Vilniaus universitetas

Fizikos fakultetas

Radiofizikos katedra

Justas Antanavičius

Aplinkos triukšmo mieste modeliavimas ir matavimas

Pagrindinių studijų baigiamasis darbas

Moderniųjų technologijų fizikos ir vadybos studijų programa

Studentas	Justas Antanavičius
Darbo vadovas	Edvardas Gasperavičius
Konsultantas	doc. Kęstutis Svirskas
Recenzentas	dokt. Jurgis Aleksandravičius
Katedros vedėjas	prof. Jūras Banys

Vilnius 2016

Turinys

Turinys 2
Įvadas 3
Aplinkos triukšmas ir jo neigiamas poveikis 4
Triukšmo valdymas 7
Triukšmo sklidimas laisvame lauke 9
Bendrasis triukšmo sklaidos apskaičiavimo metodas 12
Garso sklidimo silpimas dėl geometrinio atstumo 17
Garso sklidimo silpimas dėl atmosferinės absorbcijos 17
Garso sklidimo silpimas dėl žemės paviršiaus įtakos 18
Garso sklidimas per užtvaras 21
Atspindžiai 26
Metodo tikslumas ir apribojimai 28
Akustinio triukšmo matavimai UAB „Kauno gelžbetonis“ gamyklos teritorijoje 38
Kauno Gelžbetonio gamyklos akustinio triukšmo sklaidos modelio atnaujinimas 42
Matavimo ir modeliavimo metu gautų rezultatų palyginimas 45
Išvados 48
Summary 49
Literatūros sąrašas 50

Įvadas

Triukšmas kaip pateikia lietuvių kalbos žodynas – nedarnūs, smarkūs garsai, bildesys [1]. Triukšmas sklinda garso bangų pavidalu, kurios yra nagrinėjamos akustikos mokslo. Akustika yra tarpdisciplininis mokslas, tiriantis mechaninių bangų sklidimą dujose, skysčiuose ir kietuosiuose kūnuose.

Pasaulio sveikatos organizacija 2011 metais paskelbtame leidinyje „Burden of disease from environmental noise. Quantification of healthy life years lost in Europe“ paskelbė, kad dėl transporto sukeliamo triukšmo Europos regiono gyventojai kasmet praranda ne mažiau kaip 1 milijoną sveiko gyvenimo metų. Akcentuojama, kad triukšmas gyventojus ne tik dirgina ar trikdo jų miegą, bet taip pat gali sukelti širdies priepuolius, spengimą ausyse, gali susilpninti gebėjimą mokytis. Palyginti su kitomis Europos aplinkosaugos sritimis, aplinkos triukšmo lemiama ligų našta pagal savo mastus yra antra po oro taršos [2].

Žmogus su miesto triukšmu susiduria kiekvieną gyvenimo akimirką. Jį žmogus jaučia tiesiogiai, kadangi turi klausos organą ir gyvena terpėje, kuri reikalinga garsui sklisti. Triukšmas sukelia ne vien tiesioginius pojūčius ir perduoda informaciją, bet ir sukelia netiesioginius padarinius žmogaus sveikatai – tiek fizinei tiek ir psichinei. Šiandien visuminei paklausai siekiant aukštumas – tam, kad būtų patenkinti žmonijos poreikiai ir užtikrinta prekių ir paslaugų pasiūla, gamybos apimtys turi nuolatos augti. Šis augimas sukelia pastovų triukšmo augimą, todėl neišvengiamai reikalinga imtis priemonių jį valdyti, kad žmonių sveikata ir gyvenimo kokybė nuo to nenukentėtų. Triukšmo valdymui būtinas triukšmo įvertinimas, kuris gali būti atliktas keletu būdų – prognozavimu ir matavimais.

Šio darbo tikslas yra ištirti miesto pramoninio triukšmo modeliavimą ir matavimą.

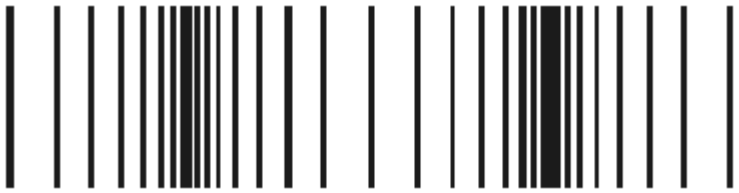
Darbo uždaviniai:

1. Išanalizuoti akustinio triukšmo modelį pagal ISO-9613 standartą;
2. Sumodeliuoti Kauno gelžbetonio gamyklos triukšmo sklaidą;
3. Išmatuoti pasirinktuose taškuose ekvivalentinį garso lygį ir palyginti su sumodeliuotomis vertėmis;

Aplinkos triukšmas ir jo neigiamas poveikis

Aplinkos triukšmas – nepageidaujami arba žmogui žalingi išoriniai garsai, kuriuos sukelia žmonių veikla, įskaitant transporto priemonių, kelių eismo, geležinkelio eismo, oro eismo spinduliuojamą triukšmą ir triukšmą iš pramonės zonų [3].

Nuo antikos laikų triukšmas pripažįstamas kaip susierzinimo šaltinis. Fizikiniam triukšmo apibūdinimui vartojama sąvoka garsas – tai mechaninė slėgio svyravimų banga, kuri gali sklisti, bet kuria tampria terpe. Slėgio svyravimus įprastai sukuria kieti vibruojantys paviršiai, taip pat garsas gali būti sukeliamas turbulentinio oro masių maišymosi, greito kūnų judėjimo aerodinaminės prigimties . Pav. 1 pavaizduotas harmoninės plokščiosios garso bangos sklidimas vamzdyje. [4]



Pav. 1 plokščiosios harmoninės garso bangos sklidimas vamzdyje

Žmogus triukšmą suvokia klausos pojūčio, kurios jutimo organas yra ausis. Ji reaguoja į aplinkos slėgio pokyčius nuo 20 μPa iki 200 Pa skausmo slenksčio. Objektyviai vertinant triukšmo lygį naudotis vienetu Pa yra nepatogu, todėl praktikoje naudojamas garso slėgio lygis L_p, kuris matuojamas bedimensiu dydžiu dB:

$$L_p = 10 \lg \frac{p^2}{{p_{ref}}^2} \quad (1)$$

čia:

p – efektinis (RMS) garso slėgis, Pa

p_{ref} – ataskaitinė slėgio vertė, lygi 20 μPa

Naudojant garso slėgio lygį jo kitimo ribos sumažėja iki 140 dB. Garso slėgio kvadratas yra proporcingas garso intesyvumui *I*, tad puikiai tinka nusakyti garso lygį [4]. Ausies receptoriai taip pat reaguoja ir į slėgio svyravimų dažnį *f,* kuris kinta nuo 16 – 20 Hz iki 20 kHz.

Triukšmas – tai ne tik visi girdimi garsai, kurie sukelia įkyraus trukdymo pojūtį, bet ir neigiamas poveikis sveikatai. Galima išskirti tris pagrindinius žalingus triukšmo poveikius:

1. Poveikis klausai;
2. Poveikis širdies ir kraujagyslių sistemai;
3. Poveikis miegui;

Klausos silpimo laipsnis priklauso nuo triukšmo dažninės charakteristikos, jo intensyvumo ir veikimo trukmės. Pradžioje klausos silpimas mažai pastebimas. Bėgant metams jis didėja. Klausos silpimas labai priklauso nuo triukšmo poveikio trukmės ir dažnio. Pirmiausia žmonių klausa pablogėja 4000 Hz dažnių diapazone. Jeigu triukšmas veikia toliau, tai klausos jautrumas šių dažnių garsams, mažėja. Jei triukšmas viršija 80 dB, tai dirbant tokiomis sąlygomis keletą metų, klausos silpimo dažninis diapazonas smarkiai išsiplečia ir apima didelę dalį aktyvios kalbos diapazono.

Klausą praranda ne tik dirbantys pramonės įmonėse, bet ir, pvz., džiazo muzikantai ir jų klausytojai. JAV buvo ištirti 10 džiazo ansamblių. Nustatyta, kad jų keliamas triukšmo lygis siekia 105-120 dB ir prilygsta triukšmingų pramonės įmonių cechams. Šešiems muzikantams iš 20 buvo konstatuotas laikinas klausos jautrumo pažeidimas.

Žmogaus sveikatai labai kenksmingas didelis triukšmas. 90 dBA triukšmas, trunkantis 8 val. kasdien ir 5 dienas per savaitę, sukelia nuolatinį klausos pažeidimą, jeigu triukšmo lygis poveikis tęsiasi 30-40 metų. Teigiama, kad triukšmas, mažesnis už 80 dBA, nesukels klausos pažeidimo visą triukšmo veikimo laiką. Nerekomenduojama, kad be specialios apsaugos žmogų veiktų 135 dB ir didesnis triukšmas. Neleistina, kad jį veiktų 150 dB triukšmas. Jeigu šis triukšmas yra impulsinis klausa pažeidžiama negrįžtamai ir netgi gali trūkti ausies būgnelis [3].

Jau minėtos Pasaulio Sveikatos organizacijos 2011 metų ataskaitos duomenimis, akustinis triukšmas labiausiai veikia širdį. Triukšmo sukeliami širdies susirgimai kasmet pasiglemžia 3 tūkst. gyvybių, o maždaug 61 tūkstančius Vakarų Europos gyventojų triukšmo sukeltos širdies ligos rimtai suluošina. Statistiškai įrodyta, jog dėl triukšmo didėja kraujospūdis, streso hormonų bei riebalų koncentracija – net ir tuomet, kai žmonės miega. Bėgant laikui, dėl šių poveikių gali siaurėti kraujagyslės ir ištikti širdies infarktas.

Nors širdies smūgis yra rimčiausia triukšmo sukeliama mirties priežastis, daugiausiai vakarų europiečiai kenčia dėl triukšmo sukeliamų miego sutrikimų. Tokių kasmet užregistruojama 903 tūkstančiai [5].

Kita smarkiai paplitusi triukšmo pasekmė – susierzinimas. Net jei ir neturi tiesioginio poveikio sveikatai, ši triukšmo sukeliama psichinė būsena kasmet trikdo 587 tūkst. vakarų europiečių gerovę. Triukšmo sukeltas susierzinimas 45 tūkst. Vakarų Europos moksleivių lemia mokymosi sunkumus, 22 tūkst. – spengimą ausyse ir ūžesius [5].

Taigi pagal triukšmo taršos žalą žmonių sveikatai, galime teigti, kad tai svarbi problema ir ją būtina spręsti.

Triukšmo valdymas

Pagal anksčiau pateiktą triukšmo keliamą žalą žmonių sveikatai suprantame, kad būtina kontroliuoti triukšmo lygius. Triukšmo kontrolę apibrėžia Lietuvos triukšmo valdymo įstatymas [6]. Pagal jį suformuota higienos norma reglamentuoja ribinius garso slėgio lygius.

Lietuvos higienos norma HN 33:2011. Šia higienos norma yra vadovaujamasi akustinę taršą vertinant higieniniu požiūriu. Ji nustato didžiausius leistinus triukšmo lygius gyvenamuosiuose ir visuomeninės paskirties pastatuose bei jų aplinkoje. Sertifikuotų objektų skleidžiamas triukšmas neturi viršyti lygių, nustatytų šioje higienos normoje [7].

Lentelė 1. Didžiausi leidžiami triukšmo ribiniai dydžiai gyvenamuosiuose ir visuomeninės paskirties pastatuose bei jų aplinkoje

Eil. Nr.	**Objekto pavadinimas**	**Paros laikas, val.**	**Ekvivalentinis garso slėgio lygis (L_{AeqT}), dBA**	**Maksimalus garso slėgio lygis (L_{AFmax}), dBA**
1	*2*	*3*	*4*	*5*
1.	Gyvenamųjų pastatų (namų) gyvenamosios patalpos, visuomeninės paskirties pastatų miegamieji kambariai, stacionarinių asmens sveikatos priežiūros įstaigų palatos	6–18 18–22 22–6	45 40 35	55 50 45
2.	Visuomeninės paskirties pastatų patalpos, kuriose vyksta mokymas ir (ar) ugdymas		45	55
3.	Gyvenamųjų pastatų (namų) ir visuomeninės paskirties pastatų (išskyrus maitinimo ir kultūros paskirties pastatus) aplinkoje, veikiamoje transporto sukeliamo triukšmo	6–18 18–22 22–6	65 60 55	70 65 60
4.	Gyvenamųjų pastatų (namų) ir visuomeninės paskirties pastatų (išskyrus maitinimo ir kultūros paskirties pastatus) aplinkoje, išskyrus transporto sukeliamą triukšmą	6–18 18–22 22–6	55 50 45	60 55 50

5.	Maitinimo ir kultūros paskirties pastatų salėse estradinių ar kitų pramoginių renginių metu, kino filmų demonstravimo metu		80	85
6.	Atvirose koncertų ir šokių salėse estradinių ar kitų pramoginių renginių metu	6–18 18–22 22–6	85 80 55	90 85 60

Pagal higienos normą triukšmo lygiai matuojami remiantis LST-ISO-1996-1ir LST-ISO-1996-2 standartais. Turėdami nustatytus ribinius tirukšmo dydžius, išmatavus triukšmo šaltinių juos galime palyginti. Tačiau kuomet ūkinė veikla tik planuojama, ir sąlygų išmatuoti nėra, atliekamas triukšmo sklaidos modeliavimas.

