

**VIBRACIJŲ ŠALTINIO, GEOLOGINĖS SANDAROS IR KONSTRUKCIJŲ SAVEIKOS
PRIKLAUSOMYBIŲ VERTINIMAS PRITAIKANT
PRECIZINĮ BANGŲ SKLIDIMO PASISKIRSTYMO MODELĮ
MOKSLO DARBO ATASKAITA**

Mokslo sritis: Statybos inžinerija (T002)

Sutarties Nr. 10.13-2024-69

Ataskaita parengta 2024 m. gegužės mėn. 06 d. Ši ataskaitos versija pataisyta pagal Užsakovo pastabas ir naikina ataskaitas parengtas 2024 m. balandžio mėn. 08 d. ir 2024 m. kovo mėn. 21 d.

Užsakovas:

Darbo vadovas

direktorius

Vilnius, 2024

Ekspertų kvalifikacija

yra suteikta teisė būti statinio projekto ekspertizės rangovu ir statinio ekspertizės rangovu. Statiniai: gyvenamieji ir negyvenamieji pastatai (konstrukcijų); susisiekimo komunikacijos; inžineriniai tinklai (konstrukcijų); hidrotechnikos statiniai (konstrukcijų); kiti inžineriniai statiniai (konstrukcijų); statiniai, įrašyti į Valstybės investicijų programą. Projekto ekspertizės darbų sritys: sklypo sutvarkymo (sklypo plano), konstrukcijų, susisiekimo, vandentiekio ir nuotekų šalinimo, elektrotechnikos, pasirengimo statybai ir statybos darbų organizavimo, statybos skaičiuojamosios kainos nustatymo. Statinio ekspertizės darbų sritys: konstrukcijų (KA 8301). Lietuvos geologijos tarnyba išdavusi leidimą užsiimti ekogeologiniais tyrimais; inžineriniais geologiniais (geotechniniais) tyrimais (Leidimo Nr. 98).

Ekspertui suteikta teisė eiti ypatingojo statinio projekto dalies vadovo ir ypatingojo statinio projekto dalies vykdymo priežiūros vadovo, statinio projekto dalies ekspertizės vadovo ir statinio dalies ekspertizės vadovo pareigas. Statiniai: gyvenamieji ir negyvenamieji pastatai, susisiekimo komunikacijos. Projekto dalys: projekto dalis: konstrukcijų (pagrindai ir pamatai). Statinio dalies ekspertizės darbo sritis: konstrukcijų (pagrindai ir pamatai). Ekspertas doc. turi visuotinai pripažintą geotechniko patirtį – 2016 m. Lietuvos mokslų akademijos jaunųjų mokslininkų ir doktorantų mokslinių darbų konkurso nugalėtojas biologijos, medicinos ir geomokslų srityje už darbą „Grunto savybių kaitos įvertinimas ir jos įtaka prognozuojant pagrindo elgseną“ bei yra vice prezidentas. Taip pat, yra vienas iš rengėjų parengusių STR 2.05.21:2016 „Geotechninis projektavimas. Bendrieji reikalavimai“.

ir jo darbuotojų kvalifikacija gali būti patikrinta čia:

VIBRACIJŲ ŠALTINIO, GEOLOGINĖS SANDAROS IR KONSTRUKCIJŲ SĄVEIKOS PRIKLAUSOMYBIŲ VERTINIMAS PRITAIKANT PRECIZINĮ BANGŲ SKLIDIMO PASISKIRSTYMO MODELĮ

MOKSLO DARBO ATASKAITA

Techninė užduotis

Parengti mokslo darbą – „Betoninės dangos armuotos polipropileno fibros užpildais parinkimas ir išvadų pateikimas“. Šis mokslo darbas sudaro:

- 1) VYKDYTOJAS atlieka UŽSAKOVO pateiktos dokumentacijos analizę. Vertinimas atliekamas remiantis Lietuvoje, vertinimo metu, galiojančiomis statybos teisės aktų ir norminių dokumentų nuostatomis.
- 2) VYKDYTOJAS įvertina inžinerines geologines ir geotechnines sąlygas ir parenka vibracijų matavimo taškų vietas pagal esamą vietovės reljefą ir prieinamumą iki jų. UŽSAKOVAS gauna gyventojų leidimus pateikti į teritoriją ir į gyvenamųjų patalpų vidų.
- 3) VYKDYTOJAS atlieka vibracijų matavimus statmenais pjūviais nuo vibracijų šaltinio iki pastatų, kurių adresai yra: Palemono g. 153, Kražantės g. 18, Gryžuvos g. 33B, Kaune.
- 4) VYKDYTOJAS atlieka vibracijų šaltinio analizę ir įvertina: prekinį traukinių, manevrinių traukinių, vilkikų keliamą vibracijos lygį.
- 5) VYKDYTOJAS remiantis atliktų matavimų rezultatais bei įvertinus vibracijų lemiančius veiksnius (gruntą, infrastruktūrą, atstumą, pastatų konstrukcijas, meteorologiją, krovos darbų specifiką, traukinių ir autotransporto greitį, svorį ir kt. parametrus), atlieka detalius vibracijos lygio skaičiavimus projektiniu variantu be priemonių, projektiniu variantu su priemonėmis (jei priemonės reikalingos), pateikiant rezultatų palyginimą su HN 50:2016 leidžiamais dydžiais pastatų patalpose, kurioms taikoma HN 50:2016. Projektiniu variantu prognozuojant vibracijos leidžiamų dydžių viršijimą, numatyti projekte racionalias (įrengimo, kainos, efektyvumo, eksploatavimo, ilgaamžiškumo aspektais) vibracijos mažinimo priemones.
- 6) VYKDYTOJAS išnagrinėja naujausią ir geriausią skirtingų tipų vibracijos mažinimo priemonių taikymo praktiką.
- 7) VYKDYTOJAS pateikia mokslinių tyrimų ataskaitą UŽSAKOVUI lietuvių kalba.
- 8) Mokslo darbas atliekamas naudojantis „Civilinės inžinerijos mokslo centro (Projekto Nr. S-A-UEI-23-5)“ infrastruktūra pagal Švietimo, mokslo ir sporto ministerijos programą „Universitetų ekselencijos iniciatyvos“, patvirtintą remiantis 2022–2030 m. plėtros programos valdytojos Lietuvos Respublikos švietimo, mokslo ir sporto ministerijos mokslo plėtros programos pažangos priemonės Nr. 12-001-01-01-01 „Gerinti mokslo ir studijų aplinką“ aprašu.

1. Vertinimo kriterijai ir nuorodiniai dokumentai

Vertinimas atliktas remiantis Lietuvoje, vertinimo metu, galiojančiomis statybos teisės aktų ir norminių dokumentų nuostatomis bei kitais visuotinai pripažintais literatūros šaltiniais:

1. LR Statybos įstatymas.

2. STR 1.03.01:2016. Statybiniai tyrimai. Statinio avarija.
3. STR 1.01.03:2017 Statinių klasifikavimas.
4. STR 1.04.04:2017 „Statinio projektavimas, projekto ekspertizė“
5. STR 2.04.01:2018. Pastatų atitvaros. Sienos, stogai, langai ir išorinės įėjimo durys.
6. STR 2.05.04:2003. Poveikiai ir apkrovos.
7. STR 2.05.05:2005. Betoninių ir gelžbetoninių konstrukcijų projektavimas.
8. STR 2.05.07:2005. Medinių konstrukcijų projektavimas.
9. STR 2.05.08:2005. Plieninių konstrukcijų projektavimas. Pagrindinės nuostatos.
10. STR 2.05.21:2016. Geotechninis projektavimas. Bendrieji reikalavimai.
11. STR 2.01.01(1):2005. Esminis statinio reikalavimas „Mechaninis atsparumas ir pastovumas“.
12. STR 2.01.01(4):2008. Esminis statinio reikalavimas „Naudojimo sauga“.
13. STR 1.04.02:2004 Inžineriniai geologiniai (geotechniniai) tyrimai.
14. LST EN 1998:2005 „Eurokodas 8. Atsparių žemės drebėjimui konstrukcijų projektavimo reikalavimai“ 1–6 dalys.
15. LST EN 1997-1 „Eurokodas 7. Geotechninis projektavimas. 1 dalis. Pagrindinės taisyklės.
16. LST EN 1997-1 „Eurokodas 7. Geotechninis projektavimas. 2 dalis. Pagrindo tyrinėjimai ir bandymai.
17. LST EN ISO 14688-1 Geotechniniai tyrimai ir bandymai. Gruntų atpažintis ir klasifikavimas. 1 dalis. Atpažintis ir aprašymas.
18. LST EN ISO 14688-2 Geotechniniai tyrimai ir bandymai. Gruntų atpažintis ir klasifikavimas. 2 dalis. Klasifikavimo principai.
19. LST 1331:2015 Automobilių kelių gruntai. Klasifikacija.
20. Inžinerinių geologinių ir geotechninių tyrimų gruntų klasifikacija 2019.
21. R IGGT 15 Automobilių kelių inžinerinių geologinių ir geotechninių bei statinio tyrimų rekomendacijos.
22. AB „Lietuvos geležinkeliai“ 2013 m. rugsėjo 06 d. generalinio direktoriaus patvirtintas įsakymas Nr. Į-827 „275/K Apsauginio sankasos sluoksnio įrengimo instrukcija“.
23. IT ŽS 17 Automobilių kelių žemės darbų ir žemės sankasos įrengimo taisyklės.
24. ISO 4866:2010 Mechanical vibration and shock—vibration of fixed structures—guidelines for the measurement of vibrations and evaluation of their effects on structures.
25. ISO 2631-1:1997 Mechanical vibration and shock—Evaluation of human exposure to whole-body vibration. Part 1: General requirements.
26. ISO 2631-2:1989 Evaluation of human exposure to whole-body vibration. Part 2: Continuous and shock-induced vibration in buildings (1 to 80 Hz).
27. AASHTO Designation: R 8-96 (2004). Evaluation of Transportation-Related Earthborne Vibrations.
28. SN 640312:2013 Effet des ébranlements sur les constructions.
29. UNI 9916:2014, Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici, Ente Nazionale Italiano di Unificazione.
30. DIN 4150-1:2001-06 Vibrations in buildings - Part 1: Prediction of vibration parameters.
31. DIN 4150-2:1999-06 Structural vibration - Human exposure to vibration in buildings.
32. DIN 4150-3:1999-02 Effects of vibration on structures.

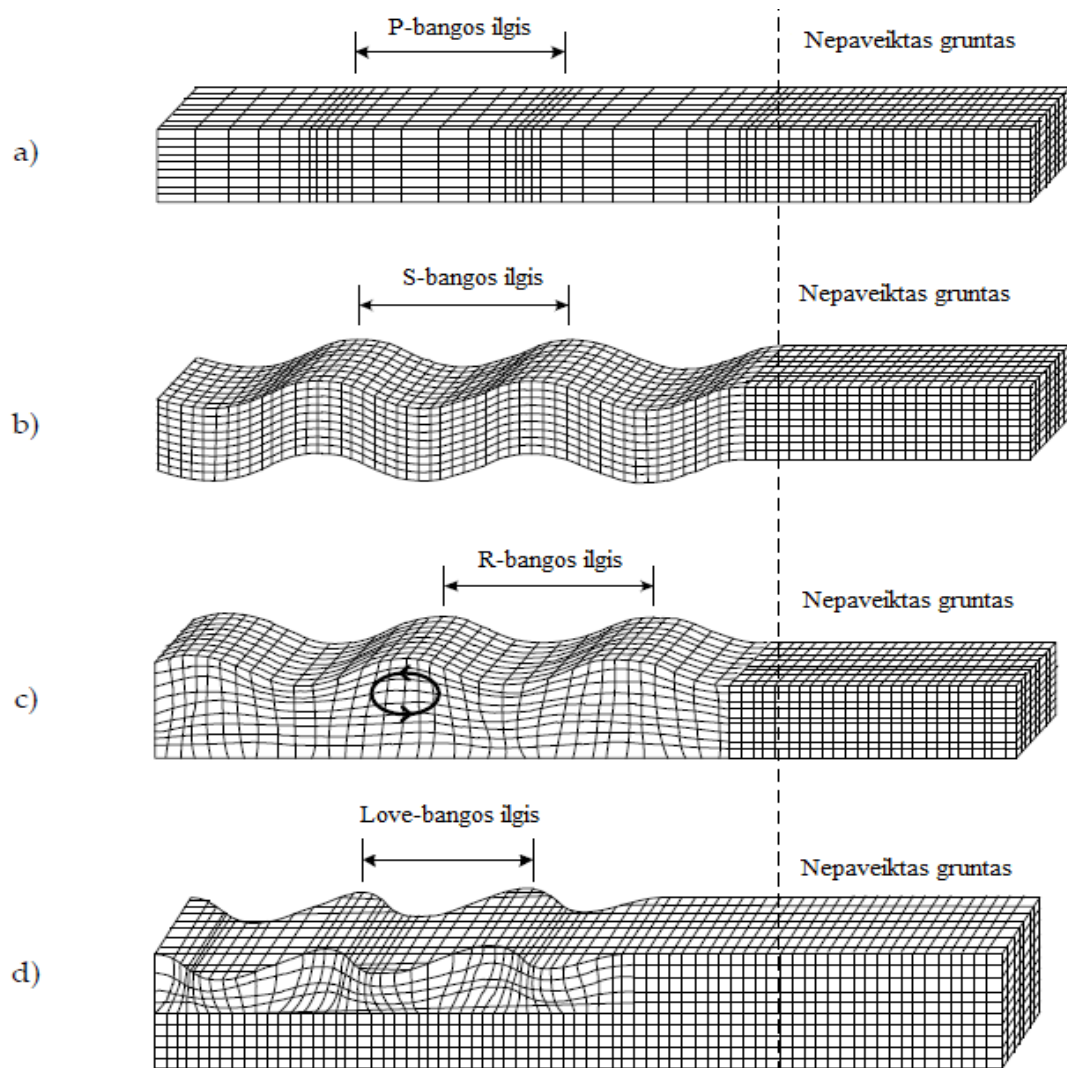
33. HN 50:2016 Visą žmogaus kūną veikianti vibracija: didžiausi leidžiami dydžiai ir matavimo reikalavimai gyvenamosiose, specialiosiose ir visuomeninėse patalpose.

34. BS 6472-1:2008 Guide to evaluation of human exposure to vibration in buildings - Vibration sources other than blasting.

35. BS 5228-2:2009+A1:2014 Code of practice for noise and vibration control on construction and open sites – Vibration.

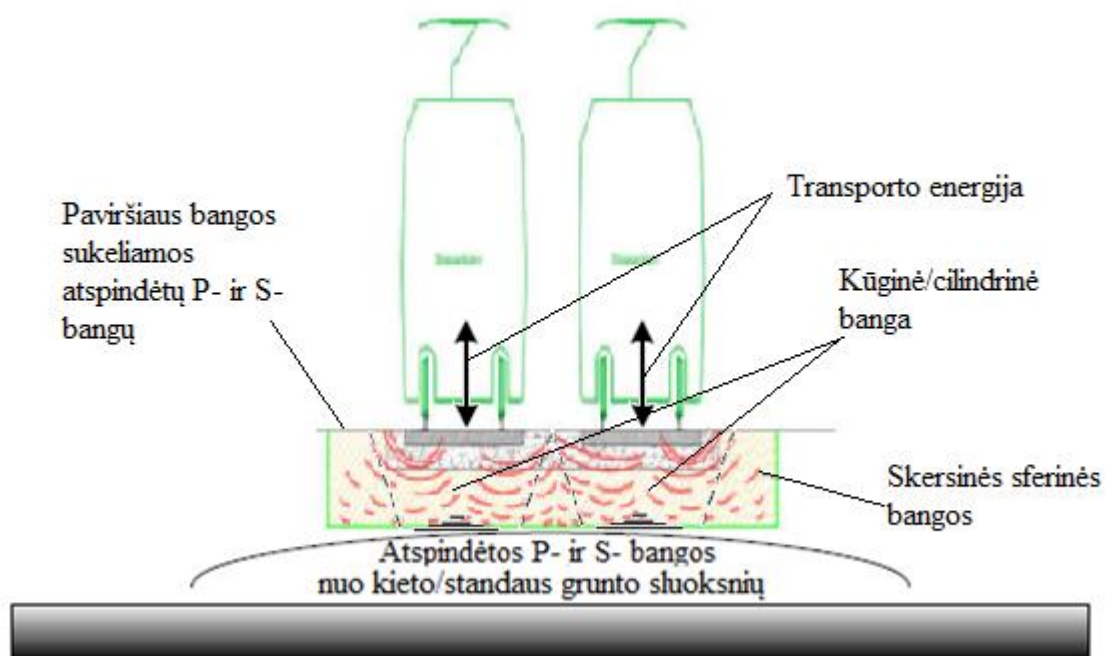
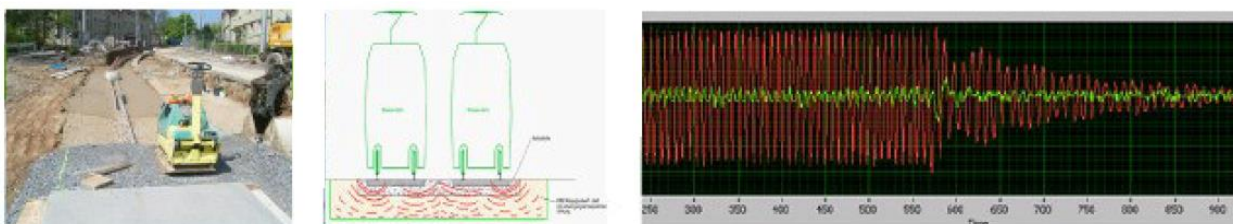
2. Vibracijos mažinimo priemonių taikymo praktika

Grunto vibracijos yra techninis terminas, kuris dažniausiai naudojamas apibūdinant sukeltų grunto dalelių atitinkamų greičių virpesius dėl žmogaus veiklos grunte. Grunto vibracijos yra susijusios su skirtingų bangų tipų ir krypčių sklidimu grunte (1-2 pav.).



