



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS

APLINKOS APSAUGOS KATEDRA

Žilvinas Venckus

**TRIUKŠMO SLOPINIMO SIENELĖS ELEMENTO EFEKTYVUMO
TYRIMAI BEI SKAITINIS MODELIAVIMAS
THE ANALYSIS OF NOISE BARRIER ELEMENT EFFICIENCY AND
NUMERICAL MODELING**

Baigiamasis magistro darbas

Aplinkos inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 62404T104

Aplinkos apsaugos inžinerijos specializacija

Aplinkos inžinerijos mokslo kryptis

Vilnius, 2011

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS
APLINKOS APSAUGOS KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(Parašas)

(Vardas, pavardė)

(Data)

Žilvinas Venckus

**TRIUKŠMO SLOPINIMO SIENELĖS ELEMENTO EFEKTYVUMO
TYRIMAI BEI SKAITINIS MODELIAVIMAS
THE ANALYSIS OF NOISE BARRIER ELEMENT EFFICIENCY AND
NUMERICAL MODELING**

Baigiamasis magistro darbas

Aplinkos inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 62404T104

Aplinkos apsaugos inžinerijos specializacija

Aplinkos inžinerijos mokslo kryptis

Vadovas

(Moksl. Laipsnis, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Konsultantas

(Moksl. Laipsnis, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Vilnius, 2011

TURINYS

Anotacija.....	4
Annotation	5
Žymėjimai.....	6
Paveikslų ir lentelių sąrašas.....	6
Įvadas.....	10
1. AKUSTINĖ APLINKOS TARŠA IR JOS MAŽINIMAS	12
1.1. Triukšmas, jo poveikis organizmui	12
1.2. Triukšmo normavimas, matavimas.....	15
1.3. Aplinkos tarša transportiniu triukšmu	17
1.4. Transporto keliamo triukšmo mažinimo būdai.....	20
1.5. Triukšmo slopinimo sienelės, jų modifikacija.....	24
1.6. Triukšmo sklaidos modeliavimo programos	32
1.7. Išvados	34
2. TRIUKŠMO TYRIMŲ IR SKLAIDOS MODELIAVIMO METODIKA	36
2.1. Geležinkelio transporto keliamo triukšmo matavimo vietos.....	36
2.2. Matavimo vietų charakteristika	37
2.3. Geležinkelio keliamo triukšmo matavimo metodika.....	41
2.4. Akustiniai – natūriniai triukšmo slopinimo sienelės tyrimai.....	43
2.5. Geležinkelio transporto keliamo triukšmo sklaidos modeliavimo metodika	46
2.6. Triukšmo slopinimo sienelės modelio kūrimas	48
2.2. Išvados	49
3. TYRIMŲ REZULTATAI	51
3.1. Geležinkelio transporto keliamo triukšmo tyrimai pasirinktose matavimo vietose	51
3.2. Triukšmo slopinimo sienelės akustiniai – natūriniai tyrimai	68
3.3. Išvados	72
4. TRIUKŠMO SKLAIDOS SKAITINIS MODELIAVIMAS.....	74
4.1. Geležinkelio transporto keliamo triukšmo sklaidos modeliavimas.....	74
4.2. Triukšmo slopinimo sienelės efektyvumo modeliavimas	76
4.3. Išvados	79
Bendrosios išvados	81
Rekomendacijos	83
Literatūra	84
Autoriaus paskelbti darbai ir skaityti pranešimai konferencijose.....	90
PRIEDAI	91

Anotacija

Geležinkelio transporto keliamo triukšmo poveikis aplinkai jaučiamas prie geležinkelio magistralių, stočių teritorijose, ypač ankstyvesnio užstatymo zonose, kur tarp važiuojamųjų geležinkelio linijų ir pastatų, reikalaujančių apsaugos nuo triukšmo, yra palyginti maži atstumai. Ne išimtis ir Kaišiadorių miesto geležinkelio stoties teritorija. Tyrinėtame geležinkelio transporto skleidžiamo triukšmo įtakos ruože apie 70 % visų tyrinėtų traukinių sukeltas triukšmo lygis viršijo Lietuvos higienos normoje HN 33: 2007 nustatytas, leistinas ekvivalentinio ir maksimalaus garso lygio vertes net iki 20 dBA, kai kuriais atvejais ir daugiau. Nustatyta, kad vyraujantis triukšmo spektre yra žemo dažnio (31,5–315 Hz) garsas, o didžiausi triukšmo lygiai siekia 85 dB. Pagrindinė to priežastis yra nedideli atstumai tarp gyvenamųjų namų ir geležinkelio linijų bei triukšmo mažinimo priemonių neorganizuotumas.

Triukšmą slopinantys ekranai – sienelės, kaip veiksminga priemonė, slopinant triukšmą jo sklaidimo kelyje, šiuo metu yra dėmesio centre. Dabar paprastai pripažįstama, kad triukšmą slopinančios sienelės su atitinkamais įtaisais ant jų viršutinės briaunos efektyviau apriboja garso bangų difrakciją, lyginant su įprastais tokio pat aukščio, kai kuriais atvejais ir aukštesniais ekranais. Tokie ekranai vadinami „modifikuotos briaunos“ triukšmą slopinančiais ekranais.

Darbe atliktais akustiniais – natūriniais tyrimais vertinama triukšmo slopinimo sienelės viršūnės polinkio įtaka, aplinkoje sklindančio garso bangų ekranavimo efektui. Polinkio kampą keičiant atitinkamai – 90°, 120°, 150°, 180°, formuota „L90“ (polinkio kampas 90°), „J120“, „J150“ (polinkio kampas 120° ir 150°) ir įprastos, „tiesaus tipo“ formos (polinkio kampas 180°) triukšmo slopinimo sienelė. Triukšmo slopinimo sienelės formos įtaka, triukšmo sklaidai triukšmo slopimo aplinkoje, stebima žemo (100–315 Hz) ir aukšto dažnio (2000–5000 Hz) srityse. Žemo dažnio garso bangų difrakciją efektyviausiai sumažina „J120“ formos ekranas, aukšto dažnio srityje didžiausias ekranavimo efektas pasiektas taikant įprastą „tiesaus tipo“ triukšmo slopinimo sienelę. Atsižvelgiant į kilnojamos triukšmą slopinančios konstrukcijos tyrimų rezultatus, taikant triukšmo sklaidos modeliavimo programą „CadnaA“, sprendžiama galimybė ją praktiškai pritaikyti geležinkelio transporto keliamo triukšmo mažinimui, Kaišiadorių miesto centrinės dalies gyvenamosios paskirties pastatų aplinkoje.

Annotation

The effect of railway noise on the environment is felt near the railway lines, in the station areas, and especially in the earlier construction zones in which there is a very small distance between the railway lines and the buildings which need a protection from noise. The railway station area of Kaišiadorys city is not an exception as well. In the examined area where the impact of railway noise is felt the noise created by about 70% of the examined trains exceeded the permissible values of reciprocal and maximum sound level which are determined in Lithuanian Hygiene Norm HN 33: 2007 up to 20 dBA or in some cases even more. It was determined that the low frequency (31,5–315 Hz) sound is dominant in the noise spectrum and the highest noise levels reach 85 dB. The main reasons for this are small distances between residential buildings and railway lines and the poor organization of tools reducing noise.

Noise suppressing screens – barriers are now in a spotlight as an efficient tool to suppress noise in its propagation path. Now it is normally accepted that noise barriers with adequate devices on their upper edge limit the sound wave diffraction more efficiently if compared to usual barriers of the same height or in some cases even higher. Such barriers are known as noise suppressing screens with “a modified edge”.

The performed acoustic – natural researches help to evaluate the impact of the inclined top of the noise barrier on the efficiency of shielding airborne sound waves. While changing the slope angle respectively to 90°, 120°, 150°, 180°, such noise barriers were formed: “L90” (slope angle 90°), “J120”, “J150” (slope angle 120° and 150°), and usual “straight type” (slope angle 180°). The impact of the noise barrier shape on the noise scattering in the noise attenuation environment was observed in low (100-315 Hz) and high (2000-5000 Hz) frequency zones. The low frequency sound diffraction is most efficiently reduced by the “J120” barrier whereas in the high frequency zone the best results were obtained using the usual “straight type” noise barrier. Taking into consideration the results of the research on the portable construction suppressing noise and using the programme for modelling noise scattering “CadnaA”, the possibility to practically use this construction for reducing railway noise in the central residential part of Kaišiadorys city was considered.

Žymėjimai

Simboliai

α – garso sugerties koeficientas;

A – bangos amplitudė, m;

c – bangos sklidimo greitis, m/s;

D_p – garso silpimas, dB;

$d_{T\check{s}}$ – atstumas nuo sienelės iki triukšmo šaltinio, m;

λ – bangos ilgis, m;

f – dažnis, Hz;

h_s – sienelės aukštis, m;

h_M – mikrofono aukštis, m;

$h_{T\check{s}}$ – triukšmo šaltinio aukštis, m;

h_v – lanksčios viršūnės aukštis, m;

I – garso intensyvumas, W/m^2 ;

I_0 – garso intensyvumo slenkstinė vertė, W/m^2 ;

$L_{ekv.}$ – ekvivalentinis pagal energiją intensyvumo lygis, dBA;

L_I – garso intensyvumo lygis, dB;

L_P – garso slėgio lygis, dB;

L_p – dominuojantis triukšmo lygis, dB;

L_{pb} – triukšmo lygis 1/3 oktavos juostose matuotas, kai triukšmo šaltinis išjungtas, dB;

L_{ps} – triukšmo lygis 1/3 oktavos juostose matuotas, kai triukšmo šaltinis įjungtas, dB;

$L_{ekv.}$ – ekvivalentinis pagal energiją garso intensyvumo lygis, dBA;

P – garso slėgis, Pa;

P_0 – pradinė girdimumo riba, Pa;

PWL – triukšmo galio lygis, dB;

Q – transporto srauto dydis, aut/h;

Santrumpos

PSO – Pasaulio sveikatos organizacija;

HN – higienos norma;

LTL – leistinas triukšmo lygis;

Paveikslų ir lentelių sąrašas

Paveikslai:

1.1 pav. Geležinkelio transporto sukeliama triukšmą lemiantys faktoriai

21

1.2 pav.	Traukinių sukeltų didžiausių triukšmo lygių priklausomybė nuo atstumo iki matavimo taško	22
1.3 pav.	Įvairių autotransporto keliamo triukšmo mažinimo priemonių efektyvumas	23
1.4 pav.	Naujausi AB „Lietuvos Geležinkeliai“ naudojami traukiniai	24
1.5 pav.	Transporto keliamo triukšmo slopinimo būdai	25
1.6 pav.	Akustinio ekrano schema	27
1.7 pav.	Eksperimentinių konstrukcijų pavyzdžiai	28
1.8 pav.	Garsą atspindintis ir sugeriantis ekranas	29
1.9 pav.	Triukšminga gatvė uždengta permatoma triukšmo slopinimo konstrukcija Suomijoje	30
1.10 pav.	Akustinio ekrano aukščio priklausomybė nuo atstumo iki triukšmo šaltinio	30
1.11 pav.	Apdirbto paviršiaus (atkuriant supančios aplinkos elementus) triukšmo slopinimo sienelės	31
1.12 pav.	Tyrinėjami ekranų modeliai	32
1.13 pav.	Olandijoje tyrinėtas T formos ekranas	33
1.14 pav.	Ekranas su „dantytu“, netaisyklingu pakraščiu	33
1.15 pav.	CadnaA programos modeliavimo proceso su GIS eiga	36
2.1 pav.	Triukšmo lygio matavimo vietų išsidėstymo schema Kaišiadorių miesto centrinės dalies zonoje	38
2.2 pav.	1 tyrimo vietos schema	39
2.3 pav.	2 tyrimo vietos schema	40
2.4 pav.	3 tyrimo vietos schema	40
2.5 pav.	4 tyrimo vietos schema	41
2.6 pav.	5 tyrimo vietos schema	41
2.7 pav.	6 tyrimo vietos schema	42
2.8 pav.	7 tyrimo vietos schema	42
2.9 pav.	8 tyrimo vietos schema	43
2.10 pav.	Triukšmo lygio matavimas	43
2.11 pav.	Akustinių ekrano viršūnės polinkio savybių tyrimams sukonstruoto kilnojamo ekrano schematinis vaizdas	45
2.12 pav.	Tyrimams naudojama įrangos sistema „Bruel & Kjaer“	46
2.13 pav.	Tyrimo situacijų vaizdas	47
2.14 pav.	Bendras analizuojamą vietovę atitinkantis vaizdas programoje „CadnaA“	49
2.15 pav.	Triukšmo slopinimo sienelės modelio kūrimas	51
3.1 pav.	Ekvivalentinis ir maksimalus triukšmo lygiai 1 matavimo vietoje	54

3.2 pav.	Triukšmo lygis pagal vidutinio geometrinio dažnio charakteristiką	54
3.3 pav.	Ekvivalentinis ir maksimalus triukšmo lygiai 2 matavimo vietoje	55
3.4 pav.	Triukšmo lygis pagal vidutinio geometrinio dažnio charakteristiką	56
3.5 pav.	Ekvivalentinis ir maksimalus triukšmo lygiai 3 matavimo vietoje	57
3.6 pav.	Triukšmo lygis pagal vidutinio geometrinio dažnio charakteristiką	58
3.7 pav.	Ekvivalentinis ir maksimalus triukšmo lygiai 4 – oje matavimo vietoje	59
3.8 pav.	Triukšmo lygis pagal vidutinio geometrinio dažnio charakteristiką	59
3.9 pav.	Ekvivalentinis ir maksimalus triukšmo lygiai 5 matavimo vietoje	60
3.10 pav.	Triukšmo lygis pagal vidutinio geometrinio dažnio charakteristiką	61
3.11 pav.	Ekvivalentinis ir maksimalus triukšmo lygiai 6 matavimo vietoje	62
3.12 pav.	Triukšmo lygis pagal vidutinio geometrinio dažnio charakteristiką	63
3.13 pav.	Ekvivalentinis ir maksimalus triukšmo lygiai 7 matavimo vietoje	64
3.14 pav.	Triukšmo lygis pagal vidutinio geometrinio dažnio charakteristiką	64
3.15 pav.	Ekvivalentinis ir maksimalus triukšmo lygiai 8 matavimo vietoje	65
3.16 pav.	Triukšmo lygis pagal vidutinio geometrinio dažnio charakteristiką	66
3.17 pav.	Geležinkelio transporto keliamo triukšmo lygiai tyrimų vietose Kaišiadoryse	67
3.18 pav.	Prekinių traukinių keliamo triukšmo tyrimų rezultatai visose matavimo vietose	68
3.19 pav.	Keleivinių traukinių keliamo triukšmo tyrimų rezultatai	69
3.20 pav.	Triukšmo lygio tyrimo rezultatai žemo dažnio srityje (100–315 Hz)	71
3.21 pav.	Triukšmo lygio tyrimo rezultatai vidutiniškai aukšto dažnio srityje (500– 1600 Hz)	72
3.22 pav.	Triukšmo lygio tyrimo rezultatai aukšto dažnio srityje (2000–5000 Hz)	73
4.1 pav.	Paros triukšmo lygis L_{dvn} , dBA eksperimentinių – natūrinių tyrimų taškuose, pravažiuojant traukiniams (reljefas sąlygiškai lygus)	76
4.2 pav.	Paros triukšmo lygis L_{dvn} , dB eksperimentinių – natūrinių tyrimų taškuose, pravažiuojant traukiniams 8 m aukščio pylimu	77
4.3 pav.	Spalvine skale išskirti plotai ribojantys 50–61 dBA triukšmo lygius apskaičiuotus formuojant skirtingų geometrinių parametrų triukšmo slopinimo sienelės	80

Lentelės:

1.1 lentelė.	Kai kurių triukšmo šaltinių keliamas triukšmo lygis	16
1.2 lentelė.	Leidžiami triukšmo ribiniai dydžiai gyvenamuosiuose ir visuomeninės paskirties pastatuose bei jų aplinkoje	18

1.3 lentelė.	Triukšmo mažinimo priemonės patalpoje	24
1.4 lentelė.	Ekrano efektyvumo priklausomybė nuo ekrano aukščio, kai ekranas nuo taškinio triukšmo šaltinio nutolęs 3 m	31
2.1 lentelė.	Geležinkelio transporto keliamo triukšmo matavimo vietos	38
2.2 lentelė.	Leidžiami triukšmo lygiai	44
2.3 lentelė.	Geležinkelio transporto srauto charakteristika	50
2.4 lentelė.	Programos „CadnaA“ darbalaukyje kuriamų ekranų modelių geometriniai parametrai	50
3.1 lentelė.	Meteorologiniai rodikliai matavimo metu	53
4.1 lentelė.	Triukšmo lygių kaitos rezultatai 2 m atstumu nuo gyvenamųjų namų taikant sukurtus triukšmo slopinimo ekranų modelius	78
4.2 lentelė.	Geležinkelio transporto keliamas triukšmo lygis 7,5 m atstumu nuo geležinkelio linijos geometrinio centro taško	79
4.3 lentelė.	Plotų geometriniai parametrai, kuriuose gauti mažiausi triukšmo lygiai	81

Ivadas

Problema. Triukšmas yra visuotinė problema, apimanti visas žmogaus gyvenimo ir darbo sritis (Baltrėnas ir kt. 2007a). Augant miestams, vystantis pramonei bei gausėjant transporto priemonių skaičiui, plečiasi ir akustinio diskomforto zonos (Bračkus ir Gužas 2007). Transporto keliamas triukšmas yra viena pagrindinių aplinkos kokybės problemų Europoje taip pat ir Lietuvoje, susijusi su vis didėjančiu visuomenės nepasitenkinimu esama padėtimi. Ypač su šia problema susiduriama gyvenamosiose teritorijose prie automobilių magistralių ar geležinkelio linijų (Grubliauskas ir Butkus 2009a). Autotransportas – specifinis taršos šaltinis – dinamiškas, įsiskverbiantis į visas miestų teritorijas – gyvenamuosius ir pramonės rajonus, miesto centro, ligoninių ir sanatorijų zonas, poilsio zonas. Geležinkelio transportas daugiau vienareikšmis, poveikis aplinkai jaučiamas prie geležinkelio magistralių, stočių teritorijose (Gužas 1994; Vasarevičius ir Graudinytė 2004). Tačiau dėl keleivinio ir krovinio geležinkelių transporto srauto augimo, geležinkelių transportas yra vienas iš pagrindinių triukšmo šaltinių, turintis ypač didelę neigiamą įtaką aplinkai (Grubliauskas ir Butkus 2007).

Aktualumas. Lietuvoje kaip ir kitose šalyse, daug dėmesio skiriama triukšmui aplinkoje mažinti ir išvengti jo neigiamo poveikio sveikatai, aplinkos kokybei (Baltrėnas ir kt. 2007a). Yra įvairių triukšmo mažinimo priemonių. Pats efektyviausias ir radikaliausias mažinimo būdas – mažinti triukšmą jo kilimo šaltinyje, tačiau dažnai tai padaryti nėra galimybių. Todėl daugeliu atvejų transporto keliamas triukšmas mažinamas jo sklidimo kelyje. Geriausiai tam tinka triukšmo slopinimo sienelės – ekranai (Gužas 1994; Januševičius ir kt. 2008).

Veiksmingas ekranų projektavimas šiuo metu yra svarbus klausimas aplinkos apsaugai nuo triukšmo (Dunhamel 2006). Parenkant tokią konstrukciją būtina įvertinti gamybai naudojamų medžiagų akustines savybes, ekrano geometriją, formą bei padėtį triukšmo šaltinio ar klausytojo atžvilgiu. Vertinant minėtų parametrų įtaką ekranų akustiniam efektyvumui atlikta daug tyrimų. Lietuvoje, VGTU AAK mokslininkai Grubliauskas ir Butkus (2009b) nustatė, kad taikant lengvas, paprasčiau montuojamas konstrukcijas iš naudotinių „naujos kartos“ medžiagų (gipskartonio, organinio stiklo, medžio drožlių plokštės) galimas efektyvus triukšmo slopinimas. Taip pat taikant skaitinį modelį bei teorinius skaičiavimus Baltrėnas ir kt. (2007a), Grubliauskas ir Butkus (2009a) nustatė, kad labai svarbus parametras, apibūdinantis triukšmą slopinančio ekrano efektyvumą, yra ekrano aukštis.

Pasaulyje, daugelis mokslininkų, taikant eksperimentinius ar skaitinius metodus, tyrinėja ekranų viršūnės formos įtaką garso bangų difrakcijai per ekrano viršutinį pakraštį (Baulac *et al.* 2007; Greiner *et al.* 2010; Mun and Cho 2009; Naderzadeh *et al.* 2011). Tyrinėjamos T, Y, strėlės, šakutės, cilindro formos ir pan. (Cianfrini *et al.* 2007; Monazzam and Fard 2011). Daugelis tyrėjų įrodė T, Y formų ekranavimo efektą lyginant su įprastu tiesaus tipo ekranu.

Japonijoje Murata *et al.* (2006) taikant T, Y formų ekranus nustatė 3 dB didesnę triukšmo lygio sumažėjimą. Aptikta keletas tyrimų vertinant taip pavadintų L, J formos ekranų efektyvumą. Formuojant minėtus ekrano modelius Okubo, Yamamoto (2007), Xitan *et. al* (2005) pasiekė 2–3 dB didesnę ekranavimo efektą.

DARBO TIKSLAS – įvertinti triukšmo slopinimo sienelės efektyvumą geležinkelių transporto keliamo triukšmo mažinimui, panaudojant elementą, pritvirtintą prie ekrano viršutinės briaunos bei sumodeliuoti triukšmo sklaidą, triukšmo sklaidos modeliavimo programa „CadnaA“.

DARBO UŽDAVINIAI:

1. Parinkti matavimo vietas ir atlikti geležinkelio transporto keliamo triukšmo tyrimus gyvenamojoje aplinkoje, Kaišiadoryse.
2. Sukonstruoti triukšmo slopinimo sienelę bei atlikti jos akustinius – natūrinius tyrimus, keičiant ant ekrano viršutinės briaunos pritvirtinto elemento pasvirimo kampą.
3. Sumodeliuoti triukšmo sklaidą, triukšmo sklaidos modeliavimo programa „CadnaA“.

Darbo naujumas. Darbo naujumas pasireiškia kilnojamo ekrano – sienelės akustinių savybių tyrimais. Tyrinėjama, kaip kinta sukonstruotos triukšmo slopinimo sienelės efektyvumas, priklausomai nuo sienelės viršūnės polinkio kampo. Teoriškai konstrukcijos efektyvumas vertinamas, triukšmo sklaidą modeliuojant triukšmo sklaidos modeliavimo programa „CadnaA“.

Darbo praktinė vertė. Darbe atliktais tyrimais vertinamos geležinkelio riedmenų skleidžiamo triukšmo problemos, analizuojamos triukšmo sklaidos ypatybės. Atsižvelgiant į kilnojamos triukšmą slopinančios konstrukcijos tyrimų rezultatus, sprendžiama galimybė ją praktiškai pritaikyti geležinkelio transporto keliamo triukšmo mažinimui, gyvenamojoje aplinkoje.

1. AKUSTINĖ APLINKOS TARŠA IR JOS MAŽINIMAS

1.1. Triukšmas, jo poveikis organizmui

Žmogus gyvena gamtinių ir technologinių garsų pasaulyje. Dalis garsų yra signalai, perteikiantys verbalinę (žodinę) informaciją, kiti gali būti laikomi akustine tarša. Taip pavadintas „triukšmas“ fizikoje apibrėžiamas, kaip įvairaus stiprumo ir dažnio garso bangų visuma, o fiziologiniu požiūriu – tai yra nepageidaujamas garsas, kuris trikdo normalias žmonių gyvenimo sąlygas ir gali sukelti nepalankias ar kenksmingas pasekmes sveikatai (Bogdanovičius 2008; Narmonaitė ir kt. 2006; Rui-Qiang 2011).

Fizikiniu požiūriu garso nusako bangos sklaidimo greitis c , m/s, garso intensyvumas I , W/m², garso slėgis P , Pa, bangos ilgis λ , m, bangos amplitudė A , m, dažnis f , Hz ir kiti parametrai.

Garso bangos ilgio ir dažnio sąryšis išreiškiamas lygybe:

$$\lambda = \frac{c}{f}, \quad (1.1)$$

čia c – garso greitis, m/s; f – dažnis, Hz.

Garso greitis c kiekvienoje terpėje skirtingas. Pvz., kai aplinkos temperatūra 20° C, oro slėgis 1013 hPa, garso greitis ore $c = 344$ m/s, o vandenyje jis lygus apie 1500 m/s (Rimovskis ir Ramonas 2005).

Žmogus gali girdėti nuo 16 (20) iki 20 000 Hz dažnio garsus. Triukšmas pagal dažnį yra skiriamas į žemo dažnio (16–400 Hz), vidutinio dažnio (400–2000 Hz) ir aukšto dažnio (2000–20 000 Hz) triukšmą. Ausis jautriausia vidutinio dažnio (400 – 2000 Hz) virpesiams. Mažesnio nei 16 Hz dažnio garsai vadinami *infragarsu*, didesnio nei 20 000 Hz dažnio garsai vadinami *ultragarsu* (Baublys 2009; Gražuliavičienė 2002).

Garso sukeltas pojūtis žmogaus ausyje priklauso ne tik nuo dažnio bet ir nuo intensyvumo I , W/m², kartu ir garso viršslėgio P , Pa. Šie vienetai neįvertina žmogaus subjektyvų garso jutimą, todėl atsižvelgiant į fiziologinės klausos jautrumo ypatybes garso stiprumui išreikšti naudojami logaritminiai dydžiai – garso slėgio lygis L_P , ir intensyvumo lygis L_I – išreikšti decibelais (dB) (Gražuliavičienė 2002; Rimovskis ir Ramonas 2005).

Garso slėgio lygis yra išreiškiamas formule:

$$L_P = 10 \lg \frac{P^2}{P_0^2} = 20 \lg \frac{P}{P_0}, \quad (1.2)$$

čia L_P – garso slėgio lygis, dB; P – garso šaltinio slėgis, Pa; P_0 – pradinė girdimumo riba, Pa (garso slėgis, kurį žmogus išgirsta, kaip garsą esant 1000 Hz dažniui, lygus $2 \cdot 10^{-5}$ Pa).

Garso intensyvumo lygis apskaičiuojamas taip:

$$L_I = 10 \lg \frac{I}{I_0}, \quad (1.3)$$

čia L_I – garso intensyvumo lygis, dB; I – garso intensyvumas, W/m^2 ; I_0 – garso intensyvumo slenkstinė vertė, $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$.

Triukšmo pasiskirstymas pagal garso slėgio ar intensyvumo lygį ir dažnį vadinamas triukšmo spektru ir yra svarbiausia jo charakteristika, nes žmogaus ausis nevienodai reaguoja į skirtingų dažnių garsus, be to įvairių triukšmo slopinimo įtaisų efektyvumas priklauso nuo garso dažnio (Baublys 2009; Rimovskis ir Ramonas 2005).

Higieniniu požiūriu triukšmai apibūdinami ekvivalentiniu pagal energiją intensyvumo lygiu, kurio matavimo vienetas – decibelas, žymimas dBA:

$$L_{ekv.} = 10 \lg \left(\frac{1}{100} \sum_i \tau_i 10^{0,1L_i} \right), \quad (1.4)$$

čia τ_i – L_i – ojo intensyvumo lygio triukšmo santykinė (matavimo laiko %) veikimo trukmė, L_i – i – ojo triukšmo intensyvumo lygis, matuojamas dBA.

Taigi vidutinis triukšmo lygis apskaičiuojamas pagal garso intensyvumo lygį ir pasireišimo trukmę. Vertinant triukšmą higieniniu požiūriu pagal $L_{ekv.}$ normuojama skirtingų dažnių diapazonų, tarp jų ultragarso ir infragarso, leistinųjų triukšmo lygių trukmė gamybinėse bei gyvenamosiose patalpose, įstaigose, gyvenvietėse. Triukšmo trukmės sumažėjimas per pusę atitinka triukšmo intensyvumo lygio sumažėjimą 3 dBA (Bogdanovičius 2008).

Triukšmai būna nuolatiniai, trukčiojantys arba impulsiniai. Akustinius triukšmus sukelia virpantys kūnai po smūgių, dažniausiai judančių mašinų (pvz.: gamybos procesų metu taikoma technologinė įranga, orlaiviai, geležinkelio lokomotyvai, automobilių transportas, buldozeriai ir pan.), jų mazgų ir mechanizmų (besisukančių guolių) virpesiai, taip pat aerodinaminiai akustiniai triukšmai, kuriuos sukelia labai dideliu greičiu judantis oras, dujos, garai ar skysčiai (vidaus degimo varikliai, kompresoriai ir kt.) (Monsefi *et al.* 2010; Kaulakys 1999).

Aplinkos triukšmas yra nuolatinis ir neišvengiamas, miestuose tai yra didelė ir kasmet auganti problema (Joshi *et al.* 2005). Pasaulio sveikatos organizacija (PSO) triukšmą išskiria, kaip trečią sveikatos sutrikimus įtakojantį veiksnių po oro ir vandens taršos (Agarwal and Swami 2011). Europos Sąjungos (ES) Žaliojo dokumento ateities triukšmo politika teigia, kad apie 20 % ES gyventojų kenčia nuo triukšmo lygio, kurį sveikatos ekspertai vadina nepriimtiniu, t.y. kuris gali sukelti susierzinimą, miego ir kitus sveikatos sutrikimus (Blažys ir kt. 2009). PSO duomenimis, Europoje 450 milijonų žmonių kasdien veikiami 55 dBA triukšmo lygio, 113 milijonų veikiami 65 dBA triukšmo ir 9,7 milijono patiria 75 dBA triukšmą (Paulauskas ir Klimas 2011).

Triukšmo poveikį organizmui galima suskirstyti į specifinį ir nespecifinį. Specifiniam poveikiui priklauso: akustinė trauma, klausos nuovargis ir profesinis kurtumas. Atsiradęs kurtumas gali likti pastovus dėl mechaniško ir dėl klausos nervo pažeidimo. Didelio garso triukšmas gali veikti ne tik darbe, bet ir gyvenamojoje aplinkoje (1.1 lent.). Dėl triukšmo nespecifinio poveikio organizmui labiausiai veikiama centrinė nervų sistema, todėl atsiranda funkcinų centrinės bei vegetacinės nervų sistemos sutrikimų: galvos svaigimas, blogėja dėmesys, atmintis ir darbingumas, sutrinka miegas, vystosi neurozės. Šie pakitimai dažnai išsivysto anksčiau, negu sutrinka klausos (Ašmenskas ir kt. 1997; Gražuliavičienė 2002).

Ypatingai triukšmo poveikiui jautrūs vyresnio amžiaus žmonės ir vaikai. Tyrimais nustatyta, kad aukšto triukšmo lygio pakenkimus, tokius, kaip kraujospūdžio padidėjimas, nervų sąstingis, vaikai gali patirti jau savo motinų iščiuose. Triukšmas gali įtakoti vaikų elgesį, paveikti dėmesį, pakenkti kalbos suvokimui, skaitymo bei rašybos sugebėjimams. Vaikai, kurie lanko triukšmingas mokyklas neišmoksta skaityti taip, kaip vaikai, kurie mokosi ramioje aplinkoje (Firdaus and Ahmad 2010).

Triukšmas veikia ir kitų analizatorių funkcijas: blogėja akių šviesinė adaptacija, regos ir klausos sensomotorinės reakcijos, vibracinis jautrumas, judesių koordinacija ir raumenų jėga. Blogėja ryškaus matymo pastovumo funkcija, informacijos apdorojimo greitis bei dauguma kitų psichofiziologinių funkcijų. Triukšmas, kaip lėtinis stresas, neurohumoraliniu keliu sukelia patologinių pakitimų ir širdies bei kraujagyslių sistemoje. Triukšmas slopina skrandžio sulčių sekretą ir jų rūgštingumą, ilgai gali išsivystyti gastritas ir opaligė (Ašmenskas ir kt. 1997).

1.1 lentelė. Kai kurių triukšmo šaltinių keliamas triukšmo lygis (Gražuliavičienė 2002)

Triukšmas (dBA)	Poveikis klausai	Triukšmo šaltinis
140	Trauma	Sprogimas, reaktyvinis variklis
120	Pažeidimas	Poliakalė, pneumatiniai kūjai, roko muzika
100	Stiprus garsas	Metro traukinys, žemės ūkio technika, motociklas
80	Vidutinis garsas	Dyzelinis variklis, perpildytas restoranas
60	Dirginantis	Rašomoji mašinėlė, radijas, televizorius
45	Ramus	Ramaus mikrorajono triukšmas
25	Tylus	Lietus, lapų šlamėjimas
10	Vos girdimas	Šnabždesys

Triukšmo poveikis žmogaus organizmui priklauso nuo trijų faktorių:

- 1) poveikio trukmės (kurtumas atsiranda ne iš karto, bet per keletą metų);
- 2) triukšmo intensyvumo (kuo intensyvesnis triukšmas, tuo greičiau atsiranda patologinių reiškinių);

- 3) dažnio charakteristikos (spektro) (kuo daugiau spektre aukštų dažnių, tuo greičiau pasireiškia nuovargis, tuo jis pavojingesnis dėl galimo apkurtumo) (Mogilnickas 2004).

Triukšmo poveikio mastą ir trukmę taip pat lemia kiekvieno žmogaus fizinė būklė, gyvenimo būdas ir aplinkos sąlygos (triukšmo poveikį organizmui dažnai sustiprina toksiškos medžiagos, vibracija, nepalankus mikroklimatas) (Mačiūnas ir Uscila 2010). Ypač didelė rizika yra gyventojams gyvenantiems arti oro uostų, greitkelių, geležinkelio linijų, sunkiosios pramonės darbuotojams, transporto priemonių vairuotojams (sunkvežimių kabinose triukšmo lygis siekia – 83–90 dBA, autobusuose – 72–92 dBA, lengvosiuose automobiliuose – 72–80 dBA) (Karimi *et al.* 2010; Monsefi *et al.* 2010).

Tyrimais įrodyta, kad jau 70 dBA nuolatinis triukšmas sukelia funkcinių centrinių bei vegetacinės nervų sistemos sutrikimų, skatina arterinės hipertenzijos ir išeminės širdies ligos vystymąsi (Obelenis ir Malinauskienė 2007).

Anglijoje ir Velse atliktoje transporto triukšmo įtakos išeminei širdies ligai ir miokardo infarktui atsirasti studijoje 45–63 metų vyrams, kai buvo valdoma daugelis išeminės širdies ligos rizikos veiksnių, nustatyta 20 proc. padidėjusi miokardo infarkto rizika tuose mikrorajonuose, kuriuose buvo nustatytas 65–70 dBA triukšmo lygis, palyginus su 51–55 dBA triukšmu (Malinauskienė ir kt. 2004).

Švedijos mokslininkai nustatė, kad netgi 55 dBA vidutinis paros triukšmo lygis šalia tarptautinio Stokholmo oro uosto 60 % padidino aplinkinių gyventojų arterinės hipertenzijos riziką, o viršijantis 72 dBA triukšmo lygis – 80 %. Triukšmo poveikis buvo stipresnis vyresnio amžiaus gyventojams. Daugeliu atvejų sveikatos sutrikimai stebimi po 5–15 metų poveikio gyvenant triukšmingoje vietoje (Bendokienė ir Gražulevičienė 2010).

Triukšmas yra vienas labiausiai paplitusių aplinkos taršos šaltinių, kuris sukuria įtampą kasdieniniame gyvenime, sukelia organizme stresą, kurio rezultatas yra psichosocialiniai (nerimas, miego sutrikimai, kasdieninės veiklos trikdymai) bei fiziniai (klausos silpnėjimas, arterinė hipertenzija, išeminė širdies liga) sutrikimai (Brink 2011; Malinauskienė ir kt. 2004).

1.2. Triukšmo normavimas, matavimas

Šiuo metu Lietuvoje įvairių triukšmo šaltinių ribiniai triukšmo lygiai žmonių gyvenamuosiuose ir visuomeninės paskirties pastatuose bei jų aplinkoje, įvertinami matavimo rezultatais, palyginant juos su atitinkamais triukšmo ribiniais dydžiais, nurodytais Lietuvos higienos normoje HN 33: 2007 „Akustinis triukšmas. Triukšmo ribiniai dydžiai gyvenamuosiuose ir visuomeninės paskirties pastatuose bei jų aplinkoje“ (žr. 1.2 lent.) (HN 33:

2007). Šioje higienos normoje ribinės vertės nurodytos tik ekvivalentiniams ir maksimaliems triukšmo lygiams, triukšmo dažninės charakteristikos šiuo metu nėra vertinamos.

1.2 lentelė. Leidžiami triukšmo ribiniai dydžiai gyvenamuosiuose ir visuomeninės paskirties pastatuose bei jų aplinkoje (HN 33: 2007)

Objekto pavadinimas	Garso lygis, ekvivalentinis garso lygis, dBA	Maksimalus garso lygis, dBA	Paros laikas, val.	Triukšmo ribiniai dydžiai, naudojami aplinkos triukšmo kartografavimo rezultatams įvertinti			
				L _{dvn}	L _{dienos}	L _{vakaro}	L _{nakties}
1	2	3	4	5	6	7	8
001 Gyvenamųjų pastatų miegamieji kambariai	45	55	6–18				
	40	50	18–22				
	35	45	22–6				
002 Visuomeninės paskirties pastatų miegamieji kambariai ikimokyklinėse įstaigose ir internatinėse mokyklose, palatos ir operacinės ligoninės, kambariai sanatorijose	45	55	6–18				
	40	50	18–22				
	35	45	22–6				
003 Visuomeninės paskirties pastatų auditorijos, mokymo kabinetai ir klasės	65	70					
004 Salės restoranuose, kavinėse, baruose ir kitose maitinimo įmonėse muzikos ansamblių koncertų metu	80	85					
005 Koncertų ir kitos salės estradinių renginių metu, kino filmų demonstravimo metu	85	90					
006 Atviros koncertų ir šokių salės estradinių renginių metu	85	90	6–18	85	86	81	55
	80	85	18–22				
	55	60	22–6				
007 Gyvenamųjų ir visuomeninės paskirties pastatų aplinkoje	65	70	6–18	65	66	61	55
	60	65	18–22				
	55	60	22–6				

Triukšmo lygis matuojamas triukšmomačiais. Triukšmo lygiui matuoti gali būti naudojamos trys skalės: A, B, C. A skalė naudojama dažniausiai ir yra tinkamiausia darbo ir gyvenamosios aplinkos triukšmui matuoti. Ji įvertina jautriausią žmogaus klausos triukšmui dažnių sritį, šios skalės matavimo vienetas – dBA (Rimovskis ir Ramonas 2005).