Triukšmo sklidimas laisvame lauke

Norinti sumodeliuoti triukšmo sklaidą, būtina suvokti garso bangų sklidimo dėsningumą. Šioje darbo dalyje aptarsime garso sklidimo atvirame lauke reiškinį. Tam, kad būtų sukuriamas akustinis laukas, pirmiausia būtinas elementas – garso šaltinis. Sudėtingų garso šaltinių analizavimas sudėtingas, tačiau šaltiniai matmenų mažesnių nei generuojami trumpiausi bangos ilgiai, kuo puikiausiai nusakomi idealiuoju taškiniu šaltiniu, kurio dydis nykstamai mažas. Tai visomis kryptimis vienodai spinduliuojanti pulsuojanti sfera. Tolimojo lauko sąlygomis, kuomet:

$$kr \gg 1$$

čia

k – bangos skaičius, 1/m

r – atstumas nuo šaltinio

Sferinė banga tampa palyginama su plokščiąja banga, kurios vidutinis intensyvumas I nusakomas:

$$I = \frac{W}{4\pi r^2} = \frac{p^2}{\rho c} \qquad (2)$$

čia:

W – garso šaltinio galia, W

r – atstumas nuo šaltinio, m

p – efektinis garso slėgis, Pa

ρ – medžiagos tankis, kg / m^3

c – garso greitis, m/s

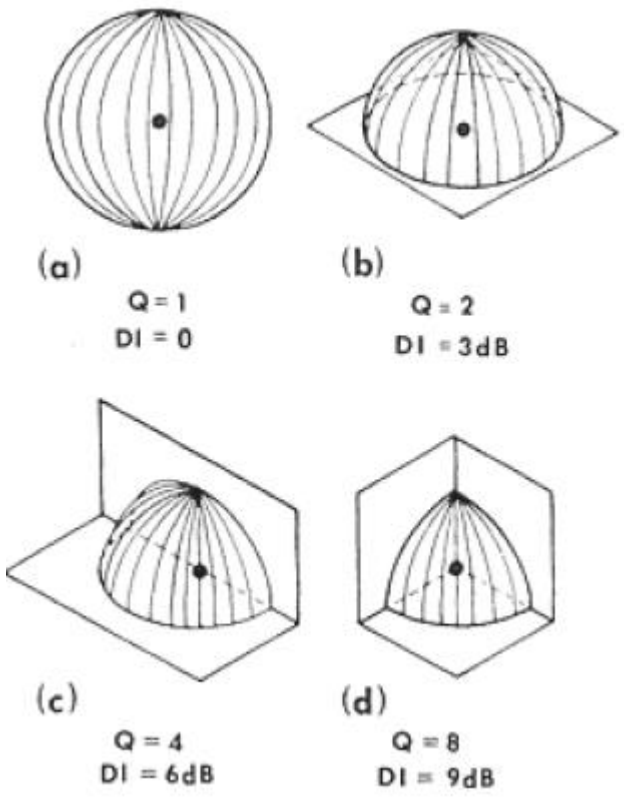
Nesunku pastebėti, jog tolstant nuo taškinio šaltinio intensyvumas atvirkščiai proporcingas atstumo kvadratui, ši savybė dar vadinama geometriniu silpimu. Taip yra todėl, kad šaltinio energija erdvėje pasiskirsto vis didesniame plote.[4] Jeigu šaltinis nespinduliuoja visomis kryptimis vienodai, intensyvumui nusakyti tam tikru kampu nuo šaltinio θ panaudojamas kryptingumo faktorius Q [8]*:*

$$Q = \frac{I_\theta}{I} \tag{3}$$

čia:

I_θ – Intensyvumas kryptimi θ, W / m^2

Dešimteriopas dešimtainis logaritmas kryptingumo faktoriaus (3) vadinamas kryptingumo indeksu *DI*. Įvairiakrypčio šaltinio kryptingumo faktorius lygus 1, pusiau sferinio lygus 2. Pav. 2 pavaizduoti įvairus taškiniai šaltiniai ir jų kryptingumo faktoriai ir kryptingumo indeksai [9].



Pav. 2 Taškiniai šaltiniai ir jų kryptingumo faktoriai *Q* ir kryptingumo indeksai *DI*

Garso slėgio lygis L_p nusako slėgio lygi tam tikrame erdvės taške, remiantis juo negalima palyginti dviejų skirtingų šaltinių, tam naudojamas garso galingumo lygis L_W:

$$L_W = 10 \lg \frac{W}{W_{ref}} \tag{4}$$

čia:

W – garso šaltinio galingumas, W

W_{ref} – ataskaitinė garso šaltinio vertė, 1 pW

Garso intensyvumas tam tikra kryptimi:

$$I = \frac{QW}{4\pi r^2} = \frac{p^2}{\rho c} \tag{5}$$

Akustinis slėgis su garso galia susijęs:

$$p^2 = \frac{WQ\rho c}{4\pi r^2} \tag{6}$$

Abi lygybės (6) puses padauginę iš $\frac{W_{ref}}{W_{ref}{p_{ref}}^2}$ gauname:

$$\frac{p^2}{{p_{ref}}^2} = \frac{WQ\rho cW_{ref}}{4\pi W_{ref}{p_{ref}}^2 r^2} \tag{7}$$

Dešimteriopas dešimtainis logaritmas abiejų lygybės (7) lygus:

$$10\lg\frac{p^2}{{p_{ref}}^2} = 10\lg\frac{W}{W_{ref}} + 10\lg Q - 10\lg r^2 + 10\lg\frac{\rho cW_{ref}}{4\pi{p_{ref}}^2} \tag{8}$$

Suskaičiavus 20 °C oro temperatūros paskutinįjį dešinės pusės lygybės (8) narį, gauname taško esančiu atstumu r nuo kryptingumo Q šaltinio garso slėgio lygį [4]:

$$L_p = L_W + DI - 20\lg r - 10{,}9 \tag{9}$$

Pasinaudoję šia išraiška (9) galime prognozuoti garso slėgio lygį atvirame lauke – be jokių kliūčių ir oro sugerties, kuri labiausiai pasireiškia aukštų dažnių bangoms ir didesniais atstumais. Garso lygis silpsta, kadangi akusinė energija spinduliuojama į vis didesnę erdvę, taip pat šaltinis turi tam tikrą kryptingumą *Q*. Atstumui nuo šaltinio padvigubėjus garso slėgio lygis sumažėja 6 dB.

Prognozuojant triukšmo sklaidą įprastai veikia keletas šaltinių, o ir pačių šaltinių triukšmas yra plačiajuostis, ne vieno harmoninio dažnio. Todėl tam tikrame erdvės taške bendras garso lygis yra apskaičiuojamas sudedant visų garso šaltinio keliamus garso lygius, ir sumuojant oktavų dažnių juostų lygius. Sudedant du koherentinius šaltinius ir nesant fazės skirtumo bendras garso lygis gali padidėti iki 6 dB galingesnio šaltinio atžvilgiu. Sudedant dviejų nekoherentinių šaltinių keliamus garso lygius bendras lygis gali padidėti iki 3 dB galingesnio šaltinio atžvilgiu [8].

Bendrasis triukšmo sklaidos apskaičiavimo metodas

Praėjusioje darbo dalyje aptarėme garso bangų sklaidą laisvame lauke. Kadangi garsas sklinda bangų pavidalu, joms būdingi ir kitų bangų tipams būdingi reiškiniai – atspindys, lūžis, difrakcija, sugertis. Taip svarbu paminėti ir terpės netolygumus – tai vėjo ir temperatūros gradientai, bei chaotiškas turbulencijos poveikis. Šiame skyriuje apžvelgsime Europoje ir Lietuvoje galiojantį ir aktualų skaičiavimo metodą, atsižvelgiantį į papildomus veiksnius, kurie yra svarbūs garso sklaidai.

Aplinkos triukšmo direktyvos 2002/49/EBII priede rekomenduojama tarpinė pramoninės veiklos triukšmo skaičiavimo metodika: ISO 9613-2: „Akustika. Atvirame ore sklindančio garso slopinimas. 2 dalis. Bendroji skaičiavimo metodika“.

Atitinkamas Lietuvos standartas LST ISO 9613-2:2004 „Akustika. Atviroje erdvėje sklindančio garso silpninimas. 2 dalis. Bendrasis skaičiavimo metodas“ (tapatus ISO 9613-2:1996) apibrėžia lauke sklindančio garso silpimo skaičiavimą, prognozuojant aplinkos triukšmo lygius atitinkamu atstumu nuo įvairių triukšmo šaltinių.

Metodo pagalba garso sklidimui palankiomis meteorologinėmis sąlygomis prognozuojamas žinomos garso emisijos triukšmo šaltinių ekvivalentinis nuolatinis A svertinis garso slėgio lygis.

Garso sklidimui palankios meteorologinės sąlygos yra pavėjinės garso sklidimo sąlygos arba ekvivalentiškai – sklidimas, esant gerai susiformavusioms vidutinėms temperatūrų inversijoms, kurios dažniausiai pasireiškia nakties metu žemės paviršiuje.

Šis metodas neapima inversijos sąlygų virš vandens paviršiaus, nes garso slėgio lygiai gali būti didesni nei prognozuoti. Metode aprašomi algoritmai, skirti apskaičiuoti garso, kurį skleidžia taškinis garso šaltinis ar taškinių garso šaltinių visuma, sklidimo silpimą. Triukšmo šaltinis (šaltiniai) gali būti judantis ar stacionarus. Specialios sąlygos algoritmais pateikiamos šiems fizikiniams reiškiniams:

- geometrinis silpimas
- atmosferinė absorbcija
- žemės paviršiaus įtaka
- atspindžiai nuo paviršių
- kliūčių ekranavimas

Šis metodas praktikoje gali būti taikomas įvairiems aplinkos triukšmo šaltiniams. Jis tiesiogiai ar netiesiogiai gali būti pritaikytas daugelyje situacijų, apimančių kelių transporto, geležinkelių transporto,

statybų ir daugeliui kitų ant žemės esančių triukšmo šaltinių atvejų. Šis metodas negali būti taikomas skrendančių orlaivių bei kasybos, karinių ar panašių veiksmų skleidžiamo sprogimo triukšmo atvejais.

Jei turimi tik A dažninio svertinio garso galingumo lygio triukšmo šaltinio duomenys, garso sklidimo silpninimo įvertinimas gali būti atliekamas, taikant 500 Hz dažnio koeficientus ir skaičiuotes [10].

Šioje darbo dalyje pateikiamos ISO 9613-2 formulės, skirtos taškinio triukšmo šaltinio skleidžiamo garso silpimui apskaičiuoti. Linijiniai triukšmo šaltiniai, tokie kaip keliai, geležinkeliai ar pramoninės veiklos zonos, kuriose yra keletas įrenginių ar kartu teritorijoje važinėjančių transporto priemonių, turėtų būti pateikiama kaip segmentų, kiekvienas turinčių atitinkamą garso galingumo lygį ir kryptingumą, rinkinys. Apskaičiuotas reprezentatyvaus segmento taško garso silpimas atitinka viso segmento garso silpimo apskaičiavimą. Linijinis triukšmo šaltinis gali būti padalintas į atkarpas, o plotinis triukšmo šaltinis – į segmentus, kurių kiekvienas yra reprezentuojamas ekvivalentiniu taškiniu triukšmo šaltiniu segmento centre. Taškinių triukšmo šaltinių grupė gali būti apibrėžiama ekvivalentiniu šios grupės centre esančiu taškiniu triukšmo šaltiniu, jei:

- šaltiniai yra apytikriai to paties stiprumo ir aukščio virš žemės paviršiaus;
- nuo šaltinių iki įvertinimo taško yra tos pačios garso sklidimo sąlygos;
- atstumas *d* nuo pavienio ekvivalentinio šaltinio taško iki įvertinimo taško yra dvigubai didesnis nei didžiausias šaltinio matmuo *Hmax* (d>2×Hmax).

Jei atstumas *d* yra mažesnis (d≤2×Hmax) arba jei garso sklidimo sąlygos yra skirtingos (pvz., dėl atspindžių), visuminis triukšmo šaltinis turi būti padalintas į daugiau segmentų.

Pavėjinės garso sklidimo sąlygos apibrėžiamos:

- vėjo kryptis yra ne daugiau kaip ±45° nukrypusi nuo krypties, jungiančios dominuojančio triukšmo šaltinio centrą su triukšmo įvertinimo vietovės centru, kai vėjas pučia nuo triukšmo šaltinio link įvertinimo taško;
- vėjo greitis 3–11 m aukštyje yra 1–5 m/s.

Esant pavėjinėms meteorologinėms sąlygoms ekvivalentinis nuolatinis garso slėgio lygis, esant atitinkamos oktavos dažniui, ties įvertinimo tašku ($L_{fT}(DW)$) turėtų būti apskaičiuotas kiekvienam taškiniam triukšmo šaltiniui, šį šaltinį atspindintiems šaltiniams ir kiekvienoje oktavos dažnių juostoje su nominaliais vidurio juostos dažniais nuo 63 Hz iki 8 kHz:

$$L_{fT}(DW) = L_w + D_c - A \quad (10)$$

čia:

L_W - yra garso galingumo lygis oktavos dažnių juostoje, dB

D_C yra kryptingumo pataisa decibelais, kuri apibrėžia dydį, kuriuo taškinio garso šaltinio ekvivalentinis nuolatinis garso slėgio lygis atitinkama kryptimi nukrypsta nuo įvairiakrypčio garso šaltinio lygio. Įvairiakrypčio garso šaltinio, skleidžiančio garsą į visas puses, kryptingumo pataisa D_C=0 dB. *A* yra garso silpimas oktavos dažnių juostoje decibelais, kuris pasireiškia, garsui sklindant nuo triukšmo šaltinio iki įvertinimo taško.

Garso galingumo lygis L_W gali būti nustatytas matavimais. Pavyzdžiui, aplinkos triukšmo direktyvos II priede nurodyti šie darnieji standartai:

- ISO 8297:1994 „Akustika. Pramoninių zonų su daugeliu šaltinių garso galios lygio nustatymas matuojant garso slėgio lygį aplinkoje. Ekspertinis metodas“ (Lietuvos standartas LST ISO 8297:2004 „Akustika. Pramoninių įrenginių su daugeliu garso šaltinių garso galios lygių nustatymas aplinkos triukšmo garso slėgio lygiams įvertinti. Ekspertinis metodas“);
- EN ISO 3744:1995 „Akustika. Triukšmo šaltinių garso galios lygių nustatymas matuojant garso slėgį. Ekspertinis beveik laisvojo lauko virš atspindinčiosios plokštumos metodas“ (Lietuvos standartas LST EN ISO 3744:2011 „Akustika. Triukšmo šaltinių garso galios ir energijos lygių nustatymas matuojant garso slėgį. Ekspertinis beveik laisvo lauko virš atspindinčiosios plokštumos metodas“);
- EN ISO 3746:1995 „Akustika. Triukšmo šaltinių garso galios lygių nustatymas matuojant garso slėgį. Apžvalginis šaltinį gaubiančio matuojamojo paviršiaus virš atspindinčiosios plokštumos metodas (Lietuvos standartas LST EN ISO 3746:2011 „Akustika. Triukšmo šaltinių garso galios ir energijos lygių nustatymas matuojant garso slėgį. Tikrinamasis metodas, naudojant šaltinį gaubiantį matuojamąjį paviršių virš atspindinčiosios plokštumos).

Daugumos triukšmo šaltinių atitikties vertinimo procedūroms taikomi specialieji darnieji standartai, kuriuose aprašomos specialiosios metodikos garso galingumo lygiui įvertinti. Pavyzdžiui, vėjo elektrinių garso galingumo įvertinimas atliekamas vadovaujantis Lietuvos standartu LST EN 61400-

11:2003/A1:2006 „Vėjo turbinų generatorių sistemos. 11 dalis. Akustinio triukšmo matavimo metodai“ [11].

Garso sklidimo silpimas oktavos dažnių juostoje decibelais koeficientas A apskaičiuojamas pagal formulę:

$$A = A_{div} + A_{atm} + A_{gr} + A_{bar} + A_{misc} \quad (11)$$

čia:

A_{div} – garso sklidimo silpimas dėl geometrinio atstumo, dB

A_{atm} – garso sklidimo silpimas dėl atmosferinės absorbcijos, dB

A_{gr} – garso sklidimo silpimas dėl žemės paviršiaus įtakos, dB

A_{bar} – garso sklidimo silpimas dėl užtvarų, dB

A_{misc} – garso sklidimo silpimas dėl įvairių kitų aplinkybių, dB.