1 pav. Poslinkių grunte priklausomybė nuo skirtingų bangų tipų. a) grunte sklindanti išilginė banga, b) grunte sklindanti skersinė banga, c) grunte sklindanti Raighley banga ir d) grunte sklindanti Love banga

Dažniausiai grunte matuojamos vibracijos yra 1 – 200 Hz dažnio ribose. Mažesnės nei 1 Hz vibracijos yra vadinamos mikro seisminėmis ir yra sukeltos natūralių šaltinių, tokių kaip vandens telkinių bangų (pvz. jūros) ir pan. Grunto vibracijos gali sukelti konstrukcijų svyravimus, kurie dažniausiai būna priskiriami prie natūralaus konstrukcijų svyravimo dažnio. Natūralus konstrukcijų svyravimo dažnis gyvenamiesiems pastatams svyruoja nuo 3 iki 11 Hz, atskiroms konstrukcijoms (pvz. atraminėms sienos) – nuo 12 iki 20 Hz.

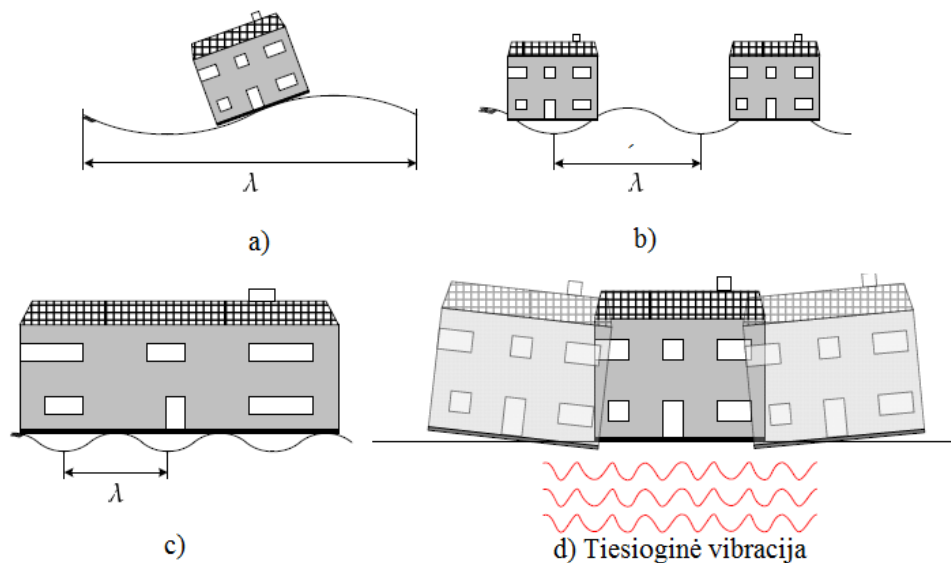


2 pav. Skirtingų bangų tipų sklidimas grunte sankasos konstrukcijoje eksploatacijos metu

Grunte sklindančių virpesių, kurie gali daryti įtaką statinių saugos bei tinkamumo ribinių būvių netekimui, konstrukcijų elementų plyšių atsivėrimui, grunto dalelių mažiausi greičiai yra nuo 10 iki 20 mm/s intervale.

Pagreičių, greičių ar poslinkių amplitudės laike negali būti vienodos dėl besikeičiančių grunto savybių, gruntinio vandens lygio ir t. t., nes skirtinguose grunto sluoksniuose vibracijų sukeliama skirtingi bangų tipai grunte sklinda nevienodais greičiais, o grunto dalelės virpa skirtingomis kryptimis priklausomai nuo grunte sklindančių bangų tipo, grunto sanklodos bei granulometrinės sudėties.

Vienareikšmiško grunto vibracijų sukeliama poveikio pastatams nėra, nes bangos ilgis (3 pav.), kuris yra sukeliama vibracijos šaltinio dažnio, skirtingų pastatų konstrukcinėms schemoms (pastato plotis, ilgis ir pan.) ir orientavimui į vibracijos šaltinį, daro skirtingą įtaką.



3 pav. Bangos ilgio įtaka pastatams. a) pastato konstrukcijoms nėra pavojaus supleišėti b), c) ir d) pastato konstrukcijose atsiranda papildomi įtempiai dėl vibracijų ir konstrukcijos gali supleišėti

Matavimų metu buvo matuojami pagreičiai trimis kryptimis: x, y ir z. Pagal išmatuotus pagreičius apskaičiuojami greičiai atitinkantys virpėjimo dažnius:

$$v_f = a_f / 2\pi f,$$

čia: v_f – greitis, atitinkantis tam tikram virpėjimo dažniui f (m/s); a_f – pagreitis, atitinkantis tam tikram virpėjimo dažniui f (m/s²); f – virpėjimo dažnis. Ataskaitoje įvertinti visi aktualūs dažniai pagal HN 50:2016 ir šiame skyriuje pateiktą literatūros analizę.

Vibracijų mažinimo priemonės priklauso nuo: vibracijų šaltinio (dydžio, trukmės, ir pan.), inžinerinių geologinių ir geotechninių sąlygų, atstumo nuo vibracijų šaltinio iki pastato bei pastato

konstrukcijos (antžeminės ir geotechninės dalies). Šioje ataskaitoje pateikta vibracijų mažinimo priemonių taikymo praktika yra pritaikyta tyrimų vietai Kauno mieste (4 pav.), kurioje atlikti tyrimai: Palemono g. 153, Kražantės g. 18 ir Gryžuvos g. 33B. Pradiniai duomenys apie statinius yra pateikti 1 lentelėje.



4 pav. Tyrimų objektų padėties vietovėje Kauno mieste schema (šaltinis: maps.google.lt)

Higienos normos (HN 50:2016) yra taikomos faktiniam vibracijų lygio nustatymui patalpoje, bet neleidžia atlikti vibracijų modeliavimo. Todėl, reikia remtis ir kitais standartais bei literatūros šaltiniais, kurie leidžia įvertinti galimą vibracijų poveikį statiniams (tuo pačiu ir žmonėms). Vibracijų žala pastatams klasifikuojama pagal pastatų paskirtį, virpančių dalelių greitį ir vibracijų dažnį (5 pav.). Vibracijų žala dažniausiai yra didesnė esant mažiems dažniams, todėl leistinų didžiausių vibracijų ribos yra kintančios atsižvelgiant į vibracijų dažnio dydį (6 pav. ir 2 lentelė).

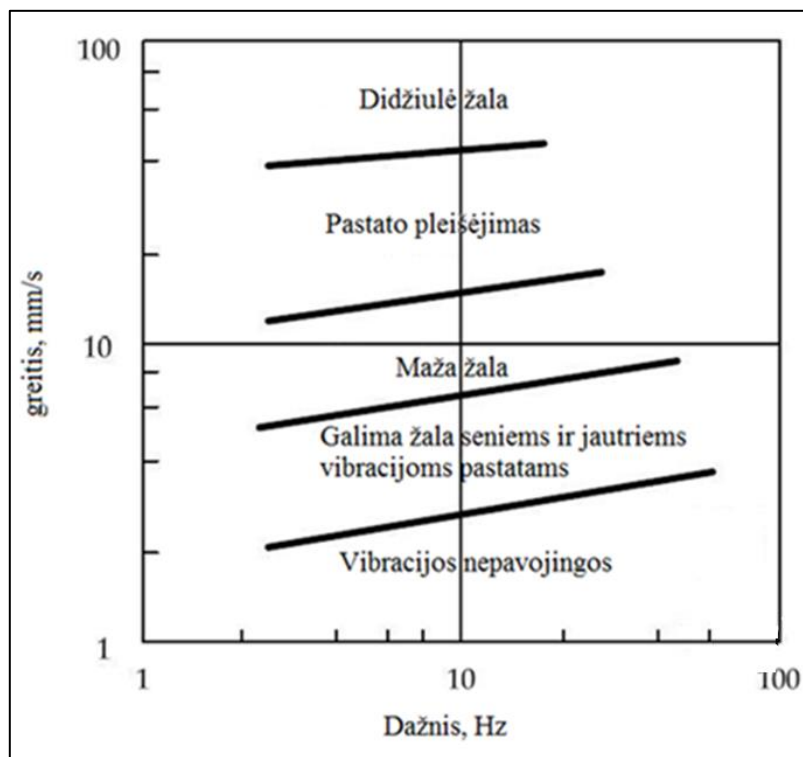
Galima žala inžinerinėms komunikacijoms taip pat klasifikuojama pagal DIN 4150-3:1999 (3 lentelė). Reikia atkreipti dėmesį, kad vertinant inžinerines komunikacijas, turi būti atsižvelgta į jų eksploatavimo amžių ir esamą konstrukcijų būklę.

1 Lentelė. Pradinių duomenų suvestinė lentelė.

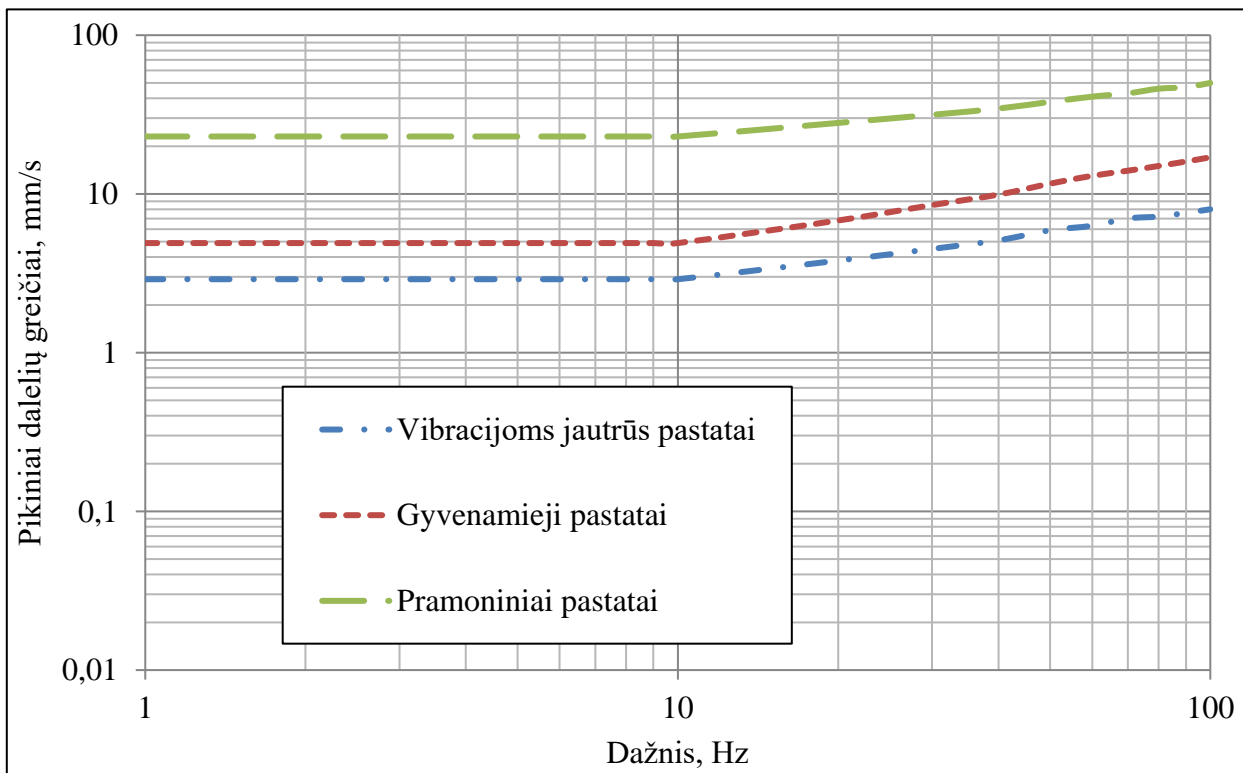
Objekto adresas	Pastato konstrukcijos apibūdinimas	Atstumas iki vibracijų šaltinio	Vibracijų šaltinis
Palemono g. 153, Kaunas	Pastatas yra medinis. Tikėtina, kad pamatai yra iš akmens riedulių mūro, dalinai iš monolitinio betono arba gelžbetonio, seklūs (juostiniai), be apšiltinimo sluoksnio.	24,6 m	Traukiniai (keleiviniai, kroviniai), automobilių transportas tarp geležinkelio vėžės ir pastato per asfaltuotą kelio dangą (lengvieji automobiliai, autobusai, specialusis transportas)
Kražantės g. 18, Kaunas	Pastatas yra mūrinių konstrukcijų, pamatai iš gelžbetoninių pamatų blokų, seklūs (juostiniai), be apšiltinimo sluoksnio.	17,0 m	Traukiniai (kroviniai), automobilių transportas tarp geležinkelio krovos aikštelės ir pastato per asfaltuotą kelio dangą, o sklypo teritorijoje per neasfaltuotą kelio dangą (lengvieji automobiliai, kroviniai vilkikai, specialusis transportas).
Gryžuvos g. 33 B, Kaunas	Pastatas mūrinių konstrukcijų, pamatai tikėtina yra poliniai, apjungti monolitine ištisine galvena kuri yra su apšiltinimo sluoksniu.	83,2 m	Traukiniai (kroviniai), automobilių transportas tarp geležinkelio krovos aikštelės ir pastato per asfaltuotą kelio dangą (lengvieji automobiliai, kroviniai vilkikai, specialusis transportas).

Leistinos vibracijų trukmių ir dydžių vertės gyvenamuosiuose pastatuose esant pertraukiamiems virpesiams aprašytas BS 6472-1:2008 (4 lentelė). Žmonių komfortą susijusį su vibracijomis aprašo BS 5228-2:2009+A1:2014 (5 lentelė).

Apibendrinant rezultatus pateiktus 2-5 lentelėse, sudaryta rezultatų suvestinė (6 lentelė) gyvenamųjų pastatų leistinoms vibracijoms vertinti. Taip pat, yra žinomi apibendrinti grunto slopinimai (LST EN 1998-5:2009) bei grunto vibracijų bangų sklidimo greičiai (LST EN 1998-1:2009), kurie apibendrinti 7 ir 8 lentelėse.



5 pav. Pastato žalos nuo vibracijų klasifikavimas



6 pav. Konstrukcijos žalos vertinimas pagal DIN 4150-3:1999

2 Lentelė. Konstruktijos žalos vertinimas pagal DIN 4150-3:1999.

Konstrukcijos tipas	Dalelių greičiai prie pamatų, mm/s				
	Trumpalaikiai poveikiai				Ilgalaikiai poveikiai
	1-10 Hz	10-50 Hz	50-100 Hz	Vibracija horizontalioje plokštumoje aukščiausioje pastato vietoje prie bet kurių virpėjimo dažnių	Vibracija horizontalioje plokštumoje aukščiausioje pastato vietoje prie bet kurių virpėjimo dažnių
Vibracijoms jautrūs pastatai	3	3-8	8-10	8	2,5
Gyvenamieji pastatai	5	5-15	15-20	15	2
Pramoniniai pastatai	20	20-40	40-50	40	10

3 Lentelė. Inžinerinių komunikacijų konstrukcijų žalos vertinimas pagal DIN 4150-3:1999.

Vamzdžio tipas	Dalelių greičiai, mm/s
Plieniniai (įskaitant virintinius)	100
Moliniai, betoniniai, gelžbetoniniai, įtempto gelžbetonio, metaliniai (su arba be flanšo)	80
Mūriniai, plastikiniai	50

4 Lentelė. Leistinos vibracijų vertės gyvenamuosiuose pastatuose pagal BS 6472-1:2008.

Pastato paskirtis ir laikas	Maža tikimybė neigiamiems atsiliepimams ($m/s^{-1,75}$)	Neigiamas atsiliepimas yra galimas ($m/s^{-1,75}$)	Tikėtinas neigiamas atsiliepimas ($m/s^{-1,75}$)
Gyvenamoji paskirtis (16 val. dienos periodas)	0,2-0,4	0,4-0,8	0,8-1,6
Gyvenamoji paskirtis (8 val. nakties periodas)	0,1-0,2	0,2-0,4	0,4-0,8

5 lentelė. Rekomendacijos dėl vibracijų lygių poveikio pagal BS 5228-2:2009+A1:2014.

Vibracijų lygis	Poveikis
0,14 mm/s	Vibracija gali būti tiesiog jaučiama labiausiai jautrioje situacijoje (su statybomis susiję dažniai). Žemesniuose dažniuose žmonės mažiau jautrūs vibracijai.

