaltinio skleidžiamo triukšmo charakteristikos esant skirtingiems dažniams pateiktos 2.1 b paveiksle.



2.1 pav. Skirtingų šaltinių skleidžiamo triukšmo dažninės charakteristikos: a) taptavimo mašinos keliamo impulsinio triukšmo lygių pasiskirstymas dažniuose; b) dvylikabriaunio garso šaltinio sukeliamo triukšmo lygių pasiskirstymas dažniuose esant skirtingai garso galiai (Omnipower Omnidirect dvylikabriaunis garso šaltinis skleidžia triukšmo lygį, galios stiprintuvu nustatant Gain 40, Gain 20, Gain 16, Gain 12, Gain 10, Gain 7, Gain 5, Gain 3, Gain 1, Gain 0 reikšmes; kur Gain – triukšmo šaltinio galios indeksas)

Fig. 2.1. Different sources of noise according to the character of dispersed noise: a – the distribution of the levels of impulse noise source; b – dodecahedral source of noise used for the experiment and the distribution of the levels of noise aroused by it in frequencies at different powers of the noise source (Omnipower Omnidirectional dodecahedral source of noise emits the level of noise when setting with the power amplifier Gain 40, Gain 20, Gain 16, Gain 12, Gain 10, Gain 7, Gain 5, Gain 3, Gain 1, Gain 0 values; where Gain – the power index of the noise source given in the technical specification)

Iš 2.1 b paveikslo matyti, kad keičiant šaltinio garso galią, garso lygiai padidėja visame dažnių diapazone. Didžiausi garso lygiai nustatyti esant 100–315 Hz dažniams ir siekė beveik 100 dB, kai garso galia buvo maksimali. Taip pat nustatyta, kad esant 400–4000 Hz dažnių diapazonui, garso lygiai buvo beveik vienodi, atskirai nustačius skirtingą garso galią.

2.2. Triukšmo slopinimo sienelėms rekomenduotinų medžiagų ir konstrukcijų akustiniai kameriniai tyrimai

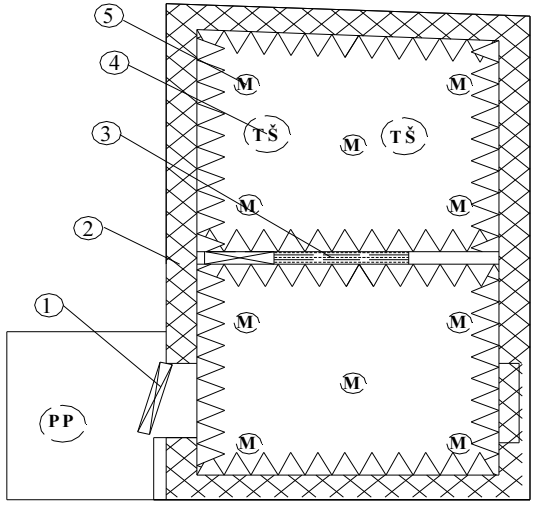
Medžiagų akustinių savybių tyrimai atlikti VGTU AAK triukšmo slopinimo kameroje. Bendras kameros ilgis yra 4 m., plotis – 2,4 m., aukštis – 3 m. Visas vidaus paviršius izoliuotas nuo patalpų sienų ir padengtas išpjaustyto akustinio porolono sluoksnio plokštėmis (2.2 pav.).

Triukšmo slopinimo kamera susideda iš dviejų patalpų, perskirtų siena, ir greta esančios patalpos, skirtos matavimo duomenų apdorojimo aparatūrai. 1-oji patalpa sąlygiškai vadinama siunčiamojo garso patalpa, 2-oji patalpa – priimamojo garso patalpa.

Triukšmo slopinimo kameros patalpos tarpusavyje ir išorinio statinio atžvilgiu akustiškai izoliuotos akmens vatos plokštėmis. Tokia konstrukcija leidžia sumažinti netiesioginį garso laidumą tarp kameros patalpų, be to, šios patalpos izoliuojamos nuo išorinio triukšmo ir tai mažina foninį triukšmą jose.

Akustinėms konstrukcijų savybėms triukšmo slopinimo kameroje tirti naudojama Danijoje pagaminta „Bruel&Kjaer“ matavimo įranga, kurią sudaro:

1. Precizinis garso lygio matuoklis, analizatorius „Bruel&Kjaer mediator 2260“;
2. Mikrofonas 4189 – „Bruel&Kjaer“ (2 vnt.);
3. Galios stiprintuvas – „Bruel&Kjaer“ (galia: 300 W);
4. Visakryptis dvylikos garsiakalbių šaltinis – „Bruel&Kjaer“ (Dažninė charakteristika: 50 Hz – 10 kHz;) su trikoju stovu, kurio reguliuojamas aukštis 1,3–2,0 m (2.3 a pav.);
5. Taptavimo (smūgius sukeliantis) įrenginys – „Bruel&Kjaer 2307“. Jį sudaro 5 darbiniai plaktukai, kurių svoris 500 g, o darbinis dažnis – 10 Hz. Plaktukų kritimo aukštis 40 mm (2.3 b pav.).



2.2 pav. Triukšmo slopinimo kameros vaizdas iš viršaus: 1 – durys; 2 – kameros atitvaros dengtos porolonu; 3 – narvelis tiriamiesiems bandiniams įtaisyti; 4 – triukšmo šaltinių pozicijos (TŠ); 5 – mikrofonų pozicijos (M); PP – duomenų apdorojimo patalpa

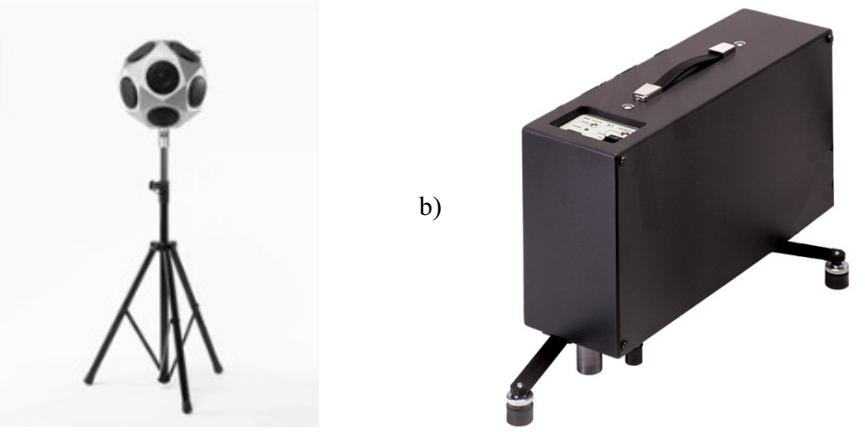
Fig. 2.2. View of the noise suppression chamber from above: 1 – door; 2 – chamber partitions covered with foam; 3 – cage for mounting the researched samples; 4 – positions of noise sources (TŠ); 5 – microphone positions (M); PP – data recording and processing room

Precizinis garso lygio matuoklis–analizatorius „Bruel&Kjaer 2260“ turi du matavimo kanalus, todėl vienu metu galima matuoti triukšmą, naudojant du mikrofonus, išdėstytus skirtinguose taškuose. Dėl įmontuoto procesoriaus ir specializuotų programų, prietaisas atlieka statistinį matavimo rezultatų apdorojimą.

Atliktais akustiniais tyrimais gautų duomenų apdorojimui iš prietaiso „Bruel&Kjaer 2260“ naudojama programinė „BZ 7210 Qualifier“ įranga ataskaitų ruošimui. Šios programinės įrangos galimybės:

- realaus laiko vienos arba 1/3 oktavos diapazono analizė;
- triukšmo charakteristikų grafinis vaizdavimas, naudojant nustatytas žymes;
- garso įrašymas;
- plačiajuostė statistika;
- nuotolinis duomenų perdavimas.

a) b)



2.3 pav. Eksperimentams naudojami garso šaltiniai: a – visakryptis garso šaltinis, b – taptavimo mašina

Fig. 2.3. The sources of noise used during the experiments: a – dodecahedral source; b – tapping machine

Ore sklindančio garso atitvarų izoliavimo matavimo metodas laboratorinėmis sąlygomis pateiktas pagal standartą LST EN ISO 140-3. Tiriamasis bandinys (matmenys 1,0 m x 1,0 m) įmontuotas į triukšmo slopinimo kameros skiriamosios pertvaros narvelį. Po to įmontuotam bandinio, pavyzdžiui, 1/3 okt. dažnių juostuose (diapazonu nuo 50 Hz iki 10 000 Hz) matuojami šie parametrai:

1. Vidutinis garso slėgio lygis siunčiamojo garso patalpoje;
2. Vidutinis garso slėgio lygis priimamojo garso patalpoje.

Triukšmo slopinimo kameros patalpas skiriančioje sienoje įmontuotas bandinio pavyzdys formuoja sąlyčio paviršių $S_p \approx 1{,}00\ m^2$ tarp abiejų patalpų. Pirmojoje ir antrojoje patalpose naudojamos 5 mikrofonų matavimo vietos (0,7 m atstumas tarp kiekvienos mikrofono vietos), esant dviems pirminėje patalpoje įrengto visų krypčių garso šaltinio padėtims. Tai kartu sudaro 10 matavimo punktų situacijų kiekvienoje patalpoje (žr. 2.2 pav.).

Triukšmo slopinimo kameroje eksperimentų metu tyrinėtoms konstrukcijoms (2.4 pav.), nustatomas ore sklindančio garso izoliavimo rodiklis R_w (dB), kuris nusako atitvarų gebėjimą silpninti ore sklindantį garsą. Kuo R_w didesnis, tuo mažiau triukšmo prasiskverbia pro atitvarą. Konstrukcijos orinio garso izoliacija R_w randama iš formulės:

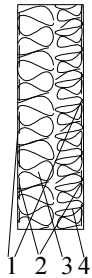
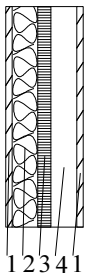
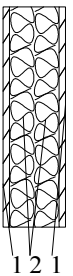
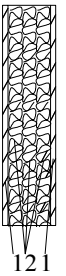
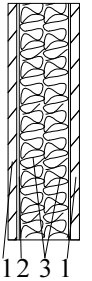
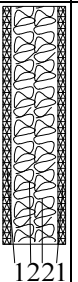
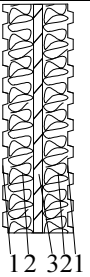
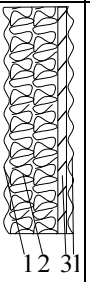
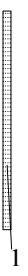
$$R_w = L_1 - L_2 + 10\lg\frac{S}{A}, dB, \quad (2.1)$$

čia L_1 – vidutinis garso slėgio lygis siunčiamojo garso patalpoje, dB; L_2 – vidutinis garso slėgio lygis priimamojo garso patalpoje, dB; S – konstrukcijos plotas, m^2; $A = \frac{0{,}163V}{T}$ – bendrasis garso sugėrimas priimamojo garso patalpoje, m^2; V – priimamojo garso patalpos tūris, m^3; T – išmatuotas reverberacijos laikas, s.

Taip pat rezultatai išreiškiami naudojantis garso lygių skirtumo rodikliu D_{nTw}, kuris randamas pagal 2.2 formulę:

$$D_{nTw} = L_1 - L_2 + 10\lg\frac{T}{T_0}, dB, \quad (2.2)$$

čia T – išmatuota aidėjimo trukmė priimamojo garso patalpoje, s; T_0 – standartinė aidėjimo trukmė, kuri gyvenamosioms patalpoms imama 0,5 s (Stauskis 2007).

Nr. 1	Nr. 2	Nr. 3	Nr. 4	Nr. 5	Nr. 6	Nr. 7	Nr. 8	Nr. 9
								
1 – perforuotos skardos lakštas (1 mm); perforacijos laipsnis 50%; 2 – polietilenas (1 mm) 3 – akmens vata (50mm); 4 – akmens vata (30mm);	1 – medžio drožlių plokštė (10 mm); 2 – stiklo vata (100mm); 3 – putų polistirolas (30mm); 4 – oro tarpas (60 mm);	1 – medžio drožlių plokštė (10 mm); 2 – stiklo vata (2x 100mm);	1 – medžio drožlių plokštė (10 mm); 2 – akmens vata (3x 50mm);	1 – medžio drožlių plokštė (10 mm); 2 – stiklo plastikas (5mm); 3 – akmens vata (2x 50mm);	1 – medžio lentelės (15 mm); 2 – stiklo vata (2x 100mm)	1 – trapecinis stiklo plastikas (3 mm); 2 – akmens vata (100mm); 3 – medžio drožlių plokštė (10 mm);	1 – skaidrus banguotas stiklo plastikas (3 mm); 2 – akmens vata (2x 100mm); 3 – medžio drožlių plokštė (10 mm);	1 – skaidrus permatomas organinis stiklas (10 mm)

2.4 pav. Eksperimentinių bandinių konstrukcijos

Fig. 2.4. Samples of the experimental structures

Bandymuose naudojamų konstrukcijų triukšmo mažinimo efektyvumas apibūdinamas atskiru rodikliu (LST EN ISO 1793-3). Garso ore silpninimo rodiklis (DL_R), išreikštas decibelais, apskaičiuojamas taip:

$$DL_R = -10\lg\left[\frac{\sum_{i}^{18} 10^{0,1L_i} \cdot 10^{-0,1R_i}}{\sum_{i}^{18} 10^{0,1L_i}}\right], \tag{2.3}$$

čia R_i – garso izoliavimo rodiklis i-joje 1/3 oktavos juostoje; L_i – normuotas, garso slėgio lygis triukšmo i-joje 1/3 oktavos juostoje, dB (EN 1793-3).

L_i vertės 1/3 oktavos juostai, pagal EN 1793-3 apibrėžtą standartizuotą triukšmo spektrą, pateiktos 2.1 lentelėje.

2.1 lentelė. Standartizuotas triukšmo spektras

Table 2.1. Standardised noise spectrum (LST EN ISO 1793-3)

Dažnis, Hz	L_i, dB	Dažnis, Hz	L_i, dB
100	-20	800	-9
125	-20	1000	-8
160	-18	1250	-9
200	-16	1600	-10
250	-15	2000	-11
315	-14	2500	-13
400	-13	3150	-15
500	-12	4000	-16
630	-11	5000	-18

Siekiant įvertinti skirtingų medžiagų gebą slopinti triukšmą, išskiriamas koeficientas, pagal kurį įvertinamas garso slopinimas medžiagos storio mato vienete. Šis koeficientas μ vadinamas ilginiu garso bangų intensyvumo silpimo koeficientu ir nustatomas pagal 2.4 formulę:

$$I = I_0 \cdot \exp(-\mu \cdot d), \tag{2.4}$$

čia I – garso bangos, nusklidusios atstumu d, intensyvumas, W/m^2; I_0 – kritusios bangos intensyvumas, W/m^2; d – bandomosios medžiagos storis, m.

Triukšmo slopinimo kameroje matuojamas ne garso intensyvumas, bet garso lygis (dB), todėl, žinant šių dydžių sąryšį, t. y. $L = 10\lg(I / I_0^{/})$, kur $I_0^{/} = 10^{-12} W/m^2$, randama ilginio garso bangų silpimo koeficiento vertė:

$$\mu = \frac{\ln \frac{10^{L_i/10}}{10^{L/10}}}{d}. \tag{2.5}$$

Koeficientas μ tiriamas skirtingoms medžiagoms: medžio drožlių plokštei, gipskartonio plokštei, putų polistirolui, stiklo vatai, skardos lakštui.

2.3. Tyrimo objektai ir priemonės triukšmui mažinti

Nagrinėjamas pramoninis objektas pasirinktas atsižvelgiant į jame vykstančius procesus. Objekte, kuriame tiriamas triukšmas, naudojamas triukšmą ir vibracijas sukeliantis įrenginys. Mobiliųjų triukšmo šaltinių keliamo triukšmo sklaidai tirti pasirinkti tipiniai atvejai, t. y. arti magistralinių kelių ir geležinkelių esančios gyvenvietės. Analizuojama nagrinėjamųjų pasirinktų stacionariųjų bei mobiliųjų triukšmo šaltinių triukšmo sklaida į gyvenvietę bei ieškoma priemonių jai mažinti.

2.3.1. Pramoniniai stacionarieji triukšmo šaltiniai

Klaipėdos miesto šiaurinėje dalyje įsikūrusi Klaipėdos jūrų krovinių kompanija AB KLASCO. Ji kasmet apdoroja iki 8 milijonų tonų krovinių ir sparčiai auga, stato bei projektuoja naujus terminalus. Šiuo metu KLASCO eksploatuoja šešis terminalus: jūrų perkėlą, konteinerių, generalinių krovinių, biriųjų trąšų, skystųjų ir biriųjų produktų (grūdų). Už 100 m nuo AB Klasco teritorijos esančioje gyvenvietėje labiausiai jaučiamas trąšų iškrovos terminalo keliamas triukšmas. Tai uždaras pastatas, kuriame iš vagonų iškraunamos ir sandėliuojamos azoto biriosios ir fosforo grupių trąšos (2.5 pav.).

Geležinkelių vagonų iškrovimo poste įrengti šeši iškrovimo punktai po 3 vietas ant dviejų geležinkelių kelių, praeinančių per šį postą. Biriųjų trąšų krovos terminale trąšos iškraunamos iš vagonų į sandėlius laisvo byrėjimo būdu, atidarius vagono apačioje esančius liukus. Tačiau biriosios trąšos dėl transportavimo metu gautos vibracijos ir aplinkos temperatūros, drėgnio bei kitų veiksnių susispaudžia ir, ypač apatinėje dalyje, sulimpa bei prilimpa prie vagono sienų. Siekiant pagerinti ir pagreitinti biriųjų trąšų išpylimą iš vagonų, yra naudojami pneumatiniai vibraciniai įrenginiai „Junets ZS30“. Jie kelia triukšmą gamybinėse patalpose, kuriose tuo pat metu dirba darbuotojai. Todėl būtina įvertinti keliamą triukšmą ir ieškoti priemonių triukšmo sklidimui į gyvenamąją teritoriją mažinti.





2.5 pav. AB KLASCO biriųjų trąšų iškrovos terminalas

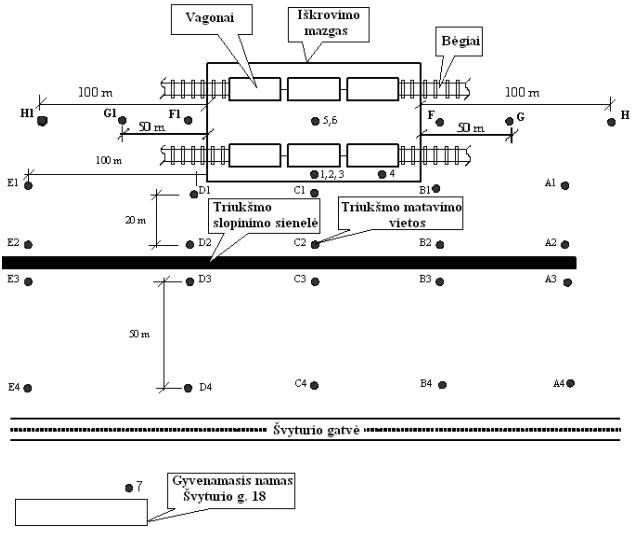
Fig. 2.5. AB KLASCO bulk fertiliser terminal

Tyrimams AB KLASCO biriųjų trąšų terminale ir šalia jo buvo parinktos triukšmo matavimo vietos. Triukšmo matavimo vietos pateiktos 2.6 pav. Atsižvelgiant į tai, kad triukšmo lygiai skiriasi nuo vienu metu veikiančių triukšmo šaltinių skaičiaus, tyrimams atlikti buvo sudarytos sąlygos didžiausiam triukšmo lygiui, sukeltam maksimaliai veikiant technologiniam procesui išmatuoti. Triukšmo sklidimo iš biriųjų trąšų terminalo ypatumams išsiaiškinti triukšmo lygis nustatytas terminale prie vagonų ir virš jų (2.6 pav.: 1 – 2 m atstumu nuo vagono (dirbo 2 vibraciniai įrenginiai); 2 – 2 m atstumu nuo vagono (dirbo 2 vibraciniai įrenginiai); 3 – 2 m atstumu nuo vagono (dirbo 7 vibraciniai įrenginiai); 4 – viduje, 10 m atstumu (dirbo 2 vibraciniai įrenginiai); 5 – viduje, virš vagonų (dirbo 2 vibraciniai įrenginiai); 6 – viduje, virš vagonų (dirbo 7 vibraciniai įrenginiai)). Matavimo vietos parinktos taip, kad būtų galima kuo efektyviau įvertinti triukšmo sklaidą terminale ir tolstant nuo jo. Garso lygis fiksuojamas terminalo viduje, siekiant nustatyti keliamo triukšmo lygį prie triukšmo šaltinio. Matavimai taip pat atlikti už biriųjų trąšų terminalo (2.6 pav.: D1, C1, B1 – 2 m nutolusios nuo terminalo sienos; D2, C2, B2 – 22 m nutolusios nuo terminalo sienos; E1, E2 – pietinėje terminalo pusėje (100 m nuo terminalo); A1, A2 – šiaurinėje terminalo pusėje (100 m nuo terminalo; F – 10 m nuo pastato galo, šiaurinėje pusėje; G – 50 m nuo pastato galo šiaurės pusėje; H – 100 m nuo pastato galo šiaurės pusėje; F1 – 10 m nuo pastato galo pietų pusėje; G1 – 50 m nuo pastato galo pietų pusėje; H1 – 100 m nuo pastato galo pietų pusėje), šalia triukšmo slopinimo sienelės (2.6 pav.: D3, C3, B3 – 2 m nutolusios nuo triukšmo slopinimo sienelės; D4, C4, B4 – 52 m nutolusios nuo triukšmo slopinimo sienelės; E3, E4 – pietinėje terminalo pusėje (už triukšmo slopinimo sienelės); A3, A4 – šiaurinėje terminalo pusėje (už triukšmo slopinimo sienelės)) ir už jos. Taip buvo siekta įvertinti triukšmo sklaidą nuo biriųjų trąšų iškrovos terminalo į gyvenamąją teritoriją. Svarbu

įvertinti, kaip triukšmas sklinda už įmonės teritorijos ribų, t. y. į gyvenamąją teritoriją, atlikti triukšmo matavimai gyvenamojoje teritorijoje bei arčiausiai įmonės esančio gyvenamojo daugiabučio namo patalpose (2.6 pav.: 7 – gyvenamojoje teritorijoje, Švyturio g. 18).

Teritorijoje, esančioje iki triukšmo slopinimo sienelės, matavimo vietos išdėstytos 2 m ir 22 m atstumu (ties terminalo centru ir šiaurinėje bei pietinėje terminalo pusėse). Už triukšmo slopinimo sienelės triukšmo matavimo vietos atitinkamai išdėstytos 2 m ir 52 m atstumu. Matavimo vietos išdėstytos eilėmis siekiant įvertinti triukšmo slopinimo sienelės efektą.

Šalia biriųjų trąšų iškrovos terminalo įrengta triukšmą slopinanti sienelė yra 362,9 m ilgio, jos aukštis siekia 6–12 m. Sienelės aukštis yra skirtingas: ten kur iškrovimo – pakrovimo darbai iš geležinkelių vagonų portaliniais kranais – sienelė siekia 12 m (pietinėje dalyje), ilgis – 291,4 m, einant šiaurės kryptimi – 8 m aukščio – 45 m ilgio, iki 6 m aukščio – 25,9 m ilgio atkarpa (Grubliauskas ir Butkus 2006). Sienelės aukštis ties biriųjų trąšų terminalu siekia 8 m. Triukšmo slopinimo sienelė sumontuota ant betoninio pamato g/b plokštės, kuri 4 m prilaikoma metalinių įtvirtinimo kolonų, bei iš abiejų pusių banguotos plieninės skardos su viduryje esančiu 0,15 m storio akmens vatos sluoksniu.



2.6 pav. Triukšmo lygių matavimo vietų schema

Fig. 2.6. Scheme of noise level measurement locations

Iš Jūrų krovos kompanijos biriųjų trąšų terminalo sklindančio triukšmo lygių tyrimai atliekami matavimams paskirtose vietose, mikrofoną laikant 1,5 m aukštyje virš teritorijos paviršiaus, ne mažiau kaip 0,5 m atstumu nuo asmens, atliekančio matavimus. Mikrofonas nukreipiamas į triukšmo šaltinio pusę, matuoti pradedama pradėjus veikti vibraciniams įrenginiams, baigiama – nustojus jiems dirbti.

Triukšmo mažinimo priemonės. Kovai su per dideliu triukšmu, kylančiu iš stacionariojo pramonės šaltinio, šiuo atveju iš biriųjų trąšų terminalo, yra siūlomi du būdai. Vienas jų įvertinti triukšmo mažinimo sienelės efektyvumą bei numatyti jos rekonstrukciją. Kitas būdas – saugant gyvenamąją zoną nuo triukšmo, sklindančio iš biriųjų trąšų terminalo, slopinti triukšmo sklaidą iš terminalo pastato, išorines fasadines sienas padengus garsą sugeriančia medžiaga. Tai leistų ne tik sumažinti triukšmą, sklindantį į aplinką, bet, padengus sienas, sumažėjęs patalpos aidėjimas sumažintų ir triukšmo šaltinio sukeliamą triukšmą.

Triukšmo slopinimo sienelės įvertinimas. Norint įvertinti biriųjų trąšų pylimo iš vagonų terminale kylančio triukšmo lygį teritorijoje ir už jos ribų, taip pat esamos triukšmo slopinimo sienelės efektyvumą, buvo atlikti triukšmo sklaidos skaičiavimai. Aplinkoje garso sumažėjimui įtakos turi temperatūra, oro drėgnumas ir švarumas, vėjo kryptis.

Siekiant įvertinti iš biriųjų trąšų iškrovos terminalo sklindantį triukšmo lygį gyvenamojo namo, esančio 112 m atstumu nuo terminalo ir 88 m – nuo triukšmo slopinimo sienelės, penktojo aukšto patalpose, skaičiavimų schema pavaizduota 2.7 paveiksle.

Ekrano aukštis ties trąšų iškrovos terminalu yra 8 m ir yra daug kartų mažesnis nei jo bendras ilgis l = 362,9 m. Tokiu atveju, garso slėgio lygis erdvėje, už ekrano esančiame stebėjimo (poveikio) taške M, gali susidaryti kaip iš dviejų menamų triukšmo šaltinių:

1. Menamas triukšmo šaltinis, kurį suformuoja garso banga, pereinantis per ekrano viršų (ΔL_v);
2. Menamas triukšmo šaltinis, formuojamas dėl ekrano akustinės varžos, kurios poveikis taške M yra lygus (ΔL_R).

Triukšmo lygio sumažėjimas garso bangai pereinant tokį ekraną priklauso nuo garso bangos kelio skirtumo tarp trumpiausio nuotolio apgaubiant kliūtį ir trumpiausio nuotolio tiesiogiai iki taško M, tai yra:

$$\Delta L_v = 13 + 10 \lg N_v, \text{ dB}, \tag{2.6}$$

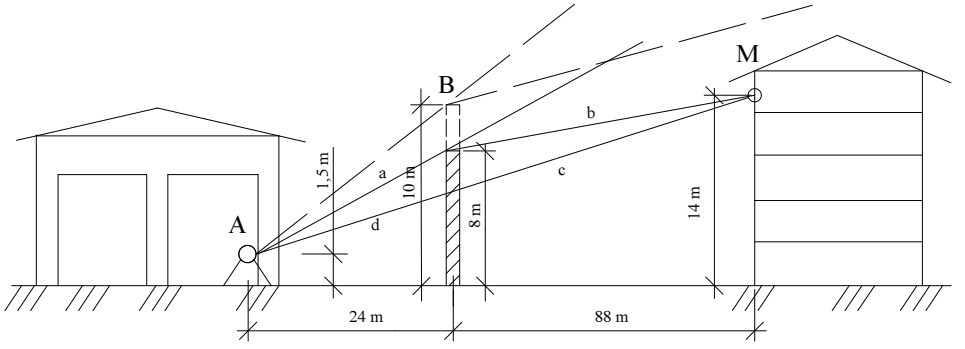
čia N_v – akustinis ekrano efektas:

$$N_v = \frac{2\delta}{\lambda}, \tag{2.7}$$

čia $\lambda = \frac{c_0}{f}$ - yra garso bangos ilgis, kuris priklauso nuo bangos dažnio (*f*) ir garso sklidimo greičio ore ($c_0 \approx 340$ m/s);

$$\delta = (a+b)-(c+d), \tag{2.8}$$

čia δ - garso bangos kelio skirtumas; *a* ir *b* – atstumai nuo triukšmo šaltinio ir jo registratoriaus iki ekrano viršutinio taško, *c ir d* – atstumai nuo šaltinio iki registratoriaus tiesia linija.



2.7 pav. Triukšmo ekrano efektyvumo skaičiavimo schema: A – triukšmo šaltinis; B – triukšmo slopinimo sienelė; M – triukšmo matavimo vieta, esanti gyvenamojo pastato penktajame aukšte

Fig. 2.7. Calculation scheme of noise barrier efficiency: A – noise source; B – noise barrier; M – noise measurement place, in 5th floor

Triukšmo lygis dar mažėja dėl ekrano slopinimo bei atspindžio savybių.

$$\Delta L_R = R - 10\lg\frac{S}{A}, \text{ dB}, \tag{2.9}$$

čia *R* – ekrano 1 m^2 akustinė varža, dB; *S* – visas ekrano paviršiaus plotas, m^2; *A* – ekrano ekvivalentinis garso slopinimo plotas, m^2.

Ekrano ekvivalentinis plotas gali būti surastas:

$$A = \alpha_{vid.} \cdot S_p, \text{ dB}, \tag{2.10}$$

čia $\alpha_{vid.}$ – ekrane panaudotų medžiagų vidutinis sugerties koeficientas; S_p – faktinis garsą sugeriančių medžiagų efektyvusis plotas ekrane, m^2.

Garso slėgio lygis taške M, bus lygus L_M:

$$L_M = L_w - 10\lg(10^{0,1\Delta L_T} + 10^{0,1\Delta L_R}), \text{ dB}, \quad (2.11)$$

čia L_w – šaltinio sukeliamas garso slėgio lygis, dB

Biriųjų trąšų terminalo fasadinių sienų dengimas akustinėmis medžiagomis. Siekiant sumažinti per didelį triukšmo lygį, sklindantį į gyvenamąją aplinką, būtina ieškoti triukšmo mažinimo priemonių jo atsiradimo šaltinyje. Negalint pakeisti atliekamų darbų technologiniais sprendiniais, dažniausiai tenka mažinti triukšmą, didinant patalpų garso sugertį, padengiant jos atitvarinius paviršius garsą sugeriančiomis medžiagomis ir konstrukcijomis.

Tūrinio triukšmo šaltinio garso slėgio lygio sumažėjimas (*ΔL)*, padengus patalpos fasadines sienas garsą sugeriančiomis medžiagomis, surandamas pagal atsispindėjusio lauko garso zonoje esantį skaičiuojamąjį tašką.

Atsispindėjusio garso zona nustatoma ribiniu spinduliu r_{rib}, kurio dydis, kai *n*–triukšmo šaltinių, esančių ant grindų, skaičius surandamas (Stauskis 2005):

$$r_{rib} = 0,2\sqrt{\frac{B_{8000}}{n}}, \text{ m}, \quad (2.12)$$

čia B_{8000} – patalpos pastovioji, esant 8000 Hz dažniui, m^2; r_{rib} – ribinis spindulys, m.

Patalpos pastoviąją (iki padengimo) B galima surasti iš išraiškos:

$$B = B_{1000} \cdot \mu_1 \quad (2.13)$$

čia B_{1000} – patalpos pastoviosios dydis, esant 1000 Hz dažniui (2.8 pav.); μ_1 – dažnių daugiklis (2.2 lent.).

2.2 lentelė. Dažnio daugiklio koeficiento μ_1 vertė

Table 2.2. Value of the frequency factor coefficient μ_1. (Projektuotojo žinynas 1974)

Patalpos tūris V, m^3	Dažniai, Hz							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
V < 200	0,8	0,75	0,7	0,8	1	1,4	1,8	2,5
V = 200 ÷ 500	0,65	0,62	0,64	0,75	1	1,5	2,4	4,2
V > 500	0,5	0,5	0,55	0,7	1	1,6	5	6

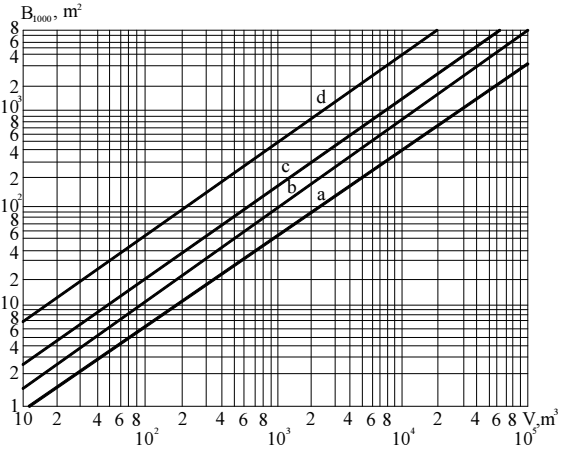
Patalpos pastovioji B_1, esant padengtoms sienoms ir luboms akustinėmis medžiagomis, randama pagal formulę (Projektuotojo žinynas 1974):

$$B_1 = \frac{A_o + \Delta A}{1 - \alpha_{vid}}, \text{ m}^2, \quad (2.14)$$

čia A_o – ekvivalentinis nepadengtų atitvarinių konstrukcijų paviršių plotas, kuris yra lygus:

$$A_0 = \alpha_{vid} \cdot (S - S_{pad}), \text{ m}^2, \tag{2.15}$$

čia α_{vid} – patalpos garso sugerties vidutinis koeficientas iki atitvarinių konstrukcijų padengimo: $\alpha_{vid} = \dfrac{B}{B+S}$, (2.16)



2.8 pav. Patalpos pastoviosios B suradimo grafikas, priklausomai nuo patalpų tūrio ir paskirties: a – patalpos, kuriose yra daug įrengimų ir darbuotojų; b – patalpos su nedideliu įrengimų ir darbuotojų skaičiumi; c – patalpos be įrengimų ir darbuotojų; d – patalpos, kurių sienos ir lubos yra iš dalies padengtos garsą sugeriančiomis medžiagomis

Fig. 2.8. Chart of determining constant B of the room depending on the volume and purpose of the premises: a – rooms with many machinery and workers; b – rooms with little quantity of machinery and workers; c – rooms without machinery and workers; d – rooms with sound insulation

Bendras garso sugerties dydis (ΔA) randamas iš visų padengtų akustinėmis medžiagomis konstrukcijų paviršių (Projektuotojo žinynas 1974):

$$\Delta A = \alpha_{pad} \cdot S_{pad}, \text{ m}^2, \tag{2.17}$$

čia α_{pad} – padengtų paviršių akustinėmis medžiagomis garso sugerties koeficientas; S_{pad} – padengtų paviršių plotas, m^2; S – bendras atitvarinių konstrukcijų patalpoje plotas, m^2.