Ekvivalentinis nuolatinis A svertinis garso slėgio lygis, esant pavėjinėms meteorologinėms sąlygoms, turi būti apskaičiuojamas, sudedant kiekvieno triukšmo šaltinio garso slėgio lygį kiekvienoje oktavos dažnių juostoje:

$$L_{AT}(DW) = 10 \times lg\left\{\sum_{i=1}^{n}\left[\sum_{j=1}^{8} 10^{0,1\times[L_{fT}(ij)+A_f(j)]}\right]\right\} \quad (12)$$

čia:

n – triukšmo šaltinių ir garso sklidimo kelių skaičius;

j – rodiklis, reiškiantis 8 standartizuotas oktavos dažnių juostas nuo 63 Hz iki 8 kHz;

A_f – standartizuota A sverties pataisa, dB.

Lentelė 2. Standartizuota A sverties pataisa.

Dažnis, Hz	**63**	**125**	**250**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**	**8000**
A sverties pataisa A_f, dB	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	+1,2	+1,0	-1,1

Ilgalaikis vidutinis A svertinis garso slėgio lygis $L_{AT}(LT)$ turėtų būti apskaičiuojamas pagal formulę:

$$L_{AT}(DW) = L_{AT}(DW) - c_{met} \quad (13)$$

čia c_{met} yra meteorologinė pataisa, dB.

Ekvivalentinis nuolatinis A svertinis garso slėgio lygis esant pavėjinėms meteorologinėms sąlygoms $L_{AT}(DW)$ gali būti taikomas siekiant įvertinti Lietuvos higienos normoje HN 33:2011 „Triukšmo ribiniai dydžiai gyvenamuosiuose ir visuomeninės paskirties pastatuose“ reglamentuojamus triukšmo ribinius dydžius.

Atitinkamais atvejais reikia įvertinti ilgalaikį vidutinį A svertinį garso slėgio lygį $L_{AT}(LT)$, kai triukšmo įvertinimo trukmė T (ilgalaikė trukmė) yra keli mėnesiai ar metai. Pavyzdžiui, pagal Aplinkos triukšmo direktyvos 2002/49/EB reikalavimus sudaromi strateginiai triukšmo žemėlapiai, taikant L_{dienos}, L_{vakaro} ir $L_{nakties}$ triukšmo rodiklius, kurių įvertinimo ilgalaikė trukmė yra vieni metai.

Ilgalaikės triukšmo įvertinimo trukmės metu triukšmo sklidimui gali pasireikšti tiek palankios, tiek nepalankios meteorologinės sąlygos.

Meteorologinė pataisa c_{met} gali būti apskaičiuota pagal formules:

$$c_{met} = 0, kai\ d_p \leq 10(h_s + h_r)$$

$$c_{met} = c_0\left[1 - 10\frac{h_s + h_r}{d_p}\right], kai\ d_p > 10(h_s + h_r)$$

čia:

h_s – garso šaltinio aukštis, m

h_r – garso įvertinimo taško aukštis, m

d_p – atstumas (projekcijos ant horizontalios žemės plokštumos) tarp garso šaltinio ir garso įvertinimo taško, m

c_0 – koeficientas, priklausantis nuo vietos meteorologinių oro sąlygų (vėjo greičio, krypties ir temperatūrų gradiento statistika), dB.

Meteorologinių sąlygų poveikis garso sklidimui yra nedidelis, kai atstumas d_p yra mažas. Didesniems atstumams kai dideli garso šaltinių ir įvertinimo taškų aukščiai meteorologinių sąlygų poveikis garso sklidimui taip pat yra nedidelis.

Koeficientas c_0 gali būti įvertintas, remiantis elementaria vietos meteorologinių sąlygų statistika. Pavyzdžiui, jei garso sklidimui palankios meteorologinės sąlygos pasireiškia 50 proc. įvertinimo laiko ir garso silpninimas kitais 50 proc. laikotarpiu yra 10 dB ar daugiau didesnis, tuomet galima neatsižvelgti į garso sklidimui nepalankiomis meteorologinėmis sąlygomis atsklindančią garso energiją, o c_0 yra apie +3 dB. Remiantis praktika, c_0 vertės yra nuo 0 iki +5 dB, 2 dB vertė viršijama išskirtiniais atvejais.

Garso sklidimo silpimas dėl geometrinio atstumo

Garso sklidimo silpimas decibelais dėl geometrinio atstumo sferiniam garso sklidimo atvejui laisvojo lauko sąlygomis nuo taškinio triukšmo šaltinio yra apskaičiuojamas pagal formulę:

$$A_{div} = 20 \times lg\frac{d}{d_0} + 11 \quad (14)$$

čia:

d – atstumas nuo triukšmo šaltinio iki įvertinimo taško, m

d_0 – etaloninis atstumas, 1 m.

Formulėje pateiktas koeficientas „11“ taikomas daugiakrypčiam (įvairiakrypčiam) sferiniam taškiniam garso šaltiniui. Pusiau sferinio garso sklidimo atveju taikomas koeficientas „8“.

Garso sklidimo silpimas dėl atmosferinės absorbcijos

Garso silpimo dėl atmosferos absorbcijos A_{atm} (decibelais) priklausomybė nuo atstumo d (metrais) apskaičiuojama pagal formulę:

$$A_{atm} = \frac{\alpha \times d}{1000} \quad (15)$$

Čia:

α – atmosferinio garso sklidimo slopinimo koeficientas, dB/km.

Lentelė 3. Atmosferinio garso sklidimo slopinimo koeficiento vertės.

Temperatūra °C	Santykinė drėgmė %	Atmosferinio garso sklidimo slopinimo koeficientas α, dB/km							
		Nominalus oktavos juostos vidurio dažnis, Hz							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
10	70	0,1	0,4	1,0	1,9	3,7	9,7	32,8	117
20	70	0,1	0,3	1,1	2,8	5,0	9,0	22,90	76,6
30	70	0,1	0,3	1,0	3,1	7,4	12,7	23,1	59,3
15	20	0,3	0,6	1,2	2,7	8,2	28,2	88,8	202
15	50	0,1	0,5	1,2	2,2	4,2	10,8	36,2	129
15	80	0,1	0,3	1,1	2,4	4,1	8,3	23,7	82,8

Garso sklidimo silpimas dėl žemės paviršiaus įtakos

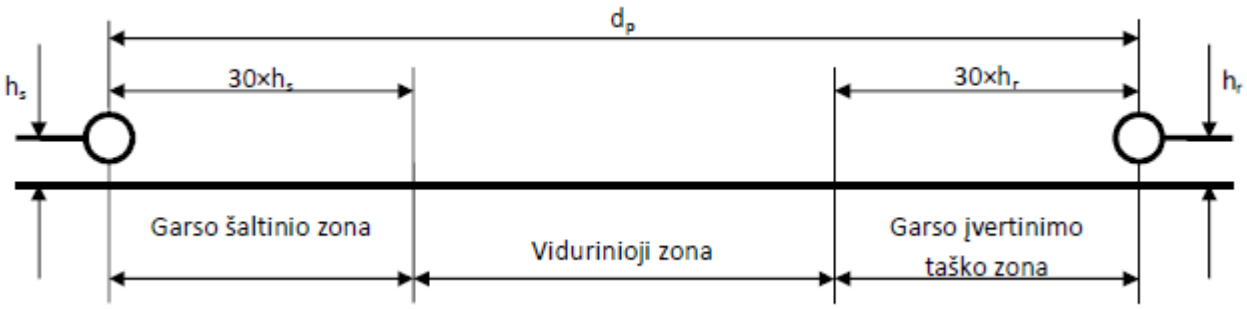
Garso sklidimo silpimas dėl žemės paviršiaus A_{gr} daugiausia priklauso nuo žemės paviršiaus atsispindėjusio garso interferencijos su tiesiogiai nuo garso šaltinio sklindančiomis garso bangomis. Pavėjinė garso sklidimo trajektorija lemia, kad garso sklidimo silpninimas dėl žemės paviršiaus pasireiškia šalia garso šaltinio ir šalia įvertinimo taško. ISO 9613-2 metodo žemės efekto apskaičiavimas taikomas tik apytikriai plokščio (horizontalaus ar su pastoviu nuolydžiu) žemės paviršiaus atvejais.

Nagrinėjami trys atskiri garso sklidimo silpimo dėl žemės paviršiaus įtakos zonos:

a) garso šaltinio zona nuo garso šaltinio link įvertinimo taško nutolusi $30\times h_s$ atstumu. Šis atstumas negali būti didesnis, nei atstumas nuo garso šaltinio iki garso įvertinimo taško d_p. h_s yra garso šaltinio aukštis;

b) įvertinimo taško zona nuo garso įvertinimo taško link garso šaltinio nutolusi $30\times h_r$ atstumu. Šis atstumas negali būti didesnis nei atstumas nuo garso šaltinio iki triukšmo įvertinimo taško d_p. h_r yra garso įvertinimo taško aukštis;

c) vidurinioji zona yra tarp garso šaltinio ir garso įvertinimo taško zonų. Jei d_p<(30×h_s+30×h_r), garso šaltinio ir garso įvertinimo taško zonos persidengs ir todėl neliks viduriniosios zonos.



Pav. 3. Trys skirtingos garso sklidimo silpimo dėl žemės paviršiaus įtakos zonos

Remiantis schema, garso sklidimo silpimas dėl žemės paviršiaus įtakos nepriklauso nuo viduriniosios zonos ilgio. Garso sklidimo silpimas labiausiai priklauso nuo garso šaltinio ir garso įvertinimo taško zonų žemės paviršiaus savybių.

Kiekvienos žemės paviršiaus zonos akustinės savybės išreiškiamos žemės veiksniu *G*. Toliau pateikiamos atspindinčių paviršių kategorijos:

a) kietas žemės paviršius. Grindinys, vanduo, ledas, betonas ir visi kiti žemės paviršiai, kurie yra mažai poringi. Kieto žemės paviršiaus G=0;

b) porėtas žemės paviršius. Žolė, medžiai, kita augmenija ir kiti žemės paviršiai, kurie tinka augalijai augti. Porėto žemės paviršiaus G=1;

c) mišrus žemės paviršius. Jei žemės paviršių sudaro ir kietas ir porėtas žemės paviršiaus dalys, *G* vertė gali būti nuo 0 iki 1 priklausomai nuo porėto žemės paviršiaus dalies.

Norint apskaičiuoti garso sklidimo silpninimą dėl žemės paviršiaus įtakos atitinkamai garso dažnių oktavos juostai, pirmiausia reikia apskaičiuoti: garso šaltinio zonos žemės paviršiaus garso sklidimo silpimo koeficientą A_s, atsižvelgiant į šios zonos žemės veiksnį G_s; garso įvertinimo taško zonos žemės paviršiaus garso sklidimo silpimo koeficientą A_r, atsižvelgiant į šios zonos žemės veiksnį G_r; viduriniosios zonos žemės paviršiaus garso sklidimo silpimo koeficientą A_m, atsižvelgiant į šios zonos žemės veiksnį G_m. Apskaičiuojama vadovaujantis Lentelės Nr. 4 formulėmis ar koeficientais. Bendrasis garso sklidimo silpimas dėl žemės paviršiaus apskaičiuojamas, sudedant visas tris dedamąsias:

$$A_{gr} = A_s + A_r + A_m \quad (16)$$

Lentelė 4. Vertės ir formulės, skirtos garso sklidimo silpimo dėl žemės paviršiaus įtakos koeficientams As, Ar ir Am oktavinių dažnių juostose apskaičiuoti.

Nominalus oktavos juostos vidurio dažnis, Hz	**A_s arba A_r [1)], dB**	**A_m, dB**
63	$-1,5$	$-3q$ [2)]
125	$-1,5 + G \times a'(h)$	$-3q(1 - G_m)$
250	$-1,5 + G \times b'(h)$	
500	$-1,5 + G \times c'(h)$	
1000	$-1,5 + G \times d'(h)$	
2000	$-1,5(1 - G)$	
4000	$-1,5(1 - G)$	
8000	$-1,5(1 - G)$	

$$a'(h) = 1,5 + 3,0 \times e^{-0,12(h-5)^2}\left(1 - e^{-d_p/50}\right) + 5,7 \times e^{-0,09h^2}\left(1 - e^{-2,8\times10^{-6}\times {d_p}^2}\right)$$

$$b'(h) = 1,5 + 8,6 \times e^{-0,09h^2}\left(1 - e^{-d_p/50}\right)$$

$$c'(h) = 1,5 + 14,0 \times e^{-0,46h^2}\left(1 - e^{-d_p/50}\right)$$

$$d'(h) = 1,5 + 5,0 \times e^{-0,9h^2}\left(1 - e^{-d_p/50}\right)$$

1) **Skaičiuojant A_s, $G = G_s$ ir $h = h_s$. Skaičiuojant A_r, $G = G_r$ ir $h = h_r$.**

2)

$q = 0, kai\ d_p \leq 30(h_s + h_r)$

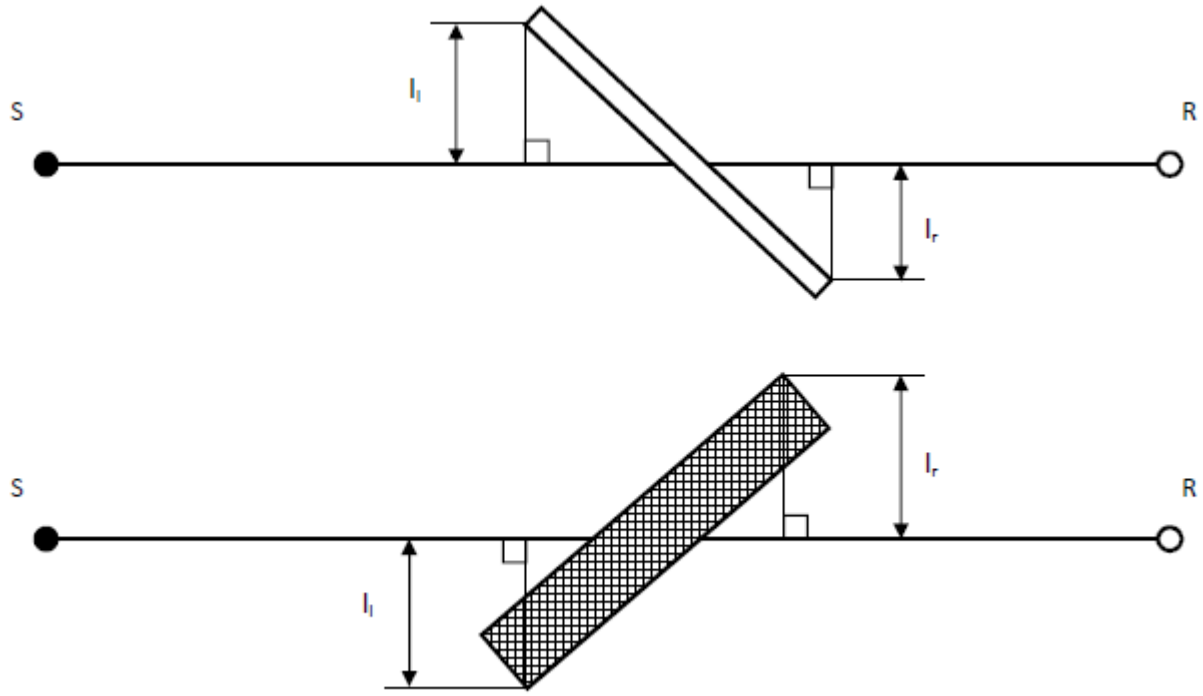
$q = 1 - 30\frac{h_s + h_r}{d_p}, kai\ d_p > 30(h_s + h_r)$

Čia d_p yra atstumo tarp garso šaltino ir garso įvertinimo taško projekcijos žemės paviršiuje ilgis, m.

