



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
STATYBOS IR ARCHITEKTŪROS FAKULTETAS**

Vadimas Kitovas

VIBRACIJŲ ĮTAKA MOLIO PAGRINDŲ STABILUMUI

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Doc. dr. Gediminas Stelmokaitis

KAUNAS, 2017

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
STATYBOS IR ARCHITEKTŪROS FAKULTETAS

VIBRACIJŲ ĮTAKA MOLIO PAGRINDŲ STABILUMUI

Baigiamasis magistro projektas
Statybos inžinerija (kodas 621H20001)

Vadovas

Doc. dr. Gediminas Stelmokaitis

Recenzentas

Prof. dr. Danutė Vaičiukynienė

Projektą atliko

Vadimas Kitovas

KAUNAS, 2017



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Statybos ir architektūros

(Fakultetas)

Vadimas Kitovas

(Studento vardas, pavardė)

Statybos inžinerija 621H20001

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Vibracijų įtaka molio pagrindų stabilumui“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 ____ m. _____ d.

Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Vadimo Kitovo**, baigiamasis projektas tema „Vibracijų įtaka molio pagrindų stabilumui“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Kitovo, Vadimo. Vibracijų įtaka molio pagrindų stabilumui. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Gediminas Stelmokaitis; Kauno technologijos universitetas, statybos ir architektūros fakultetas.

Mokslo kryptis ir sritis: technologijos mokslai, statybos inžinerija

Reikšminiai žodžiai: *Molis, kerpamasis stipris, odometrinių deformacijų modulis, vibracijos, suskystėjimas.*

Kaunas, 2017. 70 p.

SANTRAUKA

Šio magistro baigiamojo darbo tikslas yra nustatyti vibracijų įtaką molio pagrindų stabilumui. Darbas susideda iš trijų pagrindinių dalių: literatūros duomenų analizės, molio tyrimų metodikos bei rezultatų ir jų aptarimo.

Pirmojoje dalyje pateikiami grunto vibracijų susidarymo ir sklidimo bendrieji principai, detaliai aprašomi pagrindiniai grunto vibracijų šaltiniai ir jų skleidžiamų vibracijų dažnių diapazonai. Toliau analizuojant moksliniuose žurnaluose publikuotus straipsnius aprašytas vibracijų poveikis grunto fiziniams bei mechaniniams savybėms.

Antroje magistro baigiamojo darbo dalyje pateikiama molio tyrimų metodika. Darbe pritaikomi dviejų tipų tyrimų metodai: eksperimentiniai ir skaitiniai. Eksperimentinių metodų aprašyme nurodomi tyrimams naudojami prietaisai ir bandymų priemonės, pateikiama bandymų atlikimo eiga, nurodomi standartai, pagal kuriuos atliekami tyrimai, bei pateikiamos formulės rezultatams skaičiuoti. Šio darbo skaitinis tyrimų metodas yra molio pagrindo, veikiamo skirtingo dažnio vibracijomis, deformacijų analizė, atliekama baigtinių elementų programa.

Trečioje darbo dalyje pateikiami atliktų tyrimų rezultatai ir jų aptarimas. Grafiškai palyginamos fizinės skirtingų bandinių savybės, pateikiamos molio RSDA ir Proktoro, įtempių – deformacijų ir kompresijos kreivės bei kirpimo grafikai. Siekiant nustatyti vibracijų poveikį molio savybėms analizuojami rezultatai, gauti atliekant bandymus be vibracijų ir su vibracijomis. Galiausiai, pateikiami modeliavimo baigtinių elementų programa rezultatai.

Apibendrinant magistrinį darbą suformuluotos 6 svarbiausios išvados.

Darbo apimtis be priedų – **69** psl., kuriuose pateikta **62** paveiksai, **14** lentelių ir **46** literatūros šaltiniai.

Kitovas, Vadimas. Vibrations Influence On Clay Base Stability: Master's thesis in Civil Engineering / supervisor assoc. prof. Gediminas Stelmokaitis. The Faculty of Civil Engineering and Architecture Kaunas University of Technology.

Research area and field: technology science, civil engineering

Key words: Clay, shear strength, oedometric modulus, vibrations, liquefaction

Kaunas, 2017. 70 p.

SUMMARY

The aim of master's thesis is to determine vibrations influence on clay base stability. Master's thesis consists of three main parts: literature review, clay study methods, results and discussion.

In the first part the general principles of ground vibrations formation and their propagation are presented as well as frequency range of ground vibrations is analysed. Also, by analyzing articles published in scientific journals, ground vibrations effect on clay soil physical and mechanical properties is studied.

In the second part of master's thesis clay study methods are presented. Two types of research methods are used in thesis: experimental and numerical methods. In the description of experimental methods the instruments and testing tools are indicated, conduction of experiments is specified, standards which regulate clay investigation are presented and equations to calculate the results are written. Numerical method used in this thesis is deformation analysis of clay basis that is exposed to different frequency vibrations conducted using finite elements software.

In the third part the results of study and their discussion is presented. By using various diagrams physical properties of clay samples are compared, clay X-ray analysis, Proctor's and stress-strain curves and diagrams of shear tests are illustrated. In order to determine vibrations influence on clay soil properties, the results obtained from experiments without vibrations and with vibrations are compared. Finally, the results of numerical analysis using finite elements software are presented.

By summarizing master's thesis 6 main conclusions are given.

Thesis consists of **69** pages of text, **62** figures, **14** tables and **46** references.

Turinys

Paveikslų sąrašas.....	8
Lentelių sąrašas.....	9
Sutartiniai žymėjimai	10
Įvadas	11
1. Literatūros duomenų analizė	13
1.1. Grunto vibracijų bendrieji principai	13
1.1.1. Priverstiniai virpesiai	13
1.1.2. Atsitiktiniai virpesiai	15
1.1.3. Bangų sklidimas tampriu kūnu.....	15
1.1.4. Giluminės bangos	16
1.1.5. Paviršinės bangos	17
1.2. Grunto vibracijų šaltiniai	19
1.2.1. Traukinių judėjimo sukeltos grunto vibracijos	19
1.2.2. Automobilių eismo sukeltos grunto vibracijos	20
1.2.3. Spraustinių polinių pamatų įrengimo skleidžiamos grunto vibracijos	21
1.2.4. Sprogdinimo darbų sukeltos grunto vibracijos	22
1.2.5. Dinaminio grunto tankinimo sukeltos grunto vibracijos.....	22
1.3. Vibracijų poveikis gruntui	23
1.3.1. Molio suskystėjimas	24
1.3.2. Grunto rezonansas	26
2. Molio tyrimų metodika.....	27
2.1. Tyrimų objektas	29
2.2. Eksperimentiniai tyrimo metodai.....	30
2.2.1. Molio drėgno nustatymas.....	30
2.2.2. Tankio nustatymas	31
2.2.3. Atterbergo ribų nustatymas	32

2.2.4. Rentgenodifrakcinė analizė.....	35
2.2.5. Proktoro tankio nustatymas.....	36
2.2.6. Spūdumo bandymai	38
2.2.7. Kirpimo bandymai.....	41
2.3. Skaitiniai tyrimo metodai	43
2.3.1. Baigtinių elementų metodas.....	44
2.3.2. Grunto vibracijos ir jų slopinimas.	45
3. Rezultatai ir jų aptarimas.....	47
3.1. Eksperimentinių tyrimų rezultatai.....	47
3.1.1. Drėgnio ir tankio nustatymas	47
3.1.2. Atterbergo ribų nustatymas.....	49
3.1.3. Rentgenodifrakcinė analizė.....	50
3.1.4. Proktoro tankio nustatymas.....	51
3.1.5. Molio spūdimas	51
3.1.6. Molio kirpimas	58
3.2. Skaitinių tyrimų rezultatai	61
3.2.1. Pamato nuosėdžių analizė statinės apkrovos atveju	62
3.2.2. Molio pagrindo deformacijų analizė esant vibracijų poveikiui.....	63
Išvados ir rekomendacijos.....	65
Literatūros sąrašas.....	66
Priedai	70

Paveikslų sąrašas

1 pav. Decknerio pateiktas harmoninių priverstinių virpesių aprašymas [4].....	14
2 pav. Periodinių virpesių pavyzdys [2].	14
3 pav. Slopinamųjų virpesių banga [2].	15
4 pav. Atsitiktinių virpesių pavyzdys [2].	15
5 pav. Įtempių komponentai [8]	16
6 pav. Išilginės ir skersinės bangos sukiamas grunto judėjimas [4]	16
7 pav. Reilėjaus bangų sukiamas grunto dalelių judėjimas [4]	18
8 pav. Horizontalioji ir vertikalioji Reilėjaus bangos sukiamo elipsinio dalelių judėjimo komponentės išreikštos gylio ir Puasono koeficiento funkcija [4]	18
9 pav. Spraustinių polinių pamatų įrengimo metu generuojamų seisminių bangų atsiradimo principas [19]	21
10 pav. Spraustinių polinių pamatų įrengimo skleidžiamų grunto vibracijų dažniai [13]	22
11 pav. Grunto dinaminis tankinimas [22]	23
12 pav. Dinaminio tankinimo sukiamų vibracijų schema [23]	23
13 pav. Seed pasiūlytas grunto suskystėjimo galimybės įvertinimo modelis [32].....	25
14 pav. Natūralios struktūros molio monolitas	29
15 pav. Molinio grunto milteliai	29
16 pav. Elektroninės svarstyklės GF - 1200	30
17 pav. Elektroninė džiovinimo krosnelė	30
18 pav. Grunto būseną pagal Atterbergo ribas [33]	33
19 pav. Plastiškumo drėgnio grunto volelis	34
20 pav. Takumo drėgnio nustatymo prietaisas.....	34
21 pav. Proktoro tankio nustatymo prietaisas	37
22 pav. Prietaiso PLL-9 schema [41]	39
23 pav. Grunto spūdumo bandymas įprastomis sąlygomis.....	39
24 pav. Grunto spūdumo bandymas veikiant bandinį 50 Hz dažnio vibracijomis.....	39
25 pav. Indikatorius deformacijoms matuoti	40
26 pav. Grunto kerpamojo stiprio grafikas pagal Moro – Kulono teoriją	41
27 pav. Vandeniui prisotinto grunto kerpamojo stiprio grafikas	41
28 pav. Kirpimo bandymas be vibracijų.....	43
29 pav. Kirpimo bandymas veikiant bandinį 50 Hz dažnio vibracijomis.....	43
30 pav. Kirpimo bandymas veikiant bandinį 10 ir 30 Hz dažnio vibracijomis	43
31 pav. Slopinamųjų sistemų virpesių grafikas.....	46
32 pav. Molio bandinių drėgnių histograma	48
33 pav. Molio bandinių tankio pasiskirstymas.....	48
34 pav. Molio RSDA kreivė	50
35 pav. Molio Proktoro kreivė	51
36 pav. Prietaiso PLL-9 taravimo kreivė	51
37 pav. S.S.M25 molio įtempių – deformacijų kreivės	52
38 pav. S.S.M29 molio įtempių – deformacijų kreivės	52
39 pav. S.S.M33 molio įtempių – deformacijų kreivės	53
40 pav. Suardytos struktūros molio odometrinių deformacijų modulio priklausomybė nuo drėgnio ir jo pokytis esant vibracijų poveikiui.....	53
41 pav. N.S.M. bandinių įtempių – deformacijų priklausomybė nesant vibracijų poveikiui	54
42 pav. N.S.M. bandinių įtempių – deformacijų kreivė veikiant juos 50 Hz vibracijomis	54
43 pav. N.S.M odometrinių deformacijų modulio pasiskirstymas.....	55
pagal spūdumo bandymų be vibracijų rezultatus.....	55
44 pav. N.S.M odometrinių deformacijų modulio pasiskirstymas.....	56
pagal spūdumo bandymų su 50 Hz vibracijomis rezultatus.....	56
45 pav. N.S.M. bandinių kompresijos kreivė.....	56

46 pav.	Suardytos struktūros molio bandinių kompresijos kreivės.....	57
47 pav.	Natūralios struktūros molio kirpimo bandymų rezultatai.....	58
48 pav.	S.S.M33 molio kirpimo bandymų rezultatai.....	59
49 pav.	S.S.M29 molio kirpimo bandymų rezultatai.....	59
50 pav.	S.S.M25 ir Pr.M25 molio kirpimo bandymų rezultatai.....	60
51 pav.	Pamato ant molio pagrindo modelio vaizdas.....	61
52 pav.	Modelio sudalinimas į bagtinius elementus.....	61
53 pav.	Pamato ant N.S.M molio pagrindo nuosėdžiai	62
54 pav.	Pamato ant S.S.M25 molio pagrindo nuosėdžiai	62
55 pav.	Pamato ant S.S.M29 molio pagrindo nuosėdžiai	62
56 pav.	Pamato ant S.S.M33 molio pagrindo nuosėdžiai	62
57 pav.	N.S.M molio deformacijos veikiant 5 Hz dažnio vibracijoms	63
58 pav.	N.S.M molio deformacijos veikiant 15 Hz dažnio vibracijoms	63
59 pav.	N.S.M molio deformacijos veikiant 25 Hz dažnio vibracijoms	63
60 pav.	N.S.M molio deformacijos veikiant 35 Hz dažnio vibracijoms	63
61 pav.	Skirtingų dažnių vibracijų sukeltos molio pagrindų deformacijos	63
62 pav.	Priklausomybė tarp molio odometrinių deformacijų modulio ir rezonansinio dažnio	64

Lentelių sąrašas

1.1. lentelė.	Ryšiai tarp trijų dalelių judėjimo dydžių	13
1.2. lentelė.	Dydžiai apibūdinantys harmoninius virpesius	13
1.3. lentelė.	Dydžiai apibūdinantys tampriąsias bangas	15
1.4. lentelė.	Tipiniai išilginių ir skersinių bangų sklidimo grunte greičiai [4].....	17
1.5. lentelė.	Suvestinė įvairių šaltinių skleidžiamų grunto vibracijų dažnių lentelė	23
1.6. lentelė.	Gruntams būdingi savųjų virpesių dažniai [7]	26
2.1. lentelė.	LST EN ISO 14688-2:2007 pateikiamas dulkių ir molių klasifikavimas pagal konsistencijos rodiklį [38].....	35
3.1. lentelė.	Drėgnio nustatymo bandymų rezultatai.....	47
3.2. lentelė.	Plastiškumo drėgnio nustatymo bandymų rezultatai.....	49
3.3. lentelė.	Takumo drėgnio nustatymo bandymų rezultatai.....	49
3.4. lentelė.	Molio bandinių konsistencija	50
3.5. lentelė.	Betono įvesties rodikliai	61
3.6. lentelė.	Molio pagrindų įvesties rodikliai	61
3.7. lentelė.	Molio pagrindų įvesties duomenys atliekant pagrindo deformacijų analizę	62

Sutartiniai žymėjimai

Žymėjimas	Apibūdinimas	Matavimo vienetai
A	Bangos amplitudė	m
c	Sankiba	kPa
c_P	Išilginės bangos greitis	m/s
c_R	Reilėjaus (Rayleigh) bangos greitis	m/s
c_S	Skersinės bangos greitis	m/s
d	Atstumas tarp atominių plokštumų	m
E	Tamprumo modulis	MPa
E_{oed}	Odometrinis deformacijų modulis	MPa
e	Poringumo koeficientas	—
F	Apkrovos dydis	N
f	Bangos dažnis	Hz
G	Šlyties modulis	MPa
g	Laisvojo kritimo pagreitis	m/s ²
k	Sistemos standumas	N/m
m	Grunto masė	g
m_d	Sauso bandinio masė	g
OCR	Perkonsolidavimo rodiklis	—
I_C	Konsistencijos rodiklis	—
I_P	Plastiškumo rodiklis	—
T	Bangos periodas	s
U_j	Svorio funkcija	—
W	Grunto drėgnis	%
W_P	Plastiškumo riba (plastiškumo drėgnis)	%
W_L	Takumo riba (takumo drėgnis)	%
z	Grunto dalelių poslinkis	m
β	Koeficientas, įvertinantis grunto skersinę deformaciją žiede	—
γ	Šlyties deformacija	—
ε	Santykinė deformacija	—
ζ	Slopavimo koeficientas	—
θ	rentgeno spindulių pluošto kritimo kampas	°
λ	Bangos ilgis	m
ν	Puasono koeficientas	—
ρ	Grunto tankis	kg/m ³
ρ_d	Sauso grunto tankis	kg/m ³
ρ_s	Kietųjų dalelių tankis	kg/m ³
σ	Normalinis įtempis	kPa
τ	Tangentinis įtempis	kPa
τ_f	Tangentiniai įtempiai suirimo plokštumoje	kPa
τ_{su}	Vandeniui prisotinto grunto kerpamasis stipris	kPa
φ	Vidinės trinties kampas	°
ω	Bangos kampinis dažnis	rad/s
ω_n	Savųjų virpesių dažnis	Hz
$\{a\}$	Sistemos mazgų poslinkių vektorius	—
$\{f\}$	Sistemą veikiančių jėgų vektorius	—
$[K]$	Standumo matrica	—

Pastaba: kai kurie simboliai darbe žymi kelis dydžius, todėl būtina atkreipti dėmesį į paaiškinimus esančius po formulėmis.

Įvadas

Temos aktualumas

Projektuojant statinius vienas svarbiausių veiksnių, lemiančių jų ilgaamžiškumą, yra grunto pagrindas. Grunto savybės bei statinio ir pagrindo tarpusavio sąveikos sąlygos lemia pastato stiprumą, pastovumą ir jo normalią eksploataciją. Dėl šių priežasčių racionaliai projektuojant statinius ypatingas dėmesys projektuojant turėtų būti skiriamas išsamiai grunto analizei. Lietuvos teritorijos gruntų tyrinėjimais nustatyta, kad didžiąją dalį paviršiaus dengia nuosėdinės kilmės gruntai. Moreniniai priemoliai ir priemoliai dengia 57 % Lietuvos teritorijos bei apie 10 % paviršiaus dengia limnoglacialiniai priemoliai ir moliai [1]. Įvertinus Lietuvos geologinį pagrindą šiame magistro darbe tyrimo objektu pasirinktas vyraujantis Lietuvoje gruntas – molis.

Norint užtikrinti statinio ilgaamžiškumą svarbu projektuojant numatyti visus galimus apkrovų ir aplinkos poveikius veikiančius eksploataciniu naudojimo laikotarpiu. Gruntas gali būti veikiamas ne tik statinio nuolatinės bei laikinos apkrovos, paviršinio vandens, gruntinio vandens ir filtracijos slėgio, temperatūros, valkšnumo poveikiais, bet taip pat ir įvairiomis dinaminėmis apkrovomis, sukeliančiomis virpesių grunte sklidimą. Tokių virpesių šaltiniai gali būti žemės drebėjimai bei antropogeninės veiklos sukelti procesai. Pastariesiems galima priskirti dinamines automobilių ir traukinių judėjimo apkrovas, sprogdinimo darbus, spraustinių ir kaltinių polinių pamatų įrengimą, dinaminį grunto tankinimą.

Seisminės virpesių bangos sukeltos stiprių žemės drebėjimų kasmet padaro didžiulę žalą pasauliniu mastu griaudamos statinius, sukeldamos nuošliaužas bei grunto nusėdimą, suskystėjimą. Vis dėlto, Lietuvai esant mažo seisminio aktyvumo zonoje, žemės drebėjimų poveikis projektuojant statinius nėra aktuali problema. Kita vertus, grunto vibracijos, sukeltos minėtų antropogeninių šaltinių, gali potencialiai būti pavojingos grunto pagrindams. Remiantis užsienio tyrėjų duomenimis vibracijos gali neigiamai paveikti grunto mechanines savybes, tačiau sutariama, jog šis poveikis turi tiesioginį ryšį su pradinėmis grunto fizinėmis savybėmis. Siekiant išsiaiškinti virpesių poveikį skirtingų savybių moliai, darbe atliekami išsamūs eksperimentiniai tyrimai.

Taip pat šio darbo aktualumas gali būti pagrįstas metodų, įvertinančių vibracijas grunte pagal normatyvinius geotechninius projektavimo dokumentus, trūkumu. Atlikti grunto bandymai sukeldami vibracijas gali suteikti projektuotojams naudingos informacijos apie pagrindo mechaninių savybių pokyčius, o siekiant kompleksiskai įvertinti molio pagrindų stabilumo ypatybes, tyrimų rezultatai lyginami su grunto ir pamato sąveikos modeliavimo baigtinių elementų programa rezultatais.

Darbo tikslas ir uždaviniai

Darbo tikslas – nustatyti vibracijų įtaką molio pagrindų stabilumui.

Siekiant užsibrėžto tikslo reikia išspręsti šiuos uždavinius:

1. Atliekant literatūros analizę nustatyti skirtingų vibracijų šaltinių sukeltų bangų dažnių diapazonus ir teoriškai išnagrinėti šių vibracijų poveikį moliniam gruntui.
2. Atliekant rentgenodifrakcinę analizę (RSDA) nustatyti Kertupio karjere susiformavusio molio mineralinę sudėtį.
3. Eksperimentiniais bandymais nustatyti pagrindines tiriamo natūralios struktūros molio ir suardytos struktūros molio fizines bei mechanines savybes.
4. Ištirti vibracijų įtaką molio mechaninėms savybėms atliekant tyrimus, kai grunto bandinys veikiamas įvairaus dažnio virpesiais ir gautus rezultatus palyginti su užsienio publikacijose skelbiamų tyrimų rezultatais.
5. Baigtinių elementų programa modeliuoti skirtingo dažnio vibracijų poveikį molio pagrindo deformacijoms nustatant savuosius molio virpesių dažnius.

Mokslinis naujumas

Šio darbo mokslinis naujumas yra unikalūs eksperimentiniai molio, veikiamo vibracijomis, savybių tyrimai, kurie Lietuvoje iki tol nebuvo atliekami. Pirmą kartą nustatyta kaip keičiasi mechaninės Lietuvos teritorijoje esančio hidrožėručio molio savybės, kai šis gruntas yra veikiamas ciklinio poveikio virpesiais.

Praktinė vertė

2016 metų liepos mėnesį išleistame geotechninio projektavimo statybos techniniame reglamente nėra metodikos kaip įvertinti galimas grunto vibracijas projektuojant pamatus. Dažniausiai tokiu atveju projektuotojai subjektyviai pasirenka tam tikrus dalinius koeficientus nenumatytiems poveikiams, tačiau toks projektavimas nėra pagrįstas racionalaus projektavimo nuostatomis. Siekiant objektyviau spręsti šią problemą siūloma atsižvelgti į šiame darbe atliktų tyrimų rezultatus taikant koeficientus grunto savybių pokyčiams.

Darbo aprobavimas ir publikavimas

Magistrinio darbo tema paskelbtos dvi mokslinės publikacijos. Žurnale *Journal of Sustainable Architecture and Civil Engineering* publikuotas straipsnis „Vibrations Influence on Clay Soil Parameters“, o mokslinės konferencijos „Statyba ir architektūra“ leidinyje publikuotas straipsnis „A Study of Mobilization of Residual Shear in Different Clays During an Earthquake Event“. Darbe atliktų tyrimų rezultatai buvo pristatyti 2016 m. spalio mėn. vykusioje tarptautinėje konferencijoje „Advanced Construction“.

1. Literatūros duomenų analizė

1.1. Grunto vibracijų bendrieji principai

Dinaminė apkrova veikianti gruntą sukelia grunto vibracijas. Literatūroje [2] grunto vibracija apibūdinama kaip grunto dalelių pasikartojantis virpamasis judėjimas apie pusiausvyros padėtį. Šiame skyriuje pateikiami pagrindiniai parametrai naudojami vibracijų judėjimui aprašyti bei apibendrinta skirtingų virpesių tipų klasifikacija.

Dalelių virpėjimas yra apibūdinamas tų dalelių poslinkiu z , judėjimo greičiu \dot{z} bei pagreičiu \ddot{z} , tačiau tik vienas iš šių dydžių yra reikalingas grunto vibracijoms apibūdinti [3]. Šie dydžiai tarpusavyje yra susiję išvestinėmis ir integralais laiko atžvilgiu kaip parodyta 1.1 lentelėje.

1.1. lentelė. Ryšiai tarp trijų dalelių judėjimo dydžių.

	... poslinkio	... greičio	... pagreičio
Poslinkis išreikštas ... funkcija	z	$\int \dot{z} dt$	$\iint \ddot{z} dt$
Greitis išreikštas ... funkcija	$\dot{z} = \frac{dz}{dt}$	\dot{z}	$\int \ddot{z} dt$
Pagreitis išreikštas ... funkcija	$\ddot{z} = \frac{d^2z}{dt^2}$	$\ddot{z} = \frac{d\dot{z}}{dt}$	\ddot{z}

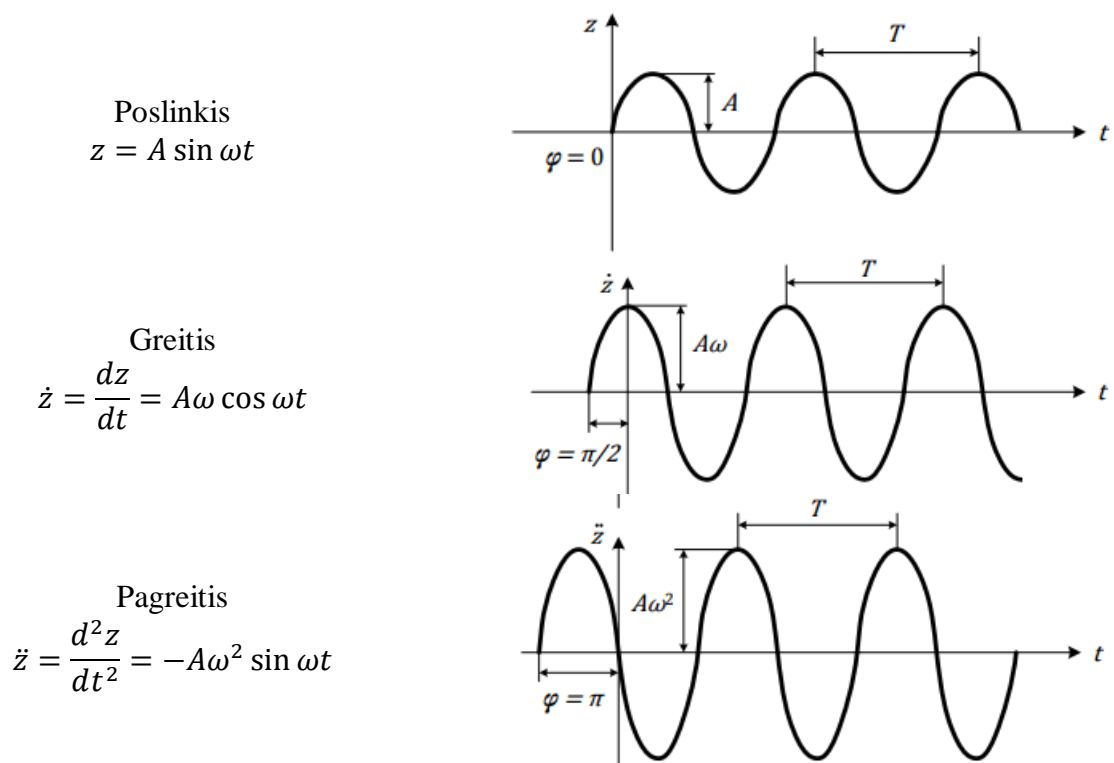
1.1.1. Priverstiniai virpesiai

Priverstiniai virpesiai gali būti aprašomi matematinėmis išraiškomis, kurios leidžia teoriškai prognozuoti tolimesnį virpesių sklidimą. Šio tipo vibracijos nesudėtingai charakterizuojamos nedideliu parametru skaičiumi.

Harmoniniai virpesiai yra paprasčiausias priverstinių virpesių atvejis [3]. Tokie virpesiai yra aiškios sinuso/kosinuso funkcijos (žr. 1 pav.) ir gali būti pilnai apibūdinamos 1.2. lentelėje pateiktais dydžiais.

1.2. lentelė. Dydžiai apibūdinantys harmoninius virpesius.

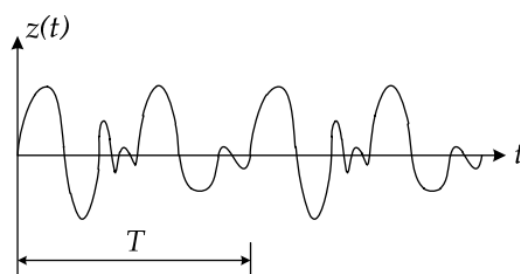
Parametras	Išraiška	Matavimo vienetai	Apibūdinimas
A	—	[m]	Amplitudė – tai didžiausias nuokrypis nuo pusiausvyros
T	—	[s]	Periodas – tai svyravimo ciklo trukmė
ω	$2\pi/T$	[rad/s]	Kampinis dažnis – radianai per sekundę (sukimosi analogija)
f	$1/T$	[s ⁻¹] arba [Hz]	Dažnis – tai ciklų skaičius per sekundę
φ	—	[rad]	Fazė – laiko atsilikimas lyginant su gryna sinuso funkcija



1 pav. Decknerio pateiktas harmoninių priverstinių virpesių aprašymas [4].

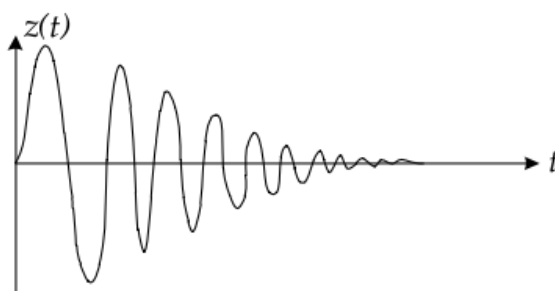
Bangos fazė dažnai praktiniuose pavyzdžiuose neturi reikšmės, tad vibracijų sklidimas gali būti aprašomas bangos amplitude A ir dažniu f , arba kampiniu greičiu ω [2].

Periodiniai virpesiai yra toks poslinkio ciklas, kuris pasikartoja tam tikru laiko periodu T [3], (žr. 2 pav.). Prancūzų matematikas ir fizikas J. Fourier pastebėjo, kad visi periodiniai signalai gali būti apibūdinami kaip skirtingos amplitudės, dažnio ir fazių sinusoidžių suma [5]. Periodiniai virpesiai yra sukelti daugelio tipų mašinų, veikiančių periodiniais ciklais, pavyzdžiui: siurblių, vibracinių volų, kompresorių ir ventiliatorių. Taip pat kaltinių polių įrengimas žadina periodines slopinamąsias grunto vibracijas.



2 pav. Periodinių virpesių pavyzdys [2].

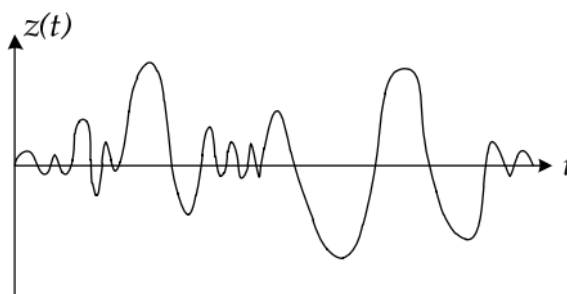
Slopinamieji virpesiai yra vibracijų sklidimo atvejis, kai mažėja bangos amplitudė (žr. 3 pav.) Slopinamieji virpesiai beveik niekada nebūna pilnai determinuoti, tačiau daugelyje praktinių pavyzdžių šio tipo vibracijos gali būti aproksimuojamos kaip eksponentiškai mažėjantys sinusiniai virpesiai. [2]. Slopinamieji grunto virpesiai dažniausiai asocijuojami su impulsinio tipo šaltiniais, pavyzdžiui sprogdinimo darbais arba spraustinių polių pamatų įrengimu [6].



3 pav. Slopinamųjų virpesių banga [2].

1.1.2. Atsitiktiniai virpesiai

Atsitiktiniai virpesiai neturi jokio aiškaus sklidimo modelio (žr. 4 pav.). Paprasti parametrai aprašyti ankstesniame poskyryje netinka šio tipo vibracijoms aprašyti, todėl tik statistiniai metodai yra tinkami atsitiktiniams virpesiams analizuoti. Vėjo ir transporto apkrovos sukelia atsitiktinį dinaminį poveikį. [2].



4 pav. Atsitiktinių virpesių pavyzdys [2].

1.1.3. Bangų sklidimas tampriu kūnu

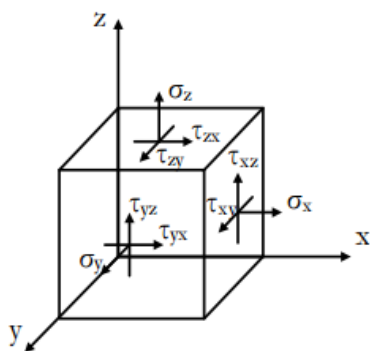
Vibracijų sklidimas, aprašytas ankstesniuose poskyriuose, apibūdina atskiros dalelės virpesius. Grunte dalelės tarpusavyje liečiasi ir vienos dalelės judėjimas žadina besiliečiančias daleles perduodant virpesių judėjimą [7]. Tai reiškia, kad bangai judant gruntu yra perduodama energija be dalelių pernašos. Dydžiai, kurie yra dažniausiai naudojami apibūdinti tampriąsias bangas, pateikti 1.3. lentelėje.

1.3. lentelė. Dydžiai apibūdinantys tampriąsias bangas.

Parametras	Išraiška	Matavimo vienetai	Apibūdinimas
c	—	[m/s]	Bangos greitis – tai greitis, kuriuo sklinda banga
f	—	[s ⁻¹] arba [Hz]	Dažnis – dalelių judėjimo dažnumas
λ	c/f	[m]	Bangos ilgis – tai atstumas tarp dviejų dalelių toje pačioje būsenoje (pvz.: tarp dviejų bangos keterų)

Labai svarbu yra atskirti lokalų *dalelių greitį* $v = \dot{z}$, kas yra greitis, kuriuo dalelės virpa apie pusiausvyros būseną nuo *bangos greičio* c , kas yra greitis, kuriuo banga juda tolyn nuo šaltinio.

Bangos greitis priklauso nuo grunto įtempių – deformacijų priklausomybės. Įprastai gruntas yra laikomas homogeniška izotropine tiesiškai tampria medžiaga, kuriai galioja Huko dėsnis [8]. Grunto įtempių – deformacijų priklausomybės aprašomos tokiomis formulėmis:



5 pav. Įtempčių komponentai [8]

čia:

G – šlyties modulis;

ν – Puasono koeficientas;

σ – normaliniai įtempiai;

ε – santykinė deformacija;

τ – tangentiniai įtempiai;

γ – šlyties deformacija.

Odometrinis grunto deformacijų modulis E_{Oed} naudojamas vienašės deformacijos atveju, t.y.

$\varepsilon_x \neq 0$; $\varepsilon_y = \varepsilon_z = 0$:

$$\sigma_x = 2G \left(\varepsilon_x + \frac{\nu}{1-\nu} (\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z) \right) \quad (1.1)$$

$$\sigma_y = 2G \left(\varepsilon_y + \frac{\nu}{1-\nu} (\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z) \right) \quad (1.2)$$

$$\sigma_z = 2G \left(\varepsilon_z + \frac{\nu}{1-\nu} (\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z) \right) \quad (1.3)$$

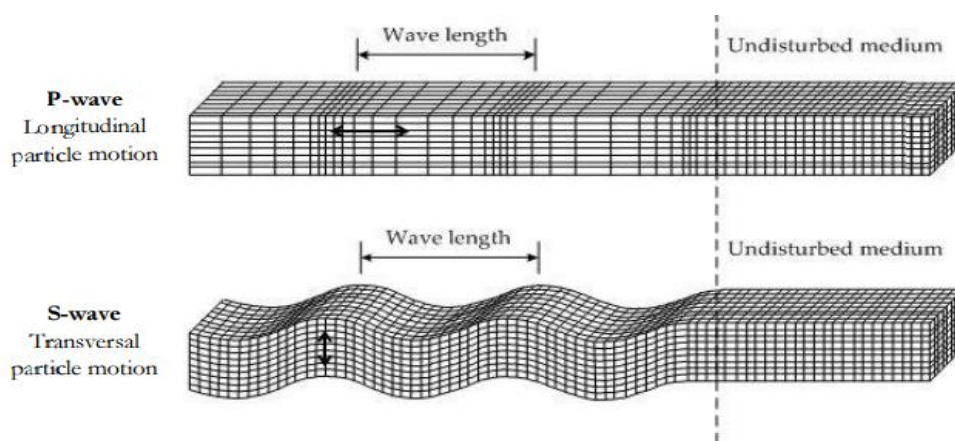
$$\tau_{xy} = G \cdot \gamma_{xy} \quad (1.4)$$

$$\tau_{yz} = G \cdot \gamma_{yz} \quad (1.5)$$

$$\tau_{zx} = G \cdot \gamma_{zx} \quad (1.6)$$

1.1.4. Giluminės bangos

Judėjimo lygtis begalinių matmenų homogeniniame izotropiniame tampriame kūne turi du sprendinius, kurie apibūdina dvi skirtingos prigimties *giluminės bangos*. Šios bangos sklinda nuo šaltinio nepriklausomai viena nuo kitos [8]. Išilginė banga (dar vadinama P banga arba pirmine banga) lemia grunto tūrio pasikeitimą, o skersinė banga (dar vadinama S banga arba antrine banga) nulemia formos pokytį [3].



6 pav. Išilginės ir skersinės bangos sukiamas grunto judėjimas [4]

Išilginė banga yra grunto masės lokalaus tūrio pokyčio (arba lokalaus tankio pokyčio) judėjimas. Dalelių judėjimas, sukeltas šio tipo bangos sklidimo, yra išilginis suspaudimo – išsiplėtimo judesys (žr 6 pav.). Išilginės bangos sklidimas priklauso nuo medžiagos atsparumo vienašei deformacijai, tad jis priklauso nuo grunto odometrinio deformacijų modulio E_{Oed} :

$$c_p = \sqrt{\frac{E_{Oed}}{\rho}} = \sqrt{\frac{G}{\rho} \cdot \frac{2(1-\nu)}{1-2\nu}} \quad (1.9)$$

čia:

- c_p – išilginės bangos sklidimo greitis;
- E_{Oed} – odometrinių deformacijų modulis;
- ρ – grunto tankis;
- G – grunto šlyties modulis;
- ν – Puasono koeficientas.

Skersinė banga yra grunto masės lokalaus skersinio iškrypimo (be tūrio pokyčio) judėjimas. Sužadintas dalelių judėjimas yra skersinis virpėjimas (žr. 6 pav.). Skersinės bangos sklidimas paremtas grunto gebėjimu perduoti šlyties jėgas tarp dalelių, todėl jis priklauso nuo šlyties modulio. Kadangi gruntas yra silpnesnis veikiant skersinei apkrovai negu išilginei, skersinė banga yra lėtesnė nei išilginė banga. Skersinės bangos greitis išreiškiamas tokia lygybe:

$$c_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (1.10)$$

čia:

- c_s – skersinės bangos sklidimo greitis;

Tipiniai išilginių ir skersinių bangų sklidimo greičiai smėlio ir molio grunte pateikiami 1.4. lentelėje.

1.4. lentelė. Tipiniai išilginių ir skersinių bangų sklidimo grunte greičiai [4]

Medžiaga		Išilginės bangos sklidimo greitis c_p [m/s]	Skersinės bangos sklidimo greitis c_s [m/s]
Molis	Sausas	100-600	40-300
	Prisotintas vandeniu	1450	40-250
Smėlis	Sausas	150-1000	100-500
	Prisotintas vandeniu	1450	80-450

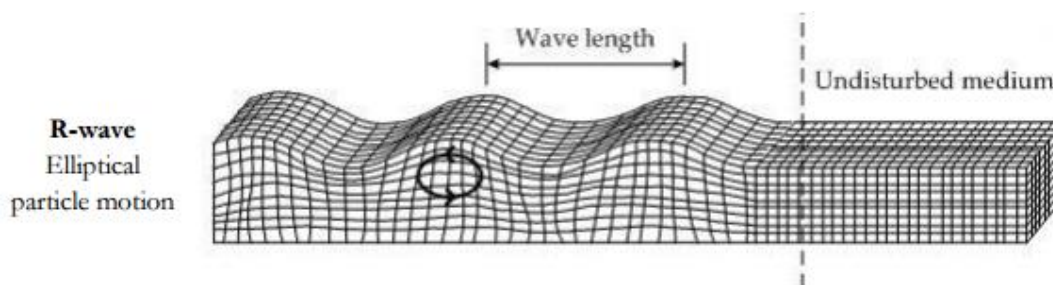
Skystos terpės įtaka: vandeniu išilginės bangos sklinda didesniu greičiu nei grunto struktūroje. Tai reiškia, kad didėjant grunto drėgnumui, išilginės bangos sklidimo greitis tame grunte didėja. Vandeniu prisotintame grunte išilginės bangos greitis apytiksliai yra 1450 m/s – toks pats kaip išilginės bangos judėjimo greitis vandenyje.

Kadangi vandens kerpamasis stipris lygus nuliui, skersinės bangos judėjimo greitis nepriklauso nuo grunto prisotinimo laipsnio ir šios bangos greitis netgi yra mažesnis vandeniu prisotintuose gruntuose, nes skersinės bangos gali sklirti tik kietame kūne [3].

1.1.5. Paviršinės bangos

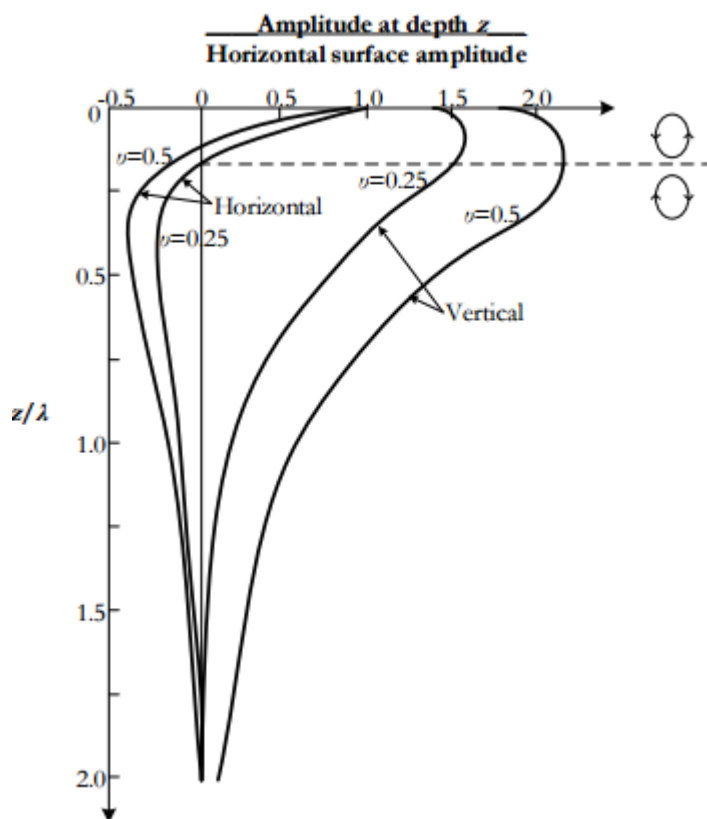
Dviejų medžiagų, turinčių labai skirtingas tamprumo savybes, sankirtoje didesnio standumo medžiagos paviršius (šiuo atveju gruntas sąveikoje su oru žemės paviršiuje) laikomas nulinių įtempių paviršiumi. Tokiame paviršiuje gali susidaryti kelių tipų *paviršinės bangos*, tačiau tik Reilėjaus bangos (dar vadinamos R bangomis) yra reikšmingiausios ir tik šios paviršinės bangos yra skleidžiamos šiame darbe aprašomų šaltinių [2]. Pasak mokslininko Svinkin [6] Reilėjaus bangos yra

didžiausią žalą sukeliančios grunto vibracijos, kurios lemia didelius grunto poslinkius, yra mažo dažnio, mažo sklidimo greičio, tačiau pernešančios didžiausią virpesių energijos kiekį.



