



Kauno technologijos universitetas

Statybos ir architektūros fakultetas

**Didelių tarpatramių liaunų gelžbetoninių perdangų
vibracijos nuo žmonių**

Baigiamasis magistro projektas

Julius Ruškys
Projekto autorius

Lekt. dr. Nerijus Adamukaitis
Vadovas

Kaunas, 2019



Kauno technologijos universitetas

Statybos ir architektūros fakultetas

Didelių tarpatramių liaunų gelžbetoninių perdangų vibracijos nuo žmonių

Baigiamasis magistro projektas

Statybinių konstrukcijų ir gaminių inžinerija (6211EX008)

Julius Ruškys
Projekto autorius

Lekt. dr. Nerijus Adamukaitis
Vadovas

Lekt. dr. Tadas Zingaila
Recenzentas

Kaunas, 2019



Kauno technologijos universitetas

Statybos ir architektūros fakultetas

Julius Ruškys

Didelių tarpatramių liaunų gelžbetoninių perdangų vibracijos nuo žmonių

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Juliaus Ruškio, baigiamasis projektas tema „Didelių tarpatramių liaunų gelžbetoninių perdangų vibracijos nuo žmonių“ 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)

Ruškys, Julius. Didelių tarpatramių liaunų gelžbetoninių perdangų vibracijos nuo žmonių. Magistro baigiamasis projektas / vadovas lekt. dr. Nerijus Adamukaitis; Kauno technologijos universitetas, Statybos ir architektūros fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): Statybinių konstrukcijų ir gaminių inžinerija (E05), Inžinerijos mokslai (E).

Reikšminiai žodžiai: perdanga, vibracija, savasis dažnis, pagreitis, gelžbetonis.

Kaunas, 2019. 69 p.

Santrauka

Magistro baigiamasis projektas parengtas remiantis Lietuvos Respublikoje galiojančiais teisės aktais. Baigiamojo magistro projekto pagrindą sudaro dvi dalys. Pirmoji - literatūros analizė ir antroji tyrimai ir jų rezultatų interpretacija.

Atliekant literatūros analizę – buvo analizuojami rasti moksliniai straipsniai, ieškoma tai, kas jau yra ištirta mokslininkų, kokie gauti rezultatai ir kokios metodikos naudotos. Atliekant literatūros analizę daug dėmesio buvo skirta reikalavimams t. y., buvo analizuojama, kokie reikalavimai keliami skirtingos paskirties pastatų perdangoms.

Antrojoje dalyje – tyrimai ir jų rezultatai aprašoma perdangos savojo svyravimo dažnio skaičiavimo metodikos, taip pat analizuojami veiksniai, kurie gali turėti įtakos savojo perdangos svyravimo dažniui. Buvo apskaičiuotas perdangos svyravimo pagreitis ir mėginta nustatyti, kokiai paskirčių perdangai jis yra tenkinamas. Dar yra nagrinėjami svyravimai, nuo žmonių grupių ir jų veiklos, kaip keičiasi svyravimai keičiantis žmonių veiklai, jų buvimo vietai ant perdangos ir jų skaičiui. Taip pat yra aprašoma kaip galima padidinti perdangos natūralaus svyravimo dažnį ir sumažinti svyravimo pagreitį. Darbo pabaigoje pateikiami skirtingo konstrukcinio sprendimo perdangos ir ieškomas optimalus perdangos variantas.

Ruškys, Julius. Footfall induced vibration of large span slender reinforced concrete slabs. Master's Final Degree Project / supervisor assoc. lekt. dr. Nerijus Adamukaitis; Faculty of School of Civil Engineering and Architecture, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Structural and Building Products Engineering (E05), Engineering sciences (E).

Keywords: slab, vibration, self-frequency, acceleration, reinforced concrete.

Kaunas, 2019. 69 pages.

Summary

The master's final project is based on the legislation in force in the Republic of Lithuania. The final master's project consists of two parts. The first part is based on literature analysis and the second is based on research and the interpretation of their results.

In the first part on the literature analysis the analysis of research articles was made. Also it was tried to find out what has been already made in this sphere. This means that in the literature analysis, much attention was paid to the requirements for multi-purpose building slabs.

In the second part, the studies and their results describe the methods for calculating the frequency of self-oscillation of the slab, as well as analyzing the factors that may influence the frequency of the self-slab self-frequency.

The slab self-frequency acceleration was calculated and it was attempted to determine which slabs of the assignments were satisfied. The self-frequency, from groups of people and their activities, as well as changes in self-frequency due to changes in people's activities, their location on the slab and the number of them, are still under consideration. Also there was described the increasement of the natural self - frequency of the slab, and reduction of the oscillation rate. At the end of the master's thesis, different constructional solutions of slabs are presented and the optimal slab option is sought.

Turinys

Įvadas.....	12
1. Literatūros analizė.....	14
2. Darbo tikslas	32
3. Uždaviniai.....	32
4. Laukiami rezultatai	32
5. Tyrimų metodologija / Taikomi tyrimo metodai	33
6. Tyrimai ir jų rezultatai	37
6.1. Perdangos savojo svyravimo dažnio skaičiavimas.....	38
6.2. Perdangos savąjį svyravimo dažnį įtakoiantys veiksniai.....	41
6.3. Perdangos svyravimo pagreičio (akseliaracijos) skaičiavimas.....	44
6.4. Perdangos svyravimas nuo žmonių gupių ir veiklos	48
6.5. Perdangos natūralaus svyravimo dažnio padidinimas ir pagreičio sumažinimas.....	58
7. Optimalaus varianto paieškos	60
Išvados.....	68
Literatūros sąrašas.....	69
Priedai	70

Paveikslų sąrašas

1 pav. Gelžbetonio perdangos vibracinės schemos nuo žmonių.....	13
1.1 pav. Skaičiuojamojo modelio vaizdas.....	15
1.2 pav. CFS schema.....	17
1.3 pav. Dinaminis perdangos elgesys	19
1.4 pav. Perdangos pagreičiai	19
1.5 pav. perdangų skirtingi skaičiavimo variantai.	23
1.6 pav. vertikalios jėgos pavyzdys nuo standaus pagrindo vienam žmogui nuolat šokinėja ..	25
1.7 pav. Vertikalios jėgos pavyzdys nuo standaus pagrindo vienam žmogui vaikstant	25
1.8 pav. Vieno žmogaus, vaikščiojančio 3 m ilgio, jėgos funkcijos pavyzdys instrumentinė platforma	25
1.9 pav. Tiesioginis perdangos sužadimas jos viduryje pridėjus dinamine apkrova.	28
1.10 pav. Pirmosios 3 vibracijos formos.....	28
1.11 pav. Vibracijos perkėlimo laiko istorija T ir amplitudė X.	29
1.12 pav. Pirmasis sijų svyravimo dažnis	31
5.1 pav. masės yra nukreiptos į baigtinių elementų tinklelio mazgus.....	33
5.2 pav. Natūralaus dažnio skaičiavimo algoritmas SCIA Engineer programoje.....	34
5.3 pav. Dinaminės apkrovos įvertinimas SCIA Engineer programoje.	36
6.1 pav. Skaičiavimo algoritmas	37
6.1.1 pav. Perdangos schema	38
6.1.2 pav. SCIA Engineer savojo dažnio rezultatai, dviem galais atremtai perdangai	39
6.1.3 pav. SCIA Engineer savojo dažnio rezultatai, perimetru atremtai perdangai	39
6.1.4 pav. Pirmą svyravimo formą 4,0331 Hz.	40
6.1.5 pav. Antra svyravimo forma 5,6782 Hz.....	40
6.1.6 pav. Trečia svyravimo forma 8,4434 Hz.....	40
6.1.7 pav. Ketvirta svyravimo forma 12,3240 Hz.....	41
6.3.1 pav. Excel skaičiuoklė.....	47
6.4.1 pav. Vieno žmogaus šokinėjimo perdangos viduryje skaičiuojamoji schema.....	48
6.4.2 pav. Deformacija nuo vieno žmogaus šokinėjimo po 0,0s. didžiausia deformacija - 0,0041 mm.....	49
6.4.3 pav. Deformacija nuo vieno žmogaus šokinėjimo po 0,1s. didžiausia deformacija - 0,15599 mm.....	49
6.4.4 pav. Deformacija nuo vieno žmogaus šokinėjimo po 0,2s. didžiausia deformacija - 0,01166 mm.....	49