Garso sklidimas per užtvaras

Garso sklidimo kelyje esantys objektai gali būti laikomi užtvaromis, jei atitinka šiuos reikalavimus:

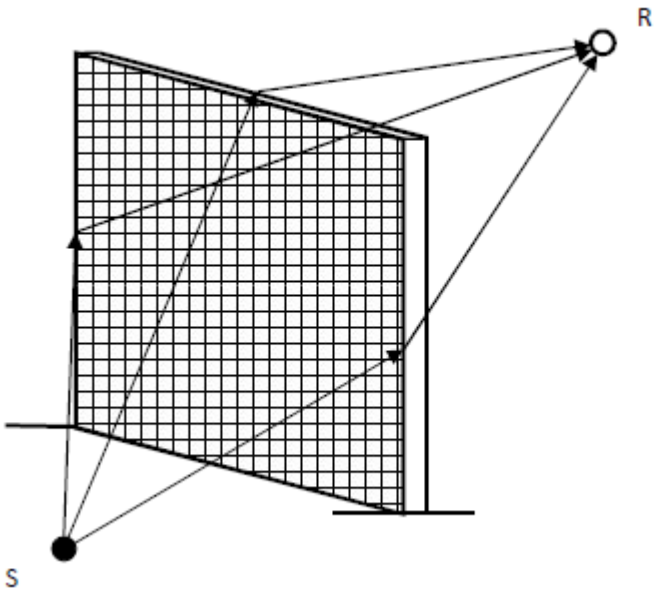
- paviršiaus tankis yra ne mažesnis nei 10 kg/m2;
- objekto paviršius yra vientisas – be didesnių įtrūkimų ar plyšių;
- horizontalus objekto matmuo, statmenas linijai garso šaltinis–įvertinimo taškas, yra ilgesnis nei garso bangos ilgis ties nominaliu oktavos juostos vidurio dažniu. T.y. $l_l+l_r>l$, kaip pavaizduota Pav. Nr. 4.



Pav. 4. Triukšmo užtvaros horizontalaus matmens apskaičiavimo pavyzdžiai

Kiekvienas objektas, atitinkantis aukščiau išvardintus reikalavimus, turėtų būti laikomas kaip užtvara su vertikaliais kampais. Viršutinis užtvaros kampas yra tiesi linija, kuri gali būti nuožulni.

Gali būti svarbi difrakcija, garso bangoms sklindant tiek virš viršutinės užtvaros briaunos, tiek ir apie šonines briaunas.



Pav. 5 Įvairūs garso sklidimo keliai apie užtvarą

Pavėjinio garso sklidimo atveju garso bangoms sklindant virš viršutinės užtvaros briaunos, difrakcijos poveikis (decibelais) gali būti apskaičiuojamas pagal formulę:

$$A_{bar} = D_z - A_{gr} > 0$$

Difrakcija garso bangoms sklindant apie šonines užtvaros briaunas yra lygi:

$$A_{bar} = D_z > 0$$

čia:

D_z – užtvaros garso sklidimo silpimas kiekvienai oktavos juostai;

A_{gr} – garso sklidimo silpimas dėl žemės paviršiaus įtakos jei nebūtų užtvaros.

Skaičiuojant užtvaros garso sklidimo silpimą tariama, kad egzistuoja tik vienas žymus garso sklidimo nuo garso šaltinio iki įvertinimo taško kelias. Jei ši prielaida yra neteisinga, skaičiuojami kitų garso sklidimo kelių atvejai.

Užtvaros garso sklidimo silpninimas D_z, decibelais, apskaičiuojamas pagal formulę:

$$D_z = 10lg\left[3 + \frac{C_2}{\lambda} C_3 z \kappa_{met}\right] \quad (17)$$

čia:

C_2 – lygus 20 ir apima atspindžių nuo žemės paviršiaus efektą. Specialiais atvejais atskirai imami atspindinčių šaltinių garso atspindžiai nuo žemės. Tada C_2 lygus 40;

C_3 – lygus 1, jei yra pavienė difrakcija. Jei vertinama dviguba difrakcija:

$$C_3 = \left[1 + \left(5\frac{\lambda}{e}\right)^2\right] \Big/ \left[\frac{1}{3} + \left(5\frac{\lambda}{e}\right)^2\right] \quad (18)$$

Čia:

λ – nominalios oktavos juostos vidurio dažnio garso bangos ilgis, m

z – sklindančio su difrakcija ir tiesiogiai sklindančio garso kelių skirtumas, m

κ_{met}– meteorologinio efekto koeficientas;

e – atstumas tarp dviejų difrakcijos kampų dvigubos difrakcijos atvejais.

Viengubos difrakcijos atveju, garso sklidimo kelių skirtumas z galėtų būti apskaičiuojamas pagal formulę:

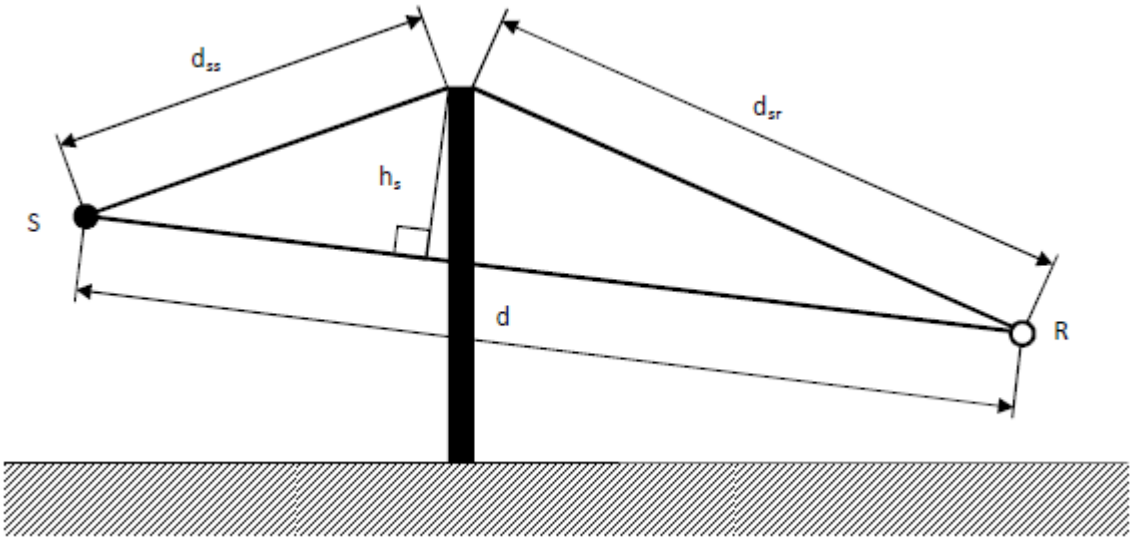
$$z = [(d_{ss} + d_{sr})^2 + a^2]^{1/2} - d$$

čia:

d_{ss} – atstumas nuo garso šaltinio iki (pirmo) difrakcijos kampo, m

d_{sr} – atstumas nuo (antro) difrakcijos kampo iki įvertinimo taško, m

a – sudedamoji dalis atstumo, lygiagretaus užtvaros kampams tarp garso šaltinio ir įvertinimo taško, m.



Pav. 6 Viengubos difrakcijos garso sklidimo kelių geometrinis modelis

Jei garso šaltinį ir įvertinimo tašką jungianti linija praeina per užtvaros viršūnę, *z* vertė yra neigiama.

Dvigubos difrakcijos atveju, garso sklidimo kelio skirtumas *z* turėtų būti apskaičiuojamas pagal formulę:

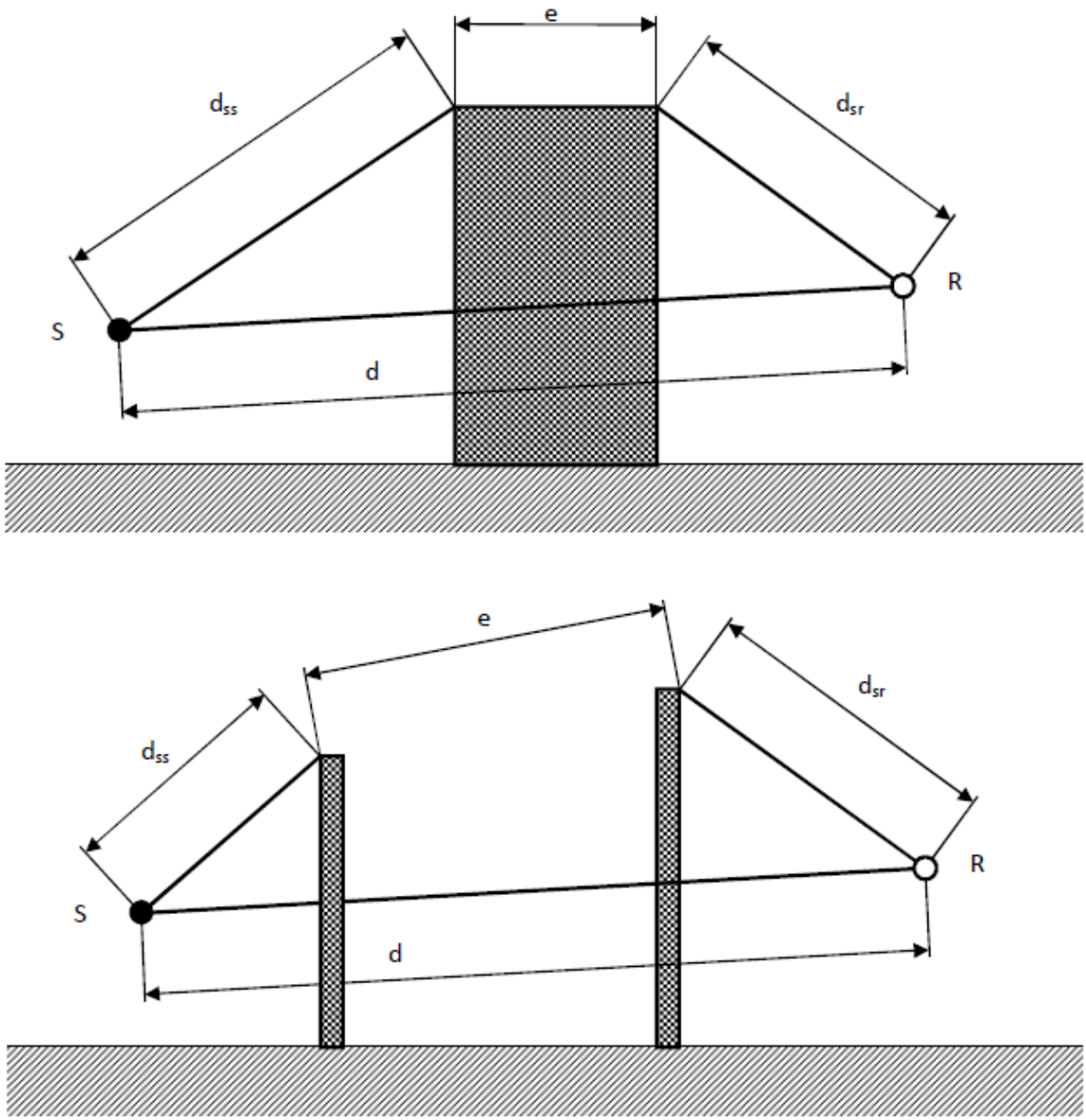
$$z = [(d_{ss} + d_{sr} + e)^2 + a^2]^{1/2} - d$$

Meteorologinio efekto koeficientas turėtų būti apskaičiuota pagal formulę:

$$\kappa_{met} = exp\left[-\frac{1}{2000}\sqrt{\frac{d_{ss} \times d_{sr} \times d}{2 \times z}}\right], kai\ z > 0$$

$$\kappa_{met} = 1, kai\ z \leq 0$$

Šoninės difrakcijos apie užtvaras atveju turi būti laikoma, kad κ_{met} = 1. Jei atstumas tarp garso šaltinio ir įvertinimo taško yra mažiau nei 100 metrų, κ_{met} koeficientui gali būti suteikiama 1 reikšmė. Taikant šią prielaidą gaunama 1 dB paklaida.



Pav. 7 Dvigubos difrakcijos garso sklidimo kelio geometriniai modeliai

Realiomis sąlygomis triukšmo užtvara gali būti mažiau efektyvi nei apskaičiuota dėl atspindžių nuo kitų šalia garso sklidimo kelio esančių akustikai kietų paviršių arba dėl daugkartinių atspindžių tarp akustikai kietos triukšmo užtvaros ir garso šaltinio.

Viengubos difrakcijos atvejais užtvaros garso sklidimo silpimas D_z bet kurioje oktavos juostoje neturėtų būti didesnis nei 20 dB. Dvigubos difrakcijos atvejais D_z neturėtų būti didesnis nei 25 dB.

Atspindžiai

Atspindžių įtaka nagrinėjama, taikant veidrodinio garso šaltinio sąvoką. Tokie atspindžiai pasireiškia dėl lauke esančių statinių lubų, daugiau ar mažiau vertikalių paviršių, tokių kaip pastatų fasadai. Tokie objektai gali padidinti garso slėgio lygį įvertinimo vietoje. Šioje dalyje atspindžiai nuo žemės paviršiaus nenagrinėjami, nes jau įtraukti vertinant garso silpimą dėl žemės įtakos (A_{gr}).

Atspindžiai nuo garso sklidimo kliūčių turėtų būti apskaičiuoti visoms oktavos juostoms, jei tenkinami visi reikalavimai:

- veidrodinis atspindys gali būti sumodeliuotas kaip pavaizduota pav. 8;
- garso sklidimo kliūties paviršiaus garso atspindžių koeficientas yra didesnis nei 0,2;
- garsą atspindintis paviršius yra pakankamai didelis, atsižvelgiant į nominalų oktavos vidurio dažnio garso bangos ilgį (metrais) tam kad neišvengti sąryšio:

$$1/\lambda > [2/(l_{min}\cos\beta)^2]\left[d_{s,o}d_{o,r}/d_{s,o} + d_{o,r}\right],$$

λ – garso bangos ilgis, metrais, nominaliame oktavos vidurio dažnyje f, hercais:

$d_{s,o}$ – atstumas tarp garso šaltinio ir kliūties atspindėjimo taško;

$d_{o,r}$ – atstumas tarp kliūties atspindėjimo ir garso įvertinimo taško;

β – garso bangos kritimo kampas radianais;

l_{min} – atspindinčiojo paviršiaus mažiausias matmuo (ilgis ar aukštis).