Šiuo metu triukšmomačių ir matavimo įrenginių yra įvairių markių ir rūšių, pritaikytų konkreitiems matavimams: triukšmo fonui nustatyti, atitvarų ir perdangų triukšmo izoliacijai

įvertinti, įrangos skleidžiamam triukšmui nustatyti, patalpų akustikai vertinti ir pan. Plačiai yra paplitę triukšmo ir vibracijos matuokliai ir jų įrangos, gaminamos Rusijoje (*VŠ – 2000, Oktava 101A*), Danijoje, Bruel & Kjaer firmoje (*Bruel & Kjaer ENDEVCO 2232; Bruel & Kjaer ENDEVCO 2250; Bruel & Kjaer mediator 2260*). Triukšmo lygio matavimo prietaisu *Bruel & Kjaer 2260* galima matuoti ekvivalentinio bei maksimalaus triukšmo lygio parametrus. Vienu metu triukšmo lygį galima matuoti dviem mikrofonais. Tai naudinga matuojant atitvarų akustines savybes, ar tiriant statybinių medžiagų akustines charakteristikas. 6,3–20 Hz dažnių diapazone matavimo paklaida neviršija $\pm 2\%$, o 12,5–8000 Hz dažnių juostuose tesiekia $\pm 1\%$. Mikrofono elektrinė talpa – 14 pF, jautris – 1 V/Pa, maksimalus garso slėgio lygis – 158 dB (Baltrėnas ir kt. 2008).

Aplinkos triukšmą sudaro įvairių šaltinių triukšmas, kuriam matuoti ir vertinti taikomos teisės aktuose patvirtintos, tarptautiniuose ISO ar Lietuvos standartuose, 2002 m. birželio 25 d. Europos parlamento ir Tarybos direktyvoje 2002/49/EB dėl aplinkos triukšmo įvertinimo ir valdymo (OL 2004 m. specialus leidimas, 15 skyrius, 7 tomas, p. 101) nurodytos metodikos (HN 33: 2007).

1.3. Aplinkos tarša transportiniu triukšmu

Motorinis transportas yra vienas iš pagrindinių aplinkos triukšmo šaltinių, sukeliantis neigiamą poveikį aplinkai ir jos komponentams (Jagnetinskis *et al.* 2011; Paulauskas ir Klimas 2011; Vaišis ir Januševičius 2008). Be transporto negalime išsiversti visose miesto ar šalies teritorijose – miesto centre, priemiesčio zonose, kurortinėse zonose, ligoninių ir sanatorijų teritorijose, nacionaliniuose parkuose ar draustinių teritorijose. Žmonės randasi tik 1,5–7,5 metro atstume nuo taršos šaltinio (transporto) (Klibavičius 2008). Transporto keliamas triukšmas įsiskverbia į gyvenamuosius namus, visuomeninius pastatus ir kitas žmonių lankomas vietas (Mačiūnas 1999).

Pagrindiniai triukšmo šaltiniai yra:

- autotransporto triukšmas nuo gatvių ir sankryžų;
- autotransporto stovėjimo aikštelių triukšmas;
- geležinkelių linijų triukšmas;
- orlaivių keliamas triukšmas;
- lokalinių šaltinių triukšmas (Klibavičius 2008).

Maždaug 10 mln. žmonių Europoje yra veikiami pernelyg didelio autotransporto srauto triukšmo, kuris gali sukelti stresą, ligas ar netgi mirtiną poveikį (Xie *et al.* 2011). Pasaulio sveikatos organizacija (PSO) nustatė, kad apie 40% ES gyventojų kenčia nuo eismo triukšmo, didesnio nei 55 dBA dieną ir daugiau nei 30% – naktį (Blažys ir kt. 2009).

Miesto užstatytose teritorijose pagrindiniai triukšmo šaltiniai yra autotransporto srautai gatvėse, tam tikrais atvejais tai iki 80 % bendro triukšmo lygio (Baltrėnas *et al.* 2010; Klibavičius 2008; Oškinis ir kt. 2004). Sparčiai daugėjant autotransporto priemonių, triukšmo lygis didėja ir Lietuvoje, kai kuriose miestų gatvėse transporto priemonių keliamas triukšmas spūsties valandomis siekia 95–98 dB (Mačiūnas 1999; Vasarevičius ir Graudinytė 2004).

Transporto srauto triukšmas priklauso nuo jo intensyvumo, judėjimo greičio, srauto sudėties, kelio dangos kokybės ir užstatymo greta transporto srauto (Stauskis 2007). Miesto autotransporto intensyvumas yra vienas iš svarbiausių veiksnių, nulemiančių triukšmo lygį. Kintant eismo intensyvumui nuo 100 iki 400 automobilių per valandą triukšmo lygis išauga 12,5 dBA. Be to esant įvairiarūšiam transportui, būtinai atsiranda papildomas transporto priemonių manevravimas, t.y. aplenkimas, greičio skirtumai, sustojimai stotelėse, sankryžose, todėl dar pakyla triukšmo lygis (Mačiūnas 1999).

Atskiro automobilio skleidžiamas triukšmas priklauso nuo transporto priemonės tipo, važiavimo greičio, automobilio techninės būklės (Klibavičius 2008). Lengvieji automobiliai skleidžia žemųjų dažnių triukšmą, kuris yra didžiausias esant 125 Hz, ir augant dažniui mažėja. Mažos galios sunkvežimiai didžiausius triukšmo lygius sukuria diapazonu iki 1000 Hz, o didelės galios sunkvežimių didžiausias triukšmas siekia dažnių diapazoną iki 4000 Hz (Stauskis 2007).

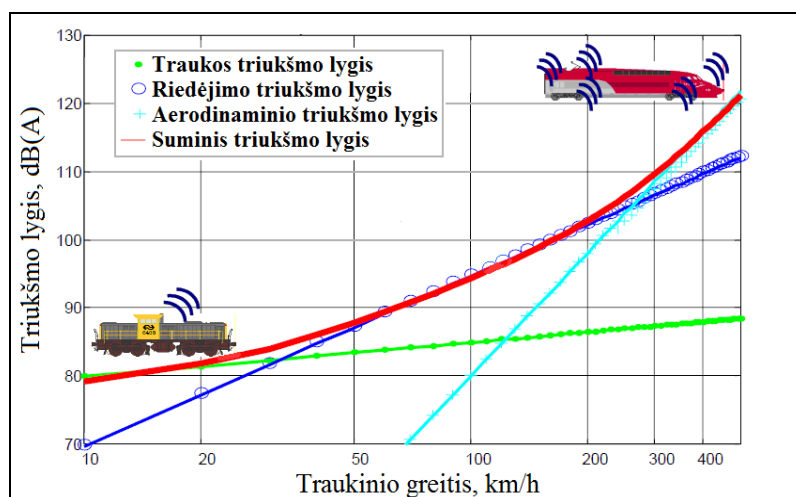
Autotransporto priemonių triukšmo šaltiniai yra varikliai, jėgos bei judesio perdavimo mechanizmai (Mačiūnas 1999). Pagrindinė triukšmo priežastis – nuolat didėjantis senų, techniškai netvarkingų automobilių skaičius (Oškinis ir kt. 2004). Blogai prižiūrimas automobilis (netvarkingos oro įsiurbimo ir dujų išmetimo sistemos, ventiliatoriaus, pavarų dėžė) gali padidinti triukšmo lygį net 10 dBA (Skirgaila ir Jaskelevičius 2008). Didelę įtaką triukšmui daro ir transporto greitis. Jam padidėjus nuo 40 iki 60 km per valandą, triukšmo lygis padidėja 2–4 dBA. Be to transporto priemonei važiuojant didesniu nei 60 km/val., ratų triukšmas dėl trinties su gatvės danga viršija variklio sukeliama triukšmą (Mačiūnas 1999). Triukšmas iš dalies sklinda dėl padangų smūgių, kuriuos sukuria kelio dangos ar padangų protektoriaus nelygumai. Šie smūgiai verčia padangas vibruoti ir skleisti triukšmą. Padangų protektoriaus vibracija persiduoda į padangų šonines sienes, kurios judėdamos skleidžia triukšmą (Mačiūnas ir kt. 2007).

Geležinkelio keliamo triukšmo poveikis aplinkai jaučiamas, prie geležinkelio magistralių, stočių teritorijose (Vasarevičius ir Graudinytė 2004). Daugelyje Europos šalių žmonių procentinė dalis, veikiamą geležinkelio transporto keliamo triukšmo – santykinai maža (3–5 %), lyginant su kelių eismo (60–80 %), tačiau nakties metu, aukšto triukšmo lygio poveikį, sąlygojamą geležinkelio transporto, patiria apie 22 % žmonių (Lercher *et al.* 2010). Ypač ankstyvesnio užstatymo zonose, kur tarp važiuojamųjų geležinkelio linijų ir pastatų, reikalaujančių apsaugos nuo triukšmo yra palyginti maži atstumai, todėl geležinkelio transportas yra vienas iš pagrindinių

triukšmo šaltinių, turintis ypač didelę neigiamą įtaką aplinkai (Grubliauskas ir Butkus 2007; Grubliauskas ir Butkus 2009a).

Geležinkelio keliamas triukšmas pasireiškia važiuojant traukiniams ir juos rūšiuojant, perstatant stotyse. Visų tipų traukinių triukšmo lygis siekia apie 90 dBA ir užima skirtingą trukmės intervalą – nuo 2, 4 ir iki 15 s. 7,5 m atstumu nuo pirmojo traukinių kelio ašies, traukinių, važiuojančių 40 km/h greičiu, ekvivalentiniai triukšmo lygiai siekia: keleivinių traukinių – 84 dBA, prekinį – 89 dBA. Prekiniai traukiniai kelia ir virš 90 dBA triukšmą. Nustatyta, kad pavienis šiluminis lokomotyvas sukelia 5–8 dBA didesnę triukšmą negu traukinio vagonai, tuo tarpu elektrinis lokomotyvas sukelia 8–10 dBA mažesnę triukšmą negu šiluminis lokomotyvas. Visų traukinių sukiamas triukšmas didėja, didėjant greičiui ir jų intensyvumui. Padidėjus traukinio greičiui du kartus, triukšmo lygis padidėja 10 dBA (Stauskis 2007).

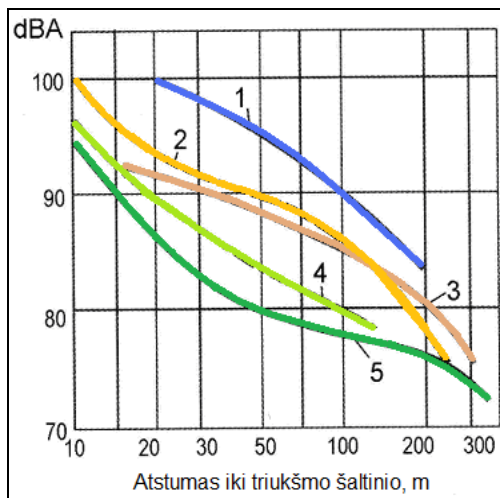
Traukinių keliamas triukšmo lygis yra rezultatas daugelio tarpusavyje sąveikaujančių veiksnių (Dinno *et al.* 2011). Traukiniui judant bėgiais, judančios jo dalys ir bėgiai perduoda judesį aplinkines terpės dalelėms (Grubliauskas ir Butkus 2008). Triukšmą sukuria sistema „ratas – bėgis“ (Stauskis 2007). Dominuojančio garso, sąlygojamo ratų ir bėgių kontaktų, dažnis kinta nuo 800 iki 4000 Hz (Grubliauskas ir Butkus 2007). Triukšmą lemiantys faktoriai yra riedmenų rūšys, kelio konstrukcijos, bėgio paviršiaus nuodylio netolydumas, ratų apvalumas (t.y. nuokrypiai nuo idealiai apskrito), stabdymo įrenginys ir traukinio greitis (1.1 pav.). Garso emisijos skirtumas tarp ratų ir gerai prižiūrimų geležinkelio bėgių bei tokių pačių tik prastai prižiūrimų geležinkelio bėgių gali būti 10 dB ir daugiau (Dinno *et al.* 2011; Grubliauskas ir Butkus 2008; Mačiūnas ir kt. 2007).



1.1 pav. Geležinkelio transporto sukiamą triukšmą lemiantys faktoriai (Urgent need... 2008)

1.2 pav. pavaizduota geležinkelio transporto keliamo triukšmo lygių priklausomybė nuo atstumo iki matavimo vietos. Grafikas rodo, kad traukinių triukšmą lemia jų greitis ir sandūros tarp bėgių. Beveik vienodus triukšmo lygius sukuria labai greitas traukinys, važiuojantis bėgiais

be sandurų, ir traukinys, važiuojantis du kartus mažesniu greičiu, bet bėgiais su sandūromis (2 ir 3 kreivės). Kai traukinių greičiai vienodi, sunkus krovininis traukinys, važiuojantis bėgiais su sandūromis, sukelia 2–3 dB mažesnę triukšmą negu santykiškai lengvas traukinys, važiuojantis tuo pačiu greičiu, bet bėgiais be sandurų (4 ir 5 kreivės) (Stauskis 2007).



1.2 pav. Traukinių sukiamų didžiausių triukšmo lygių priklausomybė nuo atstumo iki matavimo taško: 1 – keleivinis traukinys, greitis 270 km/h; 2 – greitas traukinys, greitis 270 km/h, o bėgiai be sandurų; 3 – keleivinis traukinys, greitis 120–150 km/h, bėgiai su sandūromis; 4 – priemestinis keleivinis traukinys, greitis 120–150 km/h, bėgiai be sandurų; 5 – krovininis traukinys, greitis 120–150 km/h, bėgiai su sandūromis (Stauskis 2007)

Šiuo metu vis dažniau naudojami greitaeigiai traukiniai. Didėjantys eismo greičiai reikalauja geležinkelio riedmenų techninio gerinimo ir jie tampa geresni bei modernesni, tačiau šios transporto priemonės taip pat yra skleidžiamo triukšmo šaltiniai (Bazaras ir kt. 2003; Hothersall *et al.* 2000)

1.4. Transporto keliamo triukšmo mažinimo būdai

Transporto keliamo triukšmo mažinimo priemonės parenkamos atsižvelgiant į triukšmo šaltinio pobūdį, padėtį gyvenamųjų ir masinio žmonių susitelkimo vietų atžvilgiu, ekonomines ir technines galimybes (Skirgaila ir Jaskelevičius 2008).

Priemonės, skirtos didelio transporto srauto sukiamo triukšmo sumažinimui gali būti suskirstytos į tokias grupes:

- urbanistinės priemonės (miesto planavimo, projektavimo);
- organizacinės ir administracinės priemonės;
- techninės ir konstrukcinės priemonės (Polič and Valentin 2007).

Miesto planavimo, projektavimo, urbanistinės priemonės yra priemonės kurios įgyvendinamos planuojant statybas gatvių ir kelių aplinkoje ar projektuojant kelių sujungimus

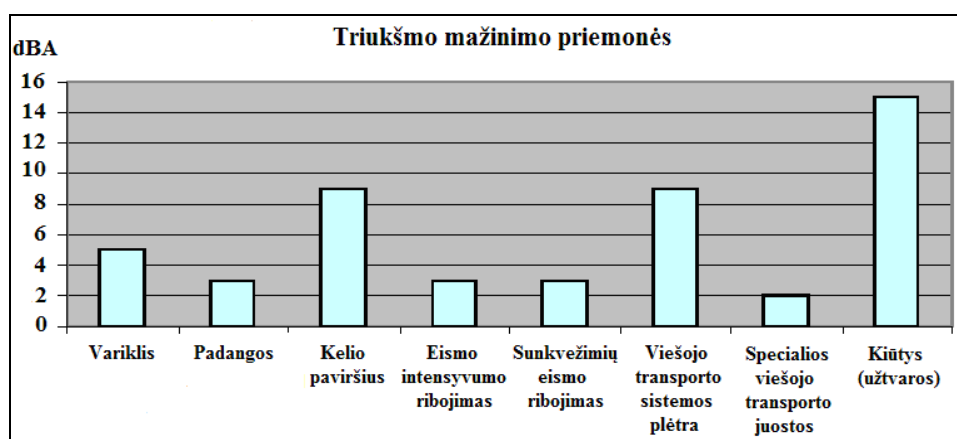
jau apstatytose vietovėse. Pagrindiniai principai yra svetainės, darbo kambarius ir miegamuosius įkurti, toje pastato pusėje, kuri yra nukreipta nuo kelio. Koridoriai, tualetai, sienines spintos ir vonios kambariai turi būti įrengti toje pusėje, iš kurios sklinda triukšmas (Polič and Valentin 2007). Kardinaliausias būdas išspręsti vis didesnį nepasitenkinimą triukšmu, gyvenamųjų namų statybos uždraudimas tokiose zonose, kur betriukšmės gyvenamosios aplinkos užtikrinti neįmanoma (Grubliauskas ir Butkus 2008).

Organizacinės ir administracinės priemonės – tai yra įvairūs eismo ir transporto srautų apribojimai. Jie yra žymimi, pastatant įvairius kelio ženklus, pavyzdžiui draudžiama važiuoti sunkvežimiams, viršijantiems kelio ženkle nurodytą svorį, greitį ribojantys ženklai, ženklai, kurie nurodo, kad draudžiama važiuoti, nurodantys, kad draudžiama važiuoti tam tikromis valandomis, ar ženklai žymintys kelio susiaurėjimą. Apribojant eismą vienos krypties eismu arba sukuriant zoną, kurioje nėra pravažiavimo, remiamasi principu: mažiau mašinų, mažiau triukšmo, t.y. intensyviausių srautų koncentravimas negyvenamuosiuose rajonuose (Polič and Valentin 2007).

Kita galima priemonių, skirtų didelio transporto srauto sukiamo triukšmo sumažinimui klasifikacija yra priemonių suskirstymas į technines ir konstrukcines (Polič and Valentin 2007).

Techninės apsaugos nuo triukšmo priemonės yra tokios priemonės, kurios apriboja triukšmą ir jo mastus triukšmo šaltinyje. Tai yra priemonės, montuojamos transporto priemonėse, skirtos variklio, dujų išmetimo sistemų keliamo triukšmo mažinimui ir pan. Taip pat kelio dangos gerinimas (Polič and Valentin 2007; Mačiūnas ir kt. 2007).

1.3 pav. pavaizduotas autotransporto keliamo triukšmo sumažinimo priemonių efektyvumas (Skirgaila ir Jaskelevičius 2008).



1.3 pav. Įvairių autotransporto keliamo triukšmo mažinimo priemonių efektyvumas (Skirgaila ir Jaskelevičius 2008)

Geležinkelio riedmenų keliamą triukšmą galima mažinti taikant tokias priemones: modernizuojant arba įsigyjant naujesnių, modernesnių, keliančių mažesnę triukšmą riedmenų,

tvarkant ir modernizuojant geležinkelių kelius, ilgabėgių naudojimas kelio konstrukcijoje, remontuojant vagonus ir lokomotyvus, modernizuojant šilumvežius. Taip pat metalinės vagonų stabdžių trinkelės keičiant kompozicinėmis, montuojant šilumvežių ratlankių antbriaunių tepimo sistemas, šlifuojant bėgius ir kt. (Grubliauskas ir Butkus 2008).

2000 m. duomenimis Lietuvos geležinkelių riedmenų parkas buvo labai susidėvėjęs. Specialistų manymu, susidėvėjimas siekė apie 60 procentų (Mačiulis 2000). Tačiau nuo 2007 m. rudens Lietuvos geležinkelių parkas atnaujintas įsigyjant Vokietijos įmonės SIEMENS gamybos ER20CF serijos šilumvežius (žr. 1.4 a pav.), o nuo 2009 m. AB „Lietuvos Geležinkeliai“ pradėjo eksploatuoti keleivinius dviaukščius elektrinius traukinius (žr. 1.4 b pav.) (Lingaitis ir kt. 2009).



a)



b)

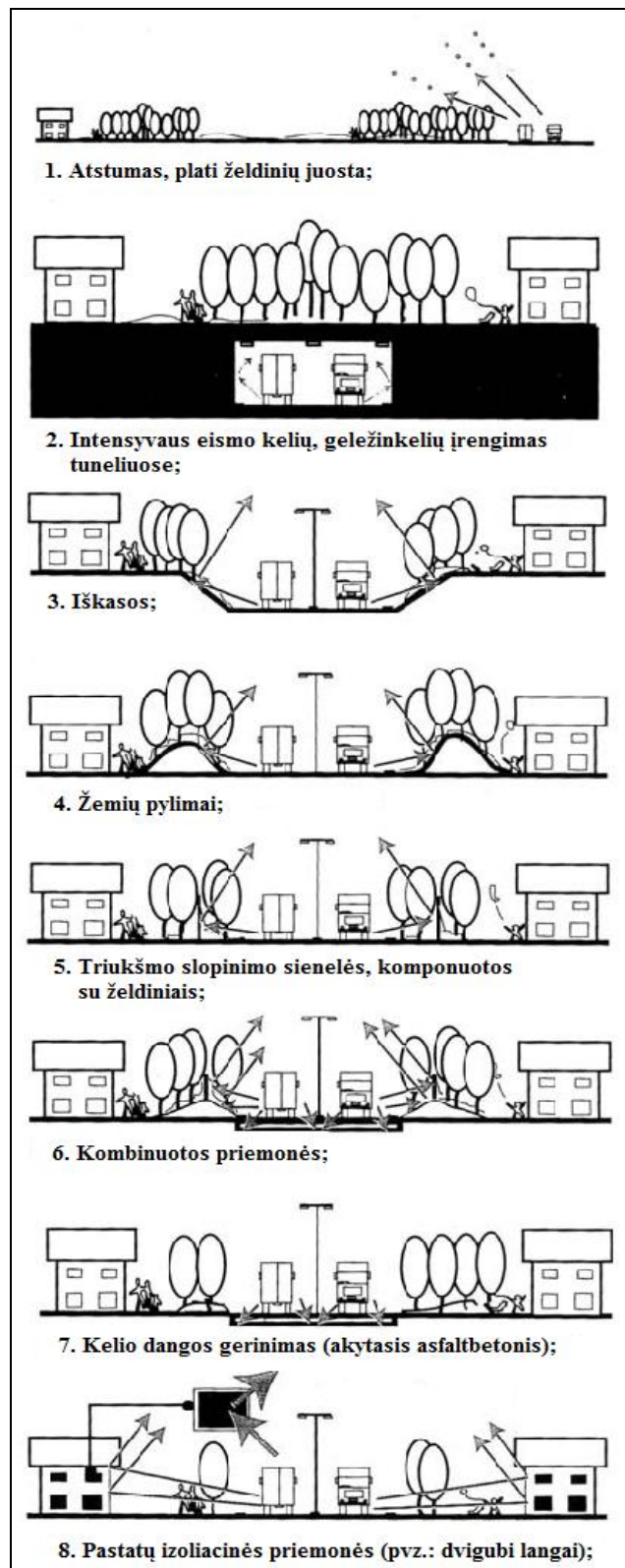
1.4 pav. Naujausi AB „Lietuvos Geležinkeliai“ naudojami traukiniai: a) ER20CF serijos šilumvežis; b) dviaukštis elektrinis traukinys (Lingaitis ir kt. 2009)

Konstrukcinėms priemonėms galima priskirti (1.5 pav.):

- medžių, krūmų želdiniai;
- slopinimo ekranai (sienutės, pastatai, žemių pylimai);
- triukšmą izoliuojantys langai ir pan (1.3 lent.). (Polič and Valentin 2007).

1.3 lentelė. Triukšmo mažinimo priemonės patalpoje (Baublys 2009)

Priemonė	Slopinimo efektas, dB
Viengubos durys	21–29
Dvigubos durys	30–39
Specialios durys	40–46
Langai su viengubu stiklu	20–24
Langai su dvigubu stiklu	24–28
Langai su stiklo paketu	30–34
Siena, kurios plytų storis 6–12 cm	37–42
Siena, kurios plytų storis 25–38 cm	50–55
Dviguba siena, kurios plytų storis 2×12 cm	60–65



1.5 pav. Transporto keliamo triukšmo slopinimo būdai (Noise barriers... 2001)

Nuo gatvių bei kelių triukšmo gerai apsaugo želdiniai (Bogdanovičius 2008). Triukšmą mieste slopina ne tik medžiai, bet ir vejų bei pievelės, jos sugeria garsą kur kas geriau negu asfaltuoti paviršiai ir mažina miesto triukšmo foną (Skirgaila ir Jaskėlevičius 2008). Triukšmo, sklindančio pro želdinius, sumažėjimas priklauso nuo želdinių pobūdžio, medžių rūšies, metų

laiko ir nuo veikiančio triukšmo spektro. Apželdinimo juostos triukšmą skirtingai slopina, atsižvelgiant į šaltinį. Esant taškiniams šaltiniams (automobiliai) triukšmas sumažėja 7–8 dBA, o esant linijiniam šaltiniui (geležinkelio sąstatas) – tik 3 dBA (Stauskis 2007).

Triukšmas, sklisdamas želdiniais, labiausiai sumažėja aukštųjų dažnių diapazone ir tuo daugiau, kuo toliau klausytojas nuo garso šaltinio. Transporto triukšmo lygiai, kurie vyrauja užstatytoje teritorijoje, yra didžiausi esant žemiems ir vidutiniams dažniams. Jeigu triukšmui sumažinti naudosisime 10–20 m pločio želdinių juostą, tai didelio akustinio efekto negausime (Stauskis 2007).

Kad lapuočiai medžiai slopintų triukšmą, reikia juos pasodinti tankiai, tarp jų pasodintų krūmų, lapų vainikas turi būti tankus. Siekiant sumažinti triukšmo lygį apie 10 dBA, juostos plotis turi būti 20–30 m (Stauskis 2007). Paprastai triukšmui sumažinti iki sanitarinių normų reikia tokios augalų juostos, kurios plotis siekia 50 m ir daugiau. Miestuose tai retai pavyksta įgyvendinti. Be to želdinių efektyvumas slopinti triukšmą, numetus lapus, sumažėja 50–80 %. Todėl triukšmui papildomai slopinti reikia naudoti akustinius ekranus (Skirgaila, Jaskelevičius 2008; Stauskis 2007).

Pirmiausia triukšmą sulaikančiais ekranais gali būti negyvenamieji pastatai – parduotuvės, garažai, dirbtuvės ir kiti panašios paskirties žemaaukščiai namai (Grubliauskas ir Butkus 2009a). Taip pat ekranų funkcijas gali atlikti natūralios gamtinės kliūtys, tai iškasos, žemės pylimai (Skirgaila ir Jaskelevičius 2008). Kai šaltinis yra iškasoje, tai iki prieštriukšminio namo, esančio už 50 m nuo magistralės, ekvivalentinis triukšmo lygis pirmo aukšto lygyje sumažėja iki 47 dBA, o viršutinio aukšto lygyje iki 57 dBA (ekvivalentinis triukšmo lygis magistralėje 75 dBA) (Stauskis 2007). Iš žemės kalvų suformuoti ekranai, vadinami žemės pylimais taip pat efektyviai sumažina transporto keliamą triukšmo lygį, tačiau dėl savo pločio reikalauja didelio žemės ploto. Žemės pylimai, iškasos gali būti efektyviai naudojami vietose, kur yra pakankamai erdvės, pvz.: prie greitkelių, magistralių, geležinkelio linijų (Noise barriers... 2001).

Daug kur, ypač ankstyvesnio užstatymo zonose tarp važiuojamosios dalies ir pastatų, reikalaujančių apsaugos nuo triukšmo, yra palyginti maži atstumai. Tokiu atveju geriausiai tinka specialūs triukšmo slopinimo ekranai. Tai viena iš efektyvesnių triukšmo slopinimo priemonių (Grubliauskas ir Butkus 2009a). Ekranai gaminami iš betono, stiklo, plastiko, metalo, medžio ir kitų medžiagų. Jie sumažina triukšmo lygį 9–20 dBA (Skirgaila ir Jaskelevičius 2008).

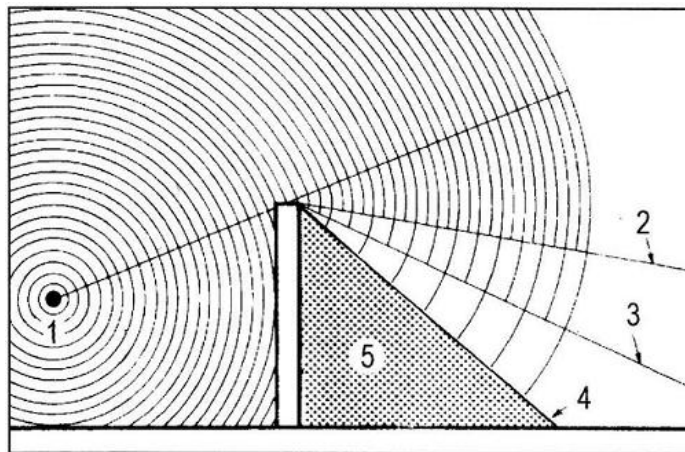
1.5. Triukšmo slopinimo sienelės, jų modifikacija

Teritorijų dalims nuo triukšmo apsaugoti naudojami akustiniai ekranai, dar vadinami akustinės sienutės, akustinės sienelės, barjerai, kurie statomi tarp triukšmo šaltinio ir apsaugomo

objekto (Stauskis 2007; Apibrėžimas... 2008). Ekranai naudojami gamybinėse patalpose darbo vietų apsaugai, taip pat gamyklos teritorijoje, siekiant sumažinti atviro šaltinio keliamo triukšmo poveikį administracinėms patalpoms ir šalia esantiems gyvenamiesiems rajonams (Grubliauskas ir Butkus 2009a). Triukšmo slopinimo ekranai yra viena iš plačiausiai taikomų priemonių apsaugai nuo transporto keliamo nepageidaujamo triukšmo (Auerbach *et. al.* 2010; Okubo *et. al.* 2010).

Pažymėtina, kad ekranai negali visiškai sustabdyti sklindančio garso, jie apsaugo klausytoją nuo tiesiogiai sklindančių garso bangų, sumažinant garso lygį akustinio šešėlio zonoje. Tiesiogiai garsas klausytoją pasiekia tik kitais, netiesioginiais keliais, dažniausiai dėl difrakcijos, per ekrano viršutinį pakraštį (Baltrėnas ir kt. 2007b; Monazzam and Lam 2005; Monazzam *et. al.* 2010).

Garso šešėlio zonoje egzistuoja tam tikri triukšmo lygiai, nes garso bangos sklisdamos per ekraną, yra veikiamos difrakcijos. Tai ypač pasireiškia tada, kai garso bangos ilgis yra lygus ekrano aukščiui. Kuo didesnis garso bangos ilgis, tuo mažesnė garso šešėlio zona už ekrano. Žemųjų dažnių garso bangos ilgis dažnai lygus akustinio ekrano matmenims ar net didesnis už jį. Tokiu atveju didelė triukšmo energijos dalis sklis aplink ekraną, ir jo akustinis efektas bus nedidelis. Ekranas geriausiai slopina aukštųjų dažnių garso bangas, kurių ilgiai yra daug mažesni už geometrinius ekrano matmenis. Tokiu atveju pasidaro veiksminga akustinio šešėlio zona už ekrano (1.6 pav.) (Stauskis 2007).



1.6 pav. Akustinio ekrano schema: 1 – triukšmo šaltinis; 2 – aukštųjų dažnių sritis; 3 – vidutinių dažnių sritis; 4 – žemųjų dažnių sritis; 5 – akustinio šešėlio zona (Stauskis 2007).

Apsauginiai triukšmo slopinimo ekranai (sienelės) būna gana įvairūs tiek pagal konstrukcines medžiagas, tiek pagal formą. Literatūros šaltiniuose yra įvardijami įvairūs triukšmo slopinimo ekranų tipai, bet dažniausiai pasitaikantis skirstymas yra pagal akustines savybes:

- Atspindintys garsą ekranai (garso bangos yra atspindimos atgal, šaltinio link);
- Atspindintys – sugeriantys garsą ekranai (turintys reljefinį paviršių);
- Ekranai sugeriantys garsą (naudojamos specialios medžiagos, galinčios „sugerti“ garsą, dažniausiai apželdinami vijokliniais augalais) (Grubliauskas ir Butkus 2009a).

Yra eilė būdų, kaip padidinti triukšmą slopinančių ekranų efektyvumą – padidinant ekrano aukštį, naudojant triukšmą sugeriančias ar atspindinčias medžiagas, keičiant ekranų formą (Monazzam and Nassiri 2009; Ishizuka and Okubo 2009).

Vis labiau susiduriant su triukšmo valdymu, būtina ieškoti naujų ir efektyvių triukšmą sugeriančių medžiagų, nuodugniau ištirti esamas medžiagas ir įvairius triukšmą keliančius šaltinius. Tokio pobūdžio tyrimams naudojamos triukšmą slopinančios (beaidės) kameros. (Baltrėnas ir kt. 2009a). Vilniaus Gedimino Technikos universitete (VGTU), Aplinkos apsaugos katedroje (AAK), sukurtoje ir įrengtoje triukšmo slopinimo kameroje, AAK mokslininkai tyrė triukšmo slopinimo sienelėms naudotinių medžiagų (stiklo vata, medžio drožlių plokštės, gipso kartono plokštės, putų polistirolas) bei iš jų sudarytų konstrukcijų, panaudojant įvairias modifikacijas akustines savybes (1.7 pav.) (Grubliauskas ir Butkus 2009b).

Nr. 1	Nr. 2	Nr. 3	Nr. 4	Nr. 5	Nr. 6	Nr. 7	Nr. 8	Nr. 9
1 - skylėto alavo plokštė (1 mm); 2 - polietilenas (1 mm); 3 - akmenis vata (50 mm); 4 - akmenis vata (30 mm).	1 - medžio drožlių plokštė (10 mm); 2 - stiklo vata (100 mm); 3 - putų polistirolas (30 mm); 4 - oro tarpas (60 mm).	1 - medžio drožlių plokštė (10 mm); 2 - stiklo vata (2x100 mm).	1 - medžio drožlių plokštė (10 mm); 2 - akmenis vata (3x50 mm).	1 - medžio drožlių plokštė (10 mm); 2 - stiklo plastikas (5 mm); 3 - akmenis vata (2x50 mm).	1 - medinė lenta (15 mm); 2 - stiklo vata (2x100 mm).	1 - trapezinis stiklo plastikas (3 mm); 2 - akmenis vata (100 mm); 3 - medžio drožlių plokštė (10 mm).	1 - banguotas stiklo plastikas (3 mm); 2 - akmenis vata (2x100 mm); 3 - medžio drožlių plokštė (10 mm).	1 - organinis stiklas (10 mm)

1.7 pav. Eksperimentinių konstrukcijų pavyzdžiai (Grubliauskas, Butkus 2009b)

Pagal triukšmo slopinimo kameroje įvertintus medžiagų akustinius parametrus, skirtingų medžiagų geba slopinti triukšmą vertinta nustačius ilginį garso intensyvumo slopimo koeficientą μ , kuriuo nustatytas garso slopinimas medžiagos storio mato vienetu. Nustatyta, kad geromis akustinėmis savybėmis pasižymi gipskartonio ir medžio drožlių plokštės. Bandymuose naudojamų konstrukcijų, skirtų triukšmui mažinti, efektyvumas buvo apibudintas garso ore silpninimo rodikliu (DL_R). Gauta, kad medžio drožlių plokštės (10 mm) konstrukcijos su stiklo

arba akmens vatos užpildu tam tinka geriausiai, palyginus su kitomis bandymuose panaudotomis konstrukcijomis ir tokios konstrukcijos pagal ISO 1793-2 priklauso aukščiausiai garso silpninimo grupei (Grubliauskas ir Butkus 2009b).

Pastaruoju metu triukšmo slopinimo sienelių konstrukcijų kokybė labai pagerėjo dėl modernių technologijų, naujų medžiagų ir statybos būdų (Polič and Valentin 2007). Ekranas gali būti įrengtas iš garsą atspindinčių ir garso sugeriamųjų medžiagų (žr. 1.8 a, b pav.). Pastarosios naudojamos atsižvelgiant į tai, kur ekranas statomas. Naudojami ir mišriųjų medžiagų triukšmo slopinimo ekranai, aptaisyti garso sugeriamąja medžiaga ir pan. (Skirgaila ir Jaskelevičius 2008; Stauskis 2007).



1.8 pav. Garsą atspindintis ir sugeriantis ekranas: a) bendras ekrano vaizdas; b) ekrano paviršiaus profilis
(Noise barriers... 2001)

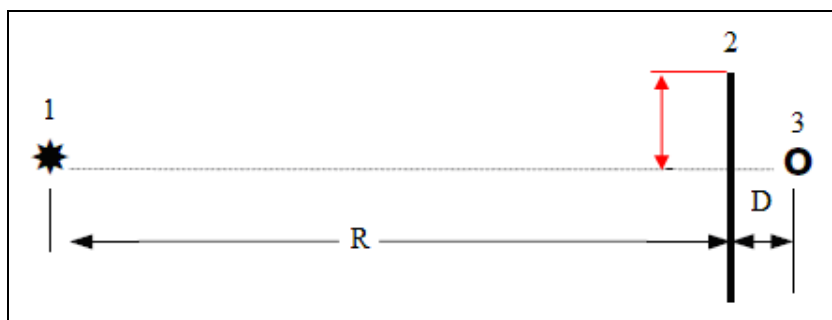
Triukšmui mažinti naudojamos didelio slopinimo koeficiento medžiagos, statomos dvigubos ir trigubos atitvaros arba ekranai, kurie yra ypač efektyvūs aukšto dažnio triukšmui slopinti (Bogdanovičius 2008). Tai apima triukšmo slopinimo sieneles pagamintas iš stiklo pluoštu sustiprinto betono, perdirbtos gumos ar perdirbtos plastmasės, triukšmo sieneles pagamintas iš plieno konstrukcijų, įterpiančias organinio stiklo plokštes, polimetilmetakrilato stiklo (PMMA) plokštes, medienos drožlių, cemento mišinio plokštes ir kt. (Polič and Valentin 2007).

Vienas iš pažangiausių triukšmo slopinimo konstrukcijų rūšių yra iš plataus pasirinkimo stiklinių triukšmą mažinančių plokščių pagamintos konstrukcijos, kurios yra permatomo arba spalvoto stiklo, įvairių storių ir dydžių (Polič and Valentin 2007). Permatomi triukšmo slopinimo ekranai gaminami siekiant sumažinti estetinį poveikį, sukeltą aukštesnių triukšmo slopinimo ekranų, pvz.: sumažintas matomumas ir padidėjusios šešėlinės zonos (1.9 pav.) (Watson 2006). Vis dėlto susirūpinimą kelia triukšmo slopinimo ekranų konstrukcijos kaina (Monazzam and Fard 2011).