Laukiamas garso slėgio lygio sumažėjimas ΔL atsispindėjusio garso lauko zonoje (kai $r_{min} \geq r_{rib}$, r_{min} – atstumas nuo skaičiuojamojo taško iki triukšmo šaltinio centro) surandamas:

$$\Delta L = 10 \lg \frac{B_1}{B}, \text{ dB}. \tag{2.18}$$

Patalpos sienos sumontuotos iš profiliuotos plieninės banguotos skardos lakštų (skardos storis 0,6 mm, bangų aukštis 20 mm). Sienoje yra šviesliangiai iš skaidraus polichlovinito pluošto. Pastato galinėse sienose yra po dvejus, pagamintus tai pat iš profiliuotos plieno skardos, pakeliamuosius vartus, kurie paprastai darbo metu yra atidaryti. Skaičiuojamas taškas paimtas 2 m atstumu nuo artimiausio vibracinio įrenginio ir 1,5 m nuo išorinės sienos. Biriųjų trąšų terminalo pastato konstrukcijų techniniai duomenys, reikalingi skaičiuojant triukšmo sumažėjimą, pateikti 2.3 lentelėje.

2.3 lentelė. Biriųjų trąšų terminalo pastato techniniai duomenys

Table 2.3. Technical data of the bulk fertiliser terminal building

Pavadinimas	Dydis
Pastato sienų aukštis	6,4 m
Pastato išilginių sienų plotas [(72,4 x 6,4) x 2]	926,7 m^2
Pastato galinių sienų plotas [(13,9 x 6,4) x 2]	177,9 m^2
Pastato aukštis	8,35 m
Pastato tūris	10110 m^3
Nepadengtų atitvarinių konstrukcijų plotas	3187 m^2
Akustinėmis medžiagomis galimas padengti plotas, iš jų: lubų, (stogo)sienų Plotas pastato sienų, padengtų plieniniais banguotais lakštais Plotas pastato sienų, padengtų šviesai pralaidžiais lakštais	1549 m^2 947 m^2 706 m^2 220 m^2

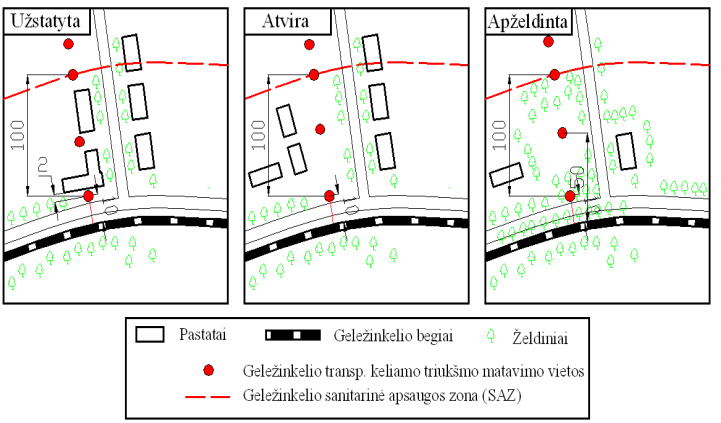
Kadangi biriųjų trąšų terminalo patalpoje vyrauja vidutinio ir aukšto dažnių triukšmo spektro dedamosios, be to, triukšmo lygis yra aukštas (>100 dB), tai triukšmo sklidimo į aplinką sumažinimo būdas, o tuo pačiu ir patalpos viduje, būtų garso sugertis. Tai pasiekiama garsą sugeriančiomis medžiagomis ir konstrukcijomis padengiant sienas ir lubas.

2.3.2. Mobilieji triukšmo šaltiniai

Iš mobiliųjų triukšmo šaltinių nagrinėjamas geležinkelių bei automobilių transporto sukeliamas triukšmas. vieni iš pagrindinių triukšmo šaltinių yra automobilių ir geležinkelių transportas, turintis ypač didelę neigiamą įtaką aplinkai. Transporto keliamo triukšmo poveikis ypač jaučiamas prie magistralinių kelių, gatvių, sankryžų, geležinkelių linijų, stočių teritorijose.

Geležinkelių transportas. Nustatant mobiliųjų triukšmo šaltinių, šiuo atveju geležinkelių transporto, keliamo triukšmo lygius ir sklaidą, triukšmo tyrimai atlikti matavimo vietose šalia 19-os Lietuvos geležinkelių stočių (Vilniaus, Kauno, Klaipėdos, Šiaulių, Radviliškio, Naujosios Vilnios, Lentvario, Panerių, Kaišiadorių, Palemono, Žaslių, Vievio, Jonavos, Kėdainių, Kybartų, Kazlų Rūdos, Kretingos, Nemėžio, Kirtimų) ir gyvenamosiose patalpose, esančiose arti geležinkelių.

Matavimo vietos parintos atsižvelgiant į skirtinguose geležinkelių ruožuose pravažiuojančių traukinių greitį, foninį vietovės triukšmą, vietovės užsodinimą ir apstatymą, atstumą nuo geležinkelių bėgių, skirtingą geležinkelių bėgių aukštį, palyginti su matavimo vieta (2.9 pav.).



2.9 pav. Geležinkelių transporto keliamo triukšmo matavimo vietų parinkimo schema užstatytoje, atviroje ir apželdintoje vietovėse

Fig. 2.9. Scheme of choosing measurement locations of the noise generated by railway traffic in built-up, open and planted areas

Iš 2.9 paveiksle pateiktų schemų matyti, kad, atsižvelgus į gyvenamųjų namų ar kitos paskirties pastatų triukšmo ekranavimo ir atspindžių nuo jų procesus, užstatytoje vietovėje triukšmo lygiai nustatomi matavimo vietas pasirinkus priešais pastatus, tarp jų bei už pastatų Šių kliūčių efektyvumas – mažinti geležinkelio transporto keliamo triukšmo sklaidą į aplinką aiškiausiai pastebimas jį lyginant su atvirose vietovėse nustatytais triukšmo lygio matavimo rezultatais. Atsižvelgiant į želdinių gebą sugerti ir atspindėti garso bangas, matavimo vietos parinktos medžiais apsodintose vietose arti miškingų teritorijų. Svarbu tai, kad geležinkelio transporto keliamo triukšmo lygio matavimai buvo atlikti šiltuoju metų laiku, t. y. esant vešliausiai lapijai.

Atliekant matavimus, laikytasi 10, 50 ir 100 metrų atstumo nuo bėgių, tačiau atsižvelgiant į vietovės apstatymą ir triukšmo sklaidos ypatumus, kiekvienoje stotyje atstumai buvo koreguojami.

Taip pat buvo pasirinktos kelios triukšmo matavimo vietos, esančių 100 metrų ir didesniu atstumu nuo geležinkelių. Šiose matavimo vietose triukšmo lygiai buvo matuojami norint nustatyti triukšmo lygius, esančius sanitarinėje apsaugos zonoje (SAZ) nuo geležinkelių kelių, kuri yra 100 m.

Geležinkelių keliamo triukšmo lygio matavimai buvo atliekami gyvenamojoje teritorijoje ir gyvenamuosiuose pastatuose, esančiuose geležinkelių keliamo triukšmo įtakos zonoje. Matuojamieji triukšmo lygiai nustatyti išskyrus geležinkelių transportą į dvi kategorijas: keleivinį ir prekinį. Tiriant geležinkelių transporto keliamą triukšmą, įvertintas matavimo metu pravažiuojančių traukinio vagonų skaičius.

Panerių geležinkelio stoties triukšmo tyrimai. Triukšmo lygių tyrimams geležinkelio mazge pasirinkta Panerių geležinkelio stotis. Ši stotis, pagal ją pravažiuojančių traukinių skaičių yra viena intensyviausių šalyje. Per parą pro Panerių geležinkelio stotį pravažiuoja vidutiniškai 60 keleivinių ir apie 30 prekinių traukinių. Tam įtakos turi tai, kad keleivių pervežimui svarbiausi išlieka Vilniaus ir Kauno regionai, o Paneriai yra tarp šių regionų. Be to, per Panerių geležinkelio stotį realizuojami pagrindiniai tranzitiniai krovinių srautai tarptautinių IX transporto koridoriaus B ir D atšakomis link Karaliaučiaus ir Klaipėdos, vyksta krovinių eismas tarp Rytų ir Vakarų bei geografiškai atskirto Rusijos regiono – Karaliaučiaus srities aptarnavimas.

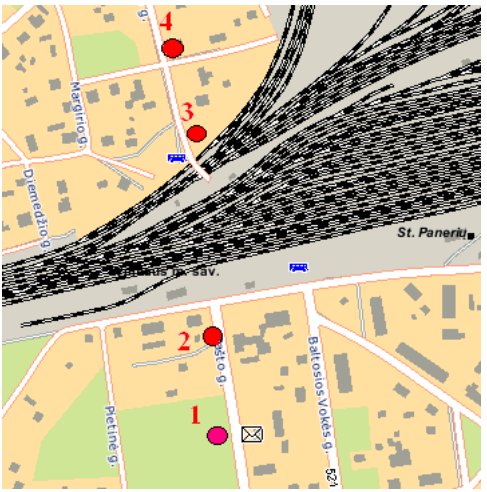
Geležinkelio keliamo triukšmo sklaidos tyrimams, greta Panerių geležinkelio stoties, parinktos 4 matavimo vietos. Geležinkelio keliamo triukšmo matavimo vietų, šalia Panerių geležinkelio stoties, išdėstymo schema pavaizduota 2.10 pav.

1 matavimo vieta yra atitolusi 100 metrų atstumu nuo geležinkelio bėgių, šalia miškingos vietovės ribos. Matavimo vietos dešinėje yra didelė erdvė, nuo bėgių užstota tik gyvenamuoju dviejų aukštų namu. Matavimo vietos kairėje plyti miškas. Už namo auga aukšti medžiai. Ši matavimo vieta išsiskiria tuo, kad didžiausią įtaką geležinkelio triukšmo sklaidai turi želdiniai bei pastatai.

2 matavimo vieta geležinkelio triukšmo matavimui pasirinkta prie dviejų aukštų gyvenamojo namo. Pro matavimo vietą eina devyni geležinkelio keliai. Matavimo vietos dešinėje yra peronas ir perėja žmonėms per geležinkelio bėgius. Už matavimo vietos yra keletas gyvenamųjų namų. Atstumas nuo matavimo vietos iki geležinkelio bėgių yra 45 metrai. Priešais matavimo vietą nėra jokių kliūčių įtakojančių geležinkelio transporto keliamo triukšmo sklaidą.

3 matavimo vieta pasirinkta gyvenamoje teritorijoje prie medinio, dviejų aukštų gyvenamojo namo. Priešais matavimo vietą yra atvira erdvė, su augančiais keliais pavieniais medžiais. Matavimo vietos dešinėje yra perėja per bėgius. Už namo stovi keletas medinių pastatų, už kurių auga aukšti medžiai. Atstumas nuo matavimo vietos iki geležinkelio bėgių 40 m.

4 matavimo vieta atitolusi 100 metrų atstumu nuo geležinkelio. Priešais matavimo vietą nėra jokių kliūčių, užstojančių triukšmo bangų sklaidą į gyvenvietę.



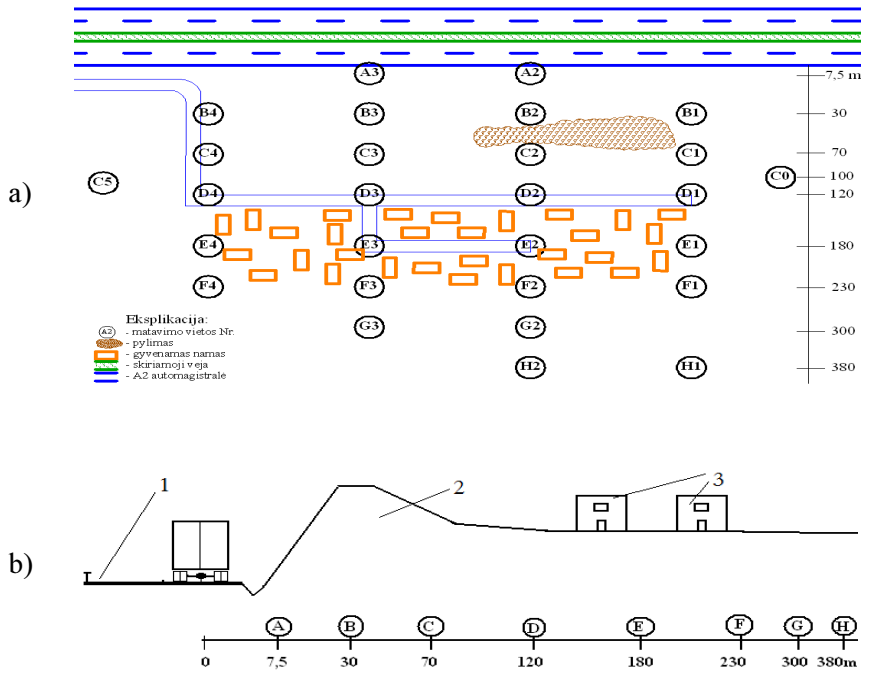
2.10 pav. Panerių geležinkelio stoties triukšmo matavimo vietų išdėstymo schema

Fig. 2.10. The layout of locations to measure noise caused by the Paneriai Railway Station

Geležinkelių keliamas triukšmas matuojamas mikrofonui esant statmenai geležinkelių linijai, o matuoti pradedama kai traukinio sąstatas kerta vizavimo liniją. Matavimas baigiamas paskutiniajam traukinio vagonui kirtus vizavimo liniją.

Automobilių transportas. Automobilių transporto keliamo triukšmo lygiai ir jo sklaida buvo nagrinėta prie A2 automagistralės Vilnius – Panevėžys esančioje Naujasodžių gyvenvietėje. Ji buvo pasirinkta dėl savo tipiškumo, nes tiriant

automagistrale pravažiuojančių automobilių transporto keliamo triukšmo sklaidą į gyvenvietę buvo siekiama įvertinti įvairių objektų įtaką triukšmo sklaidai. Triukšmo sklaidą į gyvenvietę veikė arti magistralės esantis pylimas, apželdintas medžiais, kiti statiniai, miškas, atstumas nuo magistralės. Triukšmo lygio matavimo vietos ir jų skaičius pasirinktas priklausomai nuo nagrinėjamos aplinkos ir triukšmo erdvinės sklaidos joje. Naujasodžių gyvenvietėje parinktos 28 triukšmo matavimo vietos, apytikriai vienodai nutolusios viena nuo kitos (50–80 metrų atstumu) ir išsidėsčiusios 7,5–380 metrų atstumu nuo A2 automagistralės Vilnius – Panevėžys (2.11 pav.).



2.11 pav. Naujasodžių gyvenvietės aplinkoje triukšmo lygio matavimo vietų schemos: a) vaizdas iš viršaus; b) vertikalus pjūvis: 1 – automagistralė; 2 – pylimas; 3 – gyvenamieji namai

Fig. 2.11. Schemes of the noise level measurement locations in the environment of Naujasodžiai residential area

Visose 28-iose triukšmo lygio matavimo vietose tyrimai atlikti 1,5 m aukštyje, o keliose iš jų – 4,0 m aukštyje. Triukšmo lygiai įvertinami matavimo rezulta-

tus palyginus su leidžiamomis triukšmo lygio vertėmis, nurodytomis Lietuvos higienos normoje HN 33:2007.

Automobilių keliamo triukšmo lygis yra charakterizuojamas ekvivalentiniu ir maksimaliu pravažiuojančių automobilių sukeltu garso lygiu. Taip pat skaičiuojamas pravažiuojančio autotransporto kiekis per laiko vienetą, t. y., nustatomas autotransporto intensyvumas bei įvertinamas pravažiuojančio autotransporto tipas.

2.4. Skaitinis triukšmo sklaidos modeliavimas

Triukšmo emisijos vertinimas, naudojant „CadnaA“ programą, atliekamas vadovaujantis nacionalinių ir tarptautinių teisės aktų reikalavimais, t. y. 2002/49/EB (Aplinkos triukšmo direktyva). Geležinkelio ar automobilių transporto keliamo triukšmo sklaidos modeliavimui „CadnaA“ programa reikalingi kelių tinklo, pastatų, reljefo, eismo srauto charakteristikų duomenys. Stacionariųjų šaltinių keliamo triukšmo sklaidai modeliuoti, be pastatų bei reljefo duomenų, reikalingos triukšmą sukeliančių šaltinių charakteristikos.

Pastatų modelio sukūrimui pagrindiniai parametrai yra statinio matmenys. Panašiai yra įtraukiami ir kitų modeliui reikalingų objektų (miškų masyvų, triukšmo mažinimo sienelės, reljefo) duomenys. Aprašant miškų masyvų duomenis, nurodomi jų matmenys, padėtis ir aukštis. Sienutę apibūdina aukštis ir jos padėtis. Aprašant kalvas, būtina nurodyti jų aukštį, padėtį, viršutiniosios kalvos dalies plotį bei kalvos nuolydį.

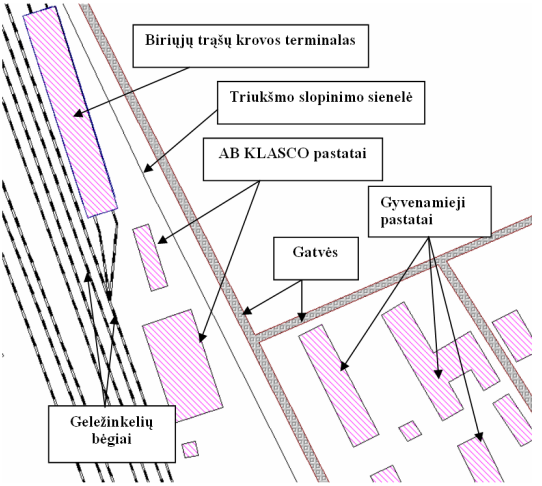
„CadnaA“ programa turi galimybę aprašyti aplinkos sąlygas įvertinančius parametrus (slėgį, temperatūrą, vėjo greitį, kryptį, žemės paviršiaus įtaką ir t. t.), be kurių modeliavimas nevisiškai atspindėtų realias sąlygas. Atliekant modeliavimą, gali būti įtraukiami paviršiaus šiurkštumo duomenys bei statistiniai vėjo stiprumo bei kryptingumo duomenys.

Stacionariojo triukšmo šaltinio skleidžiamo triukšmo modeliavimas. Triukšmo sklaida įmonės teritorijoje ir už jos ribų modeliuojama siekiant įvertinti esamų triukšmo šaltinių biriųjų trąšų iškrovos terminale įtaką gyvenamajai aplinkai. Triukšmo sklaidai modeliuoti „CadnaA“ programa įkeliami įmonės teritorijoje esantys pastatai, biriųjų trąšų krovos terminalas, triukšmo slopinimo sienelė, gyvenamieji namai (2.12 pav.).

Šis modelis sudarytas norint nustatyti triukšmo sklaidos kitimo tendencijas taikant triukšmo mažinimo priemones. Visų pirma sudaromas modelis, atspindintis esamą situaciją, o vėliau, keičiant sąlygas (didinant esamos triukšmo slopinimo sienelės aukštį), stebimi triukšmo sklaidos pokyčiai.

Į „CadnaA“ programą įkeliamas žemėlapis su objektais (pastatais, gatvėmis, geležinkelių bėgiais ir kt.), kurie išdėstyti realiais atstumais pasirinktu 1:4000

masteliu. Taip pat įtraukiami pagrindiniai objektų parametrai, kurie būtini dirbant – šiuo atveju biriųjų trąšų terminalo aukštis – 9 m, ilgis – 73 m ir plotis – 14 m.



2.12 pav. Objektai stacionariųjų šaltinių keliamam triukšmui modeliuoti „CadnaA“ programa

Fig. 2.12. Objects for modelling the noise generated by stationary sources in the software CadnaA

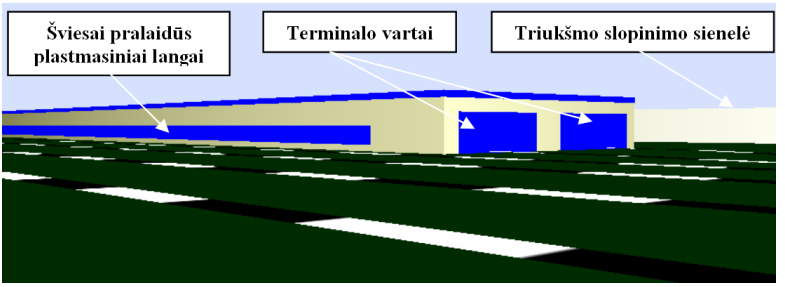
Terminalo pastato sienos yra iš plieno skardos lakštų. Triukšmo sklaidos modeliavimo programos meniu parenkami šios medžiagos pastato sienų akustiniai rodikliai, kurie pateikti 2.4 lentelėje.

2.4 lentelė. Akustinių sienų rodiklių priklausomybė nuo garso dažnio

Table 2.4. Technical data of the bulk fertiliser terminal building

Medžiagos pavadinimas	Vidutinis geometrinis dažnis, Hz					
	125	*250*	*500*	*1000*	*2000*	*4000*
Plieno skarda	15	17	22	27	32	38

Abiejuose biriųjų trąšų terminalo galuose yra dveji 4 m pločio ir 6 m aukščio pakeliami vartai, o šviesai pralaidūs plastmasiniai langai nusidriekę per visą pastato ilgį (2.13 pav.). Į dialoginį programos langą įrašomi langų matmenys ir tai, kokiame aukštyje jie yra įmontuoti (langas yra 1,5 m aukštyje nuo terminalo grindų, 2 m pločio ir driekiasi 65 metrus išilginėje pastato sienoje). Akustiniai terminalo langų parametrai pateikti 2.5 lentelėje.



2.13 pav. Biriųjų trąšų terminalo trimatis (3D) vaizdas

Fig. 2.13. Three-dimensional (3D) view of the bulk fertiliser terminal

2.5 lentelė. Akustinių langų rodiklių priklausomybė nuo garso dažnio

Table 2.5. The dependence of acoustic indicators of windows on sound frequency

Medžiagos pavadinimas	Vidutinis geometrinis dažnis, Hz					
	125	*250*	*500*	*1000*	*2000*	*4000*
Langas iš akrilo	16	18	23	27	31	33

Arčiausiai įmonės teritorijos esantys gyvenamieji namai yra penkių aukštų, 16 m aukščio. AB KLASCO pagalbiniai pastatai yra 7 m aukščio,o šalia esanti gatvė – 6 m pločio. Įmonės teritorijos ir greta esančios gyvenamosios aplinkos reljefas bei apželdinimas neįvertinti. Į modeliavimo programą įtraukiamas triukšmo šaltinis, kurio dažninės charakteristikos randamos pagal techninius parametrus, pateiktus „CadnaA“ triukšmo sklaidos modeliavimo programos duomenų bibliotekoje.

„CadnaA“ leidžia lengvai koreguoti ir tvarkyti aplinkos komponentus, veikiančius triukšmo emisiją ir sklaidą. Šia modeliavimo programa galima sukurti trimatį vaizdą, judėti virtualioje erdvėje ir sukurtą modelį pasukti įvairiu kampu, taip pat iš įvairių pusių apžiūrėti objektus bei įvertinti bendrą vaizdą.

Mobilieji triukšmo šaltiniai. Geležinkelio transporto triukšmo sklaidai modeliuoti detaliau nagrinėjamas pasirinktasis Panerių geležinkelio stoties mazgas, nes tai viena iš intensyviausių Lietuvoje geležinkelių stočių pagal pravažiuojančių traukinių skaičių. Modeliavimas atliktas siekiant ištirti triukšmo į gyvenamąją aplinką sklaidą bei įvertinti galimų triukšmo mažinimo priemonių geležinkelio stočių prieigose taikymą.

Triukšmo sklaida Panerių geležinkelių stoties mazge buvo modeliuojama siekiant įvertinti esamų triukšmo šaltinių įtaką gyvenamajai aplinkai. Į „CadnaA“

triukšmo sklaidos modeliavimo programa įkeliami Panerių geležinkelio stoties regione esantys pastatai, gatvės, geležinkelių linijos (2.14 pav.).

Pagal esamą situaciją buvo sudarytas Panerių geležinkelių stoties mazgo modelis, atsižvelgus į vietovės išdėstymą ir apstatymą. Artimiausi gyvenamieji namai nuo geležinkelių linijos nutolę apie 20–40 m, vadinasi, šie namai įeina į sanitarinę geležinkelių linijos apsaugos zoną (SAZ), kuri yra 100 m.

Modeliui sudaryti iš triukšmo sklaidos modeliavimo programos duomenų bazės parenkami triukšmo šaltiniai. Šiuo atveju iš 2.6 lentelėje pateiktos traukinių klasifikacijos parenkamas traukinio tipas.

2.6 lentelė. Traukinių klasifikavimas „CadnaA“ triukšmo modeliavimo programa

Table 2.6. Train classification in the noise modelling software „CadnaA“

Pavadinimas	Maksimalus važiavimo greitis, km/h	Maksimalus sąstato ilgis, m	Įtraukiama pataisa, dB
InterCity Express	250	420	-3,0
EuroCity / InteCity	200	340	0,0
Interregio	200	205	0,0
D/DF-Zug	160	340	0,0
Express	140	205	0,0
Nahverkehrszug	120	150	0,0
S-Bahn	120	130	0,0
Freight Train (long dist.)	100	500	0,0
Freight Train (short dist.)	90	200	0,0
Subway	80	80	2,0
Tram	60	25	3,0

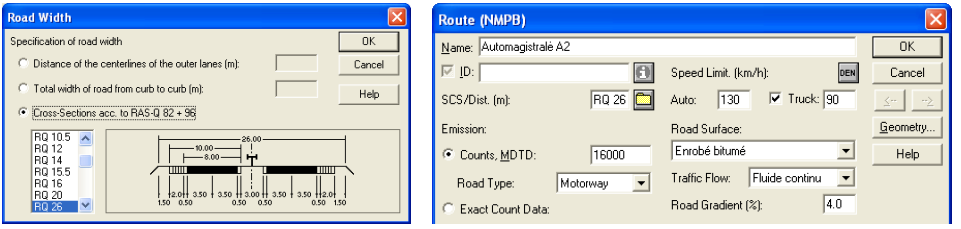
Atsižvelgus į traukinio klases, nustatomi ir kiti parametrai, reikalingi geležinkelių transporto sukeltam triukšmui modeliuoti: traukinio sąstato ilgis, maksimalus važiavimo greitis, traukinio stabdymo sistemos tipas. Taip pat įtraukiami duomenys apie bėgių kokybę, jų sujungimo tipą. Aprašant geležinkelių stoties regiono aplinką, įvertinti pastatai, jų koordinatės vietovėje bei aukštingumas, juose taip pat gyvenančių žmonių skaičius, reljefo ypatumai, apželdinimas, meteorologinės sąlygos. Be to įrašoma informacija apie greta geležinkelių esančias gatves, jų tipą, pravažiuojančių autotransporto priemonių skaičius, jų greitis.

Modeliuojant Panerių geležinkelio stoties mazgą buvo ivertinta, kad Panerių geležinkelių stoties reljefas sąlygiškai lygus, vienu metu leidžiantis pravažiuoti vienam traukinio sąstatui. Siekiant nustatyti ir palyginti geležinkelių transporto ir autotransporto keliamo triukšmo lygį bei sklaidą geležinkelių stoties regione nėra

įvertintas kitų šaltinių keliamas triukšmas, kuris galėtų padidinti Panerių geležinkelio stoties gyvenamosios aplinkos triukšmo lygį.

Automobilių transporto keliamo triukšmo sklaida į gyvenvietę modeliuojama siekiant įvertinti įvairių triukšmo mažinimo priemonių efektyvumą bei įtaką gyvenamajai aplinkai. Pirmiausia į „CadnaA“ programą įkeliami gyvenvietėje esantys pastatai, pylimas, ribojantis triukšmo sklaidą nuo automagistralės į gyvenvietę, automagsitralė.

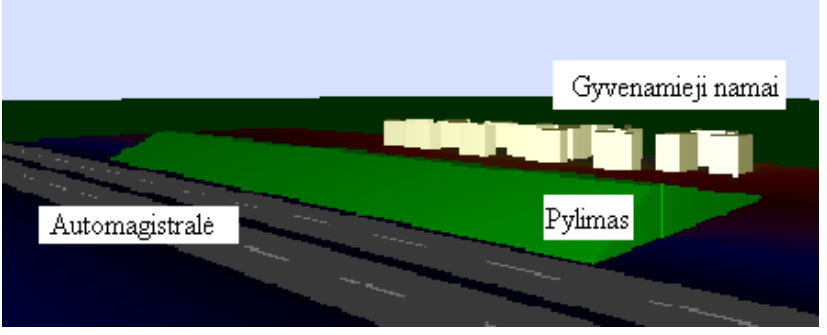
Modeliui sudaryti pasirenkamos tokios sąlygos: transporto kiekis, pravažiuojantis automagistrale per parą, yra lygus 16 000 automobilių, lengvųjų transporto priemonių važiavimo greitis yra 130 km/h, o sunkiųjų – 90 km/h, sunkiųjų automobilių kiekis sraute sudaro 15 %, reljefas sąlygiškai lygus (2.14 pav.).



2.14 pav. Kelių ir gatvių parametrų įrašymo lentelės

Fig. 2.14. Tables for entering road and street parameters

Pasinaudojant triukšmo sklaidos modeliavimo programa „CadnaA“ sudaromas esamos gyvenvietės bei jos aplinkos modelis, atsižvelgiant į vietovėje esančius objektus (2.15 pav.). Gyvenamieji namai nuo automagistralės yra nutolę apie 120 m atstumu.



2.15 pav. Gyvenvietės esančios prie automagistralės, situacijos modelis

Fig. 2.15. The designed situation model of the residential area by the highway

Triukšmo lygių pasiskirstymo žemėlapis yra braižomas pasirionkus 1,5 metro aukštį virš žemės paviršiaus tam, kad būtų galima sulyginti modeliavimo būdu gaunamas vertes su eksperimentinių tyrimų rezultatais.

2.5. Matavimo ir skaičiavimo duomenų apdorojimas

Mobiliųjų ir stacionariųjų šaltinių keliamo triukšmo matavimams naudojamas precizinis garso lygio analizatorius „Bruel&Kjaer 2260“. Danų gamybos prietaisas yra vienas iš moderniausių pirmos klasės garso lygio matuoklis ir garso analizatorius. Šis rankinis prietaisas yra tinkamas atlikti visus reikiamus matavimus ir visą analizę, taikomą tiriant aplinkos triukšmą ir triukšmą darbo vietoje. Šis prietaisas atitinka naujausią garso lygio matuoklių standartą IEC 61672, beje, taip pat ir ankstesnius IEC standartus (60651 ir 60804) ir naujausius ANSI standartus.

Šis matuoklis gali matuoti ekvivalentinio bei plačiajuosčio triukšmo parametrus. Prietaisu registruojamas triukšmas siekia nuo 6,3 Hz iki 20 kHz dažnio diapazoną vienos arba 1/3 oktavos dažnių juostose (2.16 pav.). Juo galima matuoti efektyvųjį triukšmo lygį, apibrėžiamą A, B arba C charakteristikomis arba atskirose oktavose, kurios išskiriamos standartizuotais filtrais (prieiga per internetą: www.bkhome.com). Tiesioginių matavimų prietaisu „Bruel&Kjaer 2260“, vertės nustatomos su 1,5 % paklaida.



2.16 pav. Precizinis garso lygio analizatorius Bruel&Kjaer 2260

Fig. 2.16. Precise sound level analyser Bruel&Kjaer 2260 (Bruel&Kjaer 2007)

Matuojant dažninę aplinkos triukšmo spektro sudėtį, pradedama nuo mažiausio dažnio ir atliekami matavimai visoms dažnių reikšmėms (31,5–8 000 Hz). Tyrimų metu vertinamas maksimalus bei ekvivalentinis triukšmo lygiai bei garso slėgio lygiai.

Prieš atliekant triukšmo lygio matavimus, nustatomos meteorologinės oro sąlygos: santykinis oro drėgnis, oro temperatūra bei vėjo greitis. Turint šiuos duomenis sprendžiama, ar galima atlikti matavimus. Nematuojama, kai sninga, lyja, yra rūkas arba vėjo greitis būna didesnis kaip 5 m/s. Kai vėjo greitis 5 m/s, mikrofonas apgaubiamas specialiu ekranu. Prietaisas kalibruojamas prieš triukšmo matavimą, o išmatavus pagal jo naudojimo instrukciją. Jeigu kalibravimo rezultatai skiriasi daugiau kaip 2 dB, triukšmo matavimai kartojami.

Teritorijose prie gyvenamųjų namų geležinkelių transporto keliamas triukšmas matuotas 1–2 m atstumu nuo pastato sienos, 1,5 m aukštyje nuo teritorijos paviršiaus, ne mažesniu kaip 0,5 m atstumu nuo asmens, atliekančio matavimus, mikrofoną nukreipus į triukšmo šaltinio pusę. Gyvenamosiose patalpose triukšmo matavimo metu orlaidės privalo būti atviros. Pastatų patalpose triukšmas matuojamas vietoje, esančioje ne arčiau kaip 1 m. atstumu nuo patalpos sienų ir ne arčiau kaip 1,5 m nuo langų, taip pat 1,5 m aukštyje nuo grindų.

Triukšmo lygio matavimai ir gauti tyrimų rezultatai lyginami su leidžiamomis triukšmo lygio vertėmis, nurodytomis Lietuvos higienos normoje HN 33:2007.

Triukšmo matavimo tikslumo ir duomenų patikimumas įvertinamas taikant matavimo neapibrėžčių skaičiavimo metodikas. Aplinkos triukšmo matavimams būdinga tai, kad kiekvieno matavimo trukmė yra tokia pati, matuojama vienodomis sąlygomis. Matuojamojo dydžio matavimo rezultatas yra visų matavimo duomenų aritmetinis vidurkis:

$$\overline{L} = \frac{\sum_{i=1}^{n} L_i}{n}, \tag{2.18}$$

čia L_i – i-tojo matavimo rezultatas; n – matavimų skaičius.

Matavimo duomenų aritmetinio vidurkio vidutinis kvadratinis nuokrypis $\sigma_{\overline{L}}$ vertinamas pagal formulę:

$$\sigma_{\overline{L}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (L_i - \overline{L})^2}{n(n-1)}}. \tag{2.19}$$

Matavimo rezultatų absoliučiosios paklaidos vertės imamos kaip aritmetinio vidurkio vidutinės paklaidos $\sigma_{\bar{L}}$ ir Stjudento koeficiento (P=95 %) sandauga t. y. $\Delta L = \sigma_{\bar{L}} \cdot t_{\alpha,n}$.

Absoliučioji paklaida ($\pm \Delta L$) netiesioginiams matavimams nustatyta dalinių išvestinių būdu:

$$\Delta L = \sqrt{(\frac{\partial L}{\partial x_1})^2 \Delta x_1^2 + (\frac{\partial L}{\partial x_2})^2 \Delta x_2^2 + ... + (\frac{\partial L}{\partial x_n})^2 \Delta x_n^2}\ , \qquad (2.20)$$

čia $x_1; x_2, ..., x_n$ – tiesioginio matavimo dydžiai, iš kurių nustatoma L vertė.