7 pav. Reilėjaus bangų sukeliamas grunto dalelių judėjimas [4]

Reilėjaus banga yra anksčiau aptartų išilginių ir skersinių bangų kombinacija, kuri skatina elipsinės orbitos grunto dalelių judėjimą (žr. 8 pav.). Elipsės forma ir dydis priklauso nuo gylio, kuriame sklinda banga, ir Puasono koeficiento kaip pavaizduota 8 paveiksle.



8 pav. Horizontalioji ir vertikalioji Reilėjaus bangos sukeliama elipsinio dalelių judėjimo komponentės išreikštos gylio ir Puasono koeficiento funkcija [4]

Reilėjaus bangos sklidimo greitis apytiksliai gali būti apskaičiuojamas pagal tokią formulę:

$$c_R = \frac{0,87 + 1,12 \cdot \nu}{1 + \nu} c_S \quad (1.11)$$

čia:

c_R – Reilėjaus bangos greitis;

c_S – skersinės bangos greitis;

ν – Puasono koeficientas

1.2. Grunto vibracijų šaltiniai

Analizuojant grunto vibracijas galima išskirti du pagrindinius virpesių sklaidimo šaltinius besiskiriančius savo prigimtimi: natūralios kilmės šaltiniai bei šaltiniai, atsirandantys dėl antropogeninių veiksnių. Reikšmingiausi ir didžiausią žalą statiniams darantys virpesiai yra sukeliama žemės drebėjimo metu. Žemės paviršiuje kasmet įvyksta tūkstančiai žemės drebėjimų, tačiau tik nedidelė jų dalis padaro daug žalos statiniams ar nusineša žmonių gyvybių. Remiantis statistiniais duomenimis [9] vidutiniškai 200 žemės drebėjimų kasmet vertinami kaip padarantys vidutinę žalą, 20 žemės drebėjimų – didelę žalą ir apytiksliai vienas žemės drebėjimas kiekvienais metais pareikalauja daug žmonių gyvybių bei padaro labai didelę žalą statiniams. Žemės drebėjimai sukelia žalą statiniams ir inžineriniams tinklams įvairiais būdais: dėl vidinių grunto judėjimo jėgų, grunto nuosėdžių ir suskystėjimo, ugnies sukeltų gaisrų, nuošliaužų, seisminių reiškinių sukeltų vandens bangų, tokių kaip cunamis, vandens judėjimo rezervuaruose ir ežeruose bei tektoninių grunto aukščio pokyčių. Į antrąją kategoriją (antropogeninių veiksnių) patenkantys grunto vibracijų šaltiniai yra mažiau pavojingi nei žemės drebėjimai, nes tokių šaltinių sukeltoms virpesių bangoms nėra būdingi tokie dideli pagreičiai, kokie atsiranda stipresnių žemės drebėjimų metu. Tačiau tinkamai neįvertinus šių šaltinių sukeliama grunto dalelių virpėjimo atsiranda potenciali žala statinių ir pagrindų stabilumui (žr. 1.3. skyrių). Su žmogaus veikla asocijuojamas grunto vibracijas gali sukelti įvairios dinaminės apkrovos, pavyzdžiui, automobilių eismas greitkeluose, traukinių judėjimas. Ypatingai svarbus šaltinis yra eismas tuneliuose. Taip pat, vibracijos gali atsirasti ir dėl tokių veiksnių kaip sproginimas ar įvairių technologinių procesų, pavyzdžiui, sprausinių polinių pamatų įrengimo ar dinaminio grunto tankinimo metu. Tolimesniuose poskyriuose plačiau aprašomas kiekvienas iš šių vibracijų šaltinių siekiant išsiaiškinti jų ypatybes bei nustatyti sklaidžiamų dinaminė bangų dažnių diapazonus, kurie bus panaudoti eksperimentinėje darbo dalyje.

1.2.1. Traukinių judėjimo sukeliama grunto vibracija

Spartus globalinis geležinkelių infrastruktūros augimas lemia didėjančią naujų geležinkelio linijų skaičių šalia jau esančių statinių. Šis sparčiau augantis geležinkelio linijų atsiradimas gali kelti problemų aplinkai, nes traukinių judėjimo sukeliama vibracija ne tik neigiamai veikia gruntą, kuriuo jos perduodamos, bet gali pasiekti ir netoli esančius statinius. Tai gali sukelti pastato konstrukcijų, tokių kaip sienų, grindų ar perdangų virpesius bei trikdyti tame pastate esančių žmonių sveikatą ir elektroninių sistemų veiklą. Tam, kad galima būtų prognozuoti ir užkirsti kelią šių vibracijų sukeliams neigiamiems padariniams, svarbu yra suprasti pagrindinius veiksnius, lemiančius grunto vibracijų atsiradimą nuo traukinių judėjimo.

Vibracijos yra generuojamos traukinio ratų ir bėgių kontaktiniame paviršiuje perduodant vertikalias, išilgines ir skersines jėgas bėgių sistemai. Tačiau mokslininkas Connolly su kolegomis

[10] parodė, kad vertikalus sužadinimas turi didžiausią įtaką grunto vibracijoms, todėl horizontalios jėgos dažniausiai nėra vertinamos. Vertikalus sužadinimas išskiriamas į dvi komponentes: kvazistatinę ir dinaminę. Kvazistatinė komponentė atsiranda dėl statinės ašinės traukinio apkrovos judėjimo [11]. Jos dydis yra laike nekintamas, o dinaminis poveikis atsiranda tik dėl trumpalaikių tam tikro taško įtempių ir deformacijų pokyčių, sukeliamų traukinio judėjimo.

Kvazistatinio sužadinimo dažnis priklauso nuo traukinio judėjimo greičio ir traukinio geometrijos [12]. Ši komponentė lemia žemo dažnio grunto vibracijų atsiradimą. Dinaminė komponentė atsiranda dėl inercijos jėgų, generuojamų traukinio ir bėgių sąveikos. Ji priklauso ne tik nuo traukinio judėjimo greičio ir jo matmenų, bet ir nuo geometrinių netolygumų, bėgių standumo ir ratų nelygumų [12]. Kadangi dinaminė virpesių žadinimo komponentė priklauso nuo daugelio veiksnių lyginant su kvazistatine, jos skleidžiamų grunto vibracijų dažnis turi platų diapazoną, o šiuos virpesius yra sunku modeliuoti naudojant skaitinius metodus.

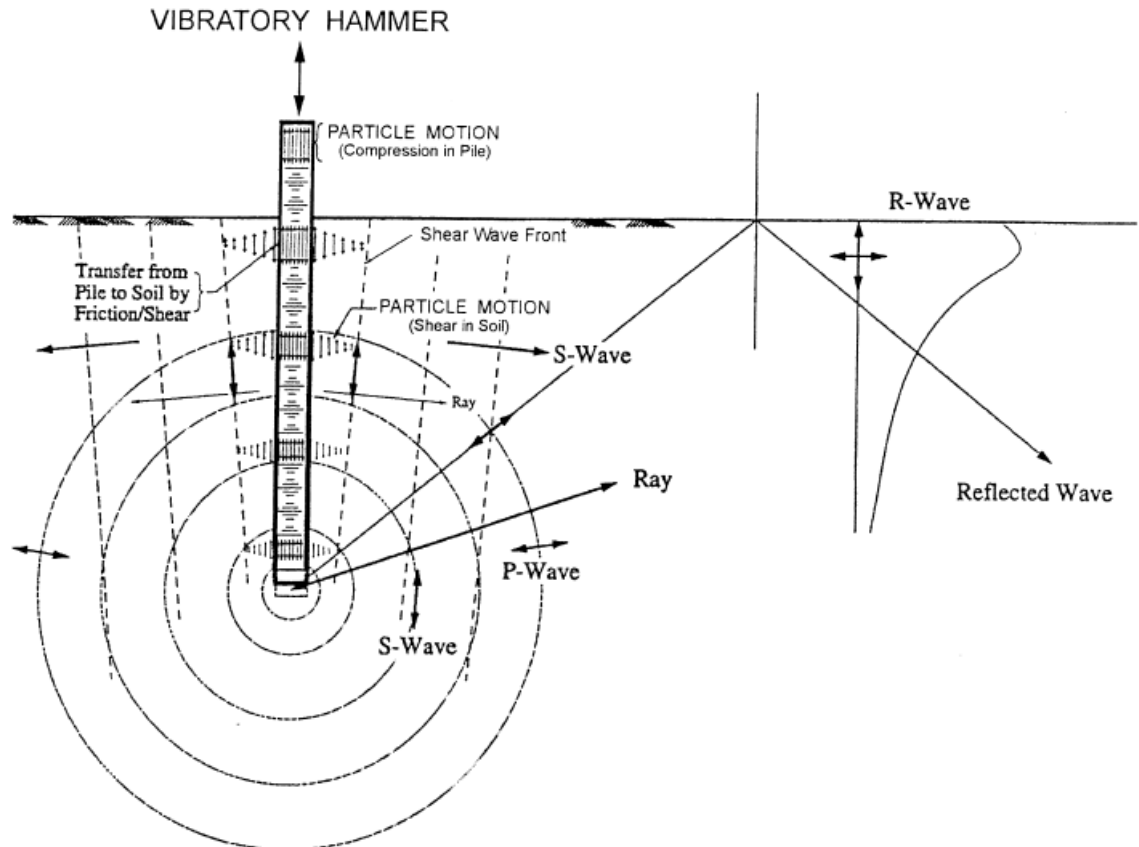
Gana neblogas supratimas apie traukinių judėjimo sukeliamų grunto vibracijų dažnius yra suformuotas remiantis mokslininkų atliktais vibracijų matavimais šalia geležinkelių. Tyrėjai Kim ir Lee [13] nustatė, kad grunto vibracijų dažnių diapazonas yra 7 – 70 Hz. Taip pat jie padarė išvadą, kad dominuojantys dažniai labai priklauso nuo traukinio judėjimo greičio, todėl analizuojant grunto vibracijas nuo traukinių judėjimo reikia vertinti visą minėtą dažnio diapazoną. Wanming ir jo kolegų [14] atlikti tyrimai patvirtina šiuos rezultatus. Jie nustatė, kad traukinių judėjimo generuojami grunto virpesiai neviršija 80 Hz dažnio.

1.2.2. Automobilių eismo sukeliama grunto vibracija

Pastaruoju metu transporto judėjimo sukeliama vibracija kelia vis didesnę susirūpinimą didelio užstatymo teritorijose, nes dėl erdvės apribojimų tankiai gyvenamose vietose atstumas tarp kelių ir statinių vis mažėja. Transporto eismo sukeliama vibracija labai įtakoja sunkiojo transporto judėjimas gatvėse, kurių šaligatviai nėra lygūs. Prieš daugiau nei 20 metų G.R. Watts [15] nustatė, kad sunkiajam transportui važiuojant gatvėse su paviršiaus nelygumais, reikšmingo dydžio grunto vibracijos jaučiamos iki 5 m. atstumu nuo važiuojamosios kelio dalies. Agostinacchio su bendraautorais [16] nustatė, kad grunto dalelių judėjimas labiausiai priklauso nuo kelio paviršiaus nelygumų dydžio ir judančių automobilių greičio. Mokslininkai Taniguchi ir Sawada [17] atliko eksperimentinius tyrimus transporto sukeliama grunto vibracija srityje matuodami bangų dažnius sukeliama sunkvežimių judėjimo. Jų eksperimentai parodė, kad skleidžiamų Reilėjaus bangų dominuojantys dažniai išsidėstę intervale tarp 10 ir 20 Hz. Al-Hunaidi ir Rainer tęsė eksperimentinius tyrimus šioje srityje ir pastebėjo, kad priklausomai nuo judėjimo greičio ir kelio paviršiaus nelygumų, skleidžiamų vibracijų dažnis varijuoja tarp 10 ir 40 Hz [18].

1.2.3. Spraustinių polinių pamatų įrengimo skleidžiamos grunto vibracijos

Jau ilgą laiką yra žinoma, kad spraustinių polinių pamatų įrengimo būdas sukelia grunto vibracijas, kurios kai kuriais atvejais gali daryti žalą netoliese esantiems statiniams. Spraustinių polinių pamatų įrengimo proceso metu naudojami vibroplūktuvai, gramzdinantys plieninius vamzdžius į gruntą. Šie vibroplūktuvai ir yra grunto vibracijų šaltiniai. Seisminių bangų generavimo mechanizmas spraustinių polinių pamatų įrengimo metu vaizduojamas 9 paveiksle.



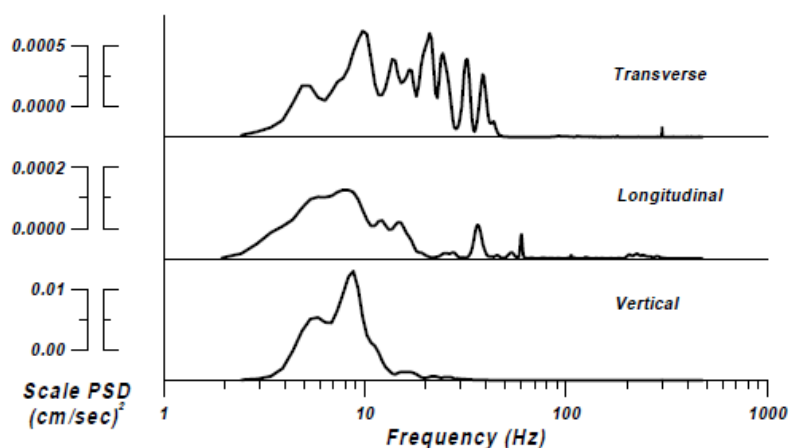
9 pav. Spraustinių polinių pamatų įrengimo metu generuojamų seisminių bangų atsiradimo principas [19]

Kaip matoma iš 9 paveikslo, spraudžiant vamzdį į gruntą išilgai jo šoninio paviršiaus sukeliama vertikaliai poliarizuota giluminė skersinė banga, kurių judėjimas nukreiptas į žemės paviršių. Šios bangos yra nedideliu kampu nukrypusios nuo vertikalios vamzdžio ašies. Vamzdžio apačioje grunto išstūmimas generuoja tiek išilgines, tiek skersines sferinės formos bangas, kurios sklinda į išorę nuo šaltinio. Kai P ir S tipo bangos pasiekia žemės paviršių dalis jų energijos virsta Reilėjaus bangomis ir dalis bangų atsispindi atgal į grunto masę. Reilėjaus bangos turi vertikalios ir horizontalios judėjimo komponentes ir sklinda išilgai žemės paviršiaus. Šių dinaminių bangų amplitudės mažėjimas yra proporcingas atstumo nuo šaltinio kvadratinei šakniai.

Per pastaruosius dešimtmečius buvo atlikta nemažai eksperimentinių ir analitinių tyrimų siekiant išsiaiškinti spraustinių polinių pamatų įrengimo įtaką gruntui ir šalia esantiems statiniams. Hwang su kolegomis [20] atliko polinių pamatų įrengimo skleidžiamų grunto virpesių matavimus didelio masto geležinkelio linijos Taivane statybos metu. Jie nustatė, kad didelio dažnio vibracijos

sklinda greičiau ir toliau nuo šaltinio nei mažo dažnio vibracijos. Abdel-Rahman [21] atliko mokslinius tyrimus tilto Egipte statybos metu. Remiantis jo atliktais tyrimais, gruntas taip pat turi didelę įtaką bangų sklidimui. Jis padarė išvadą, kad standesni gruntai turi mažesnę slopinimo koeficientą lyginant su minkštais gruntais. Tyrimų metu buvo padaryta išvada, kad statiniai esantys arčiau nei 50 metrų atstumu nuo sprastinių polinių pamatų įrengimo vietos gali būti pažeisti gruntu perduodamais virpesiais.

Grunto vibracijų dažnio matavimai [13] parodė, kad atliekant sprastinių polinių pamatų įrengimą skleidžiamų bangų dažnių diapazonas yra nuo 7 iki 50 Hz, o dominuojantis dažnis apytiksliai yra 10 Hz (žr. 10 pav.).



10 pav. Sprastinių polinių pamatų įrengimo skleidžiamų grunto vibracijų dažniai [13]

1.2.4. Sprogdinimo darbų sukeliama grunto vibracija

Sprogdinimas yra įprastas metodas naudojamas uolienų skaldymui karjeruose, kasybos srityje, tunelių, kelių ir užtvankų statyboje bei statinių griovimo darbuose. Kai sprogstamasis užtaisas yra detonuojamas, toje vietoje susidaro dinaminės bangos, kurios dideliu greičiu keliaudamos gruntu sklinda į visas puses nuo šaltinio. Šios bangos yra ypatingai pavojingos netoli esantiems statiniams, nes sprogimo energija yra daug kartų didesnė nei energija susidaranti įrengiant sprastinius polinius pamatus ar perduodama gruntui traukinių bei automobilių transporto judėjimo. Pavyzdžiui, energijos kiekis sprogstant 0,5 kg trinitrotoleno (TNT) yra lygus 5400 J. Tai yra 50-1000 kartų didesnis energijos kiekis nei perduodamas gruntui sprastinių polinių pamatų įrengimo metu. Remiantis mokslininko Svinkin [6] tyrimais sprogdinimo darbų sukeliama grunto vibracijų dažnis varijuoja tarp 10 ir 60 Hz. Kim ir Lee [13] nustatė, kad didžiausia dalis energijos išskiriamos sprogimo metu sklinda dinaminėmis bangomis, kurių dažnis neviršija 50 Hz.

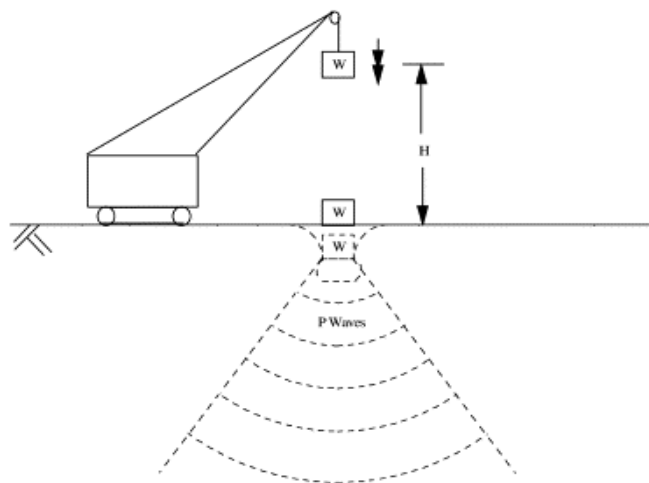
1.2.5. Dinaminio grunto tankinimo sukeliama grunto vibracija

Grunto dinaminis tankinimas plūktuvu yra pagrindo paruošimo būdas, kuris ypač efektyvus tankinant nesurištus vandeniui neprisotintus gruntus. Be to šis tankinimo būdas sėkmingai naudojamas esant sankabiems gruntams, turintiems aukštą poringumo koeficientą ir tankinant įvairias atliekas ir

užpildus. Tankinant gruntą plūktuvu metamas 27 – 400 kN svoris iš tam tikro aukščio, kuris priklausomai nuo esamo pagrindo ir reikiamo sutankinimo lygio gali būti tarp 1,5 ir 20 metrų [23]. Šis dinaminis grunto tankinimo būdas iliustruotas 11 ir 12 paveiksluose. Nors šis tankinimo būdas yra labai efektyvus ir reikalaujantis nedidelių laiko ir darbo jėgos sąnaudų lyginant su kitais tankinimo būdais, jis gali turėti turi neigiamą poveikį gilesniuose sluoksniuose ir netoliese už tankinimo zonos esančiam gruntui. Smūgio metu, veikiant gruntą dinamine apkrova, kontakto vietoje susidaro didelės energijos išsilginės dinaminės bangos, kurios sklinda žemyn ir į šonus sferiniu bangos paviršiumi (žr. 12 pav.).



11 pav. Grunto dinaminis tankinimas [22]



12 pav. Dinaminio tankinimo sukeliamų vibracijų schema [23]

Remiantis M. Svinkin [6] tyrimais, dinaminio grunto tankinimo metu susidaro 2 -20 Hz dažnio vibracijos, o dominuojantys dažniai vyrauja 3 – 12 Hz intervale. Panašius rezultatus publikuoja ir mokslininkai D. Kim ir J. Lee [13]. Anot jų, didžiausia dalis grunto virpesių, susidarančių smūginės apkrovos metu, pasižymi 3 – 10 Hz dažniu.

Apibendrinant visus šiame skyriuje aprašytus grunto vibracijų šaltinius, 1.5. suvestinėje lentelėje pateikiami jų skleidžiamų virpesių dažnių diapazonai.

1.5. lentelė. Suvestinė įvairių šaltinių skleidžiamų grunto vibracijų dažnių lentelė.

Grunto vibracijų šaltinis	Vibracijų dažniai, Hz.
Traukinių judėjimas	7 – 70
Automobilių eismas	10 – 40
Spraustinių polinių pamatų įrengimas	7 – 50
Sprogdinimo darbai	10 – 60
Grunto dinaminis tankinimas	2 – 20

1.3. Vibracijų poveikis gruntui

Daugelis mokslinių tyrimų parodo, kad ankstesniame skyriuje minėtų šaltinių sukeltos grunto vibracijos turi neigiamą poveikį gruntui, kuriuo tos vibracijos sklinda. Vibracijos gali sukelti tokias neigiamas pasekmes [24]:

- Grunto kerpamojo stiprio sumažėjimas;

- Pagrindo nuosėdžiai;
- Grunto suskystėjimas;
- Šlaitų nuošliaužos.

Ypatingai pavojingas reiškinys yra grunto suskystėjimas, nes jis negrįžtamai pakeičia grunto savybes. Molinio grunto, veikiamo vibracijomis, suskystėjimo reiškinys detaliau aprašomas 1.3.1. poskyryje.

1.3.1. Molio suskystėjimas

Per pastaruosius kelis dešimtmečius buvo atlikta daugybė eksperimentinių tyrimų tiriant smėlinių gruntų suskystėjimą dėl grunto vibracijų, tačiau molinio grunto suskystėjimas vis dar nėra plačiai ištirtas mokslu. Pagrindinė to priežastis yra susiformavusi klaidinga nuomonė, kad vibracijų poveikis moliui yra labai menkas ir suskystėjimo reiškinys moliniame grunte praktiškai nepasitaiko. Tačiau moksliniai tyrimai atlikti analizuojant žemės drebėjimus parodė, kad suskystėjimas yra būdingas ir moliniams gruntams. Pavyzdžiui, K. Ishihara [24] tyrinėdamas grunto bandinius po 1987 metais Japonijoje įvykusio Chibaken-Toho-Okii žemės drebėjimo pastebėjo, kad seisminės bangos sukėlė molio suskystėjimą. Vėliau šis reiškinys buvo stebimas ir kituose, daugiausiai Kinijoje ir Tadžikistane, įvykusiųose žemės drebėjimuose.

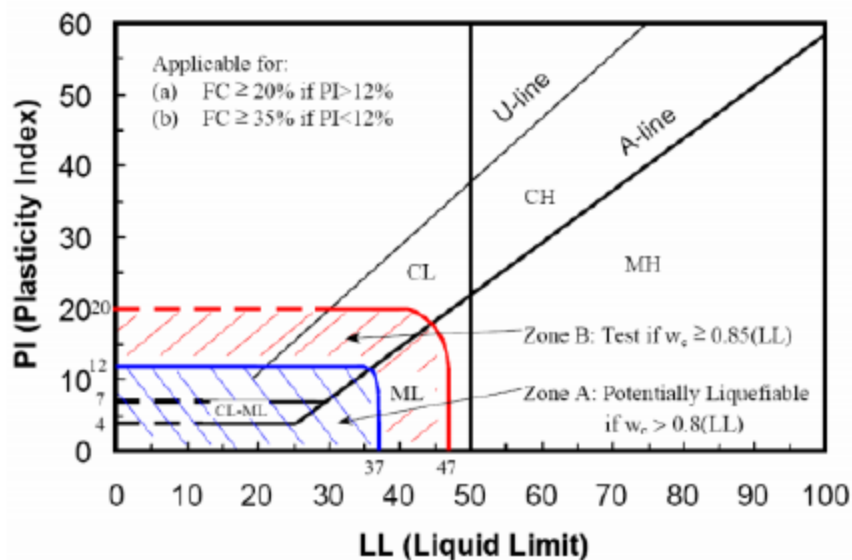
Per kelis pastaruosius dešimtmečius nemažai mokslinių tyrimų buvo atlikta siekiant išvystyti empirinius metodus, įvertinančius molio elgseną žemės drebėjimo metu. To pasekoje, gana neblogai buvo ištirta vibracijų dažnio ir molio perkonsolidavimo rodiklio (OCR) įtaka jo gebėjimui priešintis suskystėjimui [25]. R. Boulanger ir I. Idriss [26] atliko išsamią tyrimų šioje srityje analizę ir pasiūlė analitinį metodą vertinant molinio grunto susilpnėjimą dėl ciklinio poveikio žemės drebėjimo atveju.

Vis dėlto, keli aspektai, lemiantys molinio grunto elgseną veikiant jį vibracijomis dar nėra pakankamai išnagrinėti ir turėtų būti patikslinti remiantis išsamesniais tyrimais. Pavyzdžiui, nedaug tyrimų atlikta analizuojant molio suskystėjimo mechanizmą ir beveik visi tyrimai šioje srityje atlikti su mažu plastiškumo kaolinitiniu moliu. Ovando-Shelley ir Perez [27] savo tyrimuose naudojo kaolinitinio molio ir smėlio mišinį ir nustatė, kad molio įterpimas į mišinį sumažina kontaktinių taškų tarp smėlio dalelių skaičių, tuo pačiu skatindamas suskystėjimo galimybę. Osipov su kolegomis [28] tyrinėjo molinio grunto mikrostruktūrą skenuojančiu elektriniu mikroskopu prieš vibracijas, veikiant jį vibracijomis ir po vibracijų poveikio. Jie padarė išvadą, kad veikiant molį vibracijomis dalis struktūrinių ryšių yra suardomi, tačiau vėliau jie atstatomi ir po vibracijų poveikio mikrostruktūra išlieka praktiškai nepakitusi.

Didžiausia dalis tyrimų atlikta siekiant nustatyti molio plastiškumo rodiklio įtaką jo elgsenai veikiant vibracijomis. Tačiau skirtingi tyrimai pateikė nevienareikšmiškas išvadas. Prakash ir Sandoval [29] pademonstravo, kad esant mažam plastiškumo rodikliui (mažesniau nei 4), kaolinitinio molio ir smėlio mišinio atsparumas suskystėjimui mažėja, kai plastiškumo rodiklis

didėja. Tačiau Hyodo su bendraminčiais [30] nustatė, jog plastiškumo rodiklio didėjimas lemia didesnę atsparumą suskystėjimui, tačiau jų tyrimuose naudotas molis turėjo plastiškumo rodiklį didesnę nei 10. Nepaisant to, 1989 metais įvykusio Loma Prieta žemės drebėjimo tyrimo išvados skelbia, kad žemės drebėjimo metu molyje, kurio plastiškumo rodiklis lygus 17, išsivystė didelis porinis vandens slėgis, kuris nulėmė didžiules grunto deformacijas dėl suskystėjimo. Vėliau I. Gratchev su bendraminčiais [31] analizavo natūralios ir suardytos struktūros plastiškų gruntų elgseną veikiant juos vibracijomis ir pastebėjo, kad plastiškumo rodiklis gali būti naudojamas kaip bendrinis kriterijus vertinant molio suskystėjimo galimybes, tačiau tik tuo atveju jeigu jonų koncentracija vandeniui pripildytose porose yra santykinai maža.

Šiuo metu naudojamas mokslininko Seed [32] pasiūlytas modelis vertinant ar molis gali būti suskystintas dėl vibracijų poveikio. Šis modelis iliustruotas 13 paveiksle. Šiame modelyje grunto galimybė suskystėti įvertinama dviem parametrais: vertikaloje ašyje atidėtu plastiškumo rodikliu (PI) bei horizontalioje ašyje nurodytu takumo drėgniu (LL).



13 pav. Seed pasiūlytas grunto suskystėjimo galimybės įvertinimo modelis [32].

Čia išskiriamos 3 zonos pagal grunto suskystėjimo tikimybę dėl vibracijų poveikio. Į mėlynai užbrūkšniuotą zoną A pagal plastiškumo rodiklį ir takumo drėgnį patenkantys gruntai, kurių drėgnis yra didesnis nei $0,8 \cdot LL$, kur LL – takumo drėgnis, gali suskystėti juos paveikus vibracijomis. Jeigu plastiškumo rodiklis yra tarp 12 ir 20, o takumo drėgnis tarp 37 ir 47 %, tuomet gruntas pagal šį modelį patenką į zoną B. Toks gruntas taip pat gali suskystėti, tačiau tik tuo atveju jei jo drėgnis yra nemažesnis nei $0,85 \cdot LL$. Be to tokiam gruntui reikia atlikti detalesnius laboratorinius tyrimus. Jeigu grunto plastiškumo rodiklis yra didesnis nei 20 arba takumo drėgnis didesnis nei 47 %, tuomet pagal šį modelį toks gruntas yra atsparus suskystėjimo reiškiniui.

1.3.2. Grunto rezonansas

Vibracijų poveikis gruntui daug kartų sustiprėja jeigu įvyksta reiškinys vadinamas grunto rezonansu. Vibracijų šaltiniai skleidžia pastovaus būvio virpesius, kurie priverčia grunto daleles virpėti tam tikru režimu nepriklausomai nuo grunto savųjų virpesių dažnio. Vibracijos gali būti sudarytos iš kelių skirtingų dažnių, tačiau dominuojantis dažnis yra šaltinio skleidžiamas dažnis. Rezonansas įvyksta kai skleidžiamų virpesių dažnis yra to paties didumo kaip grunto dalelių savasis virpesių dažnis. Įvykus grunto rezonansui svyravimų amplitudė staigiai išauga dešimtis kartų ir tai sukelia labai intensyvių grunto dalelių virpėjimą. Apibendrinti gruntų savųjų virpesių dažnių diapazonai pateikti 1.6. lentelėje.

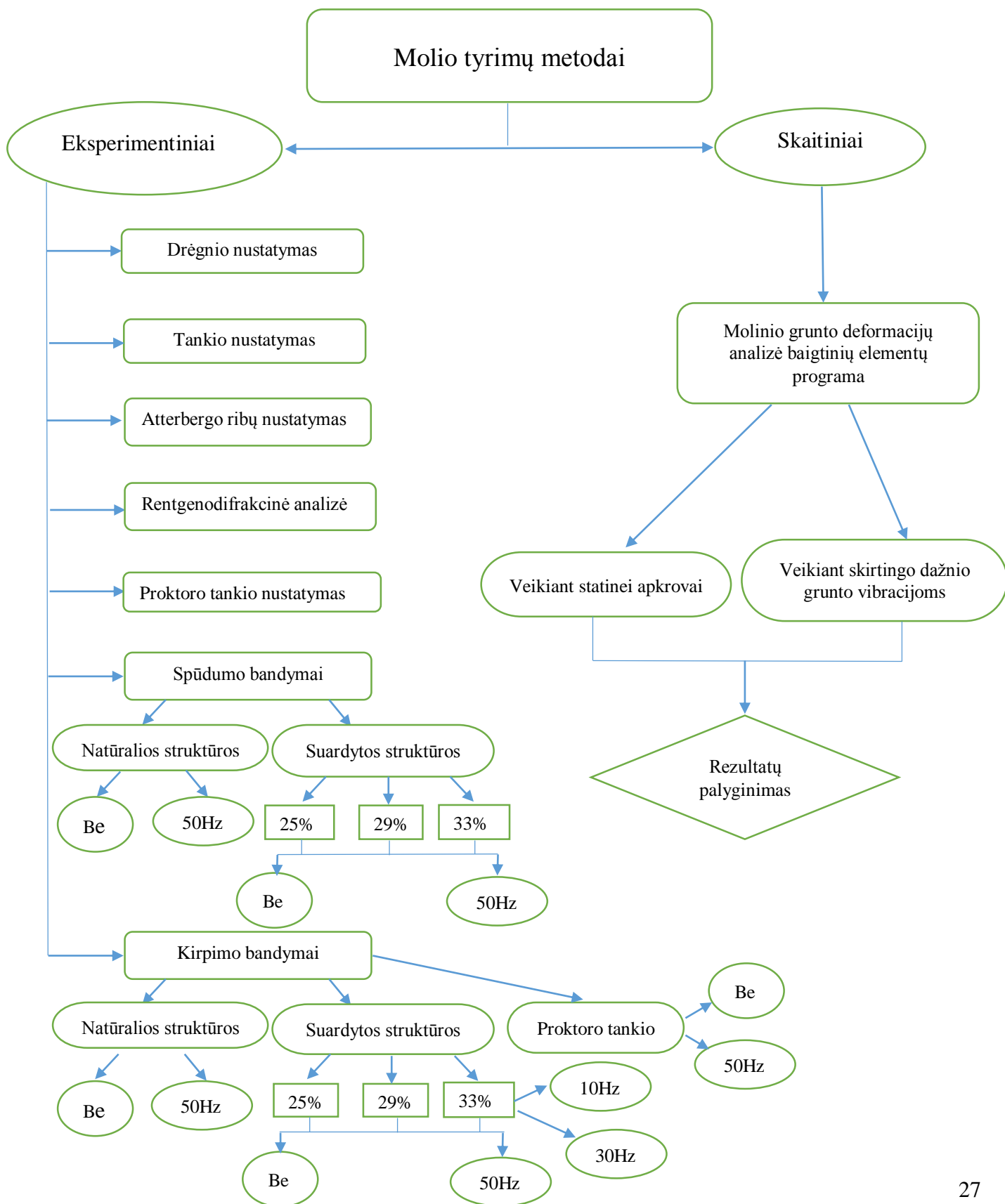
1.6. lentelė. Gruntams būdingi savųjų virpesių dažniai [7]

Grunto tipas	Savųjų virpesių dažnio diapazonas
Labai minkštas molis	Nuo 5 iki 20 Hz.
Minkštas molis ir dulkingas smėlis	Nuo 10 iki 25 Hz.
Tankus smėlis, žvyras ir kietas molis	Nuo 15 iki 40 Hz.
Silpnos uolienos	Nuo 30 iki 80 Hz.
Stiprios uolienos	Daugiau nei 50 Hz.

Kaip matoma iš 1.6. lentelės, grunto kietumas tiesiogiai koreliuoja su savuoju virpesių dažniu. Kuo minkštesnis gruntas, tuo mažesnis savųjų virpesių dažnis tam gruntui yra būdingas.

2. Molio tyrimų metodika

Šiame darbe aprašomi tyrimai atliekami pagal žemiau pateiktą schemą.



Kaip matoma iš pateiktos schemos, šiame magistro baigiamajame darbe atliekami dviejų tipų tyrimų metodai: eksperimentiniai ir skaitiniai. Eksperimentiniai tyrimo metodai sudaro didžiąją darbo dalį, o šių tyrimų pagrindinis tikslas yra nustatyti vibracijų įtaką molinio grunto fiziniams ir mechaniniams savybėms. Šiam tikslui pasiekti atliekami tokie eksperimentiniai molinio grunto bandymai:

- *Drėgnio ir tankio nustatymas.* Drėgnis ir tankis yra pagrindinės molio fizinės savybės, nuo kurių tiesiogiai priklauso ir mechaninės savybės, todėl tikslinga prieš tiriant molio stiprumą ir deformacijas charakterizuoti tiriamuosius bandinius pagal jų fizines savybes. Tyrimai atliekami su natūralios struktūros moliu ir suardytos struktūros moliu.
- *Atterbergo ribų nustatymas.* Šie tyrimai yra skirti molio takumo ir plastiškumo drėgniui nustatyti. Atterbergo ribų nustatymas leidžia klasifikuoti molį pagal jo konsistenciją. Šis tyrimas yra ypač svarbus šio darbo tematikos požiūriu, nes literatūroje esminis faktorius, lemiantis vibracijų įtaką gruntui yra plastiškumo rodiklis, kuris skaičiuojamas pagal šio tyrimo rezultatus.
- *Rentgenodifrakcinė analizė.* Šis tyrimo metodas suteikia galimybę nustatyti tiriamo molio mineralinę sudėtį. Kadangi molio mineralai priklausomai nuo pamatinės uolienos ir geografinės vietovės skiriasi, svarbu yra identifikuoti tiriamojo molio kristalus sudarančius junginius.
- *Proktoro tankio nustatymas.* Šis tyrimas atliekamas siekiant nustatyti optimalų molio drėgnį, kuriam esant tas molis yra labiausiai sutankinamas. Vėliau šie rezultatai panaudojami kirpimo bandymų metu siekiant patikrinti sutankinimo įtaką molio gebėjimui priešintis vibracijų poveikiui.
- *Spūdumo bandymai.* Spūdumo bandymų metu nustatomas molio odometrinių deformacijų modulis. Bandymai atliekami su natūralios bei suardytos struktūros moliu. Natūralios struktūros molis tiriamas įprastiniu bandymo metodu (neveikiant vibracijoms) ir veikiant bandinį 50 Hz dažnio vibracijomis. Siekiant nustatyti kaip molio drėgnis koreliuoja su vibracijų įtakai to molio odometriniams deformacijų moduliui, suardytos struktūros molis formuojamas 3 skirtingų drėgnių: 25%, 29% ir 33%. Kiekvieno drėgnio molis bandomas be vibracijų ir bandinius veikiant 50 Hz dažnio vibracijomis.
- *Kirpimo bandymai.* Šie tyrimai leidžia nustatyti pagrindines mechanines molinio grunto savybes: sankibą ir vidinės trinties kampą. Bandymai atliekami su natūralios ir suardytos struktūros moliu bei moliu, sutankintu iki proktoro tankio. Tyrimai atliekami įprastinėmis sąlygomis ir veikiant gruntą 50 Hz dažnio vibracijomis. Kaip ir spūdumo bandymų metu, suardytos struktūros molis tiriamas trijų skirtingų drėgnių. Siekiant nustatyti ryšį tarp vibracijų dažnio ir jų poveikio molio mechaninėms savybėms, 33% drėgnumo molinis gruntas papildomai kerpamas veikiant 10 ir 30 Hz dažnio vibracijoms.

Skaitiniai tyrimo metodai atliekami baigtinių elementų metodu siekiant analitiškai nustatyti vibracijų įtaką molio pagrindų stabilumui. Naudojama daugiafunkcinė baigtinių elementų programa. Programos aplinkoje modeliuojamas pamatas ant molio pagrindo. Analizė atliekama dviem atvejais. Pirmuoju pamatas yra veikiamas tik statine apkrova, o antruoju molio pagrindas veikiamas harmoninio tipo grunto vibracijomis. Analizuojant skirtumus tarp šių dviejų atvejų pateikiamų rezultatų nustatoma vibracijų įtaka molio pagrindų stabilumui.

2.1. Tyrimų objektas

Magistro baigiamajame darbe atliekamuose tyrimuose naudojama medžiaga – molis iš Kertupio molio karjero. Molinis gruntas pasirinktas dėl dviejų pagrindinių priežasčių:

1. Moliniai gruntai yra vyraujantis susiformavęs pagrindas Lietuvoje.
2. Vibracijų įtaka moliui yra daug mažiau ištyrinėta sritis nei jų poveikis smėliui, todėl molinio grunto tyrimai šiuo metu turi didesnę praktinę vertę.

Tyrimams naudojamas natūralios struktūros molis ir suardytos struktūros molis. Natūralios struktūros molio bandiniai imami iš molio monolito (žr. 14 pav.). Šie molio monolitai iškasti Kertupio karjere apytiksliai 10 metrų gylyje ir nepažeidžiant molio struktūros atvežti į Kauno technologijos universiteto gruntų mechanikos laboratoriją. Suardytos struktūros molis formuojamas iš molio miltelių sumaišant juos su tam tikru vandens kiekiu. Molio milteliai (15 pav.) gaunami išdžiovinus natūralios struktūros molį iki pastovios masės ir sumalus jį rutuliniu malūnu. Suardytos struktūros molis tyrimams naudojamas dėl kelių priežasčių. Kadangi magistriniame darbe siekiama nustatyti grunto drėgnio įtaką vibracijų sukeliama poveikiui tam gruntui, suardytos struktūros molio bandiniai gali būti suformuoti skirtingo drėgnio keičiant vandens, maišomo su molio milteliais, kiekį. Be to, suardytos struktūros molis pagal konsolidacijos laipsnį priskiriamas normaliai konsoliduotam moliui, tuo tarpu natūralios struktūros molis yra perkonsoliduotas, tad lyginant bandymų rezultatus galima nustatyti ryšį tarp grunto konsolidacijos laipsnio ir vibracijų poveikio gruntui.



14 pav. Natūralios struktūros molio monolitas



15 pav. Molinio grunto milteliai

2.2. Eksperimentiniai tyrimo metodai

Šiame skyriuje detaliai aprašomi magistrinio darbo metu atliekamų molio eksperimentinių tyrimų metodika. Aprašymuose charakterizuojami naudojami prietaisai ir bandymų priemonės, pateikiama bandymų atlikimo eiga, nurodomi standartai, pagal kuriuos atliekami tyrimai bei pateikiamos formulės, kuriomis vadovaujantis skaičiuojami bandymų rezultatai.

2.2.1. Molio drėgnio nustatymas

Bet koks gruntas gali būti apibrėžtas kaip daugiakomponentė dispersinė sistema, sudaryta iš kietosios, skystosios ir dujinės fazės. Kietąją komponentę sudaro grunto mineralinės dalelės, skystąją – vanduo, o dujinė komponentė yra grunto porose esantis oras ir vandens garai. Šių trijų komponentių kiekybinis santykis turi kone didžiausią įtaką grunto savybėms, tuo pačiu ir jo stiprumui. Kietosios ir skystosios komponentių ryšį apibūdina grunto drėgnis. Grunto drėgnis – tai grunto porose esančio laisvojo vandens ir sausos grunto masės santykis. Gamtinis molio drėgnis kinta nuo 18 – 46 %, tuo tarpu tankių priesmėlių ir priemolių drėgnis būna 4 – 29 % [33].