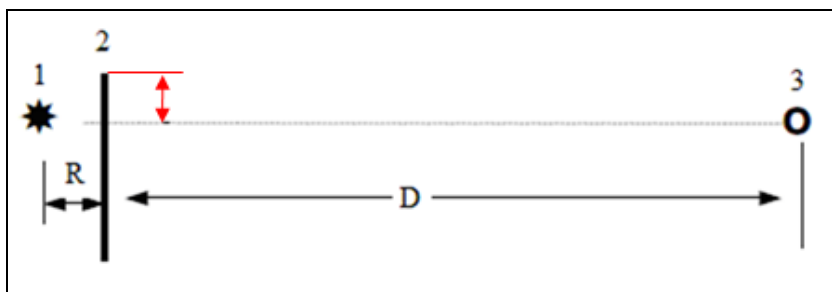


1.9 pav. Triukšminga gatvė uždengta permatoma triukšmo slopinimo konstrukcija Suomijoje (Latest in... 2010)

Akustinio ekrano efektas priklauso nuo jo padėties triukšmo šaltinio ar klausytojo atžvilgiu, geometrijos, ypač nuo aukščio (Duhamel 2006). Norint padidinti akustinį jo efektą, viršūnė turi būti virš linijos, jungiančios akustinį triukšmo šaltinio centrą su skaičiuojamuoju tašku (Stauskis 2007). Todėl parenkant triukšmo slopinimo ekraną būtina įvertinti jo aukštį, kad jis kuo geriau atspindėtų ir sugertų garso bangas, o už ekrano susidarytų pakankamo aukščio nuslopinto triukšmo zona. Norint sumažinti jo aukštį, jo atstumas nuo triukšmo šaltinio turi būti mažiausias (žr. 1.10 a, b pav.) (Grubliauskas ir Butkus 2009a).



a) Ekrano aukščio pokytis, kai ekranas nutolęs nuo triukšmo šaltinio dideliu atstumu



b) Ekrano aukščio pokytis, kai ekranas nutolęs mažu atstumu nuo triukšmo šaltinio

1.10 pav. Akustinio ekrano aukščio priklausomybė nuo atstumo iki triukšmo šaltinio: 1 – triukšmo šaltinis; 2 – akustinis ekranas; 3 – skaičiuojamasis taškas; R – atstumas iki triukšmo šaltinio; D – atstumas iki skaičiuojamojo taško

1.4 lentelėje pateikti duomenys apie tai, kiek triukšmo lygį dBA sumažina įvairaus aukščio ekranas, nutolęs nuo triukšmo šaltinio (transporto) 3 m atstumu (Stauskis 2007).

1.4 lentelė. Ekranų efektyvumo priklausomybė nuo ekranų aukščio, kai ekranas nuo taškinio triukšmo šaltinio nutolęs 3 m (Stauskis 2007)

Atstumas tarp ekranų ir skaičiuojamojo taško, m	Ekranų aukštis, m	Triukšmo sumažėjimas, dBA
10	2	7
	4	12
	6	16
20	2	7
	4	12
	6	15
50	2	7
	4	11
	6	14
100	2	7
	4	11
	6	13

Didinant ekranų aukštį galima padidinti jo efektyvumą, tačiau dažnai dėl estetinių priežasčių labai aukšti ekranai nėra tinkami (Duhamel 2006; Naderzadeh *et. al* 2011). Kai triukšmo slopinimo ekranai būna išdėstyti per arti kelių, sukelia monotoniją bei „tunelio“ jausmą transporto priemonių vairuotojams. Arti gyvenamosios aplinkos išsidėstę aukšti ekranai, gali sukelti namų savininkams izoliacijos jausmą, oro cirkuliacijos praradimą, saulėtekų bei saulėlydžių praradimą. Vienas iš sprendimo būdų siekiant išvengti minėtų nemalonių jausmų yra įvairinti paviršiaus apdorojimą, atkuriant supančios aplinkos elementus (1.11 pav.) (Noise barriers... 2001).



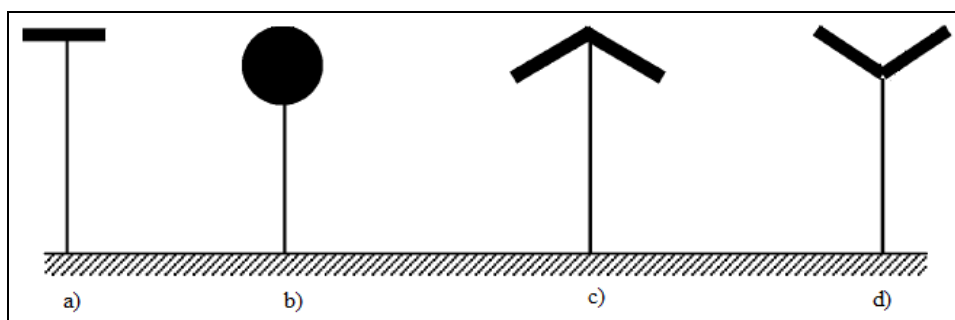
1.11 pav. Apdirbto paviršiaus (atkuriant supančios aplinkos elementus) triukšmo slopinimo sienelės Australijoje (Australian wood... 2011)

Daug tyrimų buvo atlikta per pastaruosius du dešimtmečius, kurie buvo sutelkti į garso difrakciją apie ekraną, pirmenybę teikiant ne tik ekranų aukščio didinimui. Taikant

eksperimentinius ar skaitinius metodus tyrinėta ekranų viršūnės formos įtaka triukšmo slopinimo efektyvumui (Baulac *et al.* 2007; Greiner *et. al.* 2010; Mun and Cho 2009; Naderzadeh *et al.* 2011).

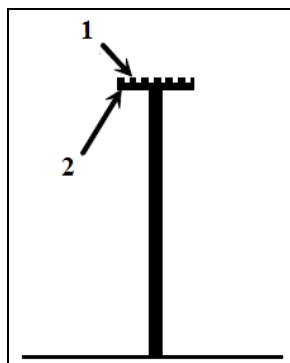
Dabar paprastai pripažįstama, kad ekranai su atitinkamais įtaisais ant jų viršutinės briaunos efektyviau apriboja garso bangų difrakciją, lyginant su įprastais tokio pat aukščio, kai kuriais atvejais ir aukštesniais ekranais. Tokie ekranai vadinami „modifikuotos briaunos“ triukšmą slopinančiais ekranais (Okubo and Yamamoto 2007a).

Tyrinėtos ekranų formos, didinant jų efektyvumą, įvairios (Monazzam and Fard 2011): T-, Y-, U-, strėlės, šakutės, cilindro, grybo formos ir pan. (1.12 pav) (Cianfrini *et. al.* 2007; Okubo and Yamamoto 2007b).



1.12 pav. Tyrinėjami ekranų modeliai: a) T forma; b) Cilindro formos apdirbimas; c) strėlės forma; d) Y forma (Mozzam and Lam 2005)

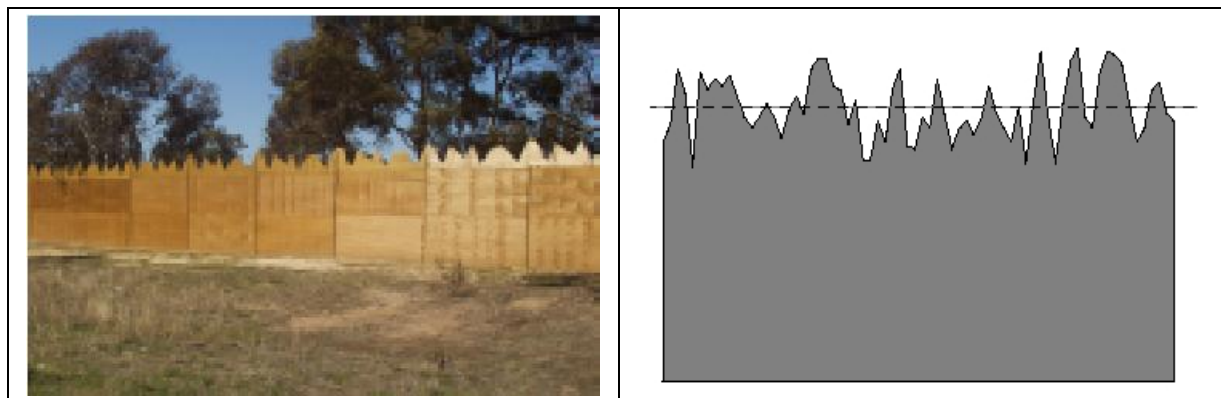
Daugelis tyrėjų pristatė T (Monazzam *et al.* 2010), Y formų ekranavimo efektą. Japonijos mokslininkai taikant T, Y formų ekranus nustatė 3 dB didesnę triukšmo lygio sumažėjimą, lyginant su įprastu, tokio pat aukščio, tiesaus tipo ekranu (Murata *et al.* 2006). Olandijoje atliktais T formos akustinio ekrano, su absorbuojančios (sugėrančios) medžiagos sluoksniu, tyrimais nustatyta, kad toks ekrano modelis 1,5 m gali sumažinti įprastą tiesaus tipo ekraną (1.13 pav.) (Watson 2006).



1.13 pav. Olandijoje tyrinėtas T formos ekranas: 1 – triukšmą absorbuojanti (sugėranti) medžiaga; 2 – horizontali plokštė formuojanti T formos ekraną (Watson 2006).

Atlikti garso sumažinimo ekrano su cilindrine 40 cm skersmens dalimi ant briaunos tyrimai patvirtino garso slėgio lygio sumažinimo efektyvumą iki 3 dBA. Gautas toks triukšmo sumažinimo efektyvumas, jei vietoje cilindro ekrano aukštis būtų padidintas 2 m, t.y. ekranas sudarytų 5 m aukštį. Cilindrinė dalis buvo sudaryta iš stiklo pluošto su absorbuojančiomis savybėmis vamzdžio, padengto labai plona polivinilo plėvele ir perforuota aliuminine plona plokšte (Gužas 1994).

Keletas tyrėjų nagrinėjo galimą triukšmo sumažinimą, pasiektą pakeičiant linijinį viršutinį ekrano kraštą „dantytu“, netaisyklingu kraštu (1.14 pav.). Kai kurie rezultatai pademonstravo net 6 dBA garso sumažinimo lygį. Tačiau buvo nustatyta, kad dantytas ekrano modelio kraštas nėra efektyvus esant žemo dažnio garsui. Todėl nėra jokios naudos, naudojant dantytą viršutinį kraštą turintį ekraną prie magistralių (Watson 2006).



1.14 pav. Ekranas su „dantytu“, netaisyklingu pakraščiu (Innovative noise... 2007)

Grybo formos ekrano viršūnės apipavidalinimas, sukonstruotas su absorbuojančia (sugeriamąja) medžiaga buvo išanalizuotas keleto tyrėjų. Pritaikius grybo formos modelį netoli Los Andželo atlikti tyrimai parodė, kad toks 0,46 m aukščio barjero pritaikymas yra tiek pat veiksmingas kiek 0,61–1,06 m aukščio linijinį pakraštį turintis ekranas (Watson 2006).

Aptikta keletas tyrimų vertinant ir pasvirusios ekrano viršūnės (pavadintų L, J formos ekranais) efektyvumą. Okubo, Yamamoto (2007b), Murata *et al.* (2006) taikant skaitinį modelį įrodė „palinkusios viršūnės“ formos ekrano 2–3 dB pranašumą lyginant su tokio paties aukščio tiesaus tipo ekranu. Kinijos mokslininkai Xitan *et. al* (2005) atliktais teoriniais skaičiavimais viršūnės polinkio efektą (formuojant „L“ formos ekraną) garso bangų difrakcijai paaiškino, kaip veiksnį, keičiantį ekrano padėtį triukšmo šaltinio atžvilgiu. Dėka viršūnės polinkio sumažinamas atstumas tarp triukšmo slopinimo sienelės ir triukšmo šaltinio, taip padidėja sienelės ekranavimo efektas.

Nors daug tyrimų atlikta, nagrinėjant sukurtas triukšmo slopinimo ekranų viršūnės formas, daugeliu atvejų vis dar taikomos įprastos tiesaus tipo sienelės (Kokavec and Möser

2010). Pagrindinė priežastis – brangus sukurtų ekrano viršūnės formų įrengimas (Xintan and Shuiliang 2009).

1.6. Triukšmo sklaidos modeliavimo programos

Šiuo metu nauji greitkeliai ir masinio pervežimo geležinkelių sistemos, konkuruoja dėl vietos jau pakankamai išvystytose gyvenamosiose vietovėse. Rezultatas yra toks, kad pagrindiniai transporto eismo srautai nepaliaujamai artėja prie komercinių ir gyvenamųjų vietovių. Todėl triukšmo lygio skaičiavimas bei sklaidos modeliavimas, tapo pagrindiniu domėjimosi šaltiniu mūsų dienų aplinkos planavime (Klibavičius 2008).

Miesto transporto skleidžiamam triukšmui modeliuoti taikomi taškiniai, linijiniai ir plotiniai modeliai. Modeliuojant triukšmo šaltinius, taškiniais šaltiniais laikomi tokie, kurių išmatavimai lyginant su triukšmo plitimo atstumais miesto teritorijoje yra sąlyginai maži. Prie taškinių triukšmo šaltinių priskiriami atskiri automobiliai, malūnsparniai. Prie linijinių triukšmo šaltinių priskiriami transporto srautai gatvėse, traukiniai. Prie plotinių triukšmo šaltinių priskiriamos didelės automobilių stovėjimo aikštelės arba didelės autobusų stotys, transporto įmonės, geležinkelių prekių stotys. Miestų planavimo praktikoje, gatvėse judantys transporto srautai, kai srauto dydis $Q > 20$ aut./h, vertinami kaip linijiniai triukšmo šaltiniai (Klibavičius 2008).

Naudojamos įvairios triukšmo lygio skaičiavimo ir modeliavimo programos: EKOL (Vilniaus Gedimino technikos universitetas), LAERM (Karlsruhės technikos universitetas), MELU.COM, MAP NOISE, IMMI, SoundPLAN, CadnaA ir kt. (Baltrėnas ir Puzinas 2009b, Klibavičius 2008).

Programa EKOL skirta kompleksiniam transportinio triukšmo ir išmetamųjų dujų modeliavimui. Ši programa sukurta remiantis Lietuvos miestų transporto srautų tyrimais ir leidžia atskirtiems miesto mikrorajonams transporto neigiamą poveikį įvertinti tiek kiekybiniais rodikliais (dBA, mg/m^3), tiek pinigine išraiška (lityais). SoundPLAN programa taip pat gali būti modeliuojamas neigiamas kompleksinis transporto poveikis aplinkai. MAP NOISE dirba GIS programinės įrangos ArcGIS aplinkoje yra kaip papildomas modelis išplečiant programos ArcGIS v.9.0. galimybes (Klibavičius 2008). MELU.COM programa (co-NORDIC triukšmo lygių skaičiavimo metodas) sėkmingai įvertinamas projektuojamų tarpmiestinių kelių triukšmo poveikis aplinkai. CadnaA programa atliekami triukšmo pakeitimo miesto sąlygomis skaičiavimai ir modeliuojamos įvairios situacijos (Baltrėnas ir Puzinas 2009b; Klibavičius 2008). Vienas iš programos privalumų yra tas, kad triukšmo sklaida skaičiuojama remiantis Europos Sąjungoje galiojančiomis metodikomis (kelių transportui, pramonei, geležinkeliams, oro

transportui) (Triukšmo sklaidos... 2007). Su šia programa buvo apskaičiuoti triukšmo lygiai Kaune, Klaipėdoje, Panevėžyje ir Šiauliuose (Baltrėnas ir Puzinas 2009b).

CadnaA (Computer Aided Noise Abatement) – tai kompiuterinė programa, skirta apskaičiuoti ir pavaizduoti, įvertinti ir prognozuoti sukiamą triukšmą bei oro taršą. Nesvarbu, ar norima įvertinti pramonės gamyklų, ar parduotuvės su stovėjimo aikšte, gatvės ar geležinkelio, o gal ir viso miesto keliamą triukšmą.

CadnaA programa siūlo paprastus būdus reikiamam metodui išsirinkti ir pritaikyti. Visų objektų duomenys įvedami arba importuojami. Pasirinkus reikiamą standartą, įvedamų objekto duomenų langai rodo tikslius parametrus, kurie būtini dirbant.

Skaičiavimo metodą gali nusistatyti pats vartotojas. Pavyzdžiui, vartotojas sprendžia, kokių atstumu nuo taško – gavėjo ar nuo triukšmo šaltinio bus skaičiuojamas triukšmo sklaidimo modelis ir kokia tvarka. Nustačius laiko intervalus (diena, vakaras, naktis) ir parametrų ribines reikšmes, gali būti taikomas visokių rūšių triukšmo šaltinių reguliavimas (Baltrėnas ir Puzinas 2009b).

CadnaA programa išskiria šiuos triukšmo šaltinius:

– taškinį šaltinį, triukšmo galios lygis PWL ,

$$PWL = PWL_{Pt} + 10 \lg \frac{Q}{4\pi r^2} + 10 \lg \frac{l}{\pi} - 10 \lg \frac{v}{m/h} - 30 \text{ dB}, \quad (1.5)$$

– linijinį šaltinį: triukšmo galios lygis PWL , triukšmo galios lygis iš vieneto ilgio PWL' arba judančio taškinio šaltinio triukšmo galios lygis $PWL-Pt$;

– ploto šaltinį: triukšmo galios lygis PWL , triukšmo galios lygis iš ploto vieneto PWL' arba judančio taškinio šaltinio triukšmo galios lygis $PWL-Pt$,

$$PWL = PWL_{Pt} + 10 \lg \frac{Q}{4\pi r^2} + 10 \lg \frac{S}{\pi^2} \quad (1.6)$$

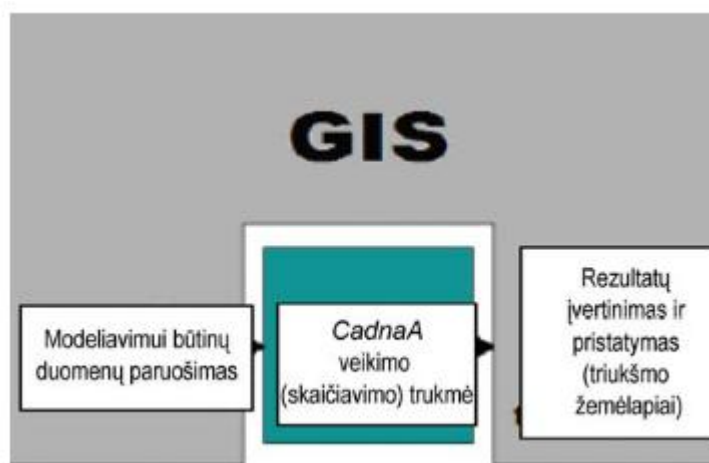
Kuriant judančio šaltinio modelį įvedamas taškinio šaltinio PWL , įvykių skaičius per valandą Q ir greitis (km/h). Šių duomenų pagrindu apskaičiuojamas bendras triukšmo lygis, įvertinus linijinius ir ploto triukšmo šaltinius.

CadnaA programa skiria triukšmo lygius bet kuriose vietose ar taškuose, esančiuose horizontaliose ar vertikaliose plokštumose arba ant pastatų fasadų. Kai kurių specialių šaltinių – kelių, geležinkelių transporto, oro uostų – akustinis emisijų kiekis išskiriamas iš techninių parametrų. Tai gali būti atrinkta iš daugelio nacionalinių ar tarptautinių standartų (Baltrėnas ir Puzinas 2009b).

Kaip ir kitos modeliavimo programinės įrangos, CadnaA programos modeliavimo proceso eiga susideda iš trijų pagrindinių etapų (1.15 pav.):

I etapas – duomenų, reikalingų modeliui sukurti, įvedimas;

- II etapas – įvestų duomenų apdorojimas ir modelio skaičiavimo procesas;
 III etapas – skaičiavimo rezultatų išvedimas ekrane (Baltrėnas, Puzinas 2009b).



1.15 pav. CadnaA programos modeliavimo proceso su GIS eiga (Baltrėnas ir Puzinas 2009b)

Modeliuojant triukšmo sklaidą, programoje CadnaA pirmiausia yra nubraižomos modeliuojamosios vietovės ploto ribos, suvedami kiekvieno būdingo taško duomenys (altitudės ir koordinatės), t.y. reljefas, tada būtina suvesti duomenis apie triukšmo šaltinius. Sumodeliuotą vietovės maketą galima pažiūrėti trimačio vaizdo būdu (3D VIEW) (Baltrėnas ir Puzinas 2009b).

Rezultatai pateikiami grafiškai, t.y. gaunamas vietovę atitinkantis triukšmo sklaidos žemėlapis. CadnaA programa triukšmo žemėlapiui kuriami išskiriant triukšmo lygius, taškus išsidėsčiusius vietovėje. Jie gali būti reikiamame arba absoliučiam aukštyje. Triukšmo žemėlapiui gali būti kuriami pasirenkant reikiamą žingsnį. Triukšmo sklaidą gali būti pateikiama izolinijomis (pvz.: kas 5 dBA) arba spalviniu pavyzdžiu. Galima išskirti dienos ir nakties triukšmo sklaidą (Baltrėnas ir Puzinas 2009b).

1.7. Išvados

1. Aplinkos triukšmas yra nuolatinis ir neišvengiamas, miestuose tai yra didelė ir kasmet auganti problema. PSO triukšmą išskiria, kaip trečią sveikatos sutrikimus įtakojantį veiksnių po oro ir vandens taršos. Europos Sąjungos (ES) Žaliojo dokumento ateities triukšmo politika teigia, kad apie 20 % ES gyventojų kenčia nuo triukšmo lygio, kurį sveikatos ekspertai vadina nepriimtiniu.
2. Transportas yra vienas iš pagrindinių triukšmo šaltinių, turinčių didžiulę neigiamą įtaką aplinkai. Pasaulio sveikatos organizacija (PSO) nustatė, kad apie 40% ES gyventojų kenčia nuo eismo triukšmo, didesnio nei 55 dBA dieną ir daugiau nei 30% – naktį;
3. Daugelyje Europos šalių žmonių procentinė dalis, veikiamą geležinkelio transporto keliamo triukšmo – santykinai maža (3–5 %), lyginant su kelių eismo (60–80 %), tačiau

nakties metu, aukšto triukšmo lygio poveikį, sąlygojamą geležinkelio transporto, patiria apie 22 % žmonių, ypač zonose, kur tarp važiuojamųjų geležinkelio linijų ir pastatų, reikalaujančių apsaugos nuo triukšmo yra palyginti maži atstumai.

4. Transporto sukiamo triukšmo lygis priklauso nuo jo intensyvumo, judėjimo greičio, srauto sudėties, kelio dangos kokybės ir užstatymo greta transporto srauto, taip pat nuo transporto priemonės rūšies bei techninės būklės.
5. Transporto keliamo triukšmo mažinimui taikomos urbanistinės (miesto planavimo, projektavimo), organizacinės ir administracinės bei techninės ir konstrukcinės triukšmo slopinimo priemonės.
6. Viena iš efektyvesnių triukšmo slopinimo priemonių teritorijų dalims nuo transporto keliamo triukšmo apsaugoti yra akustiniai ekranai, dar vadinami akustinės sienutės, akustinės sienelės, barjerai, kurie statomi tarp triukšmo šaltinio ir apsaugomo objekto (pasiekiamas 9–20 dBA triukšmo lygio slopinimas).
7. Triukšmo slopinimo sienelės efektyvumas priklauso nuo jos aukščio, ilgio atstumo iki triukšmo šaltinio, formos bei gamybai naudojamų medžiagų akustinių savybių.
8. Dabar paprastai pripažįstama, kad ekranai su atitinkamais įtaisais ant jų viršutinės briaunos, formuojant T, Y, L, J formas ekranus, efektyviau apriboja garso bangų difrakciją, lyginant su įprastais tokio pat aukščio, kai kuriais atvejais ir aukštesniais ekranais.
9. Aplinkos planavimui, naudojamos įvairios triukšmo lygio skaičiavimo ir triukšmo sklaidos modeliavimo programos: EKOL, LAERM, MELU.COM, MAP NOISE, IMMI, SoundPLAN, CadnaA ir kt.
10. CadnaA programa atliekami triukšmo pakeitimo miesto sąlygomis skaičiavimai ir modeliuojamos įvairios situacijos, triukšmo sklaida skaičiuojama remiantis Europos Sąjungoje galiojančiomis metodikomis (kelių transportui, pramonei, geležinkeliams, oro transportui).

2. TRIUKŠMO TYRIMŲ IR SKLAIDOS MODELIAVIMO METODIKA

2.1. Geležinkelio transporto keliamo triukšmo matavimo vietos

Geležinkelio riedmenų keliamo triukšmo lygio matavimams parinktos 8 tyrimų vietos Kaišiadorių miesto centrinės dalies zonoje, netoli Kaišiadorių miesto geležinkelio stoties. Parinktų triukšmo lygio matavimo vietų išsidėstymas pavaizduotas 2.1 paveikse.



2.1 pav. Triukšmo lygio matavimo vietų išsidėstymo schema Kaišiadorių miesto centrinės dalies zonoje

Kiekvienoje triukšmo lygio matavimo vietoje, Magellan firmos koordinatų matuokliu Meridian GPS, nustatytos šių vietų koordinatės (2.1 lentelė).

2.1 lentelė. Geležinkelio transporto keliamo triukšmo matavimo vietos

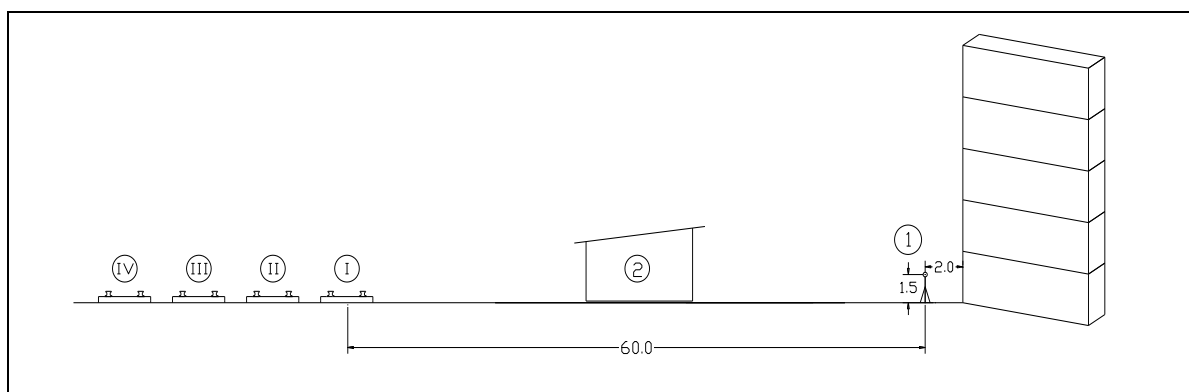
Eil. Nr.	Matavimo vietos adresas	Atstumas nuo geležinkelio linijos, m	Atliktų matavimų skaičius	Koordinatės	
				X	Y
1.	Gedimino g. 26	60	5	54,86350 Š	24,45436 R
2.	Pylimo g. 4	130	4	54,86043 Š	24,47653 R
3.	Geležinkeliečių tako g. 9	70	6	54,86320 Š	24,46571 R
4.	Geležinkeliečių tako g. 3	60	5	54,86363 Š	24,46312 R
5.	Gedimino g. 1B	50	4	54,86212 Š	24,47019 R
6.	Jonavos g. 1	80	5	54,86535 Š	24,45079 R
7.	Elektros g. 26	90	7	54,86458 Š	24,45857 R
8.	Geležinkeliečių tako g. 1	60	6	54,86368 Š	24,46284 R

Tyrimų vietos parinktos gyvenamosios paskirties pastatų aplinkoje, atsižvelgiant į geležinkelio ruožą, pravažiuojančių traukinių greitį, įvertinant teritorijos reljefą, vietovės užsodinimą, apstatymą (t.y. esančius triukšmą izoliuojančius ir sugeriančius objektus), atstumą nuo geležinkelio linijos.

2.2. Matavimo vietų charakteristika

1 triukšmo lygio matavimo vieta – Gedimino g. 26

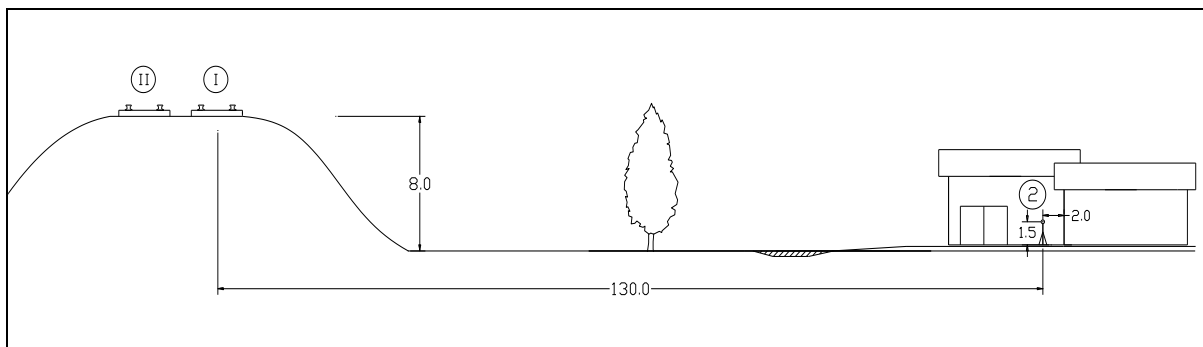
1 matavimo vieta parinkta Gedimino gatvėje prie 5 aukštų gyvenamosios paskirties pastato, namo Nr. 26. Pastatas į bėgius stovi kampu. Matavimo vieta charakteringa tuo, kad mūriniai vieno aukšto garažai slopina tiesiogiai sklinadančias geležinkelio transporto skleidžiamo triukšmo bangas. Į dešinę nuo matavimo vietos yra Kaišiadorių geležinkelio stotis. Ties matavimo vieta tęsiasi keturios geležinkelio bėgių linijos. Geografiniu požiūriu namas ir geležinkelio linijos yra tame pačiame lygyje. Atstumas nuo matavimo vietos iki artimiausių geležinkelio bėgių 60 m. Geležinkelio transporto sukeliama triukšmo lygiai nustatyti 1,5 m aukštyje, 2 m atstumu nuo gyvenamojo namo (žr. 2.2 pav.).



2.2 pav. 1 tyrimo vietos schema: 1 – matavimo vieta, 1,5 m aukštyje, 2 m atstumu nuo namo, 2 – garažai 2 m aukščio; I, II, III, IV – geležinkelio linijos

2 triukšmo lygio matavimo vieta – Pylimo g. 4

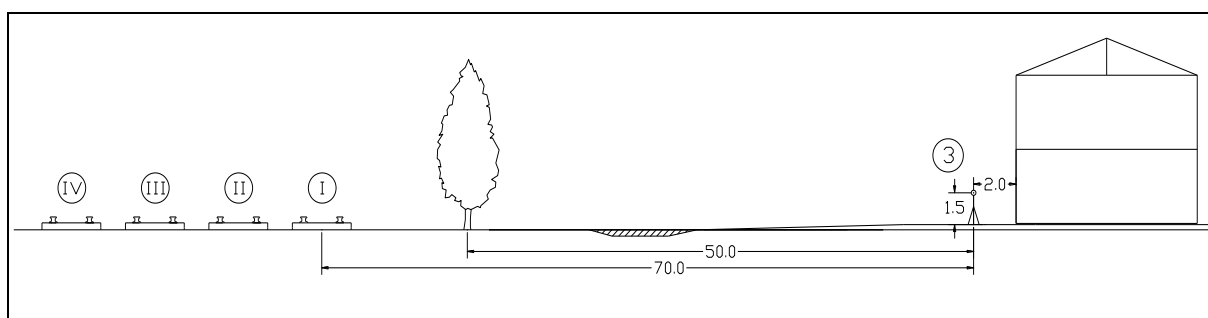
2 matavimo vieta parinkta Pylimo gatvėje prie 1 aukšto gyvenamosios paskirties pastato, namo Nr. 4. Ties matavimo vieta tęsiasi dvi geležinkelio bėgių linijos. Geografiniu požiūriu matavimo vieta dauboje, geležinkelio linijos nutiestos ant kalvos (aukštis apie 8 m). Atstumas nuo matavimo vietos iki artimiausių geležinkelio bėgių 130 m. Matavimo kelyje yra triukšmą sugeriančių ir izoliuojančių objektų, lygiagrečiai geležinkelio linijų auga medžiai. Geležinkelio transporto sukeliama triukšmo lygiai nustatyti 1,5 m aukštyje, 2 m atstumu nuo gyvenamojo namo (žr. 2.3 pav.).



2.3 pav. 2 tyrimo vietos schema: 2 – matavimo vieta, 1,5 m aukštyje, 2 m atstumu nuo namo; I, II – geležinkelio linijos

3 triukšmo lygio matavimo vieta – Geležinkeliečių tako g. 9

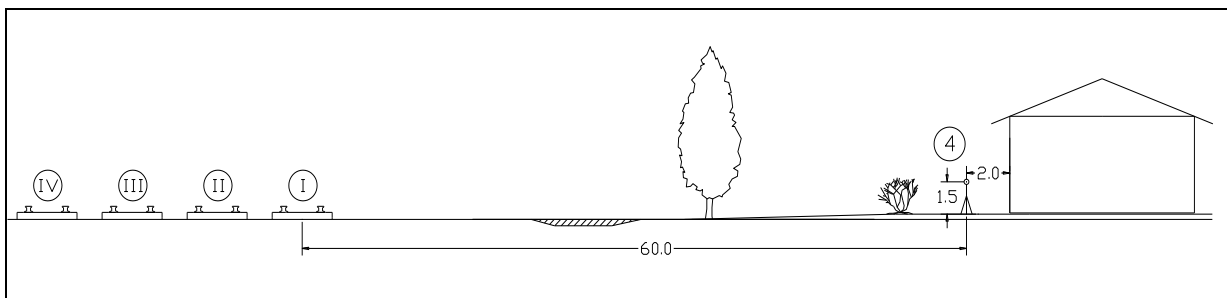
3 matavimo vieta parinkta Geležinkeliečių tako gatvėje, prie 2 aukštų gyvenamosios paskirties pastato, namo Nr. 9. Ties matavimo vieta tęsiasi keturios geležinkelio bėgių linijos. Geografiniu požiūriu namas ir geležinkelio linijos yra tame pačiame lygyje. Atstumas nuo matavimo vietos iki artimiausių geležinkelio bėgių 70 m. Matavimo kelyje auga keletas pavienių medžių, daugiau triukšmą sugeriančių ir izoliuojančių objektų nėra. Geležinkelio transporto sukeliama triukšmo lygiai nustatyti 1,5 m aukštyje, 2 m atstumu nuo gyvenamojo namo (žr. 2.4 pav.).



2.4 pav. 3 tyrimo vietos schema: 3 – matavimo vieta 1,5 aukštyje, 2 m atstumu nuo namo; I, II, III, IV – geležinkelio linijos

4 triukšmo lygio matavimo vieta – Geležinkeliečių tako g. 3

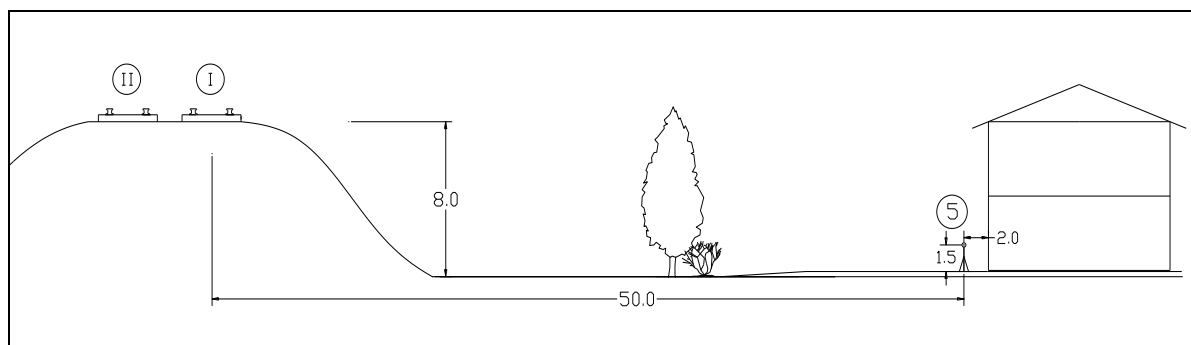
4 matavimo vieta parinkta Geležinkeliečių takas gatvėje prie 1 aukšto gyvenamosios paskirties pastato, namo Nr. 3. Ties matavimo vieta tęsiasi keturios geležinkelio bėgių linijos. Geografiniu požiūriu namas ir geležinkelio linijos yra tame pačiame lygyje. Atstumas nuo matavimo vietos iki artimiausių geležinkelio bėgių 60 m. Matavimo kelyje yra triukšmą sugeriančių bei izoliuojančių objektų (auga medžiai, želdiniai, krūmai). Geležinkelio transporto sukeliama triukšmo lygiai nustatyti 1,5 m aukštyje, 2 m atstumu nuo gyvenamojo namo (žr. 2.5 pav.).



2.5 pav. 4 tyrimo vietos schema: 4 – matavimo vieta 1,5 m aukštyje, 2 m atstumu nuo namo; I, II, III, IV – geležinkelio linijos.

5 triukšmo lygio matavimo vieta – Gedimino g. 1B

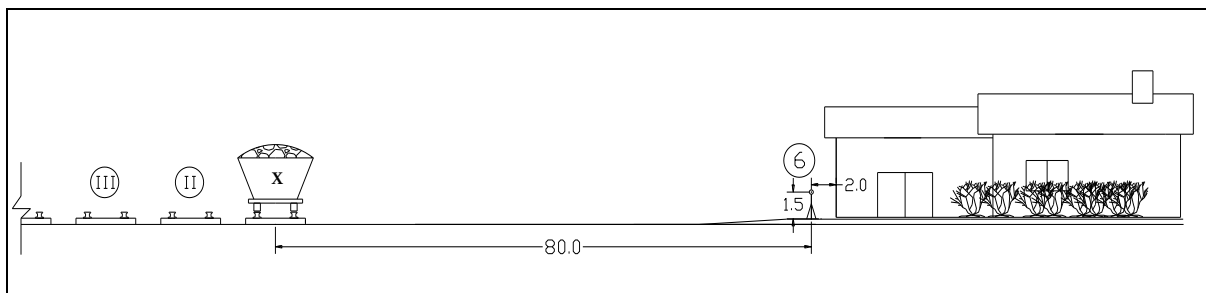
5 matavimo vieta parinkta Gedimino gatvėje prie 2 aukštų gyvenamosios paskirties pastato, namo Nr. 1B. Ties matavimo vieta tęsiasi dvi geležinkelio bėgių linijos, nutiestos ant pylimo. Ši matavimo vieta charakteringa tuo, kad geležinkelio bėgiai nuo namo atskirti gilia įduba, apaugusia tankiais krūmais. Atstumas nuo matavimo vietos iki artimiausių geležinkelio bėgių 50 m. Matavimo kelyje auga medžiai, želdynai (krūmai), daugiau triukšmą sugeriančių ir izoliuojančių objektų nėra. Geležinkelio transporto sukeliama triukšmo lygiai nustatyti 1,5 m aukštyje, 2 m atstumu nuo gyvenamojo namo (žr. 2.6 pav.).



2.6 pav. 5 tyrimo vietos schema: 5 – matavimo vieta 1,5 m aukštyje, 2 m atstumu nuo namo; I, II – geležinkelio linijos.