Šiuo atveju nustatytojo dydžio vertės bus intervale $(\bar{L} - \Delta L, \bar{L} + \Delta L)$.

2.6. Antrojo skyriaus išvados

1. Parinktos matavimo metodikos siekiant ištirti ir palyginti skirtingų pavienių medžiagų ir jų kompozicijų akustines savybes triukšmo slopinimo kameroje. Jos vertinamos pagal garso izoliavimo (R_w), garso lygių skirtumo (D_{nTw}), garso ore silpninimo (D_{LR}) rodiklius bei ilginį garso bangų silpimo koeficientą (μ).
2. Stacionariojo triukšmo šaltinio keliamo triukšmo tyrimui pasirinktas birių trąšų krovos terminalas, kuriame krovos procesas spartinimas sukeliant vagonų vibraciją. Triukšmo lygio matavimams pasirinktos charakteringos vietos įmonės teritorijoje bei už jos ribų, kad būtų gauti kuo tikslesni rezultatai.
3. Stacionariojo triukšmo šaltinio sklaidai į aplinką mažinti numatyta gamybinio pastato fasadines sienas padengti triukšmą sugeriančiomis medžiagomis bei modifikuoti triukšmą slopinančią sienelę.
4. Mobiliųjų šaltinių (geležinkelių ir automobilių transporto) keliamo triukšmo sklaida nagrinėta, atsižvelgiant į charakteringas vietovės sąlygas. Transporto keliamo triukšmo tyrimui parenkamos sąlygos, atsižvelgiant į skirtingus veiksnius: natūralias triukšmą ribojančias gamtines kliūtis, važiavimo greitį, foninį vietovės triukšmą, vietovės užsodinimą ir apstatymą, atstumą iki gyvenamųjų teritorijų.
5. Triukšmo sklaidai modeliuoti pasirinkta viena iš pažangiausių triukšmo modeliavimo programų „CadnaA“. Ji skirta nustatyti triukšmo sklaidos kitimo ypatumus, esant įvairioms sąlygoms.

3

Eksperimentinių tyrimų rezultatai

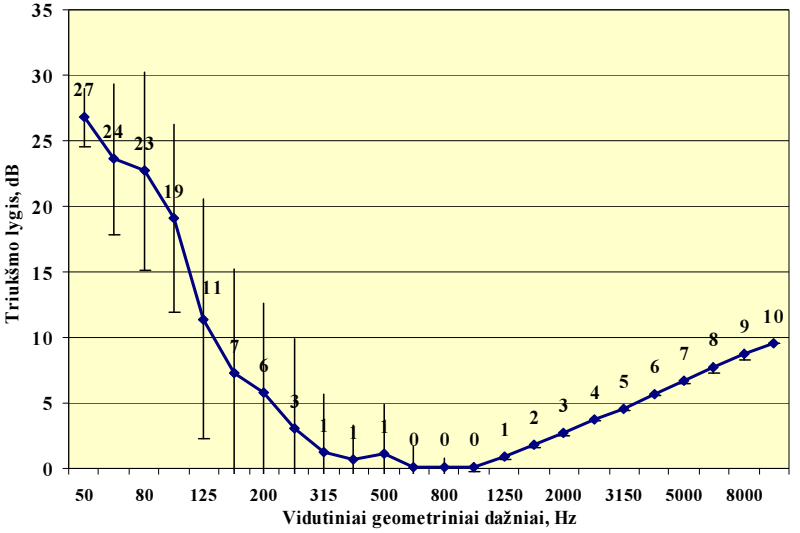
Šiame skyriuje pateikiama ir nagrinėjama statybinių medžiagų akustinių savybių tyrimui sukurta triukšmo slopinimo kamera, analizuojami jos parametrai ir jie įvertinami pagal ISO teisiniuose dokumentuose keliamus reikalavimus.

Triukšmo tyrimams ir įvertinimui pasirinkti mobilieji ir stacionarieji triukšmą sukeliantys šaltiniai. Iš nagrinėjamų pramoninių stacionariųjų triukšmo šaltinių analizuojami AB KLASCO jūrų krovos kompanijoje, krovinių iš vagonų iškrovimui palengvinti naudojamų vibracinių įrenginių keliamas triukšmas bei jo sklaida. Iš mobiliųjų triukšmo šaltinių išskiriamas ir nagrinėjamas automobilių bei geležinkelio transporto keliamas triukšmas ir jo sklaida. Taip pat šiame skyriuje pateikiami triukšmo mažinimo priemonių efektyvumo skaičiavimai ir jų įvertinimas.

Atliktų kamerinių eksperimentų bei mobiliųjų ir stacionariųjų triukšmo šaltinių tyrimų rezultatai paskelbti 2 moksliniuose straipsniuose leidiniuose, referuotuose ISI Web of Science duomenų bazėje, 2 moksliniuose leidiniuose įrašytuose į Mokslinės informacijos instituto (MII) pagrindinių sąrašą (ISI Master Journal list), 3 moksliniuose straipsniuose konferencijų pranešimų rinkiniuose, įtrauktuose į MII duomenų bazę (ISI Proceedings) bei 5 straipsniuose mokslo konferencijų leidiniuose. Taip pat atliktų tyrimų tematika skaityti 6 pranešimai vykusiose mokslo konferencijose.

3.1. Triukšmo slopinimo kameros akustinių savybių tyrimo rezultatai

Akustinėms statybinių apdailos medžiagų savybėms tirti suprojektuota ir įrengta triukšmo slopinimo kamera. Šioje kameroje atliekamų tyrimų gaunami rezultatai atitinka standarte ISO 140-3 keliamo metodo apibrėžtus reikalavimus. Bandomųjų atitvarų matmenis lemia bandymo kameros angos dydis. Šie dydžiai yra apie 10 m^2 sienoms ir nuo 10 iki 20 m^2 grindims, tačiau trumpesnioji grindų ir sienų kraštinė turi būti ne trumpesnė kaip 2,3 m (ISO 140-3). Šiuo atveju triukšmo slopinimo kameros angos plotas yra 1,0 m^2, bet tame pačiame standarte minima, kad šie dydžiai galėtų būti ir mažesni (nei 2,3 m), tačiau tokiu atveju rezultatai labiau priklausytų nuo bandinio kraštų sujungimų ir vietinių garso laukų pasikeitimų.



3.1 pav. Dažninė foninio triukšmo lygio triukšmo slopinimo kameroje charakteristika

Fig. 3.1. The frequency characteristics of background noise level in the noise suppression chamber

Svarbus punktas, leidžiantis spręsti apie laboratorijos standartų atitikimą, yra tai, kad garsas, perleidžiamas bet kuria netiesiogine kryptimi, turi būti nereikšmingas, palyginti su garsu, perleistu per bandinį. Tai pasiekiama, įstačius į bandinio kameros angą labai gerai garsą izoliuojančią konstrukciją ir išmatavus laboratorijos kameros R_{maks}.

Jeigu išmatuotas bandinio dydis R yra mažesnis arba lygus 15 dB, netiesiogiai perleistas garsas laikomas nereikšmingu ir kaip rezultatas imamas R. Šiuo atveju nustatytas R tenkino sąlygą $R \leq R_{maks} \leq 15$ dB.

Foninis triukšmo lygis visose pasirinktosios dažnių srities juostose turi būti bent 10 dB mažesnis nei bandomojo šaltinio garso slėgio lygis. Kaip matyti iš 3.1 lentelėje pateiktų duomenų, šis skirtumas siekia beveik nuo 50 dB iki 100 dB.

3.1 lentelė. Triukšmo šaltinio ir foninio garso lygio triukšmo slopinimo kameroje dydžiai

Table 3.1. The determined level of noise source and background sound in the noise suppression chamber

Dažnis, Hz	Foninis garso lygis, dB	Garso šaltinio ir foninio garso lygis, dB	Dažnis, Hz	Foninis garso lygis, dB	Garso šaltinio ir foninio garso lygis, dB
50	26,8	75,7	800	0,1	93,3
63	23,6	79,2	1000	0,1	91,3
80	22,7	86,7	1250	0,9	91,2
100	19,1	93,3	1600	1,8	89,1
125	11,4	96,5	2000	2,7	85,8
160	7,3	96,9	2500	3,7	88
200	5,8	101,3	3150	4,6	93,2
250	3,1	102,9	4000	5,7	86,9
315	1,2	101,5	5000	6,7	87,6
400	0,7	94,1	6300	7,7	87,6
500	1,1	96,8	8000	8,7	75,2
630	0,1	91,4	10000	9,6	75,8

Nustatytas foninis L_A ekvivalentinis triukšmo lygis triukšmo slopinimo kameroje siekia 14 dBA, kai tuo tarpu garso šaltinio sukeltas ekvivalentinio triukšmo lygis kinta nuo 31 iki 105 dBA.

Eksperimentiškai nustatytas reverberacijos laikas skirtingiems garso bangos dažniams pateiktas 3.2 lentelėje.

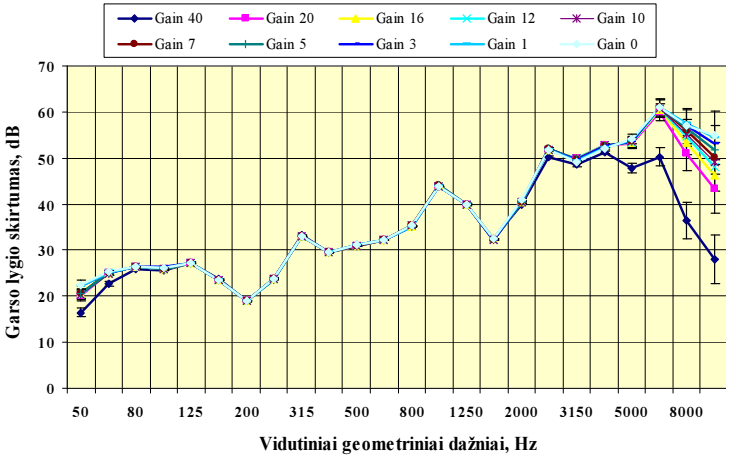
Taip pat panašūs reikalavimai yra keliami meteorologinėms oro sąlygoms triukšmo slopinimo kameroje: oro temperatūra matavimo metu turi būti nuo 15 ^{o}C iki 30 ^{o}C. Šiltuoju metų laiku atlikus meteorologinių sąlygų triukšmo slopinimo kameroje matavimus, nustatyta, kad oro temperatūra tyrimų patalpose siekė 19,8–20,5 ^{o}C, oro drėgnis – 41–46 %, o šaltuoju metų laiku oro temperatūra siekė 16,3–17,2 ^{o}C, oro drėgnis – 32–36 %.

3.2 lentelė. Išmatuotos reverberacijos laiko vertės

Table 3.2. The measured value of reverberation time

Dažnis, Hz	Reverberacijos laikas, s	Dažnis, Hz	Reverberacijos laikas, s
100	0,26	800	0,07
125	0,20	1000	0,08
160	0,14	1250	0,07
200	0,12	1600	0,08
250	0,14	2000	0,07
315	0,10	2500	0,08
400	0,09	3150	0,09
500	0,08	4000	0,08
630	0,08	5000	0,08

3.2 paveiksle pateikti eksperimentiniai rezultatai tiriant konstrukcijos akustines savybes su triukšmo šaltiniu, kurio keičiama galia. Šis bandymas atliktas, siekiant įsitikinti, kad konstrukcijos gebėjimas izoliuoti garsą, nepriklauso nuo garso šaltinio galios. Bandymui pasirinkta 0,5 mm storio perforuotos skardos (perforacijos laipsnis 40 %) konstrukcija pripildyta 80 mm storio akmens vatos sluoksniu, kuris apdengtas stiklo audiniu (3 mm).



3.2 pav. Garso izoliavimo rezultatai keičiant triukšmo šaltinio galią

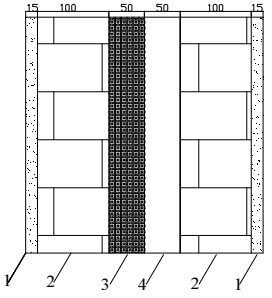
Fig. 3.2. Sound insulation results when changing the power of a source of noise

Visakryptis garso šaltinio skleidžiamo garso intensyvumas stiprintuvu, gali būti keičiamas. Matavimas atliekamas triukšmo slopinimo kameros narvelį pripildžius tiriamojo bandinio, o triukšmo lygiai nustatomi siunčiamojo ir priimamojo garso patalpose. Nustatytas triukšmo tarp siunčiamojo ir priimamojo garso patalpų lygių skirtumas yra pateiktas 3.2 paveiksle.

Iš 3.2 paveikslo matyti, kad mažiausios galios (sąlyginis pavadinimas Gain 40, kurio sukurtas garso laukas siunčiamojo garso patalpoje siekia apie 31 dBA) sukurto triukšmo laukas yra nepakankamas konstrukcijų garso izoliavimo savybėms vertinti, nes nuo 50 iki 100 Hz bei diapazone virš 2500 Hz gaunama didelė nesutaptis su kitais rezultatais. Tai galima paaiškinti mažu garso šaltinio keliamu triukšmu, palyginti su foninėmis triukšmo vertėmis esant žemo ir aukšto dažnio diapazonui.

Didinant garso šaltinio galingumą, matyti, kad garso lygio sumažinimas su bandyme naudojama konstrukcija nekinta. Todėl galima teigti, jog garso šaltinio galia neturi įtakos medžiagos garso izoliavimo savybėms.

Triukšmo slopinimo rodiklių kamerinių tyrimų įvertinimas. Triukšmo slopinimo kameroje nustatytų akustinių verčių patikimumas tikrinamas rezultatą, gautą laboratorinėmis sąlygomis, lyginant su tokio paties bandinio matavimo rezultatu, matavimus atliekant natūroje t. y. objekte. Eksperimentams buvo pasirinktas bandinys–atitvaros fragmentas, sudarytas iš dviejų 100 mm storio keramzito „FIBO“ blokelių (3 MPa stiprumo) pertvarų, 75 mm akmens vatos PAROC UNS 37z dembliais su 50 mm oro tarpu ir 50 mm akmens vatos sluoksniu. Bandinys iš abiejų pusių buvo užtinkuotas 15 mm tinko sluoksniu (3.3 pav.).



3.3 pav. Tiriamosios sienos schema: 1 – tinkas, 15 mm; 2 – keramzito „FIBO“ blokeliai (3 MPa), (100×185×490); 3 – akmens vata „Paroc“, 50 mm; 4 – oro tarpas, 50 mm

Fig. 3.3. Scheme of the researched wall: 1 – plaster, 15 mm; 2 – keramzit blocks „FIBO“ (3 MPa), (100×185×490); 3 – rock wool „Paroc“, 50 mm; 4 – air gap, 50 mm

3.3 paveiksle pateiktos sienos konstrukcijos triukšmo slopinimo kameroje nustatyta garso izoliavimo rodiklio (R_w) vertė, siekė 53 ± 1 dB. Natūrinėmis sąlygomis pakartojus bandymą su tos pačios konstrukcijos siena, garso izoliavimo vertė siekė 51 ± 1 dB. Taip pat analogiško bandymo metu nustatytas ir garso lygių skirtumo rodiklis ($D_{nT,w}$). Šio rodiklio vertės taip pat paklaidų ribose sutapo ir siekė atitinkamai 50 ± 1 ir 48 ± 1 dB.

3.3 lentelė. Eksperimentiniais ir natūriniais tyrimais gauti rezultatai

Table 3.3. Results obtained through experimental and natural research

	R_w, dB	D_{nTw}, dB
Eksperimentinis tyrimas triukšmo slopinimo kameroje	53 ± 1	50 ± 1
Natūriniais bandymais gauti rezultatai	51 ± 1	48 ± 1

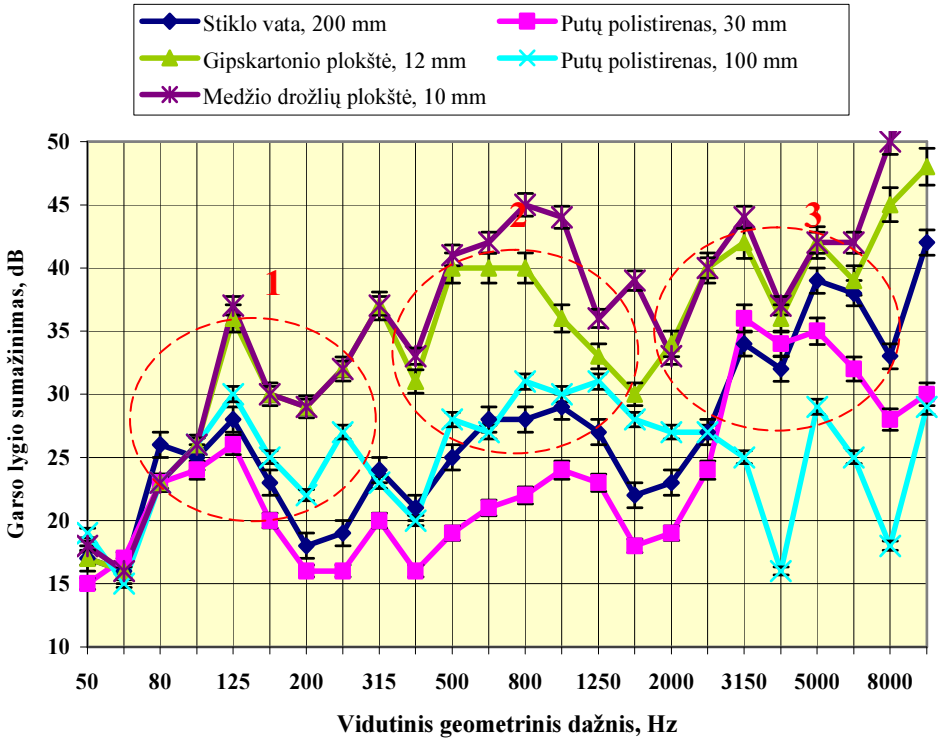
Taip pat akustiniai tyrimai atlikti su 4 mm storio viengubo stiklo bandiniu. Nustatytas R_w siekė 30 dB, o literatūroje (Stauskis 2007) sutinkama, kad 3,2 mm storio stiklo R_w = 29 dB. Todėl atliktų eksperimentinių ir natūrinių tyrimų rezultatų pagrindu galima teigti, kad triukšmo slopinimo kameroje atliktais tyrimais gauti akustinių tyrimų rezultatai yra patikimi.

3.2. Statybinių medžiagų ir konstrukcijų akustinių savybių tyrimo rezultatai

Triukšmo slopinimo sienelėms daugiausia naudojamų įvairių medžiagų konstrukcijos (poringojo betono, korėtųjų plokščių, medžio drožlių, stipriai iškraipyto reljefo paviršių, perforuoto metalo skydų su akytųjų medžiagų užpildais ir kt.). Plačiai aptinkama teiginių, kad triukšmą gerai slopina puriosios, porėtosios medžiagos. Lengvų, puriųjų, porėtųjų medžiagų akustinės savybės ištirtos nepakankamai, o iš jų sumontuotos konstrukcijos – ištirtos dar mažiau.

Bandymų metu siekiama ištirti statybinių medžiagų gebėjimą mažinti triukšmą. Tiriama garso slopinimo charakteristika, kurią sudaro garso lygio siunčiamojo garso patalpoje skirtumas su garso lygiu priimamojo garso patalpoje. Šie tyrimai atlikti norint įvertinti ir palyginti skirtingų medžiagų akustines savybes panaudojant pastovų bei impulsinį triukšmą skleidžiančius šaltinius. Bandymams buvo pasirinktas 200 mm storio stiklo vatos demblys, 30 ir 100 mm storio putų polistirolo lakštai, 12 mm storio gipskartonio plokštės, 10 mm storio medžio drožlių plokštės iš kurių, atsižvelgus į gautus rezultatus, bus komponuojamos triukšmą slopinančios sienelės.

3.4 paveiksle pateikiami atliktų tyrimų rezultatai, įvertinantys bandymuose naudotų pavienių medžiagų garso lygio sumažinimą. Žemiems dažniams (pirmoji zona) mažinti efektyviausia būtų naudoti gipskartonio arba medžių drožlių plokštes. Šių medžiagų garso izoliavimas siekia iki 37 dB. Bandymai atlikti su stiklo vatos dembliais parodė, kad šias medžiagas naudoti žemo dažnio garsams slopinti yra neefektyvu, nes šiose medžiagose žemo dažnio garsai prasčiausiai slopinami, palyginti su kitomis bandymuose naudotomis medžiagomis.



3.4 pav. Pastoviam triukšmui mažinti naudotų medžiagų kameriniais tyrimais gautų rezultatų palyginimas: 1 – sąlyginė žemų dažnių zona (50–350 Hz); 2 – sąlyginė vidutinio aukštumo dažnių zona (400–1000 Hz); 3 – sąlyginė aukštų dažnių zona (1–10 kHz)

Fig. 3.4. Comparison of the results obtained through chamber research on materials applied for reducing constant noise: 1 – conditional zone of low frequencies (50–350 Hz); 2 – conditional zone of medium frequencies (400–1000 Hz); 3 – conditional zone of high frequencies (1–10 kHz)

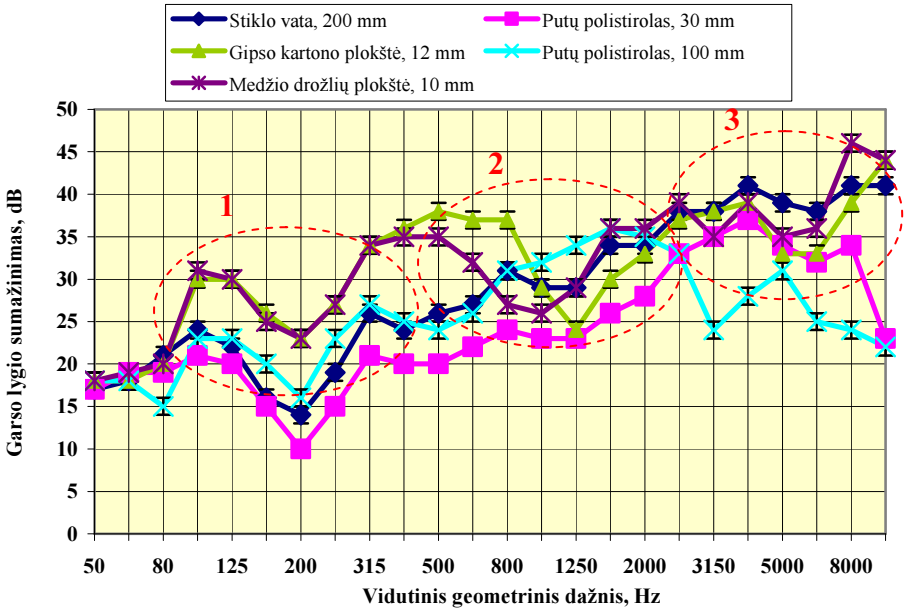
Žinoma, kad kuo žemesnio dažnio garsas, tuo didesnis yra garso bangos ilgis ir tuo sunkiau sugeriamos tokios bangos. O medžiagos sluoksnio storio padidinimas nuo 2 iki 5 cm, sugerties koeficientą labiau padidina esant žemiems dažniams. Todėl putų polistirolo sluoksnio storio padidinimas nuo 3 iki 10 cm esant 250 Hz dažniui garso lygį leidžia sumažinti 8 dB efektyviau negu su 3 cm putų polistirolo sluoksniu. Esant vidutinio aukštumo dažnių diapazonui t. y. 400–1000 Hz (3.4 pav. antroji zona), nustatyta, kad efektyviausiai triukšmą slopina šios medžiagos: gipskartonio bei medžio drožlių plokštės. Esant vidutinio aukštumo dažnių diapazonui, panaudojant šias medžiagas nustatytas iki 35 dB garso sumažėjimas. Taip pat nustatyta, kad efektyvi priemonė mažinti 800–2000 Hz dažnio garsą galėtų yra polistirolas. 100 mm storio šios medžiagos sluoksnio panaudojimas leistų iki 30–35 dB sumažinti garsą. Būtent 800–2000 Hz dažnio diapazonui, pasiekiamas didžiausias akustinis šios medžiagos efektyvumas.

Orinio garso izoliacija priklauso nuo bandinio masės ir garso dažnio. Iš 3.4 paveiksle pateiktų eksperimentinių rezultatų matyti, kad geriausiai slopinamos aukštesnio dažnio garso bangos. Taip pat didelę įtaką turi garsą izoliuojančios medžiagos tankis. Kuo jis didesnis, tuo yra didesnė konstrukcijos masė, taip pat ir garso izoliacija. Medžio drožlių ir gipskartonio plokštės tūrio masės yra didžiausios iš eksperimente naudotų medžiagų, todėl garso izoliavimas, pasiektas su šių medžiagų bandiniais, gautas didžiausias.

3.5 paveiksle pateikti atliktų tyrimų rezultatai, įvertinantys bandymuose naudotų pavienių medžiagų akustinių savybių tyrimus panaudojus impulsinį (smūginį) triukšmą sukeliantį šaltinį – taptavimo mašiną. Kaip matyti iš 3.5 paveikslo, mažinti žemiems dažniams (pirmoji zona) efektyviausia būtų naudoti gipskartonio plokštę arba medžių kartono plokštę. Esant 80–315 Hz dažnių diapazonui šių medžiagų garso izoliavimas yra beveik identiškas, o maksimali vertė siekia iki 31 dB.

Analizuojant rezultatus, gautus esant vidutinio aukštumo dažnių diapazonui, nustatyta, kad efektyviausia medžiaga yra gipskartonio bei medžio drožlių plokštės. Esant vidutinio aukštumo dažnių diapazonui, panaudojus šias medžiagas, nustatytas iki 35 dB garso sumažėjimas. Taip pat nustatyta, kad efektyvi priemonė 800–2000 Hz dažnio garsą slopinti galėtų būti putų polistirolas. 100 mm storio sluoksnio šios medžiagos panaudojimas leistų pasiekti iki 30–35 dB garso sumažėjimą. Būtent 800–2000 Hz dažnio diapazone, pasiekiamas didžiausias šios medžiagos triukšmo izoliavimo efektyvumas.

Aukšto dažnio garsui slopinti taip pat geriausi rezultatai gauti panaudojus gipskartonio bei medžio drožlių plokštes, o esant triukšmui dažnių diapazono virš 3000 Hz sąlygomis, gautas iki 45 dB garso sumažinimas. Putų polistirolo akustinės savybės slopinti aukšto dažnio garsą yra kiek prastesnės ir siekia 25–35 dB, priklausomai nuo dažnio.



3.5 pav. Impulsiniam triukšmui mažinti naudotų medžiagų kameriniais tyrimais gautų rezultatų palyginimas: 1– sąlyginė žemų dažnių zona (50–350 Hz); 2– sąlyginė vidutinio aukštumo dažnių zona (400–1000 Hz); 3– sąlyginė aukštų dažnių zona (1–10 kHz)

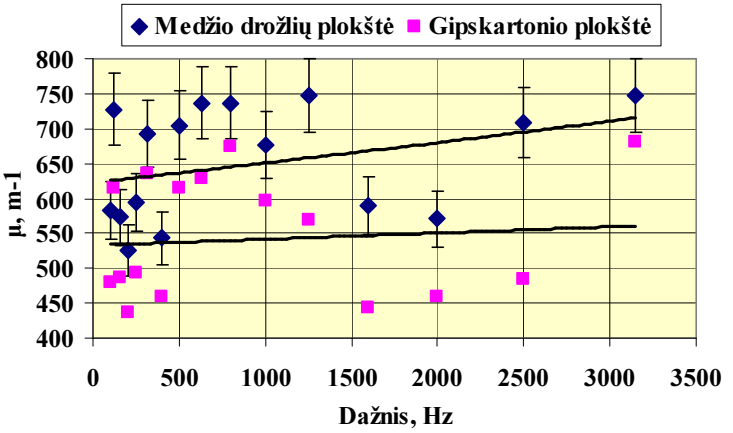
Fig. 3.5. Comparison of the results obtained through chamber research on materials applied for reducing impulse noise: 1 – conditional zone of low frequencies (50–350 Hz); 2 – conditional zone of medium frequencies (400–1000 Hz); 3 – conditional zone of high frequencies (1–10 kHz)

Vertinant skirtingo pobūdžio garso šaltinio taikymą, tiriant tų pačių medžiagų akustines savybes, skirtumas matomas esant didesniems nei 1000 Hz dažniams. Didesnės triukšmo izoliavimo vertės gaunamos slopinant pastovaus triukšmo šaltinio sukeliamą garsą, t. y. pastovaus pobūdžio garsas izoliuojamas iki 10 dB geriau negu impulsinio šaltinio sukeltas garsas. Suprantama, kad akustinės medžiagų savybės negali pasikeisti priklausomai nuo sukurto triukšmo pobūdžio, todėl šį reiškinį galima būtų paaiškinti tik tuo, kad tiriamųjų skirtingų medžiagų paviršiai priima skirtingai smūginio šaltinio sukeltą garsą, kuris veikiamas staigaus garso slėgio pasikeitimo per sekundės dalį.

Atskirų medžiagų akustinių rodiklių ilginio garso bangos silpninimo koeficiento rezultatai pateikti 3.6–3.8 paveiksluose. Koeficientas μ buvo tirtas skirtin-

goms medžiagoms: medžio drožlių plokštė, gipskartonio plokštė, putų polistirolas, stiklo vatos demblys, plieno skardos lakštas. Šios medžiagos yra priskiriamos prie dažniausiai naudojamų ir pigiausių (perkamiausių) statybinių medžiagų.

3.6 paveiksle pateiktos ilginio garso bangų silpimo koeficiento vertės, ištyrus akustines medžio drožlių bei gipskartonio plokščių savybes.

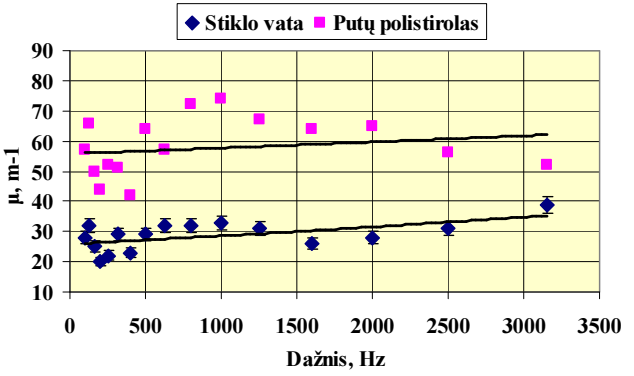


3.6 pav. Medžio drožlių ir gipskartonio plokščių koeficiento μ vertės

Fig. 3.6. Values of the coefficient μ in wood chipboards and gypsum cardboards

Aukštesnės koeficiento vertės gautos tiriant medžių drožlių plokštės bandinį. Vidutinės jų vertės kito nuo 630 iki 720 m^{-1}. Panašiomis koeficiento vertėmis (540 m^{-1}– 560 m^{-1}) pasižymi gipskartonio plokštė. Orinio garso izoliacija priklauso nuo bandinio masės ir garso dažnio. Šiuo atveju panašias koeficiento vertes galima pagrįsti tuo, kad medžio drožlių ir gipskartonio plokščių tūrio masės yra beveik vienodos, atitinkamai 735 ir 720 kg/m^3. Taip pat matyti, kad didėjant dažniui, didėja ilginio garso bangų silpimo koeficiento vertės.

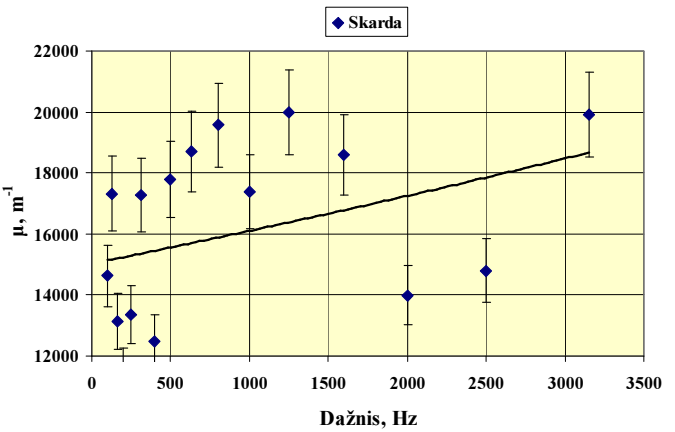
3.6 paveiksle pateikiamos stiklo vatos bei putų polistirolo pavienių medžiagų ilginio garso bangų silpimo koeficiento vertės. Didesnės koeficiento vertės gaunamos putų polistirolui (55 iki 62 m^{-1}). Iš bandymų rezultatų, atlikus eksperimentinius stiklo vatos akustinių savybių tyrimus, matyti, kad didėjant dažniui ilginio garso bangų silpimo koeficiento vertės didėja. Didžiausios vertės pasiekiamos esant 3150 Hz dažniui ir siekia apie 38 m^{-1}. Šios medžiagos koeficiento vertės buvo mažesnės, palyginti su putų polistirolu, nes jos tūrio masė yra tik 12 kg/m^3, kai putų polistirolo – 20 kg/m^3.



3.7 pav. Stiklo vatos ir putų polistirolo medžiagų koeficiento μ vertės

Fig. 3.7. Values of the coefficient μ for fibreglass and foam polystyrene materials

3.8 paveiksle pateiktos μ koeficiento vertės gaunamos atlikus eksperimentinius tyrimus triukšmo slopinimo kameroje su skardos lakštu.



3.8 pav. Koeficiento μ vertės skardos lakštui

Fig. 3.8. Values of the coefficient μ for a sheet of tin

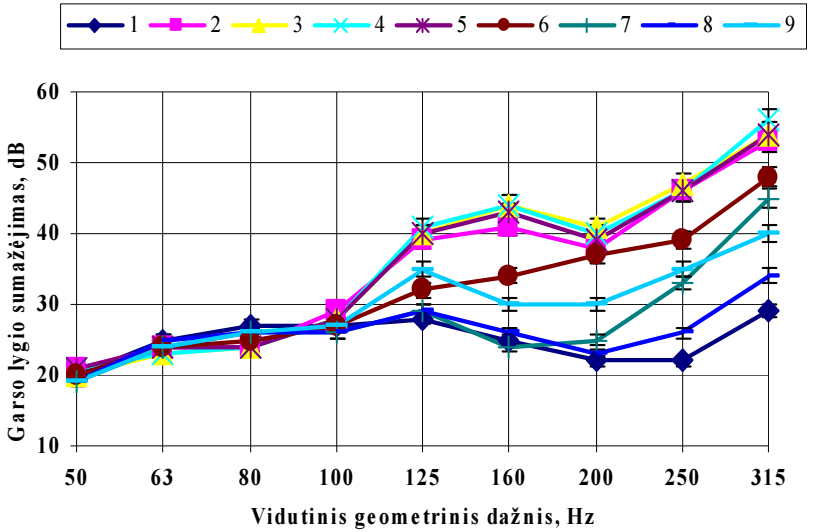
Nustatytos šios medžiagos ilginio garso bangų silpimo koeficiento vertės, palyginti su kitomis bandymuose naudotomis medžiagomis, gautos aukščiausios,

jos vidutiniškai kito tarp 15 000 m^{-1} ir 19 000 m^{-1}. Tos vertės yra ženkliai didesnės, nes kritusios garso bangos ilgio ketvirtis ($\lambda/4$) yra mažesnis už medžiagos skerspjūvį.