Grunto drėgnis nustatomas laboratoriniu bandymo metodu džiovinant krosnyje. Šis tyrimo metodas pateiktas LST 1360.3:1995 standarte [34]. Grunto drėgnis nustatomas pagal tokią bandymo metodiką:

1. Pasveriami tušti metaliniai indeliai. Sverti naudojamos 0,01 g. tikslumo elektroninės svarstyklės GF-1200 (žr. 16 pav.).
2. 10 – 20 g. masės grunto bandiniai įdedami į indelius ir kartu pasveriami.
3. Indeliai su grunto bandiniais įdedami į džiovinimo krosnį ir džiovinami 105 °C temperatūroje. Džiovinimui naudojama 17 paveiksle pavaizduota elektrinė džiovinimo krosnelė Gimette Gima 28, palaikanti pastovią temperatūrą. Nustatant molio drėgnį ypatingai svarbu išlaikyti kuo tikslesnę ir pastovią 105 °C temperatūrą, nes aukštesnėje temperatūroje iš molio mineralų išsiskiria kristalizacinis vanduo. Molio džiovinimas vykdomas iki pastovios masės ne mažiau nei 12 valandų.
4. Išdžiovintas bandinys atvėsinaamas iki kambario temperatūros ir kartu su indeliu pasveriamas 0,01 g. tikslumu.



16 pav. Elektroninės svarstyklės GF - 1200



17 pav. Elektrinė džiovinimo krosnelė

Tuomet grunto drėgnis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_0} \times 100\% \quad (2.1)$$

Čia:

W – tiriamo grunto drėgnis;

m_1 – indelio su drėgnu gruntu masė, g;

m_2 – indelio su sausu gruntu masė, g;

m_0 – tuščio indelio masė, g.

2.2.2. Tankio nustatymas

Grunto tankis – vienas iš pagrindinių rodiklių, nusakančių jo fizinę būklę. Kadangi gruntas yra daugiakomponentė sistema, jo tankį apibūdina ne vienas rodiklis. Skiriami tokie grunto tankio rodikliai:

- *Kietųjų dalelių tankis.* Tai yra grunto kietųjų dalelių masės santykis su jų tūriu. Šis grunto tankis nustatomas piknometru ir jis priklauso nuo dalelių mineralinės sudėties. Moreninio molio kietųjų dalelių tankis apytiksliai lygus $2,71 - 2,72 \text{ g/cm}^3$, tuo tarpu limnoglacialinio molio kietųjų dalelių tankis yra $2,73 \text{ g/cm}^3$ [35].
- *Sauso grunto tankis.* Šis rodiklis labiausiai priklauso nuo grunto poringumo. Sauso grunto tankis yra kietųjų dalelių masės santykis su viso grunto tūriu. Šio rodiklio fizinė prasmė yra sauso grunto vienetinio tūrio masė.
- *Atsverta grunto tankis.* Šis rodiklis apibūdina grunto tankį vandenyje. Vandenyje gruntas yra veikiamas Archimedo jėgos, todėl jo tankis sumažėja. Atsverta grunto tankis priklauso nuo kietųjų dalelių tankio ir poringumo koeficiento.
- *Svorio tankis.* Šis rodiklis naudojamas skaičiuojant apkrovą, kuria gruntas veikia tam tikrą po juo esantį elementą. Svorio tankis yra lygus natūralaus grunto tankio ir laisvojo kritimo pagreičio sandaugai.

Nepaisant tokios grunto tankio rodiklių įvairovės, dažniausiai sutinkamas tankio rodiklis vadinamas *natūraliuoju grunto tankiu*, arba supaprastintai tiesiog *grunto tankiu*. Grunto tankis, žymimas simboliu ρ , parodo natūralaus drėgnio grunto tūrio vieneto masę ir yra skaičiuojamas pagal 2.2 formulę:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2.2)$$

Čia:

ρ – grunto tankis;

m – natūralaus drėgnio grunto bandinio masė;

V – grunto bandinio tūris.

Grunto tankio nustatymas laboratorinėmis sąlygomis atliekamas žiedo metodu pagal LST 1360.6:1995 standarte [36] pateikiamą metodiką. Šis tankio nustatymo metodas tinka natūralios struktūros grunto tyrimams. Grunto bandiniui paimti naudojamas metalinis žiedas, kurio pagrindiniai

matmenys yra tokie: vidinis skersmuo – 71,4 mm., skerspjūvio plotas – 40 cm², žiedo aukštis – 34,5 mm, tūris – 138 cm³.

Pirmiausia žiedas yra pasveriamas svarstyklėmis 0,01 g. tikslumu. Tuomet žiedas nukreipiamas aštria briauna į molio paviršių ir atsargiai, kaip galima centruočiau, plaktuku įkalamas tiek, kad viršutinis žiedo kraštas būtų apie 10 mm. po grunto paviršiumi. Įspaudžiant žiedą svarbu yra nesuardyti molio struktūros. Įspaudus žiedą į gruntą, viename jo šone, atsargiai jis atkasamas. Po to aplink žiedą peiliu išpjaunamas šiek tiek didesnio skersmens stulpelis bei gruntas žiedo apačioje iš atkasto šono lygiai nupjaunamas. Žiedą iškėlus ant tvirto pagrindo iš viršaus pagal žiedo kraštus nupjaunamas išsikišęs gruntas ir nuvalomi žiedo šonai. Jeigu kai kurios grunto dalelės išlupamos, tai šios įdubos užpildomos gruntu lengvai prispaudžiant. Galiausiai žiedas su gruntu yra pasveriamas elektroninėmis svarstyklėmis ir skaičiuojamas grunto tankis pagal žemiau pateiktą išraišką:

$$\rho = \frac{m_1 - m_2}{V} \quad (2.3)$$

čia:

ρ – grunto tankis;

m_1 – grunto su žiedu masė;

m_2 – žiedo masė;

V – žiedo vidinis tūris.

Nustačius grunto drėgnį ir jo tūrį galima apskaičiuoti to grunto poringumo koeficientą e . Poringumo koeficientas parodo grunto porų tūrį kietųjų dalelių tūrio atžvilgiu ir apskaičiuojamas pagal formulę:

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{\rho_s(1 + 0,01W) - \rho}{\rho} \quad (2.4)$$

čia:

e – poringumo koeficientas;

ρ_s – kietųjų dalelių tankis;

W – grunto drėgnis;

ρ – grunto tankis.

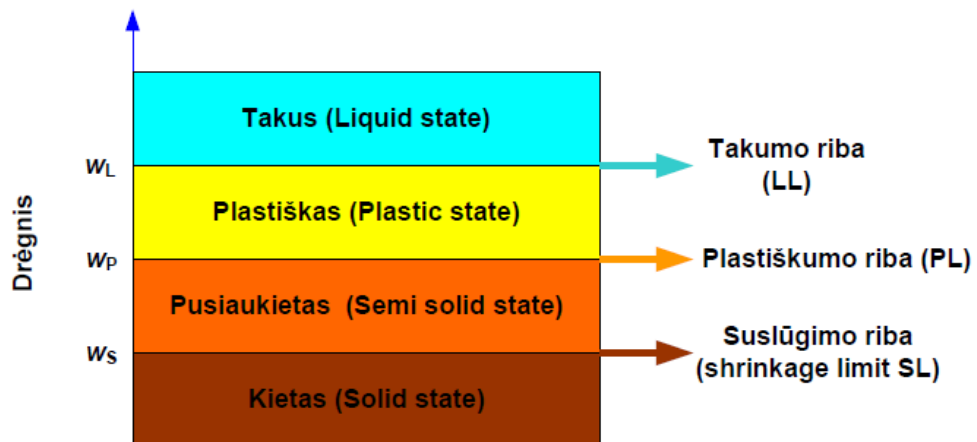
2.2.3. Atterbergo ribų nustatymas

Keičiantis grunto drėgniui kinta to grunto konsistencija, o tuo pačiu ir jo savybės. Tačiau drėgnis nėra tinkamas rodiklis grunto konsistencijai apibūdinti, nes esant tam pačiam drėgniui skirtingos mineralinės sudėties ar skirtingos struktūros gruntai nėra vienodos būsenos. Todėl švedų agronomas A. Atterberg įvedė tris dydžius, apibūdinančius grunto konsistenciją. Šie dydžiai vadinami Atterbergo ribomis ir jie yra:

- *Suslūgimo riba*. Suslūgimo riba vadinamas toks grunto drėgnis, kai tolimesnis drėgnio sumažėjimas nebelemia grunto tūrio mažėjimo. Tačiau praktikoje šis rodiklis nėra plačiai naudojamas, todėl grunto konsistencija apibūdinama kitomis dvejomis Atterbergo ribomis.
- *Plastiškumo riba*. Ši riba yra toks vandens kiekis, kai gruntas pereina iš kietos būklės į plastišką arba atvirkščiai.

- *Takumo riba*. Takumo drėgnis yra tokia drėgnio riba, kuriam padidėjus gruntas pereina iš plastiškosios būklės į taktiją ir atvirkščiai.

Apibendrinta gruntų būseną pagal jų drėgnį ir Atterbergo ribas pateikiama 18 paveiksle.



18 pav. Grunto būseną pagal Atterbergo ribas [33]

Molinio grunto takumo ir plastiškumo drėgniai nustatomi laboratoriniais metodais pagal LST 1360.4:1995 standartą [37].

Plastiškumo drėgnio nustatymas.

Molio plastiškumo drėgnis nustatomas pagal tokią tyrimų metodiką:

1. Paruošiama grunto pasta. Grunto pastai paruošti paimama apie 50 cm³ molinio grunto ir įdėjus į dubenėlį gruntas sutrinamas grūstuvėlius bei sudrėkinamas vandeniu. Gruntas dubenėlyje minkomas kol pasidaro tiršta grunto pasta. Dubenėlis su pasta įdedamas į eksikatorių su vandeniu ir laikomas jame ne mažiau nei 2 valandas, kad susidarytų vienodo drėgnio masė.
2. Paimamas nedidelis grunto pastos gabalėlis, padedamas ant plastmasinės lentelės ir delnu kočiojamas apie 3 mm. skersmens, ne ilgesnis nei delno pločio volelis. Jeigu volelis rišlus ir plastiškas, t.y. netrūkinėja atskirus gabalėlius, jis perminkomas ir vėl kočiojamas. Procesas kartojamas tol, kol apie 3 mm. skersmens volelis pradės trūkinėti visame ilgyje, t.y. jame atsirasi skersiniai plyšiai. Tai rodo, kad grunto drėgnis lygus jo plastiškumo drėgniui. Tinkamai iškočioto volelio vaizdas iliustruojamas 19 paveiksle.
3. Volelio gabalėliai sudedami į iš anksto pasvertą metalinį indelį ir uždengiami dangteliu. Antrame punkte aprašytas procesas kartojamas kol indelyje susikaupia 10 – 20 g. grunto. Tuomet pagal 2.2.1. poskyrio metodiką nustatomas grunto drėgnis. Su kiekvienu grunto bandiniu atliekami ne mažiau kaip du bandymai, kurių rezultatų skirtumas turi būti ne didesnis nei 2 %.



19 pav. Plastiškumo drėgnio grunto volelis

Takumo drėgnio nustatymas.

Molio takumo drėgnis laboratorinėmis sąlygomis nustatomas specialiu prietaisu, pavaizduotu 20 paveiksle.



20 pav. Takumo drėgnio nustatymo prietaisas

Takumo ribai nustatyti paruošiama molinio grunto pasta pagal plastiškumo drėgnio nustatymo metodiką. Tuomet grunto pasta dedama į indelį ir jį pripildžius pastuksenama į tamprų paviršių, kad pastos masėje nesusidarytų oro ertmių. Grunto pastos paviršius sulyginamas su indelio kraštais ir indelis su pasta pastatomas ant stovėlio. Balansuojančio kūgio smaigalys patepamas plonu vazelino sluoksniu ir pridėjus kūgį prie grunto pastos paviršiaus leidžiama jam laisvai savo svoriu smigti į indelį su pasta. Jeigu kūgis per 5 sekundes įsminga į molio pastą lygiai 10 mm. (iki atžymos ant kūgio), laikoma, kad grunto drėgnis atitinka takumo drėgnį. Jeigu kūgis įsminga mažiau nei 10 mm., grunto pastą reikia išimti ir įpilti šiek tiek vandens bei pakartoti anksčiau aprašytus veiksmus. Jei balansuojantis kūgis įsminga daugiau nei 10 mm., išėmus pastą iš indelio ir perdėjus į dubenėlį ji maišoma džiovinant ore ir kartojama takumo drėgnio nustatymo metodika, kol bus pasiektas takumo drėgnis. Pasiekus molio takumo drėgnį, pasta išimama iš indelio ir pagal 2.2.1. poskyrio metodiką nustatomas pastos drėgnis. Šis drėgnis laikomas tiriamojo molio takumo drėgniu.

Nustačius molio takumo ir plastiškumo drėgnį skaičiuojami rodikliai, apibūdinantys grunto konsistenciją:

$$I_P = W_L - W_P \quad (2.5)$$

$$I_C = \frac{W_L - W}{I_P} \quad (2.6)$$

čia:

I_P – plastiškumo rodiklis;

W_L – grunto takumo riba;

W_P – grunto plastiškumo riba;

W – grunto natūralus drėgnis;

I_C – konsistencijos rodiklis.

LST EN ISO 14688-2 standarte [38] pateikiamas toks dulkių ir molių klasifikavimas pagal konsistencijos rodiklį:

2.1. lentelė. LST EN ISO 14688-2:2007 pateikiamas dulkių ir molių klasifikavimas pagal konsistencijos rodiklį [38].

Dulkių ir molių konsistencija	Konsistencijos rodiklis I_C
Labai minkšta	<0,25
Minkšta	nuo 0,25 iki 0,50
Kieta	nuo 0,50 iki 0,75
Standi	nuo 0,75 iki 1,00
Labai standi	>1,00

2.2.4. Rentgenodifrakcinė analizė

Rentgenodifrakcinė analizė yra plačiai paplitęs neardomasis spektrinis tyrimo metodas, skirtas tiriamosios medžiagos kristalinei struktūrai apibūdinti, t.y. cheminiams junginiams ir jų atmainoms identifikuoti bei atlikti kiekybinę junginių analizę. Jau praėjusiame šimtmetyje pastebėta, kad rentgeno spinduliams būdinga difrakcija. Tai reiškia, kad kristaluose, amorfinėse medžiagose, skysčiuose ir dujose rentgeno spinduliai užlinksta. Lūžtant rentgeno spinduliams vietoje pirminio jų pluošto susidaro to paties bangos ilgio antrinių spindulių pluoštai, nukrypę nuo pradinės sklidimo krypties į įvairias puses. Šio tyrimo metodo esmė – difrakcinio vaizdo, gaunamo atomo plokštumoms atspindint rentgeno spindulius, tyrimas [39].

Rentgenografinės analizės metodas remiasi Vulfo-Brego lygtimi:

$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad (2.7)$$

čia:

n – sveikas skaičius, vadinamas spektro arba atspindžio eile;

λ – rentgeno spindulių bangos ilgis;

d – atstumas tarp atominių plokštumų;

θ – rentgeno spindulių pluošto kritimo kampas.

Jei tenkinama ši lygtis, atspindėję rentgeno spinduliai interferuoja, t.y. stiprina vienas kitą, ir yra registruojami rentgeno aparatu. Specialiomis kompiuterinėmis programomis atliekant užregistruotų duomenų analizę galima nustatyti tiriamosios medžiagos kristalinę struktūrą.

Pagal kristalinę struktūrą moliai skirstomi į tris pagrindines grupes:

- *Kaolinito grupė*. Šios grupės pagrindiniai mineralai yra kaolinitas ($Al_2O_3 \times 2SiO_2 \times 2H_2O$) ir haluazitas ($Al_2O_3 \times 2SiO_2 \times 4H_2O$). Kristalų gardelė sudaryta iš dviejų sluoksnių: $[SiO_4]$ tetraedrų ir $[AlO_6]$ oktaedrų.
- *Montmorilonito grupė*. Šiai grupei priklausantys pagrindiniai molio mineralai yra montmorilonitas ($Al_2O_3 \times 4SiO_2 \times nH_2O$), beidelitas ($Al_2O_3 \times 3SiO_2 \times nH_2O$), saponitas ir jo geležingos atmainos. Tokie moliai pasižymi dideliu plastiškumu. Kristalų gardelė sudaryta iš trijų sluoksnių: tarp dviejų $[SiO_4]$ tetraedrų įsiterpęs vienas $[AlO_6]$ oktaedras.
- *Hidrožėručio grupė*. Tai įvairios cheminės sudėties skirtingo žėručių hidratacijos laipsnio produktai. Šios grupės mineralai vadinami apibendrintu pavadinimu – ilitu. Kristalinė gardelė panaši į montmorilonito, tik yra daugiau pašalinių jonų.

Molio bandinių paruošimas rentgenodifrakcinei analizei:

Rentgenodifrakcinei analizei reikalingas bandinys turi būti miltelinės formos, todėl bandinio paruošimas susideda iš dviejų etapų:

1. *Džiovinimas*. Molio gabalėliai, išpjauti iš nesuardytos struktūros monolito, džiovinami iki pastovios masės krosnelėje, palaikančioje pastovią $105^\circ C$ temperatūrą.
2. *Smulkinimas*. Molis, kaip ir dauguma gamtinių medžiagų, yra polikristalas. Tai reiškia, jog jis sudarytas iš didelio skaičiaus smulkių visomis kryptimis orientuotų kristalitų. Polikristalo susmulkinimas leidžia kristalitus atsitiktinai orientuoti krintančios spinduliuotės atžvilgiu. Tuomet galima užfiksuoti visus ir kiek galima didesnio santykinio intensyvumo difrakcinius maksimumus, todėl bandinys turi būti tinkamai susmulkintas. Išdžiovintas molis smulkinamas grūstuvėliu ir persijojamas per sietą, kurio akučių dydis $125 \mu m$. Smulkinimas rutuliniu malūnu nėra tinkamas šiam tyrimo metodui, nes šio smulkinimo proceso metu įvyksta medžiagos amorfizacija kristalitų paviršiuje.

Tiriamąjį molio mineralinei sudėčiai nustatyti naudotas Bruker D8 Advanced difraktometras, CuK_α spinduliuotė ir Ni filtras. Detektoriaus judėjimo žingsnis – $0,02^\circ$, matavimo žingsnyje trukmė – $0,5 s$, anodinė įtampa $U_a = 30 kV$, srovės stipris $I = 20 mA$. Rezultatų analizei naudojama PDF-2 programinė įranga.

2.2.5. Proktoro tankio nustatymas

Proktoro bandymo metu nustatomas optimalus grunto drėgnis, kuriam esant gruntas geriausiai tankėja. Gruntų tankinimas padidina jų stiprumą ir sumažina spūdumą. Yra nustatyta, kad sutankinto grunto stiprumas padidėja 2-3 kartus [33]. Remiantis literatūroje [35] pateiktais teiginiais, optimalus tankinamų molinių gruntų drėgnis yra lygus $W_0 = W_p - (1 - 3)\%$, kur W_p – molinio grunto plastiškumo drėgnis.

Proktoro bandymas atliekamas pagal LST 1360-2:2015 standarto [40] metodiką. Bandymas atliekamas su 7 skirtingo drėgnio molinio grunto bandiniais. Bandiniai formuojami iš molio miltelių (žr. 15 pav.) sumaišant juos su vandens kiekiu, apskaičiuotu pagal norimo gauti grunto drėgnį. Pirmas bandinys formuojamas apytiksliai 15 % drėgnio. Kitų bandinių drėgniai didinami 2 – 3 %. Grunto tankinimas atliekamas specialiu Proktoro prietaisu, kuris pavaizduotas 21 paveiksle.



21 pav. Proktoro tankio nustatymo prietaisas

Grunto tankinimas atliekamas tokią tvarka:

Prietaiso pagrindas su cilindru ir uždedamuoju žiedu pastatomas ant lygaus ir tvirto grindų paviršiaus. Šiek tiek daugiau nei trečdalis cilindro tūrio pripildoma grunto bandiniu ir išlyginus paviršių grunto bandinys prispaudžiamas mediniu štampu. Tuomet atliekamas pirmasis tankinimas. Grunto tankinimo procesas atliekamas tankinimo įtaiso krūviu. Svarbu tankinimą atlikti ištisai ir vienodai smūgiuojant 3 – 4 apėjimais, liečiant cilindro šoną. Tankinimo metu įtaisą laikant vertikaloje padėtyje judantis krūvis pakeliamas į viršų iki galo ir laisvai paleidžiamas kristi. Tankinimo režimas išlaikomas vienodas: smūgių skaičius – 25, smūgiavimo intensyvumas – kas 1,5 – 2,0 s., kritimo aukštis – 300 mm. Sutankinus pirmąjį grunto sluoksnį plokštelė iš cilindro ištraukiama įsukant į ją rankenėlę ir ant sutankinto paviršiaus pilamas kitas grunto sluoksnis. Jį išlyginus ir uždėjus plokštelę kartojamas tankinimo procesas. Viso grunto bandinio tankinimas turi būti atliekamas per 3 kartus. Atlikus visą grunto tankinimo procesą nuimamas žiedas ir gruntas sulyginamas su cilindro viršumi. Sutankintas bandinys su cilindru pasveriamas ir atliekamas grunto drėgno nustatymas pagal 2.2.1. poskyryje aprašytą metodiką. Bandymas kartojamas su visais suformuoto drėgnumo molio bandiniais.

Optimalus grunto drėgnis nustatomas pagal Proktoro kreivę, kurios horizontalioje ašyje atidedamas grunto drėgnis, o vertikalioje – sauso grunto tankis, kuris skaičiuojamas pagal formulę:

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + W} = \frac{m_d}{V} \quad (2.8)$$

čia:

ρ_d – sauso grunto tankis;

m_d – sauso bandinio masė;

V – grunto bandinio tūris cilindre.

2.2.6. Spūdumo bandymai

Veikiant apkrovai gruntai ne tik tankėja, bet tuo pačiu ir deformuojasi. Grunto deformacija yra pagrindinė pamatų sėdimo priežastis, todėl norint tiksliai prognozuoti pamatų nuosėdžius būtina nustatyti grunto charakteristikas, lemiančias jo deformaciją veikiant išorinei apkrovai. Tiesioginė priklausomybė tarp įtempių ir pamatų nuosėdžių gaunama lauko bandymais ir tiesioginiais matavimais, tačiau šie metodai yra brangūs ir kur kas imlesni darbui, todėl gruntų deformavimasis dažniausiai tiriamas laboratorinėmis sąlygomis. Kadangi gruntas, kaip ir dauguma statybinių medžiagų, yra tamprus kūnas, jam galioja Huko dėsnis, aprašantis ryšį tarp įtempių ir deformacijų:

$$\sigma = \varepsilon E \quad (2.9)$$

čia:

σ – normaliniai įtempiai;

ε – santykinė deformacija;

E – medžiagos tamprumo modulis.

Iš 2.9 lygybės matome, kad priklausomybė tarp įtempių ir deformacijų apibūdinama medžiagos tamprumo moduli. Laboratorijoje grunto spūdumo tyrimai dažnai atliekami kompresiniu prietaisu (odometru). Tiriant gruntą odometru gruntas spaudžiamas standžiam žiede, todėl leidžiamos yra tik vertikaliosios deformacijos, tuo tarpu deformacijos horizontaliąja kryptimi ribojamos žiedu. Kompresinio bandymo metu grunto įtempių ir deformacijų priklausomybė išreiškiama 2.10 lygybe.

$$\varepsilon_z = \frac{\sigma_z}{E_{oed}} \quad (2.10)$$

čia:

ε_z – vertikali santykinė grunto deformacija;

σ_z – normaliniai įtempiai, veikiantys vertikalios ašies kryptimi;

E_{oed} – grunto odometrinių deformacijų modulis.

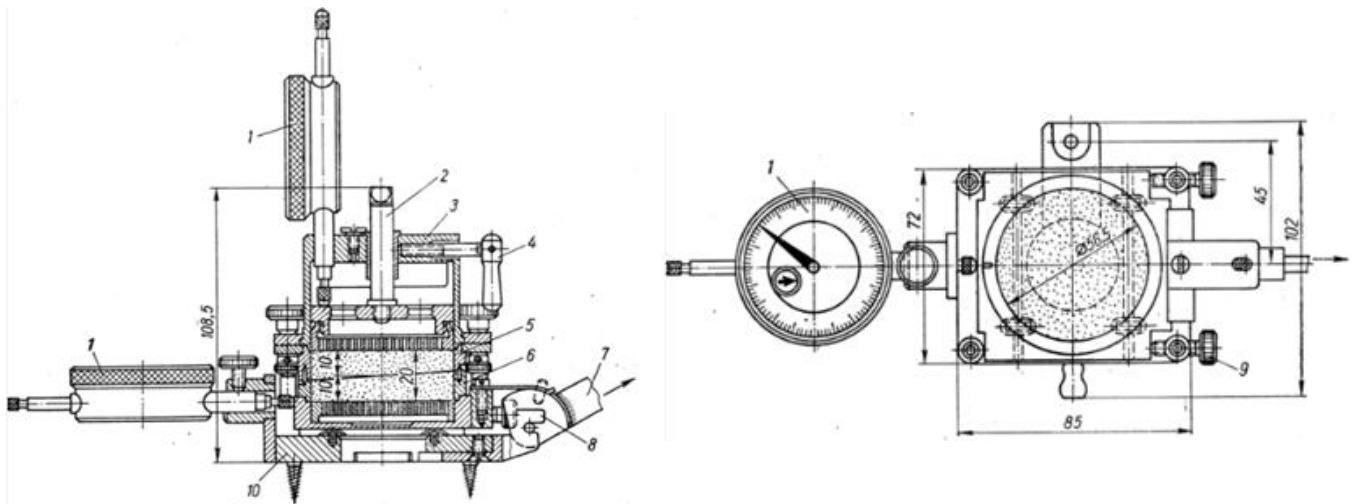
Taigi, kompresinio bandymo tikslas yra nustatyti tiriamojo grunto odometrinių deformacijų modulį. Nustačius odometrinių deformacijų modulį jo tamprumo modulis gali būti apskaičiuotas pagal sekančią lygybę:

$$E = E_{oed} \cdot \beta \quad (2.11)$$

$$\beta = 1 - \frac{2\nu^2}{1 - \nu} \quad (2.12)$$

kur ν – grunto Puasono koeficientas.

Šiame darbe kompresinis tyrimas atliekamas universaliu prietaisu PLL-9, kurio schema pavaizduota 22 paveiksle [41].



22 pav. Prietaiso PLL-9 schema [41]

22 pav. žymėjimai: 1 – indikatorius; 2 – drenuojamasis viršutinis štampas; 3 – nukreipiamasis cilindras; 4 – fiksatorius; 5 – viršutinis štampas; 6 – apatinis štampas; 7 – horizontalios apkrovos svirtis; 8 – atrama horizontalios apkrovos svirčiai; 9 – atraminiai fiksatoriai; 10 – prietaiso pagrindas.

Pastaba: Atliekant kompresinį bandymą horizontalios apkrovos svirtis (7) nėra naudojama.

Grunto gniužumo tyrimai atliekami įprastinėmis sąlygomis bei bandymo metu veikiant grunto bandinį 50 Hz dažnio vibracijomis. Pirmuoju atveju prietaisas tvirtinamas prie stalo kampo kaip pavaizduota 23 paveiksle, o tiriant grunto deformacijas esant vibracijų poveikiui prietaisas montuojamas ant vibracinio įrenginio paviršiaus (žr. 24 pav.).



23 pav. Grunto spūdumo bandymas įprastomis sąlygomis



24 pav. Grunto spūdumo bandymas veikiant bandinį 50 Hz dažnio vibracijomis

Vibracijoms generuoti naudojamas Automatic sieve shaker D407 vibracinis įrenginys, sukeliantis 50 Hz dažnio harmoninius virpesius. Vibracijų amplitudė reguliuojama prietaiso rankenėle, tačiau visų bandymų metu išlaikoma pastovi 0,3 mm. dydžio virpesių amplitudė.

Molio bandiniai naudojami spūdumo tyrimų metu yra cilindro formos, kurių pagrindiniai matmenys yra: bandinio skersmuo – 56,5 mm., bandinio aukštis – 20 mm., skerspjūvio plotas – 0,0025 m². Bandiniai paimami metaliniu žiedu pagal 2.2.2 poskyryje aprašytą metodiką. Prietaiso

vertikalios apkrovos pečių santykis parenkamas 1:25, tuomet uždėjus 1 kg masės svarstį, grunto bandiniui per štampą perduodama 0,1 kN jėga, kuri sukelia 100 kPa normalinį įtempį, t.y:

$$F = kmg = 25 \cdot 1,0 \cdot 10 = 250 \text{ N} = 0,25 \text{ kN} \quad (2.13)$$

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{0,25}{0,0025} = 100 \text{ kPa} \quad (2.14)$$

Grunto deformacija matuojama indikatoriumi, kurio padalos vertė yra 0,01 mm (25 pav.).



25 pav. Indikatorius deformacijoms matuoti

Indikatoriaus atskaitos fiksuojamos pradinio bandymo momentu ir apkrovus molio bandinį 50 kPa, 100 kPa, 200 kPa ir 300 kPa normaliniu įtempiu. Kadangi molio deformacija vyksta santykinai ilgą laiką lyginant su smėlinio grunto deformacija, leidžiama deformacijoms sąlyginai stabilizuotis. Deformacijos fiksuojamos praėjus 1, 2, 3, 4, 5 ir 10 min nuo apkrovimo ir tik tuomet didinama grunto apkrova.

Bandymo metu deformuojasi ne tik gruntas, bet ir prietaiso detalės bei filtracinio popieriaus skritulėliai, todėl siekiant eliminuoti paklaidas dėl šių deformacijų, prieš bandymą atliekamas prietaiso taravimas. Kompresinio prietaiso taravimo pataisa nustatoma atliekant spūdumo bandymą, tik vietoje grunto bandinio naudojant tokio pat dydžio metalinį cilindrą. Bandymo metu veikiant 50, 100, 200 ir 300 kPa įtempiams indikatoriumi fiksuojamos deformacijos, kurios apdorojant grunto spūdumo duomenis turi būti atimamos iš bandinio aukščio pokyčio.

Kompresinis tyrimas leidžia ne tik nustatyti odometrinių grunto deformacijų modulį, bet taip pat ir poringumo koeficiento pokytį veikiant apkrovai. Tam tikslui braižoma kompresijos kreivė, kurios horizontalioje ašyje atidedamas gruntą veikiantis normalinis įtempis, o vertikalioje ašyje – poringumo koeficientas. Grunto poringumo koeficientas bet kuriuo apkrovimo etapu gali būti apskaičiuotas pagal šią lygybę:

$$e = e_0 - (1 + e_0)\varepsilon_z \quad (2.15)$$

čia:

e – poringumo koeficientas tam tikru apkrovimo etapu;

e_0 – pradinis grunto poringumo koeficientas;

ε_z – vertikali grunto santykinė deformacija tam tikru apkrovimo etapu.

2.2.7. Kirpimo bandymai

Pagrindinis grunto stiprumo rodiklis yra jo kerpamasis stipris. Grunto kerpamasis stipris pagal dažniausiai taikomą Moro ir Kulono teoriją išreiškiamas dviem parametrais: vidiniu trinties kampu φ ir sankiba c . Ribinis grunto kirpimo stipris išreiškiamas Kulono dėsniumi:

$$\tau_f = c + \sigma \tan \varphi \quad (2.16)$$

čia:

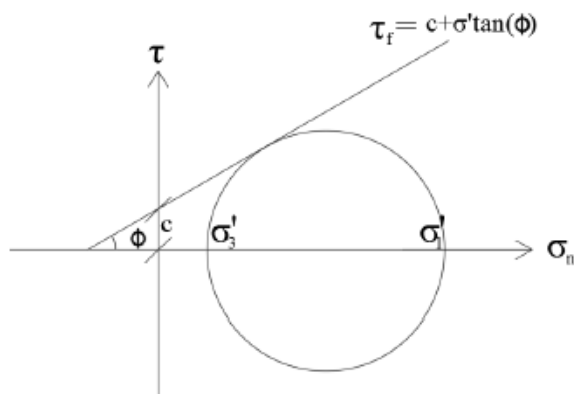
τ_f – tangentiniai įtempiai suirimo plokštumoje;

σ – normaliniai įtempiai suirimo plokštumoje;

c – sankiba;

φ – vidinės trinties kampas.

Lygtis parodo, kad jeigu kirpimo įtempiai pasiekia dešinėje lygybės pusėje esantį dydį, gruntas suyra. Lygtis gali būti grafiškai išreikšta per ryšį su Moro apskritimu. Kaip matoma 26 paveiksle, Moro apskritimas turi dvi sankirtas su horizontalia ašimi. Dešinėje pusėje sankirta, žymima simboliu σ_1 , yra pirmasis svarbiausias normalinis įtempis, o kairėje pusėje sankirta σ_3 yra trečiasis svarbiausias normalinis įtempis. Kuo didesnis skirtumas tarp vertikalių ir horizontalių įtempių, tuo didesnis gaunamas apskritimas. Galiausiai τ_f tiesė tampa apskritimo liestine ir gruntas suyra [42].

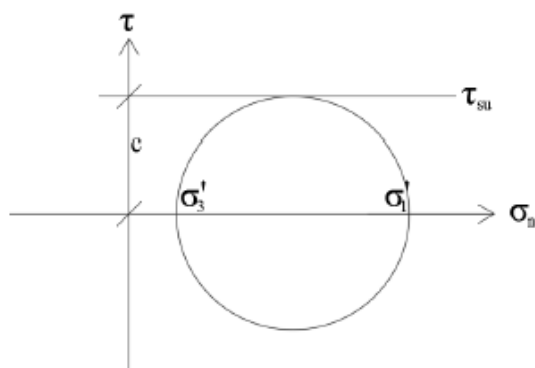


26 pav. Grunto kerpamojo stiprio grafikas pagal Moro – Kulono teoriją

Kai gruntas yra prisotintas vandeniu jo vidinės trinties kampas yra lygus nuliui. Taip yra todėl, kad porų užpildymas vandeniu eliminuoja trintį tarp grunto dalelių. Tuomet grunto kerpamasis stipris nepriklauso nuo jį veikiančių normalinių įtempių ir išreiškiamas sekančia lygybe:

$$\tau_{su} = c \quad (2.17)$$

Tuomet grunto stiprumo gaubtinė tampa 27 paveiksle pavaizduotos formos.



27 pav. Vandeniui prisotinto grunto kerpamojo stiprio grafikas

Molio stiprumo gaubtinės formos pasikeitimas iš pirmojo į antrąjį variantą veikiant vibracijoms leistų daryti išvadą apie įvykusį suskystėjimo efektą, aprašytą 1.3.1 skyriuje, kadangi tokiu atveju grunto poros būtų užpildomos vandeniu.

Grunto stiprumo parametrai (sankiba ir vidinės trinties kampas) atlikus kirpimo bandymą gali būti nustatomi grafiškai braizant kirpimo grafiką kaip pavaizduota 26 paveiksle arba apskaičiuojami pagal šias formules:

$$tg\varphi_n = \frac{1}{\Delta} \left(n \sum_{i=1}^n \tau_{ui} \sigma_i - \sum_{i=1}^n \tau_{ui} \sum_{i=1}^n \sigma_i \right) \quad (2.18)$$

$$c_n = \frac{1}{\Delta} \left(\sum_{i=1}^n \tau_{ui} \sum_{i=1}^n \sigma_i^2 - \sum_{i=1}^n \sigma_i \sum_{i=1}^n \tau_{ui} \sigma_i \right) \quad (2.19)$$

$$\Delta = n \sum_{i=1}^n \sigma_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n \sigma_i \right)^2 \quad (2.20)$$

čia:

τ_{ui} – bandymu nustatytos ribinės kirpimo stiprumo reikšmės veikiant normaliniams įtempiams σ_i ;

n – bandymais nustatytų ribinių kirpimo stiprumo reikšmių skaičius.

Šiame magistriniame darbe grunto kirpimo tyrimai atliekami 22 paveiksle pavaizduotu prietaisu PLL-9. Molinio grunto stiprumas tiriamas atliekant supaprastintą konsoliduoto kirpimo bandymą tokia tvarka:

- Žiedu paimamas molio bandinys pagal ankstesniame skyriuje aprašytą metodiką ir įdėjus į prietaisą filtracinį popierių bandinys išpaudžiamas į jam skirtą vietą kirpimo prietaise. Ant bandinio viršaus uždedamas filtracinis popierius ir uždedama vertikalios jėgos svirtis.
- Grunto bandinys apkraunamas vienu iš rekomenduojamų normalinių įtempiu (100, 200, 300, 500 kPa) ir apie 30 min. leidžiama deformacijoms stabilizuotis.
- Tuomet atsukami atraminiai fiksatoriai, kad apatinė prietaiso dalis galėtų judėti horizontaliai ir vyktų grunto kirpimas. Gruntas kerpamas perduodant horizontalią apkrovą per horizontalios apkrovos svirtį. Svirties gale uždėjus 100 g. masės svarstį, gruntui perduodamas 4,8 kPa kirpimo įtempis.
- Uždėjus 100 g. masės svarstį indikatoriumi fiksuojamas horizontalus poslinkis. Horizontalūs poslinkiai matuojami iki sąlyginės stabilizacijos, kuri laikoma pasiekama kai poslinkis per 1 min. padidėja ne daugiau nei 0,01 mm.
- Kai įvyksta sąlyginė stabilizacija kartojamas prieš tai aprašytas procesas tol kol bandinys yra nukerpamas. Bandinys laikomas nukirptu tada, kai judamoji prietaiso dalis atsiremia į ribotuvą arba bandinio poslinkis pasiekia 5 mm.
- Užrašomas veikiantis normalinis įtempis ir ribinis kirpimo įtempis ir bandinys išimamas iš prietaiso. Toliau imamas kitas molio bandinys ir kirpimo bandymas atliekamas veikiant

kitam normaliniam įtempiui. Šiame darbe kirpimo bandymai atliekami veikiant 100 kPa, 200 kPa ir 300 kPa didumo normaliniams įtempims.

Grunto kirpimo bandymai atliekami įprastomis sąlygomis (nesant vibracijų poveikiui) kaip pavaizduota 28 paveiksle bei bandymo metu veikiant bandinį 50 Hz dažnio vibracijomis (žr. 29 pav.). Bandymų metu vibracijų amplitudė yra pastovi ir lygi 0,3 mm.



28 pav. Kirpimo bandymas be vibracijų



29 pav. Kirpimo bandymas veikiant bandinį 50 Hz dažnio vibracijomis

Siekiant plačiau ištirti vibracijų dažnio įtaką grunto stiprumui, 33 % drėgnio suardytos struktūros molio kirpimas papildomai atliekamas veikiant 10 Hz ir 30 Hz dažnio vibracijoms. Šie tyrimai atliekami Kauno technologijos universiteto technologinių sistemų diagnostikos institute kirpimo prietaisą montuojant ant kintamo dažnio vibracinio stalo kaip pavaizduota 30 paveiksle.



30 pav. Kirpimo bandymas veikiant bandinį 10 ir 30 Hz dažnio vibracijomis

2.3. Skaitiniai tyrimo metodai

Magistrinio baigiamojo darbo skaitiniai tyrimo metodai apima molio pagrindų, kuriuos veikia vibracijos, stabilumo analizę baigtinių elementų kompiuterine programa. Šiame skyriuje aprašomas baigtinių elementų principas ir pagrindiniai minėtosios programos naudojami skaičiavimo modeliai.

2.3.1. Baigtinių elementų metodas

Šiame poskyryje pateikiamas apibendrintas baigtinių elementų metodo principas.

Diferencialinė lygtis su dalinėmis išvestinėmis yra tokia lygtis, kuri apibūdina nežinomųjų funkcijas ir jų išvestines. Diferencialinės lygtys gali būti naudojamos plačiai fizikinių reiškinių aibe aprašyti, pavyzdžiui skysčių ir šilumos tėkmei, elektrostatiniams procesams ir mechaniniams reiškiniams. Funkcijos $u(x_1, \dots, x_n)$ diferencialinė lygtis aprašoma sekančiai:

$$F\left(x_1, \dots, x_n, u, \frac{\partial u}{\partial x_1}, \dots, \frac{\partial u}{\partial x_n}, \frac{\partial^2 u}{\partial x_1 \partial x_1}, \dots, \frac{\partial^2 u}{\partial x_1 \partial x_n}, \dots\right) = 0 \quad (2.21)$$

Skaitinės analizės principas yra funkcijos aproksimacija skaičiavimuose, kurie pateikia rezultatus, artimus realiems įvykiams.

Baigtinių elementų metodo pagrindinis veikimo principas yra globalios sistemos padalinimas į mažas ribotas dalis, vadinamas baigtiniais elementais, kurių visuma vadinama baigtinių elementų tinkleliu. Baigtiniams elementams priskiriamos lokaliai, juos aprašančios lygtys, kurių pagrindu aproksimuojama globali sistema ir jos elementai. Apjungiant baigtinius sistemos elementus gaunamos globalinę sistemą aprašančios algebrinės lygtys, pakeičiančios diferencialinę lygtį. Užsiduodant kraštines sąlygas ir jų parametrų reikšmes, globalinės sistemos algebrinės lygtys gali būti nesudėtingai apskaičiuojamos ir gaunami sprendiniai. Teisingai panaudojus baigtinių elementų metodą galima gauti sprendinius, kurie pakankamai tiksliai atspindi realias situacijas [43].

Globalią sistemą padalinus į baigtinius elementus kiekvienas elementas turi taškus išilgai jo kraštiniams. Kiekvienas taškas j yra aprašomas funkcija $\Phi_j(x)$. Ši funkcija galioja visoje globalioje srityje, tačiau jos sprendinys nėra lygus nuliui tik tame plote, kurį riboja baigtinis elementas. Lygties sprendinys aproksimuojamas pagal 2.22 lygtį:

$$U = \sum_{j=1}^N U_j \Phi_j(x) \quad (2.22)$$

čia U_j – svorio funkcija.

Baigtinių elementų formulės apibūdina ryšius tarp elementų ribose veikiančių jėgų ir nagrinėjamo objekto standumo bei jo poslinkių. Baigtinių elementų metodo pagrindinė lygtis pateikiama tokia formule:

$$\int_V B^T D B dV a = \int_{S_h} N^T h dS + \int_{S_g} N^T t dS + \int_V N^T b dV + \int_V B^T D \epsilon_0 dV \quad (2.23)$$

Supaprastinus lygtį, ji įgyja 2.24 formulėje pateiktą išraišką.

$$[K]\{a\} = \{f\} \quad (2.24)$$

čia:

$[K]$ – sistemos standumo matrica;

$\{a\}$ – sistemos mazgų poslinkių vektorius;

$\{f\}$ – sistemą veikiančių jėgų vektorius.