6.4.5 pav. Deformacija nuo vieno žmogaus šokinėjimo po 0,3s. didžiausia deformacija 0,3195 mm.	49
6.4.6 pav. Deformacija nuo vieno žmogaus šokinėjimo po 0,4s. didžiausia deformacija - 0,10471 mm.....	49
6.4.7 pav. Deformacija nuo vieno žmogaus šokinėjimo po 0,5s. didžiausia deformacija -0,2117 mm.	49
6.4.8 pav. Deformacija nuo vieno žmogaus šokinėjimo po 0,6s. didžiausia deformacija - 0,10222mm.....	50
6.4.9 pav. Deformacija nuo vieno žmogaus šokinėjimo po 0,7s. didžiausia deformacija - 0,14158 mm.....	50
6.4.10 pav. Deformacija nuo vieno žmogaus šokinėjimo po 0,8s. didžiausia deformacija 0,14432 mm.....	50
6.4.11 pav. Deformacija nuo vieno žmogaus šokinėjimo po 0,9s. didžiausia deformacija - 0,177268 mm.....	50
6.4.12 pav. Deformacija nuo vieno žmogaus šokinėjimo po 1,0s. didžiausia deformacija - 0,10227 mm.....	50
6.4.13 pav. Deformacija nuo vieno žmogaus šokinėjimo po 1,1s. didžiausia deformacija 0,09907 mm.....	50
6.4.14 pav. Deformacija nuo vieno žmogaus šokinėjimo po 1,2s. didžiausi deformacija- 0,10227 mm.....	51
6.4.15 pav. Deformacija nuo vieno žmogaus šokinėjimo po 1,3s. didžiausia deformacija 0,05945 mm.....	51
6.4.16 pav. Deformacija nuo vieno žmogaus šokinėjimo po 1,4s. didžiausia deformacija 0,08177 mm.....	51
6.4.17 pav. Deformacija nuo vieno žmogaus šokinėjimo po 1,5s. didžiausia deformacija - 0,0685 mm.....	51
6.4.18 pav. Didžiausias svyravimo pagreitis, kai šokinėja vienas žmogus.....	52
5.4.19 pav. Perdangos sudalinimas i atskiras zonas.....	53
6.4.20 pav. Grupės žmonių šokinėjimo ketvirtojoje perdangos zonoje skaičiuojamoji schema.	54
6.4.21 pav. Deformacija nuo grupės žmonių šokinėjimo 4 zonoje po 1,0s. didžiausia deformacija -1,92652.....	54
6.4.22 pav. Deformacija nuo grupės žmonių šokinėjimo 4 zonoje po 0,6s. didžiausia deformacija 1,74918 mm.....	54

6.4.23 pav. Grupės žmonių šokinėjimo atsitiktinai išsidėsčius ant perdangos skaičiuojamoji schema.	56
6.4.24 pav. Grupės žmonių ėjimo išilgai perdangos	57
6.4.25 pav. Deformacija nuo grupės žmonių ėjimo išilgai perdangos po 1s. didžiausia deformacija -1,68846mm.	58
6.4.26 pav. Deformacija nuo grupės žmonių ėjimo išilgai perdangos po 1,3s. didžiausia deformacija 1,14363mm.....	58
7.1 pav. SCIA Engineer savojo dažnio rezultatai, monolitiniai 300m perimetru atremtai perdangai	60
7.2 pav. Kompozitine perdanga - metalinės sijos su monolitine perdanga.....	60
7.3 pav. SCIA Engineer savojo dažnio rezultatai, kompozitinei perdangai	61
7.4 pav. Sijinę perdanga.....	61
7.5 pav. SCIA Engineer savojo dažnio rezultatai, sijiei perdangai.....	61

Lentelių sąrašas

1.1 lentelė. Kompozitinės perdangos natūralūs dažniai ir modalinės masės	16
1.2 lentelė. Grindų vibracijos klasifikacija pagal vibracijos intensyvumą.	21
1.3 lentelė. Pasiūlymas dėl vibracijos klasių biure ir gyvenamuosiuose namuose.	21
1.4 lentelė. Preliminarūs vibracijos klasių priėmimo apribojimai.	22
6.2.1 lentelė. Savojo svyravimo dažnio priklausomybė nuo atėmimo tipo	44
6.3.1 lentelė. vaikščiojimo intensyvume koeficientai	45
6.4.1 lentelė. Pagreičio reglamentavimas pagal veiklos sritį	52
6.4.2 lentelė. Didžiausios deformacijos nuo sinchroninio grupės žmonių šokinėjimo atskirose zonose	53
7.1 lentelė. Skirtingu konstrukcijų sprendimo gauti rezultatai.....	62
7.2 lentelė. Svertinė normalizuota matrica P^*	65
7.3 lentelė. Idealaus teigiamo varianto skirtumo (atstumo) L_i+ tarp realaus ai ir $a+$ - reikšmės	66
7.4 lentelė. Idealaus neigiamo varianto skirtumo (atstumo) L_i- tarp realaus ai ir $a-$ reikšmės:	66
7.5 lentelė. Santykinio lyginamų variantų artumo idealiam K_{bit} , - reikšmės.....	66
7.6 lentelė. Naudingumo laipsnis:	67

Diagramų sąrašas

6.2.1 diagrama. Savojo svyravimo dažnio priklausomybė nuo ilgio	41
6.2.2 diagrama. Savojo svyravimo dažnio priklausomybė nuo betono tamprumo modulio....	42
6.2.3 diagrama. Savojo svyravimo dažnio priklausomybė nuo skerspjūvio inercijos momento 43	
6.2.4 diagrama. Savojo svyravimo dažnio priklausomybė nuo masės.....	43
6.3.1 diagrama. Pagreičio reglamentavimas RMS	44
6.3.2 diagrama. Pagreičio reglamentavimas RMS	46
6.4.1 diagrama. vertikalios jėgos perdavimas nuo vieno žmogaus nuolatinio šokinėjimo	48
6.4.1 lentelė. Pagreičio reglamentavimas pagal veiklos sritį	52
6.4.2 diagrama. vertikalios jėgos perdavimas nuo vieno žmogaus nuolatinio šokinėjimo perdangos viduryje ir perdangos deformacija nuo tos jėgos, jų pridėjimo vietoja.....	52
6.4.3 diagrama. vertikalios jėgos perdavimas nuo grupės žmonių sinchroninio šokinėjimo ketvirtoje zonoje ir perdangos deformacija nuo tų jėgų, jų pridėjimo vietoja.	54
6.4.4 diagrama. vertikalios jėgos perdavimas nuo grupės žmonių nesinchroninio šokinėjimo ketvirtoje zonoje ir perdangos deformacija nuo tos jėgos	55
6.4.5 diagrama. vertikalios jėgos perdavimas nuo grupės žmonių nesinchroninio šokinėjimo ketvirtoje zonoje ir perdangos deformacijos nuo tos jėgos	56
6.4.6 diagrama. vertikalios jėgos perdavimas nuo žmonių vaikščiojimo ir perdangos deformacija nuo tos jėgos.....	57
7.1 diagrama. Betono kiekių grafikas m ³	62
7.2 diagrama. Betono kiekių procentinis grafikas.....	62
7.3 diagrama. Armatūros kiekių grafikas t.....	63
7.4 diagrama. Betono kiekių procentinis grafikas.....	63
7.5 diagrama. Įlinkių grafikas mm.	63
7.6 diagrama. Įlinkių procentinis grafikas	64
7.7 diagrama. Svyravimo pagreičio grafikas m/s ²	64
7.8 diagrama. Svyravimo pagreičio procentinis grafikas.....	64
7.9 diagrama. Savojo svyravimo dažnio grafikas Hz.....	65
7.10 diagrama. Savojo svyravimo dažnio procentinis grafikas	65
7.11 diagrama. .Grafinis variantų palyginimas skaičiais remiantis subjektyviam reikšmingumui.....	67