Lyginant visų pavienių medžiagų naudotų eksperimente gautas koeficiento vertes, matyti, kad stiklo vatos bandinių μ vertės buvo mažiausios – 30–38 m^{-1} visose dažnių juostose, o skardos lakšto didžiausios 15000–19000 m^{-1}. Šį skirtumą galima paaiškinti žymiai mažesne stiklo vatos tūrio mase (12 kg/m^3), palyginti su skardos lakšto, kurio tūrio masė siekia apie 18000 kg/m^3 (1 m^2 skardos lakšto (0,5 mm storio) masė yra 9,3 kg).

Įvertinus pavienių statybinių medžiagų gebėjimą izoliuoti triukšmą, toliau buvotiriamos iš įvairių medžiagų sukomponuotos triukšmo mažinimo sienelės. Pasirinktos tokios eksperimentinės triukšmo slopinimo sienelės bei jų modifikacijos, kurias būtų galima panaudoti natūroje, mažinant triukšmą gyvenamojoje aplinkoje. Įvertinus išorinę triukšmo slopinimo sienelės medžiagą, buvo pasirinktos lengvos konstrukcijos medžiagos, kurių akustinės savybės kuo mažiau nukentėtų dėl skirtingų atmosferos sąlygų įtakos bei kitus veiksnių. Tyrimams buvo naudojamos lengvų konstrukcijų sienelės, sudarytos iš perforuotos skardos, impregnuotos, drėgmei atsparios medžio drožlių plokštės, medienos lentelių, stiklo plastiko bei organinio stiklo su stiklo ir akmens vatos užpildais. 3.9 paveiksle pateikiami kameriniais eksperimentais gautų žemo dažnio (50–315 Hz) garso slopinimo rezultatai.

Kaip matyti iš 3.9 paveiksle pateiktų rezultatų, esant 50–100 Hz dažnio diapazonui, akustinėmis savybėmis neišsiskiria nei vienas iš devynių eksperimente naudotų bandinių konstrukcijų. Jų garso slopinimo efektyvumas siekia apie 20–25 dB. Šie rezultatai dar kartą parodo žemo, iki 100 Hz dažnio garso slopinimo problemą, nes, esant didesniems garso bangų ilgiams, jos sunkiau sugeriamos. Prof. V. J. Stauskis teigia, kad garso sugertį, esant žemiems dažniams, galima padidinti tarp standaus atspindinčio paviršiaus ir sugeriančiosios medžiagos palikus oro tarpą (Stauskis 2007). Eksperimente panaudojus konstrukciją Nr. 2 (2.4 pav.), sudarytą iš dviejų medžio drožlių plokščių, užpildytų stiklo vatos (100 mm), putplasčio (30 mm) bei 60 mm oro tarpo, esant 125–315 Hz dažniams gaunamas 38–54 dB garso lygio sumažinimas. Tokiu atveju panaudojant oro tarpą gaunamas beveik toks pats garso sugerties efektas, kaip ir esant ištisinio sluoksnio medžiagai, kurios storis lygus visos konstrukcijos su oro tarpu storiui (Stauskis 2007). Šis teiginys patikrinamas Nr. 2 konstrukcijos (su oro tarpu) rezultatus lyginant su konstrukcijos Nr. 3 (stiklo vatos užpildas be oro tarpo) gautais garso izoliavimo rezultatais, nes šios konstrukcijos geriausiai tenkina pateiktą teiginį. Rezultatai skiriasi gana nedaug, apie 3 dB, nes bandinio Nr. 2 užpildą sudaro ne tik stiklo vatos, bet ir putplasčio intarpas.



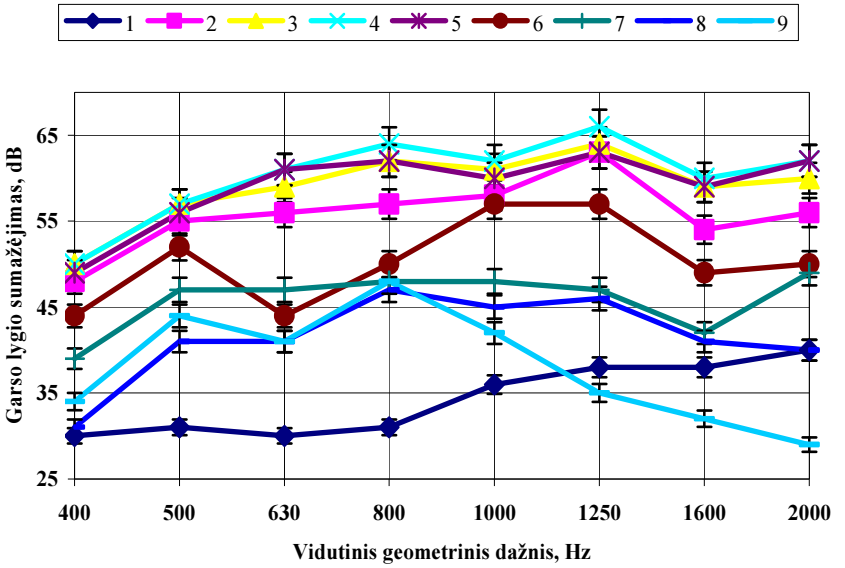
3.9 pav. Garso slopinimo bandinių konstrukcijose rezultatai esant 50–315 Hz dažnio diapazonui (1, 2, ..., 9 – bandinių konstrukcijos, žr. 2.4 pav.)

Fig. 3.9. Results of noise attenuation in sample structures in the frequency range of 50-315 Hz (1, 2, .. 9 – experimental structures Fig. 2.4)

Iš visų bandymams naudotų elementų galima išskirti konstrukcijas Nr. 2–5 (2.4 pav.). Šios konstrukcijos išsiskiria tuo, kad iš išorės jos dengiamos atsparia drėgmei medžio drožlių plokšte. Šių konstrukcijų efektyvumas palyginus su kitomis, išryškėja 125–315 Hz dažnių diapazono sąlygomis. Esant šiam diapazonui siunčiamojo garso patalpoje sukurtas garso lygis siunčiant į priimamojo garso patalpą būna sumažinamas 40–55 dB, kur 55 dB pasiekiami esant 315 Hz dažniui.

Mažiausi esant 125–250 Hz dažnio diapazonui garso lygio sumažėjimo rezultatai nustatyti panaudojus konstrukciją Nr. 1 (2.4 pav.), sudarytą iš dviejų perforuotos skardos lakštų (perforacijos laipsnis 50 %), tarpą tarp jų užpildžius 80 mm akmens vatos sluoksniu. Ši konstrukcija žemo dažnio garsus (125–250 Hz) sumažina apie 22–28 dB. Tai paaiškintina tuo, kad didelis (daugiau negu 40 %) perforacijos laipsnis neigiamai veikia perforuotos konstrukcijos garso izoliavimą. Literatūroje (Stauskis 2007) aptinkama duomenų, kad geriausias garso izoliavimo efektas pasiekiamas esant 20–30 % perforacijos laipsniui. Esant didesniam perforacijos procentui, garso sugertį nulemia sugeriamosios medžiagos struktūra.

Analizuojant 3.10 pav. pateiktus rezultatus, matyti, kad esant vidutinio aukštumo dažniams konstrukcija Nr. 4 (2.4 pav.) geriausiai iš visų tyrimuose naudotų konstrukcijų slopina 800–1250 Hz dažnio garsą.



3.10 pav. Garso slopinimo rezultatai esant 400–2000 Hz dažnio diapazonui (1, 2, ..., 9 – bandinių konstrukcijos, žr. 2.4 pav.)

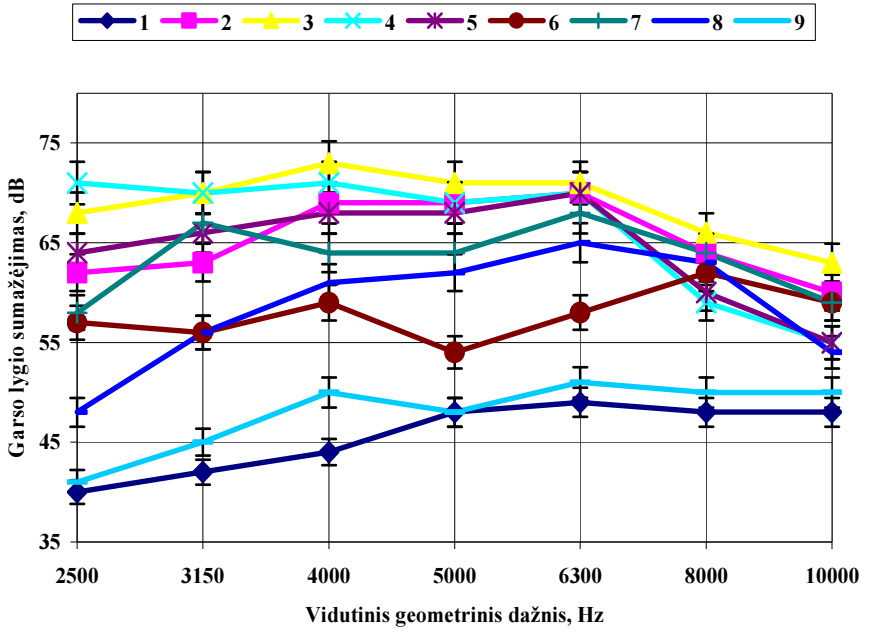
Fig. 3.10. Sound attenuation results in the frequency range of 400–2,000 Hz (1, 2, .. 9 – experimental structures Fig. 2.4)

Šiame dažnių diapazone, iš siunčiamojo garso patalpos į priimamojo garso patalpą perėjęs triukšmas dėl konstrukcijos Nr. 4 (2.4 pav.) kamerinėmis eksperimentų sąlygomis sumažinamas iki 65 dB. Taip pat aukšti garso sumažinimo rezultatai (55–62 dB) gauti tyrimams panaudojus Nr. 2, Nr. 3 ir Nr. 5 konstrukcijas, kurių schemos pateiktos 2.4 paveiksle. „Rockwool“ vatos gamintojai pateikia bandymų, atliktų Statens Provningsantalt Böras (Švedija) laboratorijoje, rezultatus, pagal kuriuos galima daryti išvadą, kad akustinės akmens vatos sluoksnio savybės yra 3–8 dB (priklausomai nuo dažnio) geresnės negu stiklo vatos (http://www.glasswool.lt/ch-3.htm). Tokią pačią išvadą galima padaryti ir darbe atliktų eksperimentinių rezultatų pagrindu, palyginus Nr.3 ir Nr.4 konstrukcijas, kurių užpildai sudaryti atitinkamai iš 200 mm storio stiklo vatos ir iš 150 mm akmens vatos. Gauti rezultatai parodė, kad konstrukcijos su akmens vatos sluoksniu garso izoliacija iki 5 dB buvo geresnė nei konstrukcijos su storesniu

stiklo vatos užpildu. Mineralinės vatos akytumas siekia iki 95 %, todėl aerodinaminio pasipriešinimo lygis plačiu dažnių diapazonu yra didelis.

Lyginant Nr. 7 ir Nr. 8 eksperimente panaudotų konstrukcijų kompozicijas, matyti, kad esant vidutinio aukštumo garsui, geresnės akustinės savybės nustatytos konstrukcijos, sudarytos iš dviejų trapecinės stiklo plastiko plokščių su akmens vatos (100 mm) ir medžio drožlių plokštės užpildu. Šios konstrukcijos efektyvumas, slopinant garsą iš siunčiamojo į priimamojo garso patalpą, esant 500–1000 Hz dažniui, siekė iki 47 dB.

Iš 3.11 paveiksle pateiktų duomenų matyti, kad, esant aukštiems dažniams, kaip ir vidutinio aukštumo dažniams, geriausi garso slopinimo rezultatai gauti tų konstrukcijų elementų, kuriuose išorinę triukšmo sienelės pusę dengia medžio drožlių plokštė. Tokiomis lengvomis konstrukcijomis (Nr. 2–5) aukšto dažnio garso sklidimas iš siunčiamojo į priimamojo garso patalpą sumažinimo efektyvumas, esant kai kuriems dažniams, siekia iki daugiau nei 70 dB.



3.11 pav. Garso slopinimo rezultatai esant 2 500–10 000 Hz dažnio diapazonui (1, 2, ..., 9 – bandinių konstrukcijos, žr. 2.4 pav.)

Fig. 3.11. Sound attenuation results in the frequency range of 2 500–10 000 Hz (1, 2, .. 9 – experimental structures Fig. 2.4)

Atliktų tyrimų rezultatai parodė, kad efektyviausiai aukšto dažnio triukšmą slopina konstrukcija Nr. 3. Šioje konstrukcijoje garsą sugerianti medžiaga yra 200 mm stiklo vatos sluoksnis. Nors aerodinaminis šios medžiagos pasipriešinimas yra mažesnis, o ribinis storis stiklo vatai beveik 4 kartus didesnis už akmens vatos, ji aukšto dažnio garso bangas slopina geriausiai. Puriosios pluoštinės medžiagos, t. y. stiklo vata, garsą gerai sugeria tik jeigu tai yra vidutinio ir aukšto dažnio garsas.

Vertinant konstrukcijos Nr. 9 gautus rezultatus, matyti, kad iš visų bandymuose naudotų konstrukcijų aukšto dažnio garso slopinimo rezultatai gauti vieni iš mažiausių. Dar mažesni rezultatai gauti aukšto dažnio slopinimui panaudojus rezonansinę konstrukciją Nr. 1 (40–48 dB).

Išanalizavus akustinių savybių tyrimų rezultatus, matyti, kad konstrukciniu ir akustiniu požiūriu tikslinga naudoti ne pavienes medžiagas, o iš jų sukomponuotas įvairias triukšmo slopinimo sienelių kompozicijas.

3.4 lentelėje pateiktos eksperimentinių tyrimų rezultatų pagrindu įvairioms statybinėms konstrukcijoms apskaičiuotos garso ore silpninimo rodiklio DL_R vertės, išreikštos decibelais.

3.4 lentelė. DL_R rodiklio vertės

Table 3.4. DL_R index values

Konstrukcijos Nr. (pagal 2.4 paveikslą)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
DL_R rodiklis, dB	14	32	33	33	32	28	21	18	18
Absoliutinė paklaida, dB	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±2

Didžiausios DL_R rodiklio vertės (32–33 dB) gautos kai vienu iš konstrukcijos komponentų buvo panaudota 10 mm storio medžio drožlių plokštė (Nr. 2–Nr. 5 konstrukcijos). Stiklo vatos demblius (200 mm) padengus 10 mm storio medžio drožlių plokšte (konstrukcija Nr. 3) arba 15 mm storio medžio lentelėmis (konstrukcija Nr. 6), nustatyta, kad DL_R vertės siekė atitinkamai 33 dB ir 28 dB. Iš šių rezultatų matyti, kad storesnio sluoksnio medžiaga padengus tokią pačią konstrukciją, geresnė garso ore silpninimo rodiklio DL_R vertė negaunama.

Žemiausias triukšmo izoliavimo rezultatas pasiektas naudojant perforuotos skardos ekraną, pripildytą akmens vatos demblių - DL_R siekė 14 dB. Taip pat nedidelis rezultatas (18–21 dB), palyginti su kitomis eksperimentuose naudotomis konstrukcijomis, gautas triukšmo ekranams pritaikius kompozicijas iš stiklo plastiko, organinio stiklo.

LST EN ISO 1793-2:1997 pagal DL_R vertes, triukšmo mažinimo ekranai skirstomi į garso ore silpninimo grupes (3.5 lentelė).

3.5 lentelė. Garso ore silpninimo grupės

Table 3.5. Airborne sound attenuation groups (ISO 1793-2:1997)

Grupė	B0	B1	B2	B3
DL_R, dB	Nebandoma	< 15	15 - 24	> 24

Pagal 3.5 lentelėje pateiktas grupes ir jų rezultatus, aukščiausias vertinimas teikiamas Nr. 2–Nr. 5 konstrukcijoms, t. y. B3. Triukšmo mažinimo užtvarų eksploatavimo ir techninio aptarnavimo išlaidos gerokai skiriasi, priklausomai nuo užtvaros rūšies, medžiagos, pastatymo vietos ir pageidaujamo kokybės lygio. Organinio stiklo arba polikarbonato plokštės gali būti brangesnės nei stiklo, bet jos yra atsparios ir beveik nesudaužomos, todėl jų nereikia dažnai keisti. Taigi projektavimo etape turėtų būti aptartos tiek statybos išlaidos, tiek techninė priežiūra.

Iš visų eksperimentuose naudotų medžiagų bei triukšmo sienelių konstrukcijų, siūlomos naudoti konstrukcijos Nr. 2–4 (2.4 pav.), kuriose yra medžio drožlių plokščių. Tokios konstrukcijos yra sudarytos iš lengvų medžiagų, o jų efektas slopinti triukšmą kamerinėmis sąlygomis pasiekiamas iki 70 dB.

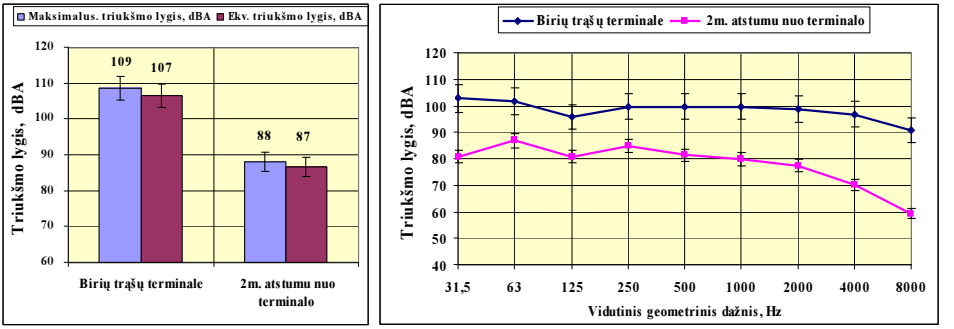
3.3. Pramoninių stacionariųjų šaltinių keliamo triukšmo tyrimai ir analizė

3.3.1. Stacionariojo šaltinio sukeliamo triukšmo ir jo sklaidos tyrimai

Nagrinėjamas pramoninis stacionarusis triukšmo šaltinis yra terminalo pastatas, kuriame vykdomi biriųjų trąšų iškrovos darbai. Šiems darbams palengvinti yra naudojami vibraciniai įrenginiai, kuriems veikiant susidaro tūrinis triukšmo šaltinis. Šio triukšmo sklidimas į gyvenamąją aplinką yra ribojamas išorinių terminalo pastato sienų bei triukšmo slopinimo sienelės, kurios aukštis ties biriųjų trąšų krovos terminalu yra 8 metrai.

Siekiant įvertinti triukšmo sklaidą į aplinką, pirmiausia analizuojamas triukšmo šaltinis, jo keliami triukšmo lygiai bei dažninės charakteristikos. Terminalo viduje išdėstyta 12-ika triukšmą sukeliančių vibracinių įrenginių. Jų sukurto triukšmo lygiai terminalo viduje bei sklaidos iš pastato rezultatai pateikti

3.12 paveiksle. Didžiausi triukšmo lygiai nustatyti terminalo viduje ir siekia 107–109 dBA. Triukšmo lygiai priklauso nuo terminale veikiančių šaltinių apkrovos. Dominuojantis triukšmas pasiskirstęs po visą dažnių spektrą ir kinta nuo 95 iki 103 dB (3.12 pav.).



a) b)

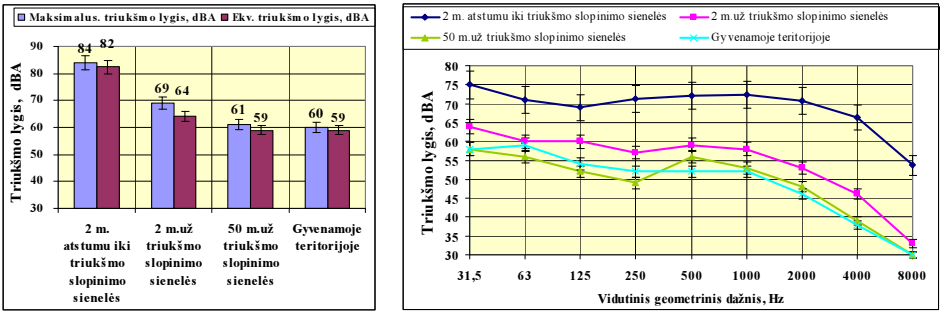
3.12 pav. Triukšmo sklaidos nuo biriųjų trąšų terminalo rezultatai: a) ekvivalentinis ir maksimalus triukšmo lygiai; b) dažninė triukšmo charakteristika

Fig. 3.12. Results of noise dispersion from the bulk fertiliser terminal: a) the equivalent and maximum noise levels; b) frequency characteristics of noise

Fasadinės pastato sienos sumontuotos iš plieninės banguotosios skardos lakštų, kurie nepasižymi geromis garso izoliavimo savybėmis, todėl triukšmo vertės už terminalo yra taip pat didelės. Siekiant įvertinti į aplinką išspinduliuoto triukšmo lygius, matavimams pasirinktos charakteringos vietos, detalizuojančios jo sklaidos ypatumus. Už 2 metrų nuo terminalo nustatytas 87 dBA triukšmo lygis. Čia didžiausi triukšmo lygiai nustatyti esant žemiems ir vidutiniams dažniams (80–88 dB).

Toliau nuo terminalo, už 20 metrų, įrengta triukšmo slopinimo sienelė, prie kurios nustatytas 82 dBA ekvivalentinis triukšmo lygis. Ties biriųjų trąšų terminalu esanti 8 m. aukščio triukšmo slopinimo sienelė ženkliai veikia triukšmo sklaidą į gyvenamąją aplinką, o matavimo vietose, esančioje 2 m. atstumu nuo sienelės, yra nustatytas ekvivalentinis triukšmo lygis 64 dBA, t. y. triukšmo sienelės efektyvumas siekia 18 dBA (3.13 pav.).

Vertinant triukšmo sienelės veiksmingumą, lyginami duomenys, gauti triukšmo lygio matavimus atlikus prieš triukšmo slopinimo sienelę ir už jos. Iš 3.13 b paveikslo matyti, kad žemo dažnio zonoje (31,5–250 Hz) triukšmo lygis sumažinamas 9–14 dB. Efektyviausiai (iki 21 dB) triukšmo slopinimo sienelė slopina aukšto dažnio triukšmą, nes aukšto dažnio garso bangų ilgiai yra daug mažesni už geometrinius triukšmo slopinimo sienelės matmenis.



a) b)

3.13 pav. Triukšmo sklaidos nuo biriųjų trąšų terminalo rezultatai: a) ekvivalentinis ir maksimalus triukšmo lygiai; b) triukšmo dažninė charakteristika

Fig. 3.13. Results of noise dispersion from the bulk fertiliser terminal: a) the equivalent and maximum noise levels; b) frequency characteristics of noise

Tolstant nuo biriųjų trąšų terminalo, sklindantis į gyvenamąją teritoriją triukšmas silpsta. Už 50 metrų nuo triukšmo slopinimo sienelės nustatytas triukšmo lygis 5 dBA mažesnis negu 2 metrų atstumu nuo jos. Gyvenamojoje teritorijoje, matavimus atlikus prie daugiabučio gyvenamojo namo, nustatyta, kad ekvivalentinis triukšmo lygis siekė 59 dBA. Dėl vykdomų darbų specifikos įmonė vienodu pajėgumu dirba visą parą. Kaip numatyta Lietuvos higienos normoje HN 33:2007, leistinasis 55 dBA ekvivalentinis triukšmo lygis nakties metu gyvenamųjų ir visuomeninės paskirties pastatų aplinkoje yra viršijamas. Todėl yra būtina ieškoti būdų bei priemonių triukšmo sklidimui į gyvenvietę slopinti.

3.3.2. Priemonės stacionariųjų šaltinių keliamo triukšmo sklaidai į aplinką mažinti

Nagrinėjamu atveju triukšmui sklindančiam iš stacionariojo pramoninio šaltinio į gyvenamąją teritoriją mažinti, siūlomi du būdai:

1. Pastato išorines fasadines sienas dengti garsą sugeriančia medžiaga;
2. Įvertinti triukšmo slopinimo sienelės efektyvumą ir esant būtinybei numatyti jos rekonstrukciją.

Fasadinių sienų dengimas garsą sugeriančiąja medžiaga. Šios triukšmo mažinimo priemonės įdiegimas leistų ne tik sumažinti triukšmą, sklindantį į aplinką, bet padengus sienas sumažėjęs patalpos aidėjimas sumažintų triukšmo lygius pastato viduje.

Aukšto intensyvumo triukšmo bangos sklinda visoje patalpoje. Jas sukelia pneumatinių vibracinių įrenginių smūgiai į trąšų pripildytų vagonų šonus (rėminės konstrukcijas, vagono sienas) ir tai yra struktūrinio bei orinio triukšmo šaltiniai. Kilusi vibracija per bėgius – pabėgius, grindis perduodama į pastato laikančiąsias konstrukcijas, o garsinė vibracija, perėjusi per sienas, toliau kaip orinis triukšmas plinta gyvenamojo rajono pastatų kryptimi.

Tolesniems inžineriniams skaičiavimams naudojamos matavimais nustatytų triukšmo lygių vidurkio vertės. Terminalo viduje išmatuotų triukšmo slėgio lygių spektrinės sudėties vidurkinės vertės pateiktos 3.6 lentelėje.

3.6 lentelė. Vidurkinės ekvivalentinio triukšmo lygio terminale vertės, dB

Table 3.6. The medium values of the equivalent noise level in the terminal, dB

	Dažnis Hz							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Išmatuoto triukšmo lygio vidurkinės vertės, dB	102	96	100	100	100	99	97	91

Garsą sugeriančios konstrukcijos scheminiai pjūviai pavaizduoti 3.14 pav. Ant fasadinės banguotosios skardos sienos rekomenduojama montuoti akmens vatos demblius, kurie yra padengti stiklo audinio sluoksniu, pritvirtinto prie rėminės konstrukcijos metaliniu tinklu arba perforuotomis plokštėmis. Tokio tipo garsą absorbuojanti konstrukcijos yra paprastos, tačiau gali sumažinti stacionariojo šaltinio sukeliamą triukšmą iki 12 dB (priklauso nuo sugeriančios medžiagos storio, pluošto tankio ir aukštų bei vidutinių dažnių diapazonų).

Ryškus triukšmo šaltinio keliamo triukšmo sumažinimas, lyginant su išmatuotu triukšmo lygiu, gali būti gautas vidutinių dažnių juostoje, kai rezultatai kinta 4–7 dB intervale, o maksimali garso sugertis gaunama, esant 1000 Hz dažniui (3.7 lentelė).

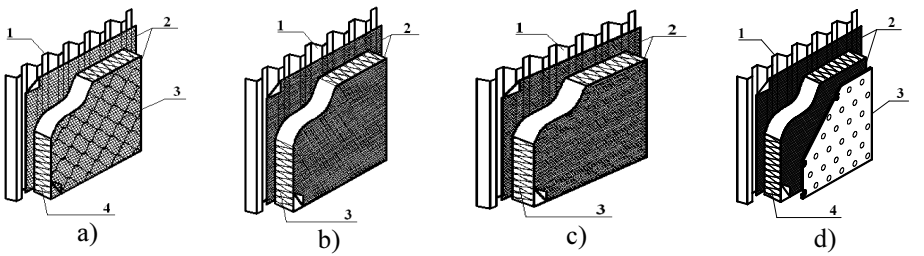
Atlikus analogiškus skaičiavimus su „Rockwoll“ firmos siūlomomis garsą sugeriančiomis konstrukcijomis, pastebėta, kad dengiant fasadines pastato sienas „Rock–Batts“ 75 mm storio plokščių konstrukcija (3.14 b pav.), galima gauti triukšmo šaltinio skleidžiamo triukšmo lygio vidutinių dažnių juostoje iki 9 dB sumažėjimą.

Biriųjų trąšų terminalo sienų dengimą atliekant su „Isover“ firmos produkcija, nustatyta, kad didžiausia garso sugertis (7 dB) yra 1000 Hz dažnių juostoje. Skaičiavimo rezultatai parodė, kad panaudojus „Isover“ firmos garsą sugeriančias plokštes „Akusto industrial Tara“ (3.14 c pav.), didžiausią triukšmo sumažėjimą galima gauti vidutinių ir aukštų dažnių juostoje, o tada šaltinio keliamo triukšmo lygio sumažinimas siektų 4–7 dB.

3.7 lentelė. Skaičiavimo rezultatų suvestinė, naudojant firmos „Paroc“ medžiagas

Table 3.7. Summary of calculation results when using Paroc's materials

Pažymėjimas	Dažnis, Hz							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Patalpos pastovioji (esant 1000 Hz), B_{1000}, m^2	–	–	–	–	400	–	–	–
μ, kai V>500, m^3	0,5	0,5	0,55	0,7	1	1,6	3	6
$B = \mu \cdot B_{1000}$, m^2	200	200	220	280	400	640	1200	1800
$L_{išm}$, dB	102	96	100	100	100	99	97	91
S, m^2	3187	3187	3187	3187	3187	3187	3187	3187
B+S, m^2	3387	3387	3407	3467	3587	3827	4387	4987
$\alpha_{vid.} = \frac{B}{B+S}$	0,06	0,06	0,06	0,08	0,11	0,17	0,27	0,36
$A_o = \alpha_{vid} (S - S_{pad})$	96,6	96,6	104,3	130,4	179,4	272,3	440,3	587,1
ΔA_r	110	112	110	600	1560	1810	1640	1080
α_{pad}	–	–	0,27	0,66	0,91	0,95	0,89	0,7
S_{pad}	–	–	251	909	1714	1905	1842	1542
$B_1 = \frac{A_0 + \Delta A_r}{1 - \alpha_{vid}}$	220	222	229	780	1977	2509	2850	2605
$\Delta L = 10 \lg B_1/B$, dB	0	0	0	4	7	6	4	2

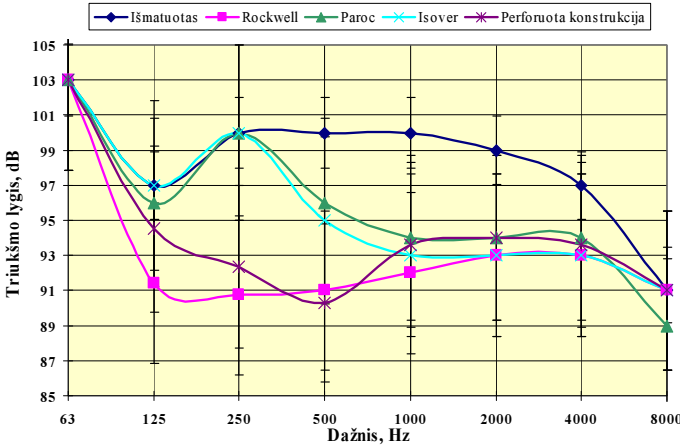


3.14 pav. Garsą sugeriančių konstrukcijų pjūviai: a) 1 – banguotosios skardos išorinė sienelė, 0,6 mm storio, bangos aukštis 20 mm; 2 – stiklo audinys, lyginamasis svoris 200 g/m^2; 3 – vielos tinklas, vielos storis 3 mm, akutės dydis 40 × 40 mm; 4 – akmens vatos plokštės „Paroc“ UNS – 37, storis – 75 mm, lyginamasis svoris 26–32 kg/m^3;b) 1 – banguotosios skardos išorinė sienelė 0,6 mm storio, bangos aukštis 20 mm; 2 – stiklo audinys; 3 – „Rockwool“ akmens vatos plokštė 75 mm storio, tankis – 45 kg/m^3; c) 1 – banguotosios skardos išorinė sienelė 0,6 mm storio, bangos aukštis 20 mm; 2 – stiklo audinys; 3 – „Isover“ „Akusto industrial Tara“ stiklo vatos plokštė 75 mm storio, 12,5 kg/m^3 tankio; d) 1 – banguotosios skardos išorinė sienelė 0,6 mm storio, bangos aukštis 20 mm; 2 – stiklo audinys; 3 – metalinė perforuota plokštė, 1 mm storio, perforacija 30 %, kiaurymės skersmuo 3,5 mm; 4 – akmens vatos demblys 75 mm storio, 32 kg/m^3 tankio

Fig. 3.14. Sections of sound-absorbing structures

3.14 d paveiksle pateikta konstrukcija su perforuotąja plokšte, skirta fasadinėms sienoms dengti. Perforuotos konstrukcijos su garsą sugeriančia medžiaga naudojamos siekiant padidinti sugeriančios juostos plotį. Kai plokštė yra perforuota ir perforacijos procentas didėja, tada labai didėja garso sugerties koeficientas, pradedant 250 Hz ir aukštesniems dažniams. Tačiau geriausias garso izoliavimo efektas pasiekiamas esant iki 20–30 % perforacijos laipsniui. Esant didesniam perforacijos procentui, garso sugertį nulemia sugeriamosios medžiagos struktūra. Šiuo atveju terminalo fasadines sienas padengus 3.14 d paveiksle pateikta konstrukcija, galimas triukšmo šaltinio keliamo garso sumažėjimas vidutinių dažnių juostoje siektų iki 10 dB.

Tūrinio garso šaltinio keliamo triukšmo sumažėjimo rezultatai gauti mažinimo priemones pritaikius pačiame šaltinyje, pateikti 3.15 paveiksle.



3.15 pav. Triukšmo sumažėjimas sienas dengiant „Paroc“, „Rockwool“ ir „Isover“ medžiagomis bei konstrukcijomis su perforuotuoju apdangalu

Fig. 3.15. Noise reduction when applying „Paroc“, „Rockwool“ ir „Isover“ materials and structures with perforated cover on walls

Fasadines terminalo sienas padengus „Rockwool“ firmos mineralinės vatos plokštėmis, gauti geriausi triukšmo šaltinio sukelto triukšmo sumažėjimo rezultatai: didžiausias triukšmo sumažėjimas (6–9 dB) būtų esant 250–2000 Hz dažniams. Taip pat galima pastebėti, kad viena iš efektyviausių priemonių gali būti konstrukcija su perforuotuoju apdangalu, kuris sumažintų šaltinio–šiuo atveju veikiančių vibracinių įrenginių, keliamo triukšmo lygį vidutinio dažnio juostoje 5–10 dB.

Kiek mažesnis triukšmo šaltinio keliamo triukšmo sumažėjimas pasiekiamas fasadines pastato sienas padengus „Paroc“ ir „Isover“ firmų medžiagomis. Beveik identiškas (nuo 4 iki 7 dB) garso izoliavimo efektas gaunamas slopinant 500–4000 Hz dažnio triukšmą.