2.3.2. Grunto vibracijos ir jų slopinimas.

Sistemos slopinimas aprašomas spyruoklės ir klampaus elemento įvestimi. Klampiai sistemai naudojamas Kelvino modelis [44], kuriame f_s yra poslinkio ir greičio funkcija aprašoma žemiau pateikiamomis lygtimis:

$$f_s = f_s(u, \dot{u}) \quad (2.25)$$

$$f_s = ku + c\dot{u} \quad (2.26)$$

čia:

k – sistemos standumas;

u – elementų poslinkis;

\dot{u} – dalelių judėjimo greitis;

c – klampaus slopinimo koeficientas [$N \cdot s/m$]

Judėjimo lygtis nesant sistemos slopinimui gali būti pateikta tokia išraiška:

$$p(t) = m\ddot{u} + c\dot{u} + ku \quad (2.27)$$

Esant klampiam vibracijų slopinimui 2.29 lygtis įgauna sekančią formą:

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = 0 \quad (2.28)$$

Pertvarkius lygtį gauname:

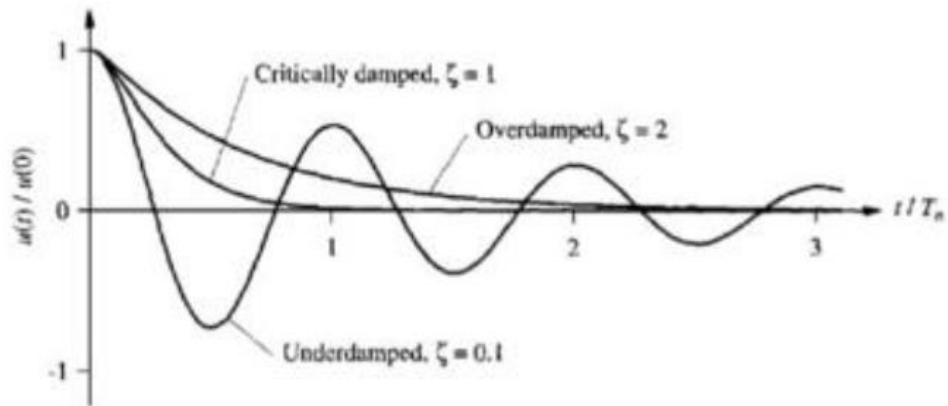
$$\ddot{u} + 2\zeta\omega_n\dot{u} + \omega_n^2u = 0 \quad (2.29)$$

kur savasis virpesių dažnis yra $\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$ ir $\zeta = \frac{c}{2m\omega_n}$ yra bedimensinis slopinimo koeficientas.

Slopinamojoje sistemoje judėjimas vis lėtėja kol galiausiai sustoja dėl energijos nuostolių sistemoje. Pradžioje amplitudė įgyja tam tikrą reikšmę ir toliau ji tolygiai mažėja. Pagrindė slopinimas vyksta dėl trinties ir klampaus slopinimo. Toliau pateikiamos 3 slopinamųjų sistemų klasės:

- **Nedidelio slopinimo sistema** (angl. underdamped system). Tokioje sistemoje vibracijų amplitudė palaipsniui mažėja dėl energijos netekimo kiekviename cikle. Tai iliustruojama 31 paveiksle. Mažo slopinimo sistema pasižymi slopinimo koeficientu, kurio reikšmė yra $0 \leq \zeta < 1$. Šios sistemos pavyzdys gali būti švytuoklės svyravimas, kuris dėl oro pasipriešinimo ar trinties galiausiai sustoja.
- **Kritinio slopinimo sistema** (angl. critically damped system). Šioje sistemoje slopinimas vyksta tokiu intensyvumu, kad sistema negali virpėti. Sistema esanti tam tikroje padėtyje pasiekia pusiausvyros būseną be dalelių virpėjimo. Kritinio slopinimo sistemos slopinimo koeficientas yra lygus 1. Jeigu ankstesniame pavyzdyje minėta švytuoklė būtų labai klampios medžiagos aplinkoje, galima įsivaizduoti, jog paleistos švytuoklės svyravimams yra didelis pasipriešinimas. Tokiu atveju švytuoklė lėtai judės ir pasieks pusiausvyros būseną be svyravimo ciklų (žr. 31 pav.). Judėjimas yra lėtesnis negu pirmasis svyravimas nedidelio slopinimo sistemoje, tačiau kritinio slopinimo sistema iš visų trijų sistemų būvių greičiausiai pasiekia pusiausvyros būseną.

- **Didelio slopinimo sistema** (angl. overdamped system). Ši sistema yra panaši į kritinio slopinimo sistemą, tačiau jai pasiekti pusiausvyros būseną reikia didesnio laiko tarpo. Didelio slopinimo sistema turi slopinimo koeficientą, kuris yra didesnis už 1. Jeigu ta pati švytuoklė paleidžiama žymiai didesnio klampumo sistemoje negu kritinio slopinimo sistemoje, tuomet švytuoklės judėjimas bus panašus, tačiau ji vėliau pasieks pusiausvyros būseną.



31 pav. Slopinamųjų sistemų virpesių grafikas

Gruntas pagal slopinimo koeficientą priskiriamas mažo slopinimo sistemai, todėl grunto vibracijų judėjimas laike eksponentiškai mažėja pagal tokią išraišką:

$$u(t) = e^{-\zeta\omega_n t} \cdot \left[u(0) \cos \omega_D t + \frac{\dot{u}(0) + \zeta\omega_n u(0)}{\omega_D} \cdot \sin \omega_D t \right] \quad (2.30)$$

čia $\omega_D = \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2}$

Dažnai medžiagos slopinimo koeficientas yra išreiškiamas kritinio slopinimo procentine reikšme. Remiantis mokslininkų atliktais tyrimais [45], [46] grunto, kuris pasižymi tampriomis deformacijomis, slopinimo koeficientas yra tarp 3 ir 6 procentų.

3. Rezultatai ir jų aptarimas

3.1. Eksperimentinių tyrimų rezultatai

Šiame skyriuje pateikiami eksperimentų, atliktų su skirtingų savybių moliniu gruntu, rezultatai bei jų aptarimas. Magistro baigiamajame darbe eksperimentiniai tyrimai atliekami su penkiais savo struktūra ar savybėmis besiskiriančiais molio bandiniais, kurie toliau žymimi tokiais trumpiniais:

1. **N.S.M** – natūralios struktūros molis;
2. **S.S.M25** – suardytos struktūros molis suformuotas iš molio miltelių, kai vandens ir miltelių masės santykis 0,25;
3. **S.S.M29** – suardytos struktūros molis suformuotas iš molio miltelių, kai vandens ir miltelių masės santykis 0,29;
4. **S.S.M33** – suardytos struktūros molis suformuotas iš molio miltelių, kai vandens ir miltelių masės santykis 0,33;
5. **Pr.M25** – molis suformuotas iš miltelių, kai vandens ir miltelių masės santykis 0,25 ir sutankintas pagal Proktoro metodiką.

3.1.1. Drėgnio ir tankio nustatymas

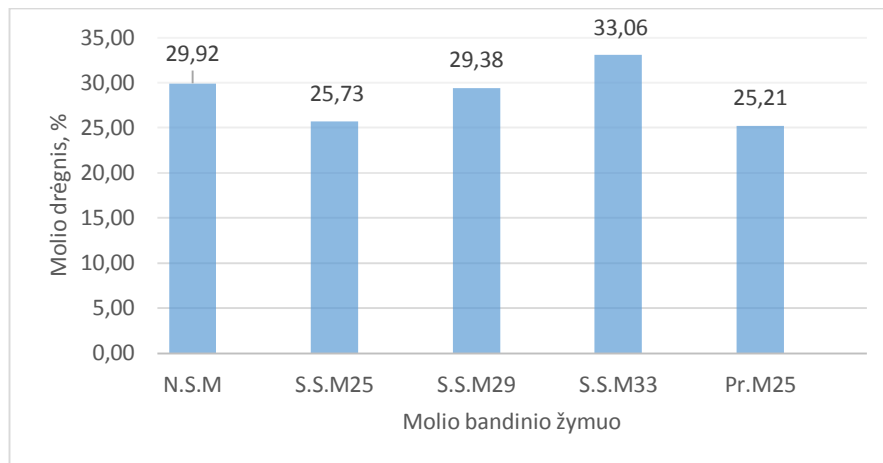
Atlikus molio bandinių drėgnio nustatymo tyrimus pagal 2.2.1. skyriuje aprašytą metodiką gauti rezultatai pateikiami 3.1. lentelėje.

3.1. lentelė. Drėgnio nustatymo bandymų rezultatai

Bandinio žymuo	Indelio Nr.	Tuščio indelio masė, g.	Indelio su drėgnu gruntu masė, g.	Indelio su sausu gruntu masė, g.	Drėgnis W , %		Matavimų paklaida δ , %
					Bandinio	Vidutinis	
N.S.M	1	13,30	36,59	31,22	29,97	29,92	0,29
	2	11,60	41,55	34,66	29,88		
S.S.M25	3	13,28	48,89	41,58	25,83	25,73	0,80
	4	10,54	41,82	35,44	25,62		
S.S.M29	5	13,17	49,49	41,19	29,62	29,38	1,63
	6	13,49	45,00	37,89	29,14		
S.S.M33	7	12,01	46,96	38,26	33,14	33,06	0,48
	8	13,50	49,06	40,24	32,98		
Pr.M25	9	13,50	38,20	33,23	25,19	25,21	0,13
	10	13,48	37,41	32,59	25,22		

Iš lentelės matome, kad visų bandinių drėgnio nustatymo rezultatų skirtumas neviršija 2 %, todėl bandymų rezultatus galima vertinti kaip patikimus. Didžiausia matavimų paklaida gauta atliekant tyrimus su moliu, kurio žymuo S.S.M29 (1,63 %), o kitų bandinių drėgnio nustatymo rezultatų skirtumas yra mažesnis nei 1 %.

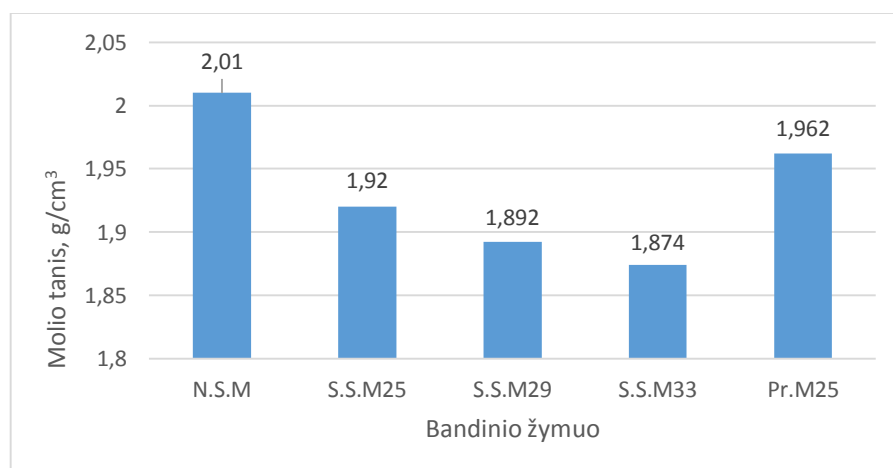
Bandinių drėgnių grafinis pasiskirstymas iliustruotas 32 paveiksle:



32 pav. Molio bandinių drėgnių histograma

Kaip matoma iš 32 paveikslo natūralios struktūros molio gamtinis drėgnis yra lygus 29,92 %. Suardytos struktūros molio bandiniai S.S.M29 yra maždaug tokio pat drėgnio kaip natūralios struktūros molis atvežtas iš Kertupio karjero, tad lyginant tyrimų su šiais bandiniais rezultatus galima nustatyti molio konsolidacijos laipsnio įtaką jo savybėms esant tam pačiam drėgniui. Siekiant išsiaiškinti ryšį tarp vibracijų poveikio moliui ir jo drėgnio, analizuojami trijų skirtingų drėgnių suardytos struktūros molio bandinių rezultatai. Iš 32 paveikslo matyti, kad be jau minėtų 29,38 % drėgnio molio bandinių tyrimai atliekami su 25,73 % ir 33,06 % drėgnio suardytos struktūros moliu. Galima pastebėti, kad formuojant suardytos struktūros bandinius iš molio miltelių drėgnis gaunamas šiek tiek didesnis nei pasirinktas vandens ir miltelių masės santykis. Šį netikslumą galima paaiškinti neizoliuotos maišymo aplinkos santykinio drėgnio poveikiu bei nedidelėmis svėrimo paklaidomis. Tačiau neatitikimas tarp teorinio ir išmatuoto drėgnio neviršija 1 %, todėl tolimesniame rezultatų aptarime šis neatitikimas yra ignoruojamas. Grunto, sutankinto pagal Proktoro metodiką, nustatytas drėgnis yra lygus 25,21 %. Taigi lyginant S.S.M25 ir Pr.M25 molio tyrimų rezultatus išsamiau nustatoma konsolidacijos koeficiento įtaka molio savybių pokyčiui veikiant bandinius vibracijomis.

Bandinių tankiai gauti atlikus tyrimus pagal 2.2.2. skyriuje pateiktą metodiką vaizduojami 33 paveiksle pateiktame grafike.



33 pav. Molio bandinių tankio pasiskirstymas

Iš 33 paveikslo matyti, kad didžiausiu tankiu pasižymi natūralios struktūros molis. Jo tankis yra lygus $2,01 \text{ g/cm}^3$. Toks tankis yra pakankamai didelis, todėl galima daryti prielaidą, kad gamtinis tyrimams naudojamas molis yra perkonsoliduotas. Tai patvirtina ir grafinis konsolidacijos rodiklio nustatymas Casagrande metodu, kurį pritaikius gauta, jog gamtinio molio konsolidacijos rodiklis apytiksliai lygus 1,5 (žr. 3 priedą). Formuojant suardytos struktūros molio bandinius tankis pasiekiamas mažesnis: 25 % drėgnio molio tankis lygus $1,92 \text{ g/cm}^3$, o didinant molio drėgnį jo tankis proporcingai mažėja. Galima pastebėti, kad drėgnį padidinus 4 %, bandinių tankis vidutiniškai sumažėja 1,2 %. Tačiau grunto tankis gali būti padidintas ne tik mažinant jo drėgnį, bet ir atliekant mechaninį tankinimą. Kaip matoma iš 33 paveikslo, sutankinant 25 % drėgnio molį pagal Proktoro metodiką, jo tankis padidėja šiek tiek daugiau nei 2 % (nuo $1,92 \text{ g/cm}^3$ iki $1,962 \text{ g/cm}^3$).

3.1.2. Atterbergo ribų nustatymas

Molio plastiškumo drėgnio nustatymo rezultatai pateikiami 3.2. lentelėje, o takumo drėgnio tyrimų rezultatai matomi 3.3. lentelėje.

3.2. lentelė. Plastiškumo drėgnio nustatymo bandymų rezultatai

Indelio Nr.	Tuščio indelio masė, g.	Indelio su drėgnu gruntu masė, g.	Indelio su sausu gruntu masė, g.	Plastiškumo drėgnis W_p , %		Matavimų paklaida δ , %
				Bandinio	Vidutinis	
1	13,26	23,85	21,69	25,62	25,80	1,38
2	9,08	19,36	17,24	25,98		

3.3. lentelė. Takumo drėgnio nustatymo bandymų rezultatai

Indelio Nr.	Tuščio indelio masė, g.	Indelio su drėgnu gruntu masė, g.	Indelio su sausu gruntu masė, g.	Takumo drėgnis W_L , %		Matavimų paklaida δ , %
				Bandinio	Vidutinis	
3	11,81	27,43	22,26	49,47	49,26	0,85
4	11,90	23,72	19,83	49,05		

Bandymų metu nustatyta, kad tiriamojo molio plastiškumo drėgnis lygus 25,8 %, o jo takumo drėgnis yra 49,26 %. Pagal 2.5 formulę apskaičiuota, jog tyrimams naudojamo molio plastiškumo rodiklis lygus 23,46.

Pagal gautus rezultatus galima matyti, jog natūralios struktūros molio drėgnis yra pasiekęs plastiškumo ribą, o suardytos struktūros S.S.M25 bandinių drėgnis yra šiek tiek mažesnis nei jų plastiškumo drėgnis, todėl šių bandinių būklė yra kieta. Tuo tarpu likę suardytos struktūros bandiniai yra plastiški, kadangi jų drėgnis yra tarp plastiškumo ir takumo ribos. Tikslesniam bandinių klasifikavimui pagal jų konsistenciją skaičiuojamas konsistencijos rodiklis remiantis 2.6 formule. Apskaičiuotas bandinių konsistencijos rodiklis ir jų konsistencija pagal LST EN ISO 14688-2 pateikiami 3.4. lentelėje.

3.4. lentelė. Molio bandinių konsistencija

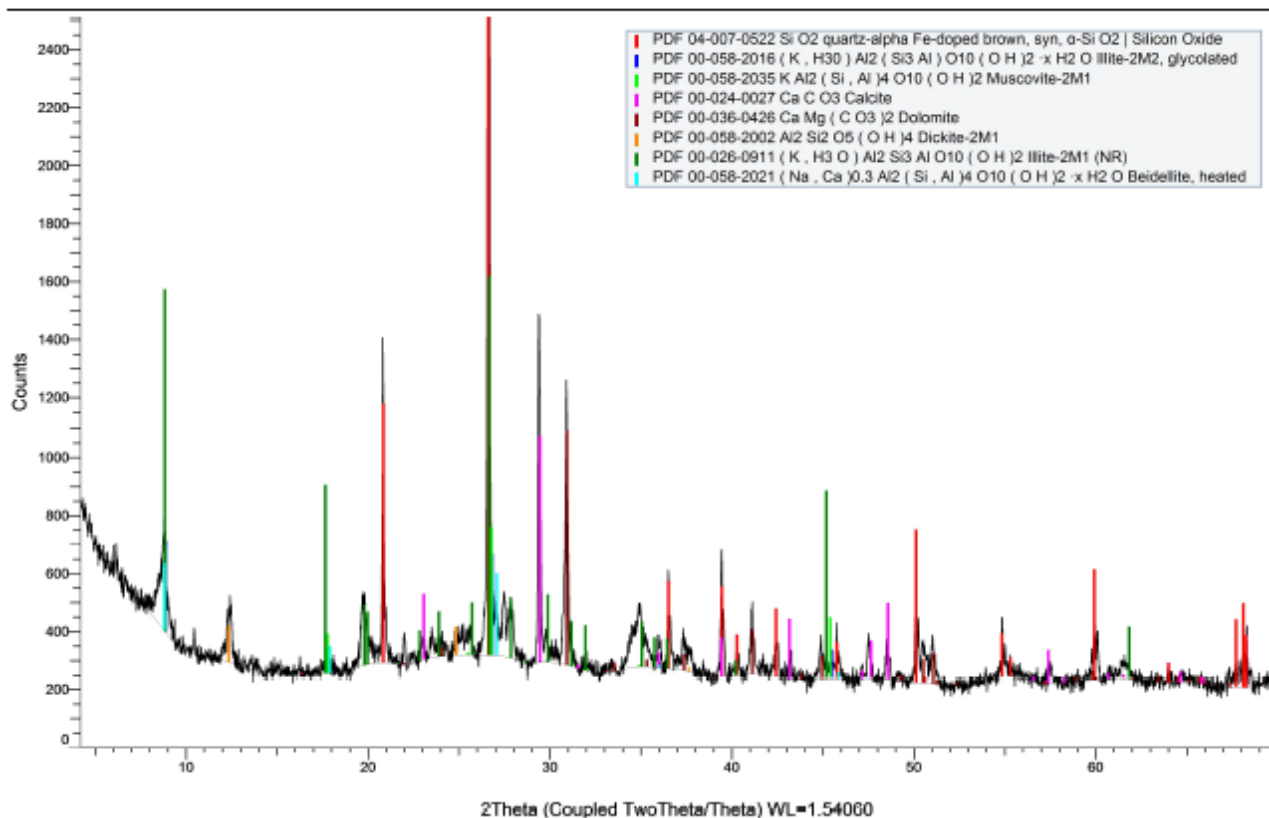
Bandinio žymuo	Konsistencijos rodiklis I_C	Molio konsistencija
N.S.M	0,82	Standi
S.S.M25	1	Standi
S.S.M29	0,85	Standi
S.S.M33	0,69	Kieta
Pr.M25	1,03	Labai standi

Nustatyta, kad molis sutankintas Proktoro prietaisu pagal konsistencijos rodiklį laikomas labai standžiu. Natūralios struktūros molis bei suardytos struktūros 25 % ir 29 % drėgnio molis yra standus, o drėgniui padidėjus iki 33 %, molis pereina į kietąją būseną.

3.1.3. Rentgenodifrakcinė analizė

Molio iš Kertupio karjero rentgenodifrakcinės analizės tyrimo rezultatai vaizduojami 34 paveiksle.

Molis (Coupled TwoTheta/Theta)



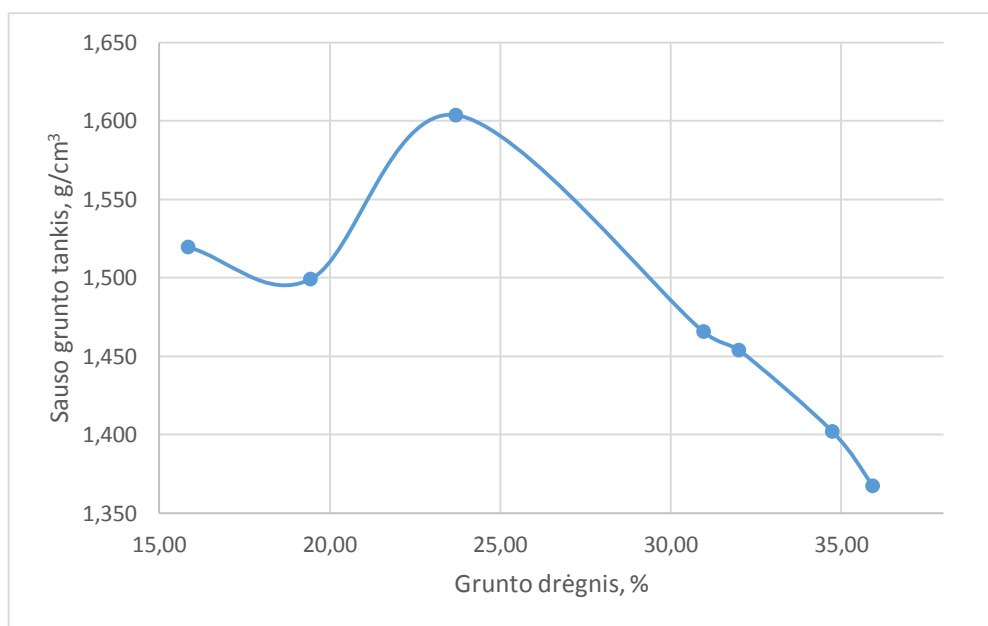
34 pav. Molio RSDA kreivė

Kaip matoma iš pateiktos RSDA kreivės tiriamajame molyje neaptikta pagrindinių kaolinito ir montmorilonito grupėms būdingų mineralų. Nustatyta, kad tiriamajame molyje yra kvarco, kalcito, dolomito, dikito, beidelito, muskovito ir ilito mineralų. Pastarajam būdingi didžiausi smailių intensyvumai. Taigi, RSDA tyrimo metu nustatyta, jog pagal mineralinę sudėtį Kertupio karjero molis priskiriamas hidrožeručio grupei. Kaip minėta literatūros analizėje (žr. 1.3.1 sk.), plačiausiai

ištyrinėta vibracijų įtaka kaolinitiniam moliui, todėl tiriant hidrožeručio molį šio darbo rezultatai įgyja didesnę aktualumą.

3.1.4. Proktoro tankio nustatymas

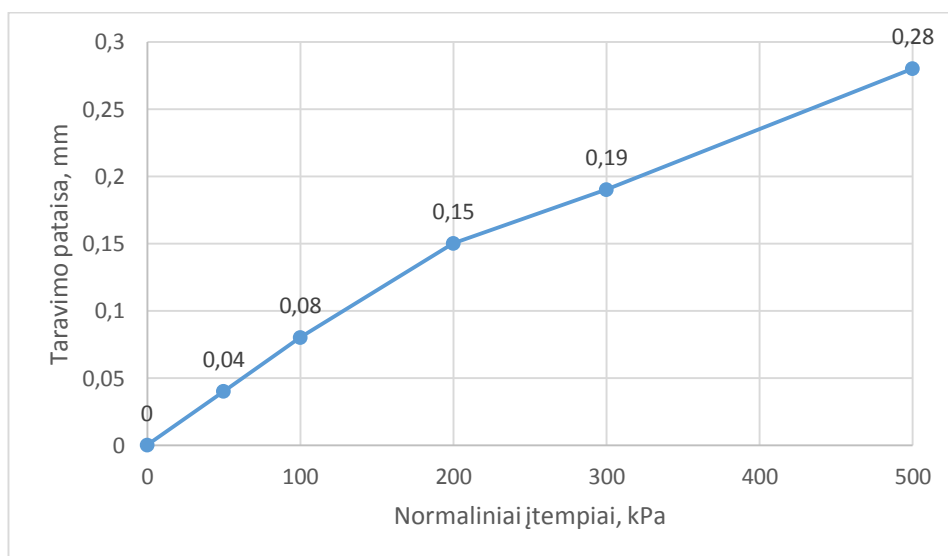
Atlikus Proktoro bandymą pagal 2.2.5. skyriuje aprašytą tyrimų metodiką gauta molio Proktoro kreivė (žr. 35 pav.). Iš kreivės matoma, kad optimalus molio drėgnis, kuriam esant jis geriausiai tankėja yra lygus 23,7 %. Optimalus gautas drėgnis yra 2,1 % mažesnis nei molio plastiškumo drėgnis, o literatūroje teigiama, kad optimalus molio drėgnis būna 1 - 3 % mažesnis už jo plastiškumo drėgnį, todėl galima teigti, jog Proktoro tyrimo rezultatai yra patikimi.



35 pav. Molio Proktoro kreivė

3.1.5. Molio spūdumas

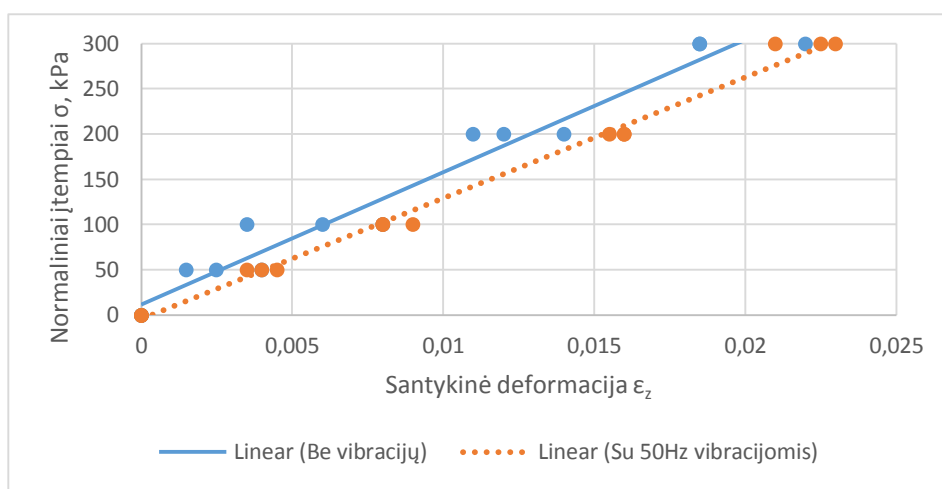
Prieš atliekant spūdumo tyrimus su molio bandiniais nustatyta prietaiso taravimo pataisa, kurios grafikas matomas 36 paveiksle.



36 pav. Prietaiso PLL-9 taravimo kreivė

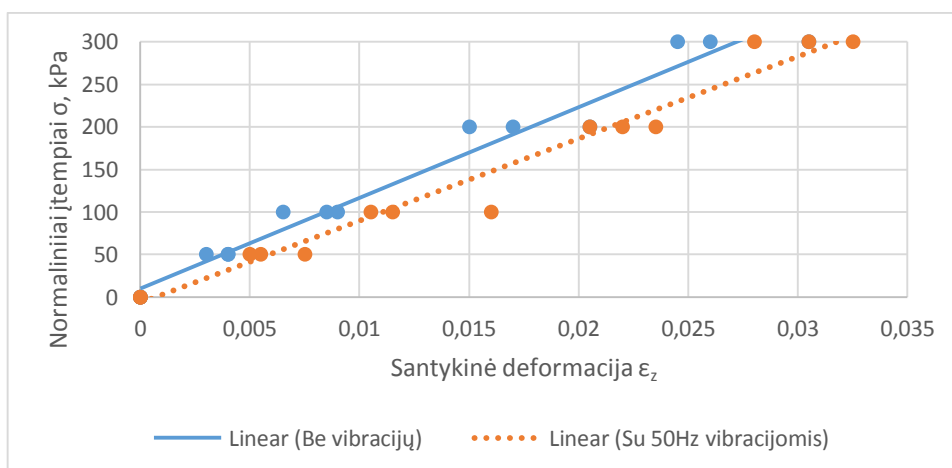
Bandymo metu gauta, kad dėl prietaiso detalių ir filtracinių poperėlių deformacijos iš molio bandinio aukščio pokyčio atliekant spūdumo tyrimus turi būti atimamos taravimo pataisos, kurių dydis apspaudus bandinį 50 kPa normaliniu įtempiu lygus 0,04 mm., o veikiant 100 kPa, 200 kPa, 300 kPa ir 500 kPa įtempiams matavimų pataisa yra atitinkamai lygi 0,08 mm, 0,15 mm, 0,19 mm ir 0,28 mm.

Suardytos struktūros molio spūdumo tyrimai atlikti įprastomis sąlygomis ir veikiant 50 Hz dažnio vibracijoms. S.S.M25 molio įtempių – deformacijų priklausomybė pavaizduota 37 paveiksle, o S.S.M29 ir S.S.M33 bandinių spūdumo tyrimų rezultatai iliustruoti atitinkamai 38 ir 39 paveiksluose.



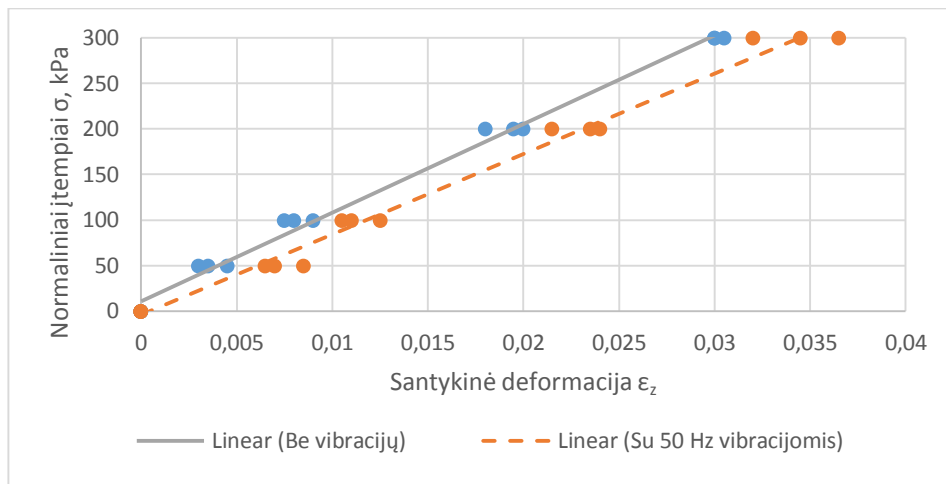
37 pav. S.S.M25 molio įtempių – deformacijų kreivės

Grafike matomas 25 % drėgnio molio įtempių – deformacijų grafikas, kur ištisine linija žymimi tyrimų rezultatai neveikiant bandinio vibracijomis, o taškine linija atspindi molio, veikiamo 50 Hz dažnio vibracijomis įtempių – deformacijų priklausomybę. Remiantis odometriniu deformacijų modulio skaičiavimais, neveikiant vibracijoms 25% drėgnumo molio deformacijų modulis lygus 18,23 MPa, o paveikus molį 50 Hz vibracijomis, jo odometrinius deformacijų modulis sumažėja iki 12,71 MPa. Taigi, molio odometriniu deformacijų modulio sumažėjimas veikiant 50 Hz dažnio vibracijoms yra lygus 30,3 %.



38 pav. S.S.M29 molio įtempių – deformacijų kreivės

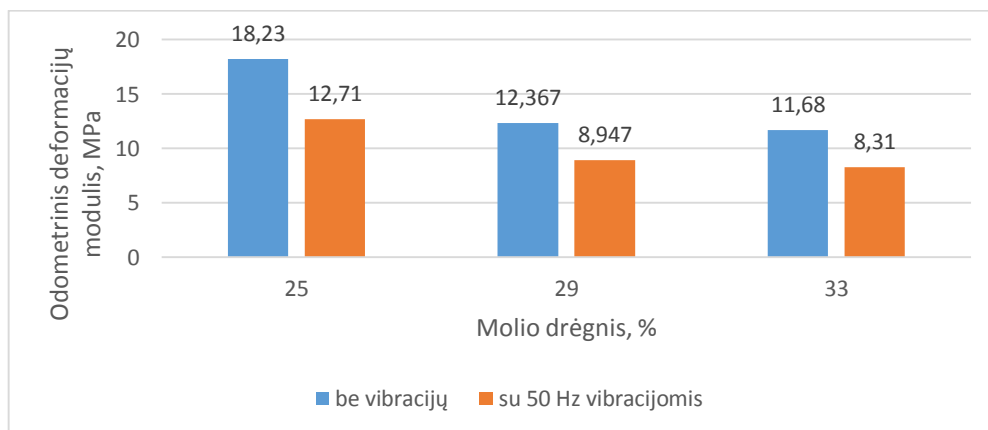
Kaip matoma iš 38 paveikslo, veikiant 29 % drėgnio molį 50 Hz dažnio vibracijomis pastebimos didesnės bandinio deformacijos nei atliekant spūdumo tyrimus įprastomis sąlygomis. Atlikus odometrinių deformacijų modulio skaičiavimus pagal 2.10 formulę nustatyta, kad neveikiant molio vibracijomis jo odometrinis modulis lygus 12,367 MPa, tačiau esant 50 Hz vibracijoms, jo odometrinis modulis sumažėja iki 8,947 MPa.



39 pav. S.S.M33 molio įtempių – deformacijų kreivės

39 paveiksle ištisine linija pavaizduota 33 % drėgnio molio spūdumo tyrimų metu gauta įtempių – deformacijų kreivė, tuo tarpu punktyrinė linija žymi įtempių – deformacijų priklausomybę veikiant šį molį 50 Hz dažnio vibracijomis. Lyginant tarpusavyje šias dvi kreives matyti, kad tiesės posvyrio kampas atliekant tyrimus su vibracijomis sumažėja, o tai dar kartą patvirtina, kad vibracijos neigiamai veikia molio odometrinių deformacijų modulį. Atlikus odometrinių deformacijų modulio skaičiavimus gauta, kad šio molinio grunto, neveikiamo vibracijomis, odometrinis modulis lygus 11,68 MPa, o paveikus molinį gruntą 50 Hz dažnio vibracijomis odometrinis modulis sumažėja iki 8,31 MPa.

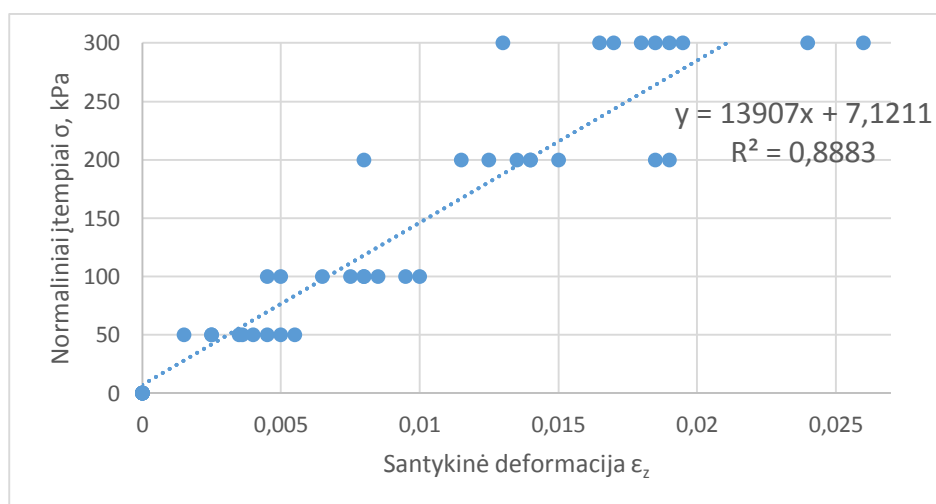
Apibendrinant trijų skirtingo drėgnio suardytos struktūros molio bandinių spūdumo tyrimų rezultatus brėžiamas grafikas, atspindintis odometrinių deformacijų modulio priklausomybę nuo molio drėgnio ir jo pokytį esant 50 Hz dažnio vibracijų poveikiui (žr. 40 pav.).



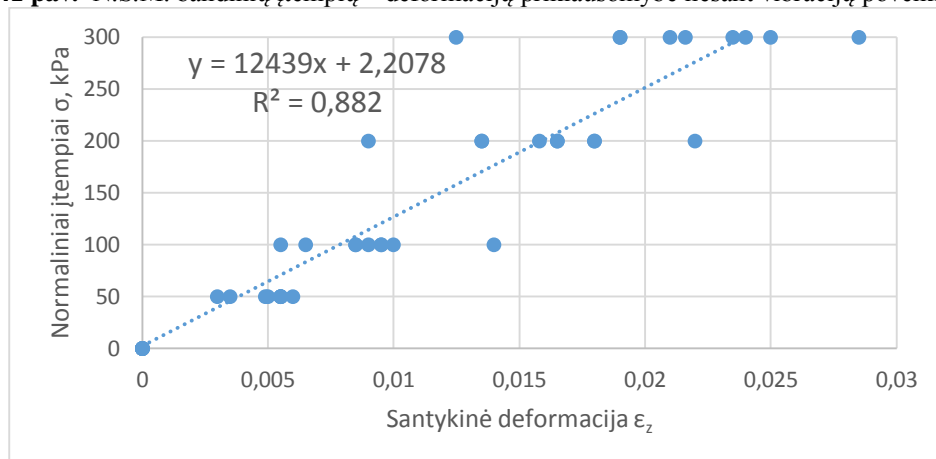
40 pav. Suardytos struktūros molio odometrinių deformacijų modulio priklausomybė nuo drėgnio ir jo pokytis esant vibracijų poveikiui

Kaip matoma iš 40 paveikslo, didėjant molio drėgniui jo odometrinių deformacijų modulis mažėja, tačiau priklausomybė tarp šių dydžių nėra tiesinė. Molio drėgniui pakitus nuo 25 % iki 29 %, jo odometrinių deformacijų modulis sumažėja net 32 %, tuo tarpu drėgniui padidėjus dar 4 %, odometrinio deformacijų modulio sumažėjimas yra apytiksliai lygus 36 %. Taigi, nustatyta, jog suardytos struktūros molio odometrinių deformacijų modulis didėjant jo drėgniui mažėja eksponentiškai. Tuo tarpu lyginant odometrinio deformacijų modulio sumažėjimą dėl vibracijų poveikio pastebėta, jog nėra tiesioginio ryšio tarp grunto drėgnio ir odometrinio deformacijų modulio pokyčio. Veikiant 25 % drėgnio molį 50 Hz dažnio vibracijomis, jo odometrinių deformacijų modulis sumažėja 30,2 %, tuo tarpu 29 % drėgnio molio odometrinio deformacijų modulio sumažėjimas dėl vibracijų poveikio yra lygus 27,6 %, o 33 % drėgnio bandinių – atitinkamai 28,9 %. Taigi, svarbu pažymėti, jog suardytos struktūros molis, kuris yra veikiamas 50 Hz dažnio vibracijomis, nepaisant jo drėgnio, pasižymi apie 30 % didesnėmis deformacijomis nei įprastomis sąlygomis.

Toliau pateikiami gamtinės struktūros molio (N.S.M) įtempių – deformacijų priklausomybės tyrimų rezultatai ir jų statistinė analizė. Natūralios struktūros molio įtempių – deformacijų priklausomybė įprastomis bandymo sąlygomis iliustruota 41 paveiksle, o šio grunto įtempių – deformacijų kreivė esant 50 Hz dažnio vibracijų poveikiui pateikta 42 paveiksle.



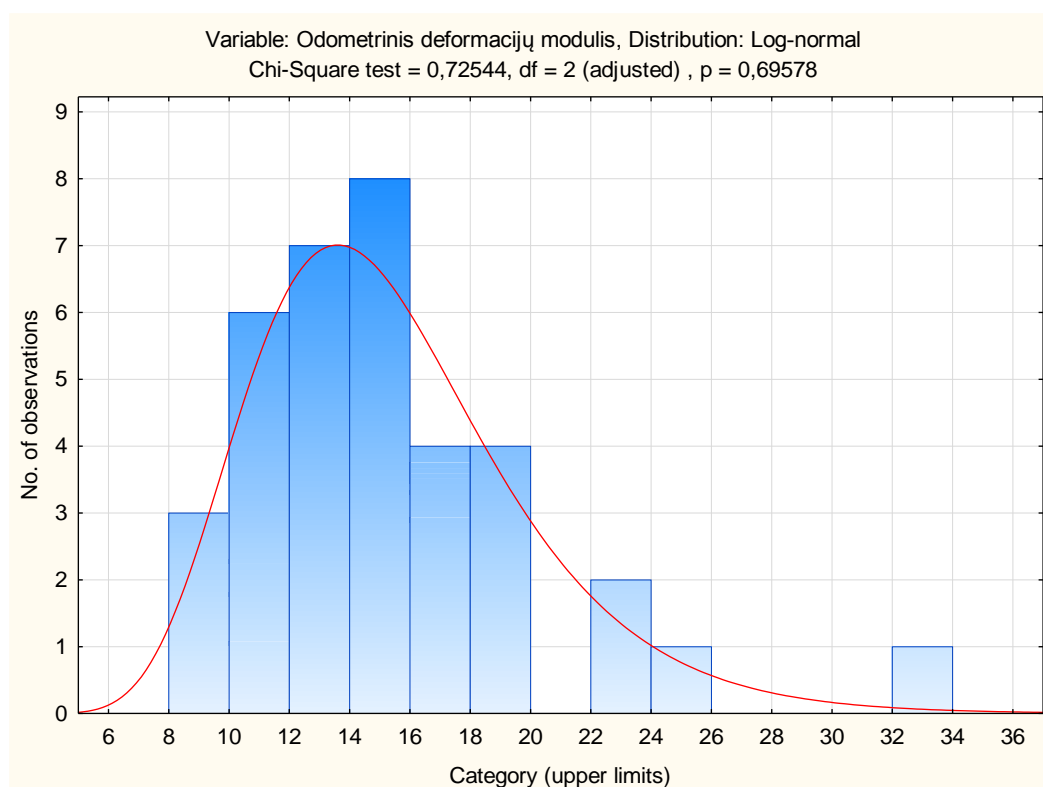
41 pav. N.S.M. bandinių įtempių – deformacijų priklausomybė nesant vibracijų poveikiui



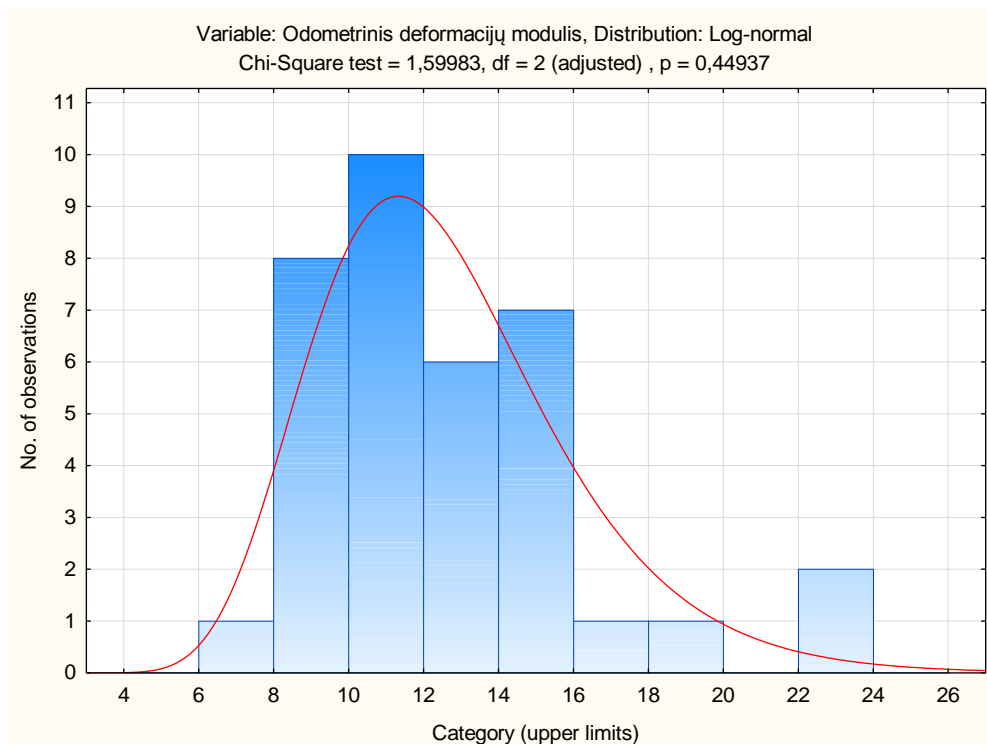
42 pav. N.S.M. bandinių įtempių – deformacijų kreivė veikiant juos 50 Hz vibracijomis

Iš pateiktų grafikų matyti, kad 29 % drėgnio natūralios struktūros molis esant 50 Hz dažnio vibracijų poveikiui prie tų pačių normalinių įtempių deformuojasi daugiau (žr. 42 pav.) nei įprastomis sąlygomis (žr. 41 pav.). Atlikus skaičiavimus gauta, kad nesant vibracijų poveikiui molio odoemetrinio deformacijų modulio empirinis vidurkis lygus 15,441 MPa, o tyrimų metu veikiant bandinius 50 Hz dažnio vibracijomis natūralios struktūros molio odoemetrinis deformacijų modulis sumažėja iki 12,607 MPa. Taigi, esant vibracijų poveikiui natūralios struktūros molio odoemetrinio deformacijų modulio sumažėjimas gautas 18,4 %. Lyginant natūralios ir suardytos struktūros molio odoemetrinio deformacijų modulio sumažėjimą veikiant 50 Hz dažnio vibracijoms galima pastebėti, jog esminis faktorius, lemiantis vibracijų poveikį odoemetriniam deformacijų moduliui yra grunto konsolidacijos rodiklis. Atliekant tyrimus be vibracijų poveikio grunto bandiniams gautas lygties empirinis koeficientas yra 0,8883, todėl šių bandymų koreliacijos koeficientas lygus 0,94. Tai reiškia, kad tiesinis ryšys tarp įtempių ir deformacijų yra stiprus. Vibracijos duomenų išsibarstymui poveikio neturėjo, nes koreliacijos koeficientas atliekant bandymus esant vibracijų poveikiui taip pat gautas 0,94. Toliau pateikiami detalesni statistinio duomenų apdorojimo rezultatai.