Vibracijų lygis	Poveikis
0,30 mm/s	Vibracija gyvenamojoje aplinkoje gali būti tiesiog jaučiama.
1,00 mm/s	Tikėtina, kad tokio lygio vibracija gyvenamojoje aplinkoje sukels nusiskundimų, bet gali būti toleruojama, jei gyventojai buvo iš anksto įspėti ir paaiškinta vibracijų priežastis.
10,0 mm/s	Tikėtina, kad vibracija bus netoleruojama daugiau nei labai trumpą laiką.

6 lentelė. Gyvenamųjų pastatų konstrukcijų vibracijų kriterijų suvestinė

Pastato paskirtis	Sąlygos	A kategorija	B kategorija	Vieta
Gyvenamoji paskirtis	Dienos metas nuo 06:00 iki 20:00 val.	Dalelių greitis iki 1,0 mm/s	Dalelių greitis iki 5,0 mm/s	Pastato vidus
	Nakties metas nuo 20:00 iki 06:00 val.	Dalelių greitis iki 0,3 mm/s	Dalelių greitis iki 1,0 mm/s	-
Kiti pastatai, kuriuose žmonės būna darbo dienos metu	Dienos metas nuo 06:00 iki 20:00 val.	Dalelių greitis iki 2,0 mm/s	Dalelių greitis iki 10,0 mm/s	-

7 Lentelė. Grunto slopinimo koeficientai pagal LST EN 1998-5:2009.

Grunto pagreičio santykis, $\alpha \cdot S$	Slopinimo koeficientas	$v_s/v_{s,max}^*$	G/G_{max}
0,10	0,03	0,90($\pm 0,07$)	0,80($\pm 0,10$)
0,20	0,06	0,70($\pm 0,15$)	0,50($\pm 0,20$)
0,30	0,10	0,60($\pm 0,15$)	0,36($\pm 0,20$)

* $v_{s,max}$ – vidutinė v_s reikšmė prie mažų deformacijų ($<10^{-5}$), kai bangos greitis neviršija 360 m/s.

8 lentelė. Grunto bangos sklidimo greičiai pagal LST EN 1998-1:2009.

Žymuo	Litologinio sluoksnio apibūdinimas	$v_{s,30}$ (m/s)	N _{SPT} (smūgiai/30 cm)	c_u (kPa)
A	Uola, minkšta uola, ar gruntas besielgiantis kaip uola su silpnesniu grunto sluoksniu paviršiuje, kurio sluoksnio storis ne didesnis nei 5 m	> 800	-	-
B	Labai tankaus smėlio, žvyro ar kieto molio sluoksniai kurių gylis mažiausiai kelios dešimtys metrų, pasižymintys grunto stiprėjimu didesniuose gyliuose	360-800	>50	>250
C	Gilūs sluoksniai tankaus arba vidutinio tankumo smėliai, žvyrai ar kieti moliai	180-360	15-50	70-250
D	Purūs arba vidutinio tankumo rupūs gruntai (su arba be minkštai plastiško	<180	<15	<70

Žymuo	Litologinio sluoksnio apibūdinimas	$v_{s,30}$ (m/s)	N _{SPT} (smūgiai/30 cm)	c_u (kPa)
	sankabaus grunto sluoksnių intarpais), arba tokiai plastiško arba minkšto sankabaus grunto sluoksnis			
E	Grunto profilis paviršiuje sudarytas iš aliuvinių gruntų su v_s reikšmėmis pasižyminčiomis C ir D gruntais ir storiu kintančiu nuo 5 iki 20 m, po kuriuo stipresni/kietesni gruntai su $v_s > 800$ m/s			
S ₁	Sluoksniai sudaryti iš mažiausiai 10 m storio minkštų molių/dulkių su dideliu $I_p > 40$ ir aukštu gruntinio vandens lygiu	<100	-	10-20
S ₂	Sluoksniai linkę praskysti, jautrūs moliai ar kit gruntai neįtraukti į A-S ₁			

Atliekant pastatų vertinimą, kai juos veikia grunto vibracijos, vibracijų pastate sklidimas priklauso nuo pastato tipo. Vibracijų amplitudės gali sukelti pastato konstrukcijų rezonansinius dažnius, kurie gyvenamiesiems mediniams pastatams (1-2 aukštų) paprastai pasireiškia 15-20 Hz dažnio ribose, o pastatams su gelžbetoninėmis perdangomis (šiuolaikiniuose gyvenamuosiuose pastatuose 1-2 aukštų) pasireiškiant esant 20-30 Hz dažniams.

Traukiniams taip pat yra keliami tam tikri reikalavimai susiję su grunto vibracijomis. Idealūs traukiniai turi pasižymėti: kuo mažesnės amplitudės skleidžiama vibracija, svoriai turi būti nesparyuokliniai, minkšta važiuokle, minimalus plieninių detalių kontaktas tarp judančių dalių, tiesiais, lygiais ir idealiai apvaliais riedmenimis. Dažnu atveju didžiausia leidžiama naujų traukinių vertikali skleidžiama vibracija yra ribojama ne didesniu nei 12 Hz dažniu, tam tikrais griežtais atvejais taikoma 8 Hz dažnio riba. Vienos iš elementariausių traukinių vibracijų mažinimo priemonių yra:

- Riedmenų ir bėgių nuolatinė priežiūra, jei reikia galima atlikti bėgių šlifavimą. Deformuotų riedmenų pakeitimas sumažina skleidžiamas vibracijas ženkliai.
- Riedėjimo krypties keitimo vietų arba posūkių iškėlimas iš vibracijoms jautrių zonų;
- Bebalasčio kelio įrengimas;
- Greičio mažinimas;
- Buferinės zonos išplėtimas tarp geležinkelio linijos ir gyvenamosios zonos.

Geležinkelių sankasos įrengtos ant stabilaus pagrindo, todėl labiausiai tikėtina, kad pastatus išvardintus 1 lentelėje gali veikti paviršinės bangos (P- ir S- bangos pateiktos 1 pav.). Dažniausiai vibracijos sklindančios grunte didesniu nei 50 m atstumu nuo traukinio vėžės nebesklinda. Tačiau, reikia atsižvelgti į inžinerines geologines ir geotechnines sąlygas bei atstumą nuo traukinio vėžės iki pastato ir kiekvienu atveju atlikti vibracijų sklidimo vertinimą.

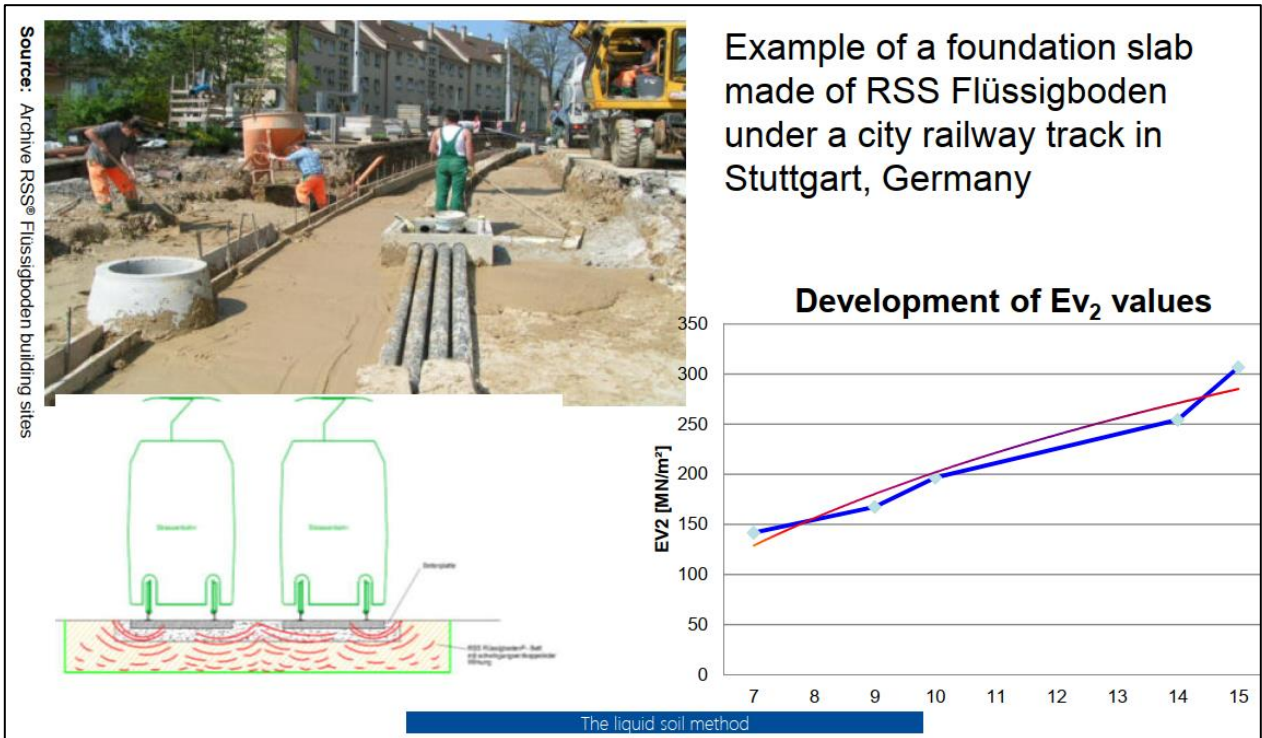
Ties geležinkelio vėže ir po ja, gruntą veikia Raighley bangos (1 pav.). Yra žinoma, kad vienas iš efektyviausių Raighley bangų sklidimo panaikinimo būdų – tranšėjų įrengimas. Tačiau tranšėjos turi būti įrengtos kuo arčiau geležinkelio sankasos, o norint sėkmingai panaikinti Raighley bangų sklidimą, tranšėjos gylis turi būti 4,5-5,0 m gylio nuo žemės paviršiaus. Tranšėjos yra efektyvios, jei jos yra laikomos atviros arba jei užpildomos geopolimerų injekcijomis. Tais atvejais, kai tranšėjos yra įrengiamos tose vietose, kur gruntinio vandens lygis yra aukštas, rekomenduojama tranšėjas užpildyti geopolimerų injekcijomis, nes per vandenį vibracijos persiduoda pakankamai lengvai ir tranšėjų efektyvumas nėra didelis, jei jos yra užpildytos vandeniu. Rekomenduojamas tranšėjų plotis turi būti ne mažiau nei 10 cm, bei turi būti užtikrintas tranšėjų sienų stabilumas.

Šiuo atveju, pastatai išvardinti 1 lentelėje yra jau pastatyti ir jiems pritaikyti naujai statomų pastatų vibracijų mažinimo priemonės nėra tikslinga, nes ekonomiškai tai neracionalu. Vienintelė racionaliausia vibracijų mažinimo priemonių jau pastatytiems pastatams – įrengti pamatų apšiltinimą. Pamatų apšiltinimas polistireniniu putplasčiu arba geopolimerų injekcijomis leidžia panaikinti paviršines bangas (P- ir S- bangos pateiktos 1 pav.).

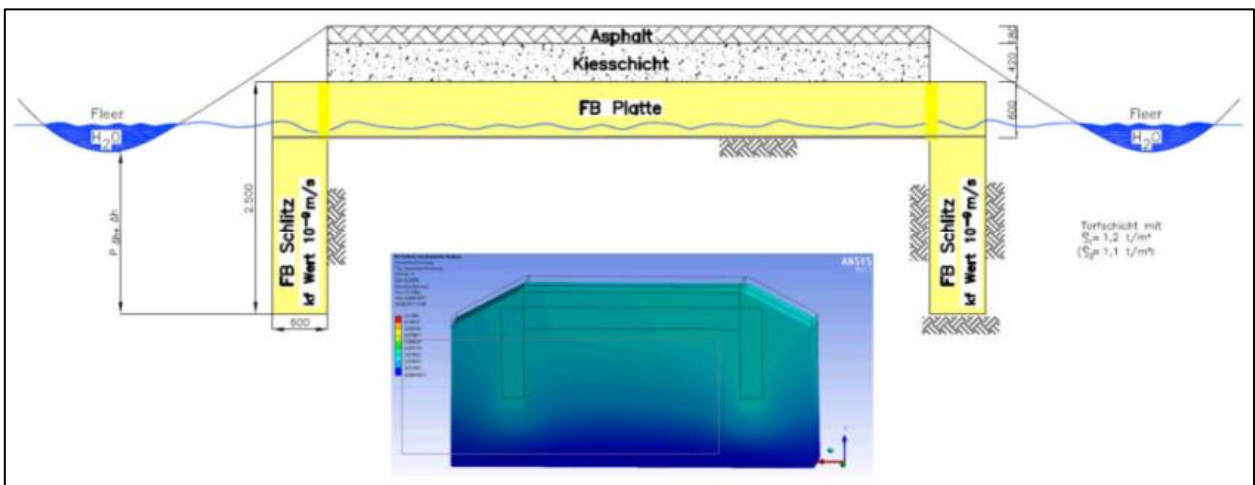
Įrengiant naujus geležinkelio kelius ir sankasas, dažnu atveju siekiant sumažinti traukinių skleidžiamas vibracijas įrengiamos pamatų plokštės po sankasos konstrukcija. Betoninių pamatų plokščių įrengimas labai brangus, todėl siekiant atpiginti pamatų plokščių kainą – maišomas vietinis gruntas su cementu ir vandeniu (taikoma suskystinto grunto technologija).

Suskystinto grunto technologija gali būti taikoma įrengiant naujas traukinių vėžes ir po silpnais gruntų sluoksniais (8 pav.). Ši technologija leidžia užtikrinti sankasos stabilumą, gruntinio vandens laidumą (migraciją horizontalia kryptimi) bei slopina vibracijas. Taikant šią technologiją įrengiamas apverstos U formos suskystinto grunto fragmentas, kurio gylis paprastai siekia apie 2,5 m (šioje vietoje plotis yra apie 0,5 m), o konstrukcijos plotis parenkamas pagal projektuojamos sankasos plotį. Viršutinės dalies storis paprastai siekia apie 0,6 m. Detalūs matmenys turi būti parenkami atliekant konkretaus projekto skaičiavimus. Suskystinto grunto technologija gali būti

taikoma ir geležinkelio tuneliuose (9 pav.) arba siekiant sumažinti bebalasčių traukinių kelių skleidžiamas vibracijas (10 pav.).



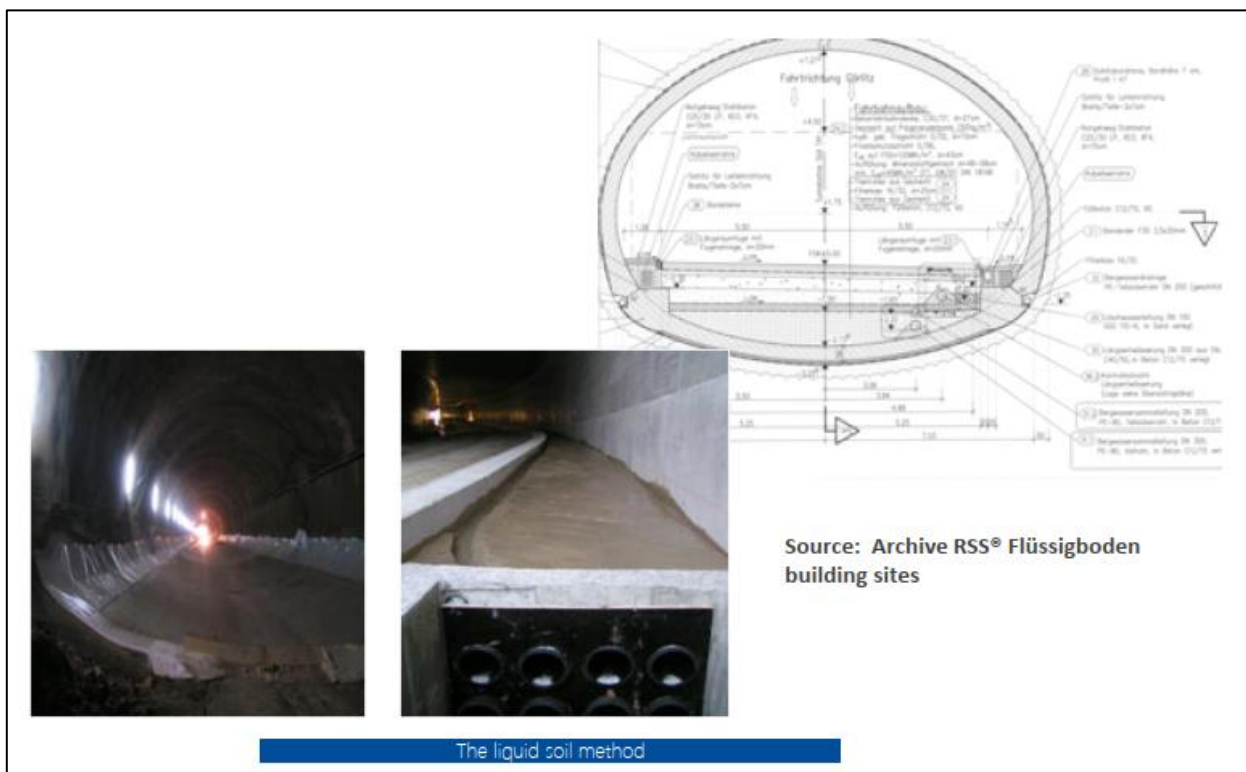
7 pav. Suskystinto grunto technologijos plokštės po geležinkelio sankasa įrengimo pavyzdys



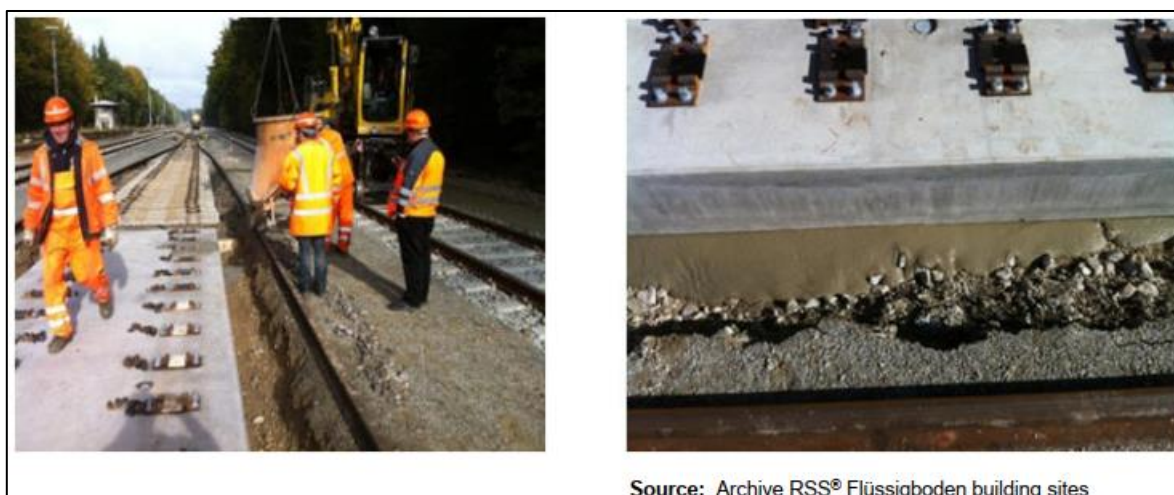
8 pav. Apverstos U formos suskystinto grunto technologijos taikymo pavyzdys

Bėgiui pritvirtinti prie betoninių bėgių plokščių naudojamos elastingos tvirtinimo detalės. Standartinės elastingos tvirtinimo detalės yra labai standžios vertikalia kryptimi, dažniausiai diapazone 3600 kg/mm, nors jie sumažina vibraciją, palyginti su kai kuriais kietos tvirtinimo

sistemos sprendiniais, naudotais senesnėse sistemose (pvz., mediniai elementai, įmontuoti į betoną). Specialios tvirtinimo detalės, kurių vertikalus standumas yra 535 kg/mm gali sumažinti vibraciją net 5–10 dB, kai dažnis viršija 30–40 Hz.