Jei kažkuri iš aukščiau išvardintų sąlygų atitinkamai oktavos juostai netenkinama – atspindžiai neturėtų būti vertinami.

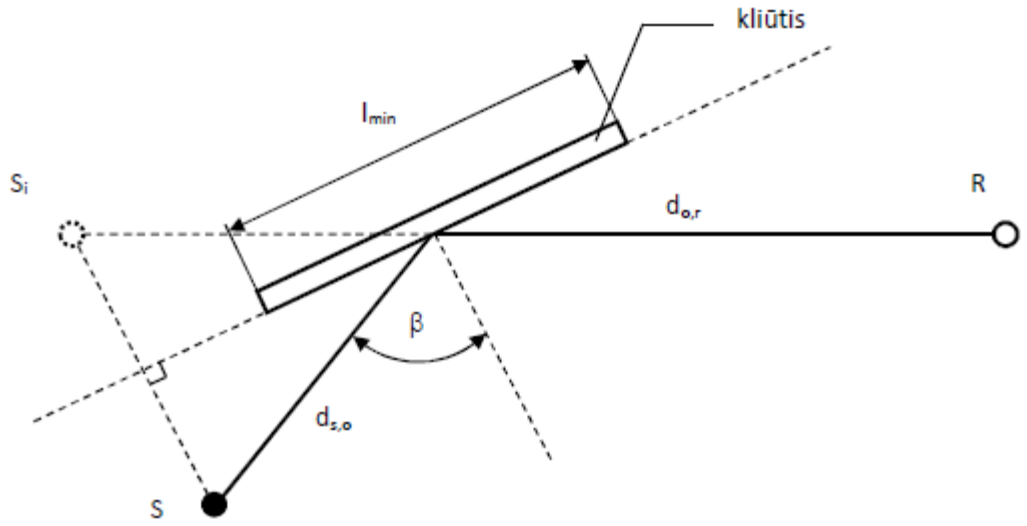
Atliekami atskiri garso šaltinio ir veidrodinio garso šaltinio skaičiavimai. Veidrodinio garso šaltinio garso galingumo lygis L_W, ir turėtų būti apskaičiuojamas pagal formulę:

$$L_{W,im} = L_W + 10\lg(\rho)dB + D_{Ir}$$

čia:

ρ – kliūties paviršiaus garso atspindžių koeficientas esant β kampui ($\rho \geq 0{,}2$);

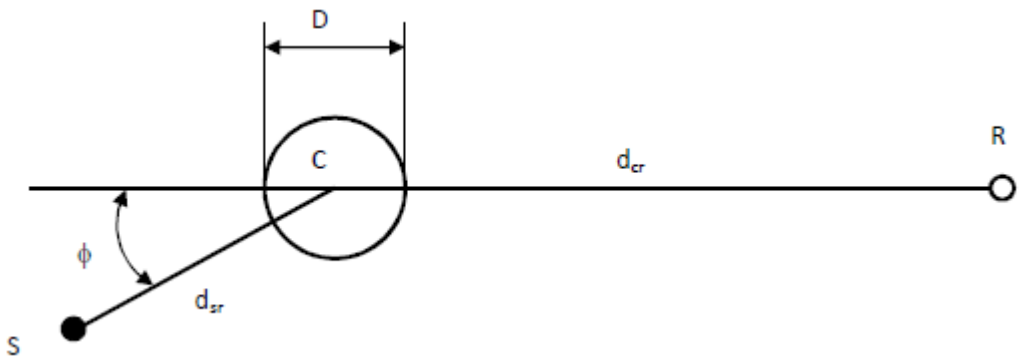
D_{Ir} – garso šaltinio kryptingumo indeksas kryptimi link veidrodinio įvertinimo taško.



Pav. 8. Garso sklidimo kliūties atspindžių schema

Lentelė 5. Garso atspindžių koeficientas

Objektas	ρ
Plokščios kietos sienos	1
Pastatų sienos su langais ir mažais kyšančiais elementais ar nišomis	0,8
Gamyklų sienos, kurių 50 proc. paviršiaus sudaro angos, įrenginiai ar vamzdži1ai	0,4
Cilindrai su kietu paviršiumi (cisternos, siloso bokštai)	$\frac{Dsin(\varphi/2)^{*)}}{2 \times d_{sc}}$ čia: D – cilindro diametras; d_{sc} – atstumas tarp garso šaltinio ir cilindro centro C; φ – papildomasis kampas, kampo tarp linijos SC ir linijos CR
Atviri įrenginiai (vamzdynai, bokštai ir pan.)	0
*) ši formulė taikoma atvejais, kai atstumas d_{sc} nuo garso šaltinio S iki cilindro C yra daug mažesnis nei atstumas d_{cr} tarp cilindro ir įvertinimo taško, kaip pavaizduota pav. 9	



Pav. 9. Garso atspindžių koeficiento cilindriniam paviršiui įvertinimo schema

Metodo tikslumas ir apribojimai

Garso sklidimo lauke silpimas kinta dėl garso sklidimo kelyje esančių meteorologinių sąlygų pokyčių. Atsižvelgiant į tai, kad nagrinėjamos tik vidutinės pavėjinės garso sklidimo sąlygos, meteorologinių sąlygų pokyčių poveikio garso sklidimui poveikis apribojamas iki priimtinų verčių.

Lentelė 6. Ekvivalentinio nuolatinio A svertinio garso slėgio lygio, esant pavėjinėms meteorologinėms garso sklidimo sąlygoms, $L_{AT}(DW)$ skaičiavimo tikslumas.

Aukštis, h	**Atstumas, d**	
	0<d<100m	**100 m<d<1000 m**
0<h<5 m	±3 dB	±3 dB
5m<h<30 m	±1 dB	±3 dB
h – vidutinis garso šaltinio ir įvertinimo taško aukštis d – atstumas tarp garso šaltinio ir įvertinimo taško		
Pastaba. Šie įvertinimai atlikti situacijose, kai nėra jokių atspindžių ar garso silpninimo dėl užtvarų		

Kauno Gelžbetonio gamyklos akustinio triukšmo modeliavimas

Šioje darbo dalyje aptarsime UAB „Kauno gelžbetonis“ akustinio triukšmo sklaidos įvertinimą. Modeliuojant akustinio triukšmo sklaidą, buvo panaudota IMMI 2011-1 programa. Skaičiuojant triukšmą, buvo priimtos šios programoje naudojamos standartinės sąlygos: oro temperatūra – +10 ºC, santykinis drėgnumas – 70 %. Skaičiavimas buvo atliktas 1,5 m aukštyje (aukštis taikomas pramoniniams objektams vertinti). Kaip plotiniai triukšmo šaltiniai įvertinti šie teritorijoje esantys gamybiniai pastatai: mechaninis cechas (metalo konstrukcijų) formavimo cechas, armatūros cechas ir kompresorinė, kiti pastatai įvertinti kaip barjerai triukšmo kelyje. Modeliavimo teritorijos dydis 0,53 km^2, modeliavimo tinklelio celės dydis 1x1 m, triukšmo sklaidos žingsnio dydis 5 dBA, koordinačių sistema LKS-94.

IMMI 2011-1 programa sudarant prognozes naudojo skaičiavimo standartus: pramoninės veiklos triukšmui: Lietuvos standartas LST ISO 9613-2:2004 „Akustika. Atviroje erdvėje sklindančio garso silpninimas. 2 dalis. Bendrasis skaičiavimo metodas“ (tapatus ISO 9613-2:1996) Aukščiau minėtas standartas nurodytas Lietuvos higienos normos HN 33:2011, 18.1 punkte.

Plotinių triukšmo šaltinių viduje esantys įrenginiai ir jų keliamas triukšmas pateikiamas lentelėje 7. Remiantis šiais duomenimis, panaudojant IMMI programos skaičiuoklę Sabine buvo suskaičiuoti triukšmo lygiai kiekviename iš cechų. Lentelėse Nr. 8, 9, 10, 11 pateikiami apskaičiuoti atitinkamai mechaniniame (metalo konstrukcijų) ceche, gaminių formavimo ceche, armatūros ceche ir kompresorinėje.

Lentelė 7. Įrangos skleidžiami triukšmo lygiai (IMMI programos Sabine skaičiuoklėje įvesti duomenys).

Patalpų ir įrenginių pavadinimas	Vieno įrenginio triukšmo lygis (ekvivalentinis garso slėgio lygis) pagal matavimo duomenis, dBA	Darbo laikas
Betono ir skiedinio cechas. Kalkių ir smėlio mišinio gamybos baras, prie valdymo pulto.	75,8	7:00-15:30
Mechanikos cechas. Prie karuselinių tekinimo staklių.	79,4	7:00-15:30
Mechanikos cechas. Prie lakšto kirpimo žirklių.	79,4	7:00-15:30
Mechanikos cechas. Metalo konstrukcijų surinkimo, formų remonto ir gamybos postas.	79,4	7:00-15:30
Mechanikos cechas. Prie valcavimo staklių.	79,4	7:00-15:30

Mechanikos cechas. Tekinimo baras, prie tekinimo staklių.	72,5	7:00-15:30
Mechanikos cechas. Tekinimo baras. Prie vertikalių drožimo staklių.	72,5	7:00-15:30
Mechanikos cechas. Tekinimo baras. Prie frezavimo staklių.	82,5	7:00-15:30
Mechanikos cechas. Tekinimo baras. Prie horizontalių šlifavimo staklių.	82,5	7:00-15:30
Formavimo cechas. Trinkelių gamybos baras. Automatinė technologinė linija RH-2000 VA.	86,4	7:00-15:30
Formavimo cechas. Tvorų elementų gamybos baras.	81,4	7:00-15:30
Formavimo cechas. Tvorų elementų gamybos baras. Gamybos baro zona.	84,5	7:00-15:30
Formavimo cechas. Tuščiavidurių plokščių gamybos baras. Prie valdymo pulto.	98,9	7:00-15:30
Formavimo cechas. „Magic 1500“ žiedų gamybos baras. Prie MAGIC-1501 automatizuoto įrenginio valdymo pulto.	75,3	7:00-15:30
Armatūros cechas. Šiltoji cecho dalis. Prie vielos lyginimo – kirpimo staklių.	75,3	7:00-15:30
Armatūros cechas. Šiltoji cecho dalis. Prie daugiakontaktinio suvirinimo staklių.	84,7	7:00-15:30
Armatūros cechas. Šiltoji ir tarpinė cecho dalys. Prie kontaktinio suvirinimo staklių.	84,7	7:00-15:30
Armatūros cechas. Šiltoji cecho dalis. Prie armatūros kirpimo staklių.	84,7	7:00-15:30
Armatūros cechas. Šiltoji ir tarpinė cecho dalys. Prie lenkimo staklių.	84,7	7:00-15:30
Armatūros cechas. Prie bėginio produkcijos transportavimo vežimėlio valdymo pulto.	84,7	7:00-15:30
Armatūros cechas. Šaltoji cecho dalis. Prie EVG automato valdymo pulto.	69,1	7:00-15:30
Armatūros cechas. Šaltoji cecho dalis. Prie armatūros kirpimo staklių.	69,1	7:00-15:30
Armatūros cechas. Šaltoji cecho dalis. Suvirinimo postas.	72,5	7:00-15:30
Armatūros cechas. Šaltoji cecho dalis. Prie lyginimo-kirpimo pusautomačio.	72,5	7:00-15:30
Armatūros cechas. Šaltoji cecho dalis. Prie armatūros laikinų šankerių suformavimo mašinos.	72,5	7:00-15:30
Armatūros cechas. Šaltoji cecho dalis. Prie sandūrinio suvirinimo įrenginio.	69,1	7:00-15:30
Armatūros cechas. Prie traktoriaus T40/T40 AM kraunančio armatūrą.	84,3 kabinoje, išorėje 89,3	7:00-15:30
Kompresorinė Kaeser kompresorius CSD 122/8 75 kW (pagrindinis).	74	7:00-15:30

Kompresorinė Kaeser kompresorius CSDX 162/8 90 kW (rezervinis).	73	7:00-15:30
Kompresorinė Kaeser kompresorius DSD 201/8 110 kW (rezervinis).	70	7:00-15:30

Lentelė 8. Triukšmą skleidžiančios gamybinės įrangos vertinimas mechaniniame (metalo konstrukcijų) ceche.

Vertintos veiklos sąlygos gaminių formavimo pastate	Apskaičiuotas triukšmo lygis, (dBA)
Veikiant gamybinėse patalpose visiems triukšmo šaltiniams pilnu režimu (suminis efektas skaičiuojant blogiausią įmanomą variantą), gamybinių patalpų viduje. Skaičiavimams panaudota IMMI programos Sabine skaičiuoklė.	88,7
Veikiant gamybinėse patalpose visiems triukšmo šaltiniams pilnu režimu bei įvertinus ekvivalentinį vidaus patalpų absorbcijos efektą −21,8 dB(A). Skaičiavimams panaudota IMMI programos Sabine skaičiuoklė (projektuojamo pastato plotas 6744 m^2, pastato tūris 90336 m^3).	66,9
Oro garso izoliavimo rodiklis Rw 56 dB, įvertinus įmonės techniniame projekte nurodytas statybines medžiagas (250 mm storis iš silikatinių blokų mūro) ir jų charakteristikas.	10,9

Lentelė 9. Triukšmą skleidžiančios gamybinės įrangos vertinimas formavimo ceche.

Vertintos veiklos sąlygos gaminių formavimo pastate	Apskaičiuotas triukšmo lygis (dBA)
Veikiant gamybinėse patalpose visiems triukšmo šaltiniams pilnu režimu (suminis efektas skaičiuojant blogiausią įmanomą variantą), gamybinių patalpų viduje. Skaičiavimams panaudota IMMI programos Sabine skaičiuoklė.	99,4
Veikiant gamybinėse patalpose visiems triukšmo šaltiniams pilnu režimu bei įvertinus ekvivalentinį vidaus patalpų absorbcijos efektą −19,1 dB(A). Skaičiavimams panaudota IMMI programos Sabine skaičiuoklė (projektuojamo pastato plotas 3580 m^2, pastato tūris 43541 m^3).	80,3
Oro garso izoliavimo rodiklis Rw 56 dB, įvertinus įmonės techniniame projekte nurodytas statybines medžiagas (250 mm storis iš silikatinių blokų mūro) ir jų charakteristikas.	24,3

Lentelė 10. Triukšmą skleidžiančios gamybinės įrangos vertinimas armatūros ceche.