Molio odoemetrinio deformacijų modulio rezultatų pasiskirstymas, kai bandymų metu nėra vibracijų poveikio, pavaizduotas 43 paveiksle, o rezultatų skirstinys pagal bandymų su vibracijomis rezultatus matomas 44 paveiksle.



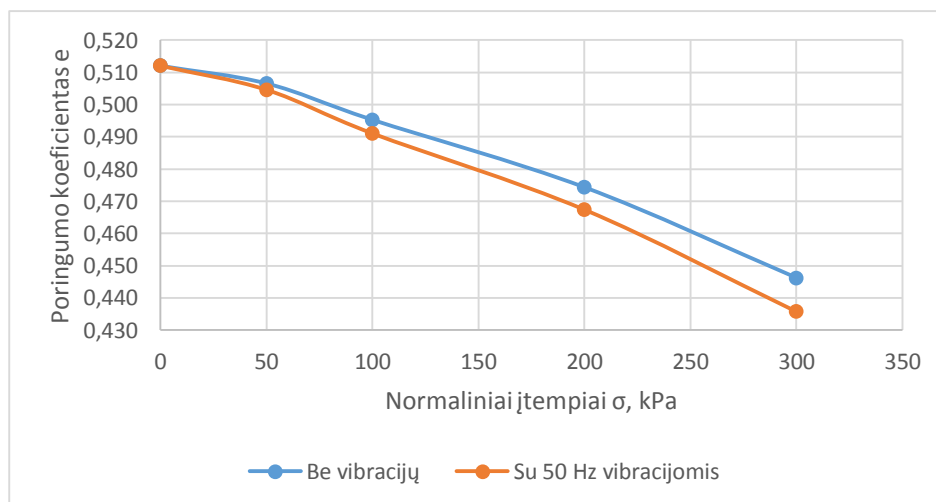
43 pav. N.S.M odoemetrinio deformacijų modulio pasiskirstymas pagal spūdumo bandymų be vibracijų rezultatus



44 pav. N.S.M odometrinio deformacijų modulio pasiskirstymas pagal spūdumo bandymų su 50 Hz vibracijomis rezultatus

Kaip matoma iš aukščiau pateiktų rezultatų pasiskirstymo grafikų, spūdumo bandymų metu nustatytas natūralios struktūros molio odometrinis deformacijų modulis yra pasiskirstęs pagal lognormalųjį skirstinį. Galima pastebėti, kad 43 paveiksle esanti pasiskirstymo funkcija (raudona kreivė) geriau atitinka bandymų metu gautus eksperimentinius rezultatus nei pasiskirstymo funkcija iliustruota 44 paveiksle. Statistinė duomenų analizė rodo, jog vibracijos sukelia netolygesnį eksperimentinių rezultatų pasiskirstymą, tačiau skirtumas tarp gautų rezultatų ir juos apibūdinančio skirstinio nėra didelis.

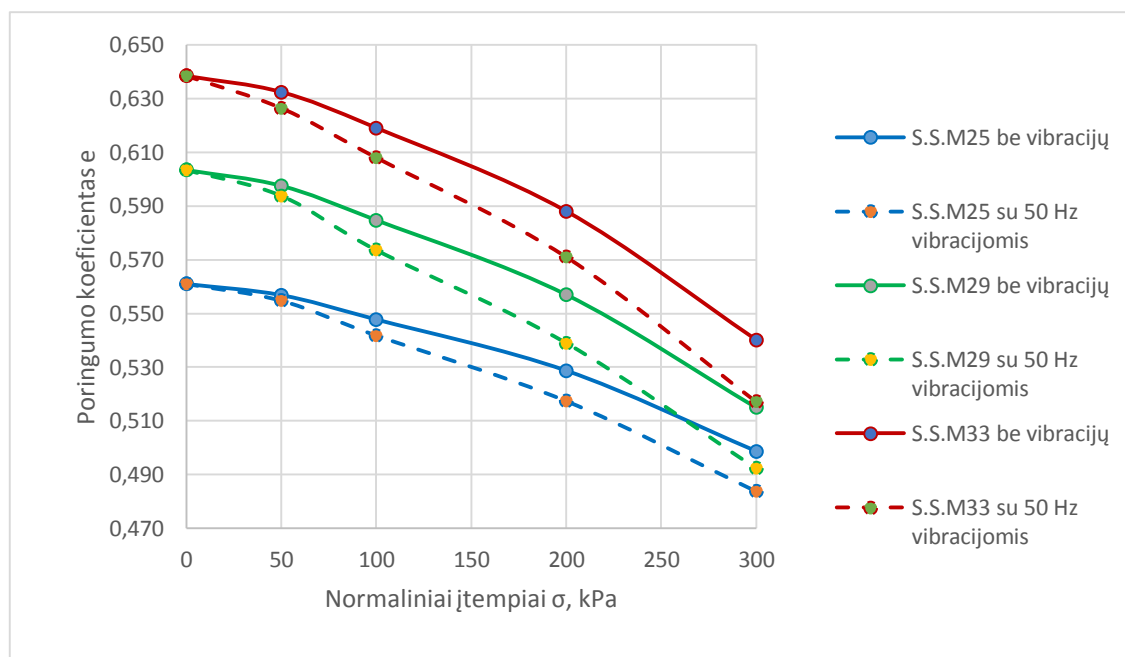
Bandymų metu pastebėta, kad vibracijos turi įtakos ne tik molio odometriniam deformacijų moduliui, bet ir jo poringumui. Natūralios struktūros molio poringumo koeficiento pokytis dėl vibracijų poveikio matomas žemiau pavaizduotame kompresijos grafike (žr. 45 pav.).



45 pav. N.S.M. bandinių kompresijos kreivė

Iš 45 paveiksle pavaizduoto grafiko matyti, kad kuo didesnė apkrova veikia molio bandinį, tuo didesnis poringumo koeficiento sumažėjimas pastebimas dėl vibracijų poveikio. Bandymų rezultatai rodo, kad natūralios struktūros molio poringumo koeficientas dėl 50 Hz dažnio vibracijų poveikio sumažėja 2,2 %. Poringumo koeficiento sumažėjimą galima sieti su padidėjusiomis bandinio deformacijomis esant vibracijų poveikiui. Tačiau poringumo koeficientui sumažėjus padidėja grunto porinis vandens slėgis, kuris turi neigiamą įtaką molio stiprumui (žr. 3.1.5. sk.).

Suardytos struktūros molio poringumo koeficiento pokyčio dėl vibracijų poveikio grafikas iliustruotas 46 paveiksle.

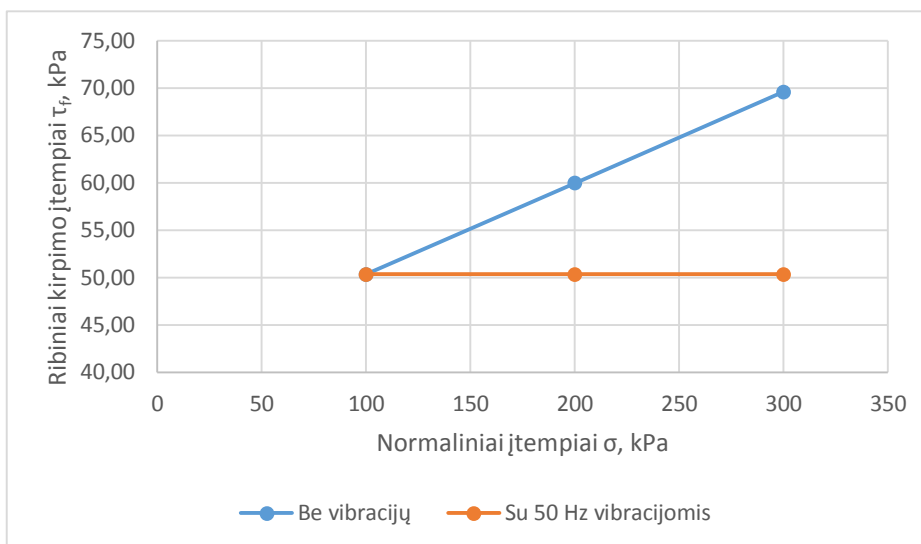


46 pav. Suardytos struktūros molio bandinių kompresijos kreivės

46 paveiksle ištisine linija žymimos molio poringumo koeficiento ir įtempių priklausomybės, kai bandiniai nėra veikiami vibracijomis, o punktyrinės linijos vaizduoja poringumo koeficiento ir normalinių įtempių priklausomybę esant 50 Hz dažnio vibracijų poveikiui. Raudona, žalia ir mėlyna spalva pažymėti atitinkamai 25 %, 29 % ir 33 % molio bandinių rezultatai. Bandymų metu nustatyta, kad suardytos struktūros molio drėgniui padidėjus 4 %, jo pradinis poringumo koeficientas apytiksliai padidėja 6,2 %. Pažymėtina, kad vibracijų poveikis suardytos struktūros molio poringumo koeficiento pokyčiui yra didesnis nei gamtinės struktūros molio poringumo koeficiento pokyčiui. Iš 44 paveikslo matyti, kad 25 % drėgnio molio poringumo koeficiento sumažėjimas po bandymo yra 3 % didesnis esant vibracijų poveikiui. Kai bandinio drėgnis yra didesnis nei molio plastiškumo riba vibracijų poveikis poringumo koeficiento sumažėjimui yra didesnis. Gauta, jog 29 % drėgnio molio poringumo koeficientas dėl vibracijų poveikio sumažėja 4,5 %, o 33 % drėgnio molio – atitinkamai 4,3 %. Taigi, nepriklausomai nuo drėgnio, suardytos struktūros molio poringumo koeficientas dėl vibracijų poveikio sumažėja daugiau nei natūralios struktūros molio (2,2 %).

3.1.6. Molio kirpimas

Natūralios struktūros molio kirpimo bandymai atlikti nesant vibracijų poveikiui ir veikiant bandinius 50 Hz dažnio vibracijomis. Natūralios struktūros molio kirpimo grafikas pavaizduotas 47 paveiksle.

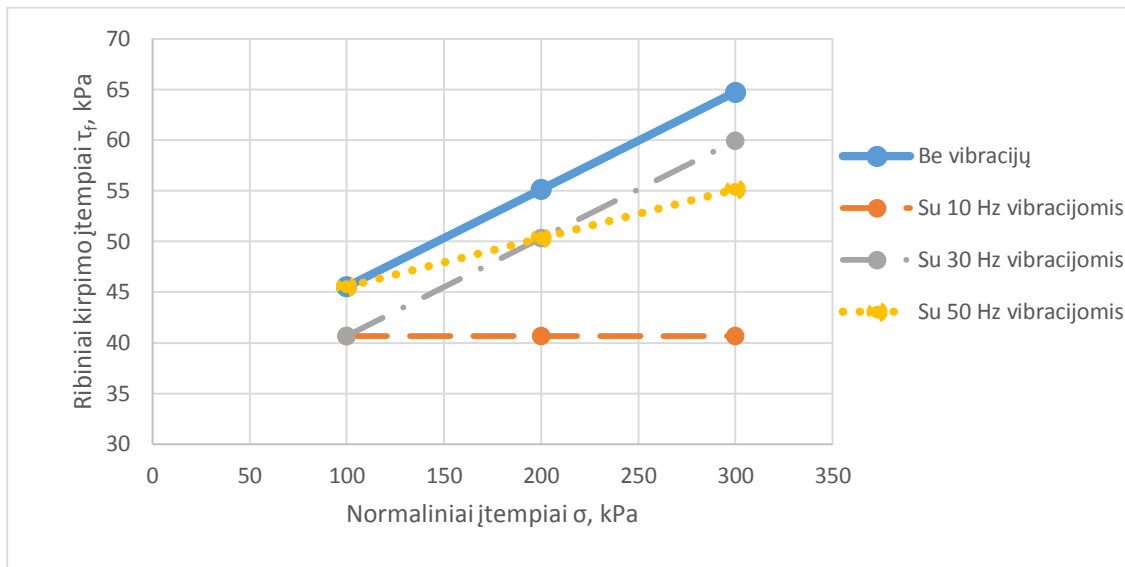


47 pav. Natūralios struktūros molio kirpimo bandymų rezultatai

Iš čia matyti, kad kai natūralios struktūros molio bandiniai (N.S.M.) yra veikiami 50 Hz dažnio vibracijomis, jų kerpamasis stipris ženkliai sumažėja. Ribinių tangentinių įtempių kreivė pakeičia formą iš pasvirusios tiesės į horizontalią tiesę. Tai reiškia, kad dėl 50 Hz dažnio vibracijų poveikio porinis vandens slėgis padidėja iki tokios ribos, kad molio poros tampa pilnai pripildytos vandeniū. Dėl to vidinės trinties kampas sumažėja iki 0° . Tokie bandymo rezultatai leidžia daryti prielaidą, kad veikiant natūralios struktūros molį 50 Hz dažnio vibracijomis įvyksta reiškinys, vadinamas molio suskystėjimu, kuris plačiau aprašytas 1.3.1. skyriuje. Pažymėtina, kad pagal Seed pasiūlytą molio suskystėjimo galimybės vertinimo modelį (13 pav.), N.S.M bandiniai turėtų būti atsparūs suskystėjimo reiškiniui, tačiau tyrimo rezultatai yra priešingi. Vis dėlto, šiame modelyje nėra vertinamas vibracijų dažnis, kuris galimai turi nemažą įtaką molio suskystėjimo galimybei. Iš 1.6. lentelės matyti, kad kieto molio rezonansinis dažnis (40 Hz) yra artimas šių tyrimų metu naudotam virpesių dažniui, dėl to 50 Hz dažnio vibracijų poveikis natūralios struktūros molio kerpamajam stipriui yra toks reikšmingas.

Iš 47 paveiksle iliustruoto kirpimo grafiko galima matyti, kad atliekant bandymus su vibracijomis molio sankiba (50,32 kPa) gaunama didesnė nei įprastomis sąlygomis (40,69 kPa), tačiau reikia pažymėti, jog dėl suskystėjimo reiškinio šis dydis negali būti naudojamas projektavime, o turėtų būti atliekami nekonsoliduoto kirpimo bandymai, kurių metu būtų gautas kerpamasis stipris nedrenuojant.

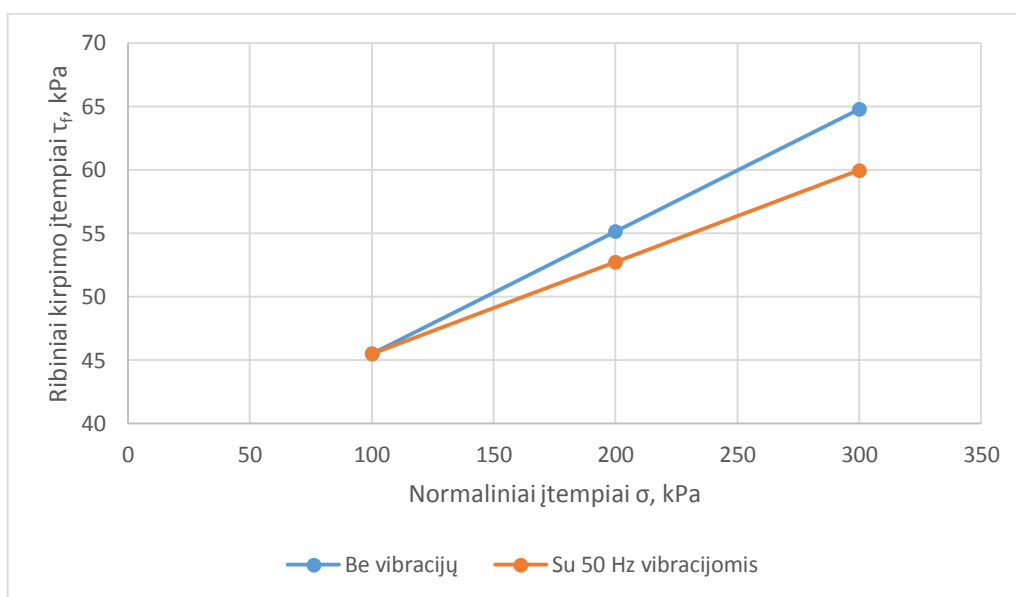
Siekiant aiškiau nustatyti vibracijų dažnio įtaką molio kerpamajam stipriui S.S.M33 bandiniai buvo tiriami veikiant 10 Hz, 30 Hz ir 50 Hz dažnio vibracijoms. Šių tyrimų rezultatai matomi 48 paveiksle.



48 pav. S.S.M33 molio kirpimo bandymų rezultatai

Rezultatai rodo, kad didžiausias kerpamasis stipris gautas nesant vibracijų poveikiui, o skirtingo dažnio vibracijos skirtingai veikia suardytos struktūros molio kerpamojo stiprio sumažėjimą. Suardytos struktūros molį paveikus 30 Hz dažnio vibracijomis jo sankiba sumažėja 23,5 %. 50 Hz vibracijos sumažina vidinės trinties kampą perpus, o 10 Hz dažnio vibracijos, kurios yra artimos minkšto molio rezonansiniam dažniui, sukelia S.S.M33 bandinių suskystėjimą. Iš šių ir anksčiau aptartų kirpimo bandymo rezultatų galima pastebėti, kad kuo didesnis grunto konsolidacijos rodiklis, tuo didesnio dažnio vibracijos sukelia grunto suskystėjimą.

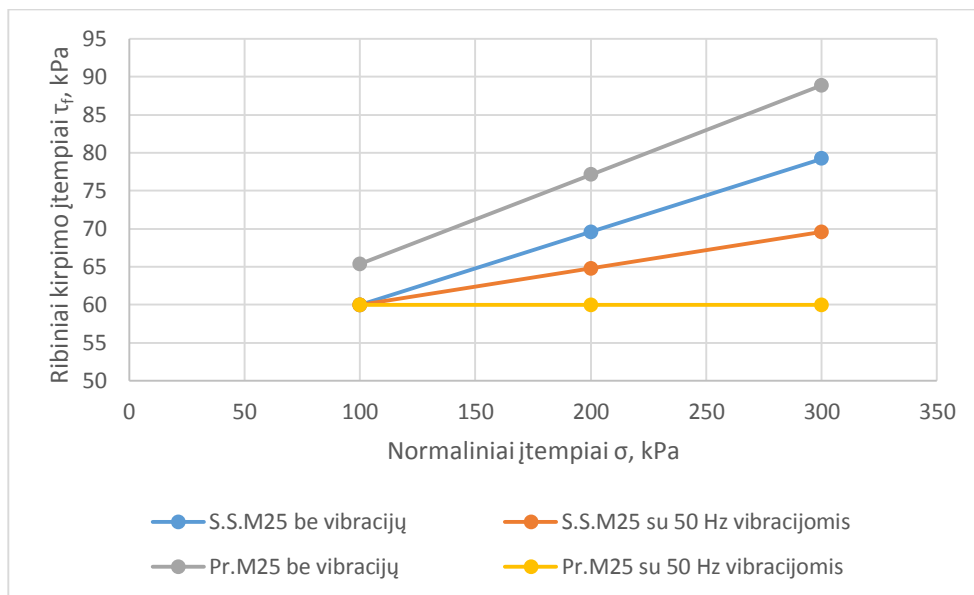
29 % drėgnio suardytos struktūros molio kirpimo grafikai pavaizduoti 49 paveiksle.



49 pav. S.S.M29 molio kirpimo bandymų rezultatai

Iš 49 paveiksle pavaizduoto kirpimo grafiko matyti, kad esant 50 Hz dažnio vibracijų poveikiui suardytos struktūros molio, kurio drėgnis yra 29 %, vidinės trinties kampas sumažėja nuo 6° iki 3°. Tikėtina, kad kaip ir S.S.M33 bandiniams 10 Hz dažnio vibracijos turėtų didesnę poveikį nei 50 Hz virpesiai, todėl su šiais bandiniais reikėtų detaliau nustatyti vibracijų dažnio įtaką kerpamajam stipriui.

50 paveiksle iliustruojami 25 % drėgnio suardytos struktūros molio kirpimo grafikai įprastomis sąlygomis ir esant 50 Hz dažnio vibracijų poveikiui bei to paties drėgnio molio, kuris sutankintas pagal Proktoro metodiką, kirpimo bandymų rezultatai.



50 pav. S.S.M25 ir Pr.M25 molio kirpimo bandymų rezultatai

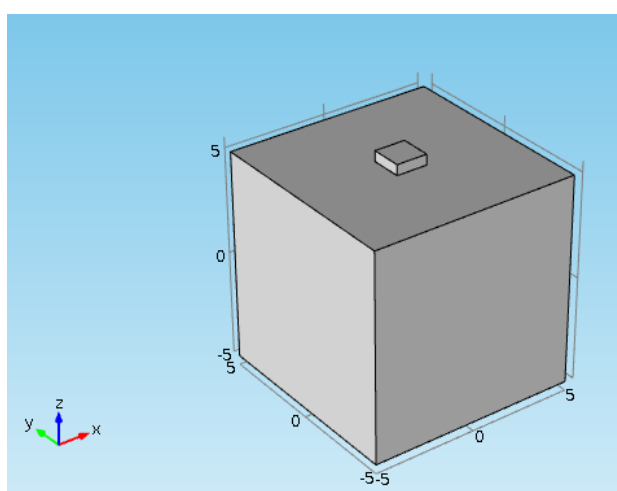
Kirpimo tyrimų metu nustatyta molio sutankinimo įtaka jo kerpamajam stipriui. Bandymų rezultatai rodo, jog sutankinant molį iki Proktoro tankio, jo sankiba padidėja 6,2 % (nuo 50,32 kPa iki 53,62 kPa.). Taip pat stebimas nedidelis vidinės trinties kampo padidėjimas: jo vertė išaugo nuo 5,5° iki 6,7°. Analizuojant 50 Hz dažnio vibracijų poveikį molio kerpamajam stipriui galima pastebėti, jog veikiant S.S.M25 bandinius vibracijomis kirpimo bandymo metu, gauti tokie pat rezultatai kaip ir anksčiau minėtų (S.S.M29 ir S.S.M33) bandinių atveju – molio vidinės trinties kampas sumažėja 50 %. Tačiau iš grafiko matyti, kad kai molis sutankintas iki Proktoro tankio, jo kerpamasis stipris yra labiau paveikiamas 50 Hz dažnio vibracijomis. Nustatyta, kad esant vibracijų poveikiui, sutankinto molio vidinės trinties kampas sumažėja iki 0°. Tokie rezultatai gauti ir tiriant natūralios struktūros molį, todėl galima pastebėti, kad yra koreliacija tarp konsolidacijos rodiklio ir vibracijų poveikio molio kerpamajam stipriui. Sutankinant molį Proktoro prietaisu, jo konsolidacijos rodiklis padidėja, todėl kaip ir natūralios struktūros molio bandinių atveju, 50 Hz dažnio vibracijos sukelia sutankinto molio suskystėjimą.

3.2. Skaitinių tyrimų rezultatai

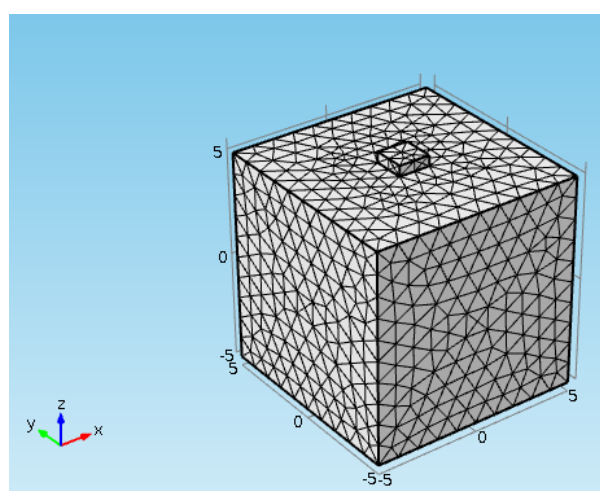
Baigtinių elementų programa atliktas dviejų tipų modeliavimas:

1. Pamato ant molio pagrindo nuosėdžių analizė statinės apkrovos atveju;
2. Molio pagrindo deformacijų analizė veikiant paviršinėms skirtingo dažnio grunto vibracijoms.

Pirmuoju atveju modeliuojamas gruntas, kurio matmenys $10 \times 10 \times 10$ m. ir ant jo paviršiaus braižomas sėklusis 1,5 m. ilgio ir pločio bei 0,5 m. aukščio pamatas. Pamatas iš viršaus apkraunamas 150 kPa slėgiu ir atliekamas globalios sistemos sudalinimas į baigtinius elementus. Grunto bloko apatinis ir šoniniai paviršiai yra suvaržyti. Modelio vaizdas iliustruotas 51 paveiksle, o modelio sudalinimas į baigtinius elementus matomas 52 paveiksle.



51 pav. Pamato ant molio pagrindo modelio vaizdas



52 pav. Modelio sudalinimas į baigtinius elementus

Pamatui priskiriama medžiaga yra betonas, kurio įvesties charakteristikos pateiktos 3.5 lentelėje.

3.5. lentelė. Betono įvesties rodikliai

Charakteristika	Tankis, kg/m^3	Deformacijų modulis, Pa	Puasono koeficientas
Reikšmė	2400	30×10^9	0,33

Atliekami keturi skaičiavimai su skirtingų charakteristikų molio pagrindais. Į modelį įvedamos šiame darbe eksperimentiniais metodais nustatytos N.S.M., S.S.M25, S.S.M29 ir S.S.M33 molio mechaninės savybės, kurios pateiktos 3.6 lentelėje.

3.6. lentelė. Molio pagrindų įvesties rodikliai

Molio žymuo	Tankis, kg/m^3	Deformacijų modulis, Pa	Puasono koeficientas
N.S.M	2010	6176400	0,3
S.S.M25	1920	7292000	
S.S.M29	1892	4946800	
S.S.M33	1874	4672000	

Skaičiavimai atliekami pasirinkus stacionarų sprendimo būdą.

Atliekant molio pagrindų deformacijų analizę veikiant skirtingo dažnio paviršinėms vibracijoms skaičiuojamajame modelyje modeliuojamas tokių pat matmenų grunto masyvas, kuris suvaržytas tomis pačiomis sąlygomis kaip ir pirmajame variante. Šiuo atveju grunto paviršiuje

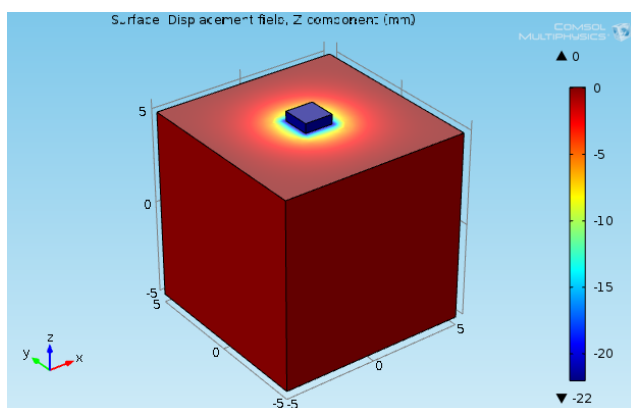
modeliuojamos harmoninio tipo virpesiai aprašomi sinuso funkcija. Virpesių dažnis parenkamas kas 5 Hz 5 – 70 Hz intervale ir sprendžiamas „frequency domain“ uždavinys. Kaip ir pirmuoju variantu, analizė atliekama su tais pačiais savo savybėmis besiskiriančiais moliniais gruntais. Molio pagrindų įvesties rodikliai atliekant pagrindo deformacijų dėl vibracijų poveikio analizę pateikiami 3.7 lentelėje.

3.7. lentelė. Molio pagrindų įvesties duomenys atliekant pagrindo deformacijų analizę

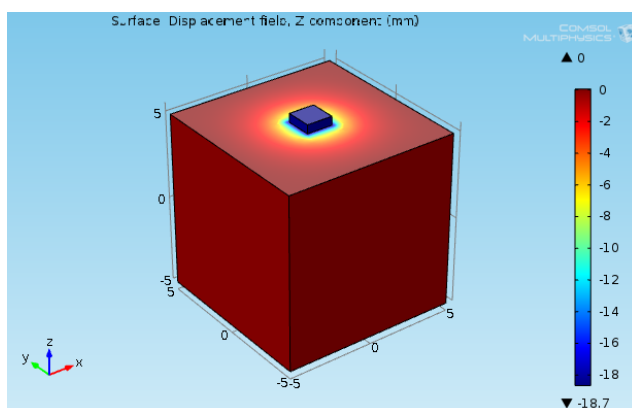
Charakteristika	N.S.M	S.S.M25	S.S.M29	S.S.M33
Tankis, kg/m ³	2010	1920	1892	1874
Poringumas	0,33	0,359	0,375	0,39
Pralaidumas, m ²	1×10^{-14}			
Dinaminė klampa, Pa·s	3351,75	4123,5	3351,75	2888,7
Šlyties modulis, Pa	4411714	5205822	3529371	3308785
Biot – Willis koeficientas	0,99975			
Deformacijų modulis, Pa	6176400	7292000	4946800	4672000

3.2.1. Pamato nuosėdžių analizė statinės apkrovos atveju

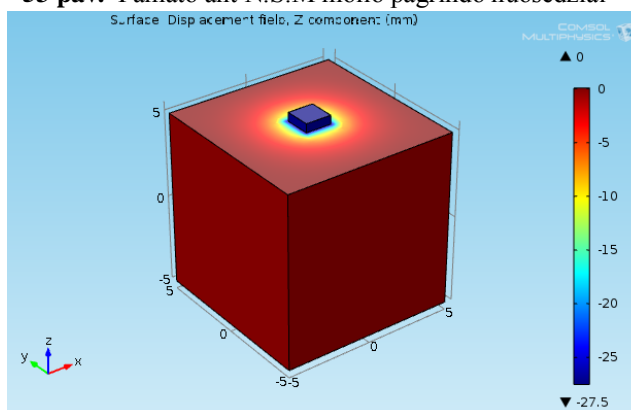
Žemiau pateiktuose paveiksluose iliustruoti pamato ant skirtingų savybių molio pagrindų nuosėdžių rezultatai veikiant tik statinei apkrovai.



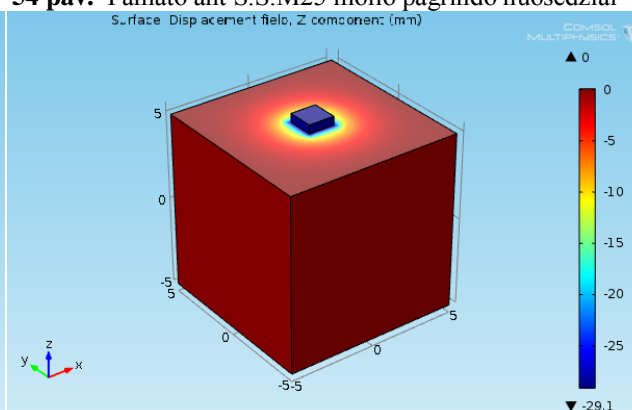
53 pav. Pamato ant N.S.M molio pagrindo nuosėdžiai



54 pav. Pamato ant S.S.M25 molio pagrindo nuosėdžiai



55 pav. Pamato ant S.S.M29 molio pagrindo nuosėdžiai

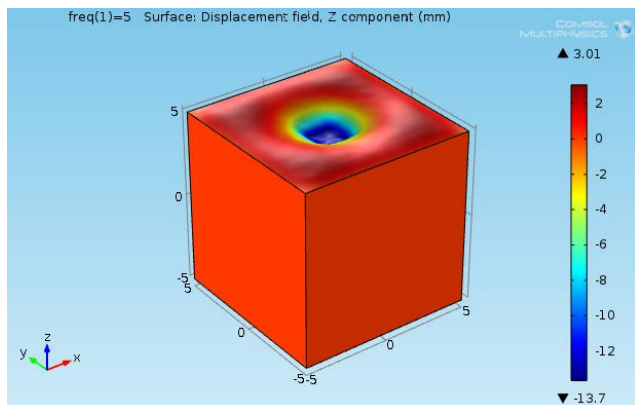


56 pav. Pamato ant S.S.M33 molio pagrindo nuosėdžiai

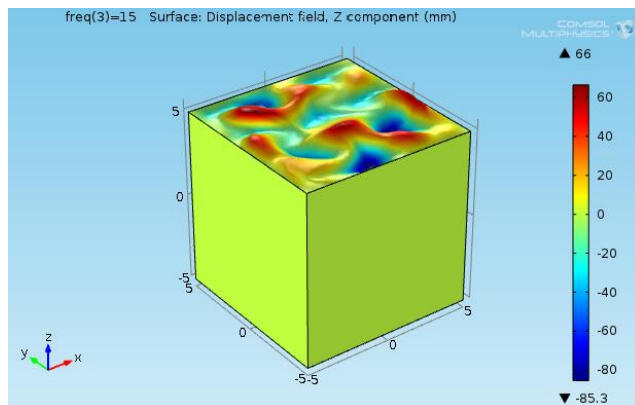
Kaip ir tikėtasi, pamato nuosėdžiai tiesiogiai priklauso nuo molio deformacijų modulio. Nustatyta, kad priklausomybė tarp grunto deformacijų modulio ir pamato nuosėdžio yra tiesinė. Deformacijų moduliui padidėjus 15 %, pamato nuosėdis sumažėja taip pat apie 15 %.

3.2.2. Molio pagrindo deformacijų analizė esant vibracijų poveikiui

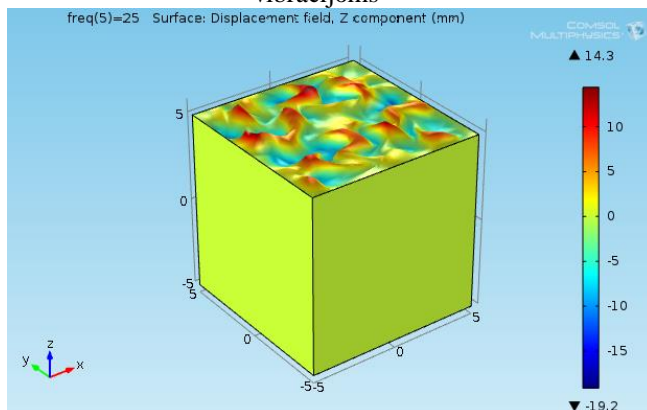
Žemiau pateiktuose paveiksluose galima matyti, jog vibracijų dažnis turi didžiulę įtaką molio pagrindo deformacijoms. 57 – 60 paveiksluose pateikiamos N.S.M molio deformacijos veikiant 5, 15, 25 ir 35 Hz dažnio vibracijoms. Kitų dažnių virpesių sukeltos grunto deformacijos ir kitų pagrindų tipų rezultatai pateikti 4 priede.



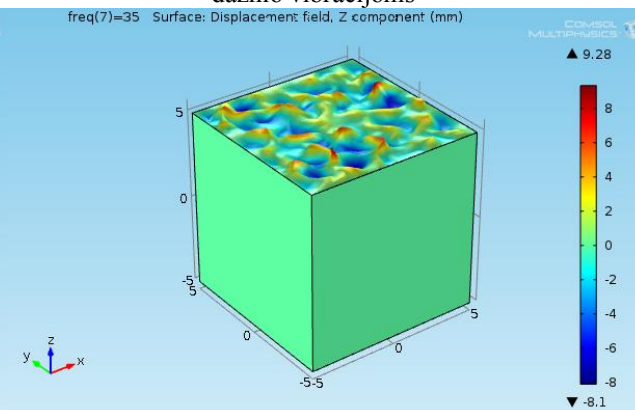
57 pav. N.S.M molio deformacijos veikiant 5 Hz dažnio vibracijoms



58 pav. N.S.M molio deformacijos veikiant 15 Hz dažnio vibracijoms

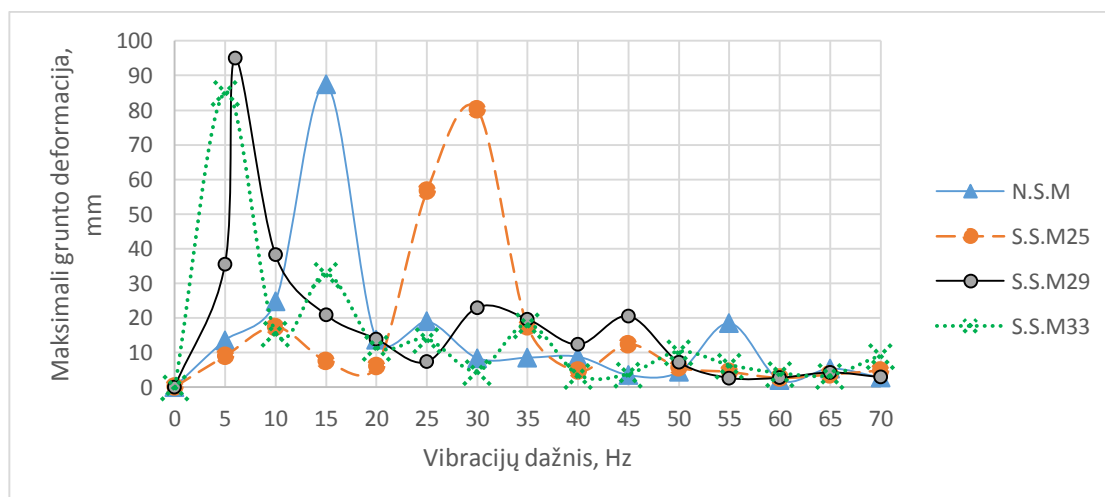


59 pav. N.S.M molio deformacijos veikiant 25 Hz dažnio vibracijoms



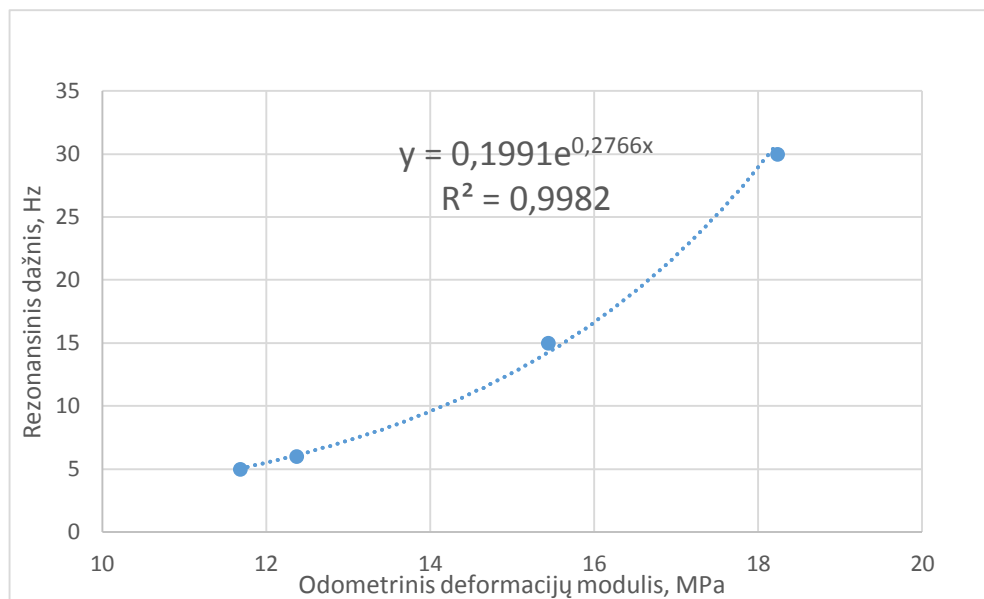
60 pav. N.S.M molio deformacijos veikiant 35 Hz dažnio vibracijoms

Kaip matoma iš pateiktų deformacijų grafikų esant 15 Hz dažnio vibracijų poveikiui natūralios struktūros molio deformacijos išauga net iki 10 kartų lyginant su kitų dažnių virpesių poveikiu. Skirtingų dažnių vibracijų sukeltos molio deformacijos pateiktos 61 paveiksle.