9 pav. Suskystinto grunto technologijos taikymas geležinkelio tuneliuose



10 pav. Suskystinto grunto technologijos taikymas beblasčiuose traukinių keliuose

Balastinis kilimėlis susideda iš gumos arba kitokio tipo elastomero pagalvėlės, kuris būna įrengiamas po balastu. Kilimėlis paprastai turi būti dedamas ant betoninio pagrindo, tik tada jis yra efektyvus. Kilimėliai nebus tokie veiksmingi, jei jie bus dedami tiesiai ant grunto ar balasto. Todėl dauguma balastinių kilimėlių yra naudojami metro arba aukštesnėse konstrukcijose. Balasto kilimėliai gali užtikrinti nuo 10 iki 15 dB slopinimą esant dažniams nuo 25 iki 30 Hz. Balastiniai kilimėliai dažnai yra gera esamo pririšimo ir balasto bėgių, kur tokių yra, modernizavimo priemonė vibracijos problemoms spręsti.

Tamprią atraminę ryšių sistemą sudaro betoniniai ryšiai montuojami su guminėmis pagalvėlėmis. Bėgiai tvirtinami tiesiai prie betoninių ryšių naudojant standartinius bėgių spaustukus. Esama praktika rodo, kad tampriai tvirtinami ryšiai gali labai veiksmingai sumažinti žemo dažnio vibraciją 15–40 Hz diapazone. Todėl jie ypač tinka tranzito sistemoms, turinčioms vibracijos problemų iki 30 Hz diapazone.

Bebalastės plokštės gali būti labai veiksmingos valdant grunto vibracijas ir triukšmą. Jos iš esmės susideda iš betoninės plokštės, paremtos ant tamprių elementų, dažniausiai guma arba panašių savybių į gumą medžiaga (elastomeras). Bebalastės plokštės yra veiksmingos, kai dažnis yra didesnis nei jų vieno laisvės laipsnio vertikalios rezonanso dažnis. Bebalastės plokštės suprojektuojamos taip, kad turėtų vertikalų rezonansą 14–17 Hz diapazone. Kai kuriais atvejais naudojama labai sunki konstrukcija, kurios rezonansinis dažnis yra nuo 5 iki 10 Hz dažnių diapazone. Pagrindinis bebalasčių plokščių trūkumas yra tas, kad jos paprastai yra pačios brangiausios vibracijų mažinimo ir kontrolės taikymo priemonės.

Galima pakeisti bet kurią bėgių kelio tvirtinimo sistemą į žemų vibracijų lygį. Metodai, tokie kaip sunkesnių bėgių naudojimas, storesnis balastas arba sunkesni ryšiai gali sumažinti vibracijos lygį. Taip pat yra įrodyta, kad naudojant medinius elementus vibracijos lygis yra mažesnis nei betoninių.

3. Grunto vibracijų matavimas

Grunto vibracijos buvo išmatuotos visiems objektams, išvardintiems 1 lentelėje. Matavimai atlikti vienoje tiesėje, kurioje išdėlioti 3 vibracijų matavimo davikliai. Trijų daviklių vienoje linijoje naudojimas susietas su vibracijos grunte sklidimo slopinimo nustatymu. Leidimus patekti į objektų teritoriją ir į pastatų vidų (1 lentelė) gavo ir suderino su gyventojais šio mokslo darbo užsakovas

. Grunto vibracijų matavimai atlikti 2024-01-25 d. (9 ir 10 lentelės) ir 2024-01-27 d. (11 lentelė).

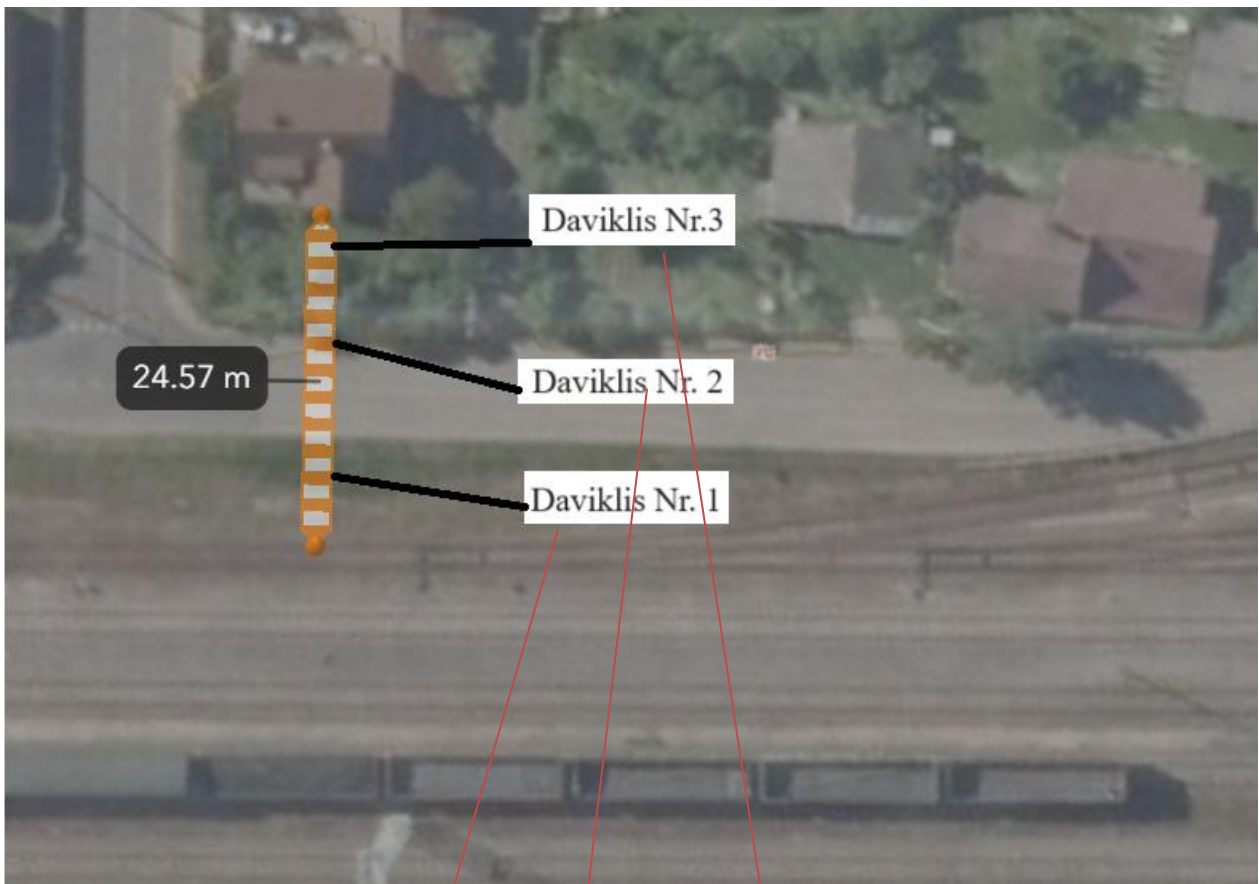
9 Lentelė. Grunto vibracijų daviklių pozicijos (2024-01-25).

Matavimų data	Objekto adresas	Atstumas nuo pastato iki daviklio, m			Matavimų schema pateikta
		Daviklis Nr. 1	Daviklis Nr. 2	Daviklis Nr. 3	
2024-01-25	Palemono g. 153, Kaunas	19,03	9,93	0,40	11 pav.
2024-01-25	Kražantės g. 18, Kaunas	43,10	23,40	0,30	12 pav.
2024-01-25	Gryžuvos g. 33B, Kaunas	0,10	17,00	20,00*	13 pav.

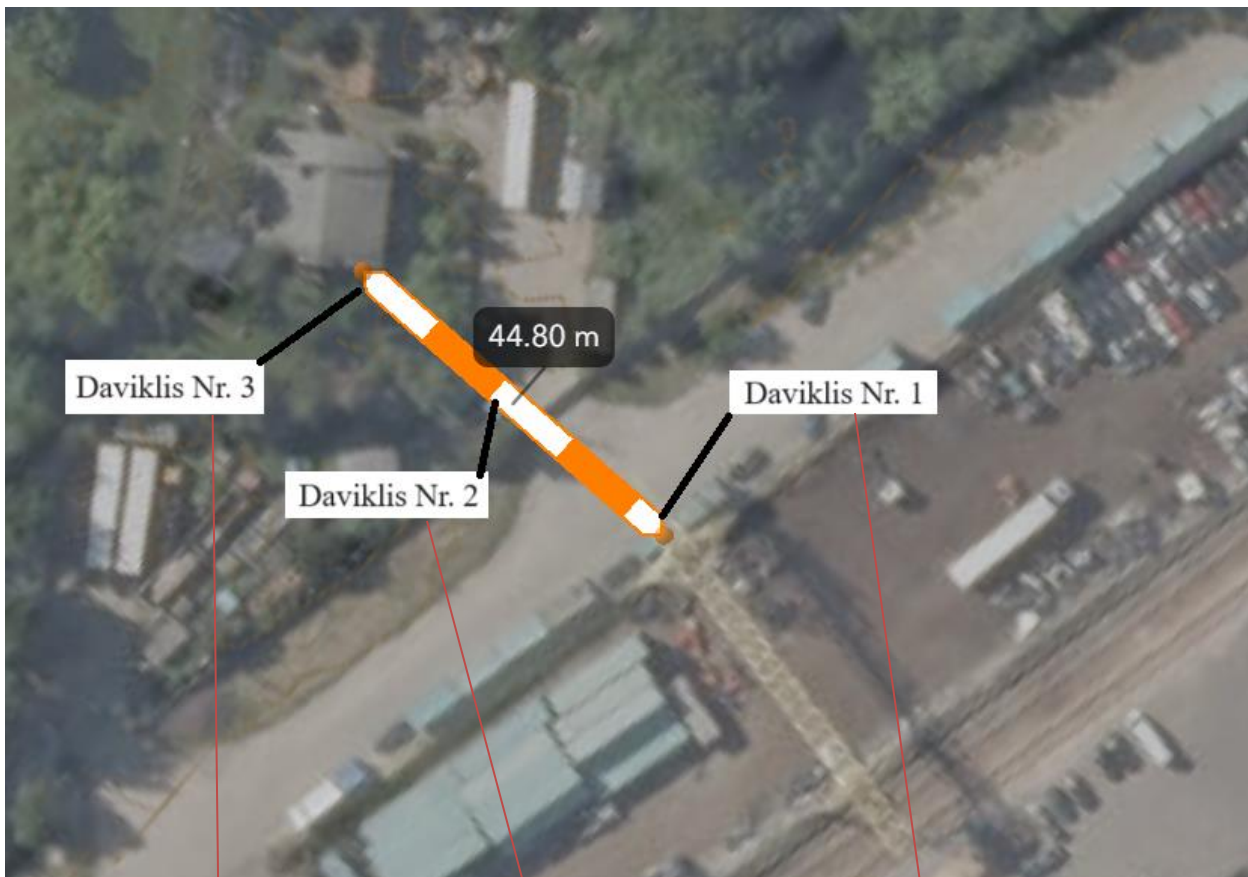
* atstumas pateiktas tarp daviklio Nr. 2 ir daviklio Nr. 3.

10 Lentelė. Vibracijų šaltiniai vibracijų matavimo metu (2024-01-25).

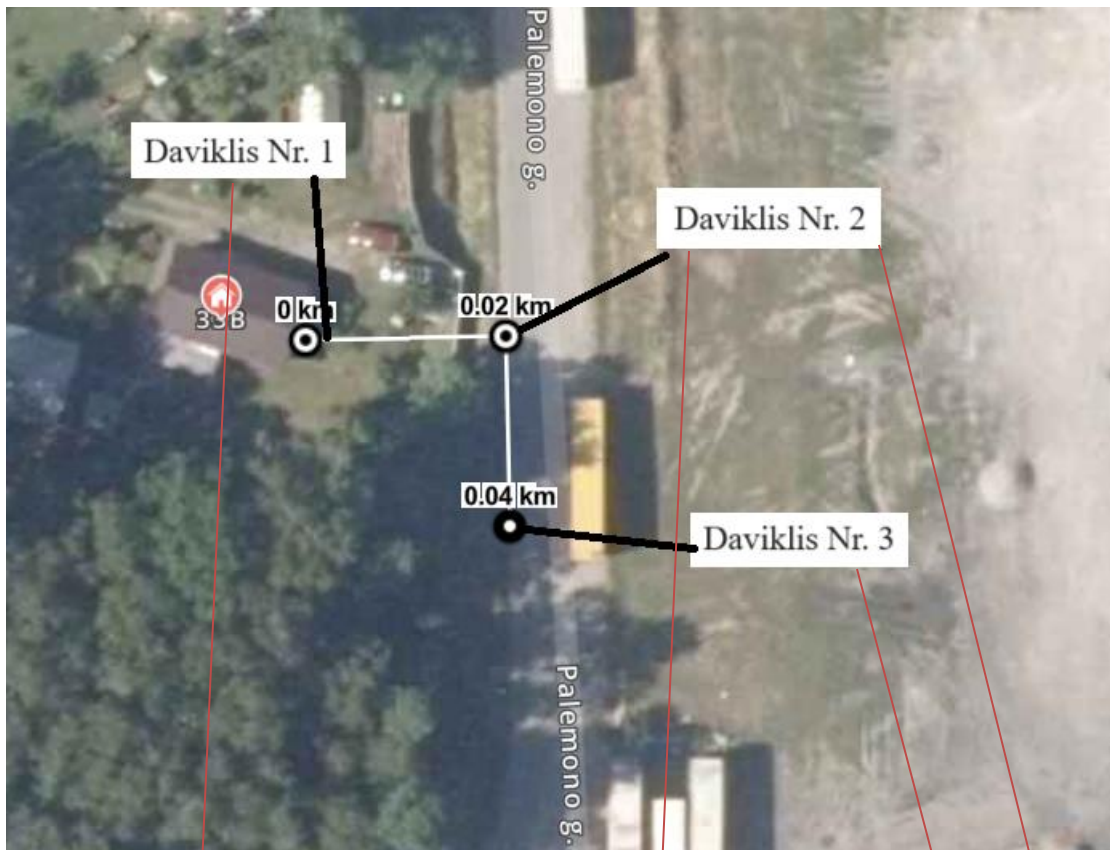
Matavimų data	Objekto adresas	Įrašo Nr.	Komentarai
2024-01-25	Palemono g. 153, Kaunas	1	Gatve važinėjo automobiliai, autobusai, šiukšliavežė, mikroautobusai, pravažiavo vienas keleivinis traukinys
2024-01-25	Palemono g. 153, Kaunas	2	Gatve važinėjo automobiliai, autobusai, šiukšliavežė, mikroautobusai, pravažiavo du keleiviniai traukiniai
2024-01-25	Kražantės g. 18, Kaunas	3	Vyko tik kariuomenės transporto krova, prie tvoros gręžiamas geologinis gręžinys
2024-01-25	Kražantės g. 18, Kaunas	4	Vyko kariuomenės transporto krova, užvestas vilkikas už 2,0 m nuo daviklio Nr. 2, kuris išvažiavo pro vartus
2024-01-25	Kražantės g. 18, Kaunas	5	Vyko kariuomenės transporto krova, sunkvežimiai judėjo per asfalto dangą