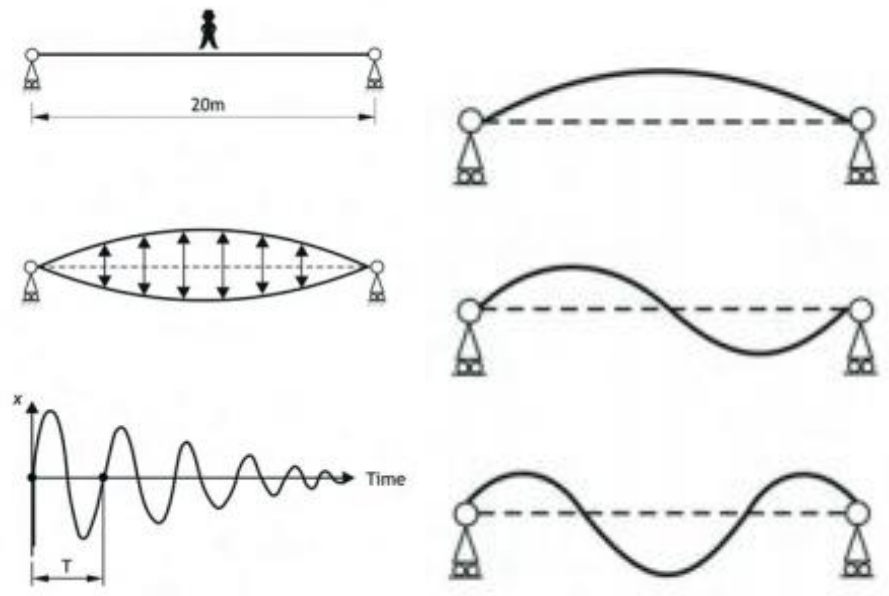
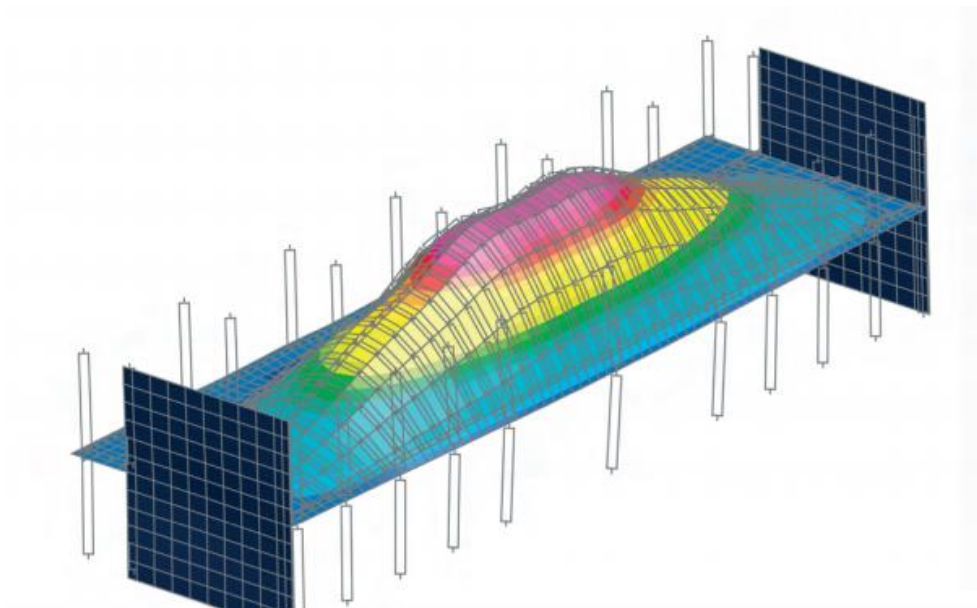
Įvadas

Darbe planuojama koncentruotis ir didžiausią dėmesį skirti didelių tarpatramių liaunų, gelžbetoninių perdangų vibracijoms nuo žmonių. Prasidėjus pramonės revoliucijai, statyboms buvo būdinga labai didelė masė, nes jų gamyboje buvo naudojami sunkieji medienos, metalų ir mūriniai gaminiai. Vibracijos sužadavimo šaltiniai buvo nedideli, tad dinaminis atsakas struktūroms buvo labai mažas. Be to, paprastai gamyboje naudojami konstrukciniai metodai, kai pagaminama konstrukcija turinti labai aukštą natūralų slopinimą, kuri taip pat duoda mažą atsaką į dinamišką sužadimą. Per pastaruosius 200 metų labai padidėjo žinios apie medžiagų savybes ir struktūrą. Taip pat variklių našumas pagerėjo: didėjant sukimosi greičiams, padidėjo ir vibracijos sužadavimo jėgų dydis. Šis didesnis sužadavimo procesas, sumažinant struktūrinę masę ir slopinimą, tęsėsi vis sparčiau iki pat šių dienų. Vibracija apibūdinama kaip drebėjimas ar virpėjimas. Vibracijos, kurios vyksta daugumoje konstrukcijų ir dinaminėse sistemose yra nepageidaujamos. Dėl jų atsiranda nepageidautinas triukšmas, dinaminiai įtempiai, dėl kurių gali atsirasti konstrukcijų nuovargis. Todėl būtina atlikti bet kokios siūlomos konstrukcijos vibracijos analizę. Praktikoje yra pasitaikę nemažai atvejų kai konstrukcijos neatitinka standartų dėl rezonansų, nuovargio ar vibracijų.

Nuo XX amžiaus paskutiniojo dešimtmečio Lietuvos Respublikoje gerėjant situacijai statybų pramonėje, vis dažniau viešosios ir gyvenamosios paskirties pastatai statomi iš monolitinio gelžbetonio, kurių aukštis siekia 70–100 m. Monolitinio gelžbetonio aukštybinių pastatų projektavimo užsienio patirtis byloja, jog racionaliausia jų struktūrinė sistema yra karkasinė su standumo diafragmomis arba standumo branduoliais, horizontaliais perdengimo diskais, jungiančiais kolonas ir diafragmas (standumo branduolius) į bendrą erdvinę sistemą. Vis dažniau norima pastatuose kuo didesnių tarpatramių ir laikančiųjų konstrukcijų žingsnio?. Kuo plonesnės perdangos, norint sutaupyti aukščio, tuo perdanga tampa liaunesne ir joje gali atsirasti standartų neatitinkančios vibracijos ne tik nuo įvairių mechanizmų, bet ir nuo žmonių.

Šiam tikslui pasiekti būtini eksperimentiniai tyrimai: teoriniai, laboratoriniai, natūriniai. Gelžbetoninių konstrukcijų skaičiavimams taikomi empiriniai projektavimo normų arba skaitiniai metodai. Pirmieji iš minėtųjų metodų remiasi empirinėmis formulėmis bei koeficientais, bet nėra universalūs, todėl negali būti taikomi projektuojant sudėtingos formos konstrukcijas bei apkrovimo atvejus.

Šiandieniniame pasaulyje didelę įtaką pastatų projektavimui turi racionaliausio metodo parinkimas bei jo pritaikymas, ypač jis svarbus siekiant suprojektuoti ypatingus statinius. Mano pasirinktos temos aktualumas -susidurta su dideliu informacijos trūkumu.



1 pav. Gelžbetonio perdangos vibracinės schemos nuo žmonių

1. Literatūros analizė

1. C.M.R. Gaspar, J.G. Santos da Silva, L.F. Costa-Neves. „Multimode vibration control of building steel–concrete composite floors submitted to human rhythmic activities“ (2016).

Šio straipsnio pagrindinis tikslas – ištirti dinaminį pastato pasipriešinimą kompozitinėms perdangoms, kai pateikiama žmogaus ritminė veikla. Ištirtas struktūrinis modelis buvo pagrįstas nekilnojamojo pastato kompozitinės perdangos konstrukcija 40x40 m, kurios bendras plotas yra 1600 m². Struktūrinė sistema yra tipiško komercinio pastato interjero perdanga, kuri naudojama sporto salėse ir suprojektuota pagal įprastas ULS ir SLS „Eurocode“ nuostatas. Žmogaus komforto įvertinimo analizės metodai parodė, kad kompozicinėse perdangose yra pernelyg dideli virpesiai. Taigi buvo nustatyta, kad tokio tipo konstrukcija gali pasiekti aukštą vibracijos lygį, kuris gali pakenkti naudotojų komfortui. Be to, buvo imituojamos įvairios reguliuojamos slopinančios sistemos (TMD), kad būtų galima įrengti daugiafunkcinį vibracijos valdymą, siekiant pagerinti žmonių komfortą.

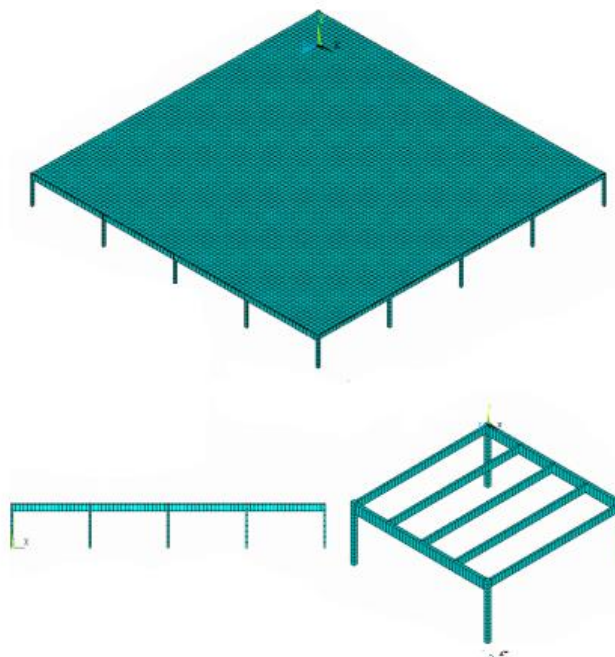
Straipsnyje aprašomas atliktas bandymas, naudojant „ANSYS“ programą. Sukurtas skaičiavimo modelis priėmė įprastą tinklelį baigtinių elementų metodų, skirtų modeliavimo metodams.

Straipsnyje pateikiama skaičiavimo metodika, kai siūlomas skaičiavimo modelis, kuris buvo sukurtas perdangų dinaminės kompozicijos analizei, priimtas įprastas tinklelis, taikomas baigtinių elementų metodų modeliavimas „ANSYS“ programoje. Šiame skaičiavimo modelyje perdangos plieninės sijos dirba trimis veikiančioms jėgoms, tai yra momentui, skersinei jėgai ir sijų sukimui. Kompozicinė plokštė buvo sudalinta baigtiniais elementais. Tyrimas parodė, kad abi medžiagos (plienas ir betonas) turi elastingą elgesį. Skaičiavimo modelis yra parodytas 1.1 paveikslėlyje.