6 triukšmo lygio matavimo vieta – Jonavos g. 1

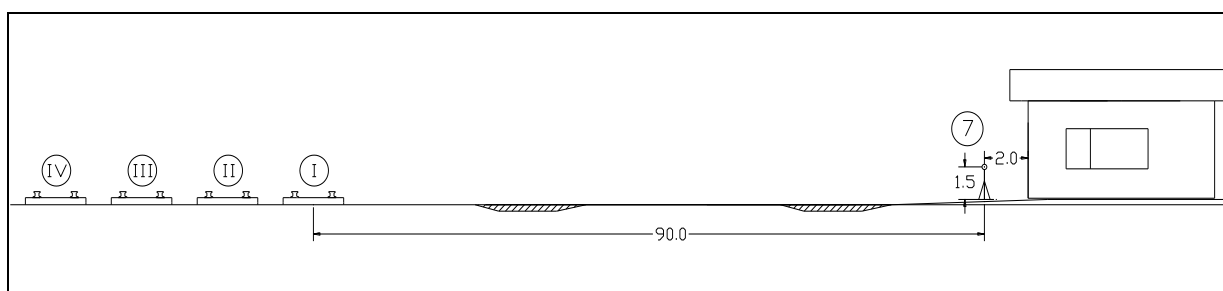
6 matavimo vieta parinkta Jonavos g. 1, gyvenamojoje aplinkoje, prie ūkinės paskirties pastato. Ties matavimo vieta tęsiasi penkios geležinkelio bėgių linijos. Prie namo iš šonų auga vaismedžiai ir aukšti medžiai. Geografiniu požiūriu geležinkelio linijos ir pastatas yra tame pačiame lygyje. Atstumas nuo matavimo vietos iki artimiausių geležinkelio bėgių 80 m. Matavimo kelyje triukšmą sugeriančių ir izoliuojančių objektų nėra. Geležinkelio transporto sukeliama triukšmo lygiai nustatyti 1,5 m aukštyje, 2 m atstumu nuo gyvenamojo namo (žr. 2.7 pav.).



2.7 pav. 6 tyrimo vietos schema: 6 – matavimo vieta 1,5 m aukštyje, 2 m atstumu nuo pastato;
X – sąstatas su skalda; II, III – geležinkelio linijos.

7 triukšmo lygio matavimo vieta – Elektros g. 26

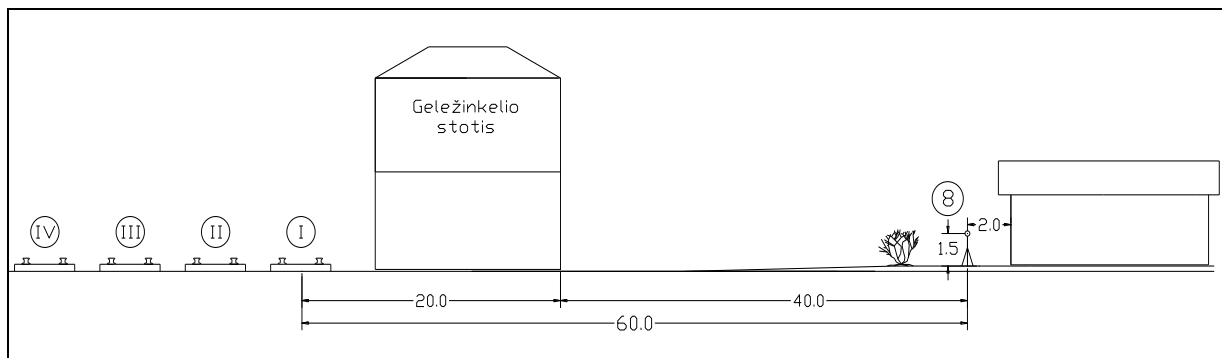
7 matavimo vieta parinkta Elektros gatvėje prie gyvenamosios paskirties pastato, namo Nr. 26. Ties matavimo vieta tęsiasi keturios geležinkelio bėgių linijos. Geografiniu požiūriu geležinkelio linijos ir namas yra viename lygyje. Atstumas nuo matavimo vietos iki artimiausių geležinkelio bėgių 90 m. Matavimo kelyje triukšmą sugeriančių ir izoliuojančių objektų (medžių, želdynų, statinių) nėra. Geležinkelio transporto sukeliama triukšmo lygiai nustatyti 1,5 m aukštyje, 2 m atstumu nuo gyvenamojo namo (žr. 2.8 pav.).



2.8 pav. 7 tyrimo vietos schema: 7 – matavimo vieta 1,5 m aukštyje, 2 m atstumu nuo namo;
I, II, III, IV – geležinkelio linijos.

8 triukšmo lygio matavimo vieta – Geležinkeliečių tako g. 1

8 matavimo vieta parinkta Geležinkeliečių tako gatvėje, prie gyvenamosios paskirties pastato, namo Nr. 1, šalia Kaišiadorių geležinkelio stoties. Ties matavimo vieta tęsiasi keturios geležinkelio bėgių linijos. Geografiniu požiūriu geležinkelio linijos ir namas viename lygyje. Atstumas nuo matavimo vietos iki artimiausių geležinkelio bėgių 60 m. Matavimo kelyje yra triukšmą sugeriančių ir izoliuojančių objektų – auga želdynai (krūmai). Geležinkelio transporto sukeliama triukšmo lygiai nustatyti 1,5 m aukštyje, 2 m atstumu nuo gyvenamojo namo (žr. 2.9 pav.).



2.9 pav. 8 tyrimo vietos schema: 8 – matavimo vieta 2 m atstumu nuo namo;

I, II, III, IV – geležinkelio linijos

2.3. Geležinkelio keliamo triukšmo matavimo metodika

Triukšmo lygis nematuojamas, kai sniega, lyja, yra rūkas arba vėjo greitis didesnis kaip 5 m/s. Todėl prieš atliekant triukšmo lygio matavimus, prietaisu Testo 400, 1,5 m aukštyje nuo žemės paviršiaus nustatyti šie meteorologiniai aplinkos parametrų rodikliai: oro temperatūra (°C), santykinis drėgnis (%), vėjo greitis (m/s).

Geležinkelio transporto keliamo triukšmo matavimams naudotas precizinis garso lygio matuoklis – analizatorius „Bruel&Kjaer 2260“. Šis matuoklis gali matuoti ekvivalentinio bei plačiajuosčio triukšmo parametrus. Prietaisu registruojamas triukšmas siekia 6,3 Hz iki 20 kHz dažnių diapazoną, vienos arba 1/3 oktavos dažnių juostose. Juo galima matuoti efektyvųjį triukšmo lygį apibrėžiamą A, B arba C charakteristikomis arba atskirose oktavose, kurios išskiriamos standartizuotais filtrais. Prietaiso santykinė matavimo paklaida $\pm 1,5\%$ (2.10 a pav.).



a)



b)

2.10 pav. Triukšmo lygio matavimas: a) precizinis garso lygio analizatorius Bruel&Kjaer 2260;

b) mikrofono išdėstymas 1,5 m aukštyje

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, taip pat ir ankstesnius IEC standartus (60651 ir 60804) ir naujausius ANSI standartus.

Prieš atliekant matavimus ir po jų, kalibruojamas prietaisas pagal prietaiso naudojimo instrukcijas. Jeigu kalibravimo rezultatai skiriasi daugiau kaip 2 dB, triukšmo matavimai pakartojami.

Triukšmo lygis matuotas mikrofonui esant statmenai geležinkelio linijai, 1,5 m aukštyje nuo teritorijos paviršiaus, 2 m atstumu nuo gyvenamųjų namų. Mikrofonas nukreipiamas į triukšmo šaltinio pusę, matuoti pradeda, kai traukinio sąstatas kerta vizavimo liniją.

Kiekvieno triukšmo lygio matavimo metu fiksuota matavimo trukmė, t.y. laikas per kurį traukinys pravažiuoja pro matavimo vietą bei skaičiuojamas sąstato vagonų skaičius. Žinant minėtus parametrus, įvertinus nuvažiuotą kelią, apytiksliai nustatytas traukinių judėjimo greitis.

Skirtingo tipo sąstatų skleidžiamo triukšmo ypatumams įvertinti, traukiniai skirstyti į keleivinius ir prekinius, pastarieji pagal sąstatų sudėtį, į traukinius susidedančius iš cisterninių vagonų, skysčiams ir dujiniams kroviniams gabenti, ir pusvagonių, skirtų biriems ir kitokiems suverstiniais kroviniams transportuoti.

Vertinant geležinkelio transporto keliamo triukšmo lygius, matuojamieji dydžiai yra ekvivalentinis ir maksimalus garso lygiai (dBA) bei garso slėgio lygiai (dB). Dažninė aplinkos triukšmo spektro sudėtis matuojama 31,5 – 8000 Hz dažnių srityje.

Sukeliami triukšmo lygiai gyvenamojoje aplinkoje, įvertinami matavimo rezultatus palyginant su leidžiamomis triukšmo lygio vertėmis, nurodytomis Lietuvos higienos normoje HN 33: 2007 „Akustinis triukšmas. Triukšmo ribiniai dydžiai gyvenamuosiuose ir visuomeninės paskirties pastatuose bei jų aplinkoje“ (2.2 lentelė). Šioje higienos normoje nustatytos ribinės ekvivalentinio ir maksimalaus triukšmo lygio vertės, triukšmo dažninės charakteristikos šiuo metu nėra vertinamos.

2.2 lentelė. Leidžiami triukšmo lygiai (HN 33: 2007)

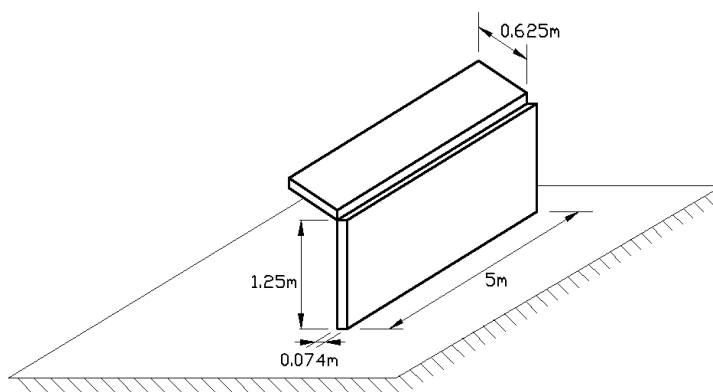
Objekto pavadinimas	Garso lygis, ekvivalentinis garso lygis, dBA	Maksimalus garso lygis, dBA	Paros laikas, val.
007 Gyvenamųjų ir visuomeninės paskirties pastatų aplinkoje	65	70	6–18
	60	65	18–22
	55	60	22–6

Kaip matyti gyvenamojoje teritorijoje dienos metu (6–18 val.), ekvivalentinis garso lygis, neturi būti didesnis kaip 65 dBA, vakaro metu (18–22 val.) – 60 dBA, nakties metu (22–8 val.) – 55 dBA. Dienos metu, maksimalus garso lygis neturi būti didesnis kaip 70 dBA, vakaro metu – 65 dBA, nakties – 60 dBA.

2.4. Akustiniai – natūriniai triukšmo slopinimo sienelės tyrimai

Sukonstruoto kilnojamo triukšmą slopinančio ekrano tyrimai atliekami natūroje (lauko sąlygomis). Tyrimų metodika parengta pagal LST EN ISO 11821: 1997 „Akustika. Natūrinis kilnojamo ekrano garso silpninimo matavimas“ standarte pateikiamas metodines rekomendacijas.

Triukšmą slopinanti konstrukcija sudaryta iš orientuotų skiedrų plokščių (OSB) ir akmens vatos užpildo (storis – 0,1 m). Išoriniai ekrano matmenys: ilgis – 5 m, aukštis – 1,25 m, ekrano storis – 0,074 m. Viršūnės polinkiui formuoti ant ekrano viršutinės briaunos lanksčiu įtvirtinimu pritvirtinta 0,625 m aukščio, ekrano struktūrą bei geometriją atitinkanti plokštė (žr. 2.11 pav.). Ekrano viršūnės polinkio kampas reguliuojamas metalo lydinio atramomis.



2.11 pav. Akustinių ekrano viršūnės polinkio savybių tyrimams sukonstruoto kilnojamo ekrano schematinis vaizdas

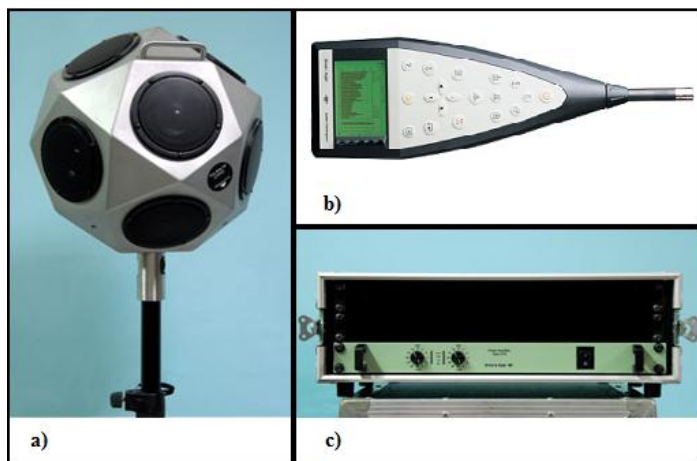
Akustinėms konstrukcijos savybėms tirti naudojama Danijoje pagaminta įranga (žr. 2.12 pav.):

- Omnipower dvylikos garsiakalbių, dvylikabriaunis garso šaltinis – „Bruel & Kjaer“ (dažninė charakteristika 50 Hz – 10 kHz);
- Galios stiprintuvas – „Bruel & Kjaer“ (galia 300 W);
- Precizinis garso lygio matuoklis – analizatorius „Bruel & Kjaer mediator 2260“;
- Mikrofonas 4189 – „Bruel & Kjaer“.

Naudojama įrangos sistema atitinka LST EN ISO 11821: 1997 standarte apibrėžtų tarptautinių elektrotechnikos įrangos standartų IEC 651 ir IEC 804 reikalavimus.

Dvylikabriaunis garso šaltinis sukelia standartizuotą pastovų triukšmą, tai yra vienas naujausių danų firmos „Bruel & Kjaer“ gaminių. Prietaiso skleidžiamo triukšmo lygiai padidėja visame dažnių diapazone priklausomai nuo galios stiprintuvu nustatytų – Gain 40, Gain 20, Gain 16, Gain 12, Gain 10, Gain 7, Gain 5, Gain 3, Gain 1, Gain 0 verčių, čia Gain – triukšmo šaltinio galios indeksas. Triukšmo šaltinis gali būti pritvirtinamas ant trikojo stovo, kuriuo reguliuojamas aukštis yra nuo 1.3 iki 2.0 m arba padedamas ant pagrindo.

Precizinis garso lygio matuoklis – analizatorius „Bruel & Kjaer 2260“ dėl įmontuoto procesoriaus ir specializuotų programų, atlieka statistinį matavimo rezultatų apdorojimą. Prietaiso santykinė matavimo paklaida $\pm 1.5\%$, triukšmo lygis registruojamas nuo 6.3 Hz iki 20 kHz dažnio. Tyrimais gautų duomenų apdorojimui iš garso lygio matuoklio naudojama „BZ 7210 Qualifier“ programinė įranga.



2.12 pav. Tyrimams naudojama įrangos sistema „Bruel & Kjaer“: a) OmniPower dvylikabriaunis triukšmo šaltinis, tipas 4292; b) Precizinis triukšmo lygio matuoklis – analizatorius, tipas 2260; c) Galios stiprintuvas (Settore... 2009)

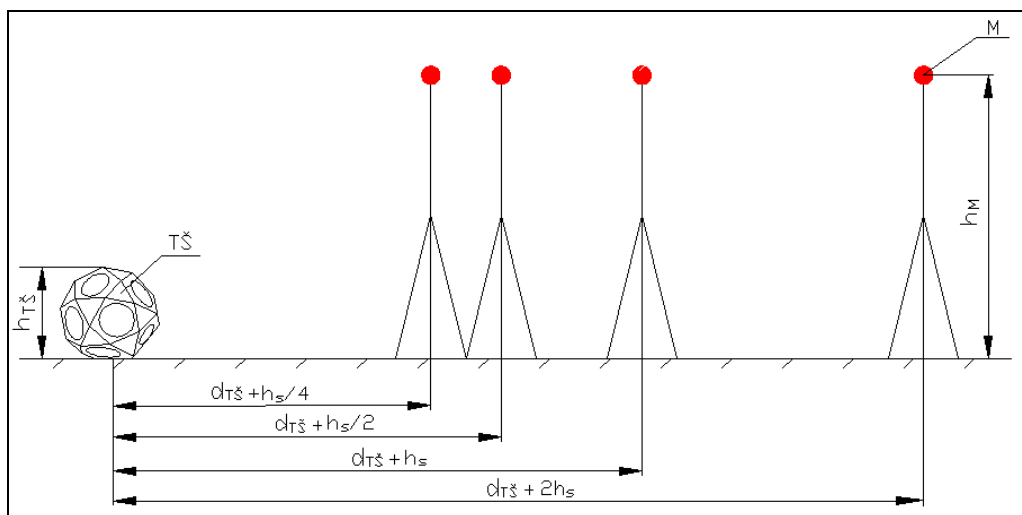
Tyrimams parinkta atvira erdvė, įvertinant, kad supantys, triukšmo atspindžiui ar sugerčiai įtakos turintys paviršiai būtų nekintantys tyrinėjamo objekto atžvilgiu.

Visakrypčio triukšmo šaltinio sukeliamas triukšmo lygis nustatomas atliekant triukšmo lygio matavimus atvirame lauke, be triukšmo slopinimo bei matuojamas triukšmo lygis, ekranuojant triukšmo šaltinį (žr. 2.13 a, b pav.).

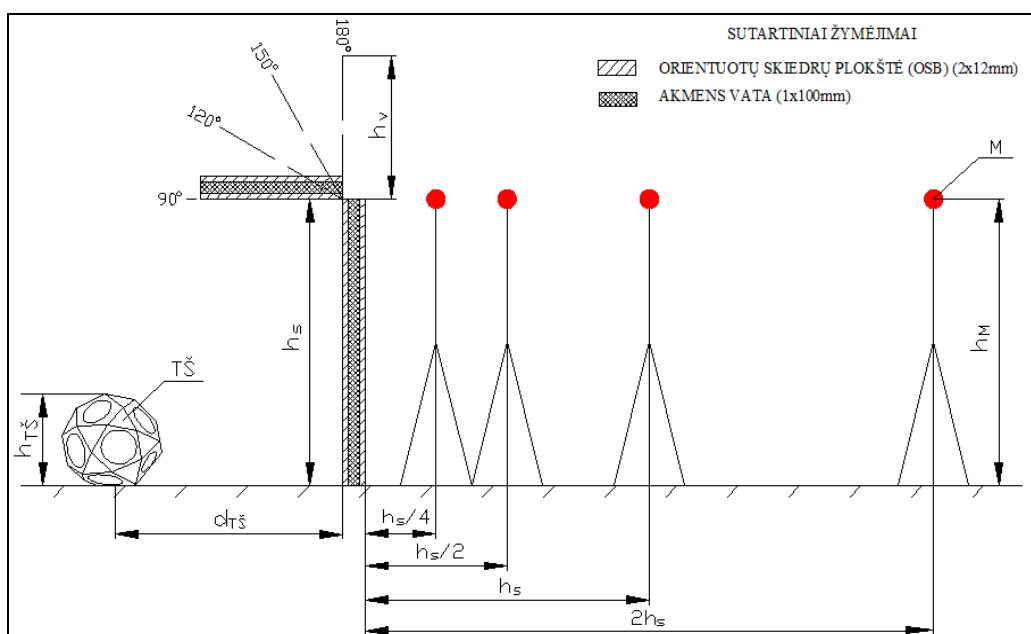
Garso silpimas (D_p), tyrinėjamoje triukšmo slopinimo aplinkoje nustatomas iš 2.1 formulės:

$$D_p = L_{p1} - L_{p2}, \quad (2.1)$$

čia L_{p1} ir L_{p2} – garso slėgio lygiai 1/3 oktavos juostose, matuojant triukšmo lygį atitinkamai atviroje erdvėje ir slopinant triukšmo šaltinio skleidžiamą triukšmo lygį, triukšmo slopinimo ekranu.



a)



b)

2.13 pav. Tyrimo situacijų vaizdas: a) triukšmo šaltinio skleidžiamo triukšmo lygio matavimas atviraime lauke; b) triukšmo lygių matavimas slopinant triukšmo šaltinio skleidžiamą triukšmo lygį, triukšmo slopinimo ekranu – sienele: TŠ – triukšmo šaltinis; M – mikrofonas, h_s – sienelės aukštis; h_M – mikrofono aukštis; $d_{TŠ}$ – atstumas nuo sienelės iki triukšmo šaltinio; $h_{TŠ}$ – triukšmo šaltinio aukštis; h_v – lanksčios viršūnės aukštis

Eksperimento pradžioje nustatomas foninis, aplinkos triukšmo lygis. Kaip nurodyta LST EN ISO 11821 standarto metodinėse rekomendacijose, akustinis laukas naudojant dirbtinį garso šaltinį turi būti sukuriamas taip, kad garso lygių skirtumas tarp sklindančio iš triukšmo šaltinio ir foninio, aplinkos triukšmo lygio būtų 6 – 10 dB, ir daugiau kaip 10 dB visose dominančiuose dažnių juostose. Jei triukšmo lygių skirtumas yra mažesnis nei 6 dB aplinkos sąlygos nėra

tinkamos. Esant garso lygio skirtumui 6–10 dB, dėl aplinkos triukšmo įtakos, kiekvienoje matavimo pozicijoje yra įvedama pataisa, kuri išreiškiama lygtimi:

$$L_p = 10 \lg(10^{(L_{ps}/10)} - 10^{(L_{pb}/10)}), \quad (2.2)$$

čia L_{ps} – triukšmo lygis 1/3 oktavos juostose matuotas, kai triukšmo šaltinis įjungtas, dB; L_{pb} – triukšmo lygis 1/3 oktavos juostose matuotas, kai triukšmo šaltinis išjungtas, dB; L_p – dominuojantis triukšmo lygis, dB (t.y. triukšmo lygis atviroje erdvėje arba ekranuojant triukšmo šaltinį) 1/3 oktavos juostose.

Minėta fiksuojamo triukšmo lygio pataisa nėra būtina, kai garso lygių skirtumas tarp sklindančio iš triukšmo šaltinio ir foninio, aplinkos triukšmo lygio yra didesnis nei 10 dB.

Tyrimo metu triukšmo šaltinis ir mikrofonas išdėstomi vienoje tiesėje. Ekranuojant triukšmo šaltinį triukšmą slopinančia sienele, eksperimentui naudojama įranga (garso šaltinis, mikrofonas) yra išdėstoma statmenai pagrindinei ekrano linijai, per ekrano geometrinio centro tašką.

Omnipower Omnidirect dvylikabriaunis triukšmo šaltinis (TŠ) padedamas ant žemės paviršiaus 1 m atstumu nuo ekrano (šaltinio aukštis 0.4 m). Atsižvelgiant į LST EN ISO 11821 standarte pateikiamas metodines rekomendacijas, parinktos 4 – ios matavimo vietos, mikrofono išdėstymui: 0,32 m, 0,64 m, 1,24 m ir 2,5 m atstumu. Mikrofonas (M), esantis triukšmo slopinimo aplinkoje, pritvirtinamas ant trikojo stovo taip, kad aukščių skirtumas tarp mikrofono ir žemės paviršiaus siekia 1,25 m.

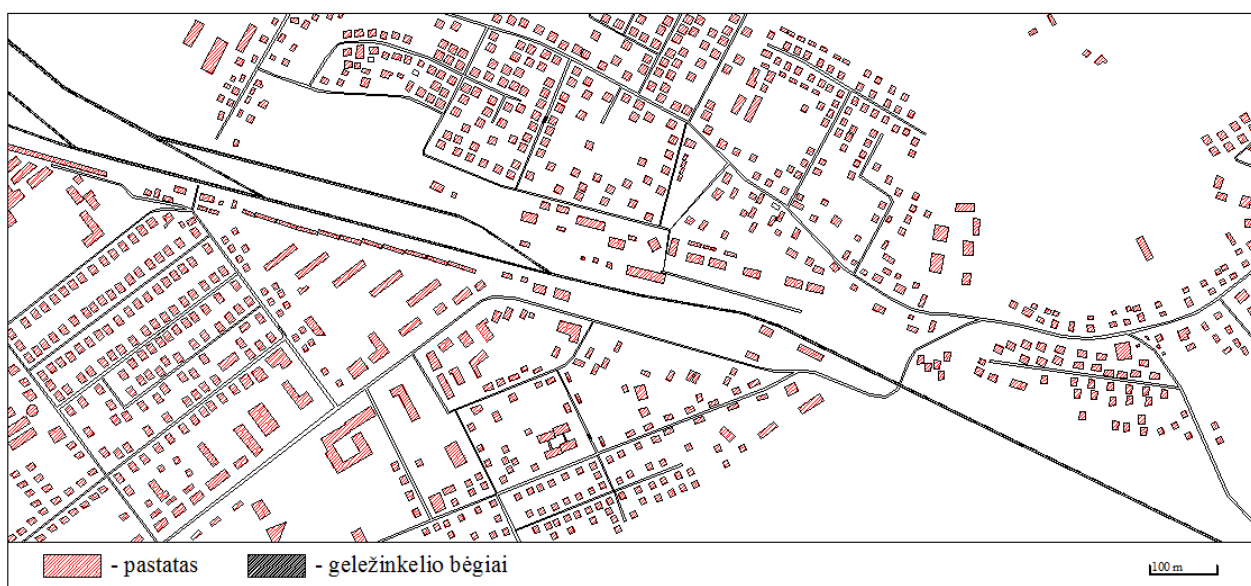
Ekrano viršūnės polinkio akustinės savybės, minėtose mikrofono išdėstymo pozicijose, tyrinėjamos keičiant viršūnės polinkio kampą. Kiekviename mikrofono išdėstymo taške, vertinamos 4 viršūnės pasvirimo padėties, polinkio kampą keičiant atitinkamai – 90°, 120°, 150°, 180°, kaip parodyta 2.13 b paveiksle. Aplinkoje sklindančio garso bangų fiksavimo vietose, tyrimas pakartojamas tris kartus (vieno matavimo trukmė 30 s). Triukšmo lygio vertės nustatomos, kaip šių dydžių aritmetinio vidurkio reikšmės.

2.5. Geležinkelio transporto keliamo triukšmo sklaidos modeliavimo metodika

Geležinkelio transporto keliamo triukšmo sklaida Kaišiadorių miesto centrinėje dalyje (Kaišiadorių m. geležinkelio stoties mazgas), gyvenamosios paskirties pastatų aplinkoje teoriškai analizuojama kompiuterine triukšmo sklaidos modeliavimo programa „CadnaA“, kuria atliekami triukšmo lygių kaitos skaičiavimai ir modeliavimas. Modeliu siekiama teoriškai nustatyti geležinkelio riedmenų skleidžiamo triukšmo lygius gyvenamosios aplinkos teritorijose, Kaišiadorių miesto centrinėje dalyje, įvertinant vietovės reljefo bei pravažiuojančių traukinių ypatumus.

Į „CadnaA“ programą importuojamas „dwg“ formato, natūriniais eksperimentiniais tyrimais, analizuotą vietovę atitinkantis planas, kuriame realiais atstumais išdėstyti pagrindiniai modelio kūrimui reikalingi objektai – pastatai, geležinkelio bėgiai (žr. 2.14 pav). Triukšmo sklaidos modelis, kuriamas nustatant pastatų, vietovės reljefo įvesties duomenis, aprašant triukšmo šaltinį.

Pirmiausia programoje aprašomi pastatai – išskiriant jų aukštį. Siekiant atkurti realias sąlygas pagal esamos vietovės reljefo ypatumus, geležinkelio riedmenų keliamo triukšmo sklaidai modeliuoti kuriamos dvi vietovę atitinkančios situacijos: modeliuojant triukšmo sklaidą, traukiniams pravažiuojant 8 m aukščio pylimu; modeliuojant triukšmo sklaidą, kada geležinkelio riedmenys juda sąlygiškai lygiu reljefu, triukšmo įtakos zonoje esančių pastatų atžvilgiu.



2.14 pav. Bendras analizuojamą vietovę atitinkantis vaizdas programoje „CadnaA“

Programoje aprašant geležinkelio transportą, kaip linijinį triukšmo šaltinį nustatoma eilė šaltiniui būdingų charakteristikų. Atsižvelgiant į analizuojamą atkarpą įvedami duomenys apie geležinkelio pabėgių klojinį, t.y. modeliuojamų minėtų pirmos ir antros situacijų atvejais, nustatomas atitinkamai – medinis pabėgis ant žvyro („*Wooden sleepers in gravel*“) ir betoninis pabėgis ant žvyro („*Concrete sleepers in gravel*“) (Kaišiadorių m. geležinkelio stoties zonoje). Taip pat nustatomi duomenys apie bėgių sujungimo tipą. Aprašant geležinkelio transporto ypatumus pagal kuro tipą, paskirtį išskiriamos trys Kaišiadorių stotį pravažiuojančių traukinių kategorijos:

- keleiviniai dyzeliniai traukiniai („*Diesel Trains Pads*“);
- krovininiai traukiniai („*Freight Trains Pads*“);
- elektra varomi tarpmiestiniai traukiniai („*Intersity train*“).

Taip pat įvedamas vidutiniškai stotį pravažiuojančių minėtų tipų traukinių skaičius – dieną, vakare bei naktį, pravažiuojančių traukinių maksimalus greitis, analizuojamoje atkarpoje. Stabdančių traukinių procentinė dalis paros sraute (2.3 lent.).

2.3 lentelė. Geležinkelio transporto srauto charakteristika

Traukinio tipas	Taukinių skaičius			Greitis, km/h	Stabdančių traukinių dalis sraute, %
	Dieną	Vakare	Naktį		
Keleiviniai dyzeliniai traukiniai	24	9	3	70	40
Elektra varomi tarpmiestiniai traukiniai	5	2	5	70	80
Krovininiai traukiniai	15	5	5	70	15
Iš viso:	44	16	13	Iš viso per parą: 73	

Siekiant nustatyti geležinkelio transporto keliamą paros triukšmo lygį L_{dvn} bei triukšmo sklaidos ypatumus, vietovėje nevertinamas kitų šaltinių keliamas triukšmo lygis, kuris galėtų padidinti triukšmo lygį gyvenamojoje aplinkoje.

2.6. Triukšmo slopinimo sienelės modelio kūrimas

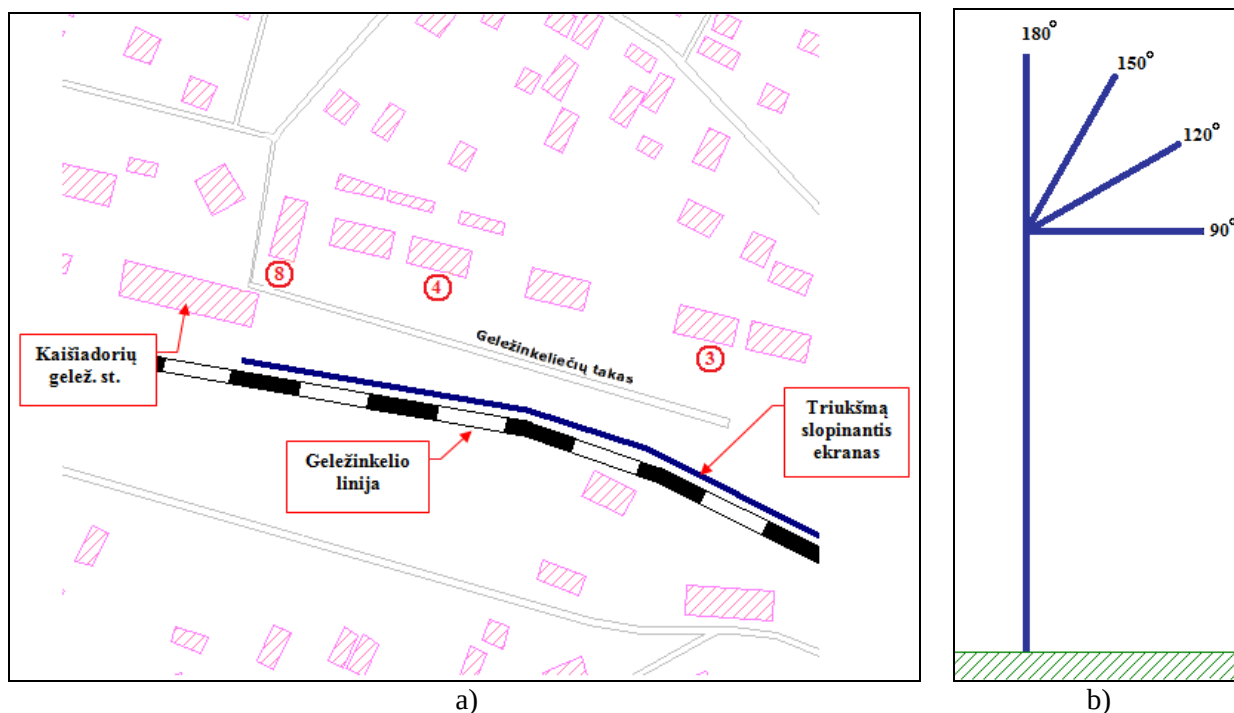
Kaišiadorių miesto geležinkelio stoties mazge vyraujančių triukšmo lygių slopinimui taikomi palinkusios viršūnės triukšmo slopinimo sienelės modeliai. Triukšmo lygių sklaidos skaičiavimai atliekami nekeičiant 2.5 poskyryje aprašytų triukšmo šaltinį (geležinkelio transportą) charakterizuojančių įvesties parametrų.

Triukšmo lygių sklaidos skaičiavimui atkurta sąlygiškai lygaus reljefo eksperimentiniais – natūriniais tyrimais analizuota Kaišiadorių miesto geležinkelio stoties rytinėje dalyje esanti teritorija (žr. 2.15 pav).

Kompiuterine programa „CadnaA“ triukšmo lygių kaitos skaičiavimams atlikti modeliuotos situacijos, kada nėra triukšmą slopinančios kliūtys bei sukurtais ekrano modeliais ekranuojant triukšmo šaltinį. 2.4 lentelėje pateikiami kuriamų ekranų modelių geometriniai parametrai.

2.4 lentelė. Programos „CadnaA“ darbalaukyje kuriamų ekranų modelių geometriniai parametrai

Eil. Nr.	Viršūnės polinkio kampas	Bendras ekrano aukštis (h), m	Ekrano ilgis, m
1.	90°	3	300
2.	120°	3,5	300
3.	150°	3,86	300
4.	180°	4	300
5.	180°	4,5	300



2.15 pav. Triukšmo slopinimo sienelės modelio kūrimas: a) Triukšmo lygių kaitos skaičiavimui atkurta eksperimentiniais – natūriniais tyrimais analizuota Kaišiadorių miesto geležinkelio stoties rytinėje dalyje esanti teritorija: 3 – triukšmo lygio matavimo vieta – Geležinkeliečių tako g. 9; 4 – triukšmo lygio matavimo vieta – Geležinkeliečių tako g. 3; 8 – triukšmo lygio matavimo vieta – Geležinkeliečių tako g. 1; b) Formuota triukšmo slopinimo sienelė

Kaip pavaizduota 2.15 paveiksle triukšmo slopinimo ekrano modelis sukuriamas mažiausiu standartizuotu 3 m atstumu nuo geležinkelio linijos. Kuriamai triukšmą slopinančiai konstrukcijai nustatomi akustinių savybių parametrai, t.y. nustatomas didžiausias ekrano efektyvumą atspindėti bei sugerti garsą charakterizuojantis koeficientas $\alpha = 0,84$, atitinkamai dešiniojo ir kairiojo ekrano paviršiaus plotui. Palinkusios viršūnės modeliui formuoti ant ekrano viršutinės briaunos konstruojamas stogelis, kurio ilgis atitinka ekrano ilgį, aukštis – 1 m.

Triukšmo lygio kaitos skaičiavimai atliekami, keičiant viršūnės pasvirimo kampą ekrano atžvilgiu. Viršūnės polinkio efektyvumui charakterizuoti pasvirimo padėtys keičiamos atitinkamai – 90°, 120°, 150° ir 180° kampu. Triukšmo sklaidos ypatumai analizuojami atveju, kada stogelis krypsta link triukšmo šaltinio („right“ kryptimi). Priklausomai nuo elemento pasvirimo padėties, triukšmo lygio kaita stebima vertikalioje triukšmo slopinimo zonoje už ekrano.

2.2. Išvados

1. Geležinkelio riedmenų keliamo triukšmo lygio matavimų vietos parinktos įvertinant teritorijos reljefą, vietovės užsodinimą, apstatymą (t.y. esančius triukšmą izoliuojančius ir sugeriančius objektus), atstumą nuo geležinkelio linijos.

2. Geležinkelio transporto keliamas triukšmo lygis matuotas gyvenamojoje aplinkoje, 1,5 m aukštyje nuo žemės paviršiaus atsižvelgiant į meteorologinius aplinkos parametrų rodiklius: oro temperatūrą (°C), santykinę drėgnį (%), vėjo greitį (m/s).
3. Kilnojamo triukšmą slopinančio ekrano – sienelės tyrimų metodika parengta pagal LST EN ISO 11821: 1997 „Akustika. Natūrinis kilnojamo ekrano garso silpninimo matavimas“ standarte pateikiamas metodines rekomendacijas.
4. Geležinkelio keliamo triukšmo lygio teoriniam pagrindimui bei triukšmą slopinančios sienelės efektyvumo vertinimui pasirinkta viena iš pažangiausių triukšmo sklaidos modeliavimo programų „CadnaA“, kuria atliekami triukšmo lygių kaitos skaičiavimai ir modeliavimas, esant įvairioms sąlygoms.

3. TYRIMŲ REZULTATAI

3.1. Geležinkelio transporto keliamo triukšmo tyrimai pasirinktose matavimo vietose

Kaišiadorių stotį pravažiuoja dyzeliniai keleiviniai ir prekiniai traukiniai. Taip pat šią stotį pasiekia ir elektriniai keleiviniai traukiniai, kursuojantys tarp N. Vilnios ir Kauno stočių. Geležinkelio transporto keliamo triukšmo matavimams gyvenamojoje teritorijoje prie Kaišiadorių geležinkelio stoties parinktos 8 matavimo vietos.

Triukšmo lygio matavimai buvo atlikti 2009 m. spalio 29–30 dienomis.

Meteorologinių parametrų, nustatytų geležinkelio transporto keliamo triukšmo matavimo metu duomenys, pateikiami 3.1 lentelėje.