11 pav. Grunto vibracijų matavimo schema objekte Palemono g. 153, Kaune (2024-01-25)



12 pav. Grunto vibracijų matavimo schema objekte Kražantės g. 18, Kaune (2024-01-25)



13 pav. Grunto vibracijų matavimo schema objekte Gryžuvos g. 33B, Kaune (2024-01-25)

11 Lentelė. Grunto vibracijų daviklių pozicijos (2024-01-27).

Mata- vimų data	Objekto adresas	Atstumas nuo pastato iki daviklio, m			Įrašo Nr.	Matavimų schema pateikta	Vibracijos sukėlimas grunte, komentarai
		Daviklis Nr. 1	Daviklis Nr. 2	Daviklis Nr. 3			
2024- 01-27	Gryžuvos g. 33B, Kaunas	0,30	8,90	17,55	6	14 pav.	Nesukelta
2024- 01-27	Gryžuvos g. 33B, Kaunas	0,30	8,90	17,55	7	15 pav.	Sukelta vibracija už 1,0 m nuo daviklio Nr. 2
2024- 01-27	Gryžuvos g. 33B, Kaunas	0,30	8,90	17,55	8	15 pav.	Sukelta vibracija už 3,0 m nuo daviklio Nr. 2
2024- 01-27	Gryžuvos g. 33B, Kaunas	0,30	8,90	17,55	9	15pav.	Sukelta vibracija už 5,0 m nuo daviklio Nr. 2
2024- 01-27	Gryžuvos g. 33B, Kaunas	0,30	-1,00	17,55	10	16 pav.	Daviklis Nr. 2 pastato viduje ant grindų 1,0 m atstumu nuo išorinės sienos, sukelta vibracija 1,0 m atstumu nuo pastato
2024- 01-27	Gryžuvos g. 33B, Kaunas	0,30	-1,00	17,55	11	16 pav.	Daviklis Nr. 2 pastato viduje ant grindų 1,0 m atstumu nuo išorinės sienos, sukelta vibracija 2,0 m atstumu nuo pastato
2024- 01-27	Gryžuvos g. 33B, Kaunas	0,30	-1,00	17,55	12	16 pav.	Daviklis Nr. 2 pastato viduje ant grindų 1,0 m atstumu nuo

Matavimų data	Objekto adresas	Atstumas nuo pastato iki daviklio, m			Įrašo Nr.	Matavimų schema pateikta	Vibracijos sukėlimas grunte, komentarai
		Daviklis Nr. 1	Daviklis Nr. 2	Daviklis Nr. 3			
							išorinės sienos, sukelta vibracija 3,0 m atstumu nuo pastato
2024-01-27	Gryžuvos g. 33B, Kaunas	0,30	8,90	17,55	13	14 pav.	Vibracija nesukelta, asfaltuotu keliu pravažiavo tankai ir išminavimo transportas
2024-01-27	Kražantės g. 18, Kaunas	46,50	35,50	23,80	14	17 pav.	Vibracija nesukelta, vyko tankų krovos darbai
2024-01-27	Kražantės g. 18, Kaunas	46,50	35,50	23,80	15; 16	18 pav.	Sukelta vibracija už 3,0 m nuo daviklio Nr. 1
2024-01-27	Kražantės g. 18, Kaunas	0,30	9,00	24,60	17	19 pav.	Sukelta vibracija už 1,5 m nuo daviklio Nr. 1
2024-01-27	Kražantės g. 18, Kaunas	0,30	9,00	24,60	18	19 pav.	Sukelta vibracija už 3,4 m nuo daviklio Nr. 1
2024-01-27	Kražantės g. 18, Kaunas	-1,00	9,0	0,3	19	20 pav.	Pravažiavo keleivinis traukinys (atstumas tarp daviklio Nr. 1 ir Nr. 3 7,40 m, o tarp daviklio Nr. 2 ir Nr. 1 15,9 m)

Matavimų data	Objekto adresas	Atstumas nuo pastato iki daviklio, m			Įrašo Nr.	Matavimų schema pateikta	Vibracijos sukėlimas grunte, komentarai
		Daviklis Nr. 1	Daviklis Nr. 2	Daviklis Nr. 3			
2024-01-27	Kražantės g. 18, Kaunas	-1,00	9,00	0,30	20	21 pav.	Daviklis Nr. 1 pastato viduje ant grindų 1,0 m atstumu nuo išorinės sienos, sukelta vibracija 3,0 m atstumu nuo pastato (atstumas tarp daviklio Nr. 1 ir Nr. 3 7,40 m, o tarp daviklio Nr. 2 ir Nr. 1 15,9 m). Sukelta vibracija už 1,0 m nuo daviklio Nr. 2
2024-01-27	Kražantės g. 18, Kaunas	-1,00	9,00	0,30	21	21 pav.	Daviklis Nr. 1 pastato viduje ant grindų 1,0 m atstumu nuo išorinės sienos, sukelta vibracija 3,0 m atstumu nuo pastato (atstumas tarp daviklio Nr. 1 ir Nr. 3 7,40 m, o tarp daviklio Nr. 2 ir Nr. 1 15,9 m). Sukelta vibracija už 2,0 m nuo daviklio Nr. 2
2024-01-27	Kražantės g. 18, Kaunas	-1,00	9,00	0,30	22	21 pav.	Daviklis Nr. 1 pastato viduje ant grindų 1,0 m atstumu

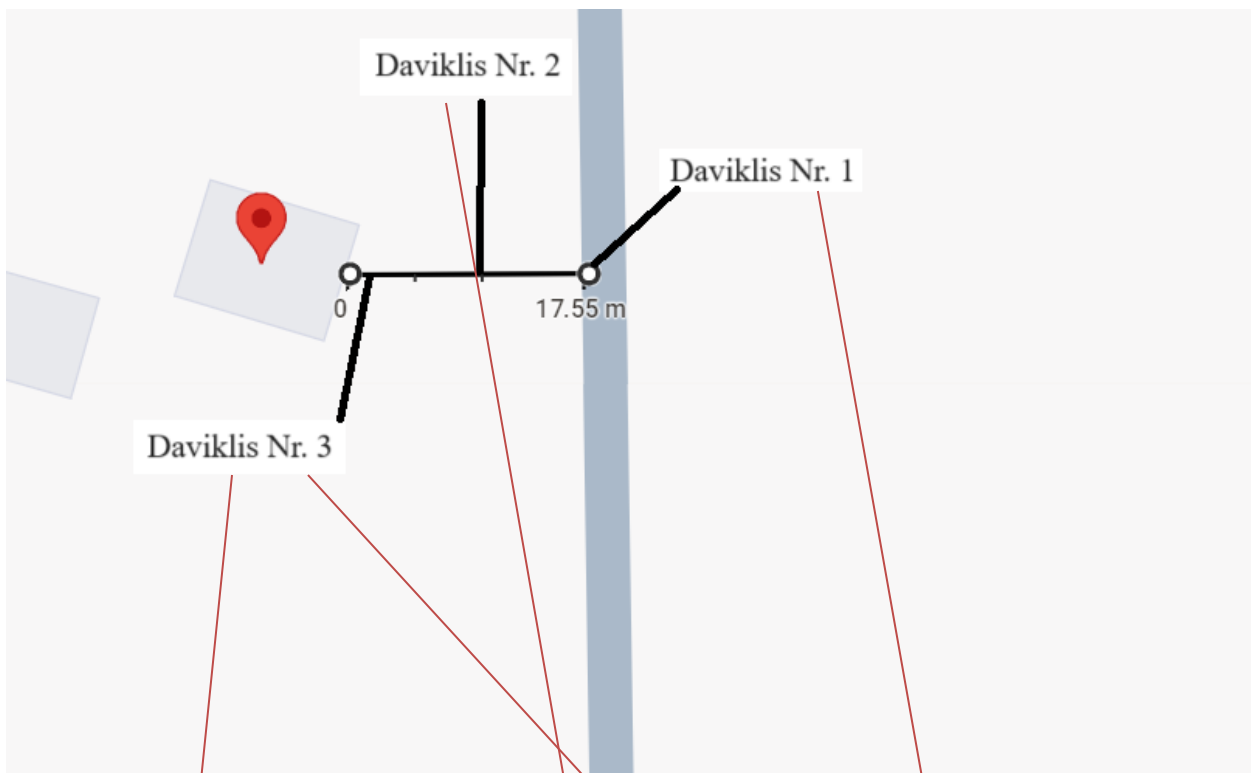
Mata- vimų data	Objekto adresas	Atstumas nuo pastato iki daviklio, m			Įrašo Nr.	Matavimų schema pateikta	Vibracijos sukėlimas grunte, komentarai
		Daviklis Nr. 1	Daviklis Nr. 2	Daviklis Nr. 3			
							nuo išorinės sienos, sukelta vibracija 3,0 m atstumu nuo pastato (atstumas tarp daviklio Nr. 1 ir Nr. 3 7,40 m, o tarp daviklio Nr. 2 ir Nr. 1 15,9 m). Sukelta vibracija už 3,0 m nuo daviklio Nr. 2
2024-01-27	Kražantės g. 18, Kaunas	-1,00	9,00	0,30	23	21 pav.	Daviklis Nr. 1 pastato viduje ant grindų 1,0 m atstumu nuo išorinės sienos, sukelta vibracija 3,0 m atstumu nuo pastato (atstumas tarp daviklio Nr. 1 ir Nr. 3 7,40 m, o tarp daviklio Nr. 2 ir Nr. 1 15,9 m). Sukelta vibracija už 4,0 m nuo daviklio Nr. 2
2024-01-27	Palemono g. 153, Kaunas	19,25	9,90	0,30	24	22 pav.	Pravažiavo per asfalto dangą vienas lengvasis automobilis
2024-01-27	Palemono g. 153, Kaunas	19,25	9,90	0,30	29	22 pav.	Pravažiavo per asfalto dangą

Mata- vimų data	Objekto adresas	Atstumas nuo pastato iki daviklio, m			Įrašo Nr.	Matavimų schema pateikta	Vibracijos sukėlimas grunte, komentarai
		Daviklis Nr. 1	Daviklis Nr. 2	Daviklis Nr. 3			
							trys lengvieji automobiliai
2024- 01-27	Palemono g. 153, Kaunas	19,25	9,90	0,30	30	22 pav.	Pravažiavo keleivinis traukinys
2024- 01-27	Palemono g. 153, Kaunas	19,25	9,90	0,30	31	22 pav.	Išmatuotas foninis vibracijų triukšmas
2024- 01-27	Palemono g. 153, Kaunas	19,25	9,90	0,30	25	23 pav.	Sukelta vibracija už 1,0 m nuo daviklio Nr. 1
2024- 01-27	Palemono g. 153, Kaunas	19,25	9,90	0,30	26	23 pav.	Sukelta vibracija už 2,0 m nuo daviklio Nr. 1
2024- 01-27	Palemono g. 153, Kaunas	19,25	9,90	0,30	27	24 pav.	Sukelta vibracija už 3,0 m nuo daviklio Nr. 1
2024- 01-27	Palemono g. 153, Kaunas	19,25	9,90	0,30	28	23 pav.	Sukelta vibracija už 4,0 m nuo daviklio Nr. 1
2024- 01-27	Palemono g. 153, Kaunas	-0,50	9,90	0,30	32	24 pav.	Daviklis Nr. 1 pastato viduje ant grindų 0,5 m atstumu nuo išorinės sienos, sukelta vibracija už 1,0 m nuo daviklio Nr. 2
2024- 01-27	Palemono g. 153, Kaunas	-0,50	9,90	0,30	33	24 pav.	Daviklis Nr. 1 pastato viduje ant grindų 0,5 m atstumu nuo išorinės

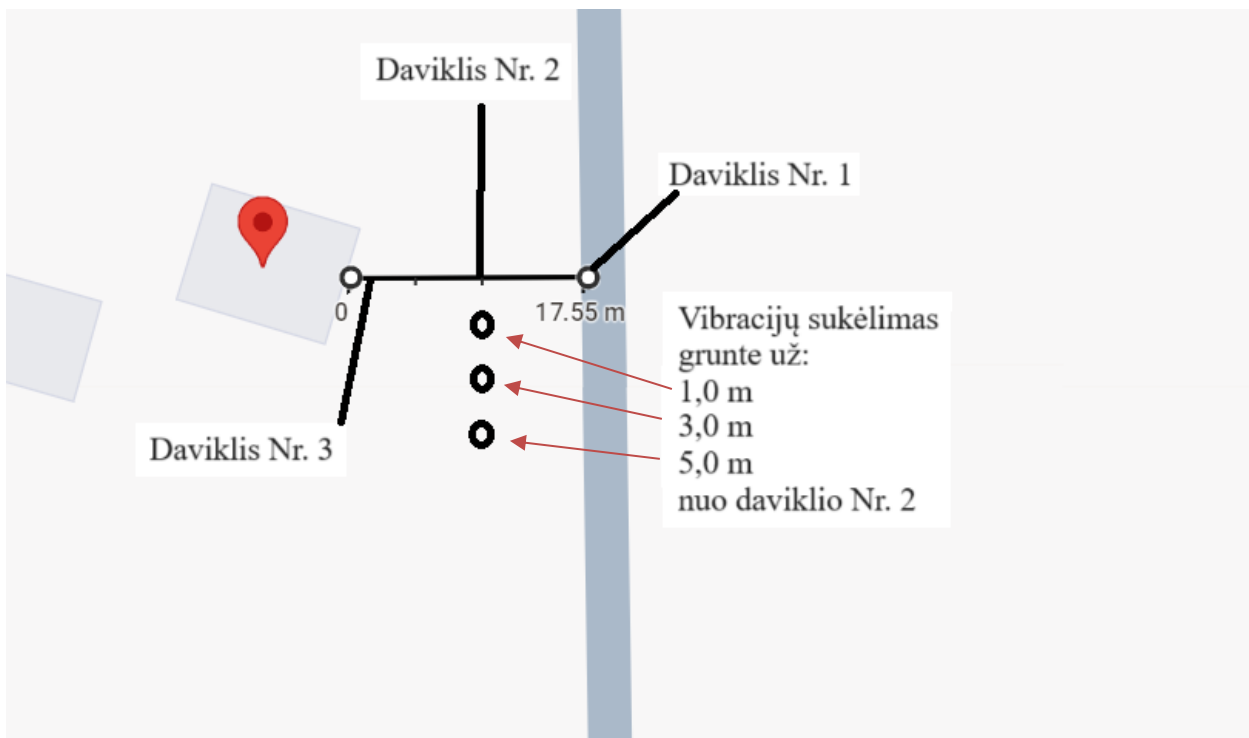
Mata- vimų data	Objekto adresas	Atstumas nuo pastato iki daviklio, m			Įrašo Nr.	Matavimų schema pateikta	Vibracijos sukėlimas grunte, komentarai
		Daviklis Nr. 1	Daviklis Nr. 2	Daviklis Nr. 3			
							sienos, sukelta vibracija už 5,5 m nuo daviklio Nr. 2

Atliekant grunto vibracijų matavimus 2024-01-25 d. užfiksuota lauko temperatūra +3°C, debesuota su trumpais sniego ir lietaus krituliais, grunto įšalo gylis 5-10 cm. Atliekant grunto vibracijų matavimus 2024-01-27 d. užfiksuota lauko temperatūra 0°C, be kritulių, debesuota, grunto įšalo gylis 5-10 cm. Siekiant nustatyti grunto vibracijų slopimą per tiriamą atstumą, buvo atlikti matavimai sukeldami vibracijas grunte ir jas matuojant skirtingose pozicijose išdėstytuose davikliuose (11 lentelė). Grunto vibracijų matavimai atlikti trimis kryptimis (x, y ir z), kur z ašis atitinka vertikalią kryptį.