Visiška betono plokštės ir plieno sąveika buvo nagrinėjama bendrame darbe ir imituojant spyruokles, skaitmeniniame modelyje sujungti visi tarpai tarp sijų ir plokščių, kad būtų išvengta bet kokių praslydimo atsiradimo galimybių.

Kalbant apie struktūrinių jungčių elgesį tiriamosiose kompozicinėse perdangose, jungimo jungtys buvo modeliuojamos kaip lanksčios jungtys, kuriose naudojami spyruokliniai elementai.

Sijų prijungimas prie kolonų buvo modeliuojamas kaip standi jungtis.



1.1 pav. Skaičiuojamojo modelio vaizdas

Plieninių betoninių kompozitinių perdangų dinaminė analizė;

Kompozitinių perdangų natūralūs dažniai ir vibracijų režimai buvo nustatyti naudojant skaitmeninius skaičiavimo metodus (modalinė analizė). „Perdangos natūralūs dažniai, tai santykis tarp modalinės masės ir visos struktūrinės masės“ [1]. Svarbūs vibracijos režimai pateikti 1.1 lentelėje. Visa struktūrinė masė atitinka 485,3 t. Pažiūrėjus į 1.1 lentelės rezultatus galima pastebėti, kad pirmieji šešiolika natūralių kompozicinių grindų dažnių yra arti sužadavimo dažnio diapazono (sportinėje veikloje). „Tokioje situacijoje žmonių sukeltos vibracijos gali atitikti šiuos natūralius dažnius ir todėl kompozitinėje perdangoje gali būti sukeltas rezonanso reiškinys“ [2]. Taigi tokia situacija gali sukelti nepageidaujamas vibracijas ir diskomfortą žmonėms.

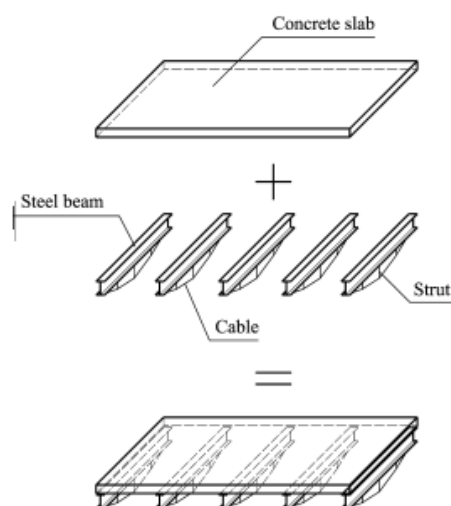
1.1 lentelė. Kompozitinės perdangos natūralūs dažniai ir modalinės masės

Svyravimo formos	Kompozitinės perdangos natūralus svyravimo dažnis (Hz)	Santykis tarp modalinės masės ir visos struktūrinės masės (%)
f ₀₁	6,06	24,49
f ₀₂	6,36	18,74
f ₀₃	6,44	15,01
f ₀₄	6,65	10,81
f ₀₅	6,92	13,49
f ₀₆	7,05	12,37
f ₀₇	7,11	9,73
f ₀₈	7,12	10,68
f ₀₉	7,13	14,58
f ₁₀	7,27	9,06
f ₁₁	7,35	16,17
f ₁₂	7,44	11,31
f ₁₃	7,55	11,55
f ₁₄	7,62	10,04
f ₁₅	7,72	8,36
f ₁₆	7,79	11,44
F ₁₇	8,90	18,79
f ₁₈	9,30	10,34
f ₁₉	9,38	19,15
f ₂₀	9,63	11,16

2. Qi An, Qingying Ren, Hongbo Liu, Hongbo Liu, Zhihua Chen. „Dynamic performance characteristics of an innovative Cable Supported Beam Structure–Concrete Slab Composite Floor System under human-induced loads“ (2010)

Straipsnyje analizuojama inovacinė kompozicinė perdangų sistema (CSBS - CSCFS). Straipsnyje aprašomas mokslinis tyrimas. Šiame moksliniame tyrime buvo sukurtas didelis pageidaujamas antivibracinis pajėgumas, tam kad būtų patenkintas viešųjų pastatų didelis vidinės erdvės poreikis.

„Ši nauja sistema turi puikių privalumų, palyginti su įprastomis perdangų konstrukcijomis, priklausomai nuo skerspjūvio, stiprumo ir svorio santykio bei plonasienių (liaunų) perdangų“ [3]. Nepaisant turimų šios sistemos pranašumų, šios rūšies sistema nėra visiškai panaudota (ištobulinta) dėl galimo nepakankamo vibracijų suvaldymo žmogaus sukeltų apkrovų metu. Pagal straipsnio autorius, siekiant ištirti šios sistemos dinaminę elgesį žmogaus sukelta apkrova, lauko bandymai buvo atlikti su neseniai pastatyto Hebei Normal universiteto gimnazijos perdangomis, kur pirmą kartą buvo pateiktas CSBS - CSCFS. Buvo atlikti du eksperimentiniai bandymai: laisvieji ir žmogaus sukelti vibracijos bandymai, kuriuose buvo vertikalus pagreitis, o perdangų struktūros atsakymai buvo matuojami pagal žmogaus keleto tipų sukeltas apkrovas (pvz., pakėlimas, šokinėjimas, vaikščiojimas, važiavimas ir atsitiktinė veikla). Žmogaus vibracijos suvokimas bandymų metu taip pat nustatytas naudojantis įvairiais šaltiniais. Laisvos vibracijos bandymų rezultatai parodė, kad yra trys natūralūs struktūros dažniai: 2,30 Hz, 2,69 Hz ir 3,06 Hz. Be to, perdangų slopinimo koeficientas siekia 1,54 %. Šis rezultatas reiškia, kad struktūra turi palyginti mažus natūralius dažnius, ir jo veikimą gali paveikti žmogaus veikla. „Žmogaus sukeltų vibracijų bandymų rezultatai parodė, kad žmogaus sukeltoms CSBS - CSCFS vibracijoms daro įtaką keletas veiksnių, būtent dinaminės struktūros charakteristikos, žmogaus sukeltos apkrovos tipas, veiklos sinchroninis, minios poveikis“ [4]. Atsakymų struktūra buvo lyginama su Tarptautine standartizacijos organizacija (ISO) ir amerikiečių plieno konstrukcijų instituto (AISC) kriterijais. Tuo tarpu buvo apibendrintas ir žmonių suvokimas apie vibraciją. Palyginus ir apibendrinant galima teigti, kad grindų vibracija turi būti sustiprinta siekiant pagerinti žmonių komfortą, nors tai nereikalinga normaliam naudojimui. Pasyvus dinaminis valdymas, kaip sistema, yra veiksmingas būdas pasiekti šį tikslą.



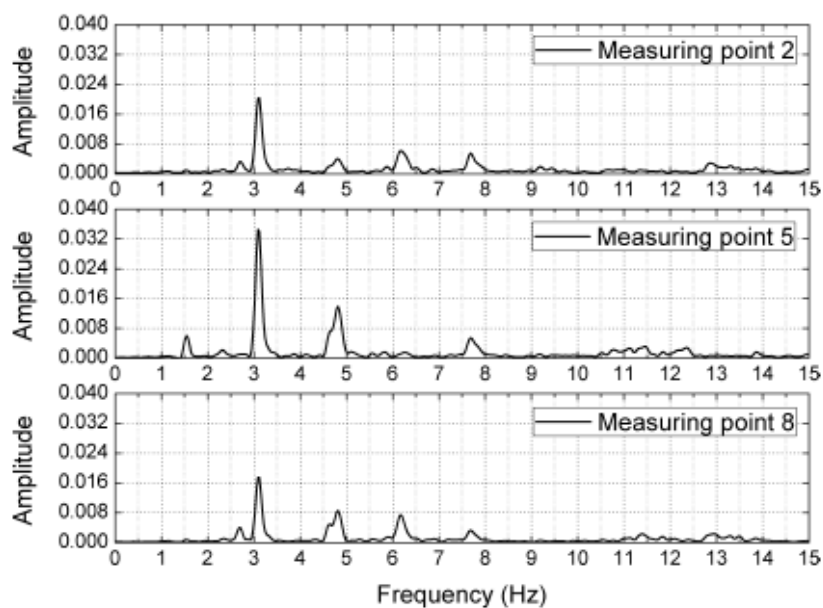
1.2 pav. CFS schema

Žmogaus sukeltos vibracijos tyrimai;