Todėl pagal 3.15 paveiksle pateiktus rezultatus, laikoma, jog fasadines sienas padengus 3.14 b pav. pateikta garsą sugerenčiąja konstrukcija pasiekiamas didžiausias triukšmo šaltinio sukelto triukšmo pačiame šaltinyje sumažinimas. Tokiu atveju ekvivalentinio triukšmo lygis gyvenamojoje teritorijoje, sumažėjęs dėl triukšmo mažinimo priemonių įdiegimo, siektų 56 dBA. Triukšmo lygis nebūtų sumažintas iki leistinųjų lygių, todėl būtina aukštinti triukšmo slopinimo sienelę, kurios aukštis biriųjų trąšų terminalu yra 8 metrai.

Triukšmo slopinimo sienelės efektyvumo skaičiavimas. Iš anksčiau pateiktų triukšmo matavimo rezultatų matyti, kad triukšmo lygis gyvenamojoje teritorijoje viršija leistinąsias, t. y. turi būti aukštinama 8 m aukščio triukšmo slopinimo sienelė.

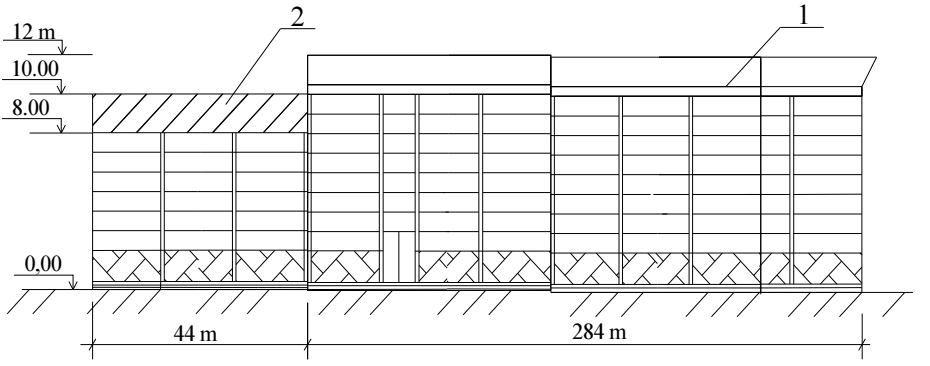
3.8 lentelė. Triukšmo lygio sumažėjimo skaičiavimo rezultatų suvestinė

Table 3.8. Summary of noise level reduction calculation results

Pavadinimas	Dažnis, Hz					
	125	250	500	1000	2000	4000
Akustinis triukšmo slopinimo sienelės efektas N_v	0,44	0,88	1,76	3,53	7,06	14,12
Triukšmo slopinimo sienelės ΔL_v, dB	9,4	12,5	15,5	18,5	21,5	24,5
Triukšmo slopinimo sienelės akustinė varža R, dB	12	20	36	35	43	46
Triukšmo slopinimo sienelės medžiagų vidutinis garso sugerties koeficientas, $\alpha_{vid.}$	0,15	0,5	0,8	0,95	0,93	0,9
Triukšmo slopinimo sienelės plotas S, m^2	1536	1536	1536	1536	1536	1536
Garsą sugeriančių medžiagų efektyvusis plotas S_p, m^2	1152	1152	1152	1152	1152	1152
Triukšmo slopinimo sienelės ekvivalentinis plotas A, m^2	173	576	922	1094	1071	1037
Triukšmo slopinimo sienelės ΔL_R, dB	2,5	15,7	33,8	33,5	41,4	44,3
Garso slėgio lygis taške M, dB	71	68	48	46	37	27
Garso slėgio lygis taške M, padengus terminalo fasadines sienas, dB	65	58	39	38	31	21

Akustiniai skaičiavimai yra atlikti pasinaudojus 2.7 paveiksle pateikta schema, pagal kurią garso slėgio lygiai yra nustatyti artimiausio gyvenamojo namo viršutiniajame aukšte. Nustačius jame triukšmo lygius, kurie neviršija leistinų verčių, galima bus teigti, jog nuo įmonės sukelto per didelio triukšmo yra apsaugoti ir žemesniųjų gyvenamojo namo aukštų gyventojai. Atliktais skaičiavimais nustatyti triukšmo lygiai gyvenamoje teritorijoje, triukšmo slopinimo sienelę paaukštinus iki 10 metrų aukščio, pateikti 3.8 lentelėje.

Triukšmo, sklindančio iš stacionariojo triukšmo šaltinio į gyvenvietę, akustinių skaičiavimų įvertinimas vykdomas pagal 2.5–2.10 formules. Iš 3.8 lentelėje pateiktų rezultatų nustatyta, kad triukšmo slopinimo sienelės paaukštinimas iki 10 metrų aukščio leistų triukšmo lygį gyvenvietėje sumažinti 3–4 dB, iki leistinų lygių, t. y. ekvivalentinio triukšmo lygis siektų 55 dBA. 3.16 paveiksle pateiktas siūlomas garso slopinimo sienelės paaukštinimas.



3.16 pav. Siūlomas triukšmo slopinimo sienelės paaukštinimas: 1 – esama sienelė; 2 – rekomenduojamas sienelės paaukštinimas

Fig. 3.16. The proposed heightening of a noise barrier: 1 – the present noise barrier; 2 – the recommended increase in the barrier‘s height

Kompleksinis triukšmo mažinimo priemonių įdiegimas (fasadinių sienų dengimas garsą sugerenčiąja medžiaga bei triukšmo slopinimo sienelės ties biriųjų trąšų terminalu paaukštinimas iki 10 metrų aukščio) leistų gyvenvietėje ekvivalentinio triukšmo lygį sumažinti iki 52 dBA.

Tačiau jeigu 10 metrų aukščio triukšmo slopinimo sienelė būtų sukonstruota iš kameriniuose eksperimentuose tirtos konstrukcijos Nr. 3 medžiagų (žr. 2.1 lentelę), kurios garso ore silpninimo rodiklio DL_R vertė siekia 33±1 dB, atlikus analogiškus akustinius skaičiavimus pagal 2.5–2.10 formules, gaunama, kad triukšmo lygis gyvenvietėje būtų sumažintas iki 58 dBA. Vien dėl jos būtų galima sumažinti triukšmo lygį gyvenvietėje iki reikiamo 55 dBA lygio, triukšmo slopinimo sienelės aukštį padidinus iki 14 metrų.

3.4. Mobiliųjų šaltinių keliamo triukšmo tyrimai ir analizė

3.4.1. Geležinkelių ir automobilių transporto keliamo triukšmo plitimo ypatumai

Geležinkelių transporto keliamas triukšmas ir jo sklaida. Pagrindinės triukšmo viršijimo priežastys gyvenamojoje aplinkoje bei patalpose yra triukšmą mažinančių sienelių tarp geležinkelio bėgių ir gyvenamųjų namų teritorijų nebuvimas, gyvenamųjų namų statyba geležinkelio sanitarinėje apsaugos zonoje, neatlikta stoties regiono namų sienų ir langų renovacija, bloga riedmenų, geležinkelio ir jo bėgių būklė, per didelis traukinių važiavimo greitis geležinkelio stočių ribose.

Kaip buvo minėta antrajame skyriuje, geležinkelių transporto sukelto triukšmo matavimams buvo parinktos charakteringos matavimo vietos, atsižvelgus į atstumą nuo geležinkelio bei kliūtis, veikiančias triukšmo sklaidą (želdinius, pastatus, pylimus ir kt.). Triukšmo lygiai įvertinti matavimo rezultatus palyginus su leidžiamosiomis triukšmo lygio vertėmis, nurodytomis higienos normoje HN 33:2007.

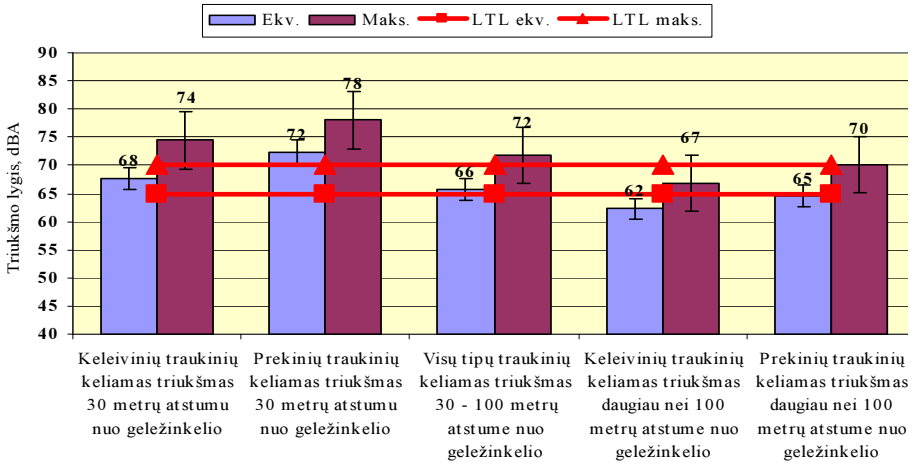
Iš literatūros yra žinoma, kad, tolstant nuo triukšmo šaltinio, jo skleidžiamas triukšmas silpnėja. Šiuo atveju taip pat siekiama nustatyti geležinkelio transporto keliamo triukšmo sklaidą atsižvelgus į atstumą tarp matavimo vietos ir geležinkelio. Iš atliktų geležinkelio transporto keliamo triukšmo tyrimų 19-oje Lietuvos geležinkelio stočių regionų, 3.17 paveiksle pateikti duomenys apie triukšmo lygius, įvertinus atstumą iki geležinkelio bėgių bei geležinkelio transporto tipą.

Nustatyta, kad didžiausias ekvivalentinio triukšmo lygis būna arti geležinkelio esančiose teritorijose (iki 30 metrų) pravažiuojant prekiniams traukiniams. Šio tipo traukinių sukeltas triukšmas matavimo vietose, esančiose iki 30 metrų atstumu iki geležinkelio, vidutiniškai siekia 72 dBA ir leistinąjį triukšmo lygį (LTL) viršija 7 dBA. Tuo tarpu tose pačiose matavimo vietose išmatavus pravažiuojančių keleivinių traukinių keliamą triukšmą, nustatyta, kad LTL viršijamas apie 3 dBA.

Lyginant keleivinių ir prekinių traukinių keliamo triukšmo lygius, galima manyti, kad didesnį triukšmą nulemia traukinio sąstato ilgis – prekinių traukinių sąstatas apima virš 50 vagonų, tuo tarpu keleivinių 3–17 vagonų. Be to, prekinių traukinių sąstato svoris taip pat daug didesnis nei keleivinių.

Maksimalaus triukšmo lygio tyrimų metu, nustatyta, kad prekinių traukinių keliamas triukšmas mažiau nei 30 metrų atstumu nuo geležinkelio bėgių vidutiniškai LTL viršija 8 dBA, o keleivinių traukinių 4 dBA.

Išanalizavus duomenis, triukšmo tyrimus atlikus 30–100 metrų atstumu nuo geležinkelio, gauti duomenys parodė, kad visų tipų traukinių keliamas triukšmas vidutiniškai siekė 66 dBA, t. y. beveik sutapo su LTL.



3.17 pav. Geležinkelio transporto keliamo triukšmo priklausomybė nuo atstumo iki matavimo vietos

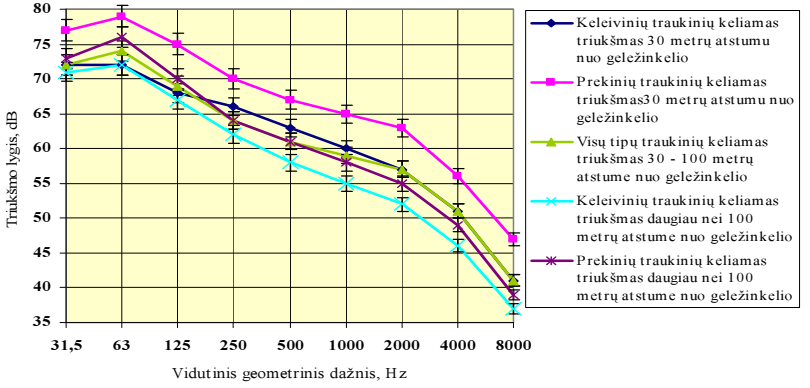
Fig. 3.17. The dependence of the noise generated by railway traffic in the distance to the measurement location

Esant didesniam nei 100 metrų atstumui nuo geležinkelio (bet ne toliau nei 150 m.), matyti, kad pravažiuojančių keleivinių traukinių sukelti ekvivalentiniai ir maksimalūs triukšmo lygiai leistinųjų lygių neviršija. Tuo tarpu prekinių traukinių sukeltas triukšmo lygis beveik sutampa su LTL, bet jo neviršija. Todėl galima daryti išvadą, kad daugiau nei už 100 metrų nuo geležinkelio pastatytų gyvenamųjų namų teritorijose geležinkelio transporto sukelti triukšmo lygiai neviršija LTL.

3.18 pav. pateiktos geležinkelių transporto sukelto triukšmo dažninės charakteristikos. Iš pateiktų rezultatų matyti, kad geležinkelių transporto sukeltame triukšme dominuoja žemo dažnio garsai, o aukšto dažnio garso lygis 15–20 dB žemesnis negu žemo dažnio.

Matavimo vietose, parinktose toliau nuo geležinkelio bėgių, matyti, kad geležinkelio transporto sukeltas triukšmas neviršija leistinųjų lygių, tačiau dominuojantis triukšmas nustatytas esant žemiems (64–72 dB) ir vidutinio aukštumo dažniams (55–66 dB).

Literatūroje aptinkama teiginių, kad, neišgalint izoliuoti triukšmo pačiame triukšmo šaltinyje, būtina imtis įvairių triukšmo prevencijos priemonių mažinant arba ribojant triukšmo sklaidą. Geležinkelio stočių regionuose bei arti geležinkelio linijų galima aptikti įvairių triukšmo sklaidą ribojančių objektų. Mūsų šalyje, vis dar vangiai įgyvendinant pasaulyje plačiai taikomas triukšmo sklaidą mažinančias priemones (triukšmo slopinimo sieneles), šią funkciją atlieka arčiau geležinkelio stovintys ūkinės paskirties pastatai, garažai, želdiniai. Taip pat viena iš priemonių slopinti triukšmo sklaidą į gyvenamąją aplinką yra geležinkelio linijų įrengimas įdubose.



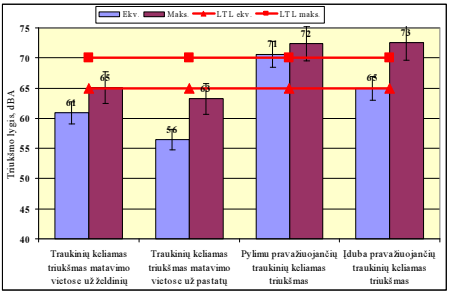
3.18 pav. Triukšmo sklaidos dažninės charakteristikos priklausomybė nuo atstumo iki matavimo vietos

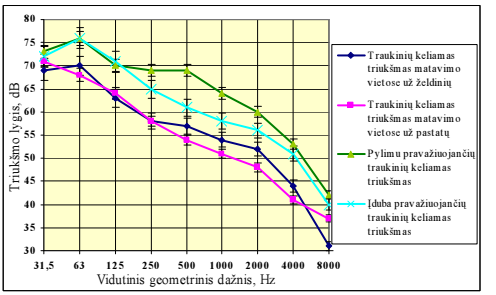
Fig. 3.18. The dependence of the frequency characteristics of noise dispersion on the distance to the measurement location

3.19 paveiksle pateikti geležinkelio transporto keliamo triukšmo sklaidos ypatumai 100 metrų atstumu nuo geležinkelio, atsižvelgus į tarp geležinkelio ir matavimo vietų įsiterpusius objektus. Kaip matyti iš pateikto paveikslo, geriausiai triukšmo sklaidą riboja arti geležinkelio linijų esantys pastatai. Tarp pastatų parinktose matavimo vietose atliktų triukšmo lygių tyrimų metu vidutiniškai nustatytas 56 dBA ekvivalentinis triukšmo lygis. Atliktų matavimų metu pastebėta, kad dauguma pastatų, esančių arti geležinkelio, yra senos statybos ir prastos būklės. Tokie pastatai – ekranai sėkmingai slopina triukšmo sklaidą nuo geležinkelio linijų, tačiau susiduriama su kita problema, jog didesnė šių pastatų dalis yra gyvenamosios paskirties.

Parinkus geležinkelio transporto keliamo triukšmo matavimo vietas miškingose ir medžiais užsodintose vietovėse, buvo įvertintas želdinių efektas triukšmo sklaidai. Tyrimai buvo atlikti šiltuoju metų laiku, kai buvo vešli medžių lapija.

Kaip matyti iš 3.19 paveikslo, ekvivalentinis triukšmo lygis vietovėse, kurias nuo geležinkelio linijų užstoja želdinių juostos ir miškingos zonos, vidutiniškai siekia 61 dBA. Lyginant su atviroje vietoje atliktų traukinių keliamo triukšmo lygiais, želdiniai iki 5 dBA sumažina triukšmo lygį.





3.19 pav. Geležinkelio mazgo regionuose esančių objektų įtaka geležinkelio transporto keliamo triukšmo sklaidai

Fig. 3.19. The influence of the objects located within the regions of a railway junction on the dispersion of the noise generated by railway traffic

Dažniausiai esant nelygiam vietovės reljefui, pvz., upių slėniams, geležinkelio linijos įrengiamos ant pylimų, įdubose. Lyginant pylimu ir įduba pravažiuojančių traukinių sukelto ekvivalentinio triukšmo lygių skirtumą, nustatyta, kad 5 dBA didesnis triukšmo lygis nustatytas traukiniams važiuojant pylimu. Be to, šiuose geležinkelio ruožuose nustatytas didžiausias triukšmo lygis esant žemiems dažniams ir siekė 69–75 dB, o esant 500–1000 Hz dažniui – 60–70 dB (3.19 pav.).

Geležinkelio linijas įrengus ant pylimų, nebelieka jokių kliūčių pravažiuojančio geležinkelio transporto sukeltam triukšmui sklisti pylimo šlaitu, ir todėl 100 metrų atstumu nuo pylimo geležinkelio transporto sukelto triukšmo lygis vidutiniškai siekia apie 70 dBA.

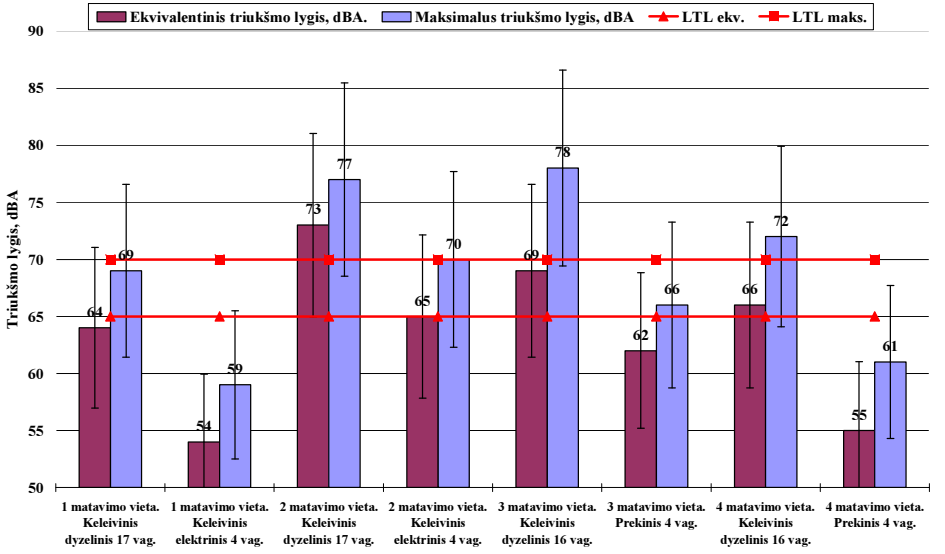
Tuo tarpu pagal ekvivalentinio triukšmo vidutines reikšmes, nustatytas matavimus atliekant prie stačiais šlaitais įrengtų įdubų, kuriose pravažiuoja traukiniai, gautos vertės vidutiniškai sutampa su leistinaisiais triukšmo lygiais t. y. 65 dBA. Tiesioginį triukšmo plitimą riboja statūs įdubos šlaitai, nes įdubos aukštis paprastai būna apie 6 metrus, o tokiu atveju geležinkelio transporto sukeltas triukšmas, atspindėtas nuo šlaitų slopsta, ir sklaida vyksta vertikalia kryptimi.

Iš pateiktų rezultatų galima daryti išvadą, kad esant visiems dažnių diapazonams sukeltas triukšmas labiausiai slopinamas matavimo vietose, kurias nuo ge-

ležinkelio riboja įvairios paskirties pastatai. Be to, už pastatų esančiose zonose, nustatytas triukšmo lygis, esant aukštiems dažniams, yra apie 10 dB mažesnis negu tokiu pačiu atstumu atviroje vietovėje.

Detalesniam triukšmo sklaidos tyrimui geležinkelio stoties regione parinkta Panerių geležinkelio stotis. Ši stotis, pagal ją pravažiuojančių traukinių skaičių yra viena intensyviausių šalyje, nes Paneriai yra jungiančiame Vilnių ir Kauną ruože.

Pagal atliktus geležinkelio keliamo triukšmo tyrimus pastebime, kad 1.1 matavimo vietoje pravažiuojant keleiviniams traukiniams leistinasis ekvivalentinis triukšmo lygis nebuvo viršytas (3.20 pav.). Ekvivalentinio triukšmo lygis neviršijamas 1-oje matavimo vietoje, pravažiavus keleiviniam dyzeliniam traukiniui, nes priešais matavimo vietą esantys gyvenamieji pastatai bei pavieniai medžiai pakankamai slopina triukšmo sklaidą.



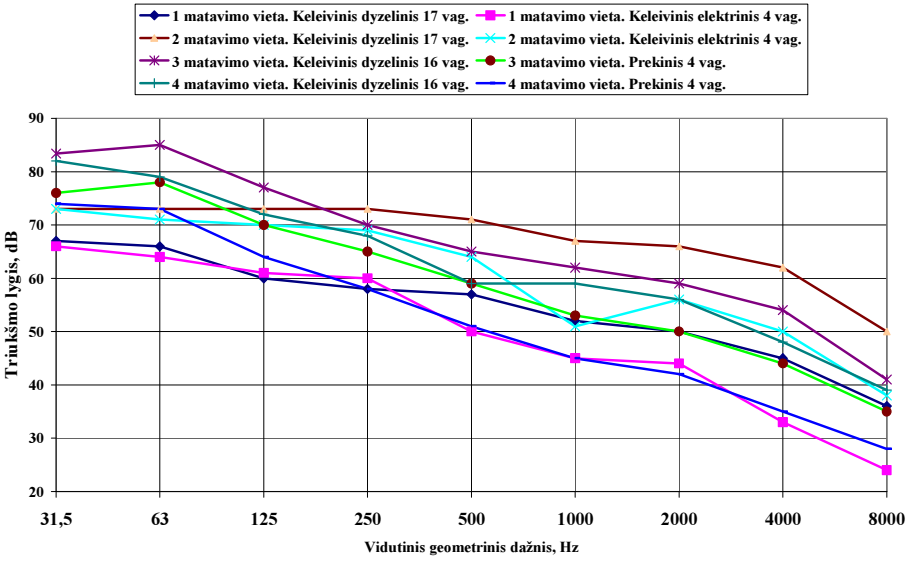
3.20 pav. Geležinkelio transporto keliami ekvivalentiniai ir maksimalūs triukšmo lygiai Panerių geležinkelio stoties matavimo vietose, nustatyti dienos metu

Fig. 3.20. The equivalent and maximum noise levels caused by the railway traffic in the measurement locations at the Paneriai Railway Station during the daytime

2 matavimo vietoje nustatytas triukšmo lygis leistinąjį viršijo tik pravažiavus keleiviniam dyzeliniam traukiniui. Tranzitinis traukinys dideliu greičiu pravažiavo nesustodamas stotyje, ir leistinasis ekvivalentinis triukšmo lygis (LTL) buvo viršytas 8 dBA. Atstumas nuo matavimo vietos iki bėgių yra 45 metrai, tačiau šioje vietoje keleivinio elektrinio traukinio sukeltas triukšmas leistinojo neviršijo.

Taip pat 3 matavimo vietoje išmatuotas triukšmo lygis leistinąjį viršijo (4 dBA) pravažiavus keleiviniam dyzeliniam traukiniui. Šio tipo traukiniai įveikia stoties ruožą gana dideliu greičiu, joje nesustodami, taip sukeldami didesnį triukšmo lygį už prekinius traukinius, kurie privalo stoties regionuose dienos metu važiuoti sumažinę greitį.

4 matavimo vietoje buvo išmatuoti triukšmo lygiai, pravažiuojant keleiviniam dyzeliniam traukiniui ir prekiniam 4 vagonų sąstatui. Šioje matavimo vietoje leistinasis ekvivalentinis triukšmo lygis buvo viršytas 1 dBA, o maksimalus – 2 dBA. LTL viršijimas, palyginus su 3 matavimo vieta, mažesnis, nes ši matavimo vieta nuo geležinkelio bėgių yra atitolusi 100 metrų atstumu, nors priešais matavimo vietą nėra garso plitimą veikiančių kliūčių.



3.21 pav. Geležinkelio transporto keliamo triukšmo sklaidos dažninė charakteristika Panerių geležinkelio stoties matavimo vietose dienos metu

Fig. 3.21. The frequency characteristics of dispersion of the noise caused by railway traffic in the measurement locations at the Paneriai Railway Station during the daytime

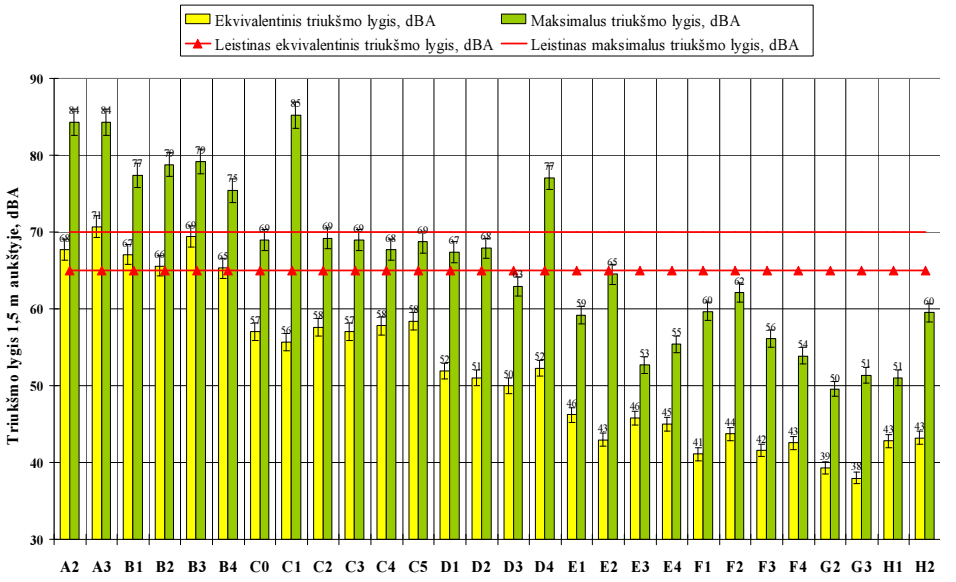
Siekiant detaliau išanalizuoti geležinkelio transporto sukelto triukšmo sklaidą, 3.21 paveiksle pateiktos dažninės geležinkelio keliamo triukšmo tyrimų charakteristikos. Visose matavimo vietose nustatyta, kad labiausiai dominuoja t. y. didžiausi triukšmo lygiai yra esant žemiems dažniams (31,5–250 Hz). Esant šiam dažnių diapazonui nustatyti iki 85 dB triukšmo lygiai. Yra ištirta, kad geležinkelio transporto sukelto triukšmo lygių viršijimai esantys iki 400 Hz dažnių ribose, yra veikiami geležinkelio pabėgių. Bėgiai ir jų būklė veikia triukšmo lygius, esančius 400–2000 Hz dažnių diapozonų ribose, o aukštų dažnių triukšmas (virš 2000 Hz) labiausiai priklauso nuo sąstatų ratų būklės. Taip pat kitų autorių (Vasarevičius ir Graudinytė 2004) publikacijose minima, kad dyzeliniuose lokomotyvuose vyrauja pirmyn, atgal judančių dalių, turbokrautuvų keliami garsai, todėl jų sukeltas triukšmas, o ypač žemo dažnio, yra didesnis už elektrinių traukinių sukeltą triukšmą.

Kardinaliausias būdas išspręsti vis didėjantį nepasitenkinimą dėl geležinkelių transporto keliamo triukšmo ir vibracijos būtų gyvenamųjų namų statybos uždraudimas tokiose zonose, kur betriukšmės gyvenamosios aplinkos užtikrinti neįmanoma.

Ištyrus Panerių geležinkelio stoties regioną, buvo nustatyti padidėję triukšmo gyvenamojoje teritorijoje lygiai. Todėl, pasinaudojus „CadnaA“ triukšmo sklaidos modeliavimo programa, 4.2 skyriuje pateiktos triukšmo sklaidos į gyvenamąją aplinką mažinimas.

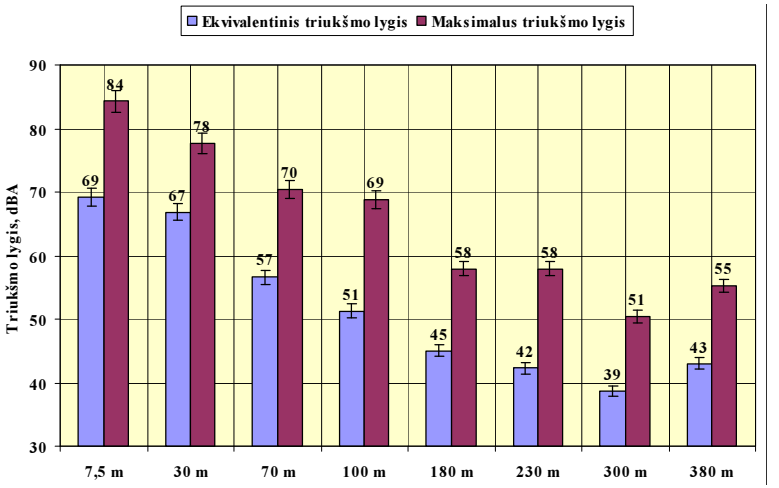
Autotransporto keliamas triukšmas ir jo sklaida. Išmatavus triukšmo lygį Naujasodžių gyvenvietėje (2.11 pav.) 1,5 m aukštyje, didžiausi triukšmo lygiai nustatyti matavimo vietose (A2, A3, B1, B2, B3, B4), kurios yra arčiausiai A2 automagistralės Vilnius – Panevėžys (3.22 pav.). Didžiausi išmatuoti ekvivalentinio triukšmo lygiai siekia 69–71 dBA, maksimalaus triukšmo lygiai kinta nuo 75 iki 84 dBA. Nuo automagistralės tolstant į gyvenvietę, pasirinktose matavimo vietose buvo nustatyti mažėjantys triukšmo lygiai.

Gyvenvietėje esančių gyvenamųjų namų zonoje nustatyti ekvivalentinio triukšmo lygiai siekia 50–52 dBA, o 4 metrų aukštyje – 53–56 dBA. Maksimaliojo triukšmo lygiai matavimo vietose, parinktose prie gyvenamųjų namų, esančių 120 metrų atstumu nuo automagistralės, siekia 63–77 dBA. Nors leistinasis maksimalusis triukšmo lygis viršytas tik D2 matavimo vietoje (2 dBA), tačiau daugelyje matavimo vietų, esančių arčiau nei 120 metrų atstumu nuo automagistralės, nustatyti maksimalaus triukšmo lygiai sutapo su leistinuoju ir siekė 60–70 dBA. Tam įtakos turi tai, kad net ir vieno techniškai netvarkingo ar dideliu greičiu automagistrale pravažiavusio automobilio ar motociklo sukeltas triukšmas gali sukelti didelį maksimalų (momentinį) triukšmo lygį.



3.22 pav. Nustatyti triukšmo lygiai Naujasodžių gyvenvietėje

Fig. 3.22. Noise levels recorded in Naujasodžiai residential area

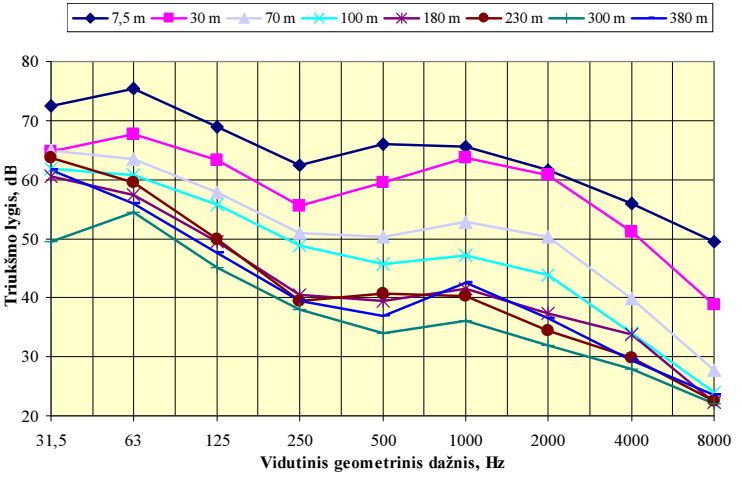


3.23 pav. Automobilių transporto keliamo triukšmo sklaida į gyvenvietę

Fig. 3.23. Dispersion of the traffic-generated noise to the residential area near Naujasodžiai residential area

Automagistrale pravažiuojančio automobilių transporto sukelto triukšmo sklaidos į gyvenamąją teritoriją priklausomybė nuo atstumo pateikta 3.23 paveiksle. Kaip matyti iš paveikslo, triukšmo silpnėjimas yra beveik tiesiškai priklausomas nuo atstumo. Tolstant nuo magistralės, esanti apie 7 metrų aukščio kelio sankasa sėkmingai stabdo tiesioginių garso bangų patekimą į gyvenvietę. Matyti, kad matavimus atliekus 30 m atstumu nuo automagistralės (t. y. matavimo vietos buvo pasirinktos ant kelio sankasos keteros), vidutiniškai nustatytas 67 dBA triukšmo lygis, o už 70 metrų nuo automagistralės – 57 dBA. Tai paaiškintina kelio sankasos sudaromu „šešėlio zonos“ efektu, kai už kliūties garso bangos difraguoja.

Tolstant į gyvenvietę, užstatytoje namais zonoje, esančioje apie 100–230 metrų atstumu nuo automagistralės, triukšmo lygis siekia 42–51 dBA. Šis triukšmo lygių skirtumas gali būti paaiškinamas tuo, kad dėl pastatų triukšmo ekranavimo iki 10 dBA didesni triukšmo lygiai nustatyti gyvenvietės pradžioje, nei už gyvenamųjų namų masyvo. Kaip matyti iš 3.23 paveikslo, už 380 m nuo automagistralės prasidedantis miškas taip pat veikia triukšmo lygį, jį 3–4 dBA padidindamas, palyginti su atviroje vietovėje gautais triukšmo lygio rezultatais. Triukšmo lygis padidėja dėl to, kad dalis garso bangų yra atspindėtos nuo kliūties, šiuo atveju nuo miško.