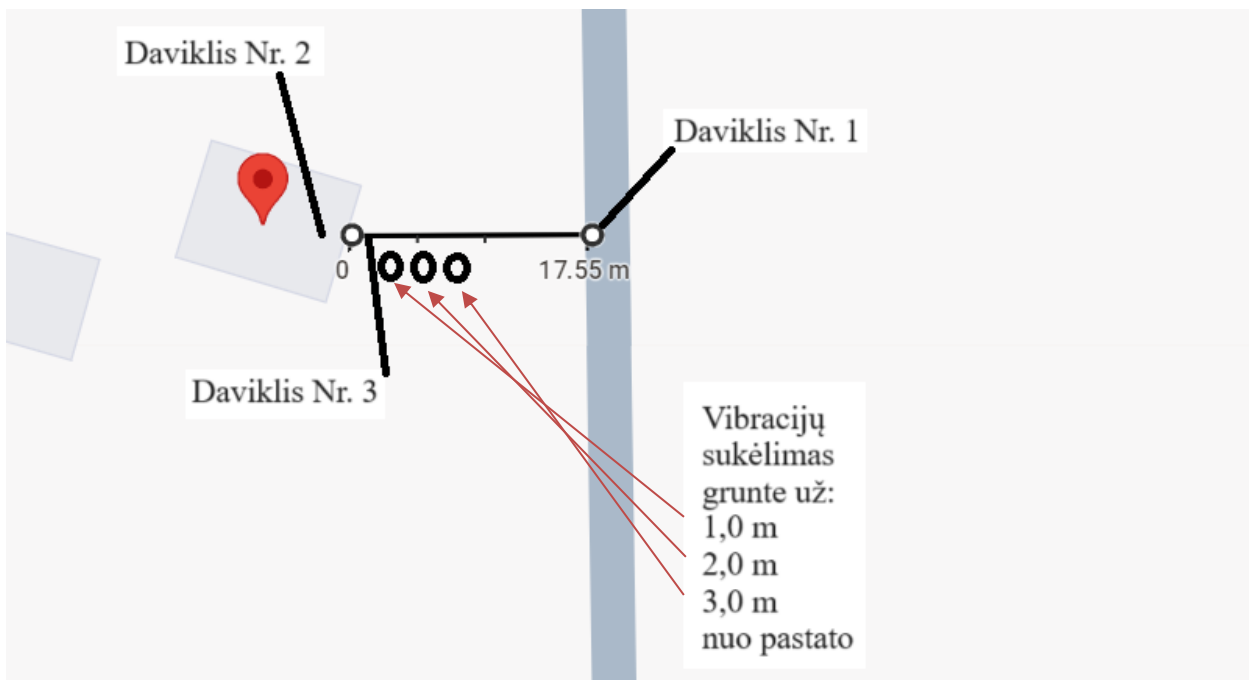
Papildomi matavimai atlikti 2024 m. kovo 08 d. siekiant patikslinti rezultatų matavimus pateiktus 11 lentelėje. Matavimų metu užfiksuota lauko temperatūra +3°C, saulėta ir be kritulių, grunto įšalo gylio nenustatyta.



14 pav. Grunto vibracijų matavimo schema objekte Gryžuvos g. 33B, Kaune (2024-01-27)



15 pav. Grunto vibracijų matavimo schema objekte Gryžuvos g. 33B, Kaune (2024-01-27) sukeltiant vibracijas grunte



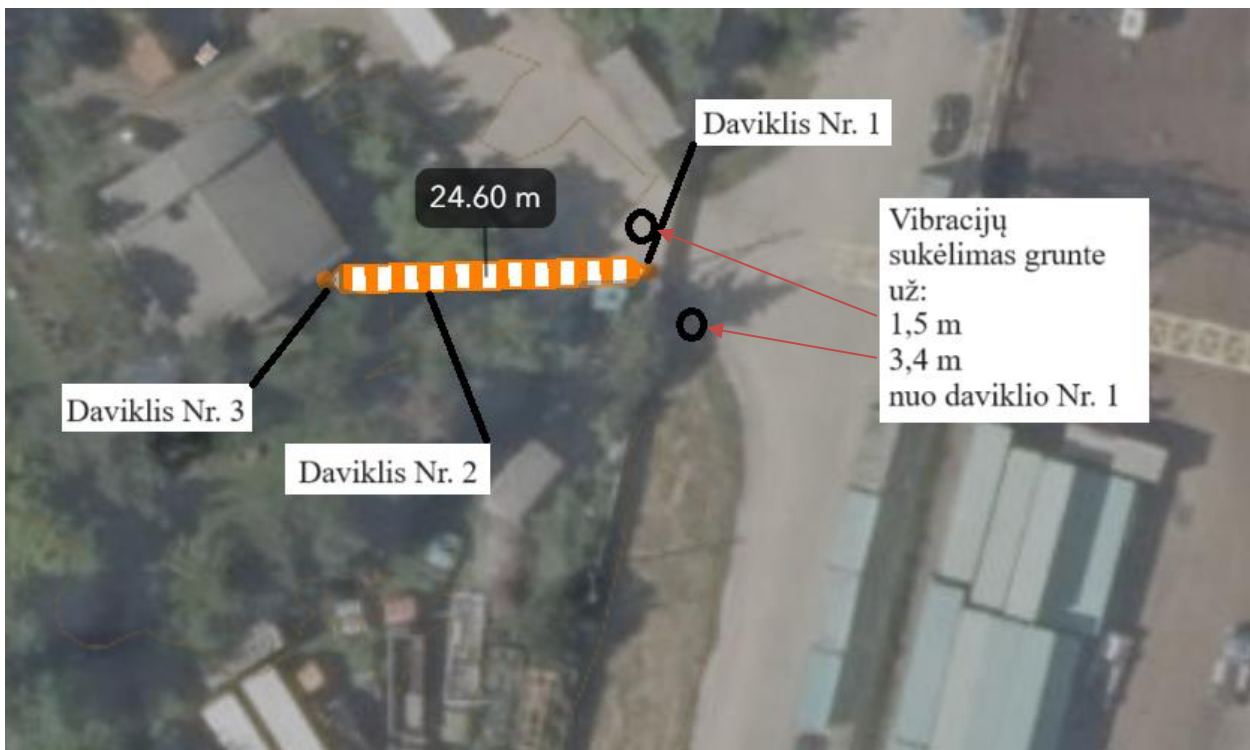
16 pav. Grunto vibracijų matavimo schema objekte Gryžuvos g. 33B, Kaune (2024-01-27) sukeltiant vibracijas grunte ir matuojant vibracijas pastato viduje



17 pav. Grunto vibracijų matavimo schema objekte Kražantės g. 18, Kaune (2024-01-27)



18 pav. Grunto vibracijų matavimo schema objekte Kražantės g. 18, Kaune (2024-01-27) sukeliant vibracijas grunte



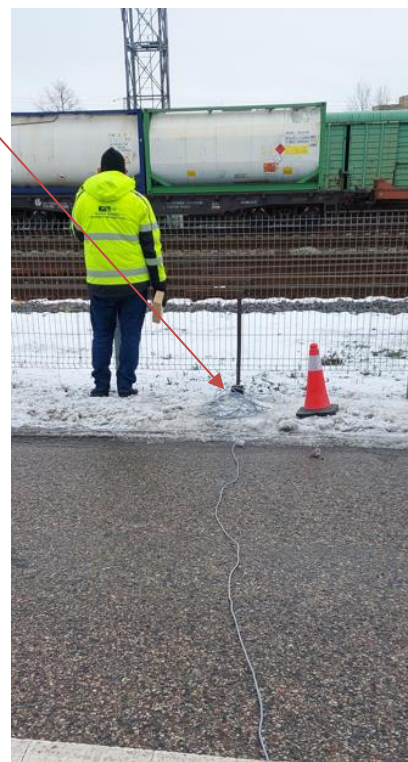
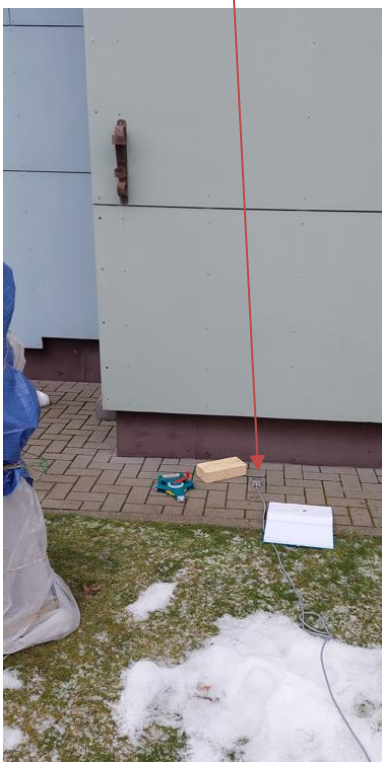
19 pav. Grunto vibracijų matavimo schema objekte Kražantės g. 18, Kaune (2024-01-27) sukeliant vibracijas grunte



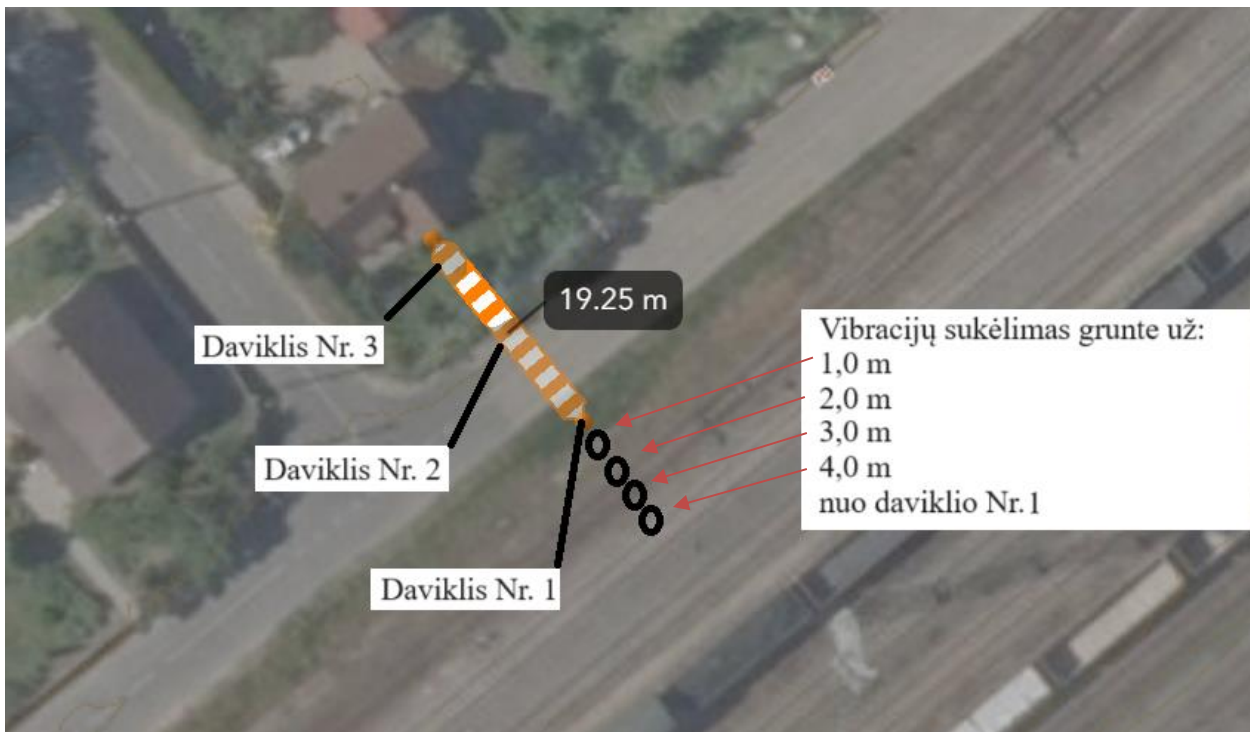
20 pav. Grunto vibracijų matavimo schema objekte Kražantės g. 18, Kaune (2024-01-27), kai daviklis Nr. 1 pastato viduje



21 pav. Grunto vibracijų matavimo schema objekte Kražantės g. 18, Kaune (2024-01-27) sukeltiant vibracijas grunte, kai daviklis Nr. 1 pastato viduje



22 pav. Grunto vibracijų matavimo schema objekte Palemono g. 153, Kaune (2024-01-27)



23 pav. Grunto vibracijų matavimo schema objekte Palemono g. 153, Kaune (2024-01-27) sukeltiant vibracijas grunte



24 pav. Grunto vibracijų matavimo schema objekte Palemono g. 153, Kaune (2024-01-27) sukeltiant vibracijas grunte, kai daviklis Nr. 1 pastato viduje

4. Grunto vibracijų vertinimas

Šiame skyriuje pateikiamas grunto vibracijų vertinimas pagal HN 50:2016 bei vibracijų grunte slopinimo koeficientai. Grunto vibracijų slopinimo koeficientas α (m^{-1}) vertintas pagal Dowding pasiūlytą formulę:

$$\alpha = \frac{-\ln \left[\frac{V_2 \left(\frac{R_1}{R_2} \right)^{-0.5}}{V_1} \right]}{R_2 - R_1}$$

čia: V_1 – vibracijų greitis grunte matuojamas prie vibracijų šaltinio (mm/s); V_2 – vibracijų greitis grunte matuojamas toliau nuo vibracijų šaltinio (mm/s); R_1 – artimesnis atstumas iki vibracijų šaltinio (m); R_2 – tolimesnis atstumas nuo vibracijų šaltinio (m).

Pagal atliktus grunto vibracijų matavimus pozicijose nurodytose 9 ir 11 lentelėse, sudarytos visiems trimis tirtiems objektams vibracijų vertinimo suvestinės lentelės pagal HN 50:2016: Palemono g. 153, Kaune (12 lentelė), Gryžuvos g. 33B, Kaune (13 lentelė), Kražantės g. 18, Kaune (14 lentelė). Lentelėse 12-14 pateiktos aktualios 1/3 oktavos dažnių juostų vidutinės geometrinių dažnių ribos visomis trimis matavimų kryptimis (x ir y – vibracijos sklindančios horizontalioje plokštumoje, z – vertikalios vibracijos) bei palygintos su didžiausiais leistiniais dydžiais, kurie nurodyti HN 50:2016.

12 Lentelė. Vibracijų vertinimas pagal HN 50:2016 objekte adresu Palemono g. 153, Kaunas

1/3 oktavos juostų vidutinis geometrinis dažnis, Hz	Išmatuotas pagreičio dydis L _a , dB			Didžiausias leidžiamas pagreičio lygis L _a , dB	
	X kryptyje	Y kryptyje	Z kryptyje	Z kryptyje	X ir Y kryptyse
1	39	36	42	80	71
1,25	43	40	47	79	71
1,6	37	41	49	78	71
2	40	42	46	77	71
2,5	45	36	45	76	73
3,15	43	39	46	75	75
4	44	36	51	74	77
5	37	35	48	74	79
6,3	43	35	46	74	81
8	42	38	42	74	83
10	40	42	41	76	85
12,5	45	43	41	78	87
16	43	35	45	80	89
20	37	40	46	82	91
25	46	35	45	84	93
31,5	39	38	47	86	95
40	39	44	45	88	97
50	41	34	44	90	99
63	42	42	47	92	101
80	42	43	46	94	103
Svertinė vibracijos vidutinė kvadratinė vertė dB ±U	43	35	51		

13 Lentelė. Vibracijų vertinimas pagal HN 50:2016 objekte adresu Gryžuvos g. 33B, Kaunas

1/3 oktavos juostų vidutinis geometrinis dažnis, Hz	Išmatuotas pagreičio dydis L_a , dB			Didžiausias leidžiamas pagreičio lygis L_a , dB	
	X kryptyje	Y kryptyje	Z kryptyje	Z kryptyje	X ir Y kryptyse
1	39	36	40	80	71
1,25	43	44	43	79	71
1,6	38	45	44	78	71
2	37	37	35	77	71
2,5	43	36	44	76	73
3,15	37	38	37	75	75
4	37	36	39	74	77
5	39	42	43	74	79
6,3	41	41	38	74	81
8	36	39	38	74	83
10	41	38	44	76	85
12,5	43	44	39	78	87
16	36	36	42	80	89
20	37	39	40	82	91
25	45	41	40	84	93
31,5	43	41	45	86	95
40	39	38	37	88	97
50	45	43	36	90	99
63	44	38	41	92	101
80	40	39	44	94	103
Svertinė vibracijos vidutinė kvadratinė vertė dB $\pm U$	51	53	52		

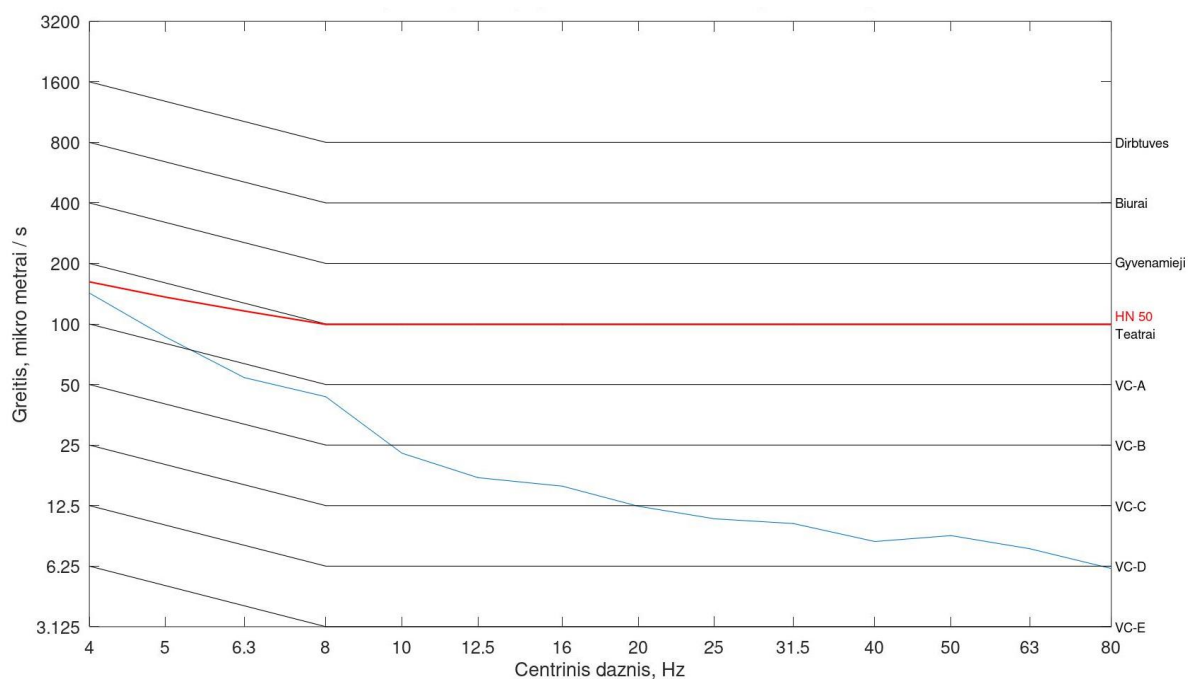
14 Lentelė. Vibracijų vertinimas pagal HN 50:2016 objekte adresu Kražantės g. 18, Kaunas