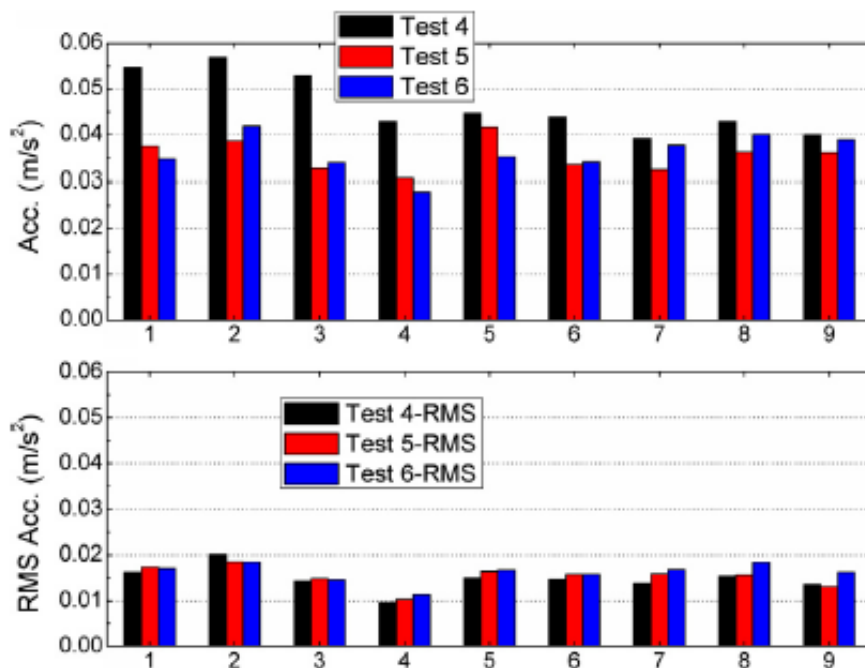
Pagrindiniai rezultatai, siekiant nustatyti dinamines charakteristikas, buvo gauti bandymais su žmogaus sukeltomis dinaminėmis apkrovomis, įskaitant mankštą, šokinėjimą, vaikščiojimą, bėgimą ir atsitiktinę veiklą. Vidutinis kvadratinis (RMS) pagreitis kiekvienam bandymui buvo apskaičiuotas su diskretiška Eq, manant, kad RMS pagreitis – vidutinis atsakymo matavimas. RMS vertės pagreitis labai priklauso nuo laikotarpio T tinkamumo, kurio pasirinkimas šiuo metu yra ginčijamas. Be to, šiame tyrime buvo priimta, kad $T = 1$ s, nes T apima laiko trukmę bent vienos pilnos konstrukcijos vibracijos atsako ciklo arba žmogaus sukeltos apkrovos, kurių didžiausias ciklo ilgis 0,49 s. Be to, ISO 10137 rekomenduoja apskaičiuoti $T = 1$ s. RMS pagreitis apskaičiuojamas pagal formulę: (1.1)

$$a_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a(t)^2 dt} \quad (1.1)$$

Pasirengimas bandymui buvo suskirstytas į tris kategorijas: vieno žmogaus, sinchroninis žmonių grupės, atsitiktinis žmonių grupės vaikščiojimų bandymai. 64 asmenų testavimas pagal daugiapakopį bandymą, kurie atliekami dėl erdvės apribojimų. 1.3 pav. matyti dinamiškos struktūros reakcijos, būdingos žmonių apkrovoms (tiek laiko, tiek dažnių srityse). 1.4 pav. parodytas maksimalus greitėjimas ir RMS pagreičių vertės kiekviename matavimo taške. Pagrindiniai komponentai pagreičio atsakymų dažnio srityje, kai dažniai yra 2,3 Hz, 3,05 Hz, 4,82 Hz, 6,17 Hz ir 7,68 Hz; 3.05 Hz dažnio komponentas turi didžiausią vertę. Dažnumas 3,05 Hz yra šalia dominuojančio natūralaus struktūros dažnio (3,06 Hz). Net pagal ritminius nurodymus yra neįmanoma pasiekti absoliutus sinchronizavimo, o faktiniai atsitiktiniai dažniai yra diskretiški. Dinaminis dažnio atsakas yra jėgos harmonija, kurios dažnis yra arti trečiojo natūralaus statinio dažnio.



1.3 pav. Dinaminis perdangos elgesys



1.4 pav. Perdangos pagreičiai

Vibracijos įvertinimas;

Apibendrinti visų bandymų rezultatai ir RMS pagreitis su $T = 1$ s ir $T = 10$ s, buvo apskaičiuoti pagal vibracijos kriterijus stadionams ir sporto salėms, yra nurodyti ISO 10137. 2 lentelėje pateiktas kriterijų taikymas iš ISO 10137 ir AISC didžiausiosios pagreičių vertės bei RMS pagreičio tipinių bandymų. AISC kriterijai yra riba, atitinkanti ritminius veiksmus, pėsčiųjų tinklus, o ISO kriterijai yra riba RMS pagreičiams ($T = 1$ s) ir atitinkamo RMS pagreičio ($T = 10$ s) komforto riba stadionuose

ir sporto salėse . RMS pagreitis atitiktų ISO ribą, ir didžiausio pagreičio šokinėjimo ir vaikščiojimo ribas.

3. Tomi Toratti, Asko Talja. „Classification of human induced floor vibrations“ (2006)

Šiame straipsnyje apibūdinamas bandymas sukurti klasifikavimo sistemą, vibracijos elgsenai perdangose. Surenkami pastarųjų 10 metų perdangų bandymų rezultatai: medienos, plieno ir gelžbetoninės perdangos. Pateikiamos skirtingos vibracijos verčių ribinės vertės. Pripažįstama, kad šias vertes gali prireikti koreguoti, nes surenkama daugiau duomenų. Klasifikavimo sistemos nauda yra ta, kad gamintojai ir klientai labiau suvokia faktines perdangų eksploatacines savybes ir tikslu pasiektą rezultatą. Ši perdangų klasė gali būti pasirinkta kiekvienu konkrečiu atveju, o ne vien tik minimalaus reikalavimo pagrindu kaip yra šiandien ir yra išskiriamos penkios kokybės klasės ir klasės naudojimo pavyzdžiai:

A - klasė aukštos kokybės butams;

B - klasė standartiniams butams;

C - klasė vienbučiams;

D ar E klasės priskiriamos vasarnamiams.

Taip pat pripažįstama, kad taškinės apkrovos deformacija yra vienas iš geriausių perdangų kokybės rodiklių, lengvosioms perdangoms kartu su natūraliu dažniu. „Panašūs rezultatai buvo nustatyti naujausiuose tyrimuose, atliktuose 2007 m Kanadoje“ [5].

Vibracijos klasės;

Šiame straipsnyje siūloma 5 klasių perdangų klasifikavimas gyvenamuosiuose ir biurų pastatuose (1.2 lentelė). minimalūs. Be to, skirtingų objektų vibracija labai priklauso nuo savybių ir objekto padėties [6].

1.2 lentelė. Grindų vibracijos klasifikacija pagal vibracijos intensyvumą

Kūno suvokimas	Gaminių vibracija
A Vibracija paprastai yra nepastebima.	Stiklo dirbinių vibracija ir augalo lapų judesiai paprastai yra nepastebimi.
B Vibracija yra vos pastebima.	Stiklo dirbinių vibracijos paprastai yra nepastebimos ir lapų judesiai yra vos pastebimi.
C Vibracijos yra pastebimos.	Bazinė stiklo dirbinių vibracijos klasė, kuri yra vos pastebima. Lapų judesiai pastebimi.
D Vibracija aiškiai matoma ir pastebima.	Stiklo dirbinių vibracija ir lapų judesiai aiškiai pastebimi.
E Virpesiai yra stipriai pastebimi	Stiklo dirbinių vibracija ir lapų judesiai yra labai pastebimi.

1.3 lentelėje pateiktas pasiūlymas dėl mažiausių leistinų vibracijos klasių. Vibracijos klasė turi būti visada susitarta su klientu.

1.3 lentelė. Pasiūlymas dėl vibracijos klasių biure ir gyvenamuosiuose namuose

A	Normali vibracijos klasė, perkelta iš kito buto. Speciali klasė vibracijoms, viduje viename bute.
B	Žemesnė klasė vibracijai, perkeltai iš kito buto. Aukštesnė klasė vibracijoms viduje viename bute.
C	Bazinė klasė- Standartinė vibracijos klasė viduje viename bute.
D	Žemesnė klasė vibracijoms viduje viename bute. Pavyzdžiui, palėpėse ir vasarnamiuose.
E	Klasė be apribojimų.