61 pav. Skirtingų dažnių vibracijų sukeltos molio pagrindų deformacijos

Iš 61 paveiksle pateikto grafiko galima matyti, jog grunto deformacija staigiai išauga esant tam tikro dažnio vibracijų poveikiui. Tokį staigų deformacijos padidėjimą sukelia tokie virpesiai, kurių dažnis yra lygus molio pagrindo rezonansiniam dažniui. Iš grafiko matyti, kad natūralios struktūros molio rezonansinis dažnis yra 15 Hz. Suardytos struktūros molio, kurio drėgnis 25 %, rezonansinis dažnis lygus 30 Hz, o drėgniui mažėjant rezonansinis dažnis taip pat mažėja – 29 % drėgnio molio rezonansinis dažnis yra 6 Hz, o 33 % – atitinkamai 5 Hz. Analizuojant šiuos rezultatus buvo pastebėta priklausomybė tarp molio odometrinių deformacijų modulio ir jo rezonansinio dažnio. Ši priklausomybė iliustruota 62 paveiksle esančiame grafike.



62 pav. Priklausomybė tarp molio odometrinių deformacijų modulio ir rezonansinio dažnio

Nustatyta, kad tarp molio odometrinių deformacijų modulio ir jo rezonansinio dažnio yra eksponentinė priklausomybė. Kuo molio odometrinių deformacijų modulis didesnis, tuo didesnis to molio rezonansinis dažnis. Pagal gautą priklausomybę išvesta formulė, kurią pritaikius galima apskaičiuoti molio rezonansinį dažnį žinant odometrinių deformacijų modulį:

$$f_{rez} = 0,2e^{0,2766E_{oed}} \quad (3.1)$$

čia:

f_{rez} – molio rezonansinis dažnis, Hz;

E_{oed} – molio odometrinių deformacijų modulis, MPa.

Išvados ir rekomendacijos

1. Remiantis mokslininko Seed pasiūlytu molio pagrindo suskystėjimo proceso įvertinimu, gruntas, kurio plastiškumo rodiklis didesnis nei 20 turi būti atsparus suskystėjimui dėl vibracijų poveikio, tačiau eksperimentinių kirpimo bandymų metu buvo stebimas hidrožerutinio molio, kurio plastiškumo rodiklis lygus 23,46, prisisotinimas vandeniui. Pastebėtas trūkumas Seed modelyje yra tai, kad neįvertinamas vibracijų dažnis ir molio konsolidacijos rodiklis, kurie remiantis atliktais bandymais turi tiesioginę įtaką grunto suskystėjimo procesui.
2. Atlikus išsamius eksperimentinius molio odometrinių deformacijų modulio sumažėjimo dėl grunto vibracijų poveikio tyrimus pastebėta, kad molio drėgnis neturi įtakos odometrinių deformacijų modulio sumažėjimo dydžiui: normaliai konsoliduoto molio, veikiamo 50 Hz dažnio vibracijomis, odometrinis deformacijų modulis nepriklausomai nuo molio drėgnio sumažėja apie 30 %. Tuo tarpu perkonsoliduoto molio, kurio perkonsolidavimo rodiklis lygus 1,8, odometrinių deformacijų modulio sumažėjimas esant 50 Hz dažnio vibracijų poveikiui gautas 18,4 %.
3. Eksperimentiškai nustatyta, kad esant vibracijoms, molyje padidėja porinis vandens slėgis, kuris lemia molio vidinės trinties kampo sumažėjimą. Perkonsoliduoto natūralios struktūros molinio grunto, kurį veikia 50 Hz dažnio vibracijos, poros užpildomos vandeniui, todėl jo vidinės trinties kampas sumažėja iki 0°. Normaliai konsoliduotam moliui tokį poveikį sukelia žemesnio dažnio (10 Hz) vibracijos.
4. Atlikus molio, veikiamo skirtingo dažnio vibracijomis, modeliavimą baigtinių elementų programa nustatyta, kad vibracijų dažniui sutampant su pagrindo savuoju dažniu, esant rezonansui, grunto deformacijos išauga net iki 5 kartų lyginant su statine apkrova veikiamo pamato nuosėdziais. Šio darbo tyrimuose naudoto molio rezonansiniam dažniui apskaičiuoti išvesta empirinė formulė: $f_{rez} = 0,2e^{0,2766E_{oed}}$, kur E_{oed} – odometrinių deformacijų modulis.
5. Projektuojant pamatus grunto vibracijų veikimo zonoje arba numatant galimą vibracijų poveikį statinio eksploatavimo metu rekomenduojama molio pagrindo laikomąją galią skaičiuoti nedrenuojamomis sąlygomis net jei ir nėra tiesioginio gruntinio vandens poveikio.
6. Apibendrinant magistro baigiamajame darbe atliktų tyrimų rezultatus pastebėtos esminės sritys, kurias derėtų plačiau ištirti siekiant detaliai nustatyti vibracijų įtaką molio pagrindų stabilumui. Tęsiant eksperimentinius tyrimus rekomenduojama atlikti darbe naudotų bandinių spūdumo tyrimus veikiant žemesnio dažnio diapazono (5-30 Hz) vibracijoms ir palyginti gautas bandinių deformacijas su skaitiniais baigtinių elementų programa atliktais skaičiavimais.

Literatūros sąrašas

1. VALIŪNAS, Kazimieras. *Statybinės gruntų savybės: mokomoji knyga*. Kaunas: Technologija, 2007. ISBN 9789955252016.
2. HOLMBERG, Roger, ir kt. *Vibrations generated by traffic and building construction activities*. Stockholm: Swedish Council for Building Research, 1984. ISBN 9154041597.
3. RICHART, Frank Edwin, ir kt. *Vibrations of Soils of Foundations*. New Jersey, U.S.A.: Prentice-Hall, Inc, 1970. ISBN 10 0139417168.
4. DECKNER, Fanny. *Ground vibrations due to pile and sheet pile driving – influencing factors, predictions and measurements: daktaro disertacija [interaktyvus]*. Royal Institute of Technology. Stockholm, 2013. [žiūrėta 2017-03-20]. Prieiga per: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:610771/FULLTEXT02>.
5. KRAMER, Steven L. *Geotechnical Earthquake Engineering*. New Jersey, U.S.A.: Prentice-Hall, 1996. ISBN 0-13-374943-6.
6. SVINKIN, Mark R. Soil and Structure Vibrations from Construction and Industrial Sources. *Proc. of the 6th Int. Conf. on Case Histories in Geotechnical Engineering*. 2008, OSP8, 14p.
7. HEAD, J.M., F.M. JARDINE. *Ground-borne vibrations arising from piling*. London, U.K.: CIRIA, 1992. ISBN 0-86017-351-8.
8. BARKAN, D.D. *Dynamics of Bases and Foundations*. New York, U.S.A.: McGraw-Hill Book Company Inc., 1962. ISBN-10 0-07-003650-0.
9. KARGAUDAS, Vytautas ir Rimas VAIČAITIS. *Konstrukcijų virpesiai: vadovėlis*. Kaunas: Technologija, 2014. ISBN 978-609-02-1033-8.
10. CONNOLLY, D.P., ir kt. Assessment of railway vibrations using an efficient scoping model. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. 2014, 58, 37-47. ISSN 0267-7261.
11. THOMPSON, David. *Railway noise and vibrations: mechanisms, modeling and means control*. Oxford: Elsevier, 2010. ISBN 978-0-08-045147-3.
12. LOMBAERT, G., G. DEGRANDE. Ground-borne vibrations due to static and dynamix axle loads of InterCity and high-speed trains. *Journal of Sound and Vibration*. 2009, 297, 512-535. ISSN 0022-460X.
13. KIM, D.S., J.S. LEE. Propagation and attenuation characteristics of various ground vibrations. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. 2000, 19, 115-126. ISSN 0267-7261.
14. WANMING, Zhai, ir kt. Prediction of high speed train induced ground vibration based on train-track ground system model. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*. 2010, 9(4), 545-554. ISSN 1671-3664.

15. WATTS, G.R. The generation and propagation of vibration in various soils produced by the dynamic loading of road pavements. *Journal of Sound and Vibration*. 1992, 156(2), 191-206. ISSN 0022-460X.
16. AGOSTINACCHIO, M., ir kt. The vibrations induced by surface irregularities in road pavements – a Matlab approach. *European Transport Research Review*. 2014, 6(3), 267-275. ISSN 1867-0717.
17. TANIGUCHI, E., K. SAWADA. Attenuation with distance of traffic-induced vibrations. *Soils and Foundations*. 1979, 19(2), 16-28. ISSN 0038-0806.
18. AL-HUNAIDI, M.O., J.H. RAINER. Remedial measures for traffic-induced vibrations at a residential site. Part 1: Field tests. *Applied Acoustics*. 1991, 19(1), 3-13. ISSN 0003-682X.
19. WOODS, R. D. *Dynamic effects of pile instalations on adjacent structures*. Washington, D.C.: National Academy Press, 1997. ISBN 0309061091.
20. HWANG, J., ir kt. Ground response during pile driving. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. 2001, 127(11), 939-949. ISSN 1090-0241.
21. ABDEL-RAHMAN, S. Vibration associated with pile driving and its effects on nearby historical structures. *Proceedings of IMAC-XX: Conference & Exposition on Structural Dynamics*. 2011, 31, 306-317.
22. BUDDHIMA, Indraratna, ir kt. *Ground Improvement Case Histories: 1st Edition*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2015. ISBN 9780081002384.
23. PAN, J.L., A.R. SELBY. Simulation of dynamic compaction of loose granular soils. *Advances in Engineering Software*. 2002, 33, 631-640. ISSN 0965-9978.
24. ISHIHARA, K. Liquefaction and flow failure during earthquakes. *Geotechnique*. 1993, 43 (3), 351-415. ISSN 0016-8505.
25. LEFEBVRE, G., P. PFENDLER. Strain rate and preshear effects in cyclic resistance of soft clay. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. 1996, 122 (1), 21-26. ISSN 1090-0241.
26. BOULANGER, R., I. IDRIS. Evaluating the potential for liquefaction or cyclic failure of silts and clays. Report No. UCD/CGM-04/01. University of California at Davis, 2004. [žiūrėta 2017-03-27]. Prieiga per: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.132.3827&rep=rep1&type=pdf>.
27. OVANDO-SHELLEY, E., G. PEREZ. Undrained behaviour of clayey sands in load controlled triaxial tests. *Geotechnique*. 1997, 47 (1), 97-111. ISSN 0016-8505.
28. OSPINOV, V., ir kt. Microstructural changes associated with thixotropic phenomena in clay soils. *Geotechnique*. 1984, 34 (2), 293-303. ISSN 0016-8505.

29. PRAKASH, S., J. SANDOVAL. Liquefaction of low plasticity silts. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. 1992, 11, 373-379. ISSN 0267-7261.
30. HYODO, M., ir kt. Cyclic shear strength of undisturbed and remoulded marine clays. *Soils and Foundations*. 1999, 39 (2), 45-58. ISSN 0038-0806.
31. GRATCHEV, I., ir kt. How reliable is plasticity index for estimating the liquefaction potential of clayey sands? *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. 2006, 132 (1), 124-127. ISSN 1090-0241.
32. SEED, R. B., ir kt. Recent advances in soil liquefaction engineering: A unified and consistent framework. *26th annual ASCE Los Angeles Geotechnical Spring Seminar*. Long Beach, Calif., 2003. [žiūrėta 2017-03-27]. Prieiga per: https://www.researchgate.net/publication/264868863_Recent_Advances_in_Soil_Liquefaction_on_Engineering_A_Unified_and_Consistent_Framework.
33. DOROŠEVAS, Viktoras ir Gediminas STELMOKAITIS. *Gruntų mechanikos laboratoriniai darbai: mokomoji knyga*. Vilnius: Vilniaus pedagoginio universiteto leidykla, 2011. ISBN 978-9955-20-662-0.
34. LST 1360.3:1995. *Automobilių kelių gruntai. Bandymo metodai. Drėgnio nustatymas: Lietuvos standartas*. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 1995.
35. SLIŽYTĖ, Danutė, Jurgis MEDZVIECKAS, ir Rimantas MACKEVIČIUS. *Pamatai ir pagrindai: vadovėlis*. Vilnius: Technika, 2012. ISBN 978-609-457-176-3.
36. LST 1360.6:1995. *Automobilių kelių gruntai. Bandymo metodai. Grunto tankio nustatymas: Lietuvos standartas*. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 1995.
37. LST 1360.4:1995. *Automobilių kelių gruntai. Bandymo metodai. Takumo ir plastiškumo ribų nustatymas: Lietuvos standartas*. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 1995.
38. LST EN ISO 14688-2. *Geotechniniai tyrimai ir bandymai. Gruntų identifikavimas ir klasifikavimas. 2 dalis. Klasifikavimo principai (ISO 14688-2:2004) = Geotechnical investigation and testing – Identification and classification of soil – Part 2: Principles for a classification: Lietuvos standartas*. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2004.
39. ELZBUTAS, Henrikas. *Statybinių medžiagų savybių ir struktūros ypatybių tyrimo metodai: mokomoji knyga*. Kaunas: Vitae Litera, 2007. ISBN 978-9955-686-19-4.
40. LST 1360-2:2015. *Gruntai, skirti keliams ir jų statiniams. Bandymo metodai. 2 dalis. Proktoro bandymas: Lietuvos standartas*. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2015.
41. ПЛЛ-9 Полевая Лаборатория: Инструкция по исследованию строительных свойств грунтов. Харьков: Внешторгистат, 1970.

42. BARTLETT, S. F. *Mohr – Coulomb Model* [interaktyvus]. Utah, 2012 [žiūrėta 2017-04-24].
Prieiga per: <http://www.civil.utah.edu/~bartlett/CVEEN6920/Mohr-Coulomb%20Model.pdf>.
43. OTTOSEN, N.S., H. PETTERSON. *Introduction to the Finite Element Method*. New York.: Prentice-Hall, 1992. ISBN 978-0134738772.
44. ARGATOV, I.I. Mathematical modeling of linear viscoelastic impact: Application to drop impact testing of articular cartilage. *Tribology International*. 2013, 63, 213-225. ISSN 0301-679X.
45. MASSARSCH, K.R., B.H. FELLENIUS. *Use of CPT for design, monitoring and performance verification of compaction projects*. Las Vegas, Nevada, U.S.A.: Omnipress, 2014. ISBN 978-0-615-98835.
46. DECKNER, F., K. VIKING, ir S. HINTZE.. Ground vibrations due to pile and sheet pile driving – prediction models of today [interaktyvus]. *Proceedings of the 22nd European Young Geotechnical Engineers Conference*. Gothenburg, Sweden, 2012. [žiūrėta 2017-04-24].
Prieiga per: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:577824/FULLTEXT01.pdf>

Priedai

1 Priedas. Molio spūdumo tyrimų rezultatų lentelės

P.1.5 lentelė. N.S.M spūdumo bandymas Nr. 5 be vibracijų

Įtempiai , kPa	Akrovo veikimo laikas, min.	Indikatoriaus atskaitos	Bandinio aukščio pokytis, mm	
			Per laiko intervalą h	Suminis h
50	0	9,8	9,8	0
	1	9,65	0,15	0,15
	2	9,63	0,02	0,17
	3	9,63	0	0,17
	4	9,62	0,01	0,18
	5	9,62	0	0,18
10	9,62	0	0,18	
100	0	9,62	0	0,18
	1	9,47	0,15	0,33
	2	9,46	0,01	0,34
	3	9,46	0	0,34
	4	9,46	0	0,34
	5	9,45	0,01	0,35
10	9,44	0,01	0,36	
200	0	9,44	0	0,36
	1	9,25	0,19	0,55
	2	9,24	0,01	0,56
	3	9,23	0,01	0,57
	4	9,22	0,01	0,58
	5	9,22	0	0,58
10	9,2	0,02	0,6	
300	0	9,2	0	0,6
	1	9,11	0,09	0,69
	2	9,09	0,02	0,71
	3	9,08	0,01	0,72
	4	9,07	0,01	0,73
	5	9,07	0	0,73
10	9,05	0,02	0,75	

P.1.6 lentelė. N.S.M spūdumo bandymas Nr. 6 be vibracijų

Įtempiai , kPa	Akrovo veikimo laikas, min.	Indikatoriaus atskaitos	Bandinio aukščio pokytis, mm	
			Per laiko intervalą h	Suminis h
50	0	9,3	9,3	0
	1	9,21	0,09	0,09
	2	9,21	0	0,09
	3	9,2	0,01	0,1
	4	9,2	0	0,1
	5	9,2	0	0,1
10	9,19	0,01	0,11	
100	0	9,19	0	0,11
	1	9,12	0,07	0,18
	2	9,12	0	0,18
	3	9,11	0,01	0,19
	4	9,11	0	0,19
	5	9,11	0	0,19
10	9,1	0,01	0,2	
200	0	9,1	0	0,2
	1	9,01	0,09	0,29
	2	9	0,01	0,3
	3	8,99	0,01	0,31
	4	8,99	0	0,31
	5	8,98	0,01	0,32
10	8,97	0,01	0,33	
300	0	8,97	0	0,33
	1	8,9	0,07	0,4
	2	8,89	0,01	0,41
	3	8,88	0,01	0,42
	4	8,87	0,01	0,43
	5	8,86	0,01	0,44
10	8,83	0,03	0,47	

P.1.7 lentelė. N.S.M spūdumo bandymas Nr. 7 be vibracijų

Įtempiai , kPa	Akrovo veikimo laikas, min.	Indikatoriaus atskaitos	Bandinio aukščio pokytis, mm	
			Per laiko intervalą h	Suminis h
50	0	9,47	9,47	0
	1	9,36	0,11	0,11
	2	9,35	0,01	0,12
	3	9,35	0	0,12
	4	9,35	0	0,12
	5	9,34	0,01	0,13
10	9,34	0	0,13	
100	0	9,34	0	0,13
	1	9,25	0,09	0,22
	2	9,25	0	0,22
	3	9,24	0,01	0,23
	4	9,24	0	0,23
	5	9,24	0	0,23
10	9,23	0,01	0,24	
200	0	9,23	0	0,24
	1	9,12	0,11	0,35
	2	9,11	0,01	0,36
	3	9,1	0,01	0,37
	4	9,09	0,01	0,38
	5	9,09	0	0,38
10	9,07	0,02	0,4	
300	0	9,07	0	0,4
	1	9	0,07	0,47
	2	8,98	0,02	0,49
	3	8,97	0,01	0,5
	4	8,96	0,01	0,51
	5	8,96	0	0,51
10	8,93	0,03	0,54	

P.1.8 lentelė. N.S.M spūdumo bandymas Nr. 8 be vibracijų

Įtempiai , kPa	Akrovo veikimo laikas, min.	Indikatoriaus atskaitos	Bandinio aukščio pokytis, mm	
			Per laiko intervalą h	Suminis h
50	0	9,72	9,72	0
	1	9,59	0,13	0,13
	2	9,58	0,01	0,14
	3	9,58	0	0,14
	4	9,57	0,01	0,15
	5	9,57	0	0,15
10	9,56	0,01	0,16	
100	0	9,56	0	0,16
	1	9,44	0,12	0,28
	2	9,44	0	0,28
	3	9,43	0,01	0,29
	4	9,43	0	0,29
	5	9,43	0	0,29
10	9,42	0,01	0,3	
200	0	9,42	0	0,3
	1	9,25	0,17	0,47
	2	9,23	0,02	0,49
	3	9,22	0,01	0,5
	4	9,21	0,01	0,51
	5	9,21	0	0,51
10	9,18	0,03	0,54	
300	0	9,18	0	0,54
	1	9,09	0,09	0,63
	2	9,07	0,02	0,65
	3	9,05	0,02	0,67
	4	9,04	0,01	0,68
	5	9,03	0,01	0,69
10	8,99	0,04	0,73	

P.1.9 lentelė. N.S.M spūdumo bandymas Nr. 9 be vibracijų

Įtempiai , kPa	Akrovo veikimo laikas, min.	Indikatoriaus atskaitos	Bandinio aukščio pokytis, mm	
			Per laiko intervalą h	Suminis h
50	0	9,5	9,5	0
	1	9,43	0,07	0,07
	2	9,42	0,01	0,08
	3	9,42	0	0,08
	4	9,42	0	0,08
	5	9,42	0	0,08
100	10	9,41	0,01	0,09
	0	9,41	0	0,09
	1	9,32	0,09	0,18
	2	9,31	0,01	0,19
	3	9,31	0	0,19
	4	9,3	0,01	0,2
200	5	9,3	0	0,2
	10	9,29	0,01	0,21
	0	9,29	0	0,21
	1	9,1	0,19	0,4
	2	9,09	0,01	0,41
	3	9,08	0,01	0,42
300	4	9,08	0	0,42
	5	9,07	0,01	0,43
	10	9,06	0,01	0,44
	0	9,06	0	0,44
	1	8,97	0,09	0,53
	2	8,96	0,01	0,54
500	3	8,95	0,01	0,55
	4	8,94	0,01	0,56
	5	8,94	0	0,56
	10	8,92	0,02	0,58

P.1.10 lentelė. N.S.M spūdumo bandymas Nr. 1 su 50 Hz vibracijomis

Įtempiai , kPa	Akrovo veikimo laikas, min.	Indikatoriaus atskaitos	Bandinio aukščio pokytis, mm	
			Per laiko intervalą h	Suminis h
50	0	9,12	9,12	0
	1	9	0,12	0,12
	2	8,99	0,01	0,13
	3	8,99	0	0,13
	4	8,99	0	0,13
	5	8,99	0	0,13
100	10	8,99	0	0,13
	0	8,99	0	0,13
	1	8,89	0,1	0,23
	2	8,89	0	0,23
	3	8,88	0,01	0,24
	4	8,88	0	0,24
200	5	8,88	0	0,24
	10	8,87	0,01	0,25
	0	8,87	0	0,25
	1	8,72	0,15	0,4
	2	8,72	0	0,4
	3	8,71	0,01	0,41
300	4	8,7	0,01	0,42
	5	8,7	0	0,42
	10	8,68	0,02	0,44
	0	8,68	0	0,44
	1	8,61	0,07	0,51
	2	8,6	0,01	0,52
500	3	8,59	0,01	0,53
	4	8,58	0,01	0,54
	5	8,57	0,01	0,55
	10	8,53	0,04	0,59

P.1.11 lentelė. N.S.M spūdumo bandymas Nr. 2 su 50 Hz vibracijomis

Įtempiai , kPa	Akrovo veikimo laikas, min.	Indikatoriaus atskaitos	Bandinio aukščio pokytis, mm	
			Per laiko intervalą h	Suminis h
50	0	9,28	9,28	0
	1	9,14	0,14	0,14
	2	9,13	0,01	0,15
	3	9,12	0,01	0,16
	4	9,11	0,01	0,17
	5	9,11	0	0,17
100	10	9,1	0,01	0,18
	0	9,1	0	0,18
	1	8,93	0,17	0,35
	2	8,92	0,01	0,36
	3	8,91	0,01	0,37
	4	8,9	0,01	0,38
200	5	8,9	0	0,38
	10	8,89	0,01	0,39
	0	8,89	0	0,39
	1	8,73	0,16	0,55
	2	8,72	0,01	0,56
	3	8,71	0,01	0,57
300	4	8,7	0,01	0,58
	5	8,69	0,01	0,59
	10	8,67	0,02	0,61
	0	8,67	0	0,61
	1	8,6	0,07	0,68
	2	8,58	0,02	0,7
500	3	8,56	0,02	0,72
	4	8,55	0,01	0,73
	5	8,54	0,01	0,74
	10	8,5	0,04	0,78

P.1.12 lentelė. N.S.M spūdumo bandymas Nr. 3 su 50 Hz vibracijomis

Įtempiai , kPa	Akrovo veikimo laikas, min.	Indikatoriaus atskaitos	Bandinio aukščio pokytis, mm	
			Per laiko intervalą h	Suminis h
50	0	9,46	9,46	0
	1	9,33	0,13	0,13
	2	9,33	0	0,13
	3	9,32	0,01	0,14
	4	9,31	0,01	0,15
	5	9,31	0	0,15
100	10	9,3	0,01	0,16
	0	9,3	0	0,16
	1	9,2	0,1	0,26
	2	9,19	0,01	0,27
	3	9,19	0	0,27
	4	9,19	0	0,27
200	5	9,18	0,01	0,28
	10	9,18	0	0,28
	0	9,18	0	0,28
	1	8,99	0,19	0,47
	2	8,98	0,01	0,48
	3	8,98	0	0,48
300	4	8,97	0,01	0,49
	5	8,97	0	0,49
	10	8,96	0,01	0,5
	0	8,96	0	0,5
	1	8,9	0,06	0,56
	2	8,89	0,01	0,57
500	3	8,88	0,01	0,58
	4	8,87	0,01	0,59
	5	8,86	0,01	0,6
	10	8,83	0,03	0,63

P.1.13 lentelė. N.S.M spūduimo bandymas Nr. 4 su 50 Hz vibracijomis

Įtempiai , kPa	Akrovo veikimo laikas, min.	Indikatoriaus atskaitos	Bandinio aukščio pokytis, mm	
			Per laiko intervalą h	Suminis h
50	0	9,73	9,73	0
	1	9,6	0,13	0,13
	2	9,58	0,02	0,15
	3	9,57	0,01	0,16
	4	9,56	0,01	0,17
	5	9,56	0	0,17
100	10	9,56	0	0,17
	0	9,56	0	0,17
	1	9,44	0,12	0,29
	2	9,43	0,01	0,3
	3	9,43	0	0,3
	4	9,43	0	0,3
200	5	9,42	0,01	0,31
	10	9,42	0	0,31
	0	9,42	0	0,31
	1	9,24	0,18	0,49
	2	9,23	0,01	0,5
	3	9,22	0,01	0,51
300	4	9,22	0	0,51
	5	9,21	0,01	0,52
	10	9,2	0,01	0,53
	0	9,2	0	0,53
	1	9,1	0,1	0,63
	2	9,08	0,02	0,65
300	3	9,07	0,01	0,66
	4	9,07	0	0,66
	5	9,06	0,01	0,67
	10	9,04	0,02	0,69

P.1.14 lentelė. N.S.M spūduimo bandymas Nr. 5 su 50 Hz vibracijomis

Įtempiai , kPa	Akrovo veikimo laikas, min.	Indikatoriaus atskaitos	Bandinio aukščio pokytis, mm	
			Per laiko intervalą h	Suminis h
50	0	9,81	9,81	0
	1	9,66	0,15	0,15
	2	9,65	0,01	0,16
	3	9,64	0,01	0,17
	4	9,64	0	0,17
	5	9,64	0	0,17
100	10	9,64	0	0,17
	0	9,64	0	0,17
	1	9,54	0,1	0,27
	2	9,53	0,01	0,28
	3	9,52	0,01	0,29
	4	9,52	0	0,29
200	5	9,52	0	0,29
	10	9,51	0,01	0,3
	0	9,51	0	0,3
	1	9,38	0,13	0,43
	2	9,36	0,02	0,45
	3	9,35	0,01	0,46
300	4	9,34	0,01	0,47
	5	9,33	0,01	0,48
	10	9,31	0,02	0,5
	0	9,31	0	0,5
	1	9,22	0,09	0,59
	2	9,19	0,03	0,62
300	3	9,17	0,02	0,64
	4	9,16	0,01	0,65
	5	9,15	0,01	0,66
	10	9,13	0,02	0,68

P.1.15 lentelė. N.S.M spūduimo bandymas Nr. 6 su 50 Hz vibracijomis

Įtempiai , kPa	Akrovo veikimo laikas, min.	Indikatoriaus atskaitos	Bandinio aukščio pokytis, mm	
			Per laiko intervalą h	Suminis h
50	0	9,74	9,74	0
	1	9,61	0,13	0,13
	2	9,6	0,01	0,14
	3	9,59	0,01	0,15
	4	9,59	0	0,15
	5	9,58	0,01	0,16
100	10	9,57	0,01	0,17
	0	9,57	0	0,17
	1	9,48	0,09	0,26
	2	9,47	0,01	0,27
	3	9,46	0,01	0,28
	4	9,46	0	0,28
200	5	9,45	0,01	0,29
	10	9,44	0,01	0,3
	0	9,44	0	0,3
	1	9,29	0,15	0,45
	2	9,27	0,02	0,47
	3	9,26	0,01	0,48
300	4	9,25	0,01	0,49
	5	9,24	0,01	0,5
	10	9,21	0,03	0,53
	0	9,21	0	0,53
	1	9,14	0,07	0,6
	2	9,11	0,03	0,63
300	3	9,1	0,01	0,64
	4	9,08	0,02	0,66
	5	9,07	0,01	0,67
	10	9,02	0,05	0,72

P.1.16 lentelė. N.S.M spūduimo bandymas Nr. 7 su 50 Hz vibracijomis

Įtempiai , kPa	Akrovo veikimo laikas, min.	Indikatoriaus atskaitos	Bandinio aukščio pokytis, mm	
			Per laiko intervalą h	Suminis h
50	0	9,68	9,68	0
	1	9,57	0,11	0,11
	2	9,57	0	0,11
	3	9,57	0	0,11
	4	9,57	0	0,11
	5	9,56	0,01	0,12
100	10	9,56	0	0,12
	0	9,56	0	0,12
	1	9,48	0,08	0,2
	2	9,48	0	0,2
	3	9,47	0,01	0,21
	4	9,47	0	0,21
200	5	9,47	0	0,21
	10	9,46	0,01	0,22
	0	9,46	0	0,22
	1	9,37	0,09	0,31
	2	9,36	0,01	0,32
	3	9,35	0,01	0,33
300	4	9,35	0	0,33
	5	9,35	0	0,33
	10	9,33	0,02	0,35
	0	9,33	0	0,35
	1	9,27	0,06	0,41
	2	9,26	0,01	0,42
300	3	9,25	0,01	0,43
	4	9,24	0,01	0,44
	5	9,24	0	0,44
	10	9,22	0,02	0,46

P.1.17 lentelė. N.S.M spūdimu bandymas Nr. 8 su 50 Hz vibracijomis

Įtempiai , kPa	Akrovo veikimo laikas, min.	Indikatoriaus atskaitos	Bandinio aukščio pokytis, mm	
			Per laiko intervalą h	Suminis h
50	0	9,96	9,96	0
	1	9,81	0,15	0,15
	2	9,81	0	0,15
	3	9,81	0	0,15
	4	9,8	0,01	0,16
	5	9,8	0	0,16
100	10	9,79	0,01	0,17
	0	9,79	0	0,17
	1	9,7	0,09	0,26
	2	9,7	0	0,26
	3	9,69	0,01	0,27
	4	9,69	0	0,27
200	5	9,69	0	0,27
	10	9,68	0,01	0,28
	0	9,68	0	0,28
	1	9,58	0,1	0,38
	2	9,57	0,01	0,39
	3	9,55	0,02	0,41
300	4	9,55	0	0,41
	5	9,54	0,01	0,42
	10	9,52	0,02	0,44
	0	9,52	0	0,44
	1	9,45	0,07	0,51
	2	9,44	0,01	0,52
300	3	9,42	0,02	0,54
	4	9,41	0,01	0,55
	5	9,4	0,01	0,56
	10	9,37	0,03	0,59

P.1.18 lentelė. N.S.M spūdimu bandymas Nr. 9 su 50 Hz vibracijomis

Įtempiai , kPa	Akrovo veikimo laikas, min.	Indikatoriaus atskaitos	Bandinio aukščio pokytis, mm	
			Per laiko intervalą h	Suminis h
50	0	9,28	9,28	0
	1	9,14	0,14	0,14
	2	9,13	0,01	0,15
	3	9,12	0,01	0,16
	4	9,11	0,01	0,17
	5	9,11	0	0,17
100	10	9,1	0,01	0,18
	0	9,1	0	0,18
	1	8,93	0,17	0,35
	2	8,92	0,01	0,36
	3	8,91	0,01	0,37
	4	8,9	0,01	0,38
200	5	8,9	0	0,38
	10	8,89	0,01	0,39
	0	8,89	0	0,39
	1	8,73	0,16	0,55
	2	8,72	0,01	0,56
	3	8,71	0,01	0,57
300	4	8,7	0,01	0,58
	5	8,69	0,01	0,59
	10	8,67	0,02	0,61
	0	8,67	0	0,61
	1	8,6	0,07	0,68
	2	8,58	0,02	0,7
300	3	8,56	0,02	0,72
	4	8,55	0,01	0,73
	5	8,54	0,01	0,74
	10	8,5	0,04	0,78

P.1.19 lentelė. S.S.M25 spūdimu bandymas Nr. 1 be vibracijų

Įtempiai , kPa	Akrovo veikimo laikas, min.	Indikatoriaus atskaitos	Bandinio aukščio pokytis, mm	
			Per laiko intervalą h	Suminis h
50	0	9,7	9,7	0
	1	9,61	0,09	0,09
	2	9,61	0	0,09
	3	9,6	0,01	0,1
	4	9,6	0	0,1
	5	9,6	0	0,1
100	10	9,57	0,03	0,13
	0	9,57	0	0,13
	1	9,51	0,06	0,19
	2	9,5	0,01	0,2
	3	9,49	0,01	0,21
	4	9,49	0	0,21
200	5	9,49	0	0,21
	10	9,47	0,02	0,23
	0	9,47	0	0,23
	1	9,36	0,11	0,34
	2	9,35	0,01	0,35
	3	9,34	0,01	0,36
300	4	9,34	0	0,36
	5	9,33	0,01	0,37
	10	9,3	0,03	0,4
	0	9,3	0	0,4
	1	9,21	0,09	0,49
	2	9,2	0,01	0,5
300	3	9,19	0,01	0,51
	4	9,19	0	0,51
	5	9,18	0,01	0,52
	10	9,15	0,03	0,55

P.1.20 lentelė. S.S.M25 spūdimu bandymas Nr. 2 be vibracijų

Įtempiai , kPa	Akrovo veikimo laikas, min.	Indikatoriaus atskaitos	Bandinio aukščio pokytis, mm	
			Per laiko intervalą h	Suminis h
50	0	9,45	9,45	0
	1	9,39	0,06	0,06
	2	9,38	0,01	0,07
	3	9,38	0	0,07
	4	9,37	0,01	0,08
	5	9,37	0	0,08
100	10	9,36	0,01	0,09
	0	9,36	0	0,09
	1	9,31	0,05	0,14
	2	9,3	0,01	0,15
	3	9,3	0	0,15
	4	9,29	0,01	0,16
200	5	9,29	0	0,16
	10	9,27	0,02	0,18
	0	9,27	0	0,18
	1	9,13	0,14	0,32
	2	9,12	0,01	0,33
	3	9,11	0,01	0,34
300	4	9,1	0,01	0,35
	5	9,1	0	0,35
	10	9,07	0,03	0,38
	0	9,07	0	0,38
	1	8,96	0,11	0,49
	2	8,95	0,01	0,5
300	3	8,94	0,01	0,51
	4	8,94	0	0,51
	5	8,93	0,01	0,52
	10	8,9	0,03	0,55

P.1.21 lentelė. S.S.M25 spūdomo bandymas Nr. 3 be vibracijų

Įtempiai , kPa	Akrovo veikimo laikas, min.	Indikatoriaus atskaitos	Bandinio aukščio pokytis, mm	
			Per laiko intervalą h	Suminis h
50	0	9,64	9,64	0
	1	9,53	0,11	0,11
	2	9,52	0,01	0,12
	3	9,51	0,01	0,13
	4	9,51	0	0,13
	5	9,51	0	0,13
100	10	9,5	0,01	0,14
	0	9,5	0	0,14
	1	9,41	0,09	0,23
	2	9,4	0,01	0,24
	3	9,4	0	0,24
	4	9,39	0,01	0,25
200	5	9,39	0	0,25
	10	9,37	0,02	0,27
	0	9,37	0	0,27
	1	9,23	0,14	0,41
	2	9,22	0,01	0,42
	3	9,22	0	0,42
300	4	9,21	0,01	0,43
	5	9,21	0	0,43
	10	9,19	0,02	0,45
	0	9,19	0	0,45
	1	9,09	0,1	0,55
	2	9,08	0,01	0,56
300	3	9,08	0	0,56
	4	9,07	0,01	0,57
	5	9,07	0	0,57
	10	9,05	0,02	0,59

P.1.22 lentelė. S.S.M25 spūdomo bandymas Nr. 1 su 50 Hz vibracijomis

Įtempiai , kPa	Akrovo veikimo laikas, min.	Indikatoriaus atskaitos	Bandinio aukščio pokytis, mm	
			Per laiko intervalą h	Suminis h
50	0	9,46	9,46	0
	1	9,35	0,11	0,11
	2	9,35	0	0,11
	3	9,34	0,01	0,12
	4	9,34	0	0,12
	5	9,34	0	0,12
100	10	9,32	0,02	0,14
	0	9,32	0	0,14
	1	9,23	0,09	0,23
	2	9,22	0,01	0,24
	3	9,22	0	0,24
	4	9,21	0,01	0,25
200	5	9,21	0	0,25
	10	9,19	0,02	0,27
	0	9,19	0	0,27
	1	9,04	0,15	0,42
	2	9,03	0,01	0,43
	3	9,02	0,01	0,44
300	4	9,02	0	0,44
	5	9,01	0,01	0,45
	10	8,98	0,03	0,48
	0	8,98	0	0,48
	1	8,87	0,11	0,59
	2	8,86	0,01	0,6
300	3	8,86	0	0,6
	4	8,85	0,01	0,61
	5	8,85	0	0,61
	10	8,82	0,03	0,64

P.1.23 lentelė. S.S.M25 spūdomo bandymas Nr. 2 su 50 Hz vibracijomis

Įtempiai , kPa	Akrovo veikimo laikas, min.	Indikatoriaus atskaitos	Bandinio aukščio pokytis, mm	
			Per laiko intervalą h	Suminis h
50	0	9,6	9,6	0
	1	9,5	0,1	0,1
	2	9,48	0,02	0,12
	3	9,48	0	0,12
	4	9,47	0,01	0,13
	5	9,47	0	0,13
100	10	9,46	0,01	0,14
	0	9,46	0	0,14
	1	9,37	0,09	0,23
	2	9,36	0,01	0,24
	3	9,36	0	0,24
	4	9,36	0	0,24
200	5	9,35	0,01	0,25
	10	9,33	0,02	0,27
	0	9,33	0	0,27
	1	9,18	0,15	0,42
	2	9,17	0,01	0,43
	3	9,16	0,01	0,44
300	4	9,16	0	0,44
	5	9,15	0,01	0,45
	10	9,12	0,03	0,48
	0	9,12	0	0,48
	1	9,02	0,1	0,58
	2	9,01	0,01	0,59
300	3	9,01	0	0,59
	4	9	0,01	0,6
	5	9	0	0,6
	10	8,96	0,04	0,64

P.1.24 lentelė. S.S.M25 spūdomo bandymas Nr. 3 su 50 Hz vibracijomis

Įtempiai , kPa	Akrovo veikimo laikas, min.	Indikatoriaus atskaitos	Bandinio aukščio pokytis, mm	
			Per laiko intervalą h	Suminis h
50	0	9,44	9,44	0
	1	9,32	0,12	0,12
	2	9,32	0	0,12
	3	9,31	0,01	0,13
	4	9,31	0	0,13
	5	9,3	0,01	0,14
100	10	9,29	0,01	0,15
	0	9,29	0	0,15
	1	9,18	0,11	0,26
	2	9,18	0	0,26
	3	9,17	0,01	0,27
	4	9,17	0	0,27
200	5	9,17	0	0,27
	10	9,15	0,02	0,29
	0	9,15	0	0,29
	1	9,02	0,13	0,42
	2	9,01	0,01	0,43
	3	9	0,01	0,44
300	4	9	0	0,44
	5	9	0	0,44
	10	8,99	0,01	0,45
	0	8,99	0	0,45
	1	8,9	0,09	0,54
	2	8,89	0,01	0,55
300	3	8,88	0,01	0,56
	4	8,88	0	0,56
	5	8,87	0,01	0,57
	10	8,84	0,03	0,6

P.1.25 lentelė. S.S.M29 spūdumo bandymas Nr. 1 be vibracijų

Įtempiai , kPa	Akrovo veikimo laikas, min.	Indikatoriaus atskaitos	Bandinio aukščio pokytis, mm	
			Per laiko intervalą h	Suminis h
50	0	9,4	9,4	0
	1	9,29	0,11	0,11
	2	9,28	0,01	0,12
	3	9,28	0	0,12
	4	9,27	0,01	0,13
	5	9,27	0	0,13
10	9,26	0,01	0,14	
100	0	9,26	0	0,14
	1	9,15	0,11	0,25
	2	9,14	0,01	0,26
	3	9,13	0,01	0,27
	4	9,13	0	0,27
	5	9,12	0,01	0,28
10	9,11	0,01	0,29	
200	0	9,11	0	0,29
	1	8,89	0,22	0,51
	2	8,87	0,02	0,53
	3	8,86	0,01	0,54
	4	8,85	0,01	0,55
	5	8,84	0,01	0,56
10	8,82	0,02	0,58	
300	0	8,82	0	0,58
	1	8,68	0,14	0,72
	2	8,65	0,03	0,75
	3	8,63	0,02	0,77
	4	8,62	0,01	0,78
	5	8,61	0,01	0,79
10	8,58	0,03	0,82	

P.1.26 lentelė. S.S.M29 spūdumo bandymas Nr. 2 be vibracijų

Įtempiai , kPa	Akrovo veikimo laikas, min.	Indikatoriaus atskaitos	Bandinio aukščio pokytis, mm	
			Per laiko intervalą h	Suminis h
50	0	9,94	9,94	0
	1	9,85	0,09	0,09
	2	9,84	0,01	0,1
	3	9,84	0	0,1
	4	9,83	0,01	0,11
	5	9,83	0	0,11
10	9,82	0,01	0,12	
100	0	9,82	0	0,12
	1	9,73	0,09	0,21
	2	9,73	0	0,21
	3	9,72	0,01	0,22
	4	9,72	0	0,22
	5	9,71	0,01	0,23
10	9,7	0,01	0,24	
200	0	9,7	0	0,24
	1	9,52	0,18	0,42
	2	9,51	0,01	0,43
	3	9,5	0,01	0,44
	4	9,49	0,01	0,45
	5	9,49	0	0,45
10	9,47	0,02	0,47	
300	0	9,47	0	0,47
	1	9,34	0,13	0,6
	2	9,32	0,02	0,62
	3	9,31	0,01	0,63
	4	9,3	0,01	0,64
	5	9,29	0,01	0,65
10	9,24	0,05	0,7	

P.1.27 lentelė. S.S.M29 spūdumo bandymas Nr. 3 be vibracijų

Įtempiai , kPa	Akrovo veikimo laikas, min.	Indikatoriaus atskaitos	Bandinio aukščio pokytis, mm	
			Per laiko intervalą h	Suminis h
50	0	9,78	9,78	0
	1	9,67	0,11	0,11
	2	9,66	0,01	0,12
	3	9,66	0	0,12
	4	9,65	0,01	0,13
	5	9,65	0	0,13
10	9,64	0,01	0,14	
100	0	9,64	0	0,14
	1	9,53	0,11	0,25
	2	9,52	0,01	0,26
	3	9,52	0	0,26
	4	9,51	0,01	0,27
	5	9,51	0	0,27
10	9,5	0,01	0,28	
200	0	9,5	0	0,28
	1	9,32	0,18	0,46
	2	9,31	0,01	0,47
	3	9,3	0,01	0,48
	4	9,29	0,01	0,49
	5	9,29	0	0,49
10	9,27	0,02	0,51	
300	0	9,27	0	0,51
	1	9,12	0,15	0,66
	2	9,11	0,01	0,67
	3	9,1	0,01	0,68
	4	9,09	0,01	0,69
	5	9,08	0,01	0,7
10	9,05	0,03	0,73	