3.1. lentelė. Meteorologiniai rodikliai matavimo metu

Laikas	Temperatūra, °C	Santykinis drėgnis, %	Vėjo greitis, m/s
2009-10-29 10 ⁰⁰	4,1	80	3,0
2009-10-29 17 ⁰⁰	3,5	82	3,2
2009-10-30 11 ⁰⁰	3,0	72,1	2,0

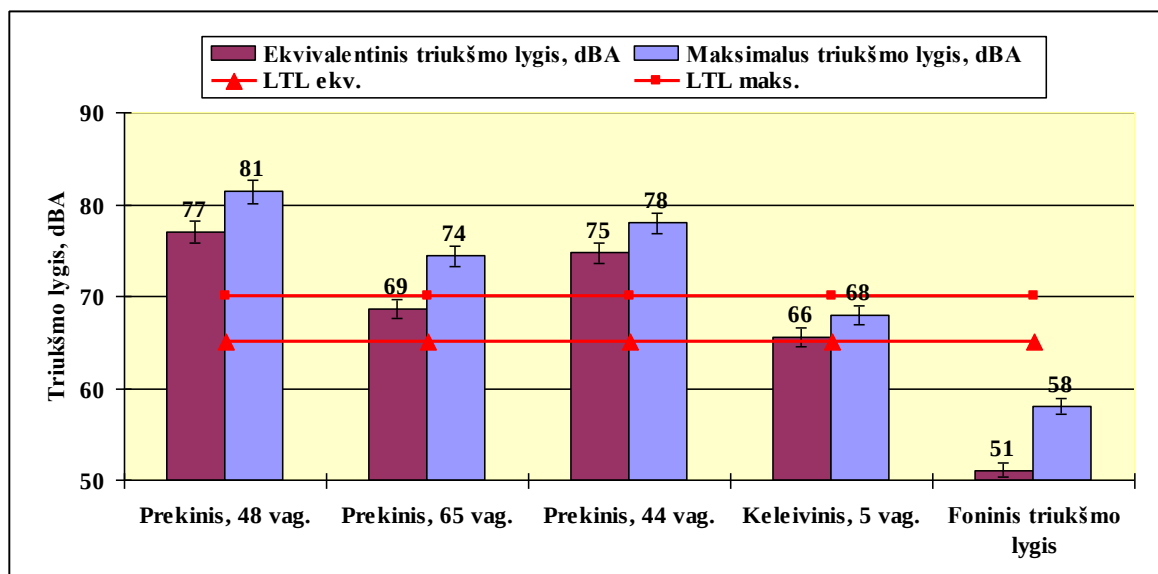
1 triukšmo lygio matavimo vieta – Gedimino g. 26

1 matavimo vieta parinkta Gedimino gatvėje prie 5 aukštų gyvenamosios paskirties pastato, gyvenamojoje aplinkoje, namo Nr. 26. Ties matavimo vieta tęsiasi keturios geležinkelio bėgių linijos.

Matavimo vietoje atlikti 5 triukšmo lygio matavimai. Matavimai atlikti šviesiuoju paros metu, dieną. Geležinkelio transporto sukeliama triukšmo lygiai nustatyti 1,5 m aukštyje, 2 m atstumu nuo gyvenamojo namo. Išmatuotas pravažiuojančių prekinio traukinio ir keleivinio traukinio keliamas triukšmo lygis bei foninis triukšmo lygis (žr. 3.1 pav.).

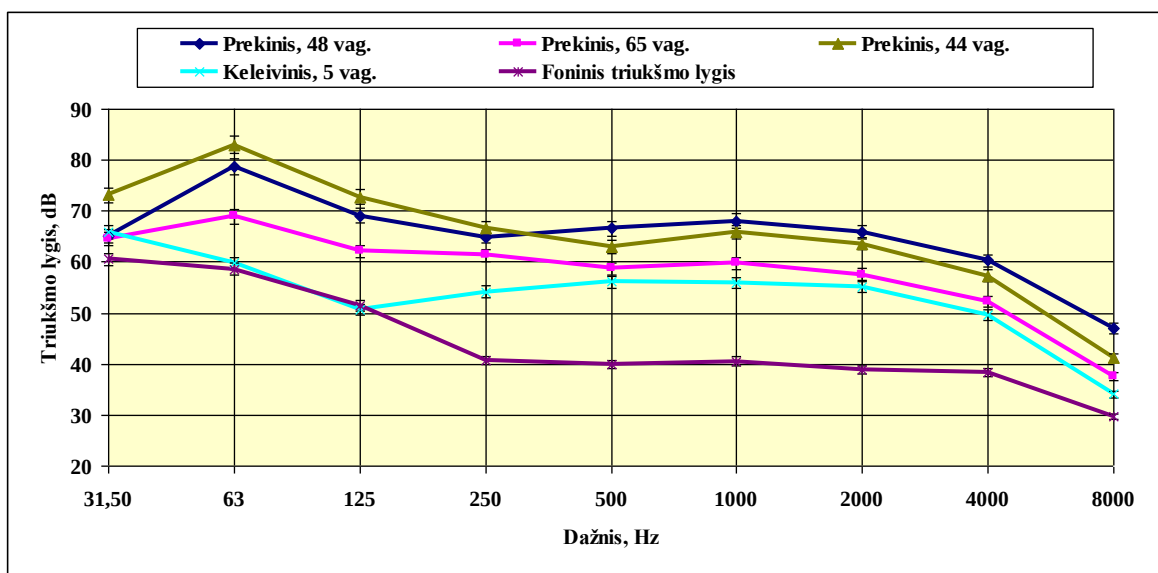
Nustatyta, kad visų pravažiuojančių prekinio traukinio keliamas triukšmo lygis gyvenamojoje aplinkoje viršija HN 33: 2007 nustatytą leistiną ekvivalentinį ir maksimalų triukšmo lygį. Iš visų prekinio traukinio didžiausią triukšmo lygį sukėlė iš 48 ir iš 44 pusvagonių susidedantys sąstatai biriems ir kitokiems suverstiniams kroviniams transportuoti. Sąstatas iš 48 pusvagonių leistiną ekvivalentinį triukšmo lygį viršijo 12 dBA, leistiną maksimalų 11 dBA, o sąstatas iš 44 pusvagonių ekvivalentinį triukšmo lygį viršijo 10 dBA, maksimalų – 8 dBA. Lyginant su šiais traukiniais, nežymiai triukšmo lygį viršijo prekinis traukinys, kurio sąstatas susideda iš 65 cisternininių vagonų skysčiams ir dujiniais kroviniams vežti. Ekvivalentinis ir maksimalus triukšmo lygis buvo viršytas 4 dBA.

Pravažiavusio keleivinio traukinio, kurio sąstatas susideda iš 5 vagonų, keliamo triukšmo lygis siekė 66 dBA, t.y. 1 dBA viršijo nustatytą leistiną ekvivalentinį triukšmo lygį (LTL).



3.1 pav. Ekvivalentinis ir maksimalus triukšmo lygiai 1 matavimo vietoje

3.2 paveiksle pateikiamas matavimo vietoje nustatytas pravažiuojančių traukinių keliamas triukšmo lygis pagal vidutinio geometrinio dažnio charakteristiką, žemo (31,5–400 Hz), vidutiniškai aukšto (400–2000 Hz) ir aukšto (2000–8000 Hz) dažnio srityse.



3.2 pav. Triukšmo lygis pagal vidutinio geometrinio dažnio charakteristiką

Iš pateiktų kreivių matyti, kad esant žemiems dažniams didžiausią triukšmo lygį sukėlė prekinis traukinys, kurio sąstatas susideda iš 44 pusvagonių. Triukšmo lygis kito nuo 65 iki 83 dB. Esant vidutiniškai aukšto ir aukšto dažnio srityse didžiausią triukšmo lygį kėlė iš 48

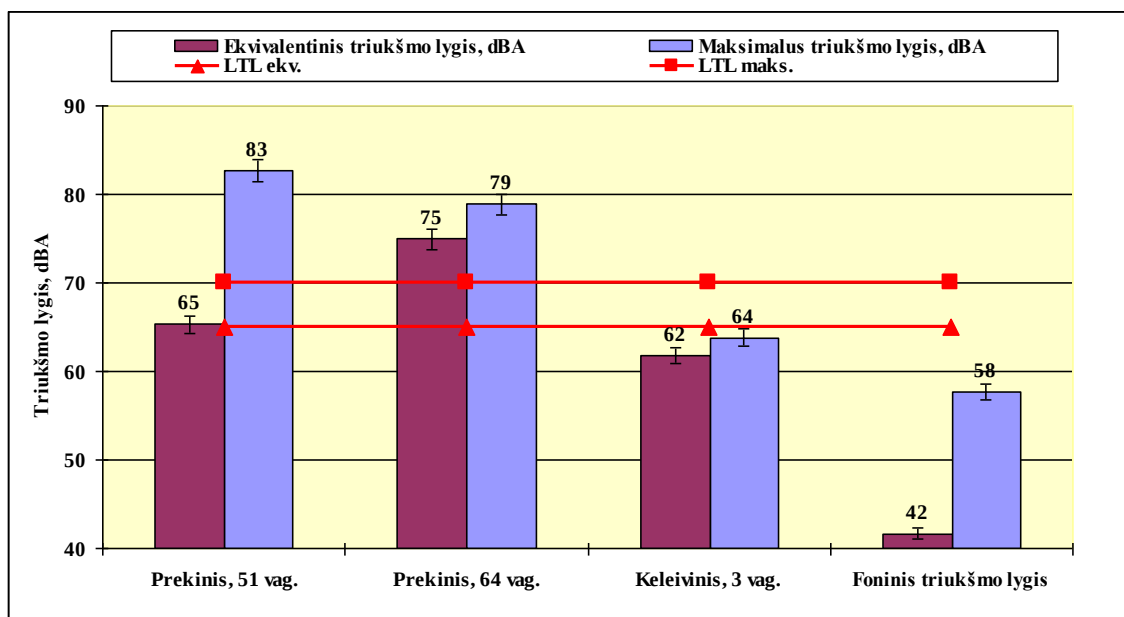
pusvagonių susidedantis sąstatas. Vidutiniškai aukšto dažnio srityje triukšmo lygis kito nuo 65 iki 69 dB, aukštų dažnių diapazone nuo 48 iki 67 dB.

Mažiausią triukšmo lygį visuose minėtuose dažnių diapazonuose, kėlė keleivinis 5 vagonų traukinys. Žemų dažnių diapazone triukšmo lygis kito nuo 50 iki 63 dB, vidutinių dažnių nuo 50 iki 58 dB ir aukštų dažnių diapazone nuo 35 iki 57 dB.

2 triukšmo lygio matavimo vieta – Pylimo g. 4

2 matavimo vieta parinkta Pylimo gatvėje prie 1 aukšto gyvenamosios paskirties pastato, namo Nr. 4. Ties matavimo vieta tęsiasi dvi geležinkelio bėgių linijos. Matavimo vieta charakteringa tuo, kad geležinkelio linijos nutiestos ant pylimo, atstumas nuo matavimo vietos iki artimiausios geležinkelio linijos 130 m. Geležinkelio transporto sukeliama triukšmo lygiai nustatyti 1,5 m aukštyje, 2 m atstumu nuo gyvenamojo namo.

Matavimo vietoje atlikti 4 triukšmo lygio matavimai. Išmatuotas pravažiuojančių prekinio traukinio ir keleivinio traukinio keliamas triukšmo lygis bei foninis triukšmo lygis (žr. 3.3 pav.).



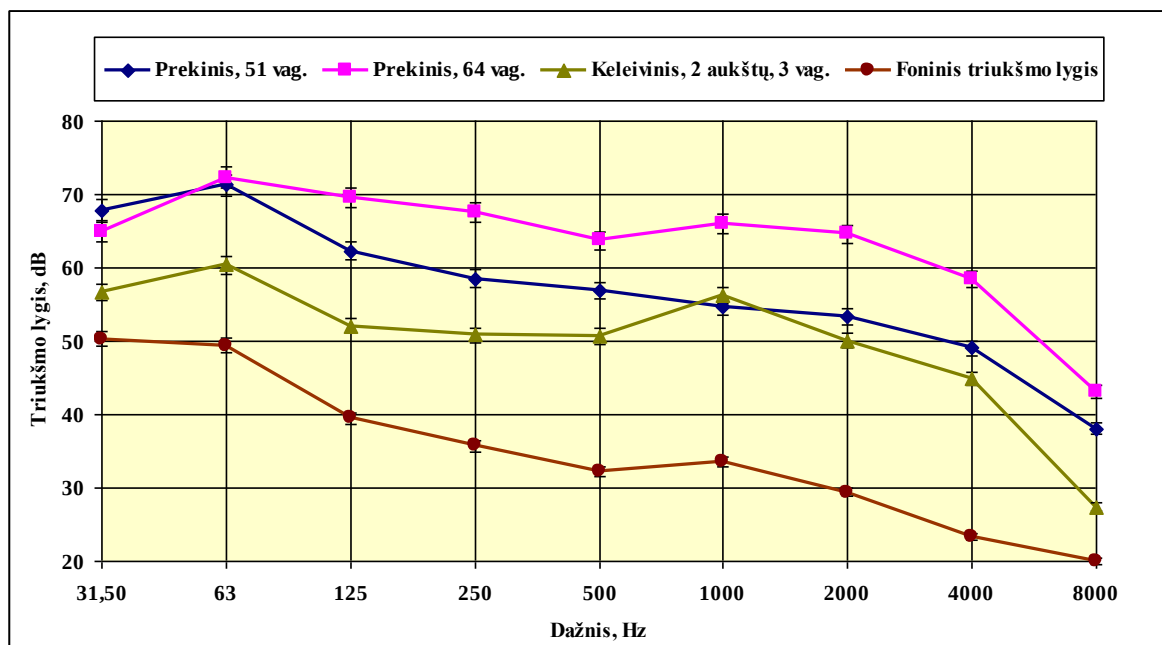
3.3 pav. Ekvivalentinis ir maksimalus triukšmo lygiai 2 matavimo vietoje

Iš gautų rezultatų matyti, kad ne visų pravažiuojančių traukinių keliamas triukšmas viršijo HN 33: 2007 pateiktus leistinus triukšmo lygius.

Prekinio traukinio, kurio sąstatą sudaro 64 cisterninių vagonai ir pusvagoniai, sukeltas ekvivalentinis triukšmo lygis siekė 75 dBA, t.y. LTL viršijamas 10 dBA. Nustatytą leistinąjį maksimalų triukšmo lygį viršijo abu prekiniai traukiniai. Didžiausią maksimalų triukšmo lygį sukėlė pravažiuojantis 51 vagono sąstatas, skirtas bieriems ir kitokiems suverstiniais kroviniams transportuoti (83 dBA).

Pravažiuojantis keleivinis 3 vagonų dviaukštis elektra varomas traukinys neviršijo HN 33: 2007 nustatytų triukšmo lygio verčių. Jo sukeltas ekvivalentinis triukšmo lygis siekė 62 dBA.

3.4 paveiksle pateikiamas matavimo vietoje nustatytas pravažiuojančių traukinių keliamas triukšmo lygis pagal vidutinio geometrinio dažnio charakteristiką.



3.4 pav. Triukšmo lygis pagal vidutinio geometrinio dažnio charakteristiką

Visoje analizuojamoje dažnių srityje didžiausi triukšmo lygiai užfiksuoti pravažėjęs 64 cisterninių vagonų traukiniui, tyrimo metu traukinys stabdė. Žemo dažnio srityje triukšmo lygis kinta nuo 64 iki 72 dB, vidutinio dažnio srityje nuo 64 iki 66 dB ir aukšto dažnio nuo 43 iki 65 dB.

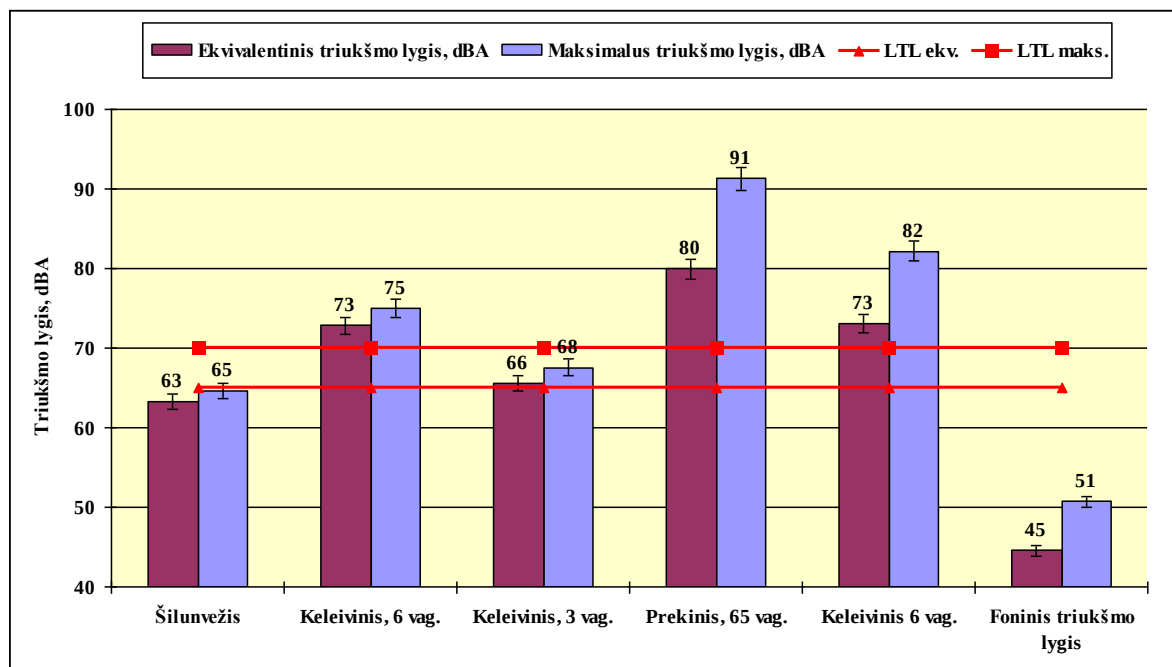
Prekinio 51 vagono sąstato, skirto biriems ir kitokiems suverstiniais kroviniams transportuoti, žemo dažnio srityje sukeltas triukšmo lygis siekė 57–71 dB, vidutiniškai aukšto dažnio srityje 53–57 dB, aukšto dažnio – 38–53 dB.

Paveiksle matyti, kad užfiksuotų 51 vagono prekinio sąstato (riedėjimo greitis – 36 km/h) ir elektra varomo keleivinio traukinio, kurio greitis 74 km/h, sukleidžiamo triukšmo lygių skirtumas vidutiniškai aukšto ir aukšto dažnio srityje nežymus.

3 triukšmo lygio matavimo vieta – Geležinkeliečių takas g. 9

3 matavimo vieta parinkta Geležinkeliečių takas gatvėje prie 2 aukštų gyvenamosios paskirties pastato, gyvenamojoje aplinkoje, namo Nr. 9. Ties matavimo vieta tęsiasi keturios geležinkelio bėgių linijos. Matavimo vieta ir geležinkelio linijos yra tame pačiame aukštyje. Atstumas nuo matavimo vietos iki artimiausios geležinkelio linijos 70 m. Matavimo kelyje auga keli pavieniai medžiai.

Matavimo vietoje atlikti 6 triukšmo lygio matavimai. Atliekant matavimus triukšmo lygį fiksuojantis prietaisas buvo pastatytas 1,5 m aukštyje, 2 m atstumu nuo gyvenamojo namo. Išmatuotas pravažiuojančių keleivinių traukinių, prekinio traukinio ir šilumvežio keliamas triukšmo lygis bei foninis triukšmo lygis (žr. 3.5 pav.).



3.5 pav. Ekvivalentinis ir maksimalus triukšmo lygiai 3 matavimo vietoje

Kaip matyti, visų pravažiuojančių keleivinių traukinių bei prekinio traukinio keliamas ekvivalentinis triukšmo lygis viršija HN 33: 2007 nustatytus leistinus triukšmo lygius. Didžiausias ekvivalentinis ir maksimalus triukšmo lygis išmatuotas pravažiuojant 65 cisterninių vagonų traukiniui. Ekvivalentinis triukšmo lygis – 80 dBA, LTL viršytas 15 dBA, sukeltas maksimalus triukšmo lygis – 91 dBA, LTL vertė viršyta – 21 dBA.

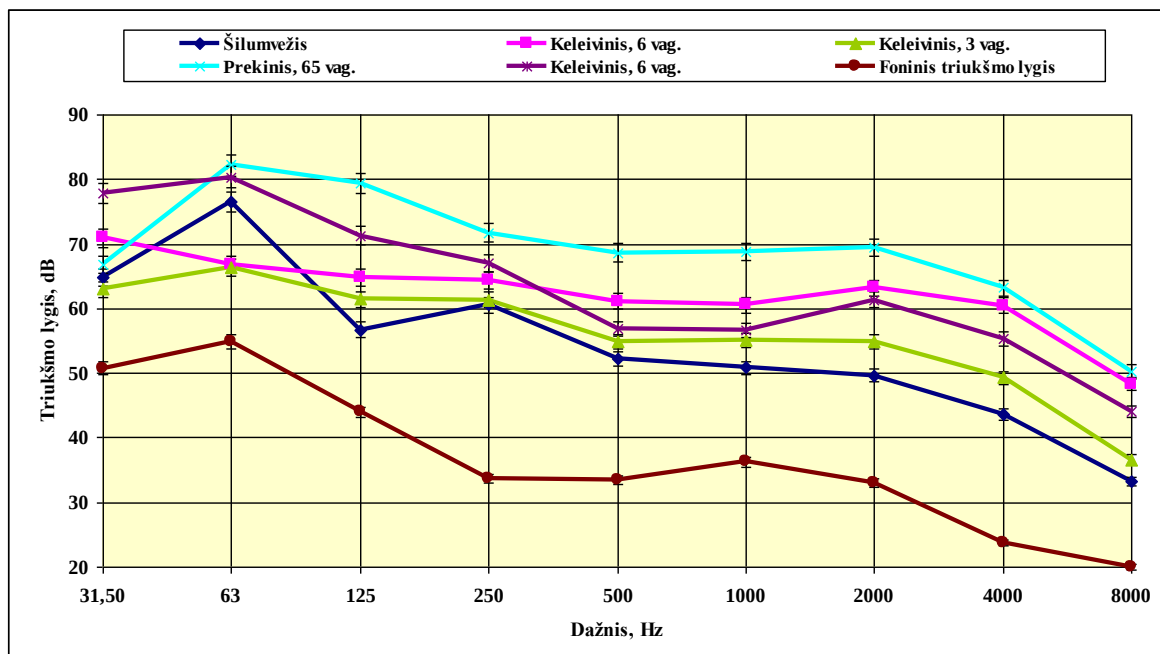
Lyginant keleivinių traukinių sukeltą maksimalų triukšmo lygį, maksimalų 82 dBA sukėlė 6 vagonų keleivinis traukinys, greitėjantis iš Kaišiadorių geležinkelio stoties.

3.6 pav. pateikiamas matavimo vietoje nustatytas pravažiuojančių traukinių keliamas triukšmo lygis pagal vidutinio geometrinio dažnio charakteristiką, t.y. esant žemiems (31,5–400 Hz), vidutiniams (400–2000 Hz) ir aukštiems (2000–8000 Hz) dažniams.

Kaip matyti iš paveikslėlyje pateiktų kreivių, visų dažnių diapazonuose triukšmingiausias buvo prekinis traukinys. Esant žemiems dažniams triukšmo lygis 67–82 dB, vidutiniams 69–70 dB ir aukštiems dažniams 50–70 dB.

Žemų dažnių srityje mažai nuo šio traukinio atsiliko keleivinis traukinys (6 vagonų sąstatas), kuris matavimo metu greitėjo iš stoties, triukšmo lygis kito nuo 57–80 dB, vyravo žemų ir vidutinių dažnių garsas.

Žvelgiant į šilumvežio dažninę charakteristiką matyti, kad žemo dažnio srityje sukeltas triukšmas prilygsta keleivinių traukinių skleidžiamiems triukšmo lygiams. Triukšmo lygis kinta nuo 57–77 dB, o esant aukštiems dažniams fiksuojami mažiausi triukšmo lygiai, t.y. visų tirtų atvejų triukšmo lygis kito nuo 33 iki 50 dB.



3.6 pav. Triukšmo lygis pagal vidutinio geometrinio dažnio charakteristiką

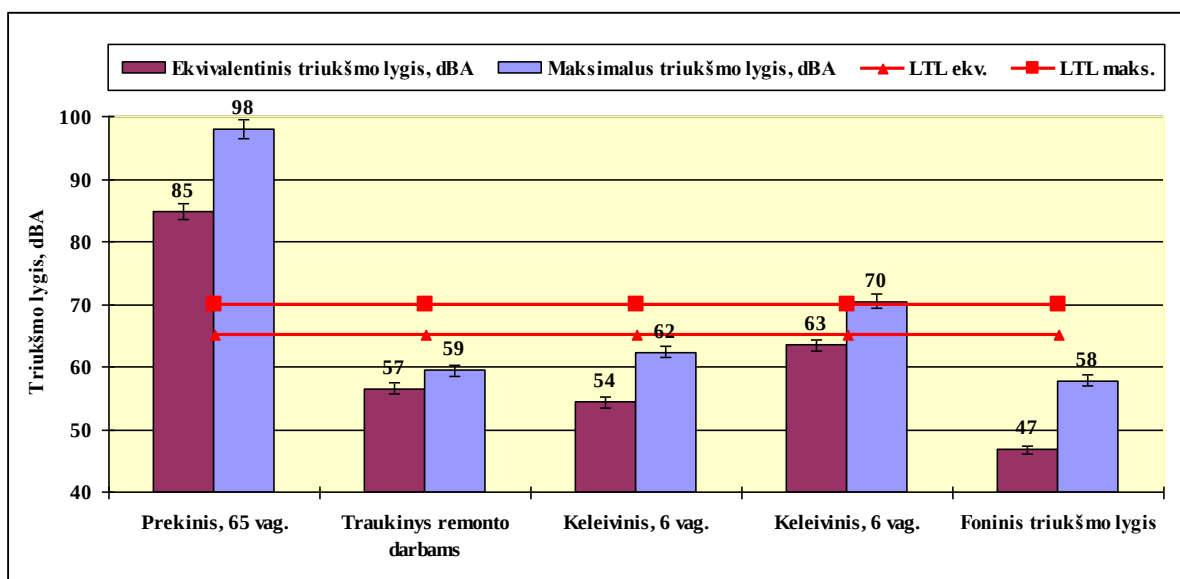
4 triukšmo lygio matavimo vieta – Geležinkeliečių takas g. 3

4 matavimo vieta parinkta Geležinkeliečių tako gatvėje prie 1 aukšto gyvenamosios paskirties pastato, gyvenamojoje aplinkoje, namo Nr. 3. Ties matavimo vieta tęsiasi keturios geležinkelio bėgių linijos. Geografiniu požiūriu namas ir geležinkelio linijos yra tame pačiame lygyje. Atstumas nuo matavimo vietos iki artimiausių geležinkelio bėgių 60 m. Matavimo kelyje yra triukšmą sugeriančių bei izoliuojančių objektų (auga medžiai, želdiniai, krūmai).

Matavimo vietoje atlikti 5 triukšmo lygio matavimai. Geležinkelio transporto sukelti triukšmo lygiai nustatyti 1,5 m aukštyje, 2 m atstumu nuo gyvenamojo namo. Išmatuotas pravažiuojančių prekinio traukinio, traukinio, skirto remonto darbams, keliamas triukšmas bei stovinčio ir pajudančio iš vietos keleivinio traukinio keliamas triukšmo lygis, taip pat palyginimui išmatuotas ir foninis triukšmo lygis (žr. 3.7 pav.).

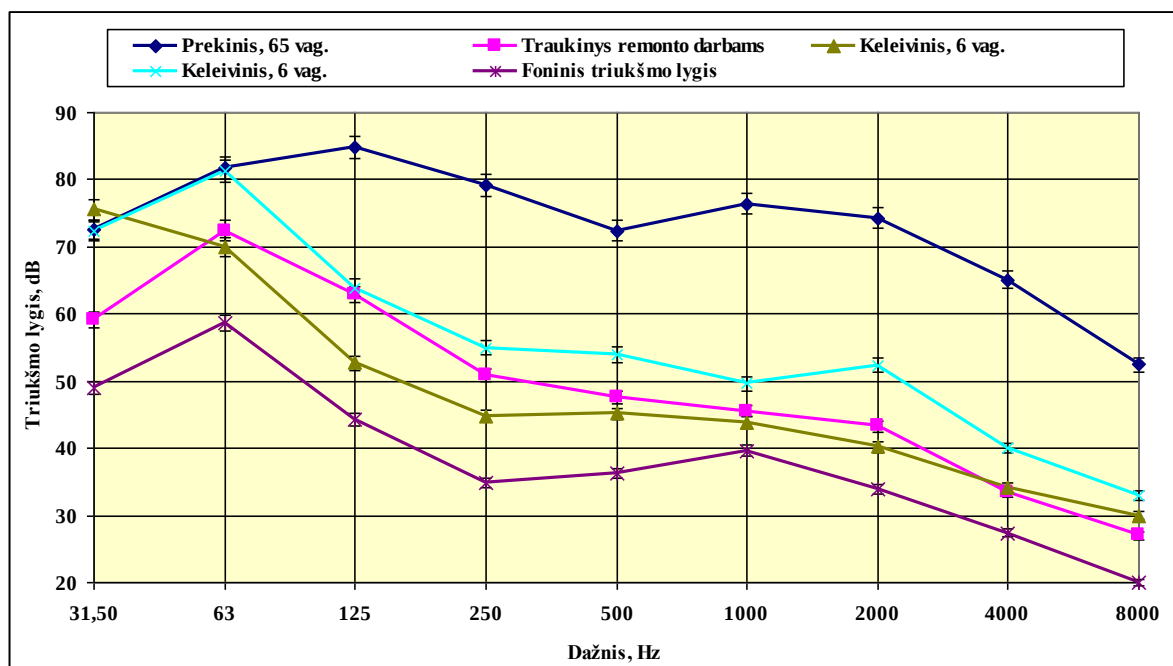
Šioje matavimo vietoje išsiskiria triukšmo lygio tyrimų rezultatai, užfiksuoti pravažiuojant 65 cisterninių vagonų sąstatui. Traukinio sukeltas ekvivalentinis triukšmo lygis siekė 85 dBA, t.y. viršijo net 20 dBA, o maksimalus triukšmo lygis buvo 98 dBA (nustatytą maksimalų leistiną triukšmo lygį viršijo 28 dBA).

Pravažiuojantis traukinys remonto darbams sukėlė 57–59 dBA, stotyje stovintis keleivinis traukinys 54–62 dBA, o pajudantis iš stoties keleivinis 6 vagonų traukinys 63–70 dBA.



3.7 pav. Ekvivalentinis ir maksimalus triukšmo lygiai 4 - oje matavimo vietoje

3.8 pav. pateikiamas matavimo vietoje nustatytas pravažiuojančių traukinių keliamas triukšmo lygis pagal vidutinio geometrinio dažnio charakteristiką, t.y. esant žemiems (31,5–400 Hz), vidutiniams (400–2000 Hz) ir aukštiems (2000–8000 Hz) dažniams.



3.8 pav. Triukšmo lygis pagal vidutinio geometrinio dažnio charakteristiką

Iš paveikslėlyje pateiktų dažnių charakteristikų matyti, kad visų užfiksuotų traukinių keliamas triukšmo lygis aukščiausias žemo dažnio srityje. Didžiausias triukšmo lygis visoje

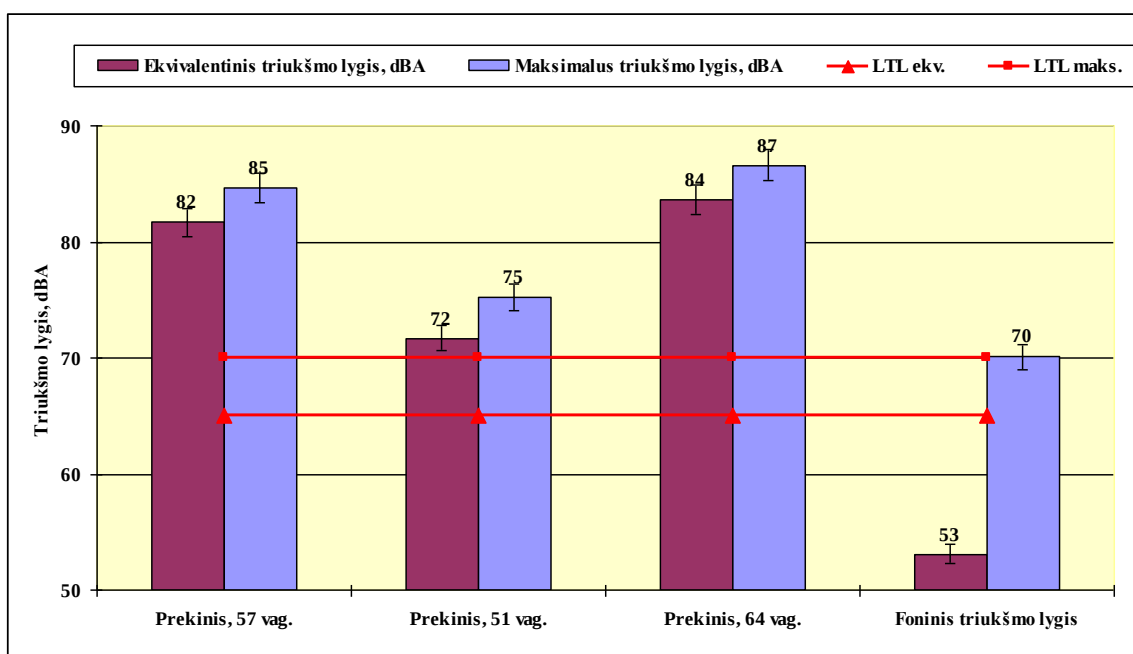
analizuojamoje dažnių srityje, užfiksuotas pravažiuojančio prekinio traukinio: žemų dažnių triukšmo kitimo intervalas 73–85 dB, vidutinių 72–76 dB, aukštų 52–74 dB.

Mažiausią triukšmo lygį esant žemiems dažniams kėlė pravažiuojantis traukinys remonto darbams 48–72 dB, esant vidutiniams ir aukštiems dažniams keleivinis, stovintis stotyje traukinys.

5 triukšmo lygio matavimo vieta – Gedimino g. 1 B

5 matavimo vieta parinkta Gedimino gatvėje prie 2 aukštų gyvenamosios paskirties pastato, namo Nr. 1B. Geografiniu požiūriu geležinkelio linijos yra nutiestos ant kalvos, namas kalvos papėdėje. Atstumas nuo matavimo vietos iki artimiausios geležinkelio linijos – 50 m. Matavimo vietoje atlikti 4 triukšmo lygio matavimai. Atliekant matavimus triukšmo lygį fiksuojantis prietaisas buvo pastatytas 1,5 m aukštyje, 2 m atstumu nuo gyvenamojo namo.

Išmatuotas pravažiuojančių prekinio traukinių keliamas triukšmo lygis, palyginimui išmatuotas ir foninis triukšmo lygis (žr. 3.9 pav.).

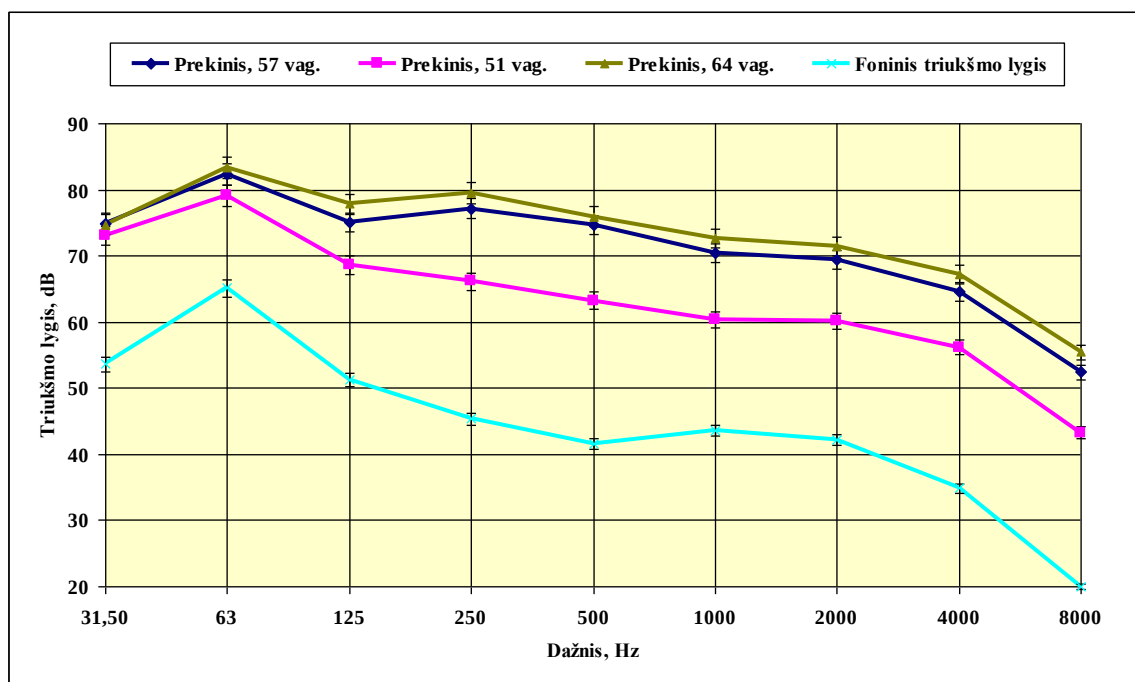


3.9 pav. Ekvivalentinis ir maksimalus triukšmo lygiai 5 matavimo vietoje

Nustatyta, kad visi traukiniai viršija HN 33: 2007 nustatytus leistinus triukšmo lygius. Triukšmingiausias buvo prekinis traukinys, kurio sąstatas mišrus, susidedantis iš 64 cisterninių vagonų ir pusvagonių, dominuoja cisterniniai vagonai. Šio traukinio ekvivalentinis triukšmo lygis – 84 dBA, maksimalus triukšmo lygis – 87 dBA. Traukinio greitis buvo didžiausias iš visų šioje matavimo vietoje užfiksuotų pravažiavusių traukinių ir siekė apie 40 km/h. Traukinio sukeltą triukšmo lygį buvo 31 dBA didesnis negu foninis aplinkos triukšmo lygis, nevažiuojant traukiniais.

Mažiausi triukšmo lygiai užfiksuoti pravažiavus prekiniam traukiniui, kurio sąstatą sudaro 51 vagonas, skirtas biriems ir kitokiems suverstiniais kroviniams transportuoti. Ekvivalentinis triukšmo lygis siekė 72 dBA, maksimalus 75 dBA. Šio traukinio greitis buvo mažiausias – apie 19 km/h.

3.10 pav. pateikiamas matavimo vietoje nustatytas pravažiuojančių traukinių keliamas triukšmo lygis pagal vidutinio geometrinio dažnio charakteristiką, žemo (31,5–400 Hz), vidutiniškai aukšto (400–2000 Hz) ir aukšto (2000–8000 Hz) dažnio srityse.