Priėmimo ribos;

1.4 lentelėje pateikiamos preliminarios parametų ribinės vertės atitinkamoms vibracijos klasėms, kurios bus naudojamos arba projektuojant, arba bandant perdangas. Ribinės vertės pateikiamos pagal tokį dizainą:

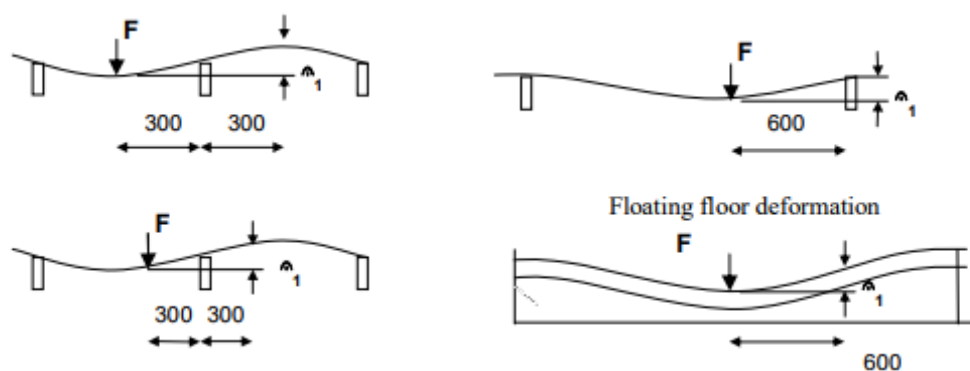
- Pagrindinis dažnis f_0 . Dažnis $f_0 = 9$ Hz padalija grindis į žemo dažnio ir aukšto dažnio grindis.
- Pagreičio $[m/s^2]$ ir greitis v_{rms} $[mm/s]$

- Maksimalus vertikalusis poslinkis $|u_{max}|$
- Didžiausias vertikalusis greitis v_{max}
- Bendras apkrovos elemento d_0 (mm) poslinkis dėl 1 kN taškinės apkrovos yra naudojamas aukštas dažnis grindyse.
- Vietinis poslinkis d_1 [mm] dėl 1 kN taško apkrovos, kuri yra papildoma dalis.

Atstumas nuo jėgos iki atskaitos taško, nuo kurio matuojamas poslinkis, nėra mažesnis nei 600 mm. Atstumas ir vietinis poslinkis matuojamas nuo viršutinio paviršiaus grindų. Pirmiausia nurodyti kiekiai yra vidutinės vertės, išmatuotos iš trijų atskirų bandinių ir jose yra didžiausias kiekvieno pavyzdžio virpesys. Maksimali vertė yra maksimalus nuokrypis nuo matuojamo mėginio vidurkio. Vaikščiojančio žmogaus svoris yra apie 80 kg, o greitis - 2 Hz. Jei grindys yra žemo dažnio, taip pat žingsnio dažnis proporcingas pagrindiniam grindų dažniui. Šiuo atveju žingsnio dažnis yra nustatomas iš pagrindinio dažnio dalijant jį sveikuoju skaičiumi, o tai reiškia, kad žingsnio dažnis mažesnis kaip 2 Hz, bet kiek įmanoma arčiau 2 Hz. Vibracijos šaltinio atstumas iki matavimo prietaiso yra ne mažesnis kaip 600 mm.

1.4 lentelė. Preliminarūs vibracijos klasių priėmimo apribojimai

	Žemo dažnio perdangos	Aukšto dažnio perdangoms				
Klasė	Vibracijos vertė				Deformacijos vertės	
	a_{rms} [m/s ²]	v_{max} [mm/s]	v_{rms} [mm/s]	$ u_{max} $ [mm]	Globalus nuokrypis δ_0 [mm/kN]	Lokalus nuokrypis δ_1 [mm/kN]
A	≤ 0.03	≤ 4	≤ 0.3	≤ 0.05	≤ 0.12	≤ 0.12
B	≤ 0.05	≤ 6	≤ 0.6	≤ 0.1	≤ 0.25	≤ 0.25
C	≤ 0.075	≤ 8	≤ 1.0	≤ 0.2	≤ 0.5	≤ 0.5
D	≤ 0.12	≤ 10	≤ 1.5	≤ 0.4	≤ 1.0	≤ 1.0
E	≤ 0.12	> 10	> 1.5	> 0.4	> 1.0	> 1.0



1.5 pav. perdangų skirtingi skaičiavimo variantai

4. INTERNATIONAL STANDARD ISO 10137 Bases for design of structures — Serviceability of buildings and walkways against vibrations

Tarptautiniame statybos standarte analizuojama didelio stiprumo ir lengvųjų konstrukcijų ekonominio panaudojimo tendencijas reguliuojančios struktūros. Šią tendenciją dar labiau sustiprina naujai veikiančių vibracijos šaltinių atsiradimas.

Tai sustiprina vis didėjantis „vibracijos neturinčios“ aplinkos poreikis: tinkamas pramoninių ir laboratorinių procesų bei priemonių veikimas, darbo efektyvumas ir asmeninis komfortas. Anksčiau pastatų vibracijos daugiausia buvo kontroliuojamos nurodant apkrovas arba statinių nuokrypių apribojimus, arba ji tiesiog nebuvo vertinama dėl masinio pastatų pobūdžio. Nepaisant to, pastebėta, kad dėl netinkamų vibracijos lygio pastatų skaičiaus, netiesioginiai kriterijai nebėra tinkami. Taigi šis tarptautinis standartas buvo sukurtas siekiant pristatyti vibracijos prognozavimo principus projektavimo etape, be to įvertinti esamų konstrukcijų vibracijų priimtinumą.

Šiame standarte yra pateiktos rekomendacijos, kurios tinkamos naudoti pastatams ir pėsčiųjų tiltams. Vis dėlto kai kurios vibracijos (paprastai susijusios su rezonansu) gali tapti pavojumi saugumui. Todėl sunkioms perdangoms dinaminė apkrova, galimo rezonanso atsiradimo ir susijusių ribinių įtempių, nukrypimų tikrinimas ir nuovargio poveikis yra mažesnis. Čia aptartos vibracijos poveikis ir tinkamumo naudoti riba nurodyta pagal ISO 2394 standartą.

„Vibracijos eksploatacinių savybių ribos būseną apibūdinama apribojimais, paprastai sudarytais iš vibracijos verčių (poslinkis, greitis arba pagreitis), dažniausiai kartu su dažniu ar dažnių diapazonu ir galbūt su kitais parametrais“ [7]. Apribojimai taip pat gali būti susiję su stresu, deformavimu, įtrūkimu ir trukme.

Standarte yra aprašomi projektavimo ar įvertinimo kriterijai, naudojami norint pasiekti tinkamą pastatų ir konstrukcijų vibraciją. Naudojant ribinės būklės pėsčiųjų takus ir didžiaangės perdangas, turėtų būti apsvarstyti, be kita ko, šie aspektai:

- a) žmoniškųjų keleivių tolerancijos kintamumas dėl kultūrinių, regioninių ar ekonominių veiksnių;
- b) statybinio turinio jautrumas vibracijai ir besikeičiantis naudojimas ir užimtumas;
- c) atsiradus naujoms dinaminėms apkrovoms, kurios nėra aiškiai aptartos šiame tarptautiniame standarte;
- d) medžiagų, kurių dinaminės charakteristikos gali pasikeisti naudojant;
- e) analizės nepraktiškumas dėl apkrovimo struktūros arba sudėtingumo;
- f) netinkamos veiklos socialinės arba ekonominės pasekmės.

Standarte aptariama taikymo sritis;

Šis tarptautinis standartas pateikia rekomendacijas dėl tinkamumo naudoti vibracijas pastatuose ir takuose pastatuose arba juos jungiant arba už pastatų ribų. Ji apima tris vibracijos gavėjus:

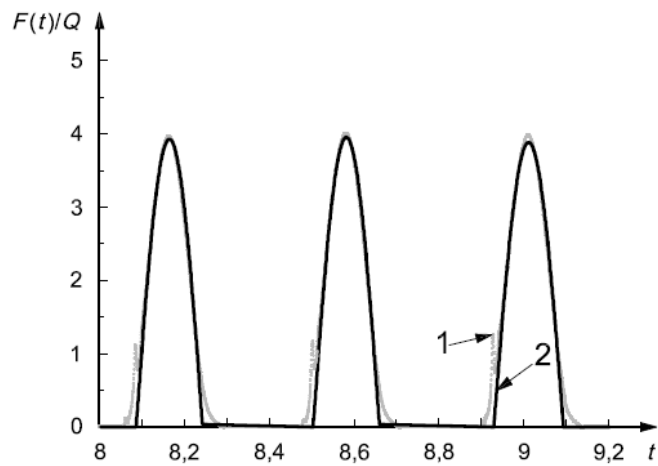
- a) žmonių užimtumas pastatuose ir pėsčiųjų tiltuose;
- b) pastato turinį;
- c) pastato struktūrą.

Tai neapima tiltų, kuriais važiuoja transporto priemonė, netgi kartu su pėsčiųjų eismu nei pagrindų konstrukcijų arba mašinų pagalbinių konstrukcijų.