P.1.28 lentelė. S.S.M29 spūdumo bandymas Nr. 1 su 50 Hz vibracijomis

Įtempiai , kPa	Akrovo veikimo laikas, min.	Indikatoriaus atskaitos	Bandinio aukščio pokytis, mm	
			Per laiko intervalą h	Suminis h
50	0	9,84	9,84	0
	1	9,71	0,13	0,13
	2	9,7	0,01	0,14
	3	9,7	0	0,14
	4	9,69	0,01	0,15
	5	9,69	0	0,15
10	9,67	0,02	0,17	
100	0	9,67	0	0,17
	1	9,54	0,13	0,3
	2	9,53	0,01	0,31
	3	9,52	0,01	0,32
	4	9,52	0	0,32
	5	9,51	0,01	0,33
10	9,5	0,01	0,34	
200	0	9,5	0	0,34
	1	9,28	0,22	0,56
	2	9,27	0,01	0,57
	3	9,26	0,01	0,58
	4	9,25	0,01	0,59
	5	9,25	0	0,59
10	9,23	0,02	0,61	
300	0	9,23	0	0,61
	1	9,11	0,12	0,73
	2	9,1	0,01	0,74
	3	9,09	0,01	0,75
	4	9,08	0,01	0,76
	5	9,08	0	0,76
10	9,06	0,02	0,78	

P.1.29 lentelė. S.S.M29 spūdumo bandymas Nr. 2 su 50 Hz vibracijomis

Įtempiai , kPa	Akrovo veikimo laikas, min.	Indikatoriaus atskaitos	Bandinio aukščio pokytis, mm	
			Per laiko intervalą h	Suminis h
50	0	8,78	8,78	0
	1	8,6	0,18	0,18
	2	8,59	0,01	0,19
	3	8,59	0	0,19
	4	8,58	0,01	0,2
	5	8,58	0	0,2
100	10	8,57	0,01	0,21
	0	8,57	0	0,21
	1	8,39	0,18	0,39
	2	8,38	0,01	0,4
	3	8,38	0	0,4
	4	8,37	0,01	0,41
200	5	8,37	0	0,41
	10	8,35	0,02	0,43
	0	8,35	0	0,43
	1	8,19	0,16	0,59
	2	8,18	0,01	0,6
	3	8,17	0,01	0,61
300	4	8,16	0,01	0,62
	5	8,16	0	0,62
	10	8,14	0,02	0,64
	0	8,14	0	0,64
	1	7,99	0,15	0,79
	2	7,97	0,02	0,81
300	3	7,96	0,01	0,82
	4	7,95	0,01	0,83
	5	7,94	0,01	0,84
	10	7,92	0,02	0,86

P.1.30 lentelė. S.S.M29 spūdumo bandymas Nr. 3 su 50 Hz vibracijomis

Įtempiai , kPa	Akrovo veikimo laikas, min.	Indikatoriaus atskaitos	Bandinio aukščio pokytis, mm	
			Per laiko intervalą h	Suminis h
50	0	9,68	9,68	0
	1	9,56	0,12	0,12
	2	9,54	0,02	0,14
	3	9,53	0,01	0,15
	4	9,53	0	0,15
	5	9,53	0	0,15
100	10	9,52	0,01	0,68
	0	9,52	0	0,68
	1	9,41	0,11	0,27
	2	9,4	0,01	0,28
	3	9,4	0	0,28
	4	9,38	0,02	0,3
200	5	9,38	0	0,3
	10	9,37	0,01	0,68
	0	9,37	0	0,68
	1	9,19	0,18	0,49
	2	9,18	0,01	0,5
	3	9,17	0,01	0,51
300	4	9,17	0	0,51
	5	9,16	0,01	0,52
	10	9,14	0,02	0,68
	0	9,14	0	0,68
	1	9,02	0,12	0,66
	2	9	0,02	0,68
300	3	8,99	0,01	0,69
	4	8,99	0	0,69
	5	8,98	0,01	0,7
	10	8,91	0,07	0,77

P.1.31 lentelė. S.S.M33 spūdumo bandymas Nr. 1 be vibracijų

Įtempiai , kPa	Akrovo veikimo laikas, min.	Indikatoriaus atskaitos	Bandinio aukščio pokytis, mm	
			Per laiko intervalą h	Suminis h
50	0	9,3	9,3	0
	1	9,21	0,09	0,09
	2	9,2	0,01	0,1
	3	9,2	0	0,1
	4	9,19	0,01	0,11
	5	9,19	0	0,11
100	10	9,18	0,01	0,12
	0	9,18	0	0,12
	1	9,07	0,11	0,23
	2	9,06	0,01	0,24
	3	9,05	0,01	0,25
	4	9,05	0	0,25
200	5	9,05	0	0,25
	10	9,03	0,02	0,27
	0	9,03	0	0,27
	1	8,81	0,22	0,49
	2	8,79	0,02	0,51
	3	8,78	0,01	0,52
300	4	8,77	0,01	0,53
	5	8,76	0,01	0,54
	10	8,73	0,03	0,57
	0	8,73	0	0,57
	1	8,6	0,13	0,7
	2	8,57	0,03	0,73
300	3	8,55	0,02	0,75
	4	8,54	0,01	0,76
	5	8,53	0,01	0,77
	10	8,48	0,05	0,82

P.1.32 lentelė. S.S.M33 spūdumo bandymas Nr. 2 be vibracijų

Įtempiai , kPa	Akrovo veikimo laikas, min.	Indikatoriaus atskaitos	Bandinio aukščio pokytis, mm	
			Per laiko intervalą h	Suminis h
50	0	9,53	9,53	0
	1	9,4	0,13	0,13
	2	9,4	0	0,13
	3	9,39	0,01	0,14
	4	9,39	0	0,14
	5	9,39	0	0,14
100	10	9,38	0,01	0,15
	0	9,38	0	0,15
	1	9,31	0,07	0,22
	2	9,3	0,01	0,23
	3	9,29	0,01	0,24
	4	9,29	0	0,24
200	5	9,28	0,01	0,25
	10	9,27	0,01	0,26
	0	9,27	0	0,26
	1	9,07	0,2	0,46
	2	9,06	0,01	0,47
	3	9,04	0,02	0,49
300	4	9,03	0,01	0,5
	5	9,02	0,01	0,51
	10	9	0,02	0,53
	0	9	0	0,53
	1	8,84	0,16	0,69
	2	8,81	0,03	0,72
300	3	8,79	0,02	0,74
	4	8,78	0,01	0,75
	5	8,76	0,02	0,77
	10	8,72	0,04	0,81

P.1.33 lentelė. S.S.M33 spūdomo bandymas Nr. 3 be vibracijų

Įtempiai , kPa	Akrovo veikimo laikas, min.	Indikatoriaus atskaitos	Bandinio aukščio pokytis, mm	
			Per laiko intervalą h	Suminis h
50	0	9,42	9,42	0
	1	9,31	0,11	0,11
	2	9,31	0	0,11
	3	9,3	0,01	0,12
	4	9,3	0	0,12
	5	9,29	0,01	0,13
100	10	9,29	0	0,13
	0	9,29	0	0,13
	1	9,17	0,12	0,25
	2	9,16	0,01	0,26
	3	9,15	0,01	0,27
	4	9,15	0	0,27
200	5	9,15	0	0,27
	10	9,13	0,02	0,29
	0	9,13	0	0,29
	1	8,95	0,18	0,47
	2	8,93	0,02	0,49
	3	8,91	0,02	0,51
300	4	8,9	0,01	0,52
	5	8,89	0,01	0,53
	10	8,86	0,03	0,56
	0	8,86	0	0,56
	1	8,74	0,12	0,68
	2	8,71	0,03	0,71
300	3	8,69	0,02	0,73
	4	8,67	0,02	0,75
	5	8,66	0,01	0,76
	10	8,61	0,05	0,81

P.1.35 lentelė. S.S.M33 spūdomo bandymas Nr. 2 su 50 Hz vibracijomis

Įtempiai , kPa	Akrovo veikimo laikas, min.	Indikatoriaus atskaitos	Bandinio aukščio pokytis, mm	
			Per laiko intervalą h	Suminis h
50	0	9,42	9,42	0
	1	9,27	0,15	0,15
	2	9,26	0,01	0,16
	3	9,26	0	0,16
	4	9,25	0,01	0,17
	5	9,25	0	0,17
100	10	9,23	0,02	0,19
	0	9,23	0	0,19
	1	9,14	0,09	0,28
	2	9,12	0,02	0,3
	3	9,12	0	0,3
	4	9,11	0,01	0,31
200	5	9,11	0	0,31
	10	9,09	0,02	0,33
	0	9,09	0	0,33
	1	8,93	0,16	0,49
	2	8,91	0,02	0,51
	3	8,89	0,02	0,53
300	4	8,88	0,01	0,54
	5	8,87	0,01	0,55
	10	8,82	0,05	0,6
	0	8,82	0	0,6
	1	8,72	0,1	0,7
	2	8,69	0,03	0,73
300	3	8,67	0,02	0,75
	4	8,65	0,02	0,77
	5	8,63	0,02	0,79
	10	8,57	0,06	0,85

P.1.34 lentelė. S.S.M33 spūdomo bandymas Nr. 1 su 50 Hz vibracijomis

Įtempiai , kPa	Akrovo veikimo laikas, min.	Indikatoriaus atskaitos	Bandinio aukščio pokytis, mm	
			Per laiko intervalą h	Suminis h
50	0	9,77	9,77	0
	1	9,62	0,15	0,15
	2	9,6	0,02	0,17
	3	9,6	0	0,17
	4	9,6	0	0,17
	5	9,6	0	0,17
100	10	9,57	0,03	0,2
	0	9,57	0	0,2
	1	9,49	0,08	0,28
	2	9,48	0,01	0,29
	3	9,47	0,01	0,3
	4	9,46	0,01	0,31
200	5	9,46	0	0,31
	10	9,45	0,01	0,32
	0	9,45	0	0,32
	1	9,21	0,24	0,56
	2	9,19	0,02	0,58
	3	9,18	0,01	0,59
300	4	9,17	0,01	0,6
	5	9,16	0,01	0,61
	10	9,12	0,04	0,65
	0	9,12	0	0,65
	1	8,97	0,15	0,8
	2	8,94	0,03	0,83
300	3	8,91	0,03	0,86
	4	8,89	0,02	0,88
	5	8,88	0,01	0,89
	10	8,83	0,05	0,94

P.1.36 lentelė. S.S.M33 spūdomo bandymas Nr. 3 su 50 Hz vibracijomis

Įtempiai , kPa	Akrovo veikimo laikas, min.	Indikatoriaus atskaitos	Bandinio aukščio pokytis, mm	
			Per laiko intervalą h	Suminis h
50	0	9,7	9,7	0
	1	9,53	0,17	0,17
	2	9,51	0,02	0,19
	3	9,5	0,01	0,2
	4	9,5	0	0,2
	5	9,5	0	0,2
100	10	9,47	0,03	0,23
	0	9,47	0	0,23
	1	9,38	0,09	0,32
	2	9,37	0,01	0,33
	3	9,37	0	0,33
	4	9,36	0,01	0,34
200	5	9,36	0	0,34
	10	9,34	0,02	0,36
	0	9,34	0	0,36
	1	9,17	0,17	0,53
	2	9,14	0,03	0,56
	3	9,13	0,01	0,57
300	4	9,12	0,01	0,58
	5	9,1	0,02	0,6
	10	9,06	0,04	0,64
	0	9,06	0	0,64
	1	8,93	0,13	0,77
	2	8,9	0,03	0,8
300	3	8,89	0,01	0,81
	4	8,87	0,02	0,83
	5	8,85	0,02	0,85
	10	8,8	0,05	0,9

2 Priedas. Molio kirpimo bandymų rezultatų lentelės

P.2.1 lentelė. N.S.M kirpimas be vibracijų

Įtempiai, σ kPa	Masė, kg	Kirpimo įtempiai τ , kPa	Induktoriaus atskaitos	Horizontalus poslinkis, mm	
				Per laiko vienetą Δu	Suminis $\Sigma \Delta u = u$
100	0	11,80	9,51	0	0
	0,1	16,62	9,44	0,07	0,07
	0,2	21,43	9,35	0,09	0,16
	0,3	26,25	9,21	0,14	0,3
	0,4	31,06	9,04	0,17	0,47
	0,5	35,88	8,76	0,28	0,75
	0,6	40,69	8,37	0,39	1,14
	0,7	45,51	5,16	3,21	4,35
	0,8	50,32	nukirpo		
200	0	11,80	9,66	0	0
	0,1	16,62	9,61	0,05	0,05
	0,2	21,43	9,53	0,08	0,13
	0,3	26,25	9,43	0,1	0,23
	0,4	31,06	9,28	0,15	0,38
	0,5	35,88	9,11	0,17	0,55
	0,6	40,69	8,89	0,22	0,77
	0,7	45,51	8,62	0,27	1,04
	0,8	50,32	7,55	1,07	2,11
	0,9	55,14	6,46	1,09	3,2
	1	59,95	nukirpo		
300	0	11,80	9,66	0	0
	0,1	16,62	9,61	0,05	0,05
	0,2	21,43	9,53	0,08	0,13
	0,3	26,25	9,43	0,1	0,23
	0,4	31,06	9,28	0,15	0,38
	0,5	35,88	9,11	0,17	0,55
	0,6	40,69	8,89	0,22	0,77
	0,7	45,51	8,62	0,27	1,04
	0,8	50,32	7,55	1,07	2,11
	0,9	55,14	6,46	1,09	3,2
	1	59,95	5,36	1,1	4,3
	1,1	64,77	4,93	0,43	4,73
	1,2	69,58	nukirpo		

P.2.2 lentelė. N.S.M kirpimas su 50 Hz vibracijomis

Įtempiai, σ kPa	Masė, kg	Kirpimo įtempiai τ , kPa	Induktoriaus atskaitos	Horizontalus poslinkis, mm	
				Per laiko vienetą Δu	Suminis $\Sigma \Delta u = u$
100	0	11,80	9,41	0	0
	0,1	16,62	9,32	0,09	0,09
	0,2	21,43	9,19	0,13	0,22
	0,3	26,25	8,95	0,24	0,46
	0,4	31,06	8,73	0,22	0,68
	0,5	35,88	8,45	0,28	0,96
	0,6	40,69	7,98	0,47	1,43
	0,7	45,51	7,46	0,52	1,95
	0,8	50,32	nukirpo		
200	0	11,80	9,41	0	0
	0,1	16,62	9,35	0,06	0,06
	0,2	21,43	9,26	0,09	0,15
	0,3	26,25	9,14	0,12	0,27
	0,4	31,06	8,99	0,15	0,42
	0,5	35,88	8,86	0,13	0,55
	0,6	40,69	8,68	0,18	0,73
	0,7	45,51	8,53	0,15	0,88
	0,8	50,32	nukirpo		
300	0	11,80	9,34	0	0
	0,1	16,62	9,28	0,06	0,06
	0,2	21,43	9,18	0,1	0,16
	0,3	26,25	9,09	0,09	0,25
	0,4	31,06	8,91	0,18	0,43
	0,5	35,88	8,64	0,27	0,7
	0,6	40,69	8	0,64	1,34
	0,7	45,51	4,75	3,25	4,59
	0,8	50,32	nukirpo		

P.2.3 lentelė. S.S.M25 kirpimas be vibracijų

Įtempiai, σ kPa	Masė, kg	Kirpmo įtempiai τ, kPa	Induktoriaus atskaitos	Horizontalus poslinkis, mm	
				Per laiko vienetą Δu	Suminis ΣΔu=u
100	0	11,80	9,74	0	0
	0,1	16,62	9,69	0,05	0,05
	0,2	21,43	9,62	0,07	0,12
	0,3	26,25	9,57	0,05	0,17
	0,4	31,06	9,49	0,08	0,25
	0,5	35,88	9,36	0,13	0,38
	0,6	40,69	9,19	0,17	0,55
	0,7	45,51	9,04	0,15	0,7
	0,8	50,32	8,84	0,2	0,9
	0,9	55,14	8,55	0,29	1,19
1	59,95	nukirpo			
200	0	11,80	9,74	0	0
	0,1	16,62	9,69	0,05	0,05
	0,2	21,43	9,62	0,07	0,12
	0,3	26,25	9,57	0,05	0,17
	0,4	31,06	9,49	0,08	0,25
	0,5	35,88	9,36	0,13	0,38
	0,6	40,69	9,19	0,17	0,55
	0,7	45,51	9,04	0,15	0,7
	0,8	50,32	8,84	0,2	0,9
	0,9	55,14	8,55	0,29	1,19
	1	59,95	8,23	0,32	1,51
	1,1	64,77	7,63	0,6	2,11
	1,2	69,58	nukirpo		
300	0	11,80	9,56	0	0
	0,1	16,62	9,53	0,03	0,03
	0,2	21,43	9,5	0,03	0,06
	0,3	26,25	9,46	0,04	0,1
	0,4	31,06	9,41	0,05	0,15
	0,5	35,88	9,35	0,06	0,21
	0,6	40,69	9,29	0,06	0,27
	0,7	45,51	9,2	0,09	0,36
	0,8	50,32	9,09	0,11	0,47
	0,9	55,14	8,94	0,15	0,62
	1	59,95	8,77	0,17	0,79
	1,1	64,77	8,59	0,18	0,97
	1,2	69,58	8,21	0,38	1,35
	1,3	74,40	7,89	0,32	1,67
	1,4	79,21	nukirpo		

P.2.4 lentelė. S.S.M25 kirpimas su 50 Hz vibracijomis

Įtempiai, σ kPa	Masė, kg	Kirpmo įtempiai τ, kPa	Induktoriaus atskaitos	Horizontalus poslinkis, mm	
				Per laiko vienetą Δu	Suminis ΣΔu=u
100	0	11,80	9,53	0	0
	0,1	16,62	9,45	0,08	0,08
	0,2	21,43	9,38	0,07	0,15
	0,3	26,25	9,3	0,08	0,23
	0,4	31,06	9,21	0,09	0,32
	0,5	35,88	9,08	0,13	0,45
	0,6	40,69	8,9	0,18	0,63
	0,7	45,51	8,67	0,23	0,86
	0,8	50,32	8,4	0,27	1,13
	0,9	55,14	8,17	0,23	1,36
	1	59,95	nukirpo		
200	0	11,80	9,5	0	0
	0,1	16,62	9,46	0,04	0,04
	0,2	21,43	9,41	0,05	0,09
	0,3	26,25	9,34	0,07	0,16
	0,4	31,06	9,24	0,1	0,26
	0,5	35,88	9,14	0,1	0,36
	0,6	40,69	9,01	0,13	0,49
	0,7	45,51	8,9	0,11	0,6
	0,8	50,32	8,69	0,21	0,81
	0,9	55,14	5,55	3,14	3,95
	1	59,95	4,84	0,71	4,66
	1,1	64,77	nukirpo		
300	0	11,80	9,4	0	0
	0,1	16,62	9,37	0,03	0,03
	0,2	21,43	9,34	0,03	0,06
	0,3	26,25	9,3	0,04	0,1
	0,4	31,06	9,25	0,05	0,15
	0,5	35,88	9,18	0,07	0,22
	0,6	40,69	9,08	0,1	0,32
	0,7	45,51	8,98	0,1	0,42
	0,8	50,32	8,83	0,15	0,57
	0,9	55,14	8,7	0,13	0,7
	1	59,95	8,52	0,18	0,88
	1,1	64,77	8,28	0,24	1,12
	1,2	69,58	nukirpo		

P.2.5 lentelė. S.S.M29 kirpimas be vibracijų

Įtempiai, σ kPa	Masė, kg	Kirpmo įtempiai τ, kPa	Induktoriaus atskaitos	Horizontalus poslinkis, mm	
				Per laiko vienetą Δu	Suminis ΣΔu=u
100	0	11,80	9,59	0	0
	0,1	16,62	9,5	0,09	0,09
	0,2	21,43	9,39	0,11	0,2
	0,3	26,25	9,26	0,13	0,33
	0,4	31,06	9,09	0,17	0,5
	0,5	35,88	8,87	0,22	0,72
	0,6	40,69	4,73	4,14	4,86
	0,7	45,51	nukirpo		
200	0	11,80	9,75	0	0
	0,1	16,62	9,68	0,07	0,07
	0,2	21,43	9,6	0,08	0,15
	0,3	26,25	9,49	0,11	0,26
	0,4	31,06	9,32	0,17	0,43
	0,5	35,88	9,1	0,22	0,65
	0,6	40,69	8,81	0,29	0,94
	0,7	45,51	5,29	3,52	4,46
	0,8	50,32	4,9	0,39	4,85
	0,9	55,14	nukirpo		
300	0	11,80	9,54	0	0
	0,1	16,62	9,5	0,04	0,04
	0,2	21,43	9,4	0,1	0,14
	0,3	26,25	9,27	0,13	0,27
	0,4	31,06	9,06	0,21	0,48
	0,5	35,88	8,78	0,28	0,76
	0,6	40,69	8,37	0,41	1,17
	0,7	45,51	8,05	0,32	1,49
	0,8	50,32	7,75	0,3	1,79
	0,9	55,14	7,23	0,52	2,31
	1	59,95	6,51	0,72	3,03
	1,1	64,77	nukirpo		

P.2.6 lentelė. S.S.M29 kirpimas su 50 Hz vibracijomis

Įtempiai, σ kPa	Masė, kg	Kirpmo įtempiai τ, kPa	Induktoriaus atskaitos	Horizontalus poslinkis, mm	
				Per laiko vienetą Δu	Suminis ΣΔu=u
100	0	11,80	9,66	0	0
	0,1	16,62	9,55	0,11	0,11
	0,2	21,43	9,4	0,15	0,26
	0,3	26,25	9,19	0,21	0,47
	0,4	31,06	8,9	0,29	0,76
	0,5	35,88	8,48	0,42	1,18
	0,6	40,69	8,01	0,47	1,65
	0,7	45,51	nukirpo		
200	0	11,80	9,58	0	0
	0,1	16,62	9,51	0,07	0,07
	0,2	21,43	9,43	0,08	0,15
	0,3	26,25	9,3	0,13	0,28
	0,4	31,06	9,14	0,16	0,44
	0,5	35,88	9	0,14	0,58
	0,6	40,69	8,8	0,2	0,78
	0,7	45,51	8,51	0,29	1,07
	0,8	50,32	7,65	0,86	1,93
	0,9	55,14	nukirpo		
300	0	11,80	9,81	0	0
	0,1	16,62	9,79	0,02	0,02
	0,2	21,43	9,76	0,03	0,05
	0,3	26,25	9,72	0,04	0,09
	0,4	31,06	9,65	0,07	0,16
	0,5	35,88	9,57	0,08	0,24
	0,6	40,69	9,47	0,1	0,34
	0,7	45,51	9,38	0,09	0,43
	0,8	50,32	9,29	0,09	0,52
	0,9	55,14	8,95	0,34	0,86
	1	59,95	nukirpo		

P.2.7 lentelė. S.S.M33 kirpimas be vibracijų

Įtempiai, σ kPa	Masė, kg	Kirpmo įtempiai τ , kPa	Induktoriaus atskaitos	Horizontalus poslinkis, mm	
				Per laiko vienetą Δu	Suminis $\Sigma \Delta u = u$
100	0	11,80	9,36	0	0
	0,1	16,62	9,28	0,08	0,08
	0,2	21,43	9,1	0,18	0,26
	0,3	26,25	8,43	0,67	0,93
	0,4	31,06	6,21	2,22	3,15
	0,5	35,88	5,48	0,73	3,88
	0,6	40,69	4,96	0,52	4,4
	0,7	45,51	nukirpo		
200	0	11,80	9,71	0	0
	0,1	16,62	9,66	0,05	0,05
	0,2	21,43	9,58	0,08	0,13
	0,3	26,25	9,45	0,13	0,26
	0,4	31,06	9,1	0,35	0,61
	0,5	35,88	7,04	2,06	2,67
	0,6	40,69	6	1,04	3,71
	0,7	45,51	5,6	0,4	4,11
	0,8	50,32	5,1	0,5	4,61
0,9	55,14	nukirpo			
300	0	11,80	9,45	0	0
	0,1	16,62	9,38	0,07	0,07
	0,2	21,43	9,24	0,14	0,21
	0,3	26,25	9	0,24	0,45
	0,4	31,06	8,74	0,26	0,71
	0,5	35,88	8,43	0,31	1,02
	0,6	40,69	7,19	1,24	2,26
	0,7	45,51	6,3	0,89	3,15
	0,8	50,32	5,56	0,74	3,89
	0,9	55,14	5,2	0,36	4,25
	1	59,95	4,71	0,49	4,74
	1,1	64,77	nukirpo		

P.2.8 lentelė. S.S.M33 kirpimas su 10 Hz vibracijomis

Įtempiai, σ kPa	Masė, kg	Kirpmo įtempiai τ , kPa	Induktoriaus atskaitos	Horizontalus poslinkis, mm	
				Per laiko vienetą Δu	Suminis $\Sigma \Delta u = u$
100	0	11,80	8,76	0	0
	0,1	16,62	8,71	0,05	0,05
	0,2	21,43	8,59	0,12	0,17
	0,3	26,25	8,13	0,46	0,63
	0,4	31,06	4,9	3,23	3,86
	0,5	35,88	4,72	0,18	4,04
	0,6	40,69	nukirpo		
	0,7	45,51	nukirpo		
200	0	11,80	9,25	0	0
	0,1	16,62	8,96	0,29	0,29
	0,2	21,43	8,34	0,62	0,91
	0,3	26,25	7,88	0,46	1,37
	0,4	31,06	7,36	0,52	1,89
	0,5	35,88	6,25	1,11	3
	0,6	40,69	nukirpo		
300	0	11,80	9,37	0	0
	0,1	16,62	8,95	0,42	0,42
	0,2	21,43	7,63	1,32	1,74
	0,3	26,25	7,11	0,52	2,26
	0,4	31,06	6,12	0,99	3,25
	0,5	35,88	5,84	0,28	3,53
	0,6	40,69	nukirpo		

P.2.9 lentelė. S.S.M33 kirpimas su 30 Hz vibracijomis

Įtempiai, σ kPa	Masė, kg	Kirpimo įtempiai τ, kPa	Induktoriaus atskaitos	Horizontalus poslinkis, mm	
				Per laiko vienetą Δu	Suminis ΣΔu=u
100	0	11,80	8,86	0	0
	0,1	16,62	8,64	0,22	0,22
	0,2	21,43	7,16	1,48	1,7
	0,3	26,25	6,47	0,69	2,39
	0,4	31,06	5,67	0,8	3,19
	0,5	35,88	5,12	0,55	3,74
	0,6	40,69	nukirpo		
200	0	11,80	9,64	0	0
	0,1	16,62	9,56	0,08	0,08
	0,2	21,43	9,46	0,1	0,18
	0,3	26,25	9,35	0,11	0,29
	0,4	31,06	9,17	0,18	0,47
	0,5	35,88	8,87	0,3	0,77
	0,6	40,69	7,23	1,64	2,41
	0,7	45,51	5,88	1,35	3,76
0,8	50,32	nukirpo			
300	0	11,80	8,53	0	0
	0,1	16,62	8,21	0,32	0,32
	0,2	21,43	6,89	1,32	1,64
	0,3	26,25	6,34	0,55	2,19
	0,4	31,06	5,68	0,66	2,85
	0,5	35,88	5,39	0,29	3,14
	0,6	40,69	5,13	0,26	3,4
	0,7	45,51	4,84	0,29	3,69
	0,8	50,32	4,65	0,19	3,88
	0,9	55,14	4,39	0,26	4,14
1	59,95	nukirpo			

P.2.10 lentelė. S.S.M33 kirpimas su 50 Hz vibracijomis

Įtempiai, σ kPa	Masė, kg	Kirpimo įtempiai τ, kPa	Induktoriaus atskaitos	Horizontalus poslinkis, mm	
				Per laiko vienetą Δu	Suminis ΣΔu=u
100	0	11,80	9,54	0	0
	0,1	16,62	9,49	0,05	0,05
	0,2	21,43	9,39	0,1	0,15
	0,3	26,25	9,19	0,2	0,35
	0,4	31,06	8,56	0,63	0,98
	0,5	35,88	5,9	2,66	3,64
	0,6	40,69	5,35	0,55	4,19
0,7	45,51	nukirpo			
200	0	11,80	9,48	0	0
	0,1	16,62	9,36	0,12	0,12
	0,2	21,43	9,09	0,27	0,39
	0,3	26,25	8,48	0,61	1
	0,4	31,06	6,37	2,11	3,11
	0,5	35,88	5,83	0,54	3,65
	0,6	40,69	5,49	0,34	3,99
	0,7	45,51	5,03	0,46	4,45
0,8	50,32	nukirpo			
300	0	11,80	9,36	0	0
	0,1	16,62	9,31	0,05	0,05
	0,2	21,43	9,17	0,14	0,19
	0,3	26,25	9,04	0,13	0,32
	0,4	31,06	8,77	0,27	0,59
	0,5	35,88	8,1	0,67	1,26
	0,6	40,69	6,92	1,18	2,44
	0,7	45,51	5,96	0,96	3,4
	0,8	50,32	5,44	0,52	3,92
	0,9	55,14	nukirpo		

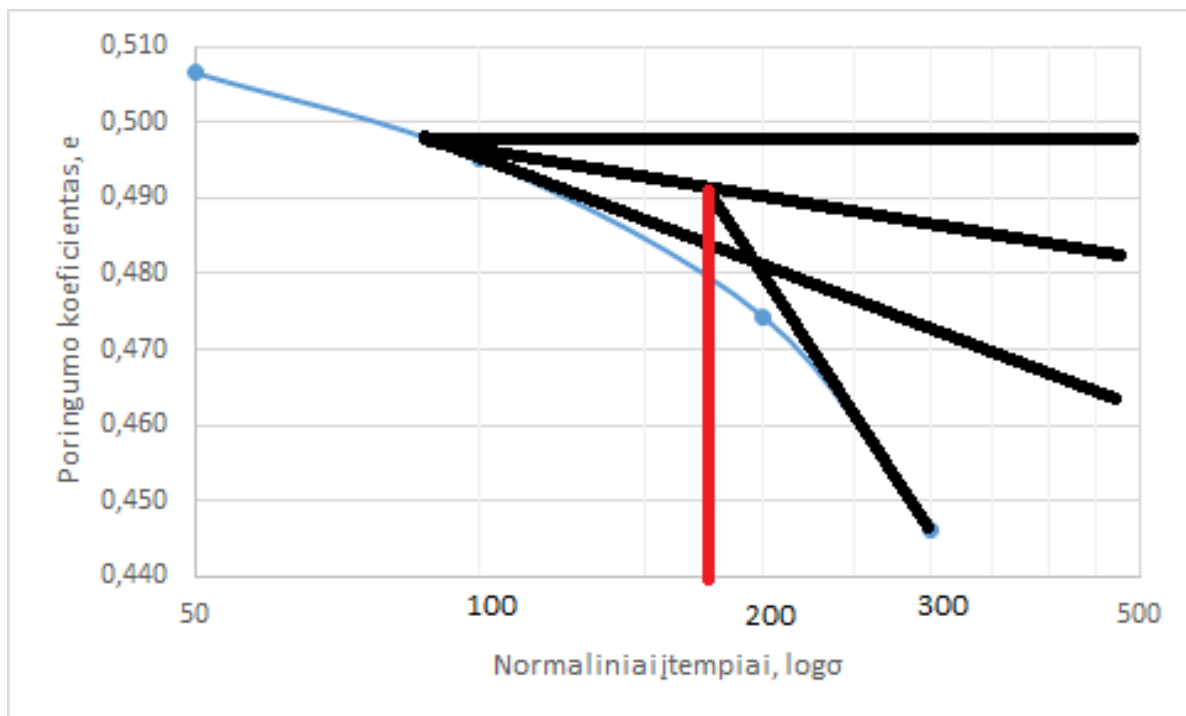
P.2.11 lentelė. Pr.M25 kirpimas be vibracijų

Įtempiai, σ kPa	Masė, kg	Kirpmo įtempiai τ, kPa	Induktoriaus atskaitos	Horizontalus poslinkis, mm	
				Per laiko vienetą Δu	Suminis ΣΔu=u
100	0	11,80	9,36	0	0
	0,1	16,62	9,33	0,03	0,03
	0,2	21,43	9,29	0,04	0,07
	0,3	26,25	9,22	0,07	0,14
	0,4	31,06	9,11	0,11	0,25
	0,5	35,88	9	0,11	0,36
	0,6	40,69	8,92	0,08	0,44
	0,7	45,51	8,84	0,08	0,52
	0,8	50,32	8,73	0,11	0,63
	0,9	55,14	8,61	0,12	0,75
	1	59,95	8,46	0,15	0,9
	1,1	64,77	nukirpo		
200	0	11,80	9,45	0	0
	0,1	16,62	9,36	0,09	0,09
	0,2	21,43	9,29	0,07	0,16
	0,3	26,25	9,2	0,09	0,25
	0,4	31,06	9,11	0,09	0,34
	0,5	35,88	9	0,11	0,45
	0,6	40,69	8,83	0,17	0,62
	0,7	45,51	8,61	0,22	0,84
	0,8	50,32	8,4	0,21	1,05
	0,9	55,14	8,15	0,25	1,3
	1	59,95	7,89	0,26	1,56
	1,1	64,77	7,72	0,17	1,73
	1,2	69,58	7,55	0,17	1,9
	1,3	74,40	nukirpo		
300	0	11,80	9,64	0	0
	0,1	16,62	9,59	0,05	0,05
	0,2	21,43	9,53	0,06	0,11
	0,3	26,25	9,48	0,05	0,16
	0,4	31,06	9,43	0,05	0,21
	0,5	35,88	9,36	0,07	0,28
	0,6	40,69	9,29	0,07	0,35
	0,7	45,51	9,18	0,11	0,46
	0,8	50,32	9,07	0,11	0,57
	0,9	55,14	8,9	0,17	0,74
	1	59,95	8,68	0,22	0,96
	1,1	64,77	8,5	0,18	1,14
	1,2	69,58	8,28	0,22	1,36
	1,3	74,40	7,96	0,32	1,68
	1,4	79,21	7,73	0,23	1,91
	1,5	84,03	7,42	0,31	2,22
1,6	88,84	nukirpo			

P.2.12 lentelė. Pr.M25 kirpimas su 50 Hz vibracijomis

Įtempiai, σ kPa	Masė, kg	Kirpmo įtempiai τ, kPa	Induktoriaus atskaitos	Horizontalus poslinkis, mm	
				Per laiko vienetą Δu	Suminis ΣΔu=u
100	0	11,80	9,46	0	0
	0,1	16,62	9,32	0,14	0,14
	0,2	21,43	9,14	0,18	0,32
	0,3	26,25	9	0,14	0,46
	0,4	31,06	8,85	0,15	0,61
	0,5	35,88	8,72	0,13	0,74
	0,6	40,69	8,54	0,18	0,92
	0,7	45,51	8,31	0,23	1,15
	0,8	50,32	7,97	0,34	1,49
	0,9	55,14	7,61	0,36	1,85
	1	59,95	nukirpo	0,19	2,04
	200	0	11,80	9,44	0
0,1		16,62	9,37	0,07	0,07
0,2		21,43	9,33	0,04	0,11
0,3		26,25	9,25	0,08	0,19
0,4		31,06	9,16	0,09	0,28
0,5		35,88	9,06	0,1	0,38
0,6		40,69	8,94	0,12	0,5
0,7		45,51	8,75	0,19	0,69
0,8		50,32	8,48	0,27	0,96
0,9		55,14	8,12	0,36	1,32
1		59,95	nukirpo		
300		0	11,80	9,62	0
	0,1	16,62	9,59	0,03	0,03
	0,2	21,43	9,56	0,03	0,06
	0,3	26,25	9,5	0,06	0,12
	0,4	31,06	9,42	0,08	0,2
	0,5	35,88	9,31	0,11	0,31
	0,6	40,69	9,19	0,12	0,43
	0,7	45,51	9,02	0,17	0,6
	0,8	50,32	8,59	0,43	1,03
	0,9	55,14	7,53	1,06	2,09
	1	59,95	nukirpo		

3 Priedas. Natūralios struktūros molio perkonsolidavimo rodiklio nustatymas



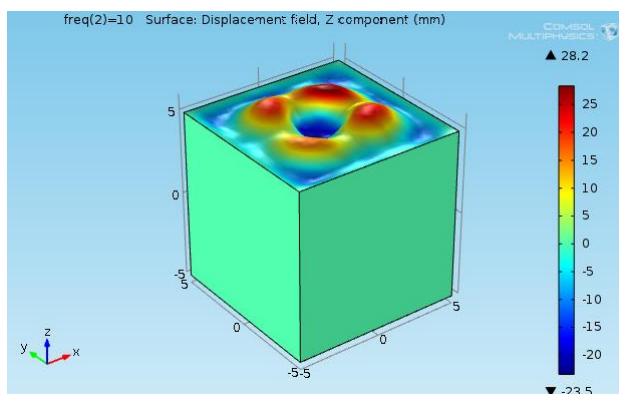
P.3.1 pav. N.S.M molio perkonsolidavimo rodiklio nustatymo grafikas

Pagal pateiktą grafiką matyti, jog tiriamojo natūralios struktūros molio prieškonsolidacinis slėgis apytiksliai lygus 180 kPa. Slėgis, kuriuo molis buvo apspaustas prieš iškasant jį iš karjero lygus 100 kPa. Tuomet šio molio perkonsolidavimo rodiklis yra lygus:

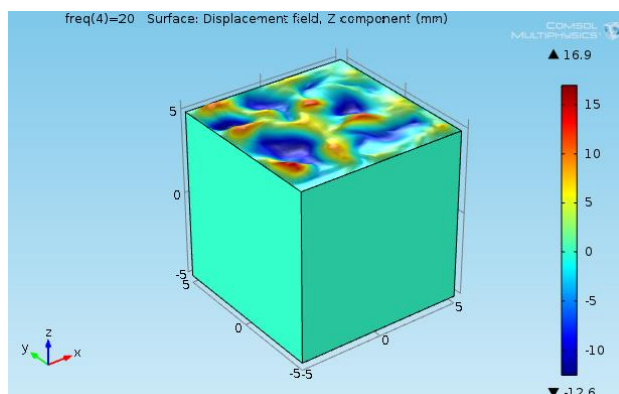
$$OCR = \frac{p'_0}{p_0} = \frac{180}{100} = 1,8$$

Pagal apytikslį skaičiavimą gauta, jog molio perkonsolidavimo rodiklis yra 1,8. Tai reiškia, jog natūralios struktūros molis pagal konsolidacijos laipsnį yra perkonsoliduotas.