3.24 pav. Triukšmo sklaidos dažninė charakteristika dienos metu Naujasodžių gyvenvietėje

Fig. 3.24. The frequency characteristics of noise dispersion in Naujasodžiai area in the daytime

Siekiant parinkti ir pritaikyti triukšmo mažinimo priemones nagrinėjamojo triukšmo šaltinio keliamam triukšmui mažinti, svarbu nustatyti dažnines triukšmo charakteristikas. 3.24 paveiksle pavaizduota automobilių transporto sukelto triukšmo dažninė charakteristikos dinamika tolstant nuo automagistralės į gyvenvietę.

Iš Naujasodžių gyvenvietėje dienos metu atliktų triukšmo tyrimų dažninės charakteristikos matyti, kad didžiausi triukšmo lygiai nustatyti 7,5 metrų atstumu nuo automagistralės parinktose matavimo vietose. Tolstant nuo automagistralės, triukšmo lygiai proporcingai mažėja, o matavimo vietose, esančiose prie gyvenamųjų namų, esant žemiems dažniams, triukšmo lygiai siekė 48–62 dB, esant vidutiniams dažniams – apie 45 dB (3.24 pav.).

Arčiausiai automagistralės 7,5 metrų atstumu esančiose matavimo vietose matyti, kad esant žemiems dažniams (31,5–250 Hz) triukšmo lygiai siekė 62–75 dB, o esant vidutinio aukštumo dažniams (500–2 000 Hz), nustatyti triukšmo lygiai siekė 62–65 dB.

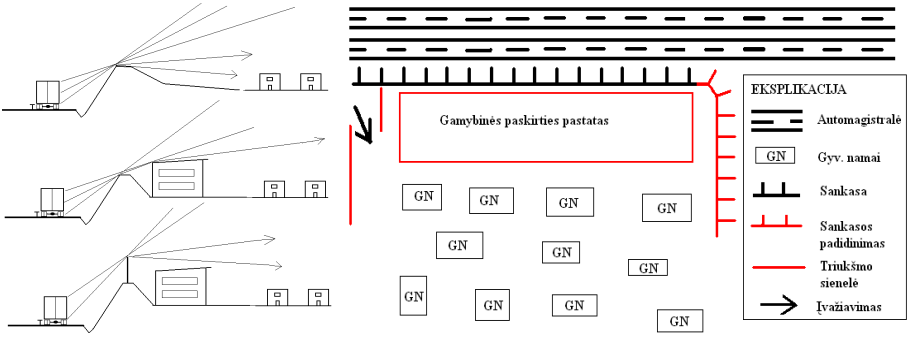
Matavimo vietose, esančiose prie ir tarp gyvenamųjų namų, t. y. 120–230 m atstumu nuo automagistralės, didžiausi triukšmo lygiai esant žemiems dažniams siekė apie 62 dB, o esant vidutinio aukštumo dažniams 35–43 dB. 300–400 metrų atstumu nuo automagistralės triukšmo lygiai esant žemiems dažniams siekė 40–60 dB, o esant vidutinio aukštumo ir aukšto dažniams – 24–42 dB.

3.4.2. Priemonės mobiliųjų šaltinių keliamam triukšmui mažinti

Pagal Naujasodžių gyvenvietėje atliktus A2 automagistrale Vilnius – Panevėžys pravažiuojančio autotransporto skirtingais paros laikais (dienos, vakaro ir nakties) sukelto triukšmo tyrimų rezultatus, matyti, kad didžiausi (65–71 dBA) ekvivalentinio triukšmo lygiai nustatyti iki 30 m atstumu nuo magistralės parinktose triukšmo lygio matavimo vietose. Tolstant nuo automagistralės į gyvenamąją teritoriją, triukšmo lygiai mažėja ir prie artimiausių gyvenamųjų namų ekvivalentinio triukšmo lygiai siekia 49–57 dBA. Analizuojant nuo magistralės sklindančio triukšmo dažninę charakteristiką, matyti, kad didžiausi triukšmo lygiai nustatyti esant žemiems (31,5–250 Hz) ir vidutinio aukštumo (500–2000 Hz) dažniams.

Esant linijiniam triukšmo šaltiniui (automagistrale važiuojančios autotransporto priemonės), rekomenduotina triukšmo mažinimo priemones diegti kiek galima arčiau automagistralių. Tarp automagistralės ir gyvenamųjų namų zonos yra neužstatyta gamybinės paskirties zona, kurioje negalima gyvenamųjų namų statyba. Todėl šią teritoriją būtina išnaudoti apsaugai nuo automagistrale važiuojančių automobilių keliamo triukšmo sklidimo į gyvenvietę. Šioje vietoje tinkamiausia būtų pastatyti gamybinės paskirties pastatą–ekraną (arba keletą pastatų), kuris

ribotų triukšmo sklaidą nuo automagistralės (3.25 a pav.). Šio statinio efektyvumas slopinti triukšmo sklaidą į gyvenvietę priklauso nuo jo aukščio, pločio, užimamo ploto, išdėstymo gyvenvietės atžvilgiu.



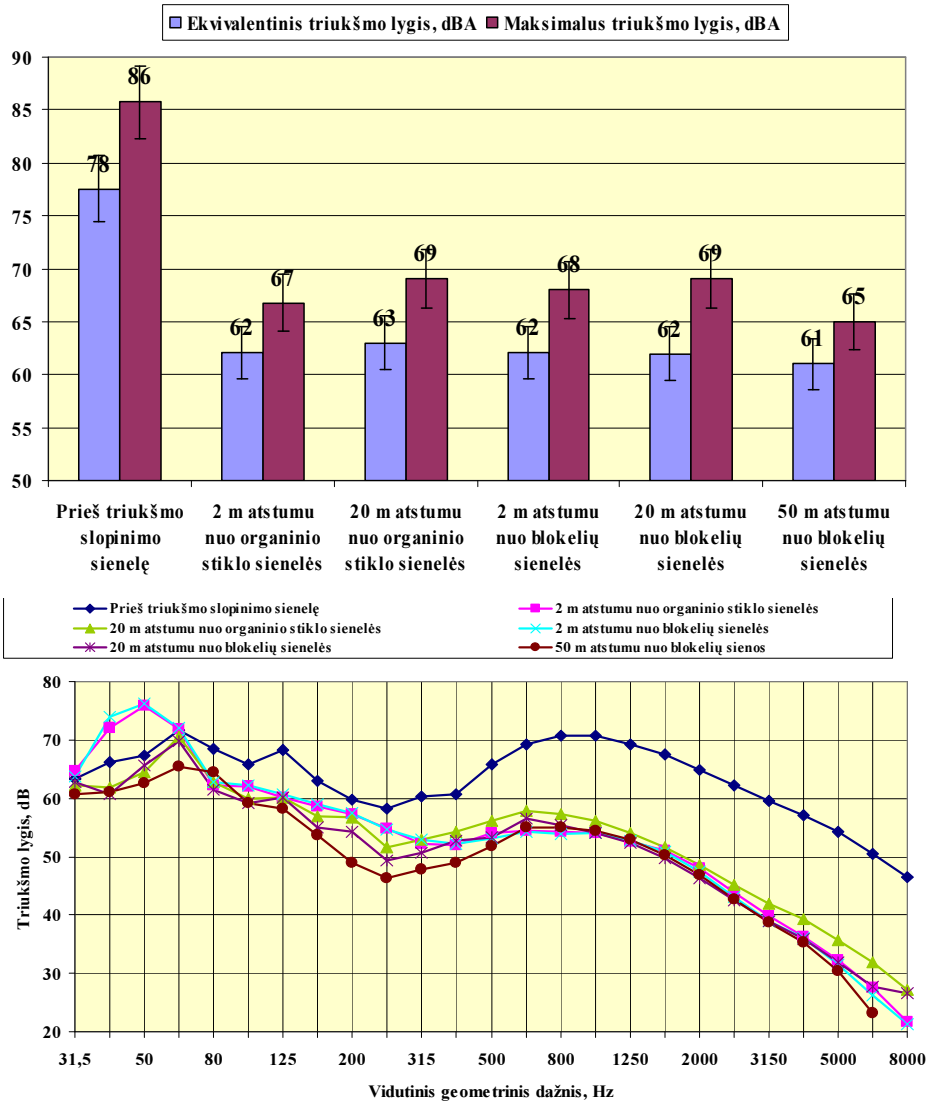
a) b)

3.25 pav. Autotransporto triukšmo sklaidos į gyvenvietę mažinimas:
a) sankasos, gamybinio pastato bei triukšmo sienelės įtaka triukšmo sklidimui į gyvenvietę; b) siūlomų triukšmo mažinimo priemonių išdėstymo schema

Fig. 3.25. Reduction of traffic-generation noise spread to the residential area:
a) the influence of embankment, industrial building and noise reduction barrier on the noise spread to the residential area; b) layout scheme of the proposed noise reduction means in the residential area

Geriausia, kad pastatas būtų kuo aukštesnis, platesnis, ilgesnis, t. y. sudarytų kuo didesnį triukšmo sklaidą ribojantį plotą. Be to, orientuojantis į pastato – ekrano statybą, reikia atsižvelgti į tai, kad jis būtų statomas, kiek įmanoma arčiau triukšmą keliančio šaltinio, šiuo atveju – automagistralės. Kuo pastatas būtų platesnis, tuo patektų mažiau triukšmo. Svarbu, kad pastatas būtų statomas ne tik atsižvelgus į jo funkcionalumą ir estetiką, bet ir į triukšmo skaidos mažinimą.

3.25 paveiksle pateikti pavyzdžiai automagsitrale važiuojančių automobilių keliamam triukšmo sklidimui į gyvenvietę slopinti. Šiuo atveju ypač didelę įtaką triukšmo sklidimui mažinti turi prie automagistralės esantis pylimas. Tačiau nesant reljefo aukščių skirtumo arba negalint įterpti jokių triukšmą slopinančių objektų, dažniausiai prie magistralių yra statomos triukšmo slopinimo sienelės. Šioms sienelėms taikomų medžiagų įvairovė yra ypač plati: nuo betono ir plytų iki plastiko ar organinio stiklo. Siekiant įvertinti iš skirtingų medžiagų įrengtų triukšmo slopinimo sienelių efektyvumą, buvo atliktas natūrinis eksperimentas, kurio rezultatai pateikiami 3.26 paveiksle.



3.26 pav. Triukšmo slopinimo sienelių iš skirtingų medžiagų eksperimentinių tyrimų rezultatai

Fig. 3.26. Findings of the experimental research on noise barriers made of different materials

Eksperimentas vykdytas tame pačiame kelio ruože, pravažiuojant tam pačiam transporto srauto kiekiui, pasirinkus matavimo vietas, nutolusias 200 metrų

atstumu viena nuo kitos. Šios matavimo vietos charakteringos tuo, kad tuo pačiu metu buvo tiriama tos pačios triukšmo sienelės, efektyvumas, kai jos dalis buvo pagaminta iš 10 mm storio organinio stiklo, o kita dalis iš 200 mm storio keramzitinių akytojo betono blokelių. Šios triukšmo slopinimo sienelės aukštis buvo vienodas ir siekė 3 metrus. Kaip matyti iš 3.26 paveiksle pateiktų rezultatų, triukšmo lygis, nustatytas už triukšmo slopinimo sienelės, siekė 62–63 dBA. Nesvarbu, ar triukšmo matavimai buvo vykdomi 2 ar 20 metrų atstumu už triukšmo slopinimo sienelės, triukšmo lygiai tuo pačiu atstumu už sienelės pagal paklaidų ribas buvo vienodi tiek už organinio stiklo, tiek už keramzitinių akytojo betono blokelių konstrukcijos dalies. Todėl galime daryti išvadą, jog efektyvus triukšmo slopinimas gali būti pasiektas, panaudojus lengvąsias konstrukcijas .

Atsižvelgus į triukšmo dažninės charakteristikos kitimą prieš triukšmo slopinimo sienelę ir už jos, matyti, kad blogiausiai slopinami žemo dažnio garsai (31,5–315 Hz). O 100 Hz ir žemesnio dažnio garsas, nustatytas iki 10 dB, yra didesnis už triukšmo slopinimo sienelės negu prieš ją. Tam turi įtakos žemo dažnio garso bangų suintensyvėjimas dėl žemės pagrindu bei triukšmo sienelės konstrukcijomis perėjusių garso bangų sklidimo.

Vidutinio aukštumo dažnio garso lygio sumažėjimas už triukšmo slopinimo sienelės siekia 7–14 dB, o aukšto dažnio – 15–20 dB. Todėl galima teigti, jog ypač didelį dėmesį būtina skirti žemo dažnio garsui slopinti, nes jas slopinti yra sudėtingiausia.

3.5. Trečiojo skyriaus išvados

1. Triukšmo slopinimo kameroje ištirtos ir palygintos akustinės skirtingų medžiagų ir jų kompozicijų savybės. Geriausia konstrukcija, iš tiriamųjų medžiagų pagal garso ore silpninimo rodiklį bei garso izoliacijos rodiklį, gauta triukšmo slopinimo sienelę sukomponavus iš medžio drožlių plokštės karkaso su stiklo arba akmens vatos užpildu.
2. Atlikus akustinius pavienių medžiagų tyrimus bei įvertinus jų galimybę mažinti triukšmo lygį, nustatyta, kad geriausiomis savybėmis pasižymi gipskartonio plokštė bei medžio drožlių plokštė. Didžiausios μ koeficiento vertės (15 000–19 000 m^{-1}) nustatytos plieno skardos lakšto medžiagai. Lyginant visų pavienių medžiagų, naudotų eksperimente, gautas koeficiento vertes, matyti, kad geresni rezultatai gaunami su didesnės tūrio masės medžiagomis.
3. Išnagrinėtas tūrinis stacionariojo triukšmo šaltinis į aplinką skleidžia 84 dBA triukšmą. Jį galima sumažinti 3 dBA, fasadines sienas padengus lengvųjų konstrukcijų medžiagomis. Už įmonės teritorijos ribų esanti 8 m aukščio triukšmo slopinimo sienelė sumažina triukšmo lygį gyvenvietėje iki

59 dBA, o ją paaukštinus iki 10 metrų bei fasadines sienas padengus garsą izoliuojančiomis konstrukcijomis pasiekiamas triukšmo lygio sumažinimas iki gyvenamojoje zonoje leistinųjų normų.

4. Triukšmo slopinimo sienelė, sukonstruota iš konstrukcijos Nr. 3 medžiagų, leistų triukšmo lygį gyvenvietėje sumažinti iki 55 dBA, jei sienelės aukštis būtų padidintas iki 14 metrų, net nepadengus fasadinių terminalo sienų.
5. Išanalizavus geležinkelių bei automobilių transporto keliamą triukšmą, nustatyta, kad vyraujantis garsas triukšmo spektre yra žemo dažnio garsas (31,5–315 Hz).
6. Eksperimentiškai ištyrus triukšmui mažinti pasiūlytų triukšmo slopinimo sienelių konstrukcijas, nustatyta, kad geriausiomis akustinėmis savybėmis pasižymi konstrukcijos, sudarytos iš medžių drožlių plokštės su akmens arba stiklo vatos užpildais. Tokiomis lengvomis konstrukcijomis (Nr. 2–5) vidutinio ir aukšto dažnio garso sklidimas iš siunčiamojo į priimamojo garso patalpą sumažinamas iki 60–70 dB. Garso ore silpninimo rodiklis šioms konstrukcijoms siekia 33±1 dB.
7. Natūriniais eksperimentais nustatyta, kad triukšmo lygiai tuo pačiu atstumu už organinio stiklo bei už keramzitinių akytojo betono blokelių konstrukcijos triukšmo slopinimo sienelės yra paklaidų ribose vienodi ir siekia 62–63 dBA. Todėl galime daryti išvadą, jog efektyvus triukšmo slopinimas gali būti pasiektas pasinaudojus lengvosiomios konstrukcijomis.

4

Triukšmo sklaidos skaitinis modeliavimas

Šiame skyriuje pateikiamas triukšmo mažinimo priemonių skirtų slopinti triukšmą sklindantį į gyvenamąsias teritorijas, efektyvumo įvertinimas modeliuojant triukšmo sklaidą „CadnaA“ triukšmo sklaidos modeliavimo programa.

Atliktų mobiliųjų ir stacionariųjų triukšmo šaltinių sklaidos modeliavimo rezultatai paskelbti 1 moksliniame straipsnyje leidinyje, referuotame ISI Web of Science duomenų bazėje, 2 moksliniuose leidiniuose įrašytuose į Mokslinės informacijos instituto (MII) pagrindinių sąrašą (ISI Master Journal list) bei 2 straipsniuose mokslo konferencijų leidiniuose. Taip pat atliktų tyrimų tematika skaityti 2 pranešimai vykusiose mokslo konferencijose.

4.1. Triukšmo sklaidos į aplinką nuo stacionariųjų šaltinių įvertinimas modeliuojant

Paprasčiausias būdas įvertinti aplinkos akustinę taršą – išmatuoti aplinkos triukšmo garso slėgio lygius. Tačiau matavimų metodo pritaikymo sritis siaura, negalima prognozuoti triukšmo lygio dar projektavimo stadijoje, be to, negalima skirtingų triukšmo šaltinių įvertinti atskirai. Yra daugybė priežasčių, dėl kurių

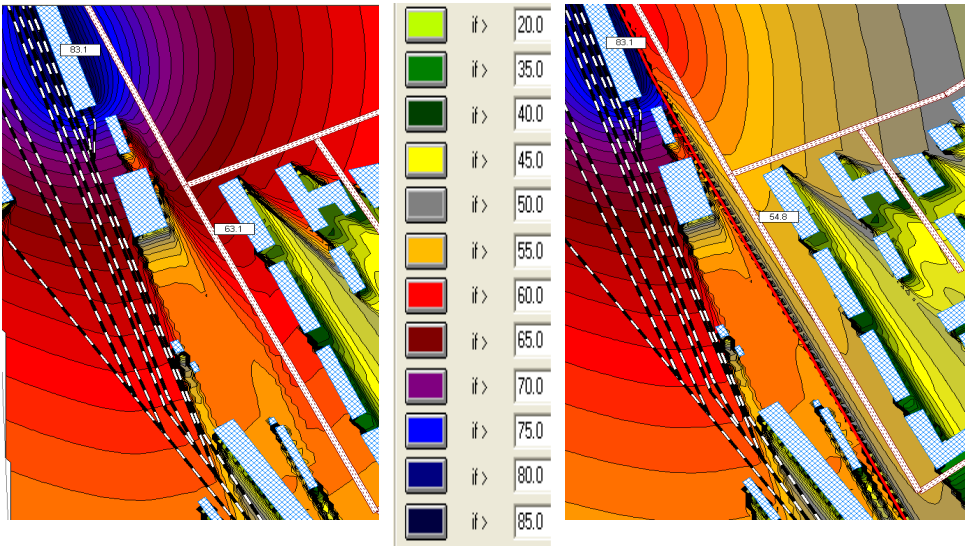
matavimų metodo pritaikymas yra neįmanomas arba ekonomiškai nenaudingas. Viena iš naujausių ir pažangiausių triukšmo sklaidai modeliuoti ir prognozuoti naudojamų kompiuterinių programų yra „CadnaA“. Tai programa, kuri yra skirta apskaičiuoti ir pavaizduoti, įvertinti ir prognozuoti keliamo triukšmo sklaidą.

Triukšmo sklaida įmonės teritorijoje ir už jos ribų modeliuojama triukšmo sklaidos modeliavimo programa „CadnaA“, siekiant įvertinti esamų triukšmo šaltinių biriųjų trąšų iškrovimo terminale įtaką gyvenamajai teritorijai Švyturio gatvėje. Į „CadnaA“ triukšmo sklaidos modeliavimo programą įtraukiami įmonės teritorijos rytinėje dalyje esantys pastatai, biriųjų trąšų krovos terminalas, triukšmo šaltiniai, triukšmo slopinimo sienelė ir Švyturio gatvė su esančiais gyvenamaisiais namais.

Biriųjų trąšų krovos terminale esančių triukšmo šaltinių (vibracinių įrenginių Junets) skleidžiamo triukšmo sklaida į gyvenamąją teritoriją pavaizduota 4.1 pav. Modelis sudarytas siekiant nustatyti terminalo keliamo triukšmo sklaidą į gyvenamąją teritoriją, jeigu nebūtų įmonės teritoriją nuo gyvenamosios aplinkos ribojančios esamos triukšmo slopinimo sienelės. Matyti, kad didžiausi triukšmo lygiai yra arti biriųjų trąšų krovos terminalo ir siekia apie 83 dBA. Triukšmo sklidimas iš terminalo yra beveik tolygiai pasiskirstęs į visas puses, tai reiškia, kad terminalo sienos, dengtos gofruotos skardos lakštais, nepakankamai riboja triukšmo sklaidą. Tolstant nuo terminalo, ypač atsižvelgiant į pastatus įmonės teritorijoje, triukšmo lygis sumažėja iki 55 dBA. Tai pavyzdys, kaip statiniai atlieka triukšmo ekrano funkciją. Toliau nuo terminalo esančioje Švyturio gatvės namų gyvenamojoje teritorijoje triukšmo lygis yra apie 63 dBA.

4.1 b paveiksle pateikta biriųjų trąšų terminalo skleidžiamo triukšmo sklaida į įmonės teritoriją ir į Švyturio gatvės namų gyvenamąją teritoriją. Šiuo atveju pateikta esama triukšmo sklaida įvertinus greta biriųjų trąšų terminalo esančią 8 metrų aukščio triukšmo sienelę.

Už triukšmo slopinimo sienelės didžiausias triukšmo lygis (apie 60 dBA) yra ties biriųjų trąšų krovos terminalu. Toliau nuo terminalo esančioje Švyturio gatvės gyvenamųjų namų teritorijoje triukšmo lygis yra beveik 55 dBA. Dar toliau nuo terminalo esančioje Švyturio gatvės namų teritorijoje triukšmo lygis dar mažesnis, ir siekia 50 dBA. Pageidautina vykdyti krovos darbus dienos metu, kada leistinieji triukšmo lygiai yra didesni nei vakaro ar nakties metu.



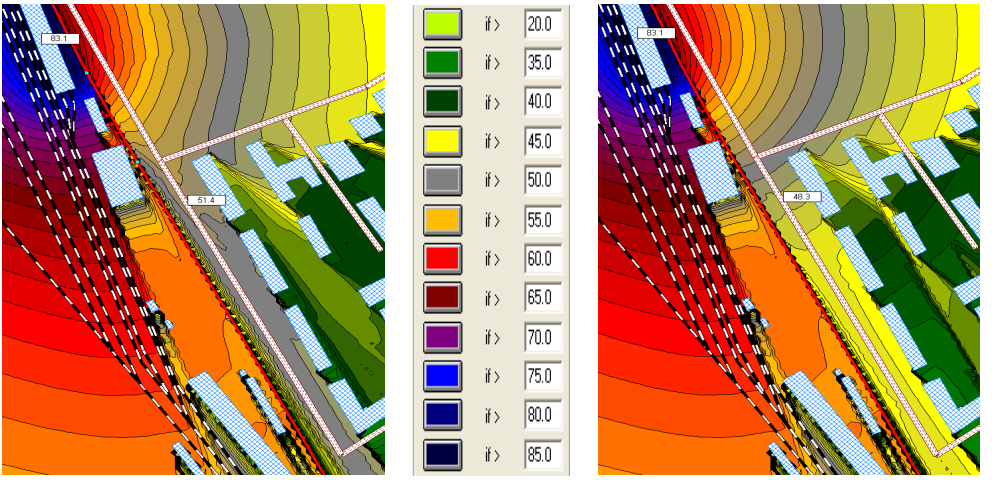
a) b)

4.1 pav. Triukšmo sklaida į gyvenamąją teritoriją nuo biriųjų trąšų terminalo: a) be triukšmo slopinimo sienelės; b) su esama 8 m aukščio triukšmo slopinimo sienele

Fig. 4.1. Dispersion of noise from the bulk fertiliser terminal to the residential area: a) without noise barrier; b) with noise barrier 8 m height

Taip pat triukšmo sklaidos modelis įmonės teritorijoje ir už jos ribų sudarytas įvertinus vibracinių įrenginių skleidžiamą triukšmo lygį, keičiant triukšmo slopinimo sienelės aukštį. Didžiausi triukšmo lygiai yra prie biriųjų trąšų krovos terminalo ir siekia virš 83 dBA, o prie triukšmo slopinimo sienelės triukšmas sumažėja iki 70–75 dBA.

Iš 4.2 a paveikslo matyti, kad, sumodeliavus situaciją su 10 metrų aukščio triukšmo slopinimo sienele, už jos, ties biriųjų trąšų krovos terminalu, didžiausias triukšmo lygis siekia 65–60 dBA. Toliau nuo terminalo esančioje Švyturio gatvės gyvenamųjų namų teritorijoje triukšmo lygis kinta nuo 45–51 dBA. Tuo tarpu, atsiradus galimybei ir įdiegus 12 metrų aukščio triukšmo slopinimo sienelę, vykdomų darbų biriųjų trąšų terminale metu triukšmo lygiai gyvenamojoje teritorijoje kistų nuo 45 iki 50 dBA.



a) b)

4.2 pav. Triukšmo sklaida į gyvenamąją teritoriją nuo biriųjų trąšų terminalo: a) esant 10 m aukščio triukšmo slopinimo sienelei; b) esant 12 m aukščio triukšmo slopinimo sienelei

Fig. 4.2. Dispersion of noise from the bulk fertiliser terminal to the residential area: a) with noise barrier 10 m height; b) with noise barrier 12 m height

Lyginant sumodeliuotą triukšmo lygį su išmatuotu, gaunama apie 10 % nesutaptis, nes modeliuojant „CadnaA“ programa nėra įvertiti visi faktoriai, viekiantys triukšmo sklaidą.

4.2. Geležinkelio transporto keliamo triukšmo sklaidos modeliavimas

Modeliavimui buvo parinktas Panerių geležinkelio stoties mazgas, nes pagal pravažiuojančių traukinių skaičių tai yra viena iš intensyviausių Lietuvoje geležinkelių stočių.

Triukšmo sklaida Panerių geležinkelio stoties mazge modeliuojama siekiant įvertinti esamų triukšmo šaltinių įtaką gyvenamajai Panerių geležinkelio stoties teritorijai. Į „CadnaA“ triukšmo sklaidos modeliavimo programą įkeliami Panerių geležinkelio stoties mazge esantys pastatai, gatvės, miškai, geležinkeliai.

Buvo sudarytas Panerių geležinkelio stoties mazgo modelis, atsižvelgus į žmonių apgyvendinimą ir vietoves išsidėstymą. Gyvenamieji namai yra nutolę nuo geležinkelio linijos apie 20÷200 m, vadinasi, daugelis namų patenka į sanitarinę geležinkelio linijos apsaugos zoną (SAZ), kuri yra 100 m.

Modeliuojant Panerių geležinkelio stoties mazgą buvo pasirinktos tokios kraštinės sąlygos, kad Panerių geležinkelio stoties reljefas sąlygiškai lygus, vienu metu pravažiuoja vienas traukinio sąstatas, nėra įvertintas automobilių keliamas triukšmas, kuris padidintų Panerių geležinkelio stoties gyvenamosios aplinkos triukšmo lygį. Šiame darbe yra įvertintas tik geležinkelio keliamas triukšmas.

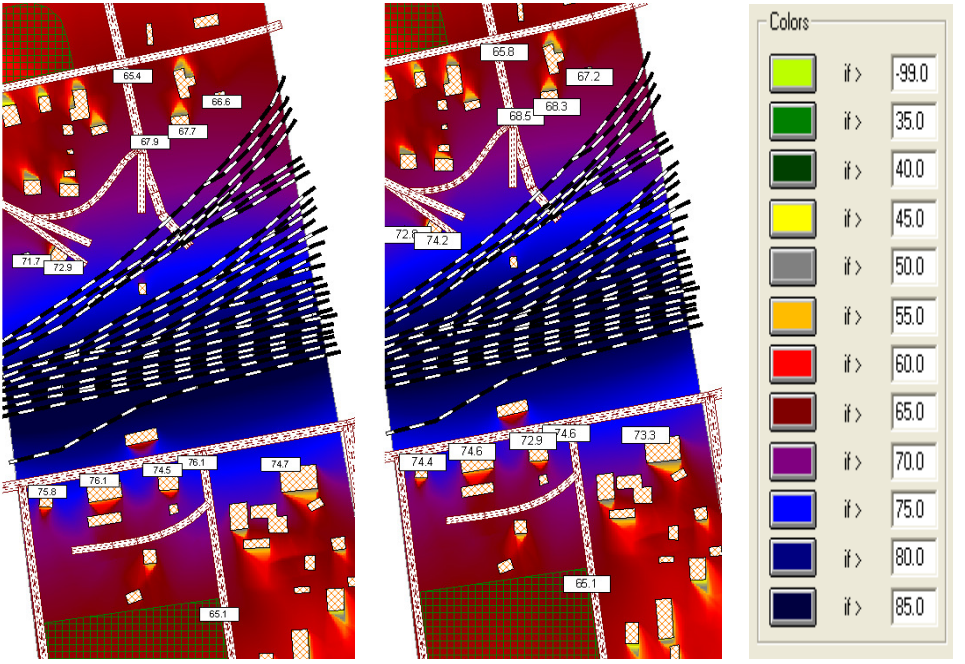
Triukšmo sklidimas nuo pravažiuojančių traukinių yra beveik tolygiai pasiskirstęs į visas puses. Kiek toliau nuo traukinio triukšmo lygis mažėja. Taip pat nesunku pastebėti, kad už pastatų susidaro triukšmo lygio sumažėjimas. Tai pavyzdys, kaip statiniai atlieka triukšmo ekrano funkciją.

Panerių geležinkelio stoties mazge esančių triukšmo šaltinių (keleivinių traukinių) skleidžiamo triukšmo sklaida pavaizduota 4.3 pav. Šie modeliai sudaryti įvertinus keleivinio traukinio skleidžiamą triukšmo lygį (4.3 a – keleiviniam traukiniui važiuojant antruoju keliu; 4.3 b – keleiviniam traukiniui važiuojant penktuoju keliu). Paveiksle pateiktos vertės reiškia modeliavimo būdu gautą ekvivalentinį triukšmo lygį (dBA).

Iš 4.3 pav. matyti, kad didžiausi triukšmo lygiai šalia gyvenamosios teritorijos (piečiau nuo geležinkelio linijos) yra tada, kai traukinys važiuoja 2-uoju keliu ir siekia apie 74–77 dBA, o traukiniui važiuojant 5-uoju keliu – 73–75 dBA, kai tuo metu leidžiamas lygis yra 65 dBA. Vadinasi, šioje geležinkelio linijos pusėje triukšmo lygis viršija 8–12 dBA. Gyvenamojoje teritorijoje, esančioje šiauriau nuo geležinkelio linijos, triukšmo lygis yra mažesnis ir todėl ties gyvenamaisiais namais, kai traukinys važiuoja 2-uoju keliu, jis siekia 66–73 dBA, o traukiniui važiuojant 5-uoju keliu – 67–75 dBA, vadinasi, šioje gyvenamojoje teritorijoje leistinasis triukšmo lygis viršijamas iki 10 dBA.

Iš pateikto geležinkelio triukšmo sklaidos modeliavimo matome, kad būtina ieškoti racionalių sprendimo būdų, kurie leistų pagerinti gyvenamosios aplinkos būklę, t. y. sumažinti triukšmo lygį iki leistinų dydžių.

Apžvelgus visą esamą situaciją, lengviausias būdas situacijai pagerinti yra triukšmo slopinimo sienelės šalia geležinkelio linijos, kuri slopintų pravažiuojančių traukinių keliamo triukšmo sklaidą į aplinką, įrengimas.



a) b)

4.3 pav. Keleivinio traukinio keliamo triukšmo sklaida: a) važiuojant 2-uoju keliu; b) važiuojant 5-uoju keliu

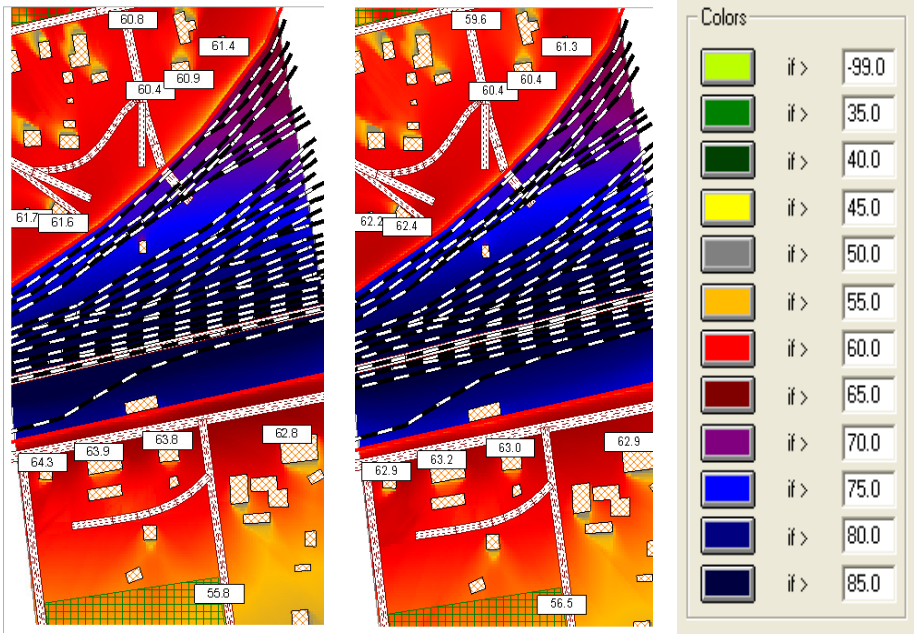
Fig. 4.3. Dispersion of the noise generated by a passenger train: a) when going by the 2nd railroad; b) when going by the 5th railroad

Triukšmo sklidimui į gyvenvietę modeliuoti buvo pasirinktos įvairaus aukščio triukšmo slopinimo sienelės. Lygiagrečiai geležinkelio linijai įrengus 1 metro aukščio triukšmo slopinimo sienelę, triukšmo lygis gyvenvietėje siekė virš 73 dBA. Tokios triukšmo slopinimo sienelės efektyvumas buvo nepakankamas, todėl buvo ieškoma optimalaus jos aukščio.

4.4 paveiksle pateikta geležinkelių transporto keliamo triukšmo sklaida, kai triukšmas mažinamas triukšmo slopinimo sienele. 4.4 a paveiksle pateikta triukšmo sklaida, kai keleivinis traukinys važiuoja 2-uoju keliu ir šalia geležinkelio bėgių yra įrengtos triukšmo slopinimo sienelės. Piečiau geležinkelio linijos esančiai gyvenvietės gerbūviui pagerinti, kai pravažiuojantis traukinys yra keleivinis dyzelis su 16 vagonų, prireiktų 6 m aukščio triukšmo slopinimo sienelės, kuri triukšmo lygį gyvenamojoje aplinkoje sumažintų iki 63–64 dBA. Gyvenamojoje teritorijoje šiauriau geležinkelio linijos, norint triukšmo lygį sumažinti iki

leistino, prireiktų įrengti 6 m triukšmo slopinimo sienelę, tada triukšmo lygis siektų 61–62 dBA. Triukšmo slopinimo sienelė pavaizduota raudona linija.