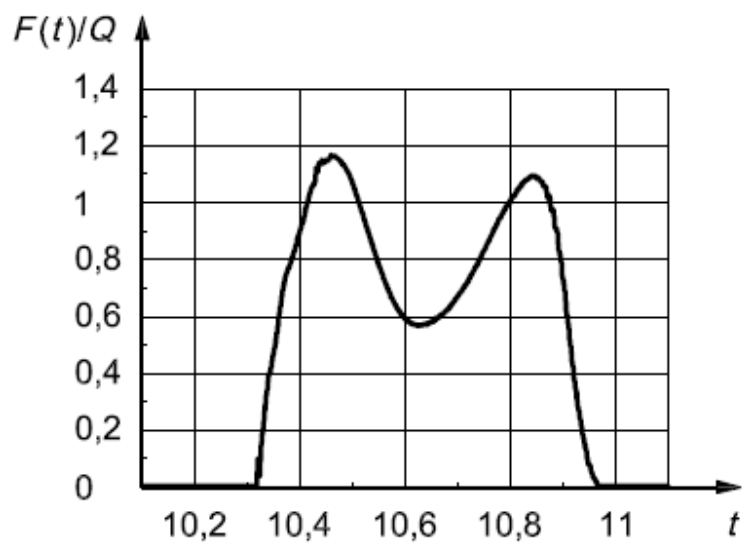
Taikant šį tarptautinį standartą daroma prielaida, kad statybinė konstrukcija reaguoja tiesiai į taikomąsias apkrovas. Tai reiškia, kad struktūra nesukurta arba nesėkminga, taip pat ji nėra reikšminga.

Šiame standarte aprašomos dinaminės jėgos;

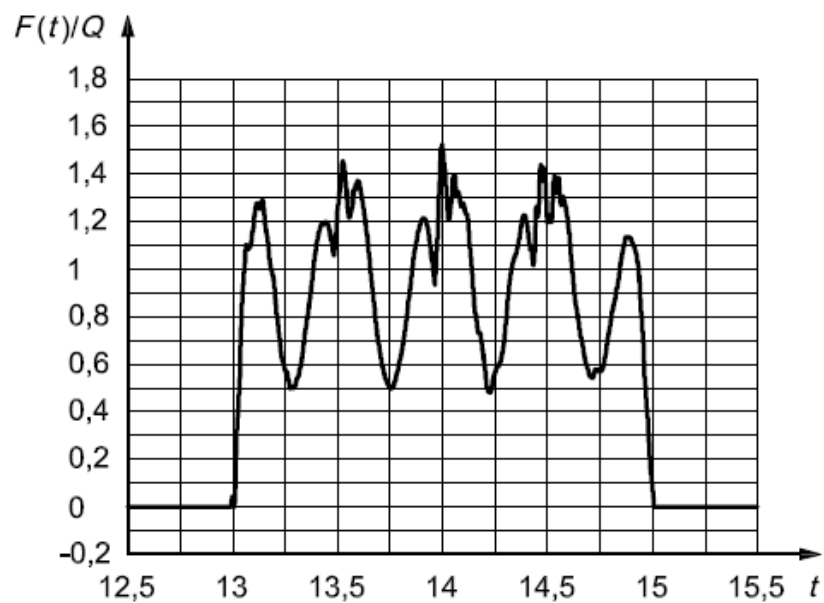
„Dinaminė jėga $F(t)$, kurią padidina žmogaus svoris Q , atlieka pasikartojančias suderintas veiklas atstovaujant jas kaip laiko t funkcija pulsuoja“ [8]. Pavyzdžiai pateikti 1.6, 1.7 ir 1.8 paveiksluose.



1.6 pav. Vertikalios jėgos pavyzdys nuo standaus pagrindo vienam žmogui nuolat šokinėjant



1.7 pav. Vertikalios jėgos pavyzdys nuo standaus pagrindo vienam žmogui vaikštant



1.8 pav. Vieno žmogaus, vaikščiojančio 3 m ilgio, jėgos funkcijos pavyzdys- instrumentinė platforma

Veiksmas gali būti išreikštas dažnio srityje kaip Furjė eilutė:

$$F_v(t) = Q \left(1 + \sum_{n=1}^k \alpha_{n,v} \sin(2\pi n f t + \phi_{n,v}) \right) \text{ vertikalia kryptimi} \quad (1.2)$$

$$F_h(t) = Q \left(1 + \sum_{n=1}^k \alpha_{n,h} \sin(2\pi n f t + \phi_{n,h}) \right) \text{ horizontalia kryptimi} \quad (1.3)$$

$\alpha_{n,v}$ - yra skaitinis koeficientas, atitinkantis n-tą harmoningą vertikalią kryptį;

$\alpha_{n,h}$ - yra skaitmeninis koeficientas, atitinkantis n-tosios harmonikos, horizontalią kryptį

Q yra dalyvaujančio asmens statinė apkrova;

f - pakartotinio pakrovimo dažnio sudedamoji dalis f yra pusė aktyvumo laipsnio vaikščiojimo ar važiavimo atveju.

$\phi_{n,v}$ - n-tosios harmonikos, vertikalių krypties fazinis kampas;

$\phi_{n,h}$ - n-tosios harmonikos, horizontalios krypties fazinis kampas;

n - yra sveikasis skaičius, žymintis pagrindines harmonijas;

k - harmonikos, charakterizuojančios įjungimo funkciją dažnių intervale, skaičius.

5. M R Willford, P Young A Design Guide for Footfall Induced Vibration of Structures (2006)

Šiame vadove aprašyta patikima vertikaliosios vibracijos prognozavimo metodika pėsčiųjų kirtimo struktūros, tokios kaip perdangos ir tiltai.

Pateiktas metodas apima visus toliau apibūdintus aspektus nuosekliai. Taigi šis būdas:

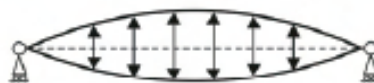
- Taikomas bet kokiam konstrukcijos tipui, per kurį žmonės vaikšto, įskaitant perdangas ir tiltus.
- Taikoma bet kokios formos arba statybinės medžiagos konstrukcijoms, pvz. plienas ir t.t., siekiant stiprinti arba iš anksto įtemptus betoninius ar medinius statinius, ir leidžia patikimai palyginti skirtingų formų ir medžiagų dizainus.
- Sudėtingos netaisyklingos struktūros gali būti patikimai įvertintos kaip paprastos, reguliarios.

- Rekomenduojamos funkcijos, kuriomis yra pagrįstos labai plačiais išmatuotais duomenimis ir apkrovomis bei jų atsiradimo tikimybės yra statistiškai kiekybiškai įvertintos.
- Metodologija buvo plačiai patvirtinta ir nepriklausomai peržiūrėta.
- Šis metodas buvo naudojamas reguliariai projektuojant projektus visame pasaulyje per pastaruosius penkerius metus ir jo tikslumas patvirtintas daugybe matavimų ir baigtų konstrukcijų.
- Jis yra gerai suderinamas su šiuolaikiniais inžinerinio projektavimo metodais ir programinės įrangos paketais.

Šiame vadove apibūdintas metodas pagrįstas nusistovėjusia modalinių principų analize. Tai leidžia atlikti pirmuosius bandymus ir skirtingai nuo daugelio kitų metodų, tai nereikalauja savavališkų ar empirinių veiksnių įvedimo. Tai tampa tvirtu bet kokios statybinės medžiagos konstrukcijos įvertinimo metodu. „Šis metodas yra tinkamas apskaičiuoti vibraciją, kurią sukelia pėstieji vaikščiojantys ant plokščio paviršiaus bet kokioje struktūroje, kuri yra žymiai sunkesnė.“ [9]. Nors labai paprastas reguliarias struktūras galima visiškai įvertinti naudojantis rankiniais ar skaičiuoklės apskaičiavimais, numatoma, kad metodas bus naudojamas daugiausia kartu su baigtinių elementų analize, kaip modalinių savybių įvertinimo priemonė perdangų ir tiltų konstrukcijų. Nors tai gali būti laikoma papildomu sudėtingumu praktiškai papildomas tikslumas, kad baigtinių elementų analizė mažiau reguliarias struktūras sukelia vertinimus susijusius su pastatu ir analizuojamu modeliu. Šis metodas buvo sukurtas „Arup“ ir įvertintas pagal išmatuotas charakteristikas jau užbaigtų statinių per dešimt metų.



(a) A bridge as a simply supported beam

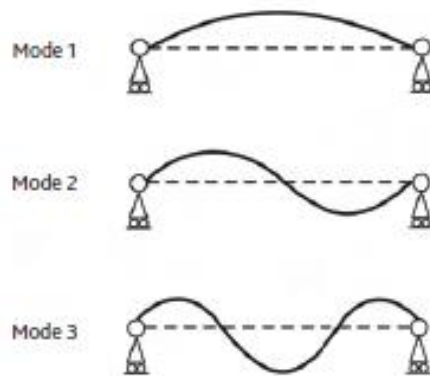


(b) The first mode of vibration



(c) The displacement of mid-span after someone jumps once at mid-span

1.9 pav. Tiesioginis perdangos sužadimas jos viduryje pridėjus dinaminę apkrovą



1.10 pav. Pirmosios trys vibracijos formos

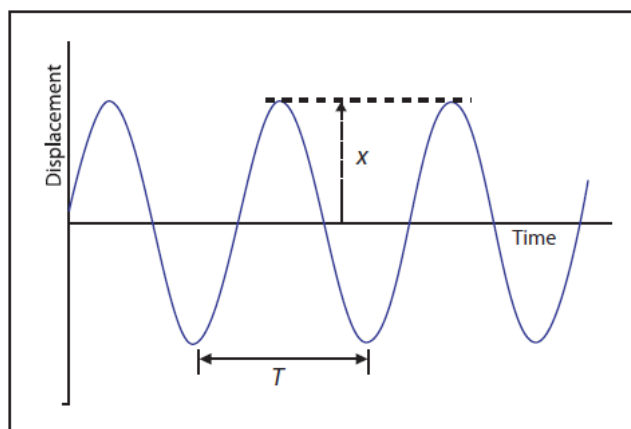
Šiame straipsnyje aprašyta metodika reikalauja modalinių savybių vertinimo (t. y., dažnis, režimo forma, modalinė masė ir slopinimas) visų atitinkamų režimų struktūra. Išsami informacija apie tai, kaip tai padaryti, yra aprašyta toliau. Nors kai kuriems paprastos ir reguliarios struktūros gali būti naudojamos analitiniams sprendimams, lengviausias bendras metodas yra baigtinių elementų analizė, kuris dabar yra plačiai prieinamas dizaino biuruose.