3.10 pav. Triukšmo lygis pagal vidutinio geometrinio dažnio charakteristiką

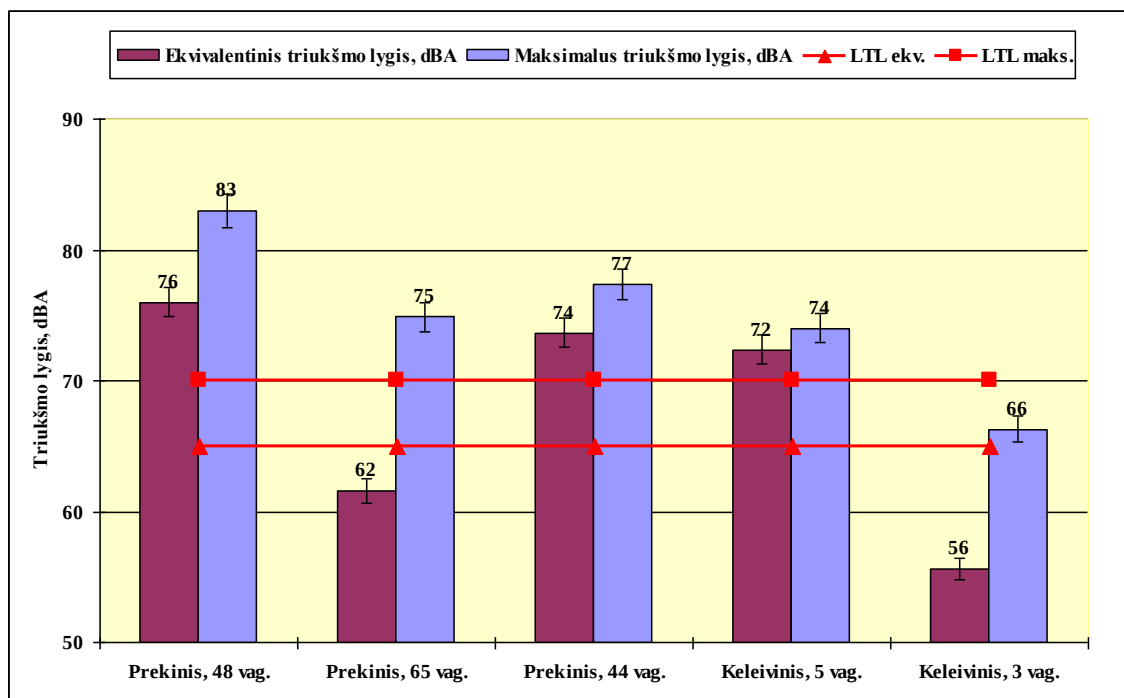
Mažiausią triukšmo lygį kėlė prekinis traukinys, kurio sąstatas iš 51 vagono. Esant žemiems dažniams šio traukinio keliamas triukšmo lygis kito nuo 63 iki 79 dB, esant vidutiniams dažniams nuo 60 iki 63 dB, aukštiems dažniams nuo 43 iki 60 dB.

6 triukšmo lygio matavimo vieta – Jonavos g. 1

6 Matavimo vieta parinkta Jonavos g. 1 gyvenamojoje aplinkoje. Geležinkelio linijos ir pastatas yra tame pačiame lygyje. Atstumas nuo matavimo vietos iki artimiausių geležinkelio bėgių 80 m. Matavimo vietoje atlikti 5 triukšmo lygio matavimai. Matavimai atlikti šviesiuoju paros metu – dieną. Atliekant matavimus triukšmo lygį fiksuojantis prietaisas buvo pastatytas 1,5 m aukštyje, 2 m atstumu nuo pastato. Išmatuotas pravažiuojančių prekinio ir keleivinio traukinių keliamas triukšmo lygis (žr. 3.11 pav.).

Gauti duomenys rodo, kad visi prekiniai traukiniai ir keleivinis, kurio sąstatas iš 5 vagonų, viršija HN 33: 2007 nustatytą leistiną maksimalaus triukšmo lygio vertę. Tik vieno iš

minėtų traukinių (prekinis, 65 cisterininių vagonų sąstatas) keliamas triukšmas neviršijo leistinos ekvivalentinės triukšmo lygio vertės.



3.11 pav. Ekvivalentinis ir maksimalus triukšmo lygiai 6 matavimo vietoje

Didžiausią triukšmo lygį sukėlė prekinis traukinys, kurio sąstatas iš 48 pusvagonių. Šio traukinio sukeltas ekvivalentinis triukšmo lygis 76 dBA, t.y. leistiną viršijo 11 dBA, maksimalus triukšmo lygis 83 dBA, t.y. LTL viršijo 13 dBA.

Mažiausią triukšmo lygį sukėlė keleivinis – elektrinis traukinys (3 vagonų sąstatas). Sukeltas ekvivalentinis triukšmo lygis tesiekė 56 dBA, maksimalus 66 dBA.

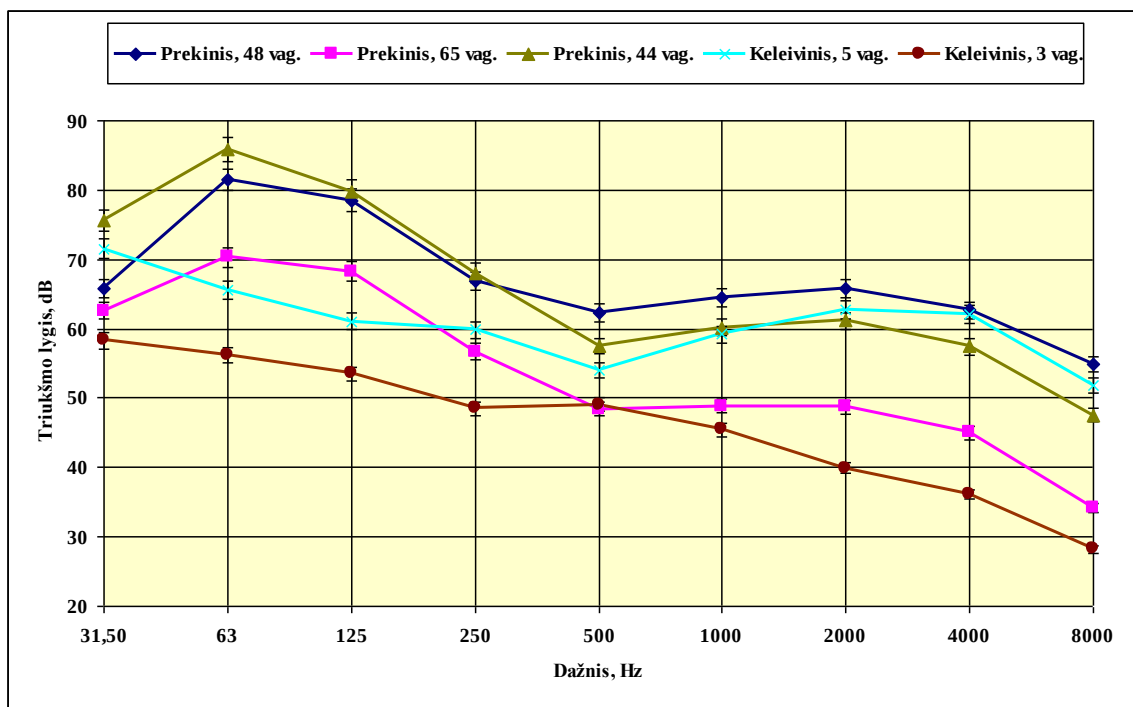
3.12 pav. pateikiamas matavimo vietoje nustatytas pravažiuojančių traukinių keliamas triukšmo lygis pagal vidutinio geometrinio dažnio charakteristiką, t.y. esant žemiems (31,5–400 Hz), vidutiniams (400–2000 Hz) ir aukštiems (2000–8000 Hz) dažniams.

Kaip matyti iš paveikslėlyje pateiktų kreivių, žemo dažnio srityje didžiausi triukšmo lygiai užfiksuoti pravažiuojant 44 pusvagonių traukinio sąstatui, kuris sukėlė net iki 68–86 dB triukšmo lygį. Priežastį būtų galima argumentuoti tuo, kad traukinys galėjo būti pakrautas, be to, ši matavimo vieta labiausiai atitolusi nuo Kaišiadorių geležinkelio stoties, todėl traukinys važiuojo esant pilnam variklio apkrovimui su pagreičiu Kauno miesto kryptimi.

Esant vidutiniams dažniams, prekinis traukinys, 48 pusvagonių sąstatas, sukėlė 63–66 dB triukšmo lygį. Aukštų dažnių diapazone taip pat triukšmingiausias 48 pusvagonių sąstatas, triukšmo lygis – 55–66 dB.

Pravažiuojantis elektra varomas keleivinis traukinys skleidė mažiausią triukšmo lygį visoje analizuojamoje dažnių srityje. Žemo dažnio (31,5–400 Hz) srityje triukšmo lygis kito 48–

58 dB, vidutinio dažnio (400–2000 Hz) nuo 40 iki 49 dB ir aukšto dažnio (2000–8000 Hz) srityje nuo 28 iki 40 dB.



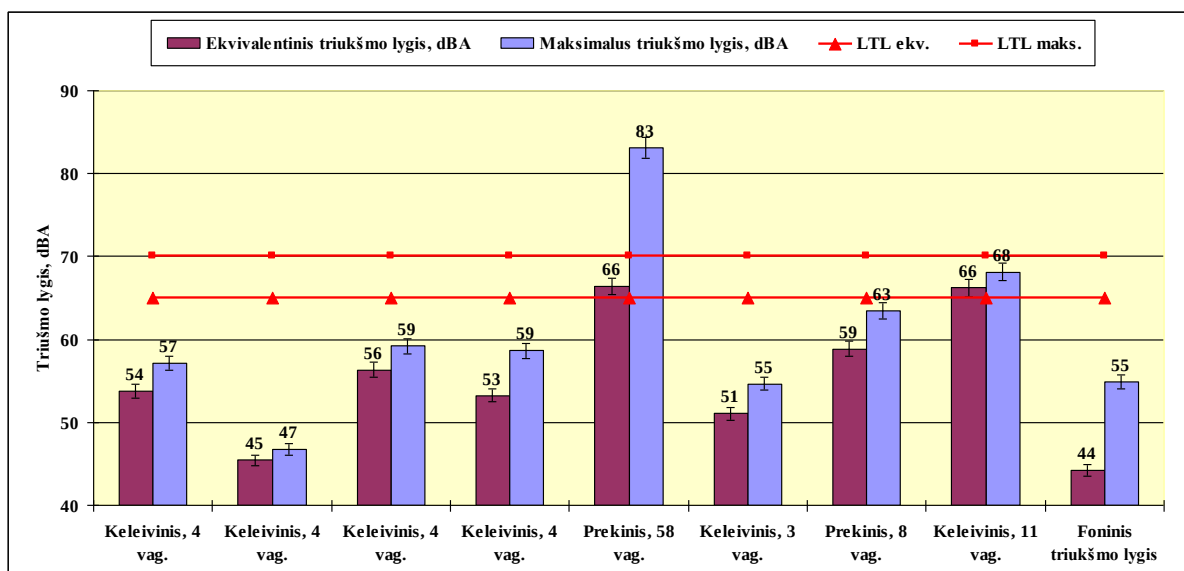
3.12 pav. Triukšmo lygis pagal vidutinio geometrinio dažnio charakteristiką

7 triukšmo lygio matavimo vieta – Elektros g. 26

7 matavimo vieta parinkta Elektros gatvėje prie gyvenamosios paskirties pastato, namo Nr. 26. Ties matavimo vieta tęsiasi keturios geležinkelio bėgių linijos. Matavimo vietoje atlikti 7 triukšmo lygio matavimai. Matavimai atlikti dienos metu. Geležinkelio transporto sukeliama triukšmo lygiai nustatyti 1,5 m aukštyje, 2 m atstumu nuo gyvenamojo namo. Išmatuotas stabdančio, stovinčio vietoje ir pajudančio iš vietos keleivinio traukinio (4 vagonų sąstatas) keliamas triukšmo lygis bei pravažiuojančių keleivinių ir prekinų traukinių keliamas triukšmo lygis. Taip pat išmatuotas foninis triukšmo lygis (žr. 3.13 pav.).

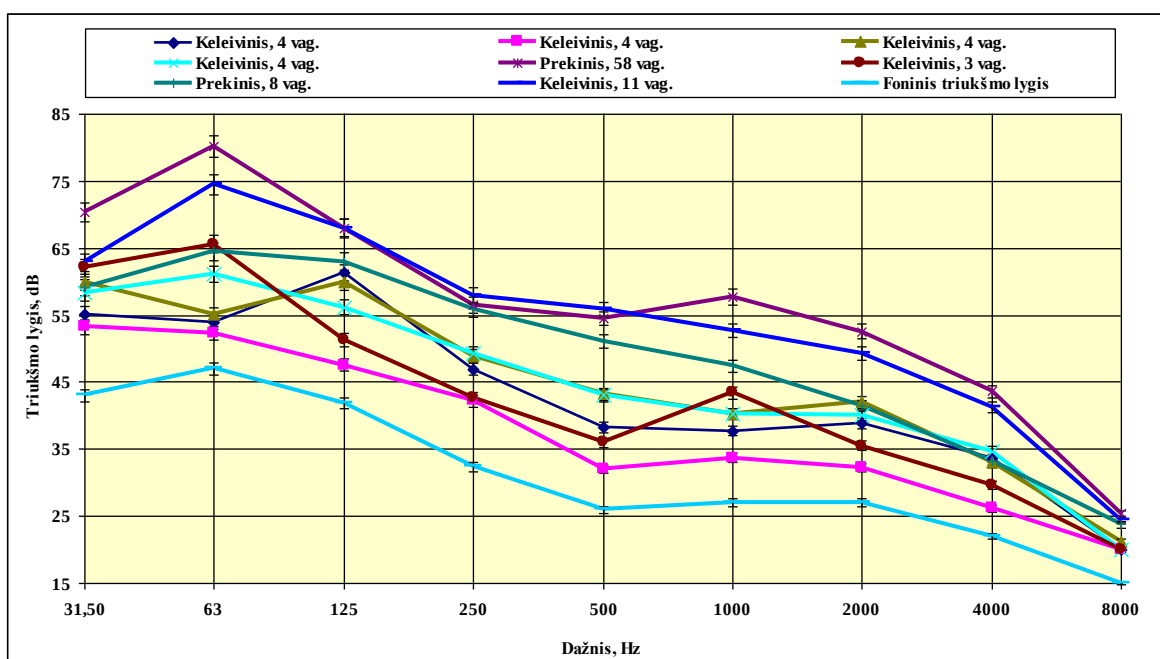
Šioje matavimo vietoje didžiausias triukšmo lygis buvo sukeltas pravažiavus prekiniam traukiniui (58 pusvagonių sąstatas, skirtas bieriems kroviniams transportuoti), ekvivalentinis triukšmo lygis – 66 dBA, maksimalus – 83 dBA.

Vertinant keleivinio 4 vagonų traukinio triukšmo lygį jam stabdant, stovint bei greitėjant iš stoties, matyti, kad mažiausias triukšmo lygis skleidžiamas, kada traukinys stovi (ekvivalentinis triukšmo lygis siekė 45 dBA), išmatuotas ekvivalentinis triukšmo lygis artimas foniniam (44 dBA) vietovės triukšmo lygiui. Lyginant triukšmo lygius stabdymo ir greitėjimo momentais, 2 dBA didesnis triukšmo lygis fiksuotas, kada traukinys greitėja.



3.13 pav. Ekvivalentinis ir maksimalus triukšmo lygiai 7 matavimo vietoje

3.14 pav. pateikiamas matavimo vietoje nustatytas pravažiuojančių traukinių keliamas triukšmo lygis pagal vidutinio geometrinio dažnio charakteristiką, t.y. esant žemiems (31,5–400 Hz), vidutiniams (400–2000 Hz) ir aukštiems (2000–8000 Hz) dažniams.



3.14 pav. Triukšmo lygis pagal vidutinio geometrinio dažnio charakteristiką

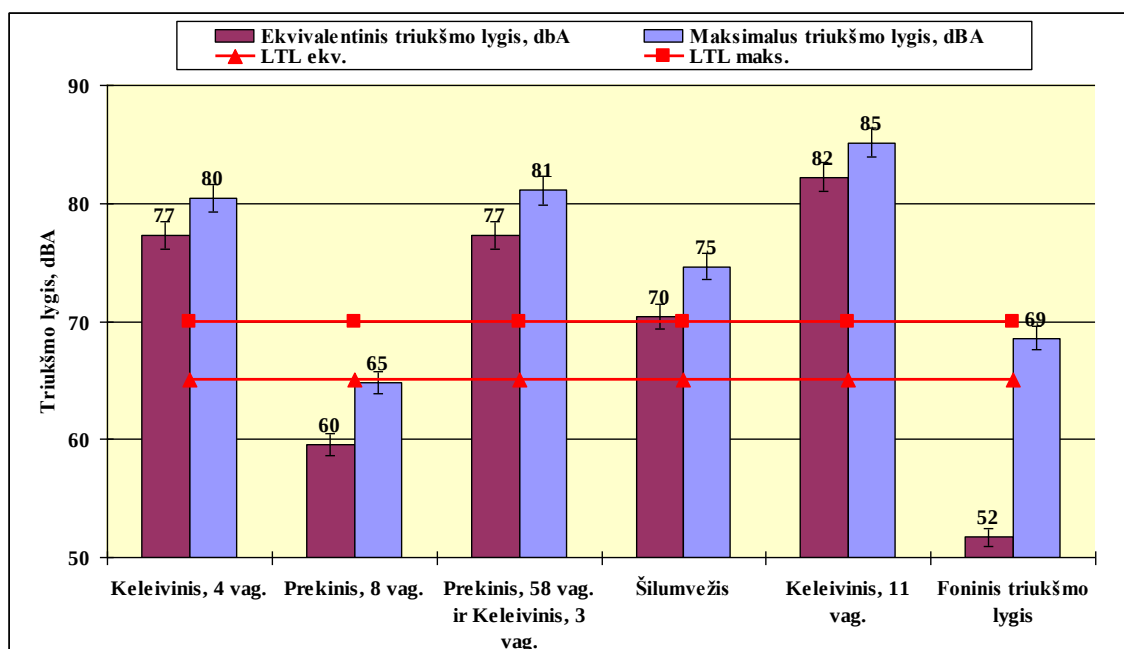
Kaip matyti iš paveikslėlyje pateiktų kreivių, visoje analizuojamų dažnių srityje triukšmingiausias buvo pravažiuojantis prekinis traukinys, 58 pusvagonių sąstatas, triukšmo lygis žemuose dažniuose siekė 55–80 dB, vidutiniuose 55–58 dB, aukštuose dažniuose 25–53 dB.

Lyginant prekių ir keleivinių traukinių keliamą triukšmo lygį žemuose dažniuose, pravažiavusio keleivinio traukinio (11 vagonų sąstatas) sukeltas triukšmo lygis yra artimas prekinio 58 vagonų traukinio triukšmo lygiui ir kinta nuo 56 dB iki 75 dB.

8 triukšmo lygio matavimo vieta – Geležinkeliečių takas g. 1

8 matavimo vieta parinkta Geležinkeliečių tako gatvėje prieš gyvenamosios paskirties pastatą, namo Nr. 1, šalia Kaišiadorių geležinkelio stoties. Ties matavimo vieta tęsiasi keturios geležinkelio bėgių linijos. Atstumas nuo matavimo vietos iki artimiausių geležinkelio bėgių 60 m. Matavimo vietoje atlikti 6 triukšmo lygio matavimai.

Geležinkelio transporto sukeliama triukšmo lygiai nustatyti 1,5 m aukštyje, 2 m atstumu nuo gyvenamojo namo. Išmatuotas pravažiuojančių keleivinių ir prekių traukinių ir šilumvežio keliamas triukšmo lygis. Taip pat išmatuotas foninis triukšmo lygis (žr. 3.15 pav.).



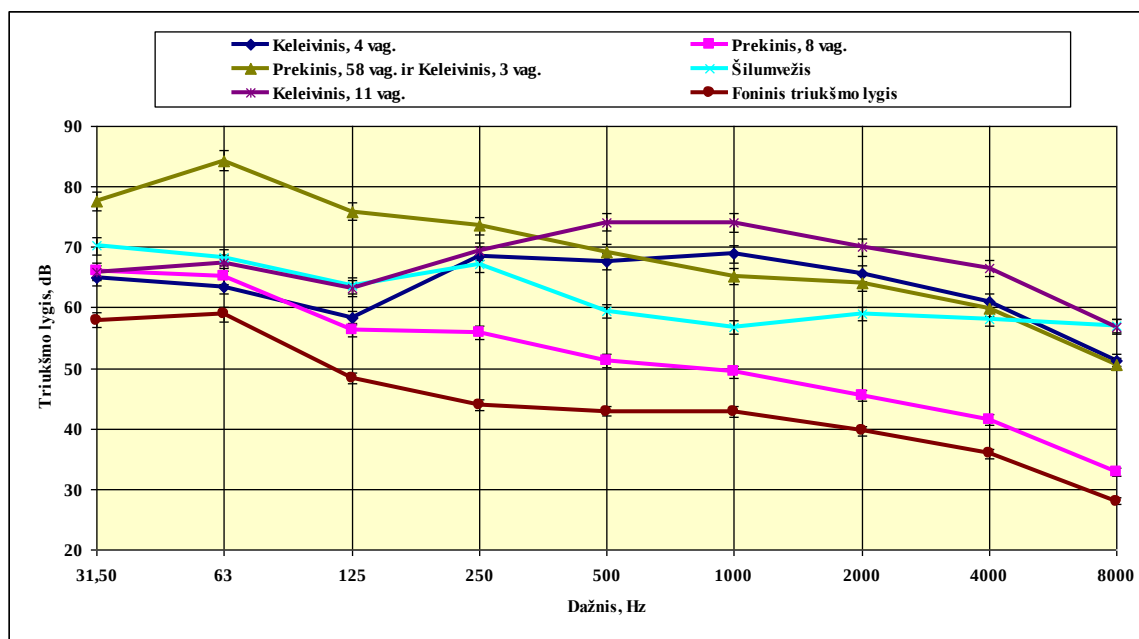
3.15 pav. Ekvivalentinis ir maksimalus triukšmo lygiai 8 matavimo vietoje

Šioje matavimo vietoje triukšmingiausias buvo keleivinis 11 vagonų traukinys. Sukeltas ekvivalentinis triukšmo lygis siekė 82 dB(A), maksimalus 85 dB(A). Didžiausios nustatytos maksimalaus triukšmo lygio vertės šioje matavimo vietoje siekė 80–85 dB(A).

Mažiausią ekvivalentinį triukšmo lygį 60 dB(A) bei maksimalų triukšmo lygį 65 dB(A), sukėlė, krovininis iš 8 platformų susidedantis sąstatas. Traukinys manevravo geležinkelio stoties rajone, judėjimo greitis buvo apie 15 km/h.

3.16 pav. pateikiamas matavimo vietoje nustatytas pravažiuojančių traukinių keliamas triukšmo lygis pagal vidutinio geometrinio dažnio charakteristiką, t.y. esant žemiems (31,5–400 Hz), vidutiniams (400–2000 Hz) ir aukštiems (2000–8000 Hz) dažniams.

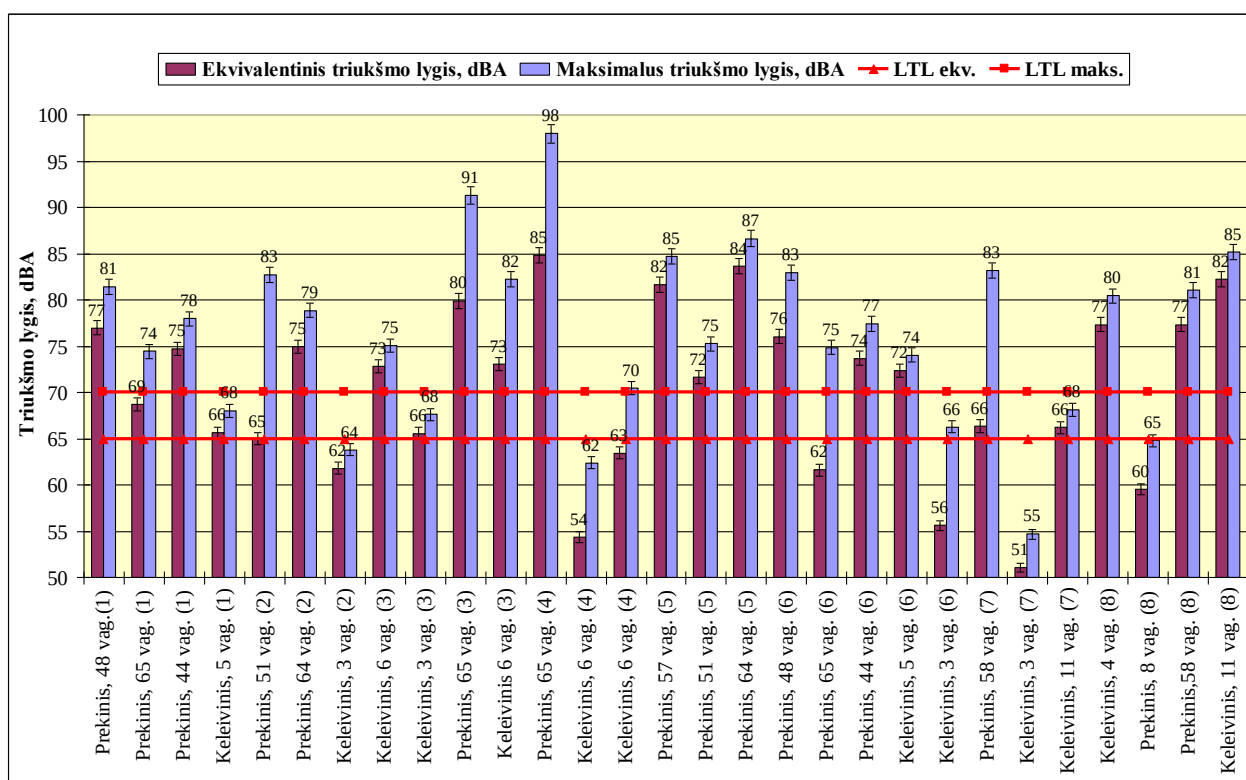
Gauti duomenys rodo, kad esant žemiems dažniams didžiausią triukšmo lygį sukėlė vienu metu pravažiuojantys 58 vagonių prekinis ir 3 vagonų keleivinis traukiniai. Jų sukulto triukšmo lygis kinta intervale nuo 69 iki 84 dB. Itin išsiskiria 8 – oje tyrimo vietoje išmatuotų, iš 11 ir 4 vagonų susidedančių sąstatų dažninės charakteristikos. Priešingai nei kitų tyrinėtų traukinių, aukščiausi triukšmo lygiai stebimi vidutinių dažnių (400–2000 Hz) diapazone, be to, aukštų dažnių diapazone skleidžiamo garso lygis yra artimas žemų dažnių garsams. 11 vagonų sąstato skleidžiamas triukšmo lygis, esant vidutiniams dažniams, kito nuo 70 iki 74 dB. Traukinio judėjimo greitis pastovus – siekė apie 60 km/h. Rezultatą galima pagrįsti tuo, kad keleivinių traukinių sąstatai yra mažesnės masės, jų važiavimo greičiai didesni, todėl aukštą garso lygį vidutinių ir aukštų dažnių diapazonuose sąlygoja ratų ir bėgių dūžiai. Vidutinių dažnių diapazone 4 vagonų elektra varomo sąstato skleidžiamas triukšmo lygis kito nuo 65 iki 69 dB. Skirtingai nei minėtas 11 vagonų traukinys, šis sąstatas tyrimo metu stabdė, todėl galima manyti, kad vidutinių ir aukštų dažnių diapazonuose aukšto lygio triukšmo sklidimui įtakos turi ir stabdymo metu veikiantys mechanizmai.



3.16 pav. Triukšmo lygis pagal vidutinio geometrinio dažnio charakteristiką

Įvertinus gyvenamosios paskirties pastatų aplinkoje atliktus triukšmo lygio matavimus nustatyta, kad nagrinėtame Kaišiadorių miesto geležinkelio transporto sukeliama triukšmo įtakos ruože geležinkelio transporto keliamas triukšmas yra rimta problema. Apie 70 % visų tyrinėtų traukinių sukeltas triukšmo lygis viršijo Lietuvos higienos normoje HN 33: 2007 nustatytas leistinas ekvivalentinio ir maksimalaus triukšmo lygio vertės (3.17 pav.). Pagrindinė to priežastis yra nedideli atstumai tarp gyvenamųjų namų ir geležinkelio linijų bei triukšmo mažinimo priemonių neorganizavimas.

Didžiausi geležinkelio transporto skleidžiami triukšmo lygiai buvo išmatuoti arčiausiai geležinkelio linijų parinktose 3, 4, 5, 8 tyrimų vietose, kur atstumas nuo geležinkelio linijų iki matuojamojo taško siekia 50–70 m. Charakteringa pirmoji tyrimo vieta, parinkta 60 m atstumu nuo triukšmo šaltinio. Išmatuoti triukšmo lygiai, skleidžiami pravažiuojant masyviems, prekiniams traukiniams 3–7 dBA mažesni už pravažiuojančių panašios sudėties traukinių minėtose 50–70 m atstumu nutolusiose tyrimų vietose. Gyvenamojoje teritorijoje parinktą tyrimo vietą nuo geležinkelio linijų skiria mūriniai vieno aukšto garažai, tad ši kliūtis slopina geležinkelio transporto skleidžiamo triukšmo lygį.

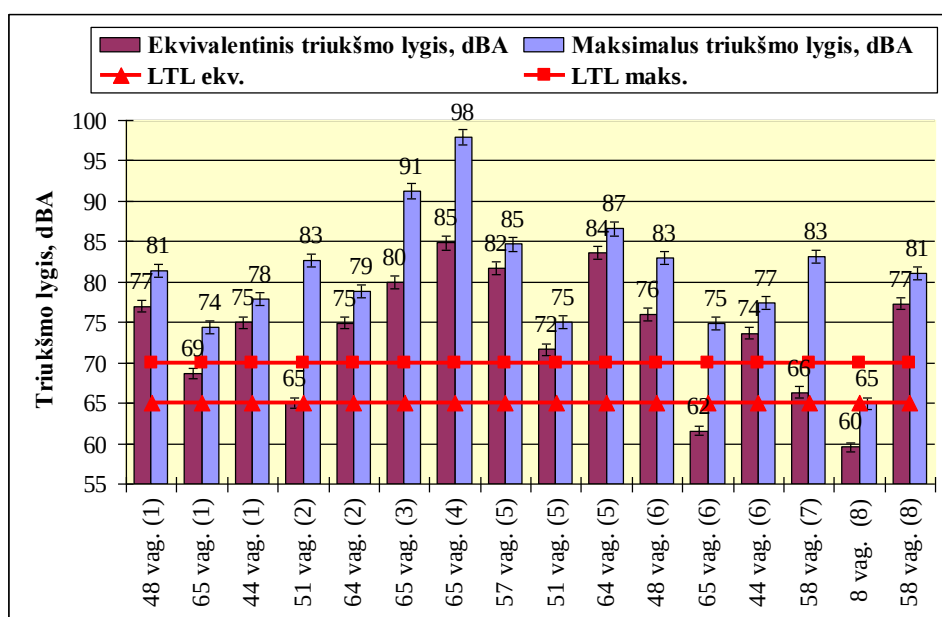


3.17 pav. Geležinkelio transporto keliamo triukšmo lygiai tyrimų vietose Kaišiadoryse

2, 6, 7 tyrimų vietos buvo parinktos atitinkamai – 130, 80 ir 90 metrų atstumu nuo geležinkelio bėgių. Šiose matavimo vietose užfiksuoti mažesni geležinkelio transporto skleidžiami triukšmo lygiai. Išsiskiria 2 – asis matavimo taškas, parinktas reljefo ypatybėmis išsiskiriančioje teritorijoje. Matavimo vieta dauboje, žemiau bėgių lygio, nes geležinkelio linijos nutiestos ant pylimo, kurio aukštis apie 8 m. Matavimo kelyje yra triukšmą sugeriančių ir izoliuojančių objektų, lygiagrečiai geležinkelio linijų auga medžiai. Nors tyrimo vieta labiausiai nutolusi nuo geležinkelio linijų, išmatuotas prekinių traukinių skleidžiamas triukšmo lygis prilygsta, o kai kuriais atvejais yra ir didesnis už triukšmo lygį išmatuotą 40–50 m mažesniu atstumu, esančiose 6 ir 7 tyrimų vietose. Šiuo atveju, traukiniams važiuojant pylimu, nebelieka jokių kliūčių keliamam triukšmui slopinti.

Vertinant skirtingo tipo sąstatų skleidžiamo triukšmo ypatumus, didesnę triukšmo lygį kėlė didelio vagonų skaičiaus, masyvūs prekiniai traukiniai. 3.18 paveiksle pateikti prekių traukinių keliamo triukšmo tyrimų rezultatai visose 8 – iose matavimų vietose.

Iš paveikslėlio matyti, kad gyvenamojoje aplinkoje prekių traukinių keliamas triukšmas, nustatytą ekvivalentinį triukšmo lygį viršija 80 %, o skleidžiamo triukšmo maksimali lygio vertė neviršyta tik 8 – oje matavimo vietoje, kur buvo užfiksuotas iš 8 platformų susidedančio, stotyje manevruojančio sąstato keliamas triukšmo lygis. Sukeltas ekvivalentinis triukšmo lygis tyrimų vietose priklausomai nuo triukšmo šaltinių būdingų parametrų svyruoja įvairiai, nuo 65 dBA, t.y. leistino triukšmo lygio (LTL) iki 85 dBA, t.y. LTL viršija 20 dBA.



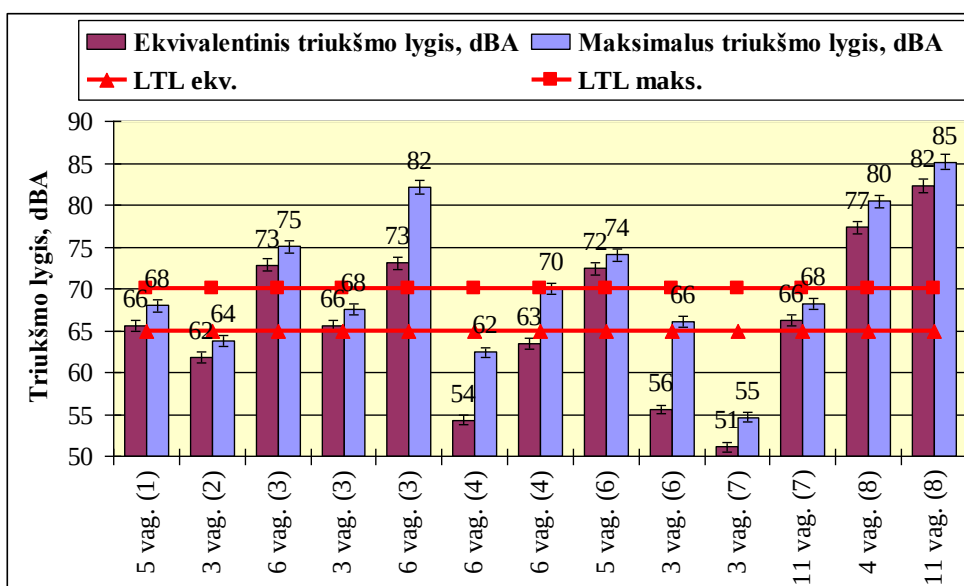
3.18 pav. Prekių traukinių keliamo triukšmo tyrimų rezultatai visose matavimo vietose

Gauti rezultatai patvirtina, kad šio tipo traukinių skleidžiamo triukšmo lygį įtakoja sąstato sudėtis. Didesnį triukšmo lygį skleidė prekiniai traukiniai, skirti biriems ir kitokiems suverstiniais kroviniams transportuoti. Paveiksle matyti, kad 1–oje ir 6–oje matavimų vietose užfiksuoti iš mažesnio vagonų skaičiaus, minėtos sudėties sąstatai, riedantys 30 km/h greičiu, skleidžia 6–14 dBA didesnę ekvivalentinį triukšmo lygį, negu riedmenys, sudaryti iš cisterninių vagonų, skirtų skysčiams ir dujiniais kroviniams vežti, kurių greitis taip pat apie 30 km/h.

5 – toje matavimo vietoje tirti traukiniai įrodo, kad vienas iš pagrindinių parametrų, įtakančių triukšmo lygį yra traukinio greitis. 64 vagonų traukinys, kurio sąstatas susideda iš cisterninių vagonų, judantis apie 40 km/h greičiu, kėlė stipresnį triukšmo lygį nei suverstiniais kroviniams gabenti skirti traukiniai, važiuojantys 30 km/h. Iš visų tirtų atvejų didžiausi maksimalūs triukšmo lygiai nustatyti 3–oje ir 4–oje tyrimų vietose, kuriuos sukėlė apie 50 km/h greičiu riedėję cisterninės sudėties sąstatai. 4–oje matavimo vietoje išmatuota maksimalaus

triukšmo lygio vertė siekė net 98 dBA, t.y. leistiną triukšmo lygį (LTL) viršijo 28 dBA, 3 – oje 91 dBA, 21 dBA viršijo higienos normoje HN 33: 2007 nustatytą LTL.

Keleivinių traukinių keliamo triukšmo tyrimų rezultatai pateikti 3.19 paveiksle. Gyvenamojoje aplinkoje keleivinių traukinių keliamas triukšmas, nustatytą ekvivalentinį triukšmo lygį viršija 2/3 atvejų. Be to, nustatyta, kad kai kurių keleivinių traukinių skleidžiamas triukšmo lygis yra stipresnis už prekinį traukinių skleidžiamą triukšmo lygį. Žymūs ekvivalentinio ir maksimalaus leistino triukšmo lygio viršijimai išmatuoti pravažiuojant keleiviniams traukiniams 3, 6 ir 8-oje tyrimų vietose.



3.19 pav. Keleivinių traukinių keliamo triukšmo tyrimų rezultatai

Ypač išsiskiria 8-oje matavimo vietoje išmatuoti keleivinių traukinių ekvivalentinio triukšmo lygiai. Ši matavimo vieta parinkta prie Kaišiadorių geležinkelio stoties, 60 m atstumu nuo geležinkelio bėgių. Čia pravažiavęs apie 60 km/h greičiu, 11 vagonų sąstatas sukėlė 82 dBA triukšmo lygį, o maksimali triukšmo vertė siekė 85 dBA, tai reiškia LTL viršijo 15 dBA (šio traukinio riedėjimo greitis buvo didžiausias iš visų tyrinėtų traukinių). Taip pat žymus nustatyto maksimalaus triukšmo lygio viršijimas išmatuotas 3-oje matavimo vietoje, matuojant greitėjančio iš Kaišiadorių geležinkelio stoties N. Vilnios stoties kryptimi 6 vag. sąstato skleidžiamą triukšmo lygį, LTL viršytas 12 dBA. Ši matavimo vieta parinkta 70 m atstumu nuo geležinkelio linijos, matavimo kelyje auga pavieniai medžiai. Šiuo atveju aukštą triukšmo lygį įtakoja variklio keliamas triukšmas. Vertinant šio traukinio sukeltą 73 dBA ekvivalentinį triukšmo lygį, verta paminėti tai, kad šis triukšmo lygis prilygsta toje pačioje matavimo vietoje išmatuoto, tokios pat sudėties, apie 50 km/h greičiu judančio traukinio skleidžiamam triukšmo lygiui.

3.2. Triukšmo slopinimo sienelės akustiniai – natūriniai tyrimai

Akustinėms triukšmo slopinimo sienelės viršūnės polinkio savybėms tirti imituota tipinė situacija:

- nustatytas dirbtinio, taškinio triukšmo šaltinio, keliamas triukšmo lygis;
- bei nustatytas triukšmo lygis, triukšmo slopinimo sienoje ekranuojant triukšmo šaltinį.

Triukšmo lygio tyrimai atvirame lauke ir ekranuojant triukšmo šaltinį atlikti išlaikant tas pačias triukšmo lygio matavimo sąlygas, t.y.:

- tyrimo lauko priderinamumas (nekeitanti triukšmo atspindžiui ar sugerčiai įtakos turinčių paviršių padėtis tyrimo lauke, tyrinėjamo objekto atžvilgiu);
- triukšmo šaltinio veikimo sąlygos (pastovi galia, standartizuotas pastovus triukšmo lygis);
- aplinkos sąlygų pokyčių stebėjimas (vėjo kryptis, greitis).