Vertintos veiklos sąlygos gaminių formavimo pastate	Apskaičiuotas triukšmo lygis (dBA)
Veikiant gamybinėse patalpose visiems triukšmo šaltiniams pilnu režimu (suminis efektas skaičiuojant blogiausią įmanomą variantą), gamybinių patalpų viduje. Skaičiavimams panaudota IMMI programos Sabine skaičiuoklė.	93,9
Veikiant gamybinėse patalpose visiems triukšmo šaltiniams pilnu režimu bei įvertinus ekvivalentinį vidaus patalpų absorbcijos efektą −15,6 dB(A). Skaičiavimams panaudota IMMI programos Sabine skaičiuoklė (projektuojamo pastato plotas 1420 m^2, pastato tūris 13190 m^3).	78,3
Oro garso izoliavimo rodiklis Rw 56 dB, įvertinus įmonės techniniame projekte nurodytas statybines medžiagas (250 mm storis iš silikatinių blokų mūro) ir jų charakteristikas.	22,3

Lentelė 11. Triukšmą skleidžiančios gamybinės įrangos vertinimas kompresorinėje.

Vertintos veiklos sąlygos gaminių formavimo pastate	Apskaičiuotas triukšmo lygis (dBA)
Veikiant gamybinėse patalpose dviems kompresoriams pilnu režimu (suminis efektas), gamybinių patalpų viduje. Skaičiavimams panaudota IMMI programos Sabine skaičiuoklė.	77,0
Veikiant gamybinėse patalpose visiems triukšmo šaltiniams pilnu režimu bei įvertinus ekvivalentinį vidaus patalpų absorbcijos efektą −14,3 dB(A). Skaičiavimams panaudota IMMI programos Sabine skaičiuoklė (projektuojamo pastato plotas 39344 m^2, pastato tūris 3097 m^3).	62,7
Oro garso izoliavimo rodiklis Rw 56 dB, įvertinus įmonės techniniame projekte nurodytas statybines medžiagas (250 mm storis iš silikatinių blokų mūro) ir jų charakteristikas.	6,7

Gamybinėse patalpose visiems triukšmo šaltiniams veikiant pilnu režimu ir įvertinus vidaus patalpų triukšmo absorbcijos efektus ir pastatų oro garso izoliavimo rodiklius iš gamybinių pastatų sklistų tokio stiprumo triukšmas: iš mechaninio cecho (metalo konstrukcijų) – 10,9 dBA, iš formavimo cecho – 24,3 dBA, iš armatūros cecho – 22,3 dBA ir iš kompresorinės – 6,7 dBA. Aukščiau minėti duomenys IMMI programoje naudoti, įvertinant iš plotinių triukšmo šaltinių sklindantį triukšmą. Stalių cechas, vamzdžių cechas, betono ir skiedinio cechas įtraukti ne kaip plotiniai triukšmo šaltiniai, o kaip pastatai

barjerai triukšmo kelyje dėl gero garso izoliavimo, mažo intensyvumo darbų šiose cechuose, nedidelio kiekio triukšmą skleidžiančios įrangos bei didelės patalpų ploto ir erdvės.

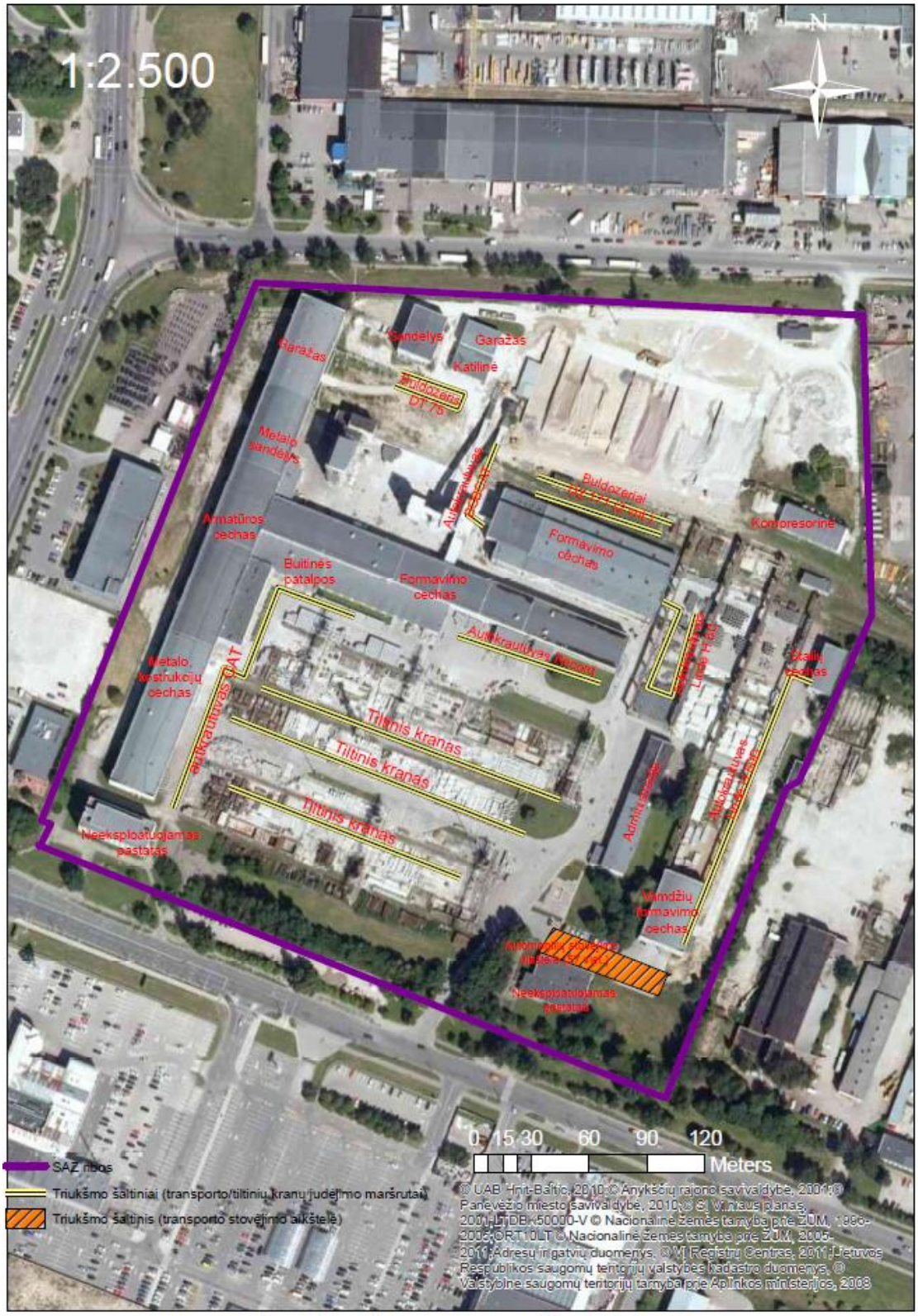
IMMI programoje garso silpimas apskaičiuojamas pagal LST ISO 9613-2:2004 „Akustika. Atviroje erdvėje sklindančio garso silpninimas. 2 dalis. Bendrasis skaičiavimo metodas“ (tapatus ISO 9613-2:1996) pateiktą formulę. $A_{div} = 20 \lg \frac{d}{d_0} + 8,\ dB$

kur d – atstumas tarp triukšmo šaltinio ir vertinamojo taško (metrais), d_0 – atskaitos atstumas (d_0=1 m). Formulėje (1) koeficientas 8 taikomas pusiau sferinio garso sklidimo atveju.

Papildomai IMMI modelyje buvo įvertintas transporto judėjimas pagal numatomus maršrutus ir esamas stovėjimo vietas. Kaip linijiniai triukšmo šaltiniai vertinti traktorius DT 75 (77,62 m sąlyginis judėjimo maršrutas, darbo laikas 4 val.), kurio triukšmas kabinoje 84,3 dB(A), o išorėje, įvedus +5 dBA korekcijos koeficientą 89,3 dBA; buldozeris pirmas DZ 171 (73,68 m sąlyginis judėjimo maršrutas, darbo laikas 12 val.), buldozeris antras DZ 171 (68,35 m sąlyginis judėjimo maršrutas, darbo laikas 4 val.) kurių triukšmas kabinoje 79,8 dB(A), o išorėje, įvedus +5 dBA korekcijos koeficientą 84,8 dBA, autokrautuvai Bobcat 250 (49,34 m sąlyginis judėjimo maršrutas, darbo laikas 9,5 val.), CAT 35 (179,68 m sąlyginis judėjimo maršrutas, darbo laikas 9,5 val.), Record (77,91 m sąlyginis judėjimo maršrutas, darbo laikas 9,5 val.), Lindie H50D/600 (162,57 m sąlyginis judėjimo maršrutas, darbo laikas 9,5 val.), Lindie H60 (111,07 m sąlyginis judėjimo maršrutas, darbo laikas 9,5 val.) 77 dBA, o išorėje įvedus +5 dBA korekcijos koeficientą 82 dBA. Tiltiniai kranai vertinti kaip linijiniai šaltiniai (165,16 m, 163,88 m. ir 128,73 m. sąlyginiai judėjimo maršrutai, darbo laikas 7 val., aukštis iki 10 m) vienu metu įprastiniu režimu veikia trys, triukšmas kabinoje 71,9 dBA, o išorėje įvedus +5 dBA korekcijos koeficientą 76,9 dBA (darbo laikas 7 val.). IMMI modelyje vertinta nepalankiausias įmanomas variantas, kad vienu metu dirba visos transporto priemonės ir trys tiltiniai kranai.

Dar netoli administracinio pastato yra darbuotojų ir įmonės svečių automobilių stovėjimo aikštelė: 57 vietos (50 darbuotojams ir 7 įmonės svečiams). Stovėjimo aikštelės triukšmo vertinimui papildomai naudota IMMI programoje esanti Vokietijos metodika „Parking Area Noise - Recommendations for the Calculation of Sound Emissions of Parking Areas, Motorcar Centers and Bus Stations as well as of Multi-Storey Car Parks and Underground Car Parks, 2007“. Vertinta darant prielaidą, kad aiktšelėje sklis 54,8 dBA dienos vidutinis triukšmo lygis. Buvo panaudota aikštelės išdėstymo schema pagal įmonės pateiktą brėžinį. Paveiksle Nr. 10 pateikiamas pastatų – plotinių triukšmo šaltinių ir transporto bei tiltinių kranų – linijinių triukšmo šaltinių žemėlapis.

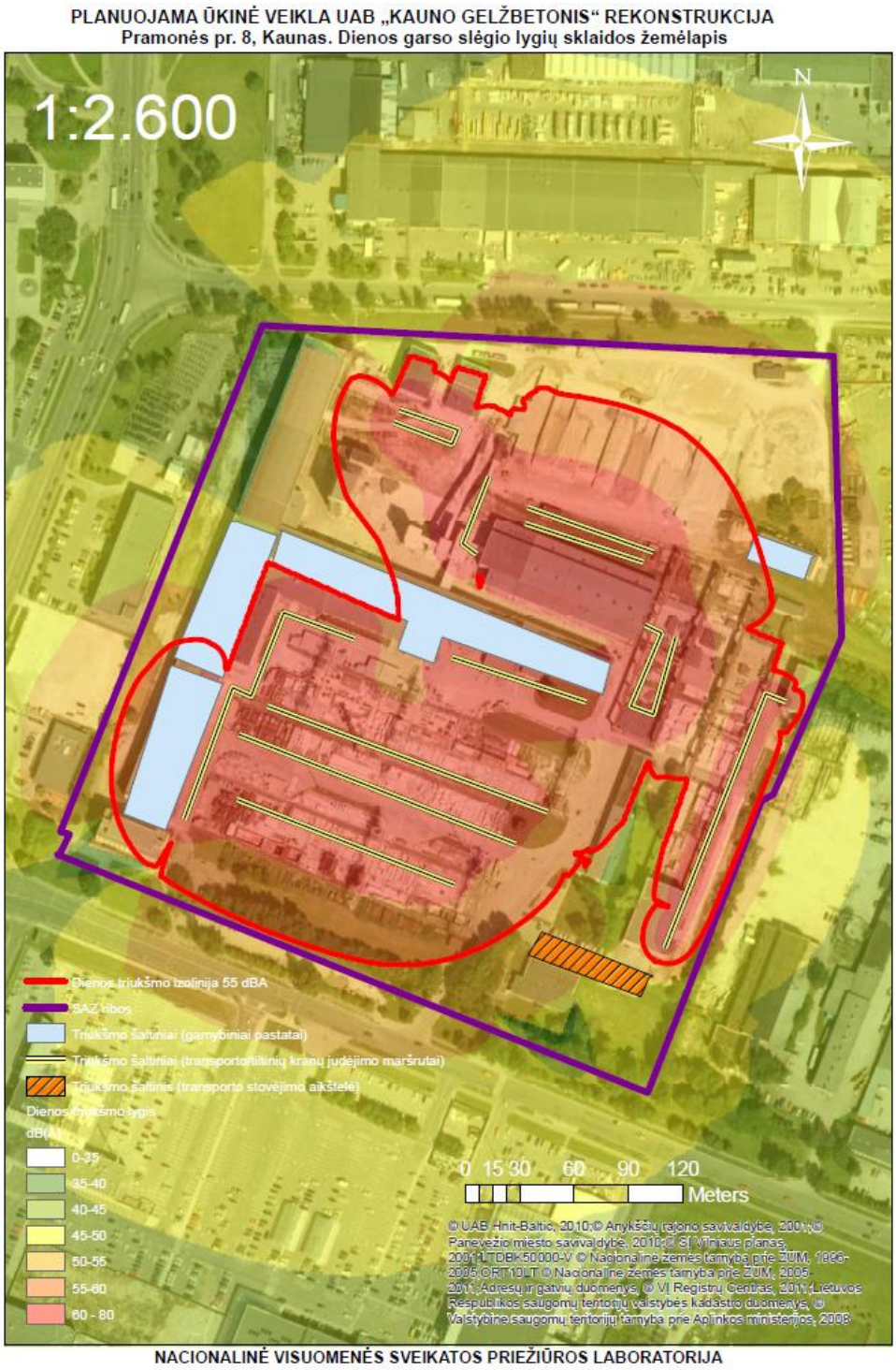
PLANUOJAMA ŪKINĖ VEIKLA UAB „KAUNO GELŽBETONIS“ MODERNIZACIJA
Pramonės pr. 8, Kaunas. Žemėlapis su pagrindiniais pastatais ir triukšmo šaltiniais