4.4 b pav. pateikta situacija, kai keleivinis traukinys važiuoja 5-uoju keliu. Kaip ir prieš tai aprašytoje situacijoje, buvo ieškoma tokio aukščio triukšmo slopinimo sienelių, kurios užtikrintų leistiną triukšmo lygį gyvenamojoje aplinkoje šalia namų. Nagrinėjant piečiau geležinkelio linijos esančią gyvenamąją teritoriją, kai traukinys važiuoja 5-uoju keliu, jau pakaktų 6 m aukščio triukšmo slopinimo sienelės, kuri leistų užtikrinti tinkamą gyvenamąją aplinką ten gyvenantiems žmonėms. Šiauriau geležinkelio linijos esančioje teritorijoje prireiktų iki 6 m aukščio triukšmo slopinimo sienelės, kuri triukšmo lygį gyvenamojoje teritorijoje sumažintu iki 61–63 dBA.



a) b)

4.4 pav. Keleivinio traukinio sklaida su triukšmo slopinimo sienute: a) važiuojant 2-uoju keliu; b) važiuojant 5-uoju keliu

Fig. 4.4. Dispersion of the noise caused by a passenger train when a noise barrier is installed: a) when going by the 2nd railroad; b) when going by the 5th railroad

Pagal atliktą triukšmo sklaidos nuo keleivinio traukinio modeliavimą galima pasiūlyti šalia geležinkelio linijos įrengti triukšmo slopinimo sieneles, kurios sumažintų triukšmo lygį iki leistinų normų. Piečiau geležinkelio linijos esančiai gyvenamajai aplinkai pagerinti prireiktų įrengti 6 m aukščio triukšmo slopinimo sienelę, o šiauriau geležinkelio linijos esančiai gyvenamajai aplinkai pagerinti, prireiktų 6 m aukščio triukšmo slopinimo sienelės. Abiejose geležinkelio bėgių pusėse siūlomų įdiegti triukšmo slopinimo sienelių aukščiai yra vienodi (6 m) dėl to, kad siekiamoje apsaugoti gyvenamoje teritorijoje esantys namai yra tokiu pačiu atstumu, nuo traukinių bėgių.

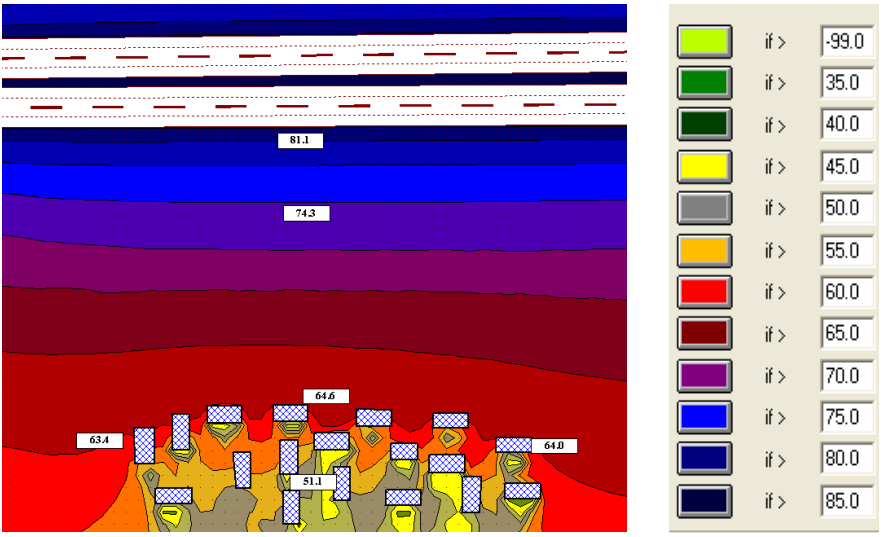
4.3. Automobilių transporto keliamo triukšmo sklaidos modeliavimas

Su padidėjusio triukšmo problema taip pat susiduriama ir gyvenvietėse, esančiose arti automagistralių ar kitos reikšmės kelių. Automobilių transporto sukelto triukšmo sklaidos modeliavimui pasirinta Naujasodžių gyvenvietė, kuri charakteringa tuo, kad yra greta automagistralės. Ši gyvenvietė yra prie vienos iš intensyviausių Lietuvoje automagistralės (A2) Vilnius – Panevėžys.

Automagistrale pravažiuojančių automobilių srauto sukeltas triukšmas Naujasodžių gyvenvietėje modeliuojamas siekiant įvertinti esamų natūralių triukšmo mažinimo priemonių įtaką triukšmo sklidimui, o, nustačius per didelį triukšmo lygį gyvenvietėse, ieškoma būdų bei sprendimų triukšmui mažinti. Pasinaudojant triukšmo sklaidos modeliavimo programa „CadnaA“ sudarytas esamos gyvenvietės bei jos aplinkos modelis, atsižvelgus į vietovėje esančius objektus. Gyvenamieji namai nuo automagistralės yra nutolę apie 120 m atstumu. Taigi, nors šie gyvenamieji namai neįeina į automagistralėms taikomą sanitarinę apsaugos zoną (SAZ), kuri yra 60 m., tačiau natūriniais triukšmo matavimais bei jo sklaidos modeliavimu nustatyta, kad leistinieji triukšmo lygiai gyvenvietėje yra viršyti.

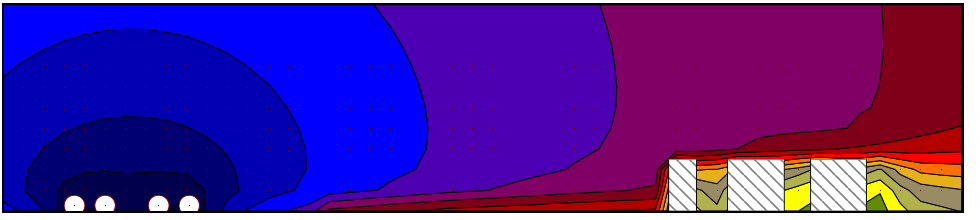
4.5 paveiksle pateikiamas triukšmo sklaidos modelis, kai nuo magistrale pravažiuojančio transporto sukelto triukšmo skidimo į gyvenvietę neapsaugo jokios kliūtys (pastatai, prieštriukšmiai ekranai, reljefo nelygumai ar kt.). Kaip matyti iš 4.5 paveiksle pateiktos triukšmo sklaidos, atsklindantis nuo magistralės triukšmas gyvenamojoje zonoje siekia beveik 65 dBA. Tolstant nuo automagistralės, triukšmo sklidimas lygiagrečiai visam automagistralės plotui palaipsniui silpsta.

Vertinant triukšmo sklaidą nuo magistralės vertikaliąja kryptimi taip pat matyti, kad triukšmo sklaida iki gyvenamosios zonos palaipsniui silpsta, kol sutiktos kliūtys (pastatai) išsklaido triukšmo bangas (4.6 pav.).



4.5 pav. Automobilių keliamo triukšmo sklaida nuo automagistralės neesant kliūčių

Fig. 4.5. Dispersion of the noise generated by automobiles from the highway when no obstacles are present

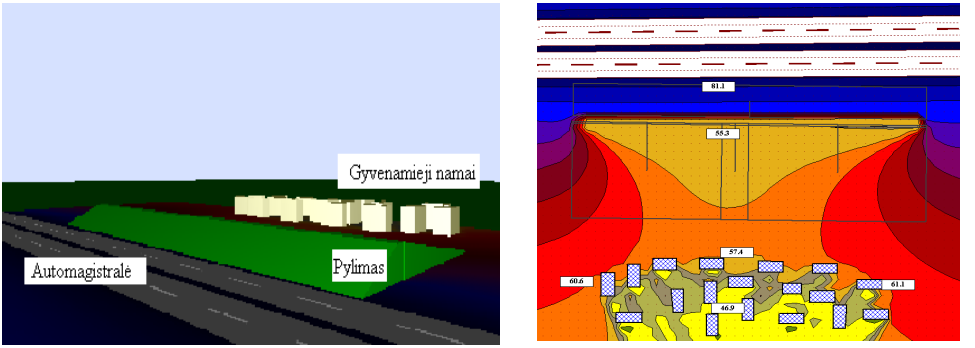


4.6 pav. Vertikalus triukšmo lygio sklaidos pasiskirstymas

Fig. 4.6. Vertical distribution of noise level dispersion

Iš 4.5 ir 4.6 paveiksluose pateiktų triukšmo lygio verčių galima teigti, kad gyvenvietėse, esančiose iki 200 metrų atstumu nuo automagistralinių kelių, susiduriama su per dideliu triukšmo lygiu. Todėl būtina ieškoti priemonių bei būdų triukšmo sklaidą į gyvenvietę sumažinti.

Toliau pateiktas modelis triukšmo sklaidai modeliuoti, įvertinus į gyvenvietę sklindančio triukšmo sklaidą, kai lygiagrečiai magistralei yra 6 metrų aukščio pylimas. 4.7 b paveiksle pateiktas triukšmo sklaidos pasiskirstymas.



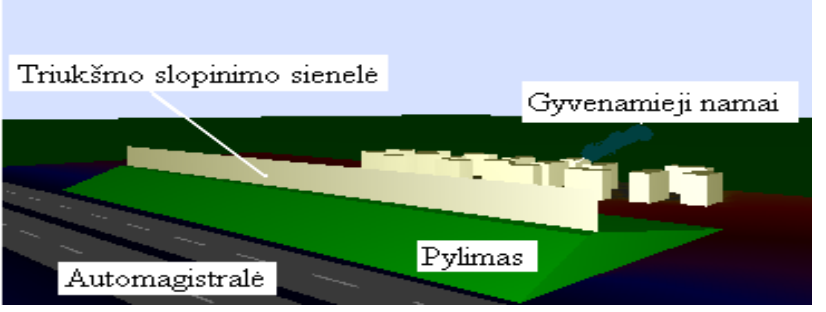
a) b)

4.7 pav. Triukšmo sklaida nuo automagistralės: a) automagistralės ir gyvenvietės išsidėstymo schema; b) triukšmo sklaidos pasiskirstymas

Fig. 4.7. The dispersion of noise by the highway: a) highway and village situation scheme; b) the dispersion of noise

Nustatyta, kad esamo pylimo, kurio ilgis yra 180 metrų, įtaka triukšmo sklaidai slopinti labiausiai pasireiškia centrinėje gyvenvietės dalyje. Šioje dalyje triukšmo lygiai siekia 57 dBA. Gyvenvietės pakraščiuose nustatytas kiek didesnis 61 dBA triukšmo lygis.

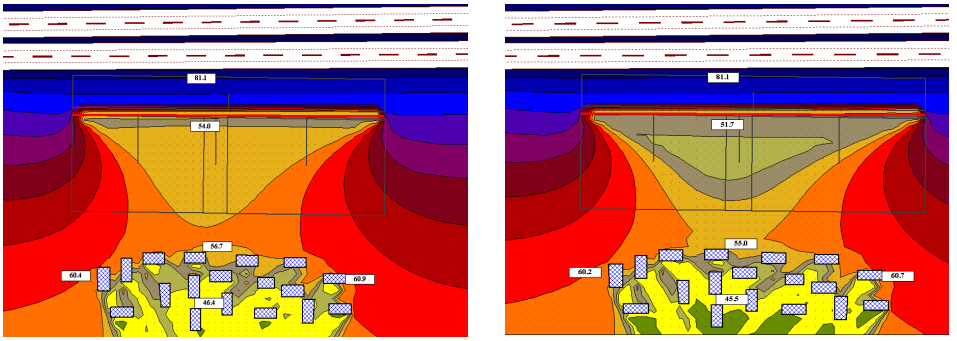
Siekiant padidinti esamo pylimo efektyvumą, diegiama triukšmo slopinimo sienelė, kurios išdėstymo schema pateikta 4.8 paveiksle.



4.8 pav. Triukšmo slopinimo sienelės išdėstymo schema

Fig. 4.8. The layout scheme of the noise barrier

Vertinant įvairių aukščių triukšmo slopinimo sienelių efektyvumą, triukšmo sklaidos modeliavimas atliktas su nuo 1 iki 8 metrų aukščio sienelėmis. 4.9 paveiksle pateikti triukšmo sklaidos modeliavimo rezultatai, ant pylimo įrengus 2 bei 6 metrų aukščio triukšmo slopinimo sieneles.



a) b)

4.9 pav. Triukšmo sklaidos nuo automagistralės pasiskirstymas: a) ant pylimo įrengus 2 m. aukščio triukšmo slopinimo sienelę; b) ant pylimo įrengus 6 metrų aukščio triukšmo slopinimo sienelę

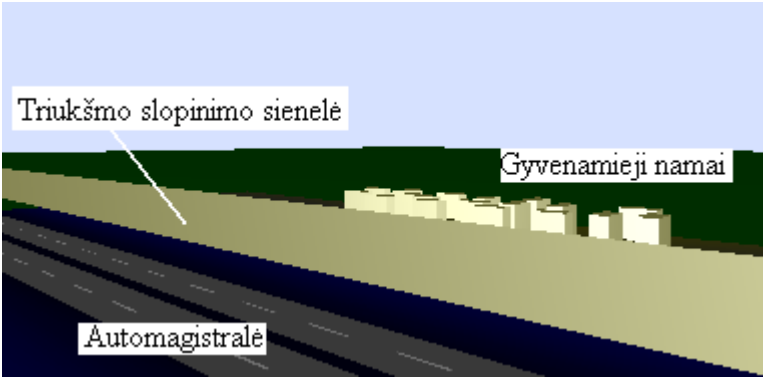
Fig. 4.9. Distribution of noise dispersion from the highway: a) with 2 m hight noise barrier on the bulwark; b) with 6 m hight noise barrier on the bulwark

Gauti rezultatai rodo, kaip yra pasiekiamas leistinasis ekvivalentinio triukšmo lygis (55 dBA) gyvenvietės centrinėje dalyje, jei ant pylimo yra įrengtas 6 metrų ir aukštesnės triukšmo slopinimo sienelės (4.9 b pav.). Gyvenvietės kraštuose nustatyti triukšmo lygiai yra praktiškai vienodi (60–61 dBA), sumodeliavus triukšmo sklaidą su įvairių aukščių triukšmo slopinimo sienelėmis. Todėl galima teigti, jog šiuo atveju vien tiktai triukšmo sienelės ar pylimo aukštinimas per didelio triukšmo problemos gyvenvietėje neišspręs.

Esant linijiniam triukšmo šaltiniui (automagistrale važiuojančios autotransporto priemonės), rekomenduotina triukšmo mažinimo priemones diegti arčiau automagistralių. Be to, aptinkama projektuotojų rekomendacijų, kuriose teigiama, kad jei atstumui nuo nagrinėjamos vietos, kurioje siekiama sumažinti triukšmo lygį, iki automagistralės yra apie 100 metrų, tai triukšmo mažinančios priemonės ilgis turėtų būti bent 4 kartus didesnis ir siekti apie 400 metrų.

Pasinaudojus šia rekomendacija, 4.10 paveiksle pateiktas triukšmo sklaidos modeliavimo modelis, kuriame triukšmo sklidimui į gyvenvietę riboti diegiama 500 m ilgio triukšmo slopinimo sienelė. Ji yra keturis kartus didesnio atstumo, nei yra atstumas iki triukšmo šaltinio (atstumas nuo automagistralės iki gyven-

vietės – 120 m). Triukšmo slopinimo sienelė įrengta 15 metrų atstumu nuo automagistralės, o triukšmo sklaida modeliuojama įvertintant skirtingo – nuo 2,0 iki 8,0 metrų – aukščio triukšmo slopinimo sienelių efektyvumą. Gauti rezultatai pateikti 4.11 pav.



4.10 pav. Triukšmo sklaidos modelis su 500 metrų ilgio sienele

Fig. 4.10. Noise dispersion model with a 500 meter long noise barrier

Sienelės aukštis, m	Triukšmo lygis gyvenvietėje, dBA	Triukšmo lygio vertinimo skalė, dBA	Triukšmo sklaidos pavaizdavimas
2,0	61	if > -99.0 if > 35.0 if > 40.0 if > 45.0 if > 50.0 if > 55.0 if > 60.0 if > 65.0 if > 70.0 if > 75.0 if > 80.0 if > 85.0	
4,0	55		
6,0	51		
8,0	49		

4.11 pav. Triukšmo sienelės efektyvumo priklausomai nuo jos aukščio įvertinimas

Fig. 4.11. Efficiency evaluation of the noise barrier depending on its height

Kaip matyti iš 4.11 paveiksle pateiktų triukšmo sklaidos rezultatų, leistinasis triukšmo lygis nakties metu gyvenamosiose teritorijose (55 dBA) yra pasiekiamas įrengus 4,0 metrų aukščio triukšmo slopinimo sienelę. Tokio aukščio triukšmo slopinimo sienelės efektyvumas siekia 10 dBA palyginti su 4.5 paveiksle pateiktu 65 dBA triukšmo lygiu, kuris nustatytas gyvenvietėje, kai nuo automagistralės sklindančiam triukšmui slopinti nėra jokių kliūčių.

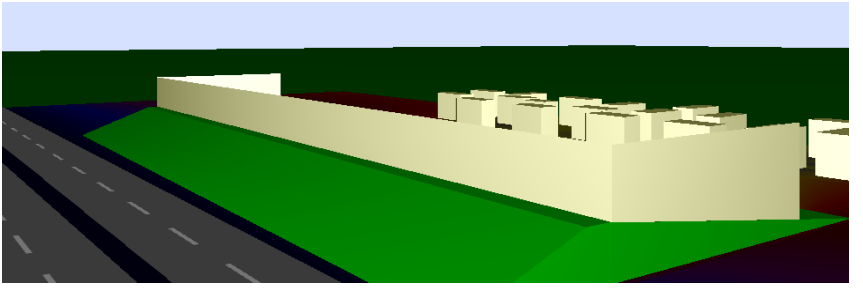
Iš 4.11 paveiksle pateikto grafinio triukšmo sklaidos vaizdo matyti, kad triukšmas sklinda koncentriškai į visas puses. Toldamas nuo šaltinio jis palaipsniui silpsta, o sutikusi kliūtį dalis garso bangų yra sugeriamos, kita dalis – difraguoja, t. y. įvyksta garso bangos atspindys arba lūžis. Kuo aukštesnė kliūtis (pvz., triukšmo slopinimo sienelė), tuo geriau slopinamas triukšmas, nes už kliūties susidaro didesnė šešėlinė zona. Todėl mažiausias triukšmo lygis gyvenvietėje gaunamas prie automagistralės įrengus 8,0 metrų aukščio triukšmo slopinimo sienelę, kuri triukšmo lygį gali sumažinti iki 49 dBA.

Dažniausiai aplink gyvenvietę esant privačiai kitų savininkų žemei, tokio ilgio triukšmo slopinimo sienelės įdiegimo išpildyti nepavyksta. Todėl kaip vienas iš sprendimo būdų yra siūlomas 4.12 a paveiksle pateiktas modelis. Šiuo būdu ant pylimo gali būti įrengta 4 metrų aukščio triukšmo slopinimo sienelė, kuri slopintų į centrinę gyvenvietės dalį sklindantį triukšmą, o triukšmas, atsklindantis pro pylimo šonus, būtų slopinamas pylimo galuose įrengus triukšmo slopinimo sienelę, kuri toltų statmenai automagistralei į gyvenvietę. Kombinuotų triukšmo mažinimo priemonių efektyvumo įvertinimas pateiktas 4.12 b paveiksle.

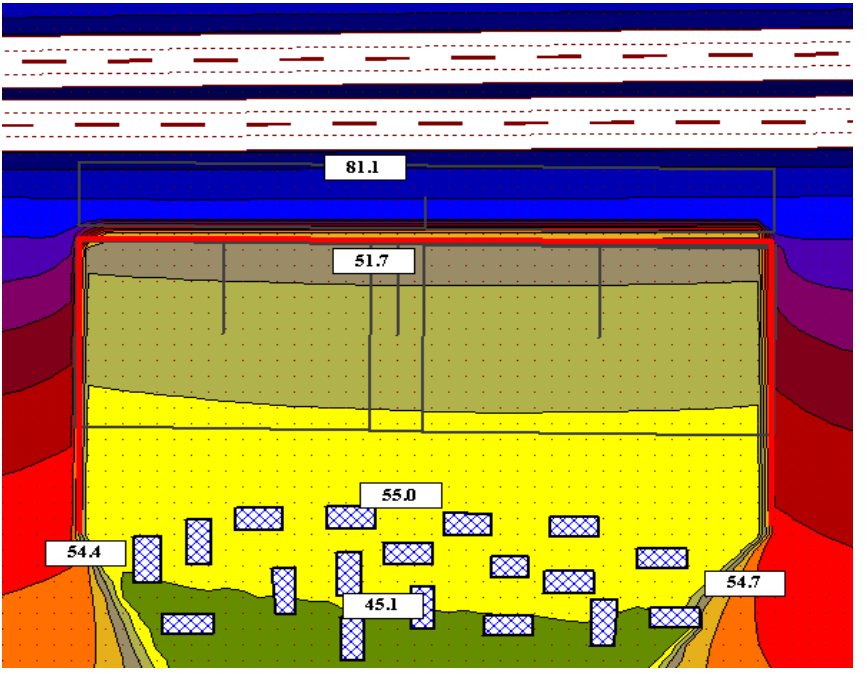
Kaip matyti iš 4.12 b paveikslo, įdiegus 4 metrų aukščio sienelę ant pylimo bei ją pratęsus į gyvenvietę, triukšmo lygis, atsklindantis nuo automagistralės į gyvenvietę, yra sumažinamas iki 55 dBA.

Tarp automagistralės ir gyvenamųjų namų zonos yra neužstatyta zona, kurioje dėl automagistralėms taikomos sanitarinės apsaugos zonos reikalavimų gyvenamųjų namų statyba negalima. Todėl šią teritoriją galima ir būtina išnaudoti apsaugai nuo automagistrale važiuojančių automobilių keliamo triukšmo skliidimo į gyvenvietę. Šioje vietoje pastačius gamybinės paskirties pastatą – ekraną, jis ribotų triukšmo sklaidą nuo automagistralės (4.13 pav.). Šio statinio efektyvumas slopinti triukšmo sklaidą į gyvenvietę priklauso nuo jo aukščio, pločio, užimamo ploto ir išdėstymo gyvenvietės atžvilgiu.

a)

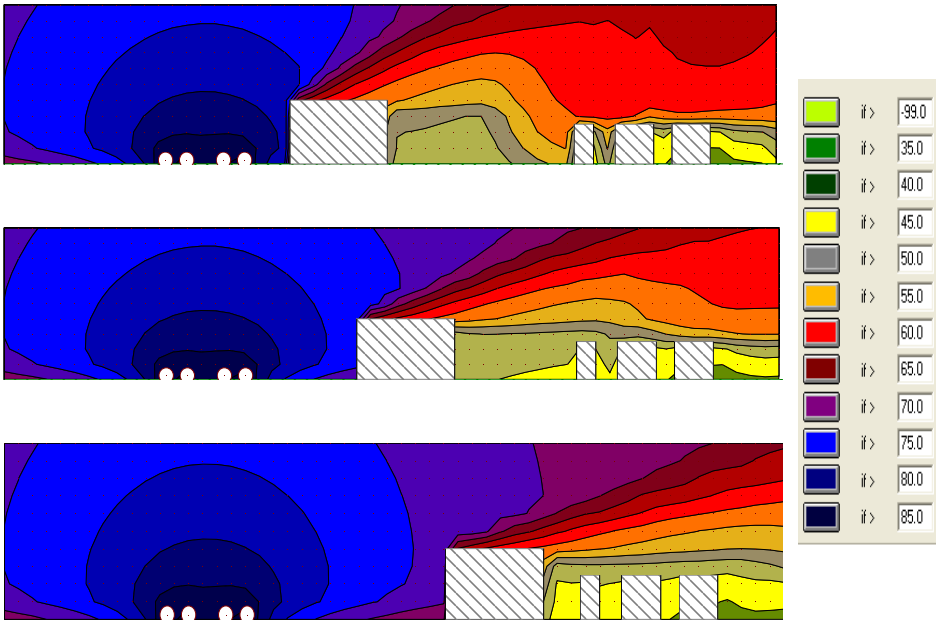


b)



4.12 pav. Triukšmo nuo automagistralės sklidimo įvertinimas: a) situacijos modelis; b) triukšmo sklaidos pasiskirstymas

Fig. 4.12. Evaluation of noise dispersion from the highway: a) situation model; b) noise dispersion



4.13 pav. Pastatų ekranų įtaka triukšmo sklidimui į gyvenvietę

Fig. 4.13. The influence of buildings shields on noise spread to the residential area

Geriausia, kad pastatai, garažai ar kitos triukšmą galinčios slopinti kliūtys būtų kuo aukštesnės, platesnės, ilgesnės, t. y. sudarytų kuo didesnį triukšmo sklaidą ribojantį plotą.

4.4. Ketvirtojo skyriaus išvados

1. Modeliavimo būdu sukurto triukšmo sklaidos nuo triukšmo šaltinių į gyvenamąją aplinką modeliu pagalba lengvai siūlomos gerbūvį gerinančios priemonės – triukšmo, sklaidą mažinančios sienelės, leisiančios triukšmo lygį gyvenvietėse sumažinti iki leistinųjų triukšmo lygių.
2. Lyginant sumodeliuotą triukšmo lygį su išmatuotuoju, gaunamas apie 15 % nesutapimas, nes modeliuojant „CadnaA“ programa nėra įvertinti visi faktoriai, galintys paveikti sklaidą.

3. Nustatyta, kad kombinuota triukšmo sklaidos mažinimo sistema (4 m aukščio triukšmo slopinimo sienelė, įrengta ant 6 m aukščio pylimo) leistų sumažinti automagistrale važiuojančių automobilių keliamą triukšmą gyvenvietėje iki leistinų lygių.
4. Pagal atliktą geležinkelio transporto keliamo triukšmo sklaidos modeliavimą nustatyta, kad iš abiejų geležinkelio linijos pusių įrengtos 6 metrų aukščio triukšmo slopinimo sienelės sumažintų triukšmo lygį gyvenvietėje iki leistinų normų.

5

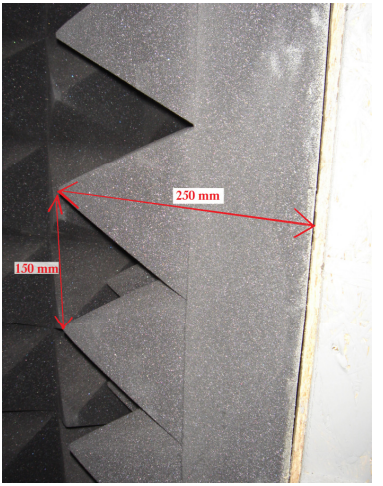
Inžineriniai sprendiniai

5.1. Triukšmo slopinimo kameros konstrukcija

2007 metais rugpjūčio mėnesį Vilniaus Gedimino technikos universiteto patalpose buvo sukurta triukšmo slopinimo kamera. Šios triukšmo slopinimo kameros paskirtis yra garso sugerties, statybos apdailos medžiagų atspindžio tyrimas. Taip pat joje galima nustatyti įvairių nedidelių gabaritų prietaisų (iki 60 cm) skleidžiamo triukšmo lygius.

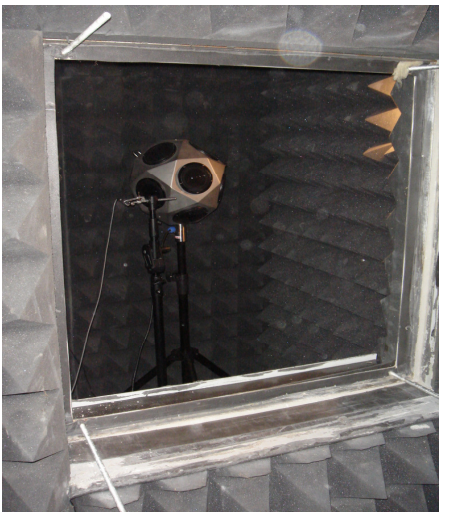
VGTU AAK triukšmo slopinimo kameros patalpos (sienų, lubų, grindų nepadengus garsą sugeriančia medžiaga) ilgis yra 4 m., plotis – 2,4 m., aukštis – 3 m. Visas vidaus paviršiaus plotas (sienos, grindys, lubos, pertvara) sudaro 70 m^2, kuris yra padengtas išpjaustyto akustinio porolono 0,25 m sluoksnio plokštėmis (pjaustymo žingsnis 0,15 m.) (5.1 pav.).

Laboratorinė kamera susideda iš dviejų patalpų, perskirtų dviguba siena, ir greta esančios patalpos, skirtos matavimo aparatūrai. 1 – oji patalpa sąlygiškai vadinama siunčiamojo garso kamera, 2 – oji patalpa – priimamojo garso kamera (5.2 pav.). Bendras laboratorijos vaizdas pateiktas 2 skyriuje, o skiriamosios sienos konstrukcija pateikta 5.3 paveiksle.



5.1 pav. Triukšmo slopinimo kameros sienų padengimas

Fig. 5.1. Covering of the noise suppression chamber's walls



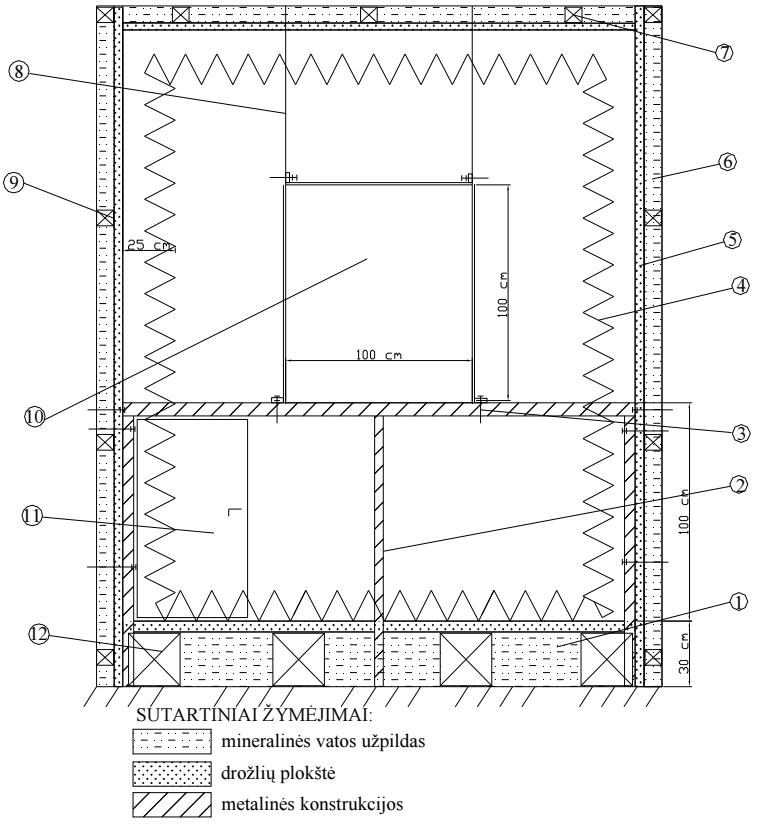
a)



b)

5.2 pav. Triukšmo slopinimo kamera susideda iš dviejų patalpų: a) siunčiamojo garso patalpa; b) priimamojo garso patalpa

Fig. 5.2. The noise suppression chamber consists from two rooms: a) transmitting sound room; b) receiving sound room



5.3 pav. Triukšmo kamerą skiriančios pertvaros ir angos bandiniams įstatyti schema: 1 – šilumos ir garso izoliavimas akmens vata, 300 m; 2 – plieninė konstrukcija, laikanti narvelį; 3 – plieninė juosta; 4 – akustinis porolonas; 5 – OSB medžio drožlių plokštė, 6 mm; 6 – akmens vata, 5 mm; 7 – lubų karkaso tašelis; 8 – narvelį laikanti konstrukcija; 9 – sienų karkaso tašelis; 10 – tiriamiesiems bandiniams tirti naudojamas narvelis; 11 – kameros patalpas skiriančios pertvaros durelės; 12 – grindų gulekšnis

Fig. 5.3. Scheme of the partition walls dividing the noise suppression chamber and an orifice for mounting the samples: 1 – heat and noise insulation with rockwool, 0,3 m; 2 – steel structure holding the cage; 3 – steel band; 4 – acoustic foam; 5 – wood chipboard, 6 mm; 6 – rock wool, 5 mm; 7 – sealing frame beam; 8 – cage bearing structure; 9 – wall frame beam; 10 – cage for the research of the researched samples; 11 – door of the partition wall separating chamber rooms; 12 – floor sleeper

Tiriamoji konstrukcija įrengta akustikos kameros bandymų angoje (5.3 pav. (10)). Abiejose kameros patalpose (siunčiamojo ir priimamojo garso) gali būti įrengtos kelios mikrofonų pozicijos. Siunčiamojo garso patalpoje įjungiamas garso šaltinis, tokiu būdu susidaro po keletą garso slėgio lygio matavimo taškų kiekvienoje patalpoje, o tai sukuria reikiamos difuzinio garso lauko sąlygas. Difuzinio lauko sąlygos gali būti pagerintos pasitelkus difuzinius elementus.

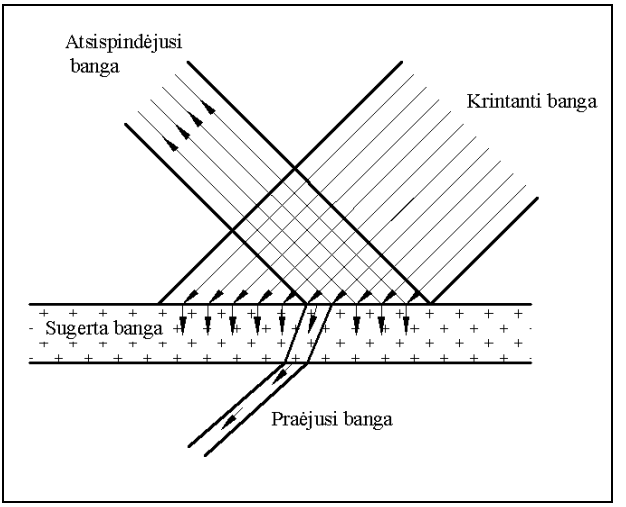
Triukšmo kameros patalpos tarpusavyje ir išorinio statinio atžvilgiu akustiškai izoliuotos akmens vatos plokštėmis. Tokia konstrukcija leidžia sumažinti netiesioginį garso laidumą tarp kameros patalpų, be to, šios patalpos izoliuojamos nuo išorinio triukšmo ir tai sumažina foninį triukšmą jose. Kameros patalpas skiriančioje sienoje yra 1 m^2 anga, kurioje standžiai įtvirtinamas 1,0 m. x 1,0 m. matmenų tiriamasis bandinys.

Reikalavimai atliekamiems akustiniams tyrimams kamerose pateikti LST EN ISO 140-3:1999/A1:2005 „Statinių atitvarų ir statinio dalių garso izoliavimo matavimas. 3 dalis. Laboratoriniai statinio dalių ore sklindančio garso izoliavimo matavimai. 1 keitinys. Lengvųjų dvisluoksnių pertvarų montavimo vadovas (ISO 140-3:1995/AM1:2004)“.