Matavimo pozicijose triukšmo lygis fiksuotas 1/3 oktavos juostose, analizuojama dažnių sritis 100–5000 Hz.

Tyrimų metu galios stiprintuvu „Bruel & Kjaer“, kurio galia 300 W, nustatytas Gain7 triukšmo šaltinio galios indeksas, kad viskarypčio triukšmo šaltinio skleidžiamas triukšmo lygis, nustatytą foninį triukšmo lygį analizuojamoje dažnių srityje, viršija 10 dB ir daugiau.

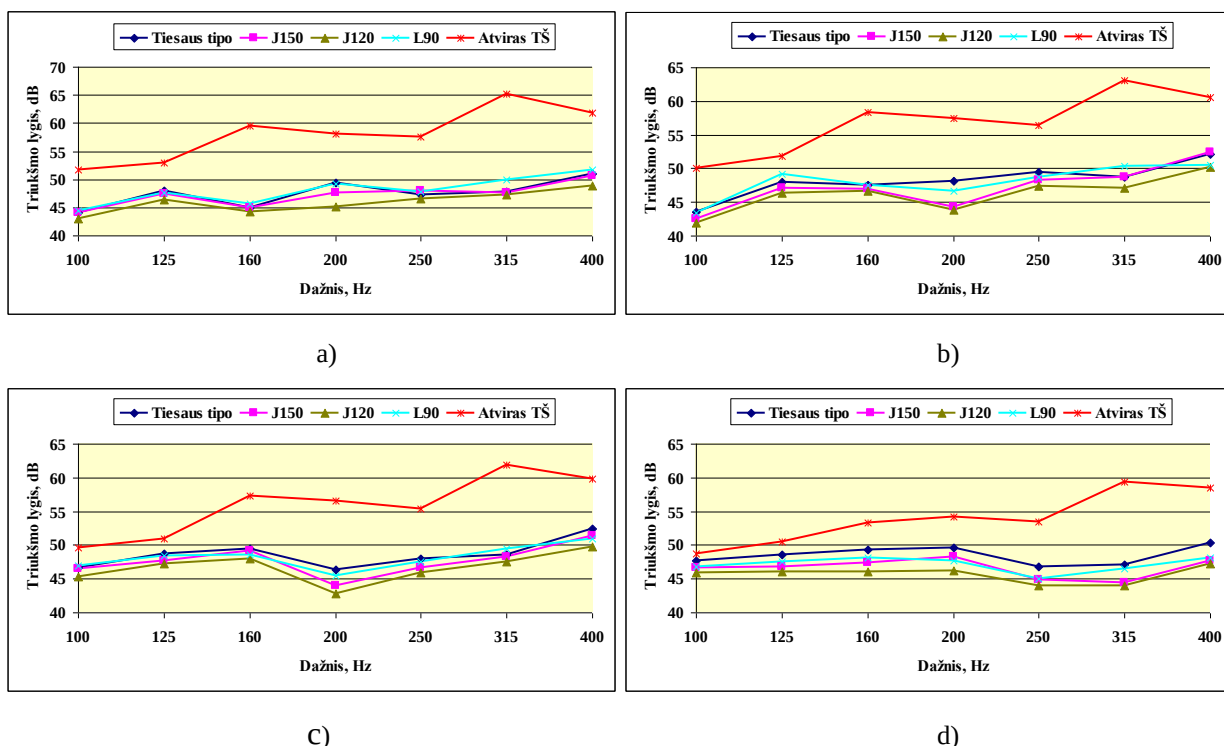
Keičiant ekrano viršūnės polinkio kampą, atitinkamai – 90°, 120°, 150°, 180°, formuota „L90“ (polinkio kampas 90°), „J120“, „J150“ (polinkio kampas 120° ir 150°) ir įprastos, „tiesaus tipo“ formos (polinkio kampas 180°) triukšmo slopinimo sienelė.

Tyrimais nustatyta triukšmo slopinimo sienelės viršūnės polinkio įtaka, garso bangų difrakcijai per ekrano viršutinį pakraštį, stebima žemo (100–315 Hz), vidutiniškai aukšto (500–1600 Hz) ir aukšto dažnio (2000–5000 Hz) srityse.

Žemo dažnio triukšmo lygio tyrimo rezultatai, matavimo pozicijose – 0,32 m, 0,64 m, 1,24 m ir 2,5 m atstumu, pateikiami 3.20 paveiksle. Analizuojamoje dažnių srityje didžiausia įtaka triukšmo slopinimo aplinkoje sklindančių garso bangų difrakcijai gauta, kada formuojamas „J120“ formos ekranas. Priklausomai nuo atstumo iki ekrano, nustatytas 1–4 dB didesnis ekranavimo efektas, lyginant su kitais tyrinėtų formų ekranais. Triukšmo lygio kaitos dėsningumas panašus, kada viršūnės polinkio kampas 150° (t.y. ekrano forma – „J150“), tačiau fiksuojami aukštesni triukšmo lygiai analizuojamuose dažniuose.

Didžiausi triukšmo lygiai žemo dažnio srityje nustatyti formuojant „L90“ ir įprasto „tiesaus tipo“ formų ekranus. Pastarųjų įtaka žemo dažnio garso bangų difrakcijai panaši (gauta triukšmo lygių kaitos variacija). Tyrimo taškuose, 0,32 m, 0,64 m ir 1,25 m atstumu, nustatytų triukšmo lygių dažninė charakteristika, formuojant „L90“ formos ekraną, yra beveik tokia pati,

kaip ir „tiesaus tipo“ formos atveju. Tačiau atstumui padidėjus iki 2,5 m, gautas garso bangų slopimo efektas ryškesnis taikant „L90“ formos sienelę. Esant 200 Hz ir 250 Hz dažniui nustatytas garso lygio sumažėjimas 2 dB didesnis, lyginant su įprasto „tiesaus tipo“ sienele.



3.20 pav. Triukšmo lygio tyrimo rezultatai žemo dažnio srityje (100–315 Hz): a) matavimo pozicija 0,32 m atstumu; b) matavimo pozicija 0,64 m atstumu; c) matavimo pozicija 1,25 m atstumu; d) matavimo pozicija 2,5 m atstumu

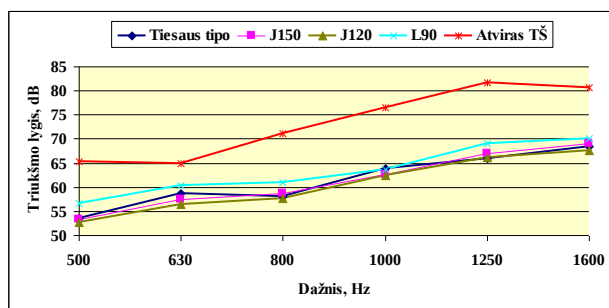
Tyrinėtomis sąlygomis nustatytos, optimalios, „J120“ formos ekrano efektyvumas, slopinti žemo dažnio garso bangas triukšmo slopimo aplinkoje, ryškėja nuo 160 Hz dažnio. Mažiausias triukšmo lygio slopimas visose triukšmo lygio fiksavimo vietose gautas esant 100 ir 125 Hz dažniui.

Veiksmingas žemo dažnio garso slopinimas, visoje analizuojamoje dažnių srityje, t.y. nuo 100 iki 400 Hz, gautas tyrimo taškuose – 0,32, 0,64 ir 1,25 m atstumu.

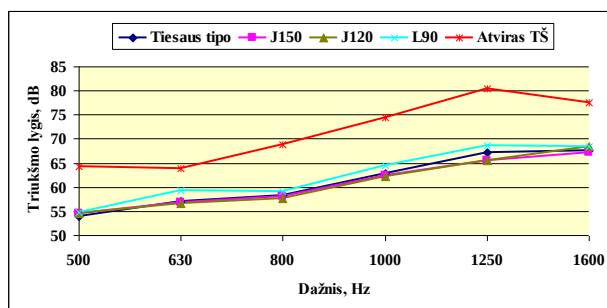
Tolstant nuo ekrano, akustinis ekranavimo efektas mažėja. Akivaizdus ekranavimo efekto sumažėjimas stebimas matavimo pozicijoje 2,5 m atstumu nuo ekrano. Išsiskiria triukšmo lygio tyrimo rezultatai esant 100, 125 ir 160 Hz dažniui. 0,32 m atstumu minėtuose dažniuose gautas 9, 7 ir 16 dB garso slopimas, atstumui padidėjus iki 2,5 m, sumažėja atitinkamai iki 3, 5 ir 7 dB. Akustinio efektyvumo mažėjimą galima paaiškinti tuo, kad tolstant nuo triukšmą slopinančios konstrukcijos išryškėja žemo dažnio garso bangų difrakcijos efektas per ekrano kraštus, taip mažėja triukšmo slopimo „akustinio šešėlio“ zona.

3.21 paveiksle pateikiami vidutiniškai aukšto dažnio (500–1600 Hz) triukšmo lygio tyrimų rezultatai. Nustatyta, kad vidutiniškai aukšto dažnio srityje ekranavimo efektas, priklausomai nuo triukšmo slopinimo sienelės viršūnės polinkio, nežymus. Analizuojamoje dažnių srityje ryškesnis „J120“ ekrano formos pranašumas stebimas tik „L90“ formos ekrano atžvilgiu, pastarojo atveju gauti didžiausi triukšmo lygiai visose matavimo pozicijose. Išsiskiria triukšmo lygio tyrimų rezultatai matavimo pozicijoje 2,5 m atstumu, esant 1250 Hz dažniui, stebimas net 6 dB mažesnis triukšmo lygio slopinimo efektas lyginant su „J120“ formos sienele.

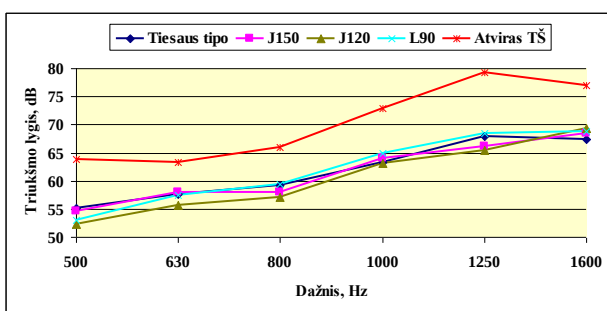
Vidutiniškai aukšto dažnio srityje gautos tyrinėtų „J150“ ir „tiesaus tipo“ ekranų dažninės charakteristikos, 0,32 ir 0,64 m atstumu, beveik tokios pat, kaip ir tyrinėjant „J120“ formos ekraną. Tyrinėtomis sąlygomis, minėtose triukšmo lygio fiksavimo pozicijose, vidutiniškai aukšto dažnio garso bangų difrakcija neįtakojama formuojant skirtingų „J120“, „J150“ ir „tiesaus tipo“, formų triukšmą slopinančius ekranus. Ryškesnė „J120“ ekrano nauda stebima tik tyrimų pozicijose 1,25 ir 2,5 m atstumu, atitinkamai esant 630 ir 1250 Hz dažniui. 1,25 m atstumu esant 630 Hz dažniui nustatytas 2 dB efektas, o 2.5 m atstumu prie 1250 Hz jis siekia 3 dB.



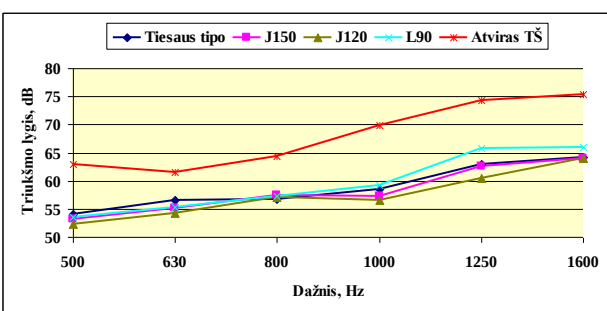
a)



b)



c)



d)

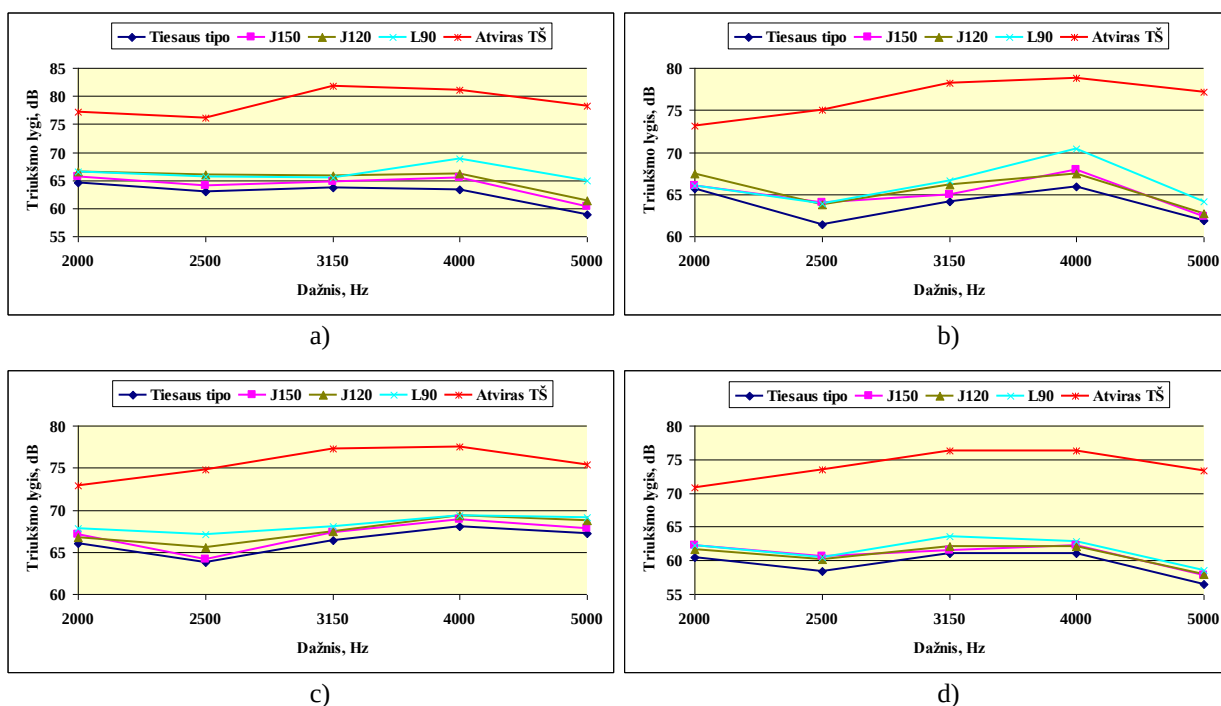
3.21 pav. Triukšmo lygio tyrimo rezultatai vidutiniškai aukšto dažnio srityje (500–1600 Hz): a) matavimo pozicija 0,32 m atstumu; b) matavimo pozicija 0,64 m atstumu; c) matavimo pozicija 1,25 m atstumu; d) matavimo pozicija 2,5 m atstumu

3.22 paveiksle pateikiami aukšto dažnio (2000–5000 Hz) triukšmo lygio tyrimo rezultatai. Kaip matyti, aukšto dažnio garso bangų difrakciją efektyviausiai sumažina „tiesaus

tipo“ triukšmo slopinimo sienelė, t.y. kada ekrano aukštis padidėja per lanksčios viršūnės aukštį. Įtaka garso bangų lūžiui per ekrano viršutinį pakraštį, lyginant su „J120“, „J150“ bei „L90“ formų ekranais, stebima visose triukšmo lygio fiksavimo pozicijose, nustatytas 3 dB didesnis ekranavimo efektyvumas.

Mažiausias aukšto dažnio triukšmo lygio slopinimo efektas, kaip ir žemo bei vidutinio dažnio srityse, pasiektas ekranuojant triukšmo šaltinį „L90“ triukšmo slopinimo sienele. Lyginant su įprastu „tiesaus tipo“ ekranu nustatyti aukšto dažnio triukšmo lygiai 3–6 dB didesni visose triukšmo lygio fiksavimo vietose. Ekranavimo efekto nenauda analizuojamoje dažnių srityje dėsningai mažėja formuojant „J120“ ir „J150“ ekranus.

Kaip matyti iš 3.21 ir 3.22 paveiksluose pateiktų triukšmo lygio tyrimo rezultatų, tyrinėta triukšmą slopinanti sienelė geriausiai sumažina vidutiniškai aukšto ir aukšto dažnio garso bangų difrakciją. Didėjant atstumui nuo sienelės iki matavimo pozicijos padėtis vidutinio ir aukšto dažnio srityje stebimas nežymus triukšmo slopimo efekto mažėjimas.



3.22 pav. Triukšmo lygio tyrimo rezultatai aukšto dažnio srityje (2000–5000 Hz): a) matavimo pozicija 0,32 m atstumu; b) matavimo pozicija 0,64 m atstumu; c) matavimo pozicija 1,25 m atstumu; d) matavimo pozicija 2,5 m atstumu

Gautas „L90“ sienelės silpnesnis ekranavimo efektas analizuojamose 1/3 oktavos dažnių juostose gali būti interpretuojamas Kinijos mokslininkų Xitan *et. al* (2005) atliktų skaičiavimų rezultatais, t.y. suformuoto „L90“ formos ekrano efektyvumas prilygsta tokio pat aukščio įprasto ekrano efektyvui, jei ekranas būtų perkeltas link triukšmo šaltinio per viršūnės polinkio atstumą.

Tokiu atveju matyti, kad ekrano aukščio padidėjimas yra svarbesnis veiksnys nei atstumo tarp triukšmo šaltinio ir triukšmą slopinančios sienelės sumažinimas.

3.3. Išvados

1. Tyrinėtame Kaišiadorių miesto geležinkelio transporto skleidžiamo triukšmo įtakos ruože, riedmenų keliamas triukšmas yra rimta problema. Apie 70 % visų atvejų viršijamos LTL vertės, kai kuriais atvejais net iki 20 dBA ir daugiau.
2. Didžiausi geležinkelio keliamo triukšmo lygiai nustatyti pravažiuojant riedmenimis 3, 4, 5, 8 tyrimų vietose, esančiose sąlyginai nedideliu atstumu nuo geležinkelio linijų (50 – 70 m).
3. Aukštas triukšmo lygis išmatuotas 2 – oje tyrimo vietoje traukiniams pravažiuojant 8 m aukščio pylimu (atstumas iki geležinkelio bėgių 130 m), LTL viršijamas iki 10 dBA.
4. Vertinant skirtingo tipo sąstatų skleidžiamo triukšmo ypatumus, 10–25 dBA stipresnį triukšmo lygį skleidė didelio vagonų skaičiaus, masyvūs prekiniai traukiniai.
5. Labai svarbus parametras įtakojantis traukinių keliamo triukšmo lygį yra traukinio greitis. 60 km/h greičiu, pravažiuojančio 11 vagonų keleivinio traukinio skleidžiamas ekvivalentinis triukšmo lygis siekė 82 dBA, t.y. prilygsta, kai kuriais atvejais ir viršija tyrinėtų masyvių prekinų riedmenų keliamą triukšmo lygį.
6. Išanalizavus geležinkelio transporto keliamą triukšmą pagal vidutinių geometrinių dažnių charakteristiką nustatyta, kad vyraujantis triukšmo spektre yra žemo dažnio (31,5–315 Hz) garsas, o didžiausi triukšmo lygiai siekia 72–85 dB.
7. Atlikus natūrinius triukšmo slopinimo sienelės tyrimus nustatyta, kad žemo dažnio garso bangų difrakciją efektyviausiai sumažina „J120“ formos ekranas. Priklausomai nuo atstumo, nustatytas ekranavimo efektas 1–4 dB didesnis, lyginant su kitų tyrinėtų formų ekranais.
8. Tolstant nuo ekrano stebimas akivaizdus žemo dažnio garso bangų ekranavimo efekto mažėjimas. Atstumui padidėjus nuo 0,32 iki 2,5 m, esant 100 Hz dažniui, taikant nustatytos, optimalios „J120“ formos sienelę, efektas sumažėja nuo 9 iki 3 dB.
9. Vidutiniškai aukšto dažnio srityje garso bangų difrakcija neįtakojama skirtingų „J120“, „J150“ ir „tiesaus tipo“ formų triukšmą slopinančius ekranus.
10. Taikant „tiesaus tipo“ triukšmo slopinimo sienelę aukšto dažnio srityje nustatytas 3 dB didesnis ekranavimo efektas, visose triukšmo lygio fiksavimo pozicijose, lyginant su kitų tyrinėtų formų ekranais.

11. Tyrinėta triukšmo slopinimo sienelė geriausiai sumažina vidutiniškai aukšto ir aukšto dažnio garso bangų difrakciją. Didėjant atstumui nuo sienelės iki matavimo pozicijos stebimas nežymus triukšmo slopinimo efekto mažėjimas.
12. Mažiausias triukšmo lygio slopinimo efektas, analizuojamose 1/3 oktavos dažnių juostose, pasiektas ekranuojant triukšmo šaltinį „L90“ formos triukšmo slopinimo sienele.

4. TRIUKŠMO SKLAIDOS SKAITINIS MODELIAVIMAS

4.1. Geležinkelio transporto keliamo triukšmo sklaidos modeliavimas

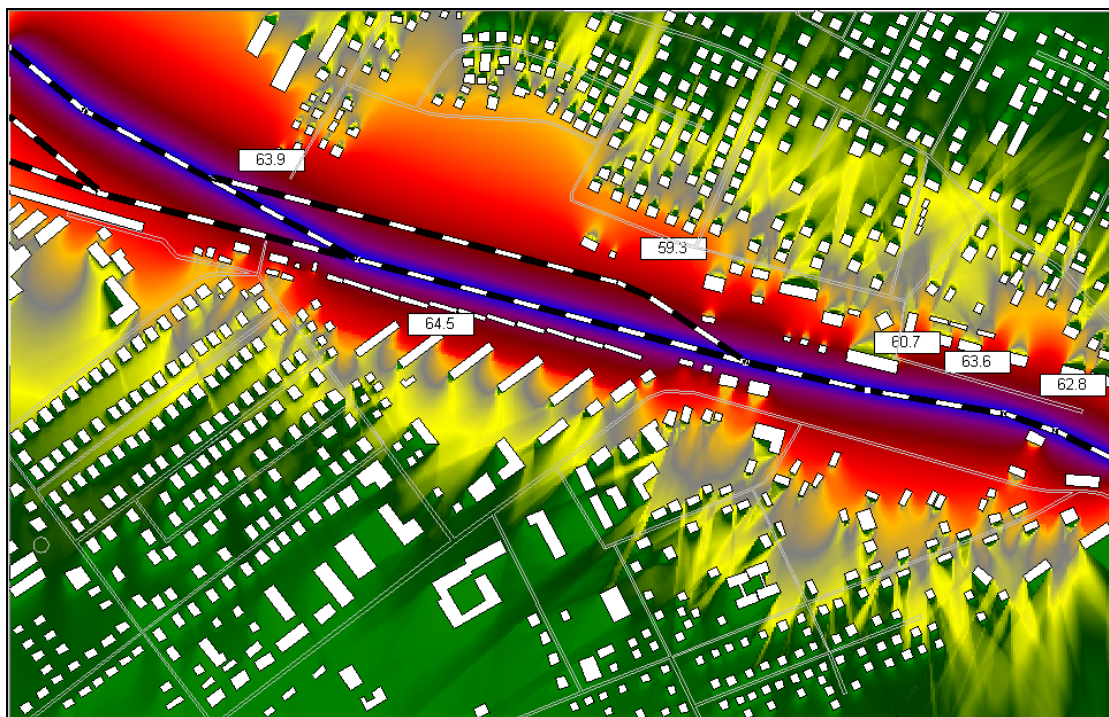
Geležinkelio transporto keliamo triukšmo sklaida modeliuota Kaišiadorių miesto centrinės dalies regione (Kaišiadorių m. geležinkelio stoties mazgas), siekiant teoriškai įvertinti dominuojantį paros triukšmo lygį L_{dvn} gyvenamųjų namų aplinkoje, pravažiuojant geležinkelio riedmenimis.

Programoje sudarytas esamą situaciją atitinkantis modelis, t.y. importuotas natūriniais eksperimentiniais tyrimais analizuotą vietovę atitinkantis planas, kuriame realiais atstumais išdėstyti pagrindiniai modelio kūrimui reikalingi objektai – gyvenamosios ir negyvenamosios paskirties pastatai, gatvės, geležinkelio bėgiai. Aprašius vietovės reljefo bei pravažiuojančių traukinių ypatumus, įvertinus pastatų aukštingumą, gautas triukšmo lygių sklaidos grafinis vaizdas.

Geležinkelio riedmenų keliamo triukšmo sklaidai įvertinti modeliuotos dvi vietovę atitinkančios situacijos:

- modeliuojant triukšmo sklaidą, kada geležinkelio riedmenys juda sąlygiškai lygiu reljefu, triukšmo įtakos zonoje esančių pastatų atžvilgiu.
- modeliuojant triukšmo sklaidą, traukiniams pravažiuojant 8 m aukščio pylimu;

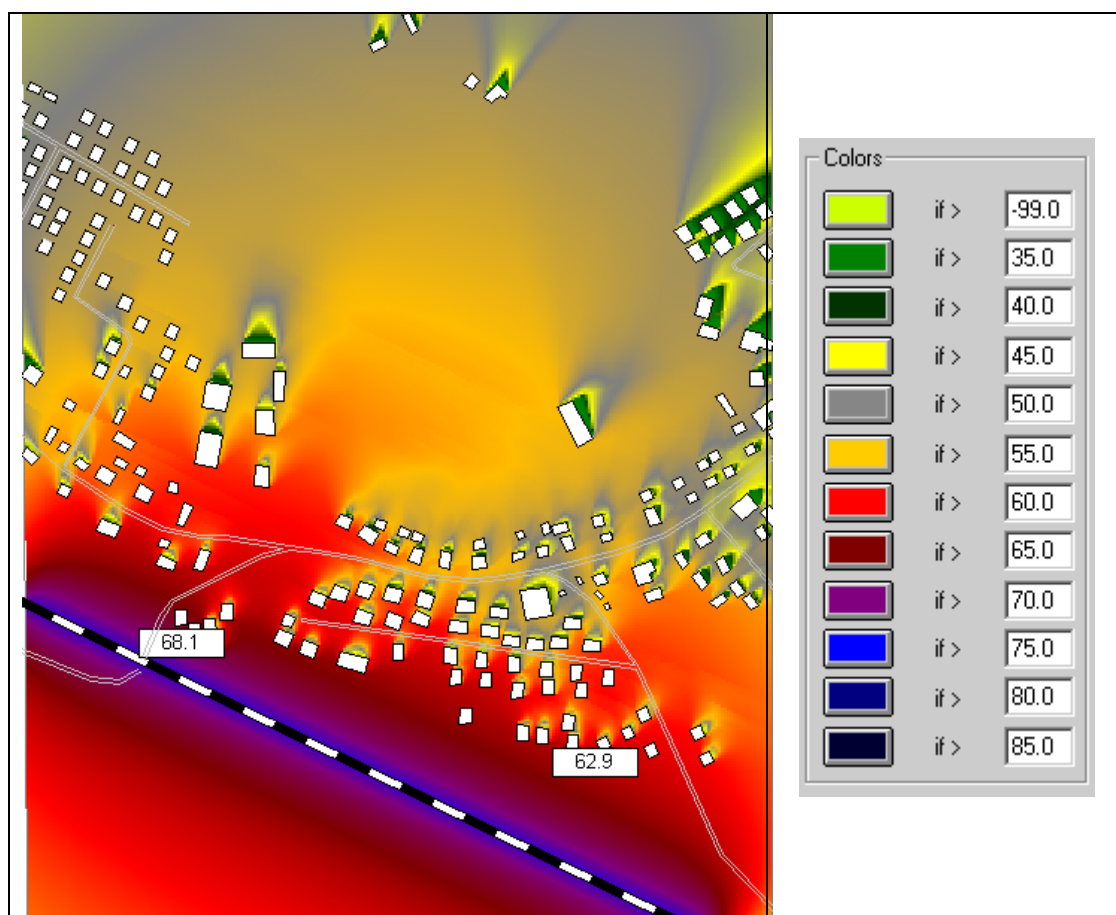
Bendras nagrinėtoje vietovėje geležinkelio transporto keliamo triukšmo lygių sklaidos vaizdas pateikiamas 4.1 ir 4.2 paveiksluose.



4.1 pav. Paros triukšmo lygis L_{dvn} , dBA eksperimentinių – natūrinių tyrimų taškuose, pravažiuojant traukiniams (reljefas sąlygiškai lygus)

Apskaičiavus paros triukšmo lygį L_{dvn} , kada geležinkelio riedmenys juda sąlygiškai lygiu reljefu matyti, kad didžiausią geležinkelio keliamo triukšmo poveikį patiria gyvenamieji rajonai esantys arti geležinkelio linijos, t.y. patenkantys į 200 m atstumo zoną. Analizuojamose tyrimų vietose (atstumas 50–100 m) stebima paros triukšmo lygio kaita nuo 59 iki 64 dBA. Triukšmo lygis tolstant nuo geležinkelio bėgių, dėl tankiai apstatytų teritorijų akivaizdžiai žemesnis, t.y. namai esantys arti geležinkelio bėgių efektyviai ekranuoja sklindantį triukšmą. Triukšmo lygio sumažėjimo efektas priklauso nuo namo geometrijos, 2–3 m aukščio pastatų, kaip triukšmo slopintuvų įtaka nežymi.

Aukščiausi paros triukšmo lygiai L_{dvn} gyvenamojoje aplinkoje gauti, kada traukiniai važiuoja 8 m aukščio pylimu. 100 m ir didesniu atstumu nuo geležinkelio linijos paros triukšmo lygis siekia 65 dBA ir daugiau. Tyrimo vietoje 50 m atstumu nuo geležinkelio linijos triukšmo lygis – 68 dBA, o 130 metrų atstumu – 63 dBA, t.y. triukšmo lygis atitinka, kai kuriais atvejais yra ir didesnis už triukšmo lygį apskaičiuotą 40–50 m mažesniu atstumu esančiuose ankščiau aptartuose tyrimų taškuose (žr. 4.1 ir 4.2 pav.).



4.2 pav. Paros triukšmo lygis L_{dvn} , dBA eksperimentinių – natūrinių tyrimų taškuose, pravažiuojant traukiniais 8 m aukščio pylimu

Šiuo atveju taip pat stebimas triukšmo lygio slopinimas tolstant nuo geležinkelio bėgių, tačiau slopinimas nėra toks ryškus, kaip sąlygiškai lygaus reljefo atveju. Traukiniams važiuojant pylimu, kada namai žemiau bėgių lygio, nebelieka jokių kliūčių keliamam triukšmui slopinti.

4.2. Triukšmo slopinimo sienelės efektyvumo modeliavimas

Įvertinant triukšmo slopinimo ekrano projektines galimybes (teritorijos apstatymas, triukšmo bangų sklaidą įtakojantys objektai, teritorijos reljefo ypatybės ir pan.) triukšmo lygių kaitos skaičiavimai atlikti eksperimentiniais – natūriniais tyrimais analizuotoje Kaišiadorių miesto geležinkelio stoties rytinėje dalyje esančioje teritorijoje. Parinkta teritorija yra sąlygiškai lygaus reljefo zonoje, triukšmo sklaidimą ribojančių objektų nėra.

Apskaičiuotas geležinkelio transporto keliamas triukšmo lygis gyvenamojoje aplinkoje, eksperimentiniais tyrimais tirtose 3-oje (Geležinkeliečiu tako g. 9), 4-oje (Geležinkeliečiu tako g. 3) ir 8-oje (Geležinkeliečiu tako g. 1) triukšmo lygio matavimo vietose. Atstumas nuo 3 tyrimo vietos iki geležinkelio linijos – 70 m, nuo 4 ir 8 – 60 m.

Triukšmo sklaidos rezultatas gautas išskiriant skaitines triukšmo lygio vertes taškuose, išsidėsčiusiuose vertikalioje plokštumoje, 1 m žingsniu horizontalia ir vertikalia kryptimi. Triukšmo lygiai stebimi prie gyvenamųjų namų 2 m atstumu, 7 m aukštyje bei triukšmo slopinimo zonoje už ekrano. 4.1 lentelėje pateikiami triukšmo lygių kaitos rezultatai 2 m atstumu nuo gyvenamųjų namų taikant sukurtus triukšmo slopinimo ekranų modelius.

4.1 lentelė. Triukšmo lygių kaitos rezultatai 2 m atstumu nuo gyvenamųjų namų taikant sukurtus triukšmo slopinimo ekranų modelius

Tiriamasis taškas	Viršūnės pasvirimo kampas	Triukšmo lygiai, dBA, analizuojamuose aukščiuose, m, (ekranuojant triukšmo šaltinį)							Triukšmo lygiai, dBA, analizuojamuose aukščiuose, m (be triukšmo slopinimo)						
		1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
3 ($h_n = 6$ m)	90°	58	59	59	59	60	60	60	63	64	64	64	64	64	64
	120°	58	59	59	59	59	59	60							
	150°	58	59	59	59	59	59	59							
	180°	58	59	60	60	60	60	60							
	180°	58	59	60	60	60	60	60							
4 ($h_n = 5$ m)	90°	59	60	60	60	60	60	60	64	64	64	64	64	64	64
	120°	59	60	60	60	60	60	60							
	150°	58	60	60	60	60	60	60							
	180°	58	60	60	60	60	60	60							
	180°	58	60	60	60	60	60	60							
8 ($h_n = 5$ m)	90°	59	60	60	60	60	60	60	63	64	65	65	65	65	65
	120°	59	60	60	60	60	60	60							
	150°	58	60	60	60	60	60	60							
	180°	58	60	60	60	60	60	60							
	180°	58	60	60	60	60	60	60							

čia h_n – gyvenamojo namo aukštis

Geležinkelio transporto, kaip linijinio triukšmo šaltinio, keliamas triukšmo lygis nustatytas 7,5 m atstumu nuo važiuojamosios dalies (geležinkelio linijos) geometrinio centro taško, skaičiavimo rezultatai pateikti 4.2 lentelėje.

4.2 lentelė. Geležinkelio transporto keliamas triukšmo lygis 7,5 m atstumu nuo geležinkelio linijos geometrinio centro taško

Analizuojamas aukštis, m	1	2	3	4	5	6	7
Triukšmo lygis, dBA	71	71	71	71	71	71	70

Kaip matyti iš 4.1 ir 4.2 lentelėje pateiktų programa „Cadena“ apskaičiuotų triukšmo lygio rezultatų garso bangos tolstant nuo triukšmo šaltinio žymiai slopsta. Lyginant skaitines triukšmo lygio vertes nustatytas 7,5 m atstumu nuo triukšmo šaltinio ir gautas be triukšmo slopinimo 2 m atstumu nuo gyvenamųjų namų, priklausomai nuo analizuojamojo aukščio, stebimas 5–8 dBA triukšmo lygio sumažėjimas.

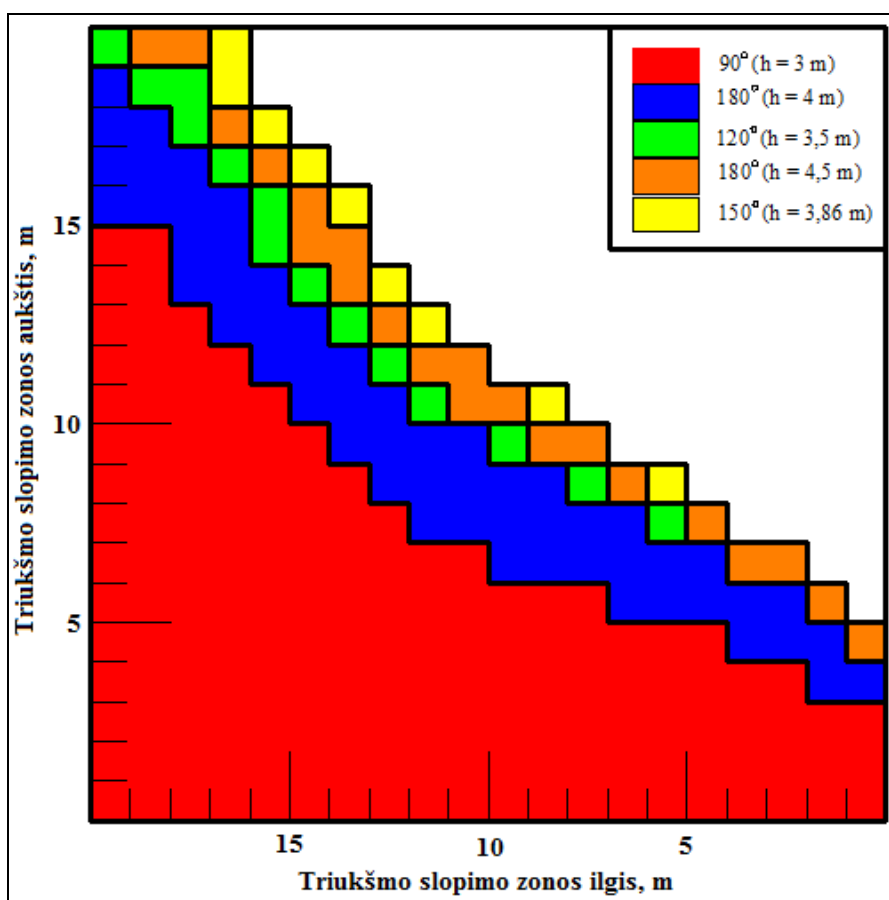
Ekranuojant geležinkelio transportą sukurtais triukšmo slopinimo ekrano modeliais priklausomai nuo analizuojamojo aukščio tiriamuosiuose taškuose pasiektas 11–13 dBA triukšmo slopinimas, t.y. triukšmo slopinimo efektyvumas 60–70 m atstumu nuo linijinio triukšmo šaltinio sąlygojamas triukšmo slopinimo sienelės yra 5–6 dBA.

Triukšmo slopinimo sienelės efektas keičiant jos elemento pasvirimo kampą nežymus. 1 dBA didesnis triukšmo lygio sumažėjimas nustatytas 4-ame ir 8-ame tyrimo taškuose prie gyvenamųjų namų 2 m ilgio, 1 m aukščio zonoje. Minėtas 1 dBA efektas gautas taikant įprastas „tiesaus tipo“ (viršūnės polinkio kampas – 180°) 4 ir 4,5 m aukščio triukšmo slopinimo sienelės bei 3,86 m aukščio triukšmo slopinimo sienelę, kada viršūnės pasvirimo kampas – 150°. 3-ame tiriamajame taške, 70 m atstumu nuo geležinkelio linijos, visuose analizuojamuose 2 m ilgio 7 m aukščio zonos taškuose 1 dBA didesnis triukšmo lygio sumažėjimas gautas taikant 3,86 m aukščio triukšmo slopinimo sienelę (viršūnės polinkio kampas – 150°). Lyginant su „tiesaus tipo“ ekranais pastarosios pranašumas stebimas aukščiauose nuo 3 iki 7 m. Taip pat 1 dBA mažesnės triukšmo lygio skaitinės vertės gautos modeliuojant triukšmo sklaidą, kada geležinkelio transportas ekranuotas 3 (viršūnės polinkio kampas – 90°) ir 3,5 m (viršūnės polinkio kampas – 120°) aukščio triukšmo slopinimo ekranais atitinkamai 3–4 ir 3–5 m aukščiuose, lyginant su rezultatais gautais taikant įprastas tiesaus tipo 4 ir 4,5 m aukščio triukšmo slopinimo sienelės.