1/3 oktavos juostų vidutinis geometrinis dažnis, Hz	Išmatuotas pagreičio dydis L _a , dB			Didžiausias leidžiamas pagreičio lygis L _a , dB	
	X kryptyje	Y kryptyje	Z kryptyje	Z kryptyje	X ir Y kryptyse
1	41	42	49	80	71
1,25	42	37	46	79	71
1,6	43	36	46	78	71
2	38	45	46	77	71
2,5	46	39	50	76	73
3,15	44	39	51	75	75
4	40	43	49	74	77
5	46	40	42	74	79
6,3	41	42	50	74	81
8	39	46	47	74	83
10	44	41	42	76	85
12,5	44	46	47	78	87
16	47	45	50	80	89
20	44	43	46	82	91
25	45	45	46	84	93
31,5	38	41	51	86	95
40	41	42	46	88	97
50	43	39	45	90	99
63	42	42	46	92	101
80	40	43	49	94	103
Svertinė vibracijos vidutinė kvadratinė vertė dB ±U	50	53	59		

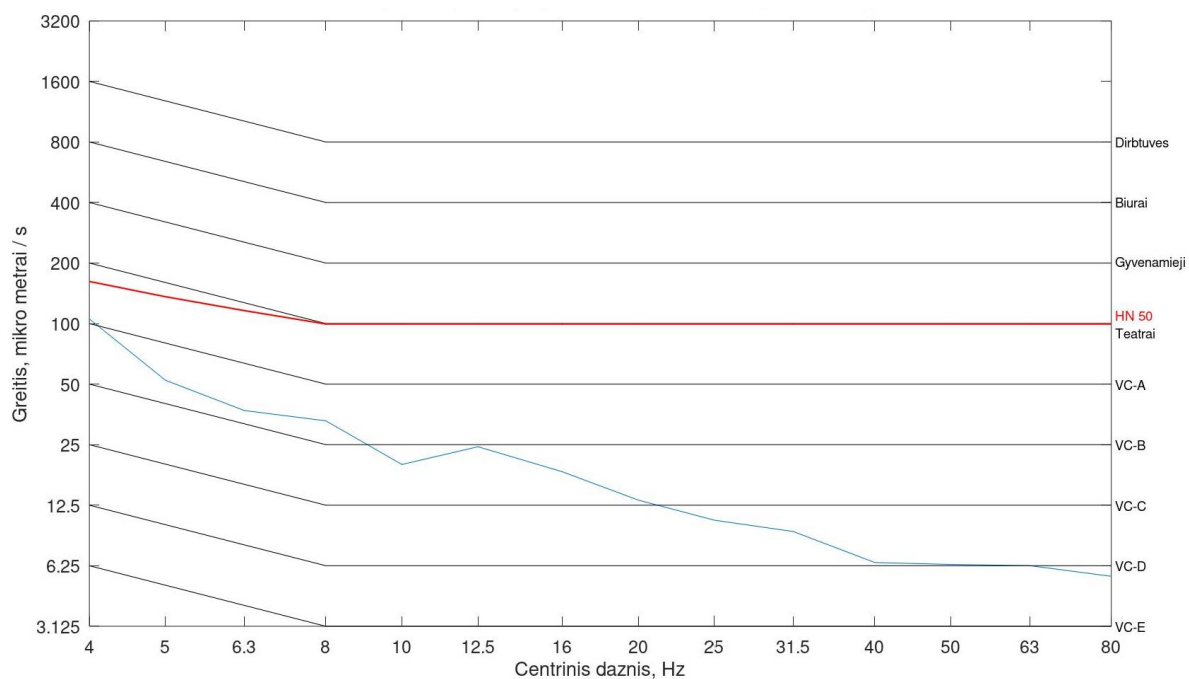
Remiantis ISO 2631-2:1989 sudaryti apibendrinti traukinių keliamų vibracijų palyginimo grafikai su ribiniais dydžiais visiems trimis tirtiems objektams (25-27 pav.), šių ribų paaiškinimai pateikti 15 lentelėje.

15 lentelė. ISO 2631-2:1989 ribiniai dydžiai ir jų apibūdinimas, kai vibracijų dažnis ≥ 8 Hz.

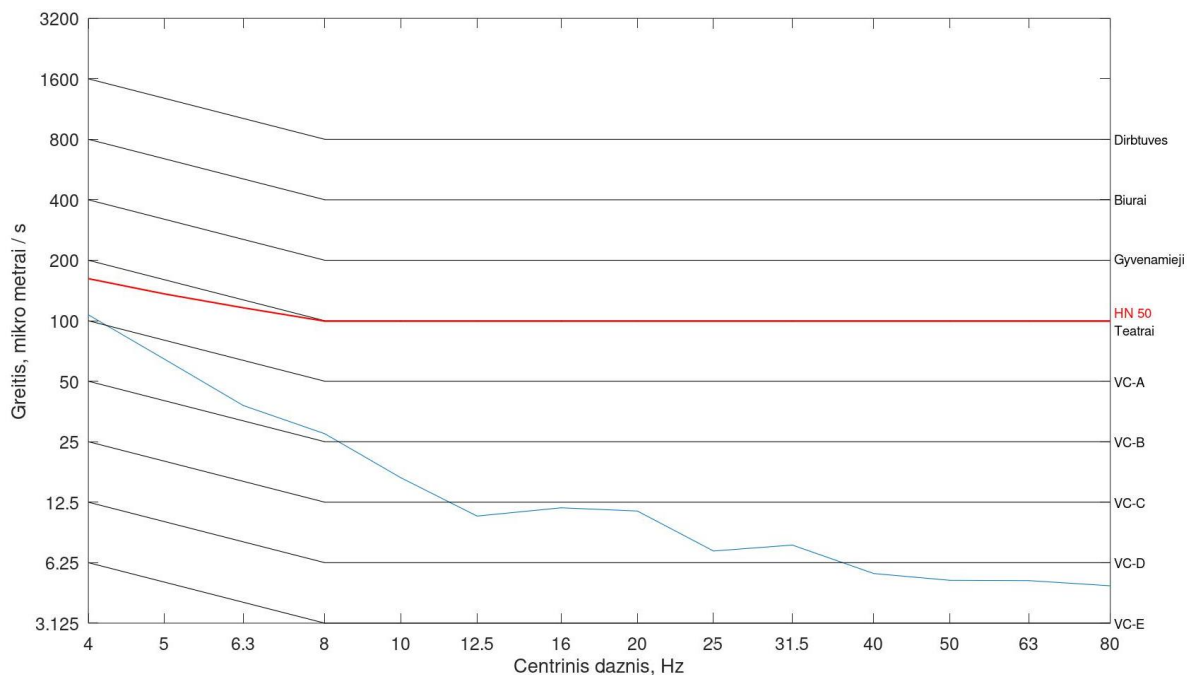
Pastato paskirtis	Didžiausias leistinas greitis, $\mu\text{m/s}$	Apibūdinimas
Dirbtuvės, pramoniniai pastatai	800	Aiškliai jaučiama vibracija. Leidžiama dirbtuvėms, pramoniniams pastatams ir nejautrioms zonoms.
Biurai	400	Jaučiama vibracija. Leidžiama biurų (komercinės paskirties) pastatams ir nejautrioms zonoms.
Gyvenamieji pastatai	200	Vos juntama vibracija. Daugeliu atvejų tinka miegoti. Dažniausiai tinka kompiuterinei įrangai, zonų bandymo įrangai ir mažos galios (iki 20X didinimo kartų) mikroskopams.
Teatrai	100	Vibracijų suvokimo slenkstis. Tinka jautrioms miego vietoms. Daugeliu atvejų tinka mikroskopams (iki 100X didinimo kartų) ir kitai mažo jautrumo įrangai.
VC-A	50	Nejaučiama jokios vibracijos. Daugeliu atvejų tinka optiniams mikroskopams (iki 100X didinimo kartų), mikrobalsams, optiniams balansams, artumo ir projekcijos lygintuvams ir kt.
VC-B	25	Nejaučiama jokios vibracijos. Tinkamas standartas optiniams mikroskopams (iki 1000X didinimo kartų), tikrinimo ir litografijos įrangai iki 3 mikronų linijos pločio (detalės dydis).
VC-C	12,5	Jokios vibracijos. Geras standartas daugumai litografijos ir tikrinimo įrangos iki 1 mikrono detalių dydžio.
VC-D	6,25	Daugeliu atvejų tinka reikliausiai įrangai, įskaitant elektroninius ir elektroninius skenuojančius mikroskopus ir elektroninių spindulių sistemas, veikiančias iki savo galimybių ribų.
VC-E	3,125	Daugeliu atvejų sunku pasiekti kriterijų. Manoma, kad tinka reikliausioms jautrioms sistemoms, įskaitant ilgo kelio, lazerines, mažas tikslines sistemas ir kitas sistemas, kurioms reikia ypatingų priemonių.



25 pav. 1/3 oktavos dažnių juostų vibracijos greičiai pagal ISO 2631-2:1989 (mėlyna linija) ir leistina HN 50:2016 riba (raudona linija) objektui adresu Palemono g. 153, Kaunas



26 pav. 1/3 oktavos dažnių juostų vibracijos greičiai pagal ISO 2631-1:1989 (mėlyna linija) ir leistina HN 50:2016 riba (raudona linija) objektui adresu Gryžuvos g. 33B, Kaunas



27 pav. 1/3 oktavos dažnių juostų vibracijos greičiai pagal ISO 2631-2:1989 (mėlyna linija) ir leistina HN 50:2016 riba (raudona linija) objektui adresu Kražantės g. 18, Kaunas

Pagal atliktus traukinių vibracijų keliamus matavimų rezultatus, apskaičiuoti grunto slopinimo koeficientai esant skirtingiems dažniams (16 lentelė).

16 Lentelė. Grunto vibracijų slopinimo koeficientai.

Dažnis, Hz	Palemono g. 153, Kaunas		Gryžuvos g. 33B, Kaunas		Kražantės g. 18, Kaunas	
	Grunto slopinimo koeficientas, α	Išmatuota jėga, kN	Grunto slopinimo koeficientas, α	Išmatuota jėga, kN	Grunto slopinimo koeficientas, α	Išmatuota jėga, kN
4	0,399	0,56	0,474	35,39	0,329	40,66
5	0,416	0,42	0,504	28,71	0,343	28,58
6,3	0,435	0,25	0,547	19,92	0,350	20,39
8	0,451	0,28	0,580	23,36	0,354	25,84
10	0,449	0,23	0,593	18,94	0,349	18,57
12,5	0,443	0,16	0,565	15,92	0,362	15,81
16	0,433	0,15	0,552	14,48	0,353	16,01
20	0,413	0,13	0,594	13,79	0,348	14,56
25	0,387	0,10	0,627	10,91	0,371	11,26
31,5	0,387	0,10	0,608	10,34	0,363	11,68
40	0,384	0,07	0,601	7,54	0,347	8,81

Dažnis, Hz	Palemono g. 153, Kaunas		Gryžuvos g. 33B, Kaunas		Kražantės g. 18, Kaunas	
	Grunto slopinimo koeficientas, α	Išmatuota jėga, kN	Grunto slopinimo koeficientas, α	Išmatuota jėga, kN	Grunto slopinimo koeficientas, α	Išmatuota jėga, kN
50	0,373	0,88	0,538	6,46	0,331	7,56
63	0,400	0,06	0,534	5,62	0,326	6,43
80	0,390	0,04	0,500	3,50	0,316	4,60
Vidurkis	0,411		0,558		0,346	

Siekiant atlikti traukinių judėjimo greičio įtakos analizę ir jų sukeltų vibracijų poveikį greta esantiems pastatams, suderinus su AB „LTG Infra“ priimta, kad:

- Palemono g. 153, Kaune vertinamas traukinio tipas – kroviniškas, kurio ašies apkrova 25 t, maksimalus greitis – 25 km/h;
- Gryžuvos g. 33 B, Kaune vertinamas traukinio tipas – kroviniškas, kurio ašies apkrova 25 t, maksimalus greitis – 5 km/h;
- Kražantės g. 18, Kaune vertinamas traukinio tipas – kroviniškas, kurio ašies apkrova 25 t, maksimalus greitis – 15 km/h.

Apskaičiuoti grunto slopinimo koeficientai gali būti naudojami vertinant grunto vibracijų dydžius bet kokių atstumų nuo vibracijų šaltinio pagal Cenek ir kt. autorių pasiūlytą formulę:

$$V_2 = V_1 \left(\frac{R_1}{R_2} \right)^{0.5} e^{-\alpha(f) \times (R_2 - R_1)}$$

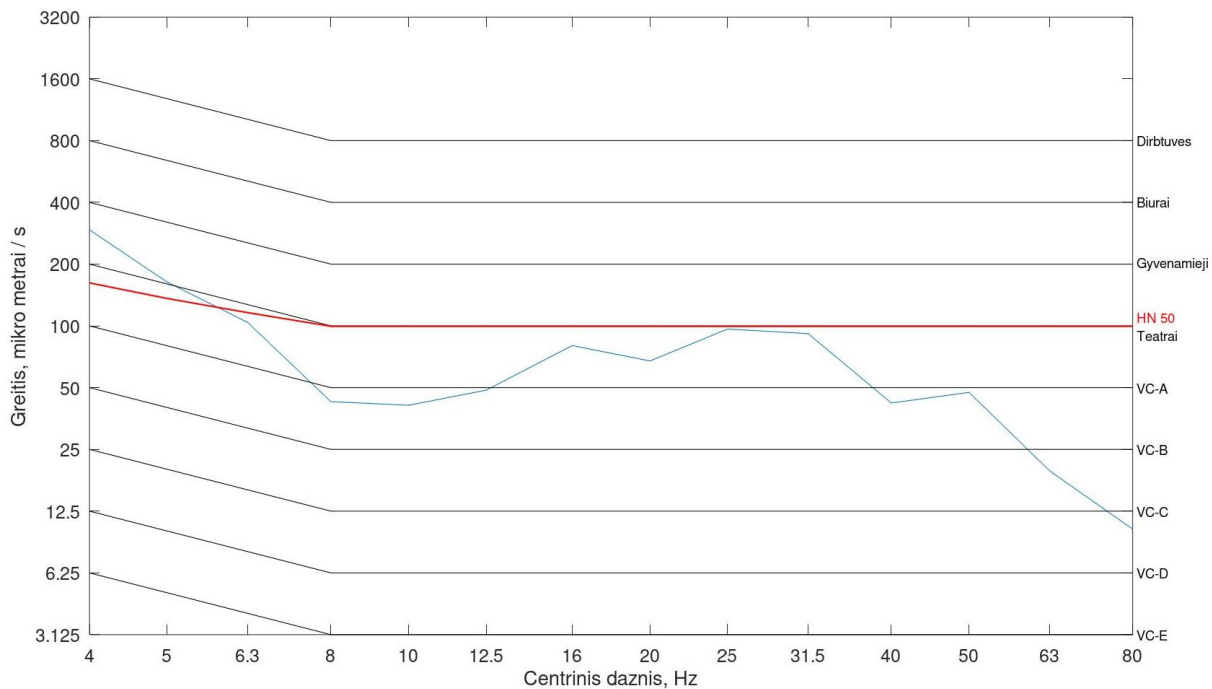
čia: V_1 – išmatuotas pikinis dalelių greitis (mm/s) atstumu R_1 (m); vibracijų greitis grunte matuojamas prie vibracijų šaltinio (mm/s); V_2 – išmatuotas pikinis dalelių greitis (mm/s) atstumu R_2 (m); R_1 – artimesnis atstumas iki vibracijų šaltinio (m); R_2 – tolimesnis atstumas nuo vibracijų šaltinio (m); $\alpha(f)$ – grunto slopinimo koeficientas prie skirtingų dažnių f (Hz).

Tokie skaičiavimai leidžia įvertinti kritinius vibracijų sklaidimo atstumus, pagal BS 5228-2:2009 nurodytus orientacinius vibracijos lygius užtikrinančius žmonių komfortą ir žalos pastatams pagal DIN 4150-3:1999 nesukelimą. Remiantis grunto slopinimo koeficientais nurodytais 16 lentelėje sudaryti prognoziniai skaičiavimai esant traukinių judėjimui 5, 15 ir 25 km/h greičiams (17 lentelė). Grunto vibracijų prognoziniai greičiai vertinti užkraunant artimiausią geležinkelio vėžę traukinio apkrova ir vertinant atstumą tarp geležinkelio vėžės ir pastato.