NACIONALINĖ VISUOMENĖS SVEIKATOS PRIEŽIŪROS LABORATORIJA

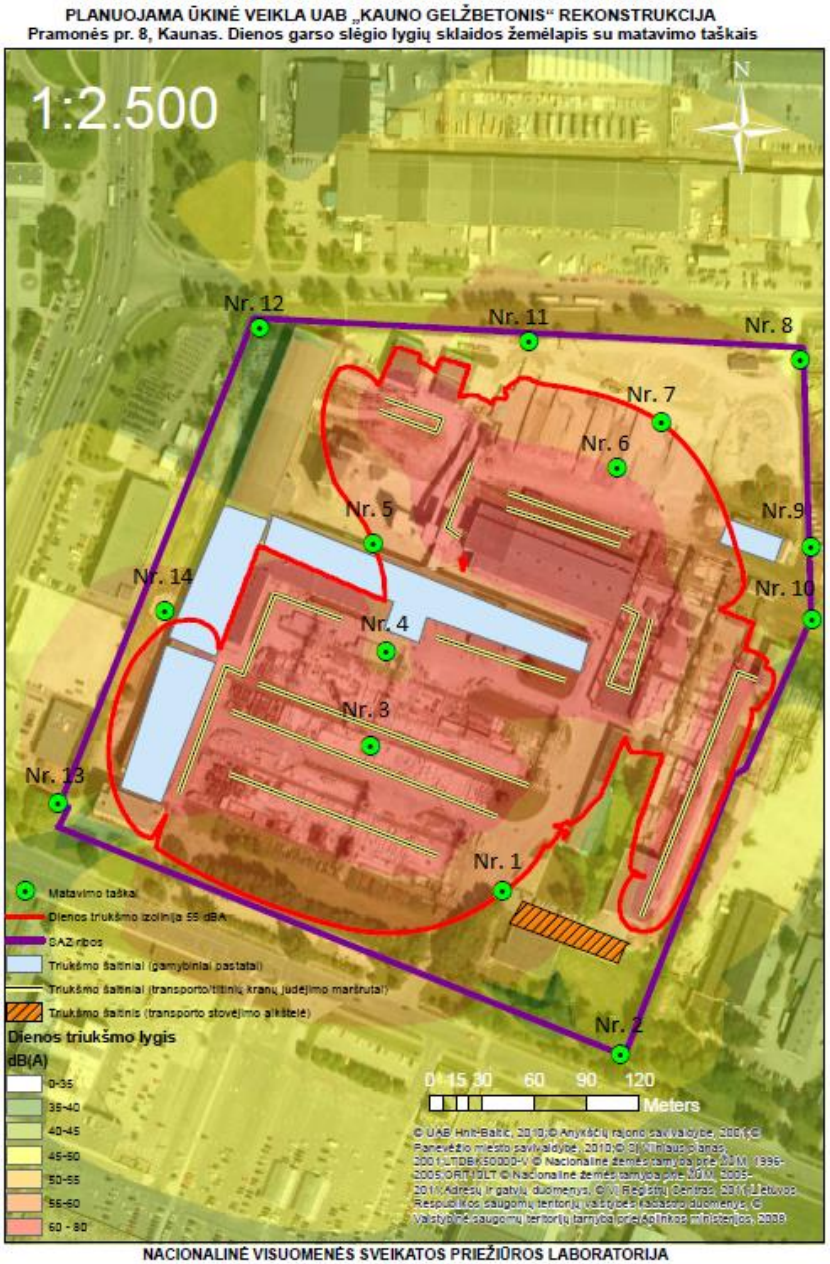
Pav. 10. Plotiniai ir linijiniai triukšmo šaltiniai.

Sumodeliuoto akustinio triukšmo sklaidos žemėlapio duomenys buvo perkelti į ArcGIS programinę įrangą ir kartu su palydoviniu žemėlapiu sujungta į bendrą triukšmo sklaidos ir įmonės teritorijos žemėlapį, kuris pateikiamas pav. 11. Pagal jį matyti, kad leistino 55 dBA dienos triukšmo izolinija yra sanitarinės apsaugos zonos ribose ir sutampa su įmonės sklypo teritorija.



Pav. 11. UAB „Kauno Gelžbetonis“ dienos garso slėgio lygių sklaidos žemėlapis.

Baigus triukšmo sklaidos modeliavimą, buvo išrinkti 14 galimų matavimo taškų, kuriuose pagal modelį buvo įvertinti triukšmo lygiai. Pusė taškų (7 taškai) yra gamyklos teritorijos ribų perimetre. Šie taškai yra aktualiausi, kadangi jie parodo triukšmą, sklindantį iš įmonės teritorijos ir svarbūs, nustatant sanitarinę apsaugos zoną. Likę taškai parinkti įvairiose teritorijos vietose ant izolinijų, bei šalia įvairių gamybinių pastatų, šalia transporto aikštelės ir tarp tiltinių kranų. Matavimo taškai pavaizduoti pav. 12. Apskaičiuoti taškų triukšmo lygiai pateikiami Lentelėje 12.



Pav. 12. Triukšmo slėgio lygio matavimo taškai.

Lentelė 12. Modelio matavimo taškuose apskaičiuoti triukšmo lygiai.

Taško Nr.	Sumodeliuotas Nuolatinis ekvivalentinis triukšmo lygis pagal A svertį., dBA
1	55,07
2	46,39
3	63,35
4	59,44
5	54,96
6	59,94
7	55,02
8	49,42
9	51,94
10	49,81
11	52,67
12	37,73
13	49,03
14	53,73

Taigi pagal triukšmo sklaidos žemėlapį ir įvertintą triukšmo lygį pasirinktuose matavimmo taškuose matome, kad leistino triukšmo lygio dienos metu 55 dBA izolinija neišeina už įmonės teritorijos ribų.

Akustinio triukšmo matavimai UAB „Kauno gelžbetonis“ gamyklos teritorijoje

Siekiant patikrinti anksčiau gautus modeliavimo rezultatus, anksčiau minėtuose pasirinktuose taškuose buvo išmatuoti nuolatiniai ekvivalentinai triukšmo lygiai L_{AeqT} . Matavimai buvo atliekami remiantis LST-ISO-1996-2 standartu.

Matavimai atlikti 2015 m. lapkričio 6 dieną. Oro sąlygos:

- Temperatūra 7,3°C;
- Vėjo greitis 0,3 m/s;
- Santykinis drėgnumas 86 %.

Kiekviename iš taškų matavimai buvo atlikti po tris kartus, vieno matavimo trukmė 5 min. Taške Nr. 5 buvo atliktas vienas papildomas matavimas, kurio metu į naują cemento talpyklą buvo pradėtas pumpuoti cementas. Paskutiniame matavimo taške, Nr. 14, matavimai nebuvo atliekami, kadangi įmonės darbo laikas jau buvo pasibaigęs ir gamybos procesai nebevyko. Liekamasis triukšmas įvertintas pagal L_{90} rodiklį, tiesioginiai matavimai nebuvo atliekami, kadangi įmonės veiklos stabdymas sukeltų nuostolių.

Matavimams atlikti buvo panaudotas triukšmomatis SVAN 958 – I klasės matuoklis, atitinkantis IEC 61672-1:2002 standartą. Triukšmomatis matavimų metu buvo įtvirtintas 1,5 m aukštyje nuo žemės – tokiu pat atstumo, kaip ir buvo sumodeliuotas triukšmo sklaidos žemėlapis. Lentelėje 12 pateikiami matavimų rezultatai.

Lentelė 12. Ekvivalentinio triukšmo lygio matavimų rezultatai

Matavimo Taško Nr.	Matavimo data ir laikas	L_{AeqT}, dBA	L_{90}, dBA
1	2015-11-06 11:28:15	57,44	49,7
	2015-11-06 11:33:37	61,81	51,9
	2015-11-06 11:38:44	65,47	56,2
2	2015-11-06 11:48:44	59,37	54,1
	2015-11-06 11:54:22	60,84	56,0
	2015-11-06 12:05:14	60,10	56,1
3	2015-11-06 12:16:53	64,21	56,3
	2015-11-06 12:22:08	67,93	58,5
	2015-11-06 12:27:33	67,66	61,4
4	2015-11-06 12:37:08	73,28	65,3
	2015-11-06 12:42:18	74,23	62,0
	2015-11-06 12:47:25	71,61	58,0
5	2015-11-06 12:56:08	62,56	51,2
	2015-11-06 13:01:16	68,66	62,4
	2015-11-06 13:06:25	71,94	69,2
	2015-11-06 13:11:38	75,81	73,0
6	2015-11-06 13:22:39	52,27	46,4
	2015-11-06 13:27:46	54,12	49,0
	2015-11-06 13:32:55	51,89	47,2
7	2015-11-06 13:42:04	51,05	46,1
	2015-11-06 13:47:11	51,98	46,4
	2015-11-06 13:52:19	53,10	47,2
8	2015-11-06 14:00:04	58,54	49,9
	2015-11-06 14:05:55	57,31	49,3
	2015-11-06 14:11:32	58,22	50,9
9	2015-11-06 14:19:59	57,06	55,1
	2015-11-06 14:25:30	57,18	54,2
	2015-11-06 14:30:54	58,03	55,9
10	2015-11-06 14:36:57	52,51	48,1
	2015-11-06 14:43:31	53,98	48,4
	2015-11-06 14:48:40	53,80	48,7
11	2015-11-06 14:54:26	52,36	47,7
	2015-11-06 15:05:41	70,32	56,4
	2015-11-06 15:10:48	60,23	54,1
12	2015-11-06 15:15:59	61,01	54,5
	2015-11-06 15:24:26	57,85	53,3
	2015-11-06 15:29:49	58,16	54,2
13	2015-11-06 15:41:31	54,12	51,0
	2015-11-06 15:46:38	55,43	51,2
	2015-11-06 15:51:38	55,43	51,2

Lentelėje 13 pateikiami apdoroti matavimų rezultatai kartu su pagal ISO-1996-2 standartą įvertinta išplėstine neapibrėžtimi su pasikliovimo tikimybe 95%, kurią sudaro šie sandai [12]:

- I klasės matavimo įrangai taikoma standartinė neapibrėžtis 1 dB;
- Standartinė neapibrėžtis dėl oro ir žemės paviršiaus 0,5 dB;
- Standartinė neapibrėžtis dėl veikimo sąlygų;
- Standartinė neapibrėžtis dėl liekamojo triukšmo.

Taip pat pagal standartą buvo įvertinti ir pataisytieji L_{AeqT} triukšmo lygiai. Liekamasis triukšmas įvertintas pagal išmatuotas L_{Aeq90} (su F laikine svertimi) rodiklio vertes. Matavimų metu žemiau išvardintuose taškuose fiksuoti:

- Taške Nr. 2 ganėtinai stiprus gatvės triukšmas;
- Taške Nr. 3 tiltiniai kranai krovė gaminius į sunkvežemį;
- Taške Nr. 4 maždaug 10 – 15 m atstumu įmonės darbuotojai aukštu slėgiu ir plaktukų smūgiais valė betono talpyklas;
- Taške Nr. 5 ketvirtojo matavimo metu cementovežis pildė cemento talpyklas, šalia matavimo vietos vyko intensyvu sunkvežimių transportas. Kadangi matavimas vyko ganėtinai arti gaminių formavimo cecho fasado, tai pagal ISO-1996-2 standartą galima pritaikyti -3 dB pataisą dėl atsipindžių.;
- Taške Nr. 6 numatyti buldozeriai nedirbo;
- Taške Nr. 9 kompresorinės pastate įžvelgtos kiaurymės;
- Taške Nr. 10 veikė tiltinis kranas;
- Taške Nr. 11, netoli matavimo taško dirbo vienas buldozeris;

Lentelė 13. Vidutiniai triukšmo lygiai matavimų taškuose ir jų neapibrėžtis.

Matavimo taško Nr.	Išmatuotas L_{AeqT}	Išmatuotas L_{Aeq90}	L_{AeqT} Pataisos dėl liekamojo triukšmo	Išmatuotas Pataisytasis L_{AeqT}	Pataisytojo L_{AeqT} Išplėstinė neapibrėžtis	Santykinė paklaida
	dBA					%
1	61,57	52,60	0,59	60,98	6,42	10,53
2	60,10	55,40	1,80	58,30	2,72	4,67
3	66,60	58,73	0,77	65,83	4,42	6,71
4	73,04	61,77	0,00	73,04	5,02	6,87
5	66,74	60,95	1,33	65,41	12,48	18,24
6	52,76	47,53	1,55	51,21	3,04	5,94
7	52,04	46,57	1,45	50,59	2,62	5,18
8	58,02	50,03	0,75	57,27	2,54	4,44
9	57,42	55,07	0,00	57,42	2,52	4,39
10	53,43	48,40	1,64	51,79	2,44	4,71
11	60,97	52,73	0,71	60,26	11,84	19,65
12	59,01	54,00	1,65	57,36	3,10	5,40
13	54,99	51,13	2,30	52,69	2,40	4,55

Matavimų metu pastebėti ypatumai taškuose Nr. 5, 9, 10 reikalauja gamyklos triukšmo sklaidos modelio pakeitimų:

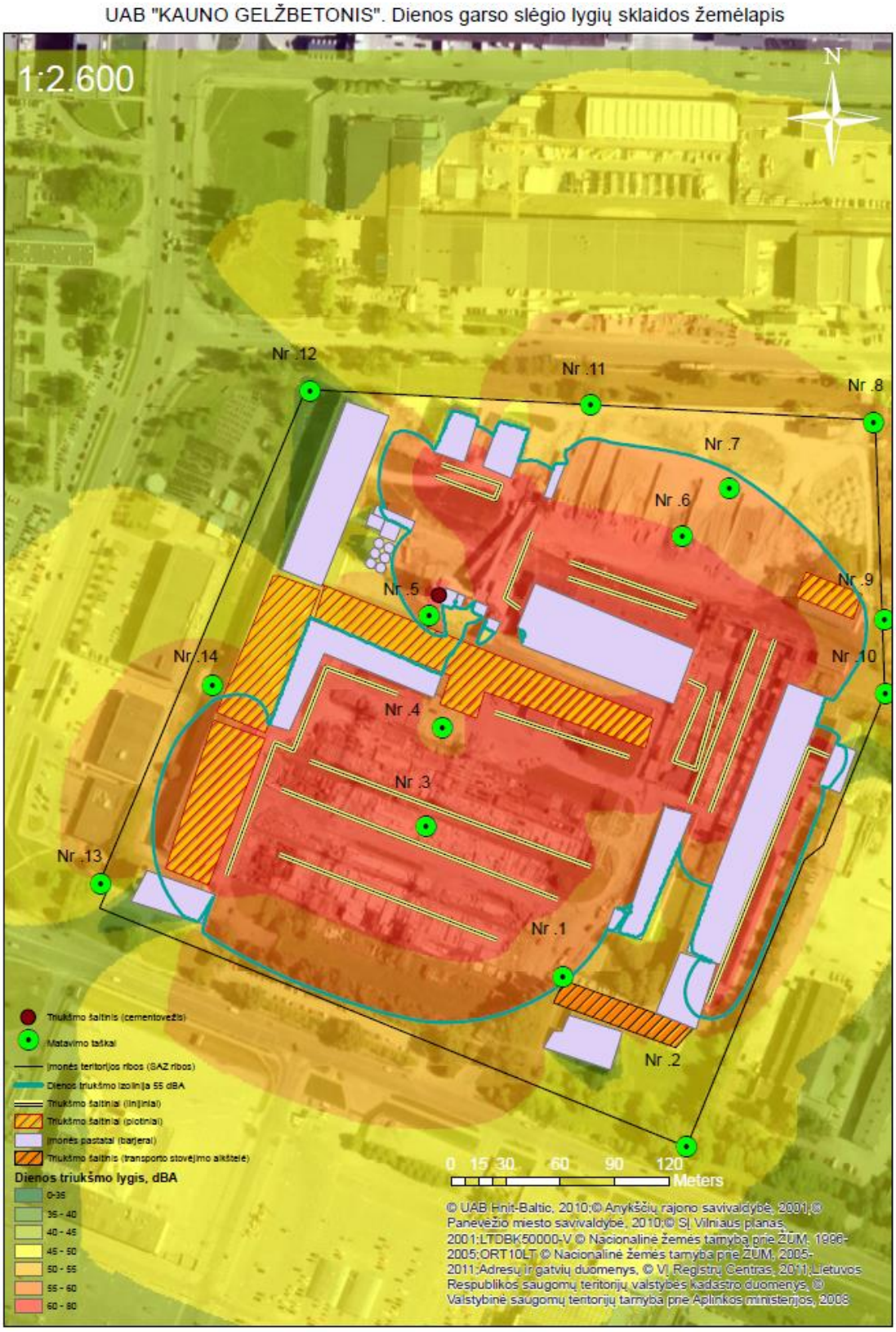
- Šalio taško Nr. 5 esančios cemento talpyklos, kurios pildomos cementovežių, gali būti laikomos taškiniu šaltniu, kuris turi būti įtrauktas į modelį;
- Taške Nr. 9 pastebėtos kiaurymės reikalauja pastato garso izoliavimo rodiklio R_w pakoregavimo;
- Matavimų taške Nr. 10 metu pastebėtas veikiantis vienas iš tiltinių kranų, kurie nebuvo įtraukti į modelį, kadangi buvo nurodyta, kad ten esantys tiltiniai kranai nėra naudojami, reikalauja jų įtraukimo į modelį.