5.2. Perforuotos skardos ekrano su užpildu taikymas

Šiame skyriuje pateikiama medžiaga apie perforuotos skardos ekraną, skirtą pramoniniam triukšmo sklidimui į aplinką mažinti. Tokio tipo ekranas gali būti panaudotas triukšmingų staklių, agregatų ir kitų įrengimų keliamo triukšmo sklaidos į gyvenvietes taikymui, padengus pastatų fasadines sienas.

Iš triukšmo teorijos yra žinoma, kad garso energija, sklindanti uždaroje aplinkoje, sutikusi kliūtį, iš dalies nuo jos atsispindi, o iš dalies yra sugeriama. Tam tikra energijos dalis pereina kliūtį ir yra išspinduliuojama į gretimą patalpą arba į erdvę už sienelės. Grafiškoji tai pavaizduota 5.4 paveiksle. Garso energija virsta šiluma dėl oro trinties puriosios medžiagos siaurosiose porose arba dėl vidaus trinties lanksčiųjų konstrukcijų medžiagoje, kurios svyruoja, veikiamos garso bangų.

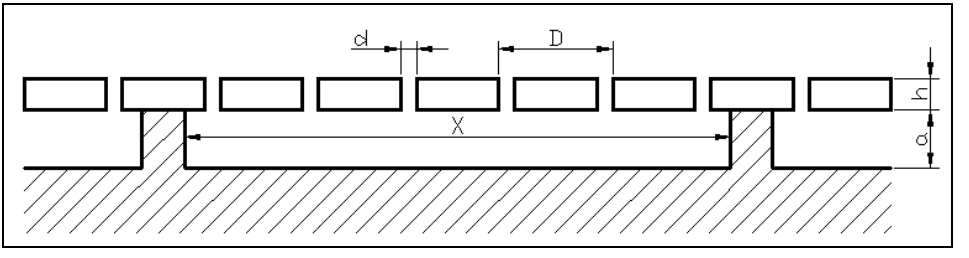


5.4 pav. Garso bandos sklidimas sutikus kliūtį

Fig. 5.4. Dispersion of a sound wave upon encountering an obstacle

Perforuotos skardos ekranas yra sudarytas iš laikančiųjų rėmų, perforuotos skardos lakštų, mineralinės vatos plokščių bei skardos lakšto tarp jų.

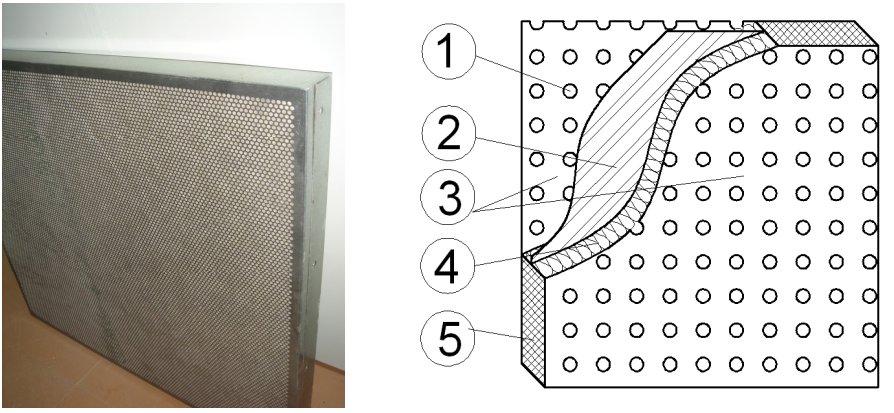
Norint padidinti triukšmą sugeriančios medžiagos sugerties efektyvumą, naudojamos perforuotos konstrukcijos, kurios konstruojamos su garsą sugeriančiąja medžiaga (Stauskis 2007). Konstrukcijos sugertis keičiasi, kintant plokštės storiui h, kiaurymių skersmeniui *d,* atstumui tarp jų (perforacijos procentui) ir sugeriamosios medžiagos storiui. Tokia konstrukcija pavaizduota 5.5 pav.



5.5 pav. Rezonansinės perforuotos konstrukcijos schema

Fig. 5.5. Scheme of a resonance perforated structure

5.6 a paveiksle pavaizduotas vertikalus perforuotos skardos ekrano pjūvis. Nuo paprasto triukšmo ekrano garso skirto garso bangų slopinimui, šio tipo ekrano izoliacijai padidinti yra panaudojami perforuotos skardos lakštai (3), kurių perforacijos procentas yra 40 % (1). Iš vidaus konstrukcija yra padengta dulkes sulaikančiu stiklo audiniu (5), kurio storis 0,2 mm. Stiklo vatos plokštės (4), kurių storiai atitinkamai δ_1 = 30 mm; δ_2 = 50 mm, o konstrukcijos viduje esantis skardos lakštas (2) yra 0,5 mm storio.



a) b)

5.6 pav. Perforuotos skardos ekranas su užpildu: a) bendras konstrukcijos vaizdas; b) konstrukcijos pjūvis

Fig. 5.6. A perforated tin shield with a filler: a) view of the construction; b) layer of the construction

Akustiniais tyrimais nustatyta, kad tokia konstrukcija esant žemiems dažniams (63–250 Hz) triukšmo lygį mažina 18–29 dB, t. y. šios konstrukcijos efektyvumas slopinti žemo dažnio garsą buvo iki 4 dB geresnis, palyginti su kitomis bandymuose naudotomis konstrukcijomis. Ši konstrukcija taip pat gerai slopina vidutinio aukštumo (500–1000 Hz) – 21–27 dB, bei aukštų dažnių garsą (2000–8000 Hz) – iki 44–51 dB.

$D_{nT,W}$ (standartizuotasis garso lygių skirtumas) šią konstrukciją ištyrus laboratorinėmis sąlygomis siekė 33±1 dB.

5.3. Penktojo skyriaus išvados

1. Sukonstruota ir sukurta triukšmo slopinimo kamera, kuri nuo pastato sienų, grindų ir lubų yra atskirta, įrengus šilumos, garso bei hidroizoliaciją. Pagal triukšmo slopinimo kameros konstrukcines savybes visais metų laikais pasiekiamas sąlygiškai žemas ekvivalentinio garso lygis (14 dBA) bei kiti parametrai: 16 ^{o}C temperatūra, 30 % santykinis drėgnis.
2. Dėl savo konstrukcijos bei nuo aplinkos triukšmo izoliavimo savybių ir mažo foninio triukšmo lygio, triukšmo slopinimo kameroje galima nustatyti mažagabaričių prietaisų (iki 60 cm) skleidžiamo triukšmo lygius.
3. Žemam dažniui pramonės įmonėse slopinti siūloma įregti perforuotos skardos ekraną su akmens vatos užpildu bei skardos lakšto intarpu. Standartizuotasis šio ekrano garso lygių skirtumas, bandymus atlikus laboratorinėmis sąlygomis, siekė 33 dB.

Bendrosios išvados

Pagal stacionariųjų ir mobiliųjų šaltinių keliamo triukšmo ir jo sklaidos tyrimų rezultatus, laboratoriniais eksperimentais įvertinus įvairių statybinių medžiagų panaudojimą prieštriukšmiams ekranams gaminti bei atlikus skaitinį modeliavimą, suformuluotos mokslinės bei praktinės išvados.

1. Sukurta ir įrengta mažų matmenų triukšmo slopinimo kamera, kurioje nustatytas garso izoliavimo rodiklis R_w ir garso lygių skirtumo rodiklis D_{nTw} su 3 dBA absoliučia paklaida buvo lygūs natūroje atliktų eksperimentų su analogiškais bandiniais rezultatams.
2. Pagal triukšmo slopinimo kameroje įvertintus medžiagų akustinius parametrus nustatytas ilginis garso intensyvumo slopimo koeficientas μ, kuriuo įvertinamas garso intensyvumo slopinimas medžiagos storio vienete. Geromis akustinėmis savybėmis pasižymi gipskartonio bei medžio drožlių plokštės, kurių μ koeficiento vertės, priklausomai nuo dažnio, siekė 540–710 m^{-1}.
3. Darbe naudojamų konstrukcijų triukšmo mažinimo efektyvumas apibūdinamas garso ore silpninimo rodikliu (DL_R). Išanalizavus statybinių medžiagų konstrukcijų ištirtus bandinius, didelės (32–33 dB) DL_R rodiklio vertės gaunamos, kai vienu konstrukcijos komponentų naudojama 10 mm storio medžio drožlių plokštė ir tokios konstrukcijos pagal ISO 1793-2 priklauso aukščiausiai garso silpninimo grupei.

4. Stacionaraus pramoninio šaltinio keliamo triukšmo slopinimas esant 8 metrų aukščio triukšmo sienelei sumažinamas 18 dBA. Kompleksinis triukšmo mažinimo priemonių įdiegimas (fasadinių sienų dengimas garsą sugeriančiomis medžiagomis bei triukšmo slopinimo sienelės paaukštinimas iki 10 metrų aukščio) leistų ekvivalentinio triukšmo lygį sumažinti dar 7–8 dBA.
5. Triukšmo slopinimo sienelę sukonstravus iš vienos eksperimentuose tirtos konstrukcijos medžiagų, gaunamas triukšmo lygio gyvenvietėje sumažinimas iki reikalingo 55 dBA lygio. Nedengiant fasadinių terminalo sienų garsą sugeriančiomis medžiagomis, sienelės aukštis turti būti padidinamas iki 14 metrų.
6. Natūriniais eksperimentais nustatyta, kad autotransporto triukšmo lygiai tokiu pačiu atstumu nuo triukšmo slopinimo sienelės, pagamintos iš organinio stiklo bei akyto betono keramzitinių blokelių, paklaidų ribose yra vienodi bei siekė 62–63 dBA. Tai reiškia, kad taikant lengvas konstrukcijas galimas efektyvus triukšmo slopinimas.

Rekomendacijos

1. Įvairių statybinių medžiagų ar jų konstrukcijų kompozicijų garso izoliavimo savybes galima tyrinėti sukurtoje triukšmo slopinimo kameroje, kurioje naudojamas tik 1 m^2 bandinio elementas, t. y. sumažinami bandinio sumontavimo bei tyrimų atlikimo kaštai, lyginant su bandymais, kurie atliekami įrengiant visą atitvarą.
2. Žemo dažnio triukšmo sklaidą mažinti siūloma naudoti perforuotos skardos konstrukciją su akmens vatos bei plieno skardos lakšto užpildu. Šio ekrano standartizuotasis garso lygių skirtumas, bandymus atlikus laboratorinėmis sąlygomis, siekė 33 dB. Be to, slopinant žemo dažnio garsą, šios konstrukcijos efektyvumas buvo iki 4 dB geresnis lyginant su kitomis bandymuose naudotomis konstrukcijomis.
3. Siūloma gaminant triukšmo slopinimo sieneles iš tradicinių, lengvų, nebrangių, lengvai įsigyjamų medžiagų, kaip vieną iš komponentų naudoti medžio drožlių plokštę.

Literatūros sąrašas

Andren, L. 1982. Cardiovascular effects of noise. *Acta Medica.* 657(Suppl): 1–45.

Ašmenskas, J.; Baubinas, A.; Obelenis, V.; Šimkūnienė, B. 1997. *Aplinkos medicina.* Vilnius: Avicena. 488 p.

Augustaitis, V. K. 2000. *Mechaninių virpesių pagrindai.* Vilnius: Žiburio leidykla. 319 p.

Bacevičius, A.; Karalius, A. 1992. *Triukšmą slopinantys ekranai ir jų želdiniai.* Vilnius: 43 p.

Baltrėnas, P.; Kazlauskas, D.; Petraitis, E. 2004. Testing on noise level prevailing at motor vehicle parking lots and numeral simulation of its dispersion, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* 12(1): 63–70.

Baltrukonis, J. 1997. *Ekologija tavo namuose*. Kaunas: 150 p.

Bazaras, Ž.; Rutka, A. 2002. *Geležinkelio riedmenų konstrukcijos*. Kaunas: Technologija. 100 p.

Beranek, L.; Sleeper, P. 1998. The design and construction of anehoic sound chambers, *JASA* 18: 204–209.

Bogdanovičius, A. 2005. *Fizikos pagrindai aplinkos inžinerijoje.* I dalis. Vilnius: Technika. 233 p.

Bracciali, A.; Cascini, C. 1997. Detection of corrugation and wheelflats of railway wheels using energy and cepstrum analysis of rail acceleration, in *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit.* 211(2):109–16.

Bruel and Kjaer. 2000. *Sound and Vibration Measurements*. A/S. 65 p.

CadnaA calculations standarts. 2006. [Žiūrėta 2006 m. vasario 27 d.]. Prieiga per internetą: http://www.datakustik.com/en/products/cadnaa/modeling-and-calculation/calculation-standards>

Chung, A. 2003. Intracochlear pressure measurements with impulse noise, *In Report from NATO Research Study Group RSG.29 (Panel 8 - AC/243)* Reconsideration of effects of impulse noise, TNO-Report TM-00-I008.p. 24.

Community noise [Žiūrėta 2007 m. sausio 19 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.who.int/docstore/peh/noise/Comnoise-3.pdf>.

Černiauskas, S. Akustinis triukšmas. [Žiūrėta 2007 m. sausio 14 d.]. Prieiga per internetą: < http://www.kvsc.lt/06_archyvas/sveik_aplinka/akustinis_triukšmas.htm>.

Černiauskas S. 1997. Kauno miesto atmosferos oro kokybinių rodiklių bei triukšmo lygio stebėjimas, *Kauno miesto ekologinis monitoringas*: 5–14.

Černievec, M; Levinska, O. 1996. *News Garden Book.* Iowa: Des Moines. 384 p.

Čyras, Petras. 2000. *Darbo vietų ir įrenginių ergonominis projektavimas.* Vilnius: Technika. 147 p.

Duhamel, D. 1996. Efficient calculation of the tree-dimentsional sound pressure field around a noise barrier, *Journal of Sound and Vibration,* 197: 547–571.

Ecodrive [Žiūrėta 2008 m. lapkričio 21 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.ecodrive.org>.

Fasold, W.; Veres, E. 2003. Schallschutz und Raumakustik in der Praxis. Berlin: 77 p.

Frohner, K. D.; Li, Z. 1998. Evaluating improved illumination of railroad yards, *Aplinkos inžinerija* 6(2): 48 – 52.

Future noise policy [Žiūrėta 2007 m. sausio 20 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.nonoise.org/library/eunoise/greenpr.htm>.

Garsas ir triukšmas [Žiūrėta 2008 m. rugsėjo 4 d.]. Prieiga per internetą: < http://www.garsoizoliacija.lt/1.htm >.

Gečys, S. 1993. *Elektros mašinų triukšmai ir vibracijos.* Kaunas: 105 p.

Geležinkelių transporto keliamo triukšmo poveikio aplinkai vertinimo rekomendacijos. 2001. Vilnius: 24 p.

Gražulevičienė R., Gražulevičius R. 2002. Aplinkos triukšmo įtaka arterinės hipertenzijos rizikai, *Aplinkos tyrimai, inžinerija ir vadyba* 4(14): 34–40.

Gražulevičienė, R., Deikus J. 1999. Environmental noise and myocardial infarction, in *Proceedings of the international conference Man Under Vibration'98*. Kaunas: 17–25.

Gražulevičienė, R.; Lekavičiūtė, J.; Mozgeris, G.; Merkevičius, S. 2003. Autotransporto srautų keliamas triukšmas ir sergamumas miokardo infarktu Kauno mieste, *Aplinkos tyrimai, inžinerija ir vadyba* 1(23): 70–75.

Gudaitytė, J.*;* Butkus, D. 2007. Garsą sugeriančių konstrukcijų panaudojimo triukšmui mažinti tyrimas, iš *10-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis", įvykusios Vilniuje 2007 m. kovo 29 d., pranešimų medžiagos: Aplinkos apsaugos inžinerija.* Vilnius: Technika, 299–307.

Gužas D., Klimas R., Tricys V. 2006. Construction of Acoustic Shields and Their Properties for Noise and Vibration Reduction, [CD] in *2nd Int. Conf. Mechatronic Systems and Materials. Krakow, Poland*].

Hamernik, R., P.; Hsueh, K.;D. 1991. Impulse noise: some definitions, physical acoustics and other considerations. *The Journal of the Acoustical Society.* 90(1):189–196.

Hasebe, M. 2000. New profile noise barrier with an acoustically soft surface. *WESTPRAC*, Kumamoto, 7: 747–750.

Heckl, M. 1988. Structure-borne sound: structural vibrations and sound radiation at audio frequencies. Berlin ; New York : Springer-Verlag, 573 p.

Federal highway administration [Žiūrėta 2005 m. spalio 22 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.fhwa.dot.gov/environment/high/contents.htm>.

HN 33:2007. Akustinis triukšmas. Triukšmo ribiniai dydžiai gyvenamuosiuose ir visuomeninės paskirties pastatuose bei jų aplinkoje, *Valstybės žinios*, 75–2990.

Hodge, D. C.; Gates, H. W.; Solderholm, R. B.; Helm, C. P. Jr.; Blackmer, R. F. 1994. *Preliminary studies on the impulse-noise effects on human hearing,* U.S. Army Human Engineering Laboratory, Aberdeen Proving Ground: 63.

Inoue, M.; Fujiwara, K. 2001. Effect of absorptive cylinder at the edge of a barrier for point source. Autumn Meet. *Acoustic Society Japan*: 823–824.

Ishizuka, T.; Fujiwara, K. 2004. Performance of noise barriers with various edge shapes and acoustical conditions. *Applied Acoustics* 65(2): 125–141.

Jagnetinskis, A.; Lasauskas, V. 1994. Triukšmo normatyvinių kreivių skaičiavimas, *Aplinkos apsauga,* 2: 101–104.

Judin, E. Y. 1984. *Noise Control in Industry: Handbook*. Moscow: 185.

Juodzevičius, E. Transporto priemonių techninės būklės vertinimas pagal jų skleidžiamą triukšmą. *Transport*. Vilnius: Technika, 2001, 16(6), 234–239.

Kazragis, A.; Gailius, A. 2006. *Kompozicinės medžiagos ir dirbiniai su gamtiniais organiniais užpildais.* Vilnius: 256 p.

Kazragis, A.; Gailius, A.; Kulinič, H.; Tamulaitienė, B. 2002. Šiaudų ir nendrių utilizavimas bei panaudojimas statybinių dirbinių gamyboje, *Aplinkos apsaugos inžinerija.* (2): 77 – 83.

Kazragis, A.; Nickus, I.; Gailius, A. 1995. *Statybinių medžiagų gamybos technologija, panaudojant organinius užpildus.* Vilnius: Technika, 234 – 238.

Kindurytė, R.; Oškinis, V. 2003. Autotransporto triukšmo poveikis gyventojų sveikatai, iš *6-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos "Lietuva be mokslo – Lietuva be ateities", įvykusios Vilniuje 2003 m. kovo 30 d., pranešimų medžiagos,* Vilnius: 322–326.

Klibavičius, A. 1998. Autotransporto išmetamųjų dujų neigiamo poveikio aplinkai ekonominis įvertinimas, *Aplinkos inžinerija* 6(2): 72–78.

Klibavičius, A. 1998. *Transporto neigiamo poveikio aplinkai įvertinimas.* Vilnius: 40 p.

Klibavičius, A. 2003. Transporto tarša ir jos poveikio mažinimas [Žiūrėta 2006 m. gegužės 7 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.vgtu.lt/leidiniai/elektroniniai/miesto_tvarka/turinys.pdf>.

Koidan, W.; Hruska, R. 1977. Acoustical properties of the National Bureau of Standards anechoic chamber. *Journal of Acoustic society* 64(2):78–85.

Lambert J., Vollet M. 1994. Study related to the preparation of a communication on a future EC noise policy: final report. *INRETS. LEN Report*, No 9420.

Lercher, P., Evans, G. W., Meis, M. 1996. Ambient Noise and Cognitive Processes among Primary Schoolchildren. *Environment and Behavior* 35: 725–735.

Levine, S.; Hofstetter, P.; Zheng, X., Y.; Henderson, D. 1998. Duration and peak level as co-factors in hearing loss from exposure to impact noise, *Scandinavian Audiol* 48 (Suppl.): 27–36.

Lietuvos geležinkeliai: nepriklausomo darbo dešimtmetis (1991 – 2001). 2001. Vilnus: 95 p.

Lloyd B. L. 1994. Decline cardiovascular disease incidence and environmental components, *New Zeeland Journal of. Medicine*, 24(1): 124–132.

LST ISO 1996-1:2004. Akustika. Aplinkos triukšmo aprašymas, matavimas ir įvertinimas. 1 dalis. Pagrindiniai dydžiai ir įvertinimo tvarka. 26 p.

LST EN 1793-2:1998. *Kelių eismo triukšmo sumažinimo įrenginiai. Bandymo metodai akustiniams parametrams nustatyti. 2 dalis. Garso ore silpninimui būdingi požymiai.* 8 p.

LST EN 1793-3:1998. *Kelių eismo triukšmo sumažinimo įrenginiai. Bandymo metodai akustiniams parametrams nustatyti. 3 dalis. Standartizuotas eismo triukšmo spektras.* 5 p.

Mačiūnas E.; Juozulynas A.; Genytė L. 1999. Triukšmo įtaka žmonių sergamumui, *Sveikatos aplinka*, 3: 46–48.

Maekawa, J. 2003. Experimental study on acoustical designing of a screen for noise reduction. *Journal of Acoustical Society* 18: 187–196.

Malinauskienė V.; Gražulevičienė R. 2000. The effect of noise annoyance at the workplace on the risk of myocardial infarction [CD] in *Proceedings of the 1st International Conference BALTIK – ACOUSTIC,* Vilnius, 151–154.

Malinauskienė, V.; Gražulevičienė, R.; Nieuwenhuijsen, M.; Azaravičienė, A. 2002. Myocardial infarction risk and occupational categories in Kaunas 25–64 year old men, *Occupational and Environmental Medicine*, 745–750.

Meyer, E.; Buchmann, G.; Achoch, A. 1940. Eine neue Schallschluckanordnung hoher Wirksamkeit und der Bau eines schallgedampften Raumes. *Akustische Zeitschrift*, (5): 40.

Merkevičius, S. 2004. Inžineriniai ir techniniai saugos metodai ir priemonės fizinei ir technologinei aplinkos taršai mažinti, *Vibroakustinė tarša.* Kaunas: 60 p.

Merkevičius, S.; Deikus, J. 1998. Acoustic Pollution of light duty wheeled tractors, *Aplinkos inžinerija*, 6(1): 37–43.

Modular Precision Sound Analyzer Type 2260. 2005 [Žiūrėta 2006 m. gegužės 7 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.bkhome.com >.

Nadolinny B.A.; Tikhij V.G.; Sanin F.P. 1999. AE method of composit materials destruction prognosis in coll. *Acoustic emission of materials and constructions.* Part 2 (1-st All-Union Conference). Rostov na Donu State University: 101–105.

Nainys, V.; Šukys, R. 2001. Research of noise effect dicrease possibilities [CD], in *Modern building materials, structures and techniques: proceedings of the 7th International Conference, held on May 16-18, 2001, Vilnius, Lithuania.*

Ng, T.K. 1998. Descritiptive occupational morbidity statistics. *WHO Quartely*, 41(3–4): 200–208.

Noise barrier [Žiūrėta 2008 m. spalio 08 d.]. Prieiga per internetą: < http://en.wikipedia.org/wiki/File:TullamarineFwy.jpg >.

Noise Control Barrier for Outdoor Equipment. [Žiūrėta 2008 m. rugsėjo 4 d.]. Prieiga per internetą: < http://www.avtinc.net/barrier_walls/large/industrial_barriers>.

Ogata, O.; Tsuru, H.; Nakajima, H.; Fujiwara, K. 2003. Investigation for insertion loss of noise barrier for sound source moving at high speed. *Acoustical Science and Technology* 24: 148–150.

Ono, S. 2000. Measurement and analysis of railway noise in Japan. *Journal of the Acoustical Society of Japan* 21(6): 345–348.

Orzeszek–Gajewska, B. 1982. *Ksztaltowanie terenow zieleni w miastach*. Warszawa: 186 p.

Oškinis, V.; Kindurytė, R.; Butkus, D. 2004. Automobilių triukšmo tyrimų magistralėje Vilnius – Kaunas – Klaipėda rezultatai, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 7(Suppl. 1): 10–18.

Patterson, J. L.; Hamernik, R. P. 1992. *An experimental basis for the estimation of auditory system hazard following exposure to impulse noise in Noise-Induced Hearing Loss.* St. Louis: 336–348.

Passchier V.W.; Passchier W.F. 2000. Noise exposure and public health. *Environmental Health Perspect* 108(Suppl. 1): 123–131.

Pierson, L. L.; Price, G. R.; Kalb, J. T.; Mundis, P. A. 1995. Comparison of impulse noise effects generated by two rifle muzzles, *Journal of Acoustical Society*: 33–44.

Pilipavičiūtė, J.; Bakas, A. 1998. Transporto taršos neigiama įtaka gyvenamajai aplinkai, *Aplinkos apsaugos inžinerija*. Vilnius: Technika, 133–138.

Price, G. R. 2003. Weapon noise exposure of the human ear analyzed with the AHAAH model. 66 p.

Price, G. R.; Kalb, J. T. 1999. Auditory hazard from airbag noise exposure, *Journal of Acoustical Society*. 106: 2629-2637.

Ramonas, Z. 2003. *Žmonių sauga.* Šiauliai: 211 p.

Rimovskis, S.; Ramonas, Z. 2005. *Apsauga nuo triukšmo*. Šiauliai: 76 p.

Sivilevičius, H.; Šukevičius, Š. 2007. Dynamics of vehicle loads on the asphalt pavement of European roads which cross Lithuania. *The Baltic journal of road and bridge engineering*. 2(4): 147–154.

Stankiuvienė, A; Čyras, P. 2006. Nelaimingų atsitikimų darbe ir profesinių ligų tyrimas statybos įmonėse, iš *9-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos "Mokslas - Lietuvos ateitis", įvykusios Vilniuje 2006 m. kovo 29- 31 d., pranešimų medžiagos.* Vilnius: 441–446.

Stauskis, V. J.; Kunigėlis, V. 1998. Įvairių garso šaltinių akustinės charakteristikos. *Statyba,* 4 (4): 311–315.

Stauskis, V. J. 2007. *Statybinė akustika.* Vilnius: 266 p.

Stauskis, V. J. 1998. Papildomos absorbcijos įtaka salės modelio akustiniams rodikliams. *Statyba,* 4(1): 86–90.

Starck J; Toppila E; Pyykko I. 2003. Impulse noise and risk criteria. *Noise and Health.* 5: 63–73.

Steponaitis, L. 2007. Akustinės medžiagų savybės, jų naudojimas statybinėse konstrukcijose, iš *10-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“, įvykusios Vilniuje 2007 m. kovo 29–30 d., pranešimų medžiagos: Statyba.* Vilnius: Technika, 108–113.

Suslavičius, L. 2004. *Automobilis Lietuvoje 1918 – 1940*. Vilnius: 205 p.

Suvorov, G.; Denisov, E.; Antipin, V.; Kharitonov, V.; Starck, J.; Pyykko, I.; Toppila, E. 2001. Effects of peak levels and number of impulses to hearing among forge hammering workers. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*. 16(8): 816–822.

Šukys, R.; Čyras, P.; Jakutis, A.; Stankiuvienė, A. 2004. Profesinių ligų bei nelaimingų atsitikimų darbe ekonominės ir socialinės pasekmės. *Ūkio technologinis ir ekonominis vystymas*. 10(1): 26–31.

Toppila, E.; Pyykko, I.; Starck, J.; Kaksonen, R.; Ishizaki, H. 2000. Individual risk factors in the development of noise - induced hearing loss. *Noise and Health* 8:59–70.

Transportas, tarša ir Europos Sąjunga [Žiūrėta 2006 m. gegužės 14 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.zpasaulis.lt/archyvas/6/ubik.html>.

Transportinio triukšmo problemos ir jų sprendimo būdai. [Žiūrėta 2006 m. balandžio 7 d]. 2002. Prieiga per internetą: <http://www.vilniausvsc.lt/aplinka/transportinio_triuksmo_problemos.htm>.

Triukšmo mažinimo užtvarų vadovas. [Žiūrėta 2005 m. spalio 1 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.tkti.lt/Projektai/Noisemanual_lt.pdf>.

Triukšmo mažinimo užtvarų vadovas. 2002. *Terra Plan A/S Acuostika Carl Broas*: 79 p.

Valikonienė, V. 2001. *Akustika.* Vilnius: 24 p.

Vasarevičius, S.; Graudinytė, J. 2004. Investigation and EvaluAtion of Noise Level at Motorway and Railway Crossings, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 12(Suppl.1): 19–24.

Velizanina, T.; Rzevskij, T. 1957. Railway noise prediction by boundary element method, *Acoustical Society Japan:* 825–826.

Vér, I.; Beranke, L. 2006. *Noise and vibration control engineering: principles and applications Hoboken.* Wiley: 966 p.

Züge mit Aussicht [Žiūrėta 2008 m. gegužės 03 d.]. Prieiga per internetą: < http://www.proholz.at/forschung_technik/panorama-18-schallschutzwand.htm>.

Žeromskas, R. 1998. Lietuvos kelių transporto svarbiausios aplinkosauginės charakteristikos, *Aplinkos inžinerija,* 6(4): 140–145.

2002/49/EB. Europos Parlamento ir Tarybos direktyva dėl aplinkos triukšmo įvertinimo ir valdymo, *Europos sąjungos oficialus leidinys* 7(15): 100–115.

Авдотьин Л., Лежава И., Смоляр И. 1989. *Градостроительное проектирование*. Москва: 432 p.

Autoriaus mokslinių publikacijų disertacijos tema sąrašas

Straipsniai recenzuojamuose leidiniuose, referuojamuose Mokslinės informacijos instituto duomenų bazėje Thomson ISI Web of Science

Grubliauskas, R.; Butkus, D. 2009. Chamber research on acoustic properties of materials and their evaluation, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* 17(2): 98–107.

Baltrėnas, P.; Butkus, D.; Nainys, V.; Grubliauskas, R.; Gudaitytė, J. 2007. Triukšmo slopinimo sienelės efektyvumo įvertinimas, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* 15(3): 125–134. ISSN 1648-6897 print, ISSN 1822-4199 online.

Straipsniai recenzuojamuose leidiniuose, referuojamuose Mokslinės informacijos instituto duomenų bazėje Thomson ISI Master Journal List

Baltrėnas, P.; Butkus, D.; Grubliauskas, R.; Kučiauskaitė, J. 2009. Noise studies and reduction possibilities in a residental area located by a highway, *Ecology* 55(1): 31–40. ISSN 0235-7224.

Baltrėnas, P.; Butkus, D.; Grubliauskas, R. 2008. Experimental Research into the Dispersion of Railway Traffic Noise in the Environment and Its Modelling, *Ecology* 54(2): 81–87. ISSN 0235-7224.

Straipsniai recenzuojamuose leidiniuose, referuojamuose Mokslinės informacijos instituto duomenų bazėje Thomson ISI Master Journal List

Butkus, D.; Januševičius, T.; Grubliauskas, R. 2008. Experimental test of internal wall construction elements, in *Proceedings of the 7th International Conference Environmental Engineering, May 22–23, 2008 Vilnius, Lithuania.* Vilnius, 78-84. ISBN 978-9955-28-263-1.

Butkus, D.; Grubliauskas, R. 2008. Investigation of noise level in Trakai city during day, in *Proceedings of the 7th International Conference Environmental Engineering, May 22–23, 2008 Vilnius, Lithuania.* Vilnius, 85–92. ISBN 978-9955-28-263-1.

Grubliauskas, R. 2005. Investigation of transport noise near Lithuanian highways during the periods of winter and summer, in *Proceedings of the 6th International Conference Environmental Engineering, May 26–27, 2005 Vilnius, Lithuania.* Vilnius, 306–310. ISBN 9986-05-850-3.

Straipsniai Lietuvos mokslų konferencijų leidiniuose

Grubliauskas, R.; Butkus, D. 2009. Automobilių transporto keliamo triukšmo mažinimo modeliavimas gyvenvietėje, iš *Tarptautinės mokslinės konferencijos „Jaunimas siekia pažangos – 2009“, įvykusios Kaune 2009 m. balandžio 3–4 d., pranešimų medžiaga.* Kaunas, 219–224.

Grubliauskas, R.; Butkus, D. 2008. Geležinkelio transporto keliamo triukšmo Vilniaus stoties geležinkelio mazge tyrimai [CD], iš *11-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos “Mokslas – Lietuvos ateitis”, įvykusios Vilniuje 2008 m. balandžio 3 d., pranešimų medžiaga: Aplinkos apsaugos inžinerija.* Vilnius, 367–377. ISBN 978-9955-28-385-0.

Grubliauskas, R.; Butkus, D. 2007. Geležinkelio transporto keliamo triukšmo stotyse tyrimai, iš *10-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos “Mokslas – Lietuvos ateitis”, įvykusios Vilniuje 2007 m. kovo 29 d., pranešimų medžiaga: Aplinkos apsaugos inžinerija.* Vilnius: Technika, 315–323. ISBN 978-9955-28-162-7.

Grubliauskas, R.; Butkus, D. 2006. Triukšmo mažinimo sienelės efektyvumo įvertinimas, iš *9-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos “Mokslas – Lietuvos ateitis”, įvykusios Vilniuje 2006 m. kovo 30 d., pranešimų medžiaga: Aplinkos apsaugos inžinerija.* Vilnius: Technika, 142–148. ISBN 9955-28-037-9.

Grubliauskas, R.; Butkus, D. 2005. Triukšmo mažinimo priemonių tyrimas kameriniais eksperimentais, iš *8-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos “Lietuva be mokslo – Lietuva be ateities”, įvykusios Vilniuje 2005 m. kovo 24 d., pranešimų medžiaga: Aplinkos apsaugos inžinerija.* Vilnius: Technika, 81–87. ISBN 9986-05-876-7.

Raimondas GRUBLIAUSKAS

APLINKOS TRIUKŠMO IR JO MAŽINIMO,
TAIKANT LENGVAS KONSTRUKCIJAS,
TYRIMAI BEI SKAITINIS MODELIAVIMAS

Daktaro disertacija

Technologijos mokslai,
aplinkos inžinerija ir kraštotvarka (04T)

Raimondas GRUBLIAUSKAS

RESEARCH AND DIGITAL MODELLING OF
ENVIRONMENTAL NOISE AND ITS REDUCTION
BY APPLYING LIGHT STRUCTURES

Doctoral Dissertation

Technological Sciences,
Environmental Engineering (04T)

2009 05 04. 14,5 sp. l. Tiražas 20 egz.
Vilniaus Gedimino technikos universiteto
leidykla „Technika“, Saulėtekio al. 11,
10223 Vilnius,
http://leidykla.vgtu.lt
Spausdino UAB „Biznio mašinų kompanija“,
J. Jasinskio g. 16A, 01112 Vilnius
http://www.bmk.lt