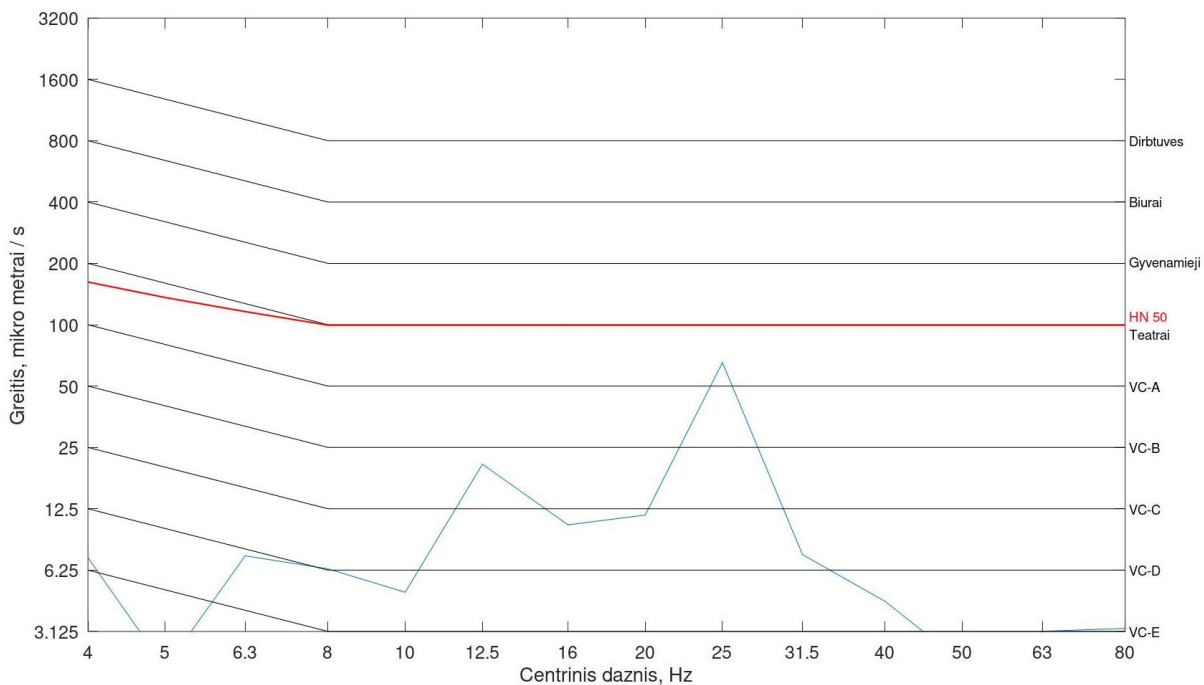
17 Lentelė. Grunto vibracijų prognoziniai greičiai esant skirtingiems traukinių greičiams.

Dažnis, Hz	Palemono g. 153, Kaunas	Gryžuvos g. 33B, Kaunas	Kražantės g. 18, Kaunas
	Traukinio greitis 25 km/h	Traukinio greitis 5 km/h	Traukinio greitis 15 km/h
Grunto vibracijų prognoziniai greičiai $\mu\text{m/s}$			
4	293,94	7,20	51,12
5	163,47	2,07	58,37
6,3	103,91	7,35	31,55
8	42,73	6,34	1,07
10	41,01	4,87	0,36
12,5	48,62	20,68	0,82
16	80,18	10,43	1,74
20	67,44	11,64	1,11
25	96,53	65,21	13,72
31,5	91,65	7,45	11,85
40	42,08	4,39	6,95
50	47,40	2,20	6,05
63	19,67	3,13	7,22
80	10,22	3,23	2,42
Rezultatų palyginimas pagal HN 50:2016	28 pav.	29 pav.	30 pav.

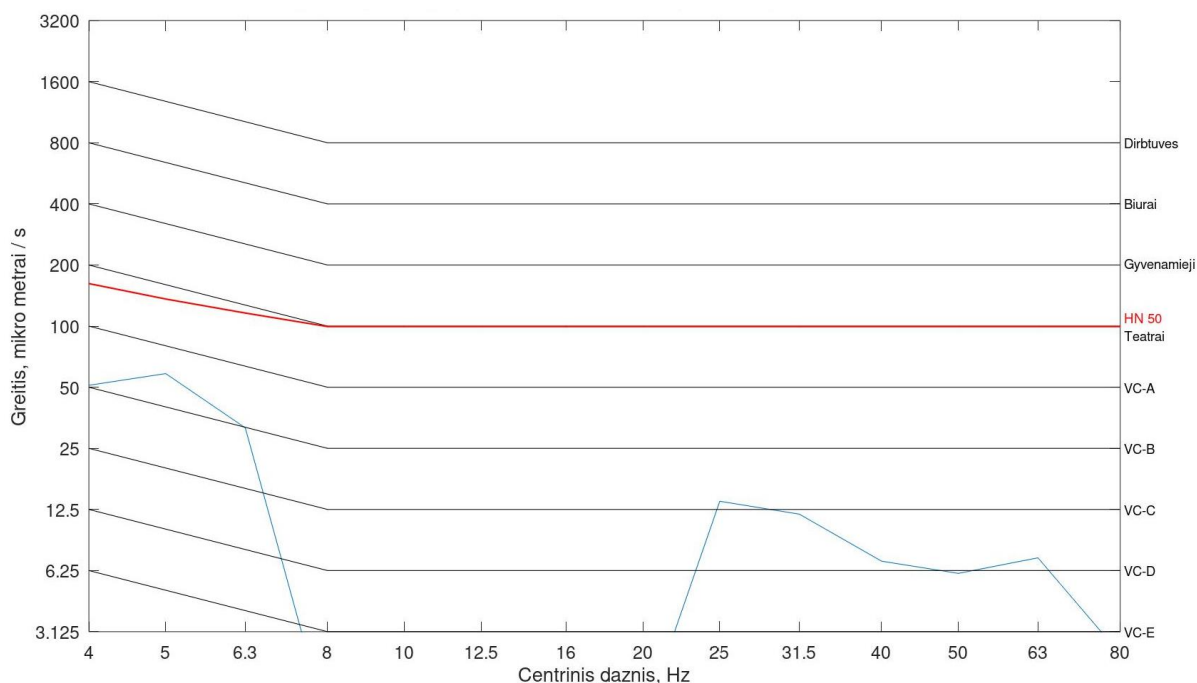
Pagal apskaičiuotus rezultatus 17 lentelėje, nustatyta, kad grunto vibracijos sukeltos judančio traukinio 5 km/h ir 15 km/h greičiais ir vertinamos pagal higienos normas HN 50:2016 pastatų viduje neviršijamos objektuose Gryžuvos g. 33B, Kaune (29 pav.) ir Kražantės g. 18, Kaune (30 pav.). Tačiau, vertinant 25 km/h traukinių greitį, grunto vibracijos vertinamos pagal higienos normas HN 50:2016 pastatų viduje viršijamos objekte adresu Palemono g. 153, Kaunas (28 pav.). Šiam objektui ir/arba traukinių linijos ruožui prie šio objekto turi būti taikomos papildomos vibracijų slopinimo priemonės nurodytos šios ataskaitos vibracijų slopinimo apžvalgoje. Taip pat, galima taikyti ir kitas priemones atsižvelgiant į priimamus projektavimo sprendinius.



28 pav. 1/3 oktavos dažnių juostų vibracijos greičiai pagal ISO 2631-2:1989 (mėlyna linija) ir leistina HN 50:2016 riba (raudona linija) objektui adresu Palemono g. 153, Kaunas (traukinio greitis 25 km/h)



29 pav. 1/3 oktavos dažnių juostų vibracijos greičiai pagal ISO 2631-2:1989 (mėlyna linija) ir leistina HN 50:2016 riba (raudona linija) objektui adresu Gryžuvos g. 33B, Kaunas (traukinio greitis 5 km/h)



30 pav. 1/3 oktavos dažnių juostų vibracijos greičiai pagal 2631-2:1989 (mėlyna linija) ir leistina HN 50:2016 riba (raudona linija) objektui adresu Kražantės g. 18, Kaunas (traukinio greitis 15 km/h)

5. Išvados ir rekomendacijos

5.1. Atlikta grunto vibracijų mažinimo literatūros analizė, kuri pritaikyta tirtiems objektams, vyraujančiai aplinkai, objektų konstrukcinėms schemoms bei atstumams nuo tirtų pastatų iki vibracijų šaltinio. Pateiktos vibracijų vertinimo metodikos pastatų konstrukcijoms ir žmonių savijautai.

5.2. Grunto vibracijos objektuose Kaune Palemono g. 153; Gryžuvos g. 33B ir Kražantės g. 18, matuotos pačiomis nepalankiausiomis sąlygomis kai grunto įšalo gylis siekė 5-10 cm ir gruntinio vandens lygis buvo aukštai pakilęs. Tokiomis sąlygomis (per ledą ir aukštą gruntinio vandens lygį) grunto vibracijoms sklįsti grunte yra itin lengva ir jų slopimas yra mažesnis nei būna šiltuoju metų laikotarpiu (be įšalo gylio) ir esant žemam gruntinio vandens lygiui.

5.3. Išmatuotos grunto vibracijos nuo traukinių eismo ir jų sklįdimas grunte bei pastatuose Kaune Palemono g. 153; Gryžuvos g. 33B ir Kražantės g. 18. Nustatyta, kad esamai traukinių eismo

situacijai, srautams, traukinių tipams (keleiviniai, kroviniai) ir vykdomiems karinės technikos krovos darbams, vibracijos pastatų viduje pagal HN 50:2016 yra leistinos ir neviršija leistinių ribų normų.

5.4. Nustatyti grunto vibracijų slopinimo koeficientai skirtinguose dažniuose ir vidutinės slopinimo koeficientų reikšmės, kurios yra didesnės nei pateiktos LST EN 1998-5:2009. Didesni grunto vibracijų slopinimo koeficientai susiję su geru geležinkelio kelių sankasų pagrindu bei esančiais gerais automobilių kelių sankasų pagrindais tarp geležinkelio teritorijos ir tirtų objektų. Atliekant vibracijų sklidimo skaičiavimus siūloma naudoti nustatytus grunto vibracijų slopinimo koeficientus:

Palemono g. 153, Kaune $\alpha = 0,411$;

Gryžuvos g. 33B, Kaune $\alpha = 0,558$;

Kražantės g. 18, Kaune $\alpha = 0,346$.

5.5. Atlikta 1/3 oktavos dažnių juostų greičių analizė pagal ISO 2631-1:1997, į kurią papildomai įtraukta liestina riba pagal HN 50:2016. Objektui esančiam Palemono g. 153, Kaune faktinės vibracijos yra arčiausiai leistinių normų ribų. Mažesnės faktinės vibracijos yra objektuose Gryžuvos g. 33B, Kaune ir Kražantės g. 18, Kaune. Tai susiję su geologinėmis sąlygomis, reljefu tirtų sklypų teritorijoje bei atstumu iki vibracijų šaltinio. Ties objektu Palemono g. 153, Kaune yra itin mažas atstumas iki geležinkelių teritorijos. Geležinkelių teritorijoje vyrauja geri geležinkelio kelių sankasų pagrindai bei esantys geri automobilių kelių sankasos pagrindai po asfaltuota Palemono g. danga. Geležinkelių teritorijos ir Palemono g. zonoje esantys gruntai pasižymi dideliu grunto slopinimo koeficientu. Tačiau prastesnių savybių gruntai yra sklypo esančio Palemono g. 153, Kaune teritorijoje, kurie neleidžia pilnai eliminuoti vibracijų pastate Palemono g. 153, Kaune. Ties objektu Gryžuvos g. 33B, Kaune yra kitokia situacija, nes pastatas yra pakankamai toli nutolęs nuo geležinkelių sankasų ir su dideliu grunto slopinimo koeficientu bei esančiu grioviu sklypo teritorijoje ties tvora, vibracijos yra praktiškai panaikinamos tiek sklypo teritorijoje, tiek pastato viduje (higienos normos neviršijamos). Šiam objektui nagrinėtos ir iškrautos technikos judėjimas per kelio ruožą esantį tarp geležinkelio ir sklypo. Nustatyta, kad tankų judėjimas sklypo teritorijoje ir pastato viduje higienos normų neviršija. Ties objektu Kražantės g. 18, Kaune pastatas yra pakankamai toli nutolęs nuo geležinkelių sankasų bei tarp geležinkelio vėžių ir sklypo yra automobilių kelias kuris kaip ir geležinkelio sankasa pasižymi dideliu grunto slopinimo koeficientu

kas lemia, kad vibracijos yra praktiškai panaikinamos tiek sklypo teritorijoje, tiek pastato viduje (higienos normos neviršijamos).

5.6. Atliekant tyrimus, gyventojai sutiko įsileisti VILNIUS TECH atstovus į objektus ir atlikti matavimus patalpų viduje. Atliekant matavimus, gyventojai buvo apklausti. Jie apibūdino su kokio tipo vibracijomis susiduria arba kokias jas jaučia. Gyventojai neatskiria kas yra garso banga ir kas yra grunto vibracijų banga. Pagal gyventojų apklausos ir atsakymų požymius, nustatyta, kad gyventojams didžiausią diskomfortą kelia garso bangos. Gyventojų teigimu grunto vibracijų jie nejaučia. Vienintelis nusiskundimas dėl grunto vibracijų jautimo buvo objekte Palemono g. 153, Kaune, nors pagal higienos normas vibracijos yra leistinos. Grunto vibracijos yra jaučiamos pastato viduje dėl prastų grunto savybių sklypo teritorijoje, neapsiltintų pamatų bei mažo atstumo iki geležinkelių teritorijos.

5.7. Atlikti faktiniai grunto vibracijų matavimai išdėstant daviklius pastatų viduje ir fiksuojant vibracijas grindų lygyje kai vyksta traukinių judėjimas. Nei vienam iš tirtų objektų Kaune (Palemono g. 153, Gryžuvos g. 33B ir Kražantės g. 18) tyrimų metu nenustatyta, kad pagal HN 50:2016 būtų viršijamos vibracijos pastatų viduje.

5.8. Atlikti prognoziniai grunto vibracijų vertinimo skaičiavimai su krovinių traukinių ašies apkrova 25 t ir traukinių greičiais 5, 15 ir 25 km/h. Nustatyta, kad esant traukinio greičiui 5 ir 15 km/h nei vienam iš tirtų objektų Kaune (Gryžuvos g. 33B ir Kražantės g. 18) vibracijos pagal HN 50:2016 pastatų viduje nėra viršijamos. Skaičiavimuose vertinant traukinio greitį 25 km/h, nustatyta, kad grunto vibracijos vertinamos pagal higienos normas HN 50:2016 pastatų viduje viršijamos objekte adresu Palemono g. 153, Kaunas (28 pav.). Šiam objektui ir/arba traukinių linijos ruožui prie šio objekto turi būti taikomos papildomos vibracijų slopinimo priemonės nurodytos šios ataskaitos 2 skyriuje „Vibracijos mažinimo priemonių taikymo praktika“. Taip pat, galima taikyti ir kitas grunto vibracijų slopinimo priemones atsižvelgiant į priimamus projektavimo sprendinius.

5.9. Rekomenduojama atlikti tirtų pastatų esamos konstrukcijų būklės tyrimus pagal STR 1.03.01:2016 „Statybiniai tyrimai. Statinio avarija“ ir nustatyti esamas pastatų deformacijas, pleišėjimo pobūdį ir plyšių dydį (konstrukcijų būklę). Įrengti plyšių matuoklius, kad vykdant statybos darbus ir pradėjus naujai įrengtos geležinkelio linijos eksploataciją nekiltų ginčų dėl

atsiradusių naujų pažaidų. Tik tokiu būdu galima įrodyti ar dėl statybos darbų atsiranda papildomų konstrukcinių pažaidų ar ne.

5.10. Rekomenduojama atlikti pakartotinius grunto vibracijų sklidimo matavimus statybos laikotarpiu ir jau pastačius naujus statinius ir naujas geležinkelio vėžes su jų konstrukcijomis, kad būtų galima galutinai įsitikinti ar nėra viršijamos higienos normų ribos gyventojų namuose.

DETALŪS METADUOMENYS	
Dokumento sudarytojas (-ai)	Savanorių pr. 176C, Vilnius (2024-07-15 16:01:59)
Dokumento pavadinimas (antraštė)	Ataskaita (III galiojanti versija)
Dokumento registracijos data ir numeris	-
Dokumento gavimo data ir dokumento gavimo registracijos numeris	-
Dokumento specifikacijos identifikavimo žymuo	ADOC-V1.0
Parašo paskirtis	-
Parašą sukūrusio asmens vardas, pavardė ir pareigos	-
Parašo sukūrimo data ir laikas	-
Parašo formatas	-
Laiko žymoje nurodytas laikas	-
Informacija apie sertifikavimo paslaugos teikėją	-
Sertifikato galiojimo laikas	-
Informacija apie būdus, naudotus metaduomenų vientisumui užtikrinti	-
Pagrindinio dokumento priedų skaičius	-
Pagrindinio dokumento pridedamų dokumentų skaičius	-
Programinės įrangos, kuria naudojantis sudarytas elektroninis dokumentas, pavadinimas	Signa 2010 (1.2.0.v20210706-10394)
Informacija apie elektroninio dokumento ir elektroninio (-ių) parašo (-ų) tikrinimą (tikrinimo data)	Dokumentas neatitinka specifikacijos keliamų reikalavimų (2024-07-15 16:01:59)
Elektroninio dokumento nuorašo atspausdinimo data ir ją atspausdinęs darbuotojas	2024-07-15 16:01:59 atspausdino
Paieškos nuoroda	-
Papildomi metaduomenys	-