Kauno Gelžbetonio gamyklos akustinio triukšmo sklaidos modelio atnaujinimas

Dėl matavimų metu pastebėtų ypatumų buvo atlikti šie modelio pakeitimai:

1. Cemento talpyklos kartu su cementovežiu pridėtos kaip taškinis šaltinis, kurio skleidžiamo garso galia lygi 85 dBA;
2. Kompresorinės pastato garso izoliavimo rodiklis R_w, sumažintas iki 6 dBA, dėl ko kompresorinės triukšmas padidėjo iki 56,7 dBA (vertė naudota tik įvertinant taško Nr. 9 garso lygį);
3. Pridėti du papildomi linijiniai triukšmo šaltiniai, tiltiniai kranai, kurių kiekvieno veikimo metu skleidžiamas 76,9 dBA triukšmas;
4. Pridėti įvairūs pastatai kaip barjerai, kurie buvo neįtraukti į pirminį modelį, kadangi senajame įmonės plane nebuvo pažymėti.

Atlikus modelio duomenų atnaujinimą, buvo perskaičiuotas įmonės akustinio triukšmo sklaidos žemėlapis, kuris pateikiamas pav. Nr. 13. Jame galime pastebėti, kad pasikeitė leistino dienos triukšmo lygio izolinija, tačiau ji vis tiek lieka įmonės teritorijos, o kartu ir SAZ ribų viduje. Taip pat kartu buvo atnaujintos ir matavimo taškuose prognozuojamo nuolatinio ekvivalentinio triukšmo lygio vertės, kurios pateikiamos lentelėje 14, kartu su pokyčiais tarp naujo ir senojo modeliavimo.



Pav. 13. Atnaujintas UAB „Kauno Gelžbetonis“ dienos garso slėgio lygių sklaidos žemėlapis.

Lentelė 14. Atnaujinto modelio matavimo taškuose apskaičiuoti triukšmo lygiai.

Taško Nr.	Atnaujinto modelio L_{AeqT}	Sumodeliuotas L_{AeqT}	Pokytis
	dBA		
1	55,30	55,07	0,23
2	46,56	46,39	0,17
3	63,38	63,35	0,03
4	59,37	59,44	-0,07
5	57,03	54,96	2,07
6	60,36	59,94	0,42
7	55,84	55,02	0,82
8	50,54	49,42	1,12
9	54,69	51,94	1,94
10	51,87	49,81	2,06
11	53,02	52,67	0,35
12	37,96	37,73	0,23
13	49,10	49,03	0,07

Matavimo ir modeliavimo metu gautų rezultatų palyginimas

Lentelėje Nr. 15 pateikiamas sumodeliuoto ir išmatuoto triukšmo lygių palyginimas.

Lentelė 15. Sumodeliuoto ir išmatuoto ekvivalentinio nuolatinio triukšmo lygio pagal A svertį palyginimas.

Matavimo taško Nr.	Išmatuotas pataisytasis L_{AeqT}	Pataisytojo L_{AeqT} Išplėstinė neapibrėžtis	Santykinė paklaida	Sumodeliuotas L_{AeqT} dB	Santykinis skirtumas tarp sumodeliuoto ir išmatuoto triukšmo lygio
	dBA		%	dBA	%
1	60,98	6,42	10,53	55,30	-10,27
2	58,30	2,72	4,67	46,56	-25,21
3	65,83	4,42	6,71	63,38	-3,87
4	73,04	5,02	6,87	59,37	-23,03
5	65,41	12,48	18,24	57,03	-19,95
6	51,21	3,04	5,94	60,36	15,16
7	50,59	2,62	5,18	55,84	9,40
8	57,27	2,54	4,44	50,54	-13,32
9	57,42	2,52	4,39	54,69	-4,99
10	51,79	2,44	4,71	51,87	0,15
11	60,26	11,84	19,65	53,02	-13,66
12	57,36	3,10	5,40	37,96	-51,11
13	52,69	2,40	4,55	49,10	-7,31

Detaliau aptarsime kiekvieną iš taškų:

- Taške Nr. 1 rezultai, atsižvelgiant į neapibrėžtį sutampa;
- Taške Nr. 2 matavimo ir modeliavimo rezultatai nesutampa, nors santykinė matavimo paklaida yra mažesnė nei 5 %. Kadangi matavimo taškas yra visiškai šalia esančios gatvės, kurios triukšmas buvo gerai girdimas ir įvertintas liekasmasis triukšmas L_{90} (55,40 dBA) žymiai viršija sumodeliuotą triukšmo lygio vertę (46,56 dBA), todėl išmatuoti gamyklos keliamo triukšmo praktiškai neįmanoma ir šio taško rezultatų tarpusavyje palyginti negalima;
- Taške Nr. 3 rezultatai, įvertinus neapibrėžtį, sutampa;
- Taške Nr. 4 išmatuotas triukšmo lygis žymiai didesnis ir, įvertinus matavimo neapibrėžtį, skiriasi nuo sumodeliuotos vertės. Skirtumui įtakos turėjo darbuotojai, dirbę arti matavimo taško, tačiau jie į triukšmo sklaidos modelį nebuvo įtraukti. Darbuotojų keliamas triukšmas atsitiktinis ir

stipriai skiriasi nuo liekamojo triukšmo, todėl pataisa dėl liekamojo triukšmo nėra taikoma (skirtumas viršija 10 dB). Kadangi šiame taške dominuoja žmonių veiklos keliamas triukšmas, kurį pašalinus vyrautų liekamasis triukšmas (61,77 dBA), kuris palyginus su sumodeliuota verte (59,37 dBA) įvertinus matavimo neapibrėžtį sutampa ;

- Taške Nr. 5 išmatuotas triukšmo lygis (65,41 dBA) didesnis nei sumodeliuotas (57,03 dBA), tam turėjo įtakos pravažiuojantys sunkvežimiai ir cementovežis, pildęs cemento talpyklą. Kadangi matavimo neapibrėžtis taip pat didelė (11,30 dBA), nes matavimų vertės buvo plačiame intervale (13,25 dBA), sumodeliuota vertė įvertinus neapibrėžtį sutampa su išmatuota;
- Taške Nr. 6 Išmatuotas triukšmo lygis (51,21 dBA) buvo mažesnis nei sumodeliuotas (60,36 dBA). Vertinant matavimų neapibrėžtį galima teigti, kad matavimai tikslūs ir triukšmo šaltinių veikimo sąlygos buvo pastovios, skirtumui įtakos turėjo nedirbę buldozeriai, kurie buvo numatyti modelyje, todėl šio taško rezultatų palyginti negalima;
- Taške Nr.7 išmatuotas triukšmo lygis (50,59 dBA) yra mažesnis nei sumodeliuotas (55,84 dBA) Vertinant matavimų neapibrėžtį galima teigti, kad matavimai tikslūs ir triukšmo šaltinių veikimo sąlygos buvo pastovios, skirtumui kaip ir matavimo taške Nr. 6 įtakos turėjo nedirbę buldozeriai, kurie buvo numatyti modelyje, todėl šio taško rezultatų palyginti negalima;
- Taške Nr. 8 išmatuotas triukšmo lygis (57,27 dBA) yra didesnis nei sumodeliuotas (50,54 dBA), o matavimų neapibrėžtis nedidelė. Kadangi liekamojo triukšmo lygis (50,03 dBA) sutampa su sumodeliuota verte ir matavimo taškas yra įmonės teritorijos riboje, šalia gatvės, todėl šio taško rezultatų palyginti negalima;
- Taške Nr. 9 išmatuotas triukšmo lygis įvertinus modeliavimo neapibrėžtį (±3dBA) sutampa su sumodeliuota verte;
- Taške Nr. 10 rezultatai sutampa, o matavimo santykinė paklaida mažesnė nei 5%;
- Taške Nr. 11 rezultatai atsižvelgiant į matavimo neapibrėžtį sutampa, kadangi šalia dirbusio buldozerio keliamas triukšmas turėjo įtakos bendram triukšmui, bei jo nepastovumui;
- Taške Nr. 12 išmatuotas triukšmo lygis (57,36 dBA) yra žymiai didesnis nei sumodeliuotas (37,96 dBA), liekamasis triukšmas (54,00 dBA) taip pat žymiai viršija sumodeliuotą reikšmę, kadangi šis taškas yra įmonės teritorijos riboje, šalia gatvės, gatvės triukšmas ir/ar kitų aplinkinių objektų keliamas triukšmas gali dominuoti, todėl matavimo rezultatų palyginti negalima;
- Taške Nr. 13 rezultatai atsižvelgiant į matavimo neapibrėžtį sutampa.

Analizuojant matavimo taškuose išmatuoto ir sumodeliuoto nuolatinio ekvivalentinio triukšmo lygio vertes pastebima, kad 8 taškų (Nr. 1, 3, 4, 5, 9, 10, 11, 13) vertės įvertinus matavimo neapibrėžtį sutampa, o tai sudaro 62% visų modelio taškų .Likusių 5 įvertinimo taškų, kurie sudaro 38 % modelio verčių informacija negali būti palyginta su matavimų rezultatais, tad 100% modelio taškų, kurie gali būti palyginti sutampa.

Išvados

1. Prognozuojant triukšmo sklaidą projektuojamuose pramonės įmonėse, triukšmo sklaidą galima sumodeliuoti pagal ISO-9613 standartą;
2. Modeliuojant UAB „Kauno Gelžbetonis“ triukšmo sklaidos žemėlapį, gauta, kad leistino dienos ekvivalentinio nuolatinio garso slėgio lygio pagal A svertį 55 dBA izolinija yra įmonės teritorijos ribose;
3. Palyginus išmatuotas ir sumodeliuotas ekvivalentinio nuolatinio garso slėgio lygio pagal A svertį vertes, nustatyta, kad 38% taškų negali būti palyginti, o iš likusių 62% taškų 100% taškų vertės sutampa.

Summary

Justas Antanavičius

Urban noise modelling and measurement

By 2011th World health organization report noise pollution is the second after air by reduction of human lifespan. As the noise negatively effects our health it has to be measured and managed. In cases where the measurement is imposiblle a modelling has to be applied.

The goal of this work is to explore the modelling and measurement of industry noise of the city. To do this ISO-9613 standard is being analyzed and applied for modelling of the JSC "Kauno Gelžbetonis" noise maping. To check the accuracy of the model at certain spots in the area of the factory noise level was measured and measured values was compared to the forecasted noise levels.

By this work we see that industry noise mapping can be modelled according to the ISO-9613 standard and the isoline of the day limit of A weighted equivalent continous sound pressure level resides within the boundaries of the JSC "Kauno Gelžbetonis" factory. Also it was found that 38% of the measured control values cannot be compared and 100% of the rest 62% values matches forecasted noise level.

Literatūros sąrašas

[1] *Lietuvių kalbos žodynas*. <http://lkzd.lki.lt/Zodynas/Visas.asp> [žiūr. 2016 -05-22].

[2] *Burden of disease from environmental noise. Quantification of healthy life years lost in Europe*. 2011. ISBN: 978- 92-890-0229-5

[3] STAUSKIS, J. Vytautas. *Statybinė akustika*. Vilnius. 2005. p. 9

[4] BARRON, Randall F. *Industrial Noise Control and Acoustics.* New York. Marcel Dekker, Inc. 2003. p. 12,32, 39, 42. ISBN: 0-8247-0701-X

[5] *Sveikatai kenkia ir didelis triukšmas*. <http://www.bernardinai.lt/straipsnis/-/60769> [žiūr. 2016 -05-22].

[6] *Lietuvos Respublikos triukšmo valdymo įstatymas.* <http://www3.lrs.lt/pls/inter3/dokpaieska.showdoc_l?p_id=454086> [žiūr. 2016 -05-22].

[7] *Lietuvos higienos norma HN:33:2011*.< https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.8B79388EACD2> [žiūr. 2016 -05-22].

[8] DAVID A. Bies, COLIN H. *Hansen. Engineering Noise Control Theory and practice 4th edition.* London. Spon Press. 2009. p. 219. ISBN: 0-203-87240-1

[9] BELL, Lewis H., BELL, Douglas H. *Industrial Noise Control Industrial Noise Control*. New York. Marcel Dekker, Inc. 1994. p.115. ISBN: 0-8247-9028-6

[10] LST ISO 9613-2:2004 *Akustika. Atviroje erdvėje sklindančio garso silpninimas. 2 dalis. Bendrasis skaičiavimo metodas*. (tapatus ISO 9613-2:1996)

[11] G.B., I.T., E.G., J.M. *Triukšmo vertinimo ir valdymo modelis.* Vilnius. 2013. 138 p.

[12] LST ISO 1996-2:2008. *Akustika. Aplinkos triukšmo aprašymas, matavimas ir įvertinimas. 2 dalis. Aplinkos triukšmo lygių nustatymas* (tapatus ISO 1996-2:2007).