Įvertinus gautus rezultatus nustatyta, kad triukšmo slopinimo sienelės forma, keičiant viršūnės polinkio kampą, nėra žymus veiksnys įtakojantis triukšmo slopinimo sienelės ekranavimo efektyvumą, kada ekranas pastatytas mažiausiu standartizuotu 3 m atstumu nuo

triukšmo šaltinio, o apsaugomi objektai, šiuo atveju gyvenamieji namai ir juos supanti aplinka, yra 60–70 m atstumu nuo triukšmo šaltinio – geležinkelio transporto.

Charakteringas triukšmo lygių kaitos dėsningumas, keičiant viršūnės polinkio kampą gautas vertikalioje 20x20 m triukšmo slopimo zonoje už ekrano. Bendras triukšmo lygių kaitos vaizdas analizuojamoje zonoje pateikiamas 4.3 paveiksle (**Tyrimo rezultatai, išvesti programos „CadnaA“ darbalaukyje 1 m žingsniu horizontalia ir vertikalia kryptimi, pateikiami prieduose „Triukšmo lygių kaitos skaičiavimai programa „CadnaA“, taikant skirtingų geometrinių parametrų triukšmo slopinimo ekranų modelius“**).



4.3 pav. Spalvine skale išskirti plotai ribojantys 50–61 dBA triukšmo lygius apskaičiuotus formuojant skirtingų geometrinių parametrų triukšmo slopinimo sienelės: h – bendras ekrano aukštis

4.3 paveiksle spalvine skale išskirti plotai ribojantys 50–61 dBA triukšmo lygius apskaičiuotus formuojant skirtingų geometrinių parametrų triukšmo slopinimo sienelės, t.y. keičiant triukšmo slopinimo ekrano 1 m aukščio lanksčios viršūnės polinkio kampą ekrano atžvilgiu, taip pat sumodeliuota triukšmo lygių kaita taikant 4,5 m aukščio triukšmo slopinimo sienelę.

Mažiausi 50–60 dBA triukšmo lygiai taikant analizuojamus triukšmo slopinimo sienelės modelius gauti 9 metrų ilgio (l), 5 m aukščio (h_p) nuslopinto triukšmo zonose. Zonų geometriniai parametrai, kuriose nustatyti mažiausi triukšmo lygiai detaliau charakterizuojami 4.3 lentelėje.

„Akustinio šešėlio“ zonos dydis tiesiogiai priklauso nuo triukšmo slopinimo sienelės aukščio. Didžiausia nuslopinto triukšmo zona 9 m atstumu nuo ekrano gauta taikant 4,5 m aukščio triukšmą slopinantį ekraną, mažiausia 7 m ilgio zona gauta apskaičiavus triukšmo lygius, kada formuotas 90° pasvirusios viršūnės modelis ($h = 3$ m).

4.3 lent. Plotų geometriniai parametrai, kuriuose gauti mažiausi (50–60 dBA) triukšmo lygiai

Ekranų geometriniai parametrai		Analizuojamo ploto geometriniai parametrai		
Aukštis h , m	Viršūnės polinkio kampas	Ilgis l , m	Aukštis h_p , m	Plotas, m^2
3	90°	7	3	21
3,5	120°	9	3,5	31,5
3,86	150°	9	4	36
4	180°	8	4	32
4,5	180°	9	5	45

Iš 4.3 paveikslo matyti, kad ekranuojant geležinkelio transportą 3 m aukščio (viršūnės polinkio kampas – 90°) triukšmo slopinimo sienele, mažiausias akustinis efektas gautas ir visoje analizuojamoje 20x20 m triukšmo slopinimo zonoje, ribojamas mažiausias 50–61 dBA triukšmo slopinimo zonos plotas.

Nustatyta, kad 3,5 m aukščio ekrano viršūnės 120° polinkio efektyvumas slopinti aplinkoje sklindančias garso bangas išryškėja 5–20 m atstumu nuo ekrano, 7–20 m aukščio plote, lyginant su įprastu „tiesaus tipo“ 4 m aukščio ekranu. Minėto 3,5 m aukščio ekrano triukšmo slopinimo nenauda stebima lyginant triukšmo lygių kaitos skaičiavimo rezultatus su gautais, kada modeliuoti 3,86 m (viršūnės polinkio kampas – 150°) ir 4,5 m aukščio triukšmą slopinantys ekranai.

Iš visų formuotų ekranų tipų efektyviausiai, visame 20x20 m plote, triukšmo lygis slopinamas taikant 3,86 m aukščio triukšmo slopinimo sienele, kada viršūnė pasvirusi 150° kampu. Verta paminėti tai, kad taikant 0,64 m aukštesnį triukšmą slopinantį ekraną, t.y. 4,5 m aukščio „tiesaus tipo“ ekrano modelį, gautas mažesnis 50–61 dBA triukšmo lygius ribojantis zonos plotas.

4.3. Išvados

1. Programa „CadnaA“ apskaičiavus bei pateikus paros triukšmo lygio L_{dyn} kaitos grafinį vaizdą tiriamoje Kaišiadorių miesto vietovėje nustatyta, kad didžiausią poveikį patiria gyvenamieji rajonai esantys arti geležinkelio linijos, t.y. patenkantys į 200 m atstumo zoną.
2. Analizuojamose tyrimų vietose (atstumas 50–100 m), kada vietovės reljefas sąlygiškai lygus, stebima paros triukšmo lygio kaita nuo 59 iki 64 dB.

3. Aukščiausi paros triukšmo lygiai L_{dvn} gyvenamojoje aplinkoje 100 m ir didesniu atstumu nuo geležinkelio linijos gauti, kada traukiniai važiuoja 8 m aukščio pylimu, triukšmo lygis siekia 65 dB ir daugiau.
4. Triukšmo lygis tostant nuo geležinkelio bėgių, dėl tankiai apstatytų teritorijų akivaizdžiai žemesnis, lygio sumažėjimo efektas priklauso nuo namo geometrijos, 2 – 3 m aukščio pastatų, kaip triukšmo slopintuvų įtaka nežymi.
5. Triukšmo slopinimo sienelės forma nėra žymus veiksnys įtakojantis triukšmo slopinimo sienelės ekranavimo efektyvumą, kada ekranas įrengtas mažiausiu standartizuotu 3 m atstumu nuo triukšmo šaltinio, o apsaugomi objektai, šiuo atveju gyvenamieji namai ir jų aplinka, yra 60–70 m atstumu nuo triukšmo šaltinio – geležinkelio transporto. 2 m atstumu nuo gyvenamojo namo pasiekiamas tik 1 dBA efektas.
6. Slopinant geležinkelio transporto keliamą triukšmą 3 m aukščio (viršūnės polinkio kampas – 90°) triukšmo slopinimo sienele, gautas mažiausias akustinis efektas, t.y. ribojamas mažiausias 50–61 dBA triukšmo slopimo zonos plotas.
7. Efektyviausiai, visame 20x20 m plote, triukšmo lygis slopinamas taikant 3,86 m aukščio triukšmo slopinimo sienelę, kada viršūnė pasvirusi 150° kampu, net taikant 0,64 m aukštesnį triukšmą slopinantį ekraną, t.y. 4,5 m aukščio „tiesaus tipo“ ekrano modelį, gautas mažesnis 50–61 dBA triukšmo lygius ribojantis zonos plotas.

Bendrosios išvados

1. Aplinkos triukšmas yra nuolatinis ir neišvengiamas, miestuose tai yra didelė ir kasmet auganti problema. PSO triukšmą išskiria, kaip trečią sveikatos sutrikimus įtakojantį veiksnį po oro ir vandens taršos. Europos Sąjungos (ES) Žaliojo dokumento ateities triukšmo politika teigia, kad apie 20 % ES gyventojų kenčia nuo triukšmo lygio, kurį sveikatos ekspertai vadina nepriimtiniu.
2. Daugelyje Europos šalių žmonių procentinė dalis, veikiamą geležinkelio transporto keliamo triukšmo – santykinai maža (3–5 %), lyginant su kelių eismo (60–80 %), tačiau nakties metu, aukšto triukšmo lygio poveikį, sąlygojamą geležinkelio transporto, patiria apie 22 % žmonių, ypač zonose, kur tarp važiuojamųjų geležinkelio linijų ir pastatų, reikalaujančių apsaugos nuo triukšmo yra palyginti maži atstumai.
3. Viena iš efektyvesnių triukšmo slopinimo priemonių teritorijų dalims nuo transporto keliamo triukšmo apsaugoti yra triukšmą slopinančios sienelės, kurios statomos tarp triukšmo šaltinio ir apsaugomo objekto (pasiekiamas 9–20 dBA triukšmo lygio slopinimas).
4. Dabar paprastai pripažįstama, kad taikant ekranus su atitinkamais įtaisais ant jų viršutinės briaunos (formuojant T, Y, L, J formų sieneles), pasiekiamas didesnis triukšmo slopinimo efektas nei taikant įprastus tokio pat aukščio, kai kuriais atvejais ir aukštesnius tiesaus tipo ekranus.
5. Tyrinėjame Kaišiadorių miesto geležinkelio transporto skleidžiamo triukšmo įtakos ruože, riedmenų keliamas triukšmas yra rimta problema. Apie 70 % visų tirtų atvejų viršijamos LTL vertės, kai kuriais atvejais net iki 20 dBA ir daugiau.
6. Išanalizavus geležinkelio transporto keliamą triukšmą pagal vidutinių geometrinių dažnių charakteristiką nustatyta, kad vyraujantis triukšmo spektre yra žemo dažnio (31,5–315 Hz) garsas, o didžiausi triukšmo lygiai siekia 72–85 dB.
7. Atlikus natūrinius triukšmo slopinimo sienelės tyrimus nustatyta, kad žemo dažnio garso bangų difrakciją efektyviausiai sumažina „J120“ formos ekranas. Priklausomai nuo atstumo, nustatytas ekranavimo efektas 1–4 dB didesnis, lyginant su kitų tyrinėtų formų ekranais.
8. Tolstant nuo ekrano stebimas akivaizdus žemo dažnio garso bangų ekranavimo efekto mažėjimas. Atstumui padidėjus nuo 0,32 iki 2,5 m, esant 100 Hz dažniui, taikant nustatytos, optimalios „J120“ formos sienelę, efektas sumažėja nuo 9 iki 3 dB.
9. Taikant „tiesaus tipo“ triukšmo slopinimo sienelę aukšto dažnio srityje nustatytas 3 dB didesnis ekranavimo efektas, visose triukšmo lygio fiksavimo pozicijose, lyginant su kitų tyrinėtų formų ekranais.

10. Programa „CadnaA“ apskaičiavus bei pateikus paros triukšmo lygio L_{dvn} kaitos grafinį vaizdą tiriamoje Kaišiadorių miesto vietovėje nustatyta, kad didžiausią poveikį sąlygojamą geležinkelio transporto keliamo triukšmo, patiria gyvenamieji rajonai esantys arti geležinkelio linijos, t.y. patenkantys į 200 m atstumo zoną.
11. Atlikus triukšmo lygių kaitos skaičiavimus triukšmo sklaidos modeliavimo programa „CadnaA“ nustatyta, kad triukšmo slopinimo sienelės forma nėra žymus veiksnys įtakojantis triukšmo slopinimo sienelės ekranavimo efektyvumą, kada ekranas pastatytas mažiausiu standartizuotu 3 m atstumu nuo triukšmo šaltinio, o apsaugomi objektai, šiuo atveju gyvenamieji namai ir jų aplinka, yra 60–70 m atstumu nuo triukšmo šaltinio – geležinkelio transporto. 2 m atstumu nuo gyvenamojo namo pasiekiamas tik 1 dBA efektas.
12. Slopinant geležinkelio transporto keliamą triukšmą 3 m aukščio (viršūnės polinkio kampas – 90°) triukšmo slopinimo sienoje, gautas mažiausias akustinis efektas, t.y. ribojamas mažiausias 50–61 dBA triukšmo slopinimo zonos plotas.
13. Efektyviausiai triukšmo lygis slopinamas taikant 3,86 m aukščio triukšmo slopinimo sienelę, kada viršūnė pasvirusi 150° kampu, taikant net 0,64 m aukštesnį triukšmą slopinantį ekraną, t.y. 4,5 m aukščio „tiesaus tipo“ ekrano modelį, gautas mažesnis 50–61 dBA triukšmo lygius ribojantis zonos plotas.

Rekomendacijos

1. Norint parinkti tinkamą triukšmo slopinimo ekraną, atsižvelgus į triukšmo šaltiniui būdingas charakteristikas, būtina įvertinti tokius geometrinius parametrus, kaip ekrano aukštis, ilgis, forma, padėtis triukšmo šaltinio ar apsaugomojo objekto atžvilgiu.
2. Žemo dažnio garso bangų slopinimo efektyvumą galima padidinti taikant palinkusios viršūnės triukšmo slopinimo sienelę. Kaip tyrimais nustatyta, pasiekiamas 1–4 dB didesnis efektas lyginant su įprastu tiesaus tipo triukšmo slopinimo ekranu.
3. Taikant triukšmo slopinimo sienelės teritorijų dalims esančioms sąlyginai nedideliu atstumu nuo triukšmo šaltinio – geležinkelio transporto apsaugoti, siūloma projektuoti palinkusios viršūnės triukšmo slopinimo ekraną. Triukšmo sklaidos modeliavimo programa „CadnaA“ atliktus triukšmo lygių kaitos skaičiavimus nustatyta, kad kada 1 m aukščio sienelės viršūnė pasvirusi 150° kampu (bendras sienelės aukštis – 3,86 m) gauta didesnė nuslopinto triukšmo zona nei taikant 4,5 m aukščio „tiesaus tipo“ triukšmą slopinantį ekraną.

Literatūra

- Ašmenskas, J.; Baubinas, V.; Obelenis, V.; Šimkūnienė, B. 1997. Aplinkos medicina. Vilnius: Avicena. 478 p.
- Apibrėžimas ir tipai [interaktyvus]. 2008. Žiūrėta 2009 m. gruodžio 15 d. Prieiga per internetą: <http://www.triukšmas.eu/akustinės_sienelės/triukšmo_barjerai/definition>.
- Agarwal, S.; Swami, B. L. 2011. Comprehensive approach for the development of traffic noise prediction model for Jaipur city. *Environmental monitoring and assessment* 172(1-4): 113 – 120.
- Auerbach, M.; Bockstedte, A.; Zaleski, O.; Estorff, O. 2010. Numerical and experimental investigations of noise barriers with helmholtz Resonators [online]. [cited 10 December 2010]. Available on the Internet: <http://novicos.de/system/files/files/232/Paper_NC10.pdf>.
- Australian wood panels [online]. 2011. [cited 20 January 2011]. Available from internet: <<http://www.awpanels.com.au/products/plywood/ezyshield-noise-barrier.htm>>.
- Baltrėnas, P.; Petraitis, E.; Januševičius, T. 2010. Noise level study and assessment in the southern part of Panevėžys, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* 18(4): 271–280.
- Baltrėnas, P.; Puzinas, D. 2009b. Jūrų uosto teritorijos ir gyvenamosios zonos triukšmo sklaidos modeliavimas taikant programą CadnaA. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 3(17): 148 – 153.
- Baltrėnas, P.; Butkus, D.; Grubliauskas, R. 2009a. Triukšmą slopinančios kameros ir jų panaudojimas. *Mokslas ir Technika*, 9: 34–37.
- Baltrėnas, P.; Butkus, D.; Oškinis, V.; Vasarevičius, S.; Zigmontienė, A. 2008. Aplinkos apsauga: vadovėlis. Vilnius: Technika. 561 p.
- Baltrėnas, P.; Butkus, D.; Nainys, V.; Grubliauskas, R.; Gudaitytė, J. 2007b. Triukšmo slopinimo sienelės efektyvumo įvertinimas. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 3(15): 125–174.
- Baltrėnas, P.; Fröhner, K., D.; Puzinas, D. 2007a. Jūrų uosto įrenginių triukšmo sklaidos įmonės ir gyvenamojoje teritorijoje tyrimai. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 2(15): 85–92.
- Baublys, J. 2009. Darbo saugos administravimas: mokomoji knyga. Vilnius: Generolo Jono Žemaičio Lietuvos karo akademija. 141 p.
- Baulac, M.; Defrance, J.; Jean, P. 2007. Optimization of multiple edge barriers with genetic algorithms coupled with a Nelder–Mead local search. *Journal of Sound and Vibration* 300: 71–87.
- Bazaras, Ž.; Ilgakoitytė, J.; Ramanauskas, M.; Ilgakojis, P. 2003. Internal noise problems of the locomotive power equipments. *Environmental Research, Engineering and Management*, 2(24): 48–54.

- Bendokienė, I.; Gražuliavičienė, R. 2010. Automobilių transporto keliamo triukšmo įtaka moterų arterinės hipertenzijos rizikai Kauno mieste. *Nacionalinės sveikatos tarybos metinis pranešimas 2010: Urbanizacija – nauji iššūkiai žmonių sveikatai*. Vilnius: Nacionalinės sveikatos taryba. 37–40.
- Blažys, R.; Garbinčius, G.; Dabužinskaitė, Ž.; Gedzevičius, I. 2009. Automobilių keliamo triukšmo tyrimai. *Mokslas – Lietuvos ateitis*, 6(1): 41–44.
- Bogdanovičius, A. 2008. Fizikos pagrindai aplinkos inžinerijoje. Vilnius: Technika. 233 p.
- Bračkus, V.; Gužas, D. 2007. Miesto triukšmo šaltinių klasifikacija ir jų charakteristikų nustatymas. *Jaunųjų mokslininkų darbai*, 2(13): 84–88.
- Brink, M. 2011. Parameters of well-being and subjective health and their relationship with residential traffic noise exposure – A representative evaluation in Switzerland. *Environment International*, 37: 723–733.
- Cianfrini, C.; Corcione, M.; Fontana, L. 2007. Experimental verification of the acoustic performance of diffusive roadside noise barriers. *Applied Acoustics*, 68(11-12): 1357–1372 p.
- Dinno, A.; Powell, C.; Mary King, M. 2011. A study of riders noise exposure on bay area rapid transit trains. *Journal of Urban Health: Bulletin of the New York Academy of Medicine*, 88(1): 1–13.
- Duhamel, D. 2006. Shape optimization of noise barriers using genetic algorithms. *Journal of Sound and Vibration*, 297: 432–443.
- Firdaus, G.; Ahmad, A. 2010. Noise pollution and human health: A case study of municipal corporation of Delhi. *Indoor and Built Environment*, 19(6): 648–656.
- Gražuliavičienė, R. 2002. Žmogaus ekologija. Kaunas: Vytauto Didžiojo universiteto leidykla. 187 p.
- Greiner, D.; Aznárez, J., J.; Maeso, O.; Winter, G. 2010. Single - and multi - objective shape design of Y- noise barriers using evolutionary computation and boundary elements. *Advances in Engineering Software*, 41: 368–378.
- Grubliauskas, R.; Butkus, D. 2009a. Slopavimo ekrano optimalaus aukščio nustatymo skaičiavimas ir modeliavimas. *Mokslas – Lietuvos ateitis*, 4(1): 30–34.
- Grubliauskas, R.; Butkus, D. 2009b. Chamber investigation and evaluation of acoustic properties of materials. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 17(2): 97–105.
- Grubliauskas, R.; Butkus, D. 2008. Geležinkelio transporto keliamo triukšmo Vilniaus geležinkelio mazge tyrimai, iš 11 – tosios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas - Lietuvos ateitis“, įvykusios Vilniuje 2008 m. balandžio 3 d., straipsnių rinkinys: *Aplinkos apsaugos inžinerija*. Vilnius: Technika. 367–377.
- Grubliauskas, R.; Butkus, D. 2007. Geležinkelio transporto keliamo triukšmo stotyse tyrimai, iš 10 – tosios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas Lietuvos ateitis“, įvykusios Vilniuje 2007 m. kovo 29 d., pranešimų medžiaga: *Aplinkos apsaugos inžinerija*. Vilnius: Technika. 315–323.

- Gužas, D. 1994. Transporto triukšmo mažinimo priemonės. *Vilniaus technikos universiteto mokslo darbai, transportas*, 9: 143–146.
- HN 33: 2007. Akustinis triukšmas. Triukšmo ribiniai dydžiai gyvenamuosiuose ir visuomeninės paskirties pastatuose bei jų aplinkoje, *Valstybės žinios* 75 – 2990.
- Hothersall, D., S.; Horoshenkov, K., V.; Morgan, P., A.; Swift, M., J. 2000. Scale modelling of railway noise barriers. *Journal of Sound and Vibration*, 234(2): 207–223.
- Innovative noise barriers for road and railway tracks [online]. 2007. [cited 26 October 2009]. Available from internet: <http://www.enterprise-europenetwork.ec.europa.eu/src/request/pictures/Calma_Tec.jpg>.
- Ishizuca, T.; Okubo, T. 2009. Inaccuracy due to local-reaction model in numerical analyses of noise-shielding efficiency of barriers with absorbing edge. *Acoust. Sci. & Tech.*, 30(5): 372–375.
- Jagnetinskas, A.; Fiks, B.; Mickaitis, M. 2011. Statistical assesment of environmental noise generated by road traffic. *Transport*, 26(1): 96–105.
- Januševičius, T.; Grubliauskas, R.; Butkus, D. Konstrukcijos iš perforuotos skardos akustinių savybių tyrimas, iš 11 – *tosios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas Lietuvos ateitis“, įvykusios Vilniuje 2008 m. balandžio 3 d., pranešimų medžiaga: Aplinkos apsaugos inžinerija. Vilnius: Technika.* 394–401.
- Joshi, S., K.; Devkota, S.; Chamling, S.; Shrestha, S. 2005. Environmental noise induced hearing loss in Nepal. *Noise & Health*, 7(29): 42.
- Karimi, A.; Nasiri, S.; Kazerooni, F., K.; Oleaei, M. Noise induced hearing loss risk assessment in truck drivers. *Noise & Health*, 12(46): 49–55.
- Kaulakys, J. 1999. Fizinė technologinė aplinkos tarša: mokomoji knyga. Vilnius: Technika. 97 p.
- Klimbavičius, A. 2008. Transporto neigiamo poveikio aplinkai vertinimas: mokomoji knyga. Vilnius: Technika. 45 p.
- Kokavec, J.; Möser, M. 2010. A view on geometry of noise barrier edges. [online]. [cited 10 February 2011]. Available from internet: <http://www.tuberlin.de/fileadmin/fg23/Ver_ffentlichu gen/Kokavec_Noise_barriers.pdf>.
- Latest in Industry [online]. 2010. [cited 20 December 2010]. Available from internet: <http://www.tikkurila.com/industrial_coatings/latest_in_industry/temalac_sc-f_highsolids_alkyd_topcoat_cost-efficient_surface_finishing_solution.html>.
- Lingaitis, L. P.; Liudvinavičius, L. ir kt. 2009. Geležinkeliai bendrasis kursas. Vilnius: Technika. 277 p.
- Lietuvos standartas LST EN ISO 11821: 2002. Akustika. Natūrinis kilnojamo ekrano garso silpninimo matavimas. 12 p.
- Lercher, P.; Brink, M.; Rudisser, J.; Van Renterghem, T.; Botteldooren, D.; Baulac, M.; Defrance, J. 2010. The effects of railway noise on sleep medication intake: Results from the ALPNAP – study. *A Bomonthly Inter-disciplinary International Journal Noise & Health*, 12(44): 110–119.

- Mačiulis, A. 2000. Geležinkelių transporto techninio plėtojimo efektyvumo vertinimas. Mokomoji knyga. Vilnius: Technika. 70 p.
- Mačiūnas, E.; Uscila, V. 2010. Triukšmo tarša gyvenamojoje aplinkoje ir jos prevencija. *Nacionalinės sveikatos tarybos metinis pranešimas 2010: Urbanizacija – nauji iššūkiai žmonių sveikatai*. Vilnius: Nacionalinės sveikatos taryba. 33–37.
- Mačiūnas, E. 1999. Automobilių ir gyvenamosios aplinkos triukšmo, patenkančio į patalpas, apskaičiavimas ir įvertinimas: metodinės rekomendacijos. Vilnius. 17 p.
- Mačiūnas, E.; Zurlytė, I.; Uscila, V. 2007. Strateginis triukšmo kartografavimas ir su triukšmo poveikiu susijusių duomenų gavimas: geros praktikos vadovas. Vilnius. 131 p.
- Malinauskienė, V.; Obelenis, V.; Šopagienė, D. 2004. Triukšmas aplinkoje ir ko įtaka miokardo infarkto rizikai. *Sveikatos mokslai*, 3 (34): 41–44.
- Mogilnickas, I. 2004. Ergonomika: rekomendacijos mokykloms ir mokytojams [interaktyvus]. Žiūrėta 2009 spalio 16 d. Prieiga per internetą: <<http://www.cceol.com/aspx/getdocument.aspx?logid=5&id=2ac6b31a-5d8d-420a-b97e-1743910cedda>>.
- Monazzam, M., R.; Fard, S. M., B. 2011. Performance of passive and reactive profiled median barriers in traffic noise reduction. *Journal of Zhejiang University-Science A (Applied Physics & Engineering)* 12(1): 78–86.
- Monazzam, M., R.; Naderzadeh, M.; Nassiri, P.; Fard, S., M., B. 2010. Performance of environmental T-shape noise barriers covered with primitive root diffusers. *Archives of Acoustics* 35(4): 565–578.
- Monazzam, M., R.; Nassiri, P. 2009. Contribution of quadratic residue diffusers to efficiency of tilted profile parallel highway noise barriers. *Iran. J. Environ. Health. Sci. Eng.*, 6(4): 271–284.
- Monazzam, M., R.; Lam, Y., W. 2005. Performance of profiled single noise barriers covered with quadratic residue diffusers. *Applied Acoustics*, 66: 709–730.
- Monsefi, M.; Dehghani, F.; Vojdani, Z. 2011. Noise exposure of pregnant mice induces heart defects in their fetuses. *Toxicological & Environmental Chemistry*, 93(4): 780–788.
- Mun, S.; Cho, Y. 2009. Noise barriers optimization using a simulated annealing algorithm. *Applied Acoustics* 70: 1094–1098.
- Murata, K.; Nagakura, K.; Kitagawa, T.; Tanaka, S. 2006. Noise reduction effect of noise barrier for Shinkansen based on Y-shaped structure. *QR of RTRI* 3(47): 162–168.
- Naderzadeh, M.; Monazzam, M., R.; Nassiri, P.; Fard, S., M., B. 2011. Application of perforated sheets to improve the efficiency of reactive profiled noise barriers. *Applied Acoustics* 72: 393–398.
- Narmonaitė, R.; Klimas, R.; Viršilas, R. 2006. Geležinkelio triukšmo tyrimas Šiaulių mieste. *Jaunųjų mokslininkų darbai*, 4(11): 192–195.

- Noise barriers [online]. 2001. [cited 20 December 2009]. Available from internet: <<http://www.rochester.mn.gov/departments/publicworks/roc52/Chapter%204%20Noise%20Barriers.pdf>>.
- Obelenis, V.; Malinauskienė, V. 2007. Darbo sąlygų ir profesinių veiksmų įtaka širdies ir kraujagyslių ligų rizikai. *Medicina (Kaunas)*, 43(2): 96–102.
- Okubo, T.; Matsumoto, T.; Yamamoto, K.; Funahashi, O.; Nakasaki, K. 2010. Efficiency of edge-modified noise barriers: Intrinsic efficiency determination of practical products and prediction of the diffracted sound field. *Acoust. Sci. & Tech.*, 31(1): 56–67.
- Okubo, T.; Yamamoto, K. 2007a. Noise-shielding efficiency of barriers with eaves. *Acoust. Sci. & Tech.* 28(4): 278–281.
- Okubo, T.; Yamamoto, K. 2007b. Procedures for determining the acoustic efficiency of edge-modified noise barriers. *Applied Acoustics*, 68: 797–819.
- Oškinis, V.; Kindurytė, R.; Butkus, D. Automobilių triukšmo tyrimų magistralėje Vilnius – Kaunas – Klaipėda rezultatai. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 12 (Supl 1): 10–18.
- Paulauskas, L.; Klimas, R. 2011. Modeling of the spread of motor transport noise in Šiauliai city, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 19(1): 62–70.
- Polič, D.; Valentin, J. 2007. Data inventory of selected noise barrier systems [online]. [cited 26 October 2009]. Available from internet: <http://www.cideas.cz/free/okno/technike_listy/4tlven/TL07EN_2412-3.pdf>.
- Rimovskis, S.; Ramonas, Z. 2005. Apsauga nuo triukšmo: mokomoji knyga. Šiauliai: Šiaulių universiteto leidykla. 76 p.
- Rui-Qiang, S. 2011. A disquisition on traffic noise pollution and its effective control as countermeasures. *Key Engineering Materials*, 474–476: 874–879.
- Skirgaila, A.; Jaskelevičius, B. 2008. Automobilių keliamo triukšmo slopinimo būdų palyginamoji analizė, iš 11 – *tosios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas Lietuvos ateitis“, įvykusios Vilniuje 2008 m. balandžio 3 d., pranešimų medžiaga: Aplinkos apsaugos inžinerija. Vilnius: Technika.* 635–642.
- Stauskis, V., J. 2007. Statybinė akustika. Vilnius: Technika. 263 p.
- Settore acustico e vibrazioni [online]. 2009. [cited 15 February 2011]. Available from internet: <<http://www.saigest.it/strumentazione.php>>.
- Triukšmo sklaidos modeliavimas programine įranga CadnaA [interaktyvus]. 2007. Žiūrėta 2009 m. spalio 24 d. Prieiga per internetą: <<http://www.cowi.lt/meniu/news/newsarchive/2007/Pages/triuksmosklaidosmodeliavimasprogramineirangacadnaa.aspx>>.
- Urgent need to reduce rail noise [online]. 2008. [cited 21 December 2009] Available from internet: <http://ec.europa.eu/transport/strategies/doc/2008_greening/2008_greening_rail_noise_memo.pdf>.

- Vaišis, V.; Januševičius, T. 2008. Investigation and evaluation of noise level in the northern part of Klaipėda city. *Journal of environmental engineering and landscape management*. 16(2): 89–96.
- Vasarevičius, S.; Graudinytė, J. 2004. Transporto triukšmo lygio automobilių kelių ir geležinkelio sankirtose tyrimai ir įvertinimas. *Journal of environmental engineering and landscape management*. 12 (1): 19–24.
- Watson, D. 2006. Innovative noise barriers implementation guide [online]. [cited 21 December 2009]. Available from internet: <http://www.azdot.gov/TPD/ATRC/publications/project_reports/PDF/AZ572.pdf>.
- Xie, H.; Kang, J.; Tompsett, R. 2011. The impacts of environmental noise on the academic achievements of secondary school students in Greater London. *Applied Acoustics* 72: 551–555.
- Xintan, M.; Shuiliang, L. 2009. Optimization Design of L-shaped road noise barrier and cost-effectiveness analysis [online]. [cited 5 December 2010]. Available on the Internet: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=5164415>.
- Xintan, M.; Shaopu, Y.; Buqing, X. 2005. Optimization design of road noise barrier. *Vehicular Electronics and Safety, 2005. IEEE International Conference on*: 276–280.

Autoriaus paskelbti darbai ir skaityti pranešimai konferencijose

Moksliniai straipsniai:

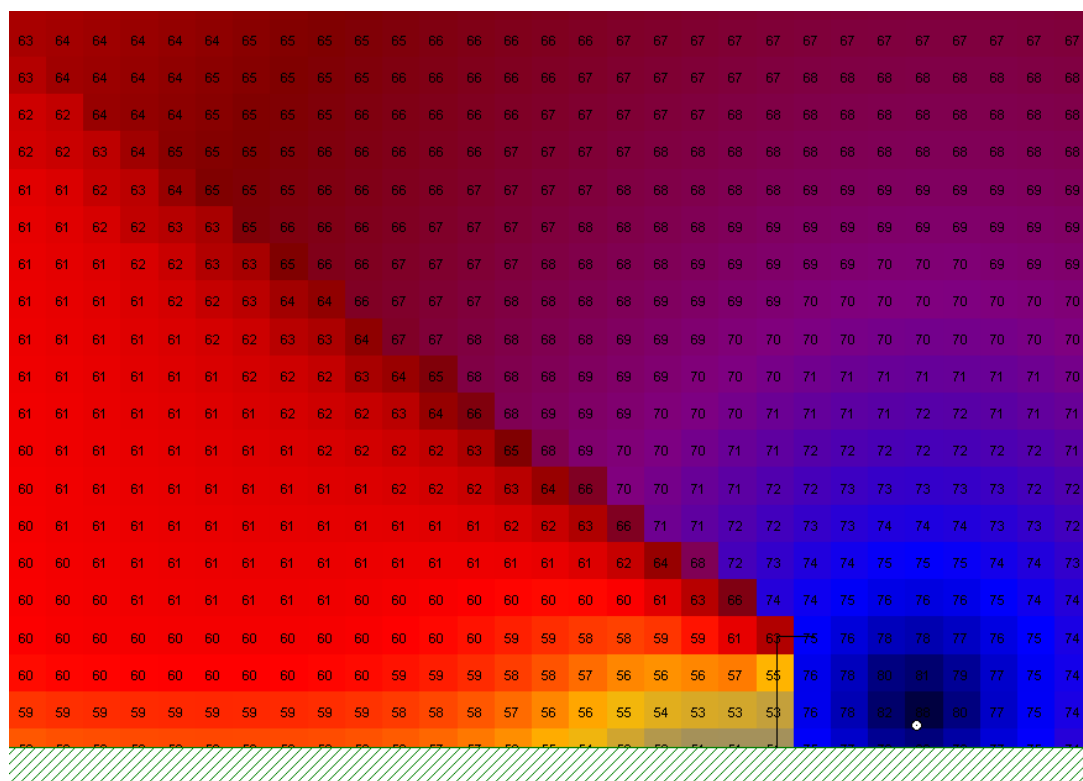
1. Venckus, Ž.; Grubliauskas, R. 2010. Geležinkelio transporto keliamo triukšmo tyrimai Kaišiadorių mieste [Railway noise research in Kaišiadorys town], iš *Aplinkos apsaugos inžinerija: 13-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“*, įvykusios Vilniuje 2010 m. kovo 25 d., straipsnių rinkinys. Vilnius: Technika, 272–277 (spaudoje).
2. Venckus, Ž., Grubliauskas, R. 2011. The Evaluation of the Efficiency of the L-shaped Noise Barrier While Working With the Programme CadnaA. *The 8th International Conference Environmental Engineering Selected Papers*. Vilnius Gediminas Technical University: Technika, 1: 441–445 (spaudoje).
3. Venckus, Ž.; Grubliauskas, R.; Venslovas, A. 2011. The Research On the Effectiveness of the Inclined Top Type of a Noise Barrier. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* (spaudoje).

Dalyvavimas konferencijose:

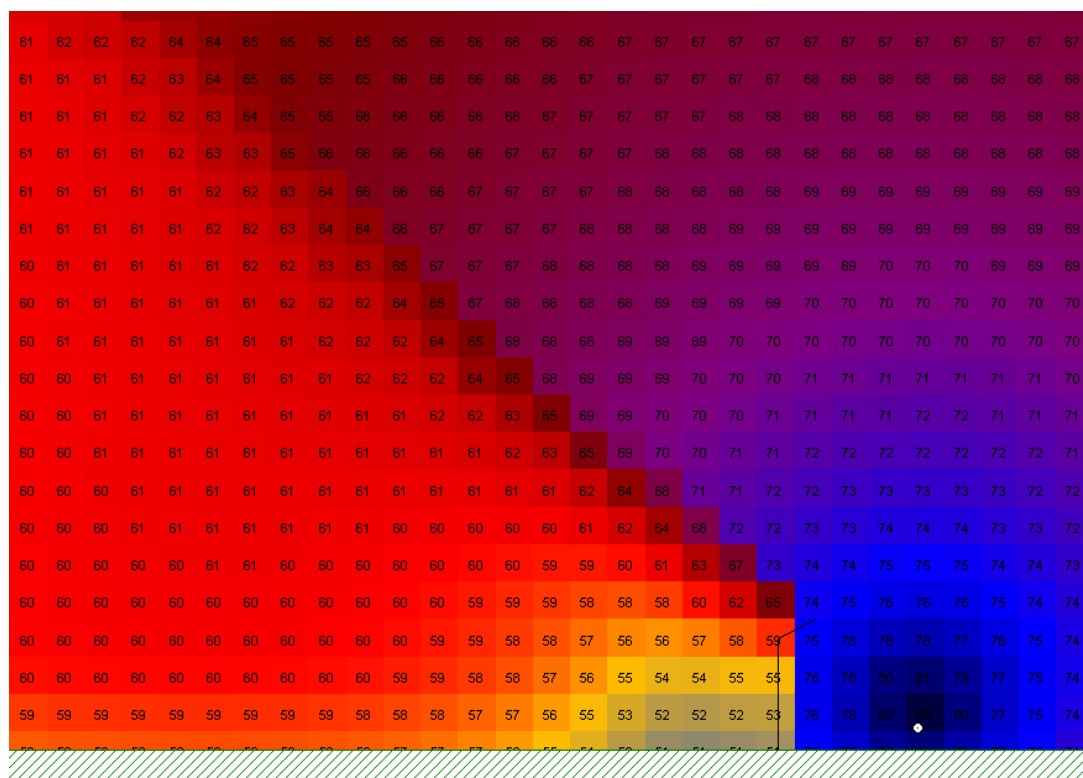
1. Venckus, Ž. 2010. Geležinkelio transporto keliamo triukšmo tyrimai Kaišiadorių mieste, 13-oji Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencija „Mokslas – Lietuvos ateitis“, įvykusi Vilniuje 2010 m. kovo 25 d. (stendinis pranešimas).
2. Venckus, Ž. 2011. Triukšmo slopinimo sienelės elemento efektyvumo tyrimai, 14-oji Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencija „Mokslas – Lietuvos ateitis“, įvykusi Vilniuje 2011 m. balandžio 14 d. (žodinis pranešimas).
3. Venckus, Ž., Grubliauskas, R. 2011. The Evaluation of the Efficiency of the L-shaped Noise Barrier While Working With the Programme CadnaA. *The 8th International Conference Environmental Engineering*, May 19–20 Vilnius, Lithuania.

PRIEDAI

Triukšmo lygių kaitos skaičiavimai programa „CadnaA“, taikant skirtingų geometrinių parametrų triukšmo slopinimo ekranų modelius



1 pav. Triukšmo lygių kaitos skaičiavimo rezultatai 20x20 m triukšmo slopimo zonoje, kada ekrano viršūnės polinkio kampas 90° , bendras ekrano aukštis 3 m



2 pav. Triukšmo lygių kaitos skaičiavimo rezultatai 20x20 m triukšmo slopimo zonoje, kada ekrano viršūnės polinkio kampas 120° , bendras ekrano aukštis 3,5 m