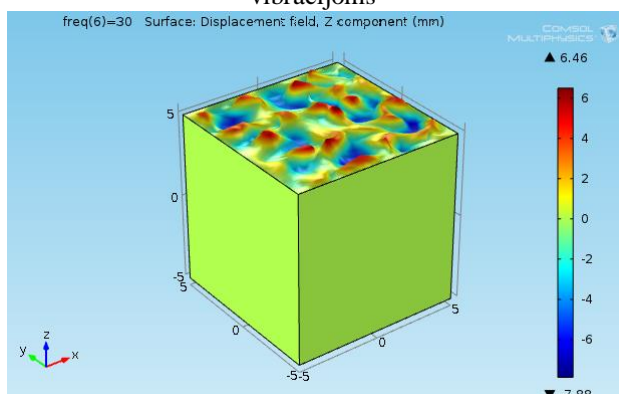
4 Priedas. Molio pagrindo deformacijos veikiant skirtingo dažnio paviršiniams virpesiams



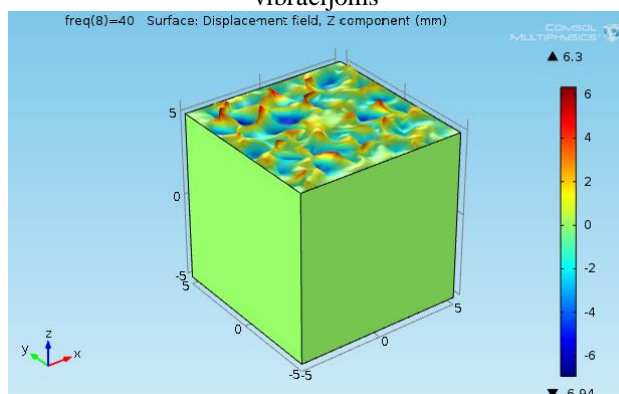
P.4.1 pav. N.S.M molio deformacijos veikiant 10 Hz vibracijoms



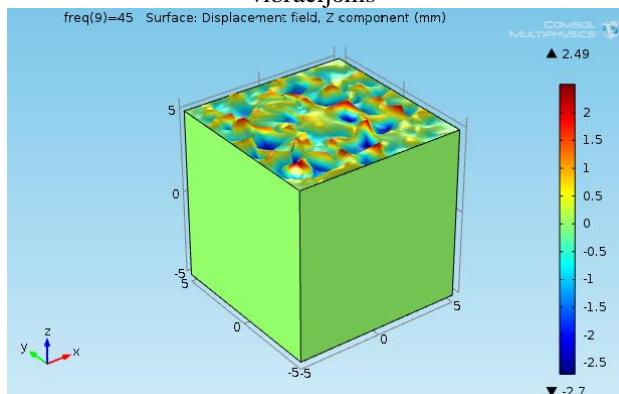
P.4.2 pav. N.S.M molio deformacijos veikiant 20 Hz vibracijoms



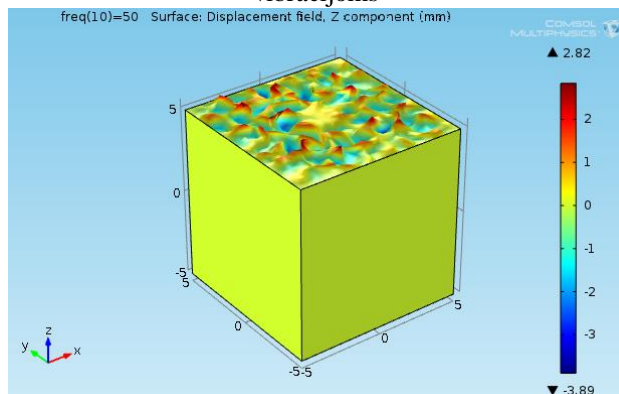
P.4.3 pav. N.S.M molio deformacijos veikiant 30 Hz vibracijoms



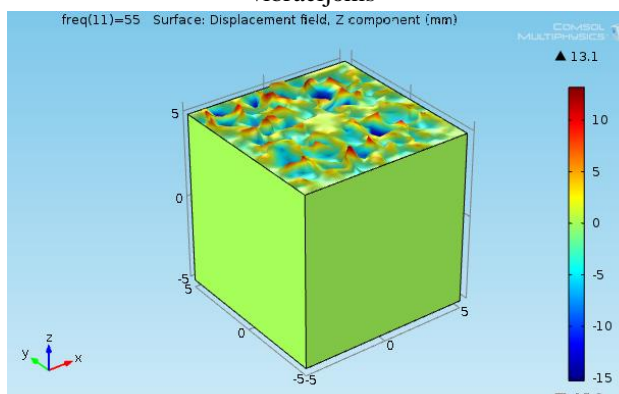
P.4.4 pav. N.S.M molio deformacijos veikiant 40 Hz vibracijoms



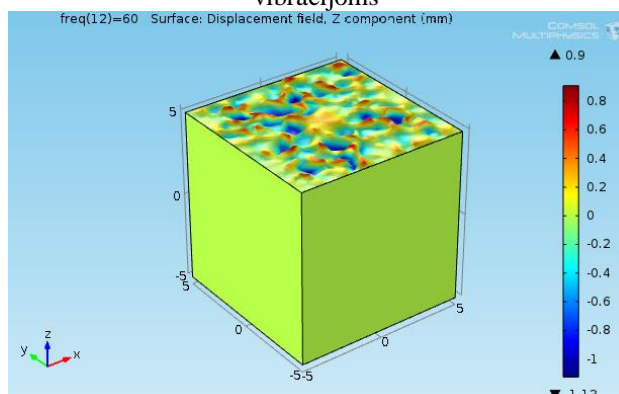
P.4.5 pav. N.S.M molio deformacijos veikiant 45 Hz vibracijoms



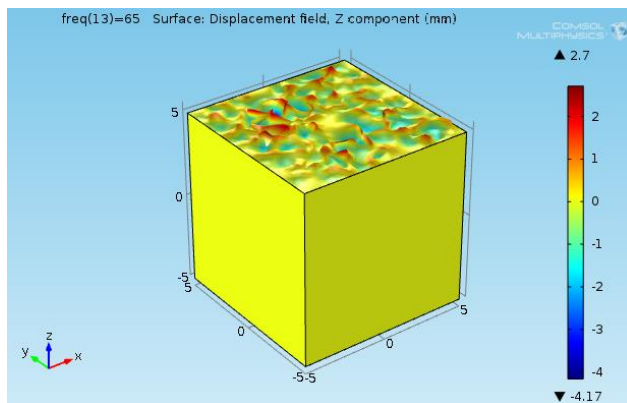
P.4.6 pav. N.S.M molio deformacijos veikiant 50 Hz vibracijoms



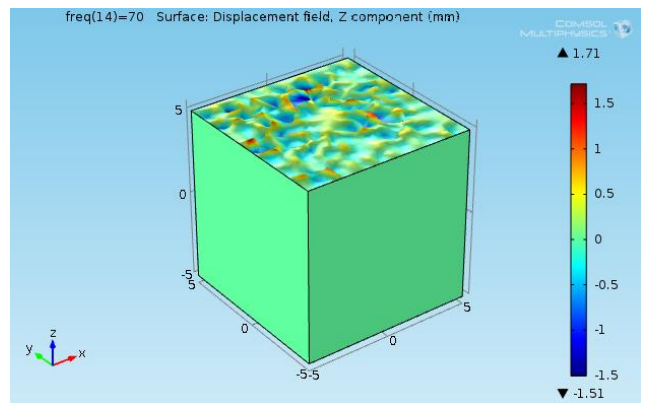
P.4.7 pav. N.S.M molio deformacijos veikiant 55 Hz vibracijoms



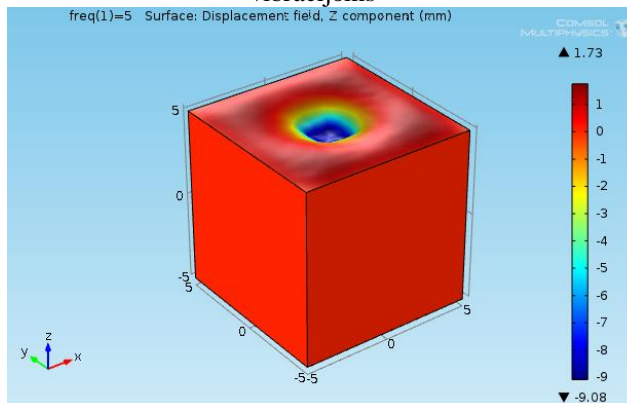
P.4.8 pav. N.S.M molio deformacijos veikiant 60 Hz vibracijoms



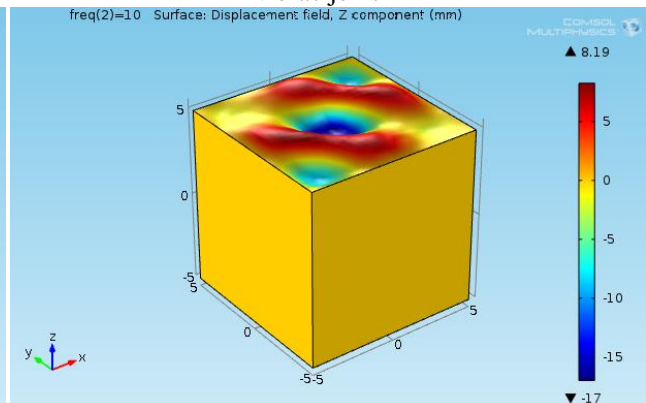
P.4.9 pav. N.S.M molio deformacijos veikiant 65 Hz vibracijoms



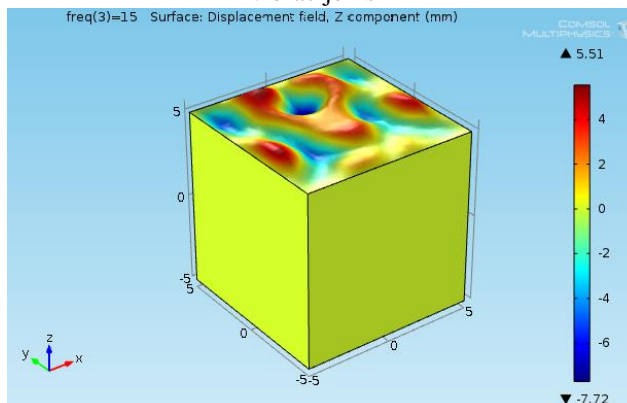
P.4.10 pav. N.S.M molio deformacijos veikiant 70 Hz vibracijoms



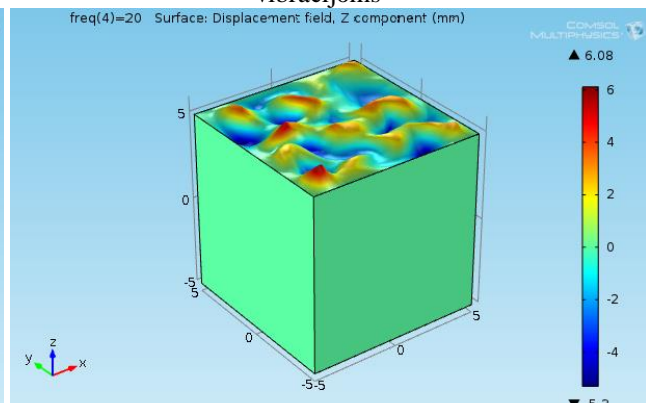
P.4.11 pav. S.S.M25 molio deformacijos veikiant 5 Hz vibracijoms



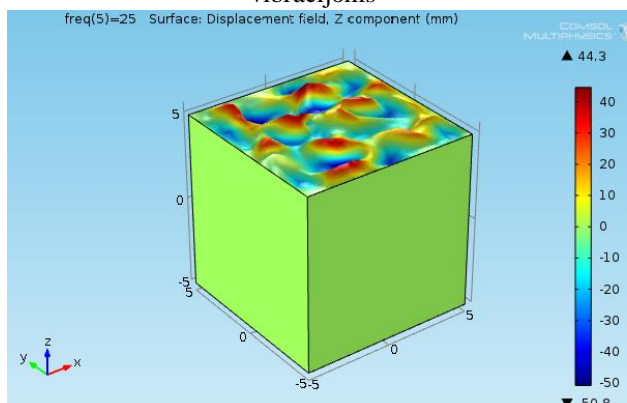
P.4.12 pav. S.S.M25 molio deformacijos veikiant 10 Hz vibracijoms



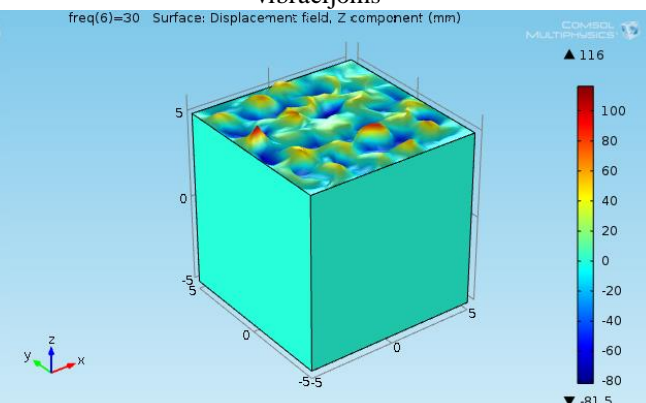
P.4.13 pav. S.S.M25 molio deformacijos veikiant 15 Hz vibracijoms



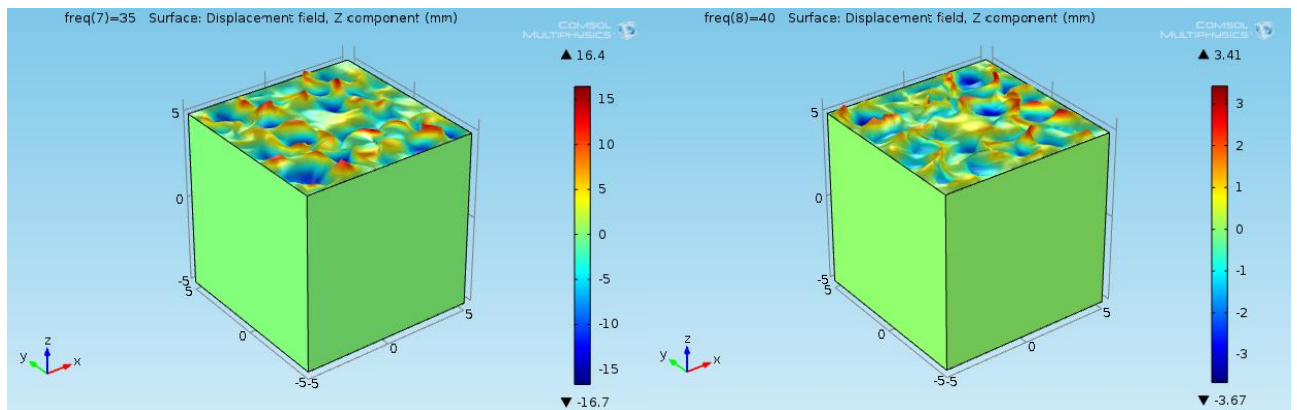
P.4.14 pav. S.S.M25 molio deformacijos veikiant 20 Hz vibracijoms



P.4.15 pav. S.S.M25 molio deformacijos veikiant 25 Hz vibracijoms

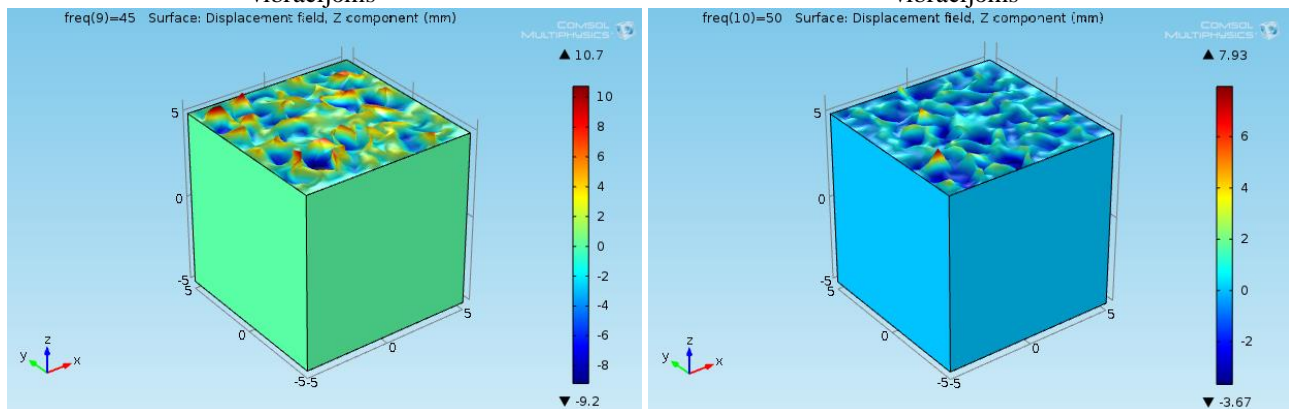


P.4.16 pav. S.S.M25 molio deformacijos veikiant 30 Hz vibracijoms



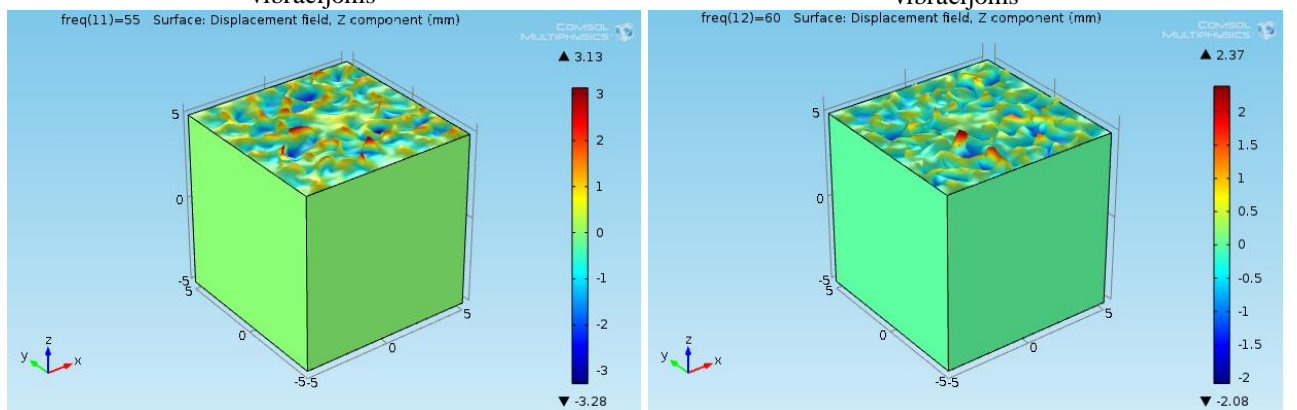
P.4.17 pav. S.S.M25 molio deformacijos veikiant 35 Hz vibracijoms

P.4.18 pav. S.S.M25 molio deformacijos veikiant 40 Hz vibracijoms



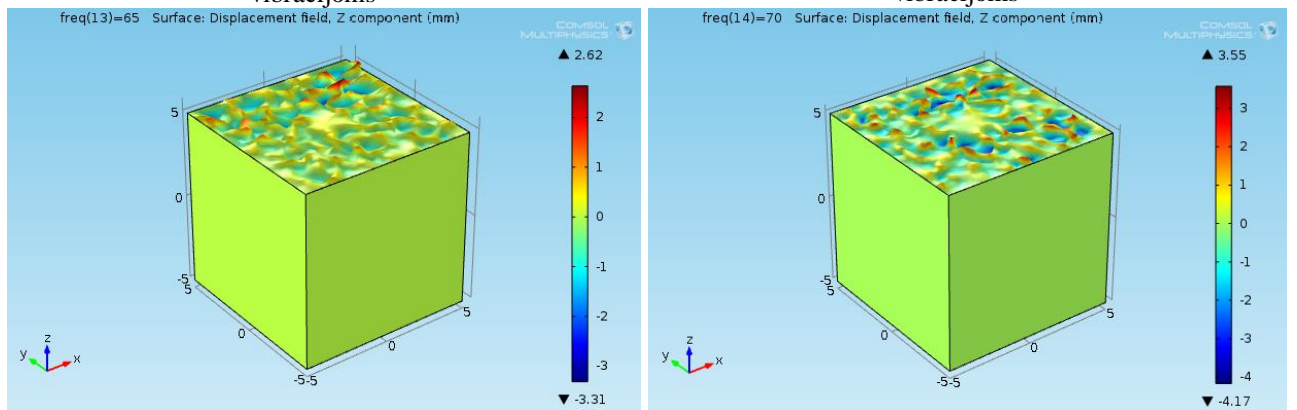
P.4.19 pav. S.S.M25 molio deformacijos veikiant 45 Hz vibracijoms

P.4.20 pav. S.S.M25 molio deformacijos veikiant 50 Hz vibracijoms



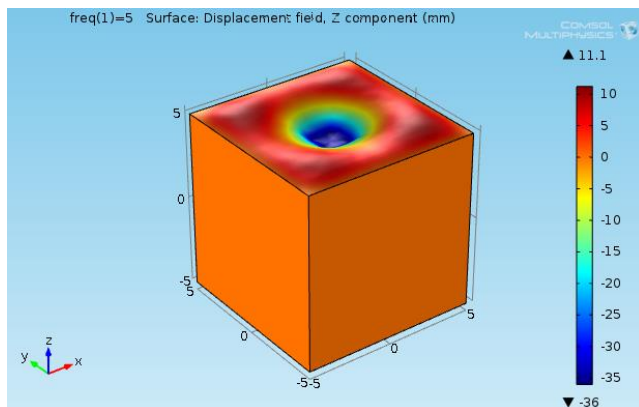
P.4.21 pav. S.S.M25 molio deformacijos veikiant 55 Hz vibracijoms

P.4.22 pav. S.S.M25 molio deformacijos veikiant 60 Hz vibracijoms

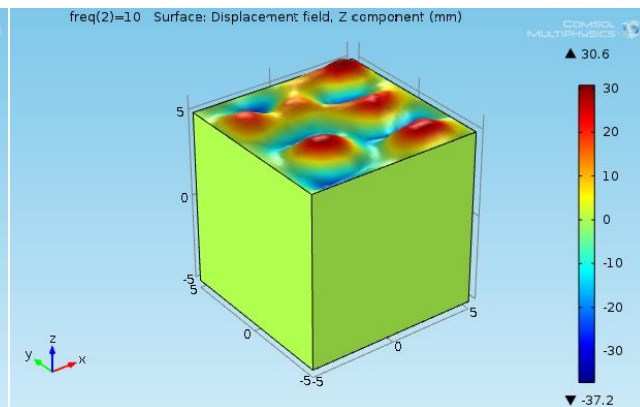


P.4.23 pav. S.S.M25 molio deformacijos veikiant 65 Hz vibracijoms

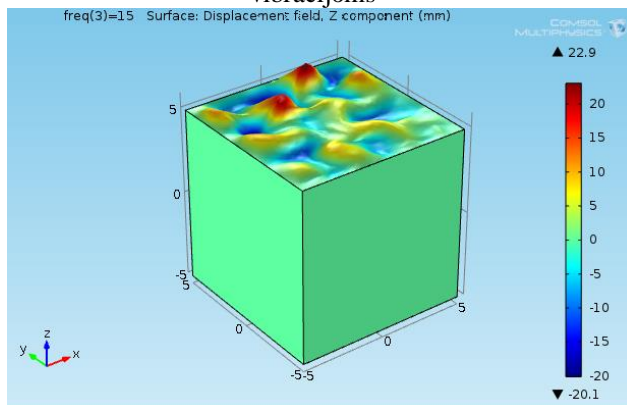
P.4.24 pav. S.S.M25 molio deformacijos veikiant 70 Hz vibracijoms



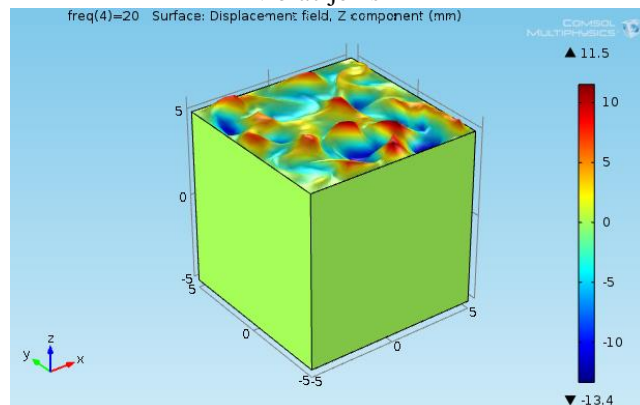
P.4.25 pav. S.S.M29 molio deformacijos veikiant 55 Hz vibracijoms



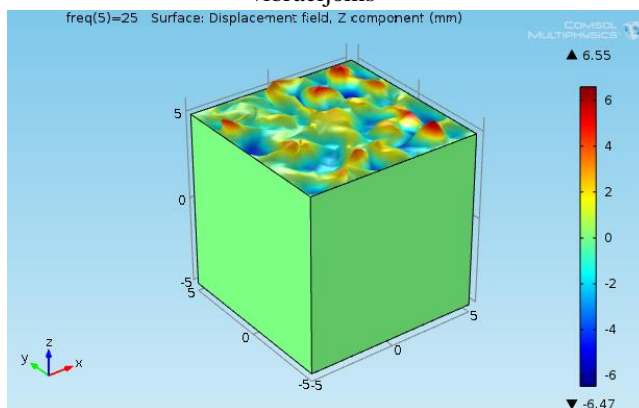
P.4.26 pav. S.S.M29 molio deformacijos veikiant 10 Hz vibracijoms



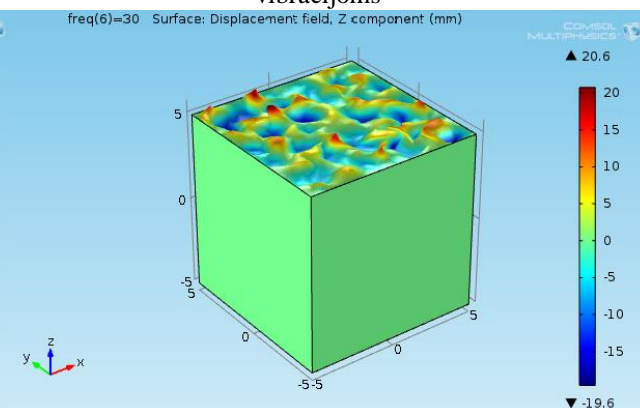
P.4.27 pav. S.S.M29 molio deformacijos veikiant 15 Hz vibracijoms



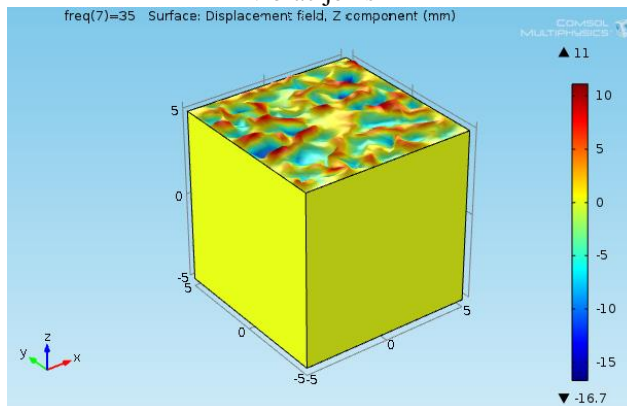
P.4.28 pav. S.S.M29 molio deformacijos veikiant 20 Hz vibracijoms



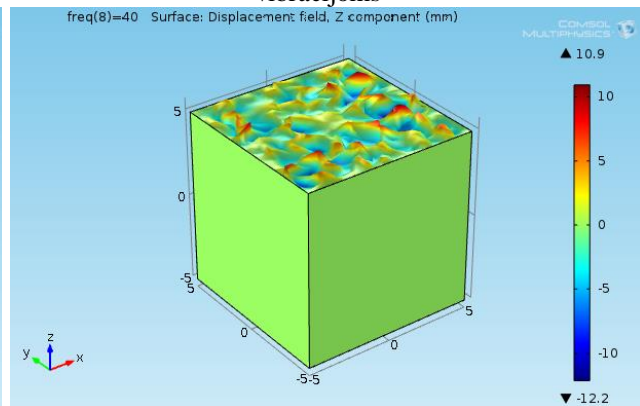
P.4.29 pav. S.S.M29 molio deformacijos veikiant 25 Hz vibracijoms



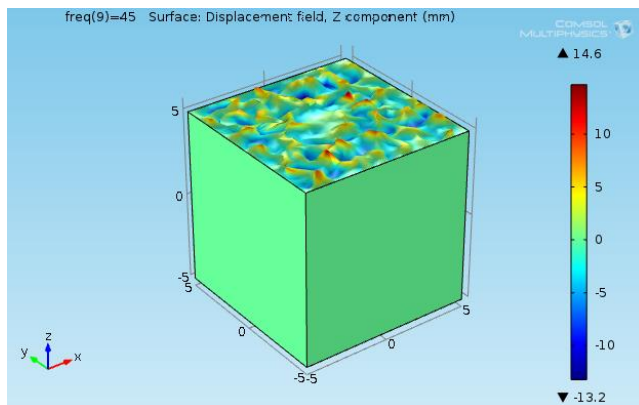
P.4.30 pav. S.S.M29 molio deformacijos veikiant 30 Hz vibracijoms



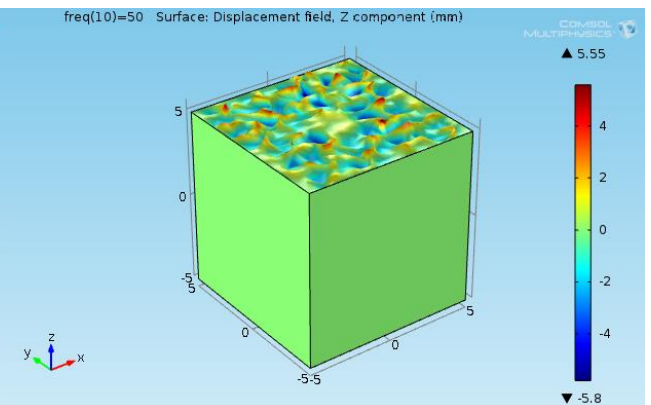
P.4.31 pav. S.S.M29 molio deformacijos veikiant 35 Hz vibracijoms



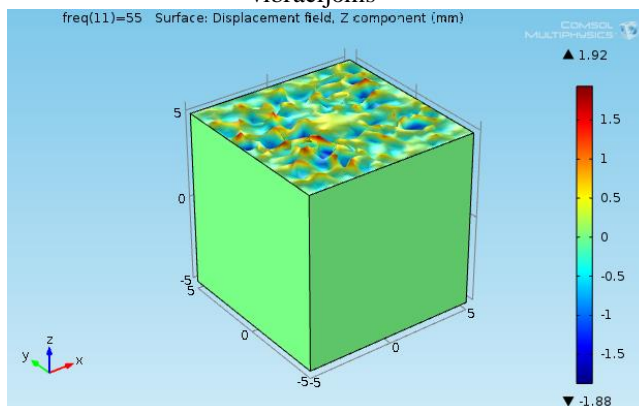
P.4.32 pav. S.S.M29 molio deformacijos veikiant 40 Hz vibracijoms



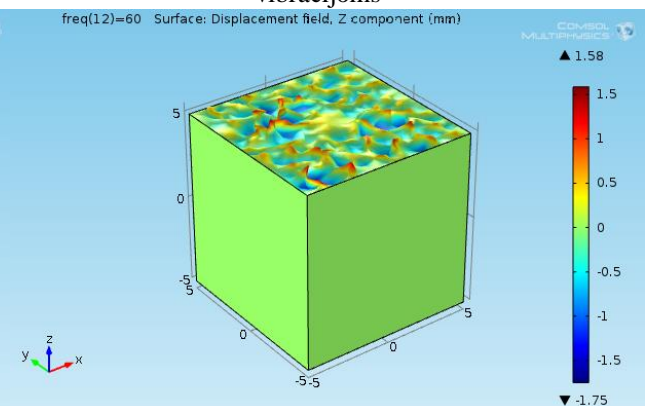
P.4.33 pav. S.S.M29 molio deformacijos veikiant 45 Hz vibracijoms



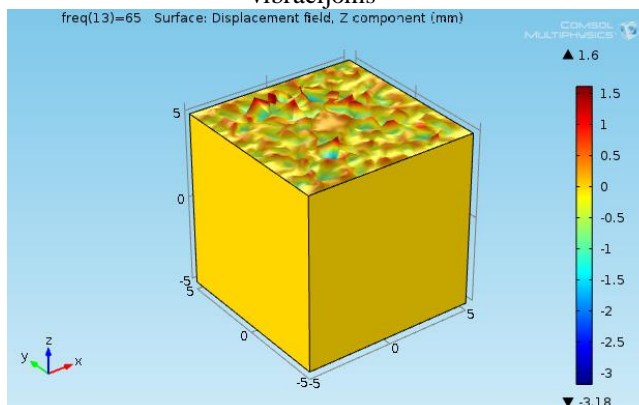
P.4.34 pav. S.S.M29 molio deformacijos veikiant 50 Hz vibracijoms



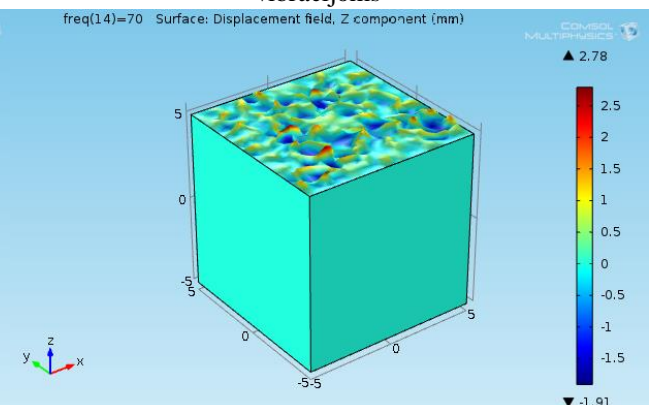
P.4.35 pav. S.S.M29 molio deformacijos veikiant 55 Hz vibracijoms



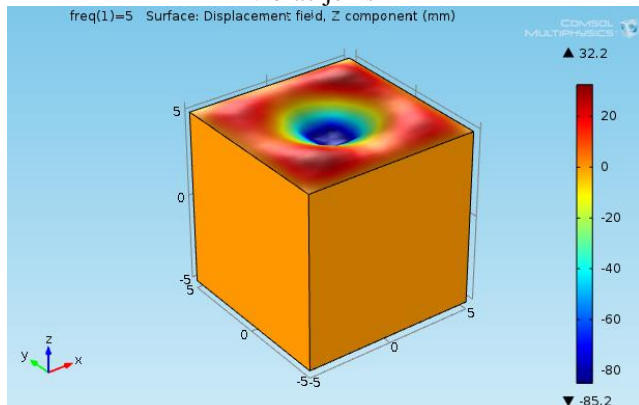
P.4.36 pav. S.S.M29 molio deformacijos veikiant 60 Hz vibracijoms



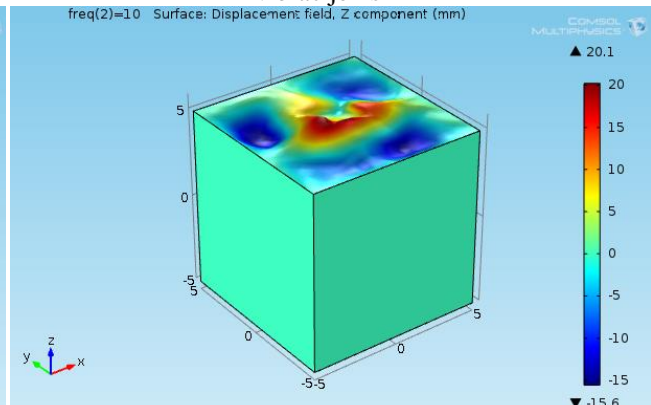
P.4.37 pav. S.S.M29 molio deformacijos veikiant 65 Hz vibracijoms



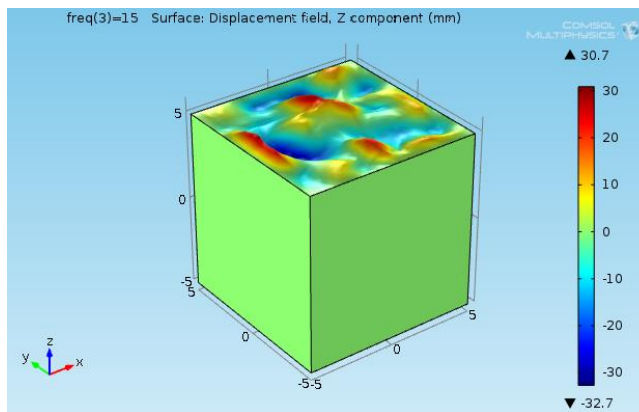
P.4.38 pav. S.S.M29 molio deformacijos veikiant 70 Hz vibracijoms



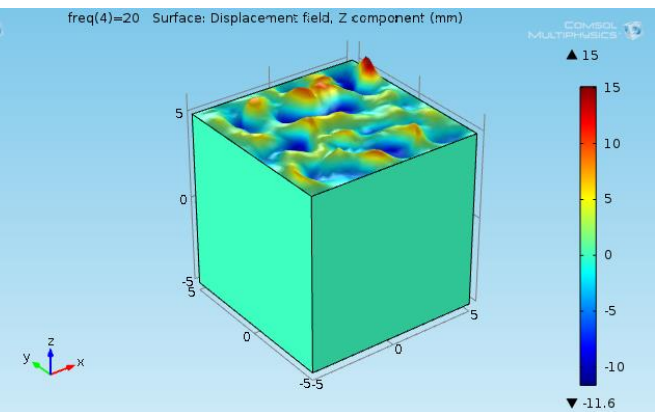
P.4.39 pav. S.S.M33 molio deformacijos veikiant 5 Hz vibracijoms



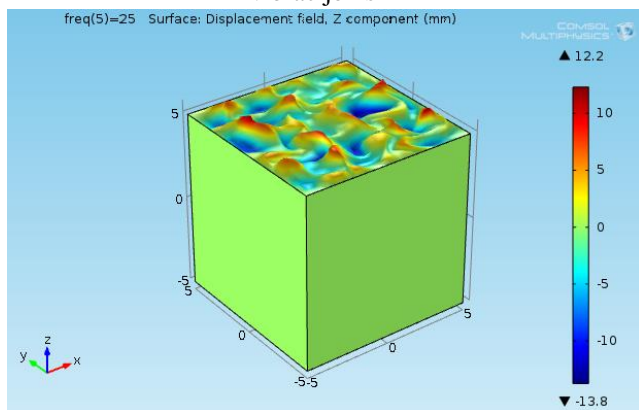
P.4.40 pav. S.S.M29 molio deformacijos veikiant 10 Hz vibracijoms



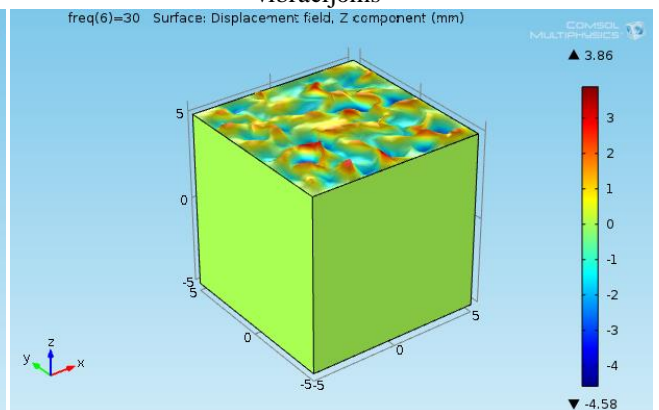
P.4.41 pav. S.S.M33 molio deformacijos veikiant 15 Hz vibracijoms



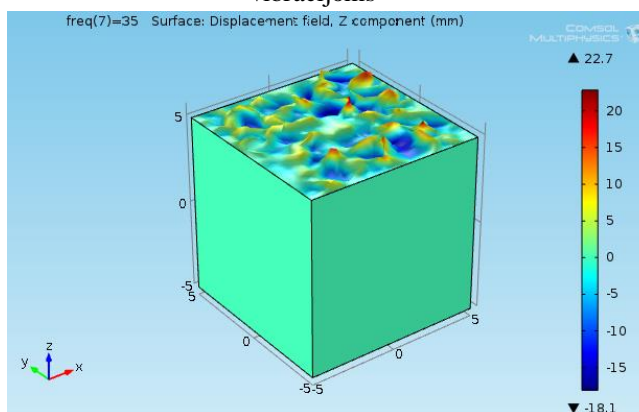
P.4.42 pav. S.S.M29 molio deformacijos veikiant 20 Hz vibracijoms



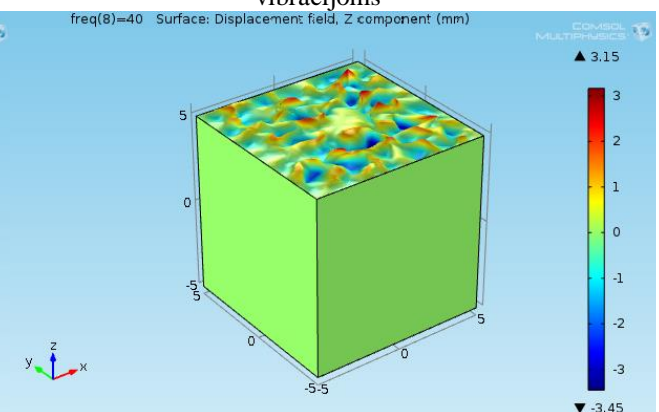
P.4.43 pav. S.S.M33 molio deformacijos veikiant 25 Hz vibracijoms



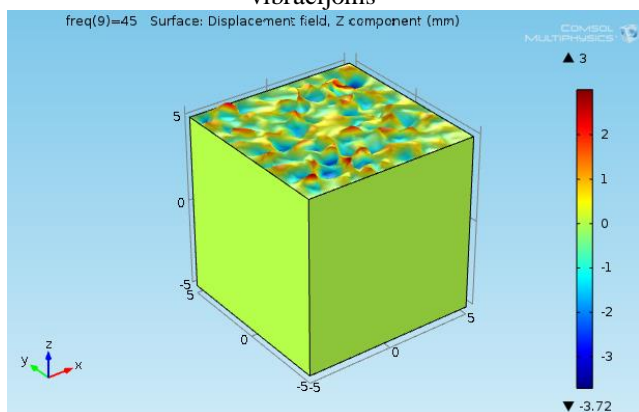
P.4.44 pav. S.S.M29 molio deformacijos veikiant 30 Hz vibracijoms



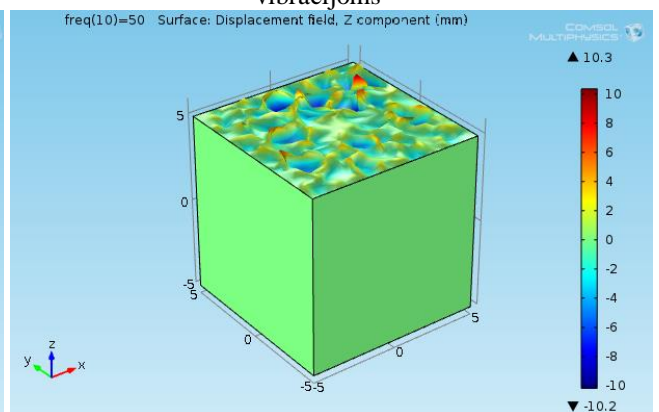
P.4.45 pav. S.S.M33 molio deformacijos veikiant 35 Hz vibracijoms



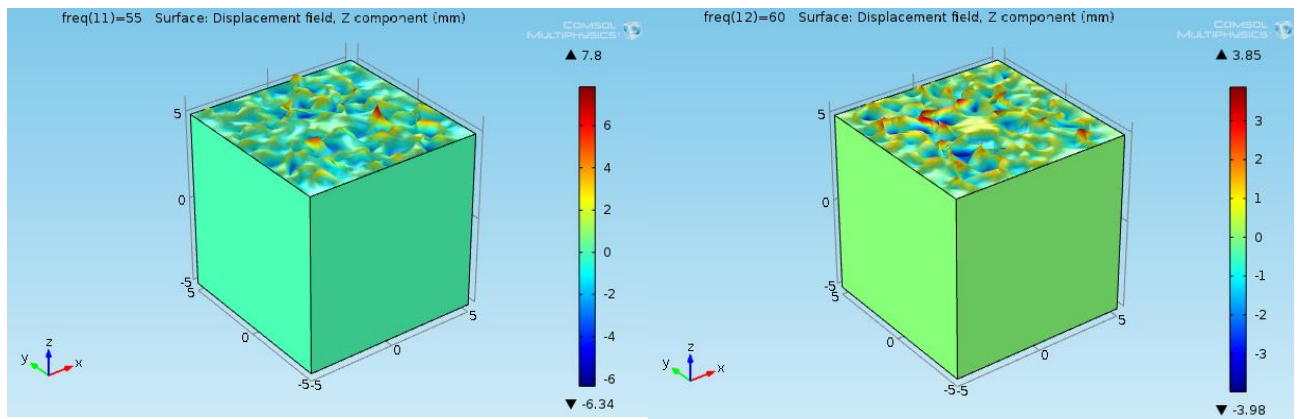
P.4.46 pav. S.S.M29 molio deformacijos veikiant 40 Hz vibracijoms



P.4.47 pav. S.S.M33 molio deformacijos veikiant 45 Hz vibracijoms

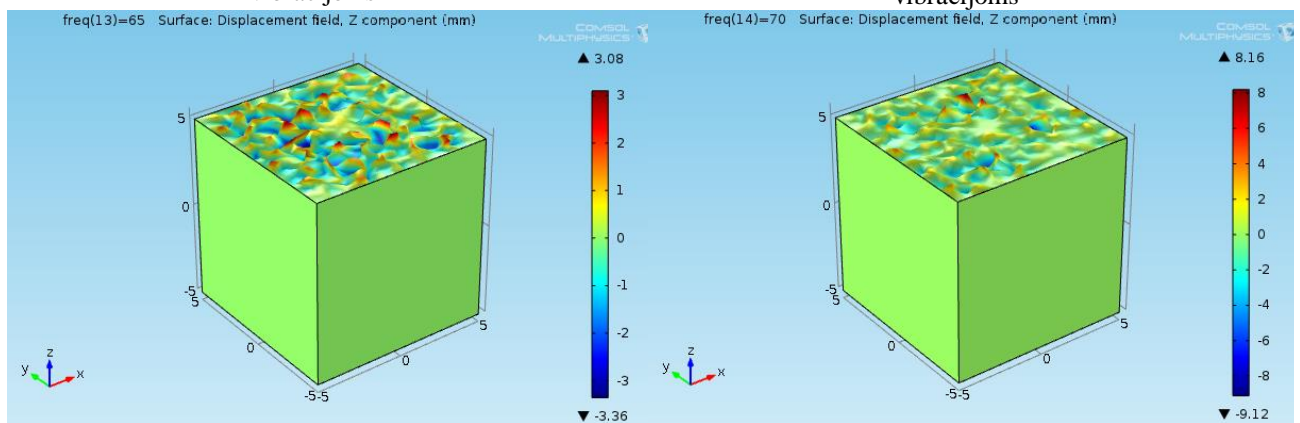


P.4.48 pav. S.S.M29 molio deformacijos veikiant 50 Hz vibracijoms



P.4.49 pav. S.S.M33 molio deformacijos veikiant 55 Hz vibracijoms

P.4.50 pav. S.S.M29 molio deformacijos veikiant 60 Hz vibracijoms



P.4.51 pav. S.S.M33 molio deformacijos veikiant 65 Hz vibracijoms

P.4.52 pav. S.S.M29 molio deformacijos veikiant 70 Hz vibracijoms