Prieš bandant prognozuoti vibracijos lygį, būtina suprasti, kaip vyksta vibracija. Bendrieji terminai ir tie, kurie konkrečiai nurodo sukiamą vibracijos pakilimą, yra apibūdinti toliau kartu su tipiškais veiklos tikslais taip pat pateikiamas ir skirtingas naudojimas.

Kiekybiškai nustatyti vibraciją reikalingi bent du parametrai. Oficialūs apibrėžimai kai kurie iš jų yra įtraukiami į žodynėlį, tačiau metriką paprastai nurodo arba vibracijos dydis (pvz., judesio amplitudė) arba cikliškumas, kuriuo jis susidaro (pvz., dažnis).

Pirmiausia pagalvota apie sistemą, kuri vibruoja taip, kad jos poslinkis yra sinusinė laiko funkcija, kaip parodyta 1.11 paveiksle. Tai žinoma kaip paprastas harmoningas judesys. Santykiai tarp poslinkio (x) ir laiko (t) pateikti žemiau.

$$x = X \sin \omega t \quad (1.4)$$



1.11 pav. Vibracijos perkėlimo laiko istorija T ir amplitudė X

Ši vibracija turi T laikotarpį ir dažnį (f) $1/T$ ciklą per vieną laiką. Jei matuojamas T sekundėmis, tada dažnio vienetas yra Hercas (Hz), o f - vibracijos skaičius – tai ciklai per sekundę. Dažnumas kartais išreiškiamas kaip kampinis dažnis (ω), kuris yra radianų skaičius per sekundę; cikle yra 2π radianų. Periodas, dažnis ir todėl kampinis dažnis yra susiję tokiomis lygtimis:

$$f = 1/T \quad \omega = 2\pi f \quad (1.5)$$

Pirmosios grindų sekcijos režimo natūralus dažnis ir modalinė masė yra:

$$f_0 = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{D_y}{mL^4}} \quad ; f_1 = K_f f_0$$

$$\hat{m} = \frac{mLW}{4} \quad (1.6)$$

K_f yra natūralaus elementų, priskiriamų "pirminiam spinduliui" dažnis, daugiklis krypties "dvipusio" apimtis, ir pateikiama kaip grindų pločio / skerspjūvio santykio ir grindų standumo santykio funkcija. Dvi kryptys, D_x/D_y turėtų būti naudojamos kietosioms arba briaunotoms betono grindims, kurios gali turėti didelį sukamąjį standumą.

6. Lukas Wolski(2006) Natural frequency of Cobiax flat slabs

„Problema dėl žmogaus patiriamo diskomforto dėl žemo lygio betono plokščių vibracijos yra svarbus veiksnys, į kurį atsižvelgiama bet kurio projektavimo proceso metu“ [10]. „Pastaruoju metu tęsiasi tendencija, kad didelės atviros perdangos, be pertvarų ir padidėjęs lankstumas, dizaino estetika, didina grėsmę sukeliančią perdangos vibraciją“ [11]. Šiame tyrime nagrinėjamos kelios su šia problema susijusios problemos.

Iš pradžių pateikiamos tam tikros priimtinių ribų rekomendacijos pagal nacionalinius standartus kaip rodo nepriklausomi autoriai. Kitos tyrimo sritys apima supaprastintus rankinius skaičiavimo metodus, apytikslus betoninių plokščių pagrindinių dažnių įvertinimas. Pateikiami įvairūs metodai, o po to jie lyginami ir įvertinami su keliais pavyzdžių sprendimais. (iš tiksliai baigtinių elementų programinės įrangos).

Trečiame skyriuje daugiausia dėmesio skiriama konkrečiam dviašiam dažniui tuščiavidurio betono plokštei- Cobiax. Vibracijos tyrimas skirtingais parametrais buvo atliekamas naudojant baigtinį elementą ir programinę įrangą. Gauti ir palyginti septynių skirtingų grindų dizaino duomenys, įprastinės kietos plokštės, kurios leidžia galutinai įvertinti vibracijos charakteristikas Cobiax plokščiųjų plokščių.

7. Design Guide for Floor Vibrations ArcelorMittal Europe - Long Products Sections and Merchant Bars

Norint prognozuoti vibraciją, kelios dinamiškos grindų charakteristikos yra aktualios. Šios charakteristikos ir supaprastinti jų nustatymo metodai yra trumpai apibūdinamos.

Grindų projektavimo ir vertinimo metodai vibracijai, kuri yra susijusi su žmogaus sukeltomis rezonansinėmis vibracijomis, daugiausia dėl vaikščiojimo normaliomis sąlygomis. Mašinų sukeltos vibracijos arba dėl srauto ir t.t. netaikomos vibracijos šiame projektavimo vadove.

Projektavimo vadovas neturėtų būti taikomas pėsčiųjų tiltams ar kitoms konstrukcijoms, kurios neturi struktūrinės charakteristikos arba būdingos naudojimui, panašioms į pastatus.

1. Nustatomos dinaminės grindų charakteristikos:

- natūralus dažnis
- modalinė masė
- Slopinimas

2. OS-RMS90 – Vertė

3. Nustatyta priėmimo klasė

Kiekviena struktūra turi savo specifinį dinaminį elgesį formos ir trukmės T [s] vienetini svyravimą. Dažnis f yra sukimosi laiko T ($f = 1/T$) abipusė reikšmė.

Natūralus dažnis - tai laisvųjų svyravimų dažnis.

„Kiekviena struktūra turi tiek natūralių dažnių, tiek susijusių režimo formų kaip laisvės, laipsnis“ [12]. Jie dažniausiai yra rūšiuojami pagal energijos kiekį, kurį sukelia vibracija. Todėl pirmasis natūralus dažnis yra mažiausias energijos lygis, todėl jis yra labiausiai tikėtinas, kad bus aktyvuotas.

Vienos laipsnio laisvės sistemos natūralaus dažnio lygtis yra:

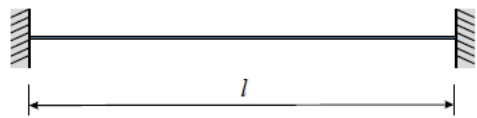
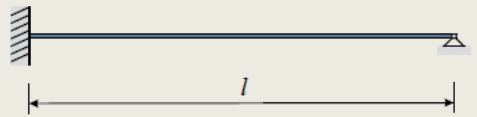
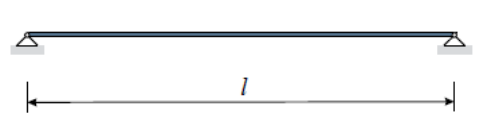
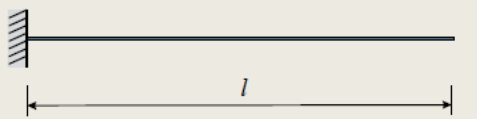
$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi} \sqrt{\frac{K}{M}} \quad (1.7)$$

RMS reikšmė pagreičiui reikšmingam žingsniui, apimanti 90% žmonių žingsnių.

OS: vienas žingsnis

a_{RMS} : šaknies vidurkis kvadratas = efektyvi vertė, čia greitis v :

$$a_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v \cdot (t)^2 dt} = \frac{v_{Peak}}{\sqrt{2}} \quad (1.8)$$

Support Conditions	Natural Frequency	Modal Mass
	$f = \frac{4}{\pi} \sqrt{\frac{3 EI}{0.37 \mu l^4}}$	$M_{mod} = 0.41 \mu l$
	$f = \frac{2}{\pi} \sqrt{\frac{3 EI}{0.2 \mu l^4}}$	$M_{mod} = 0.45 \mu l$
	$f = \frac{2}{\pi} \sqrt{\frac{3 EI}{0.49 \mu l^4}}$	$M_{mod} = 0.5 \mu l$
	$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{3 EI}{0.24 \mu l^4}}$	$M_{mod} = 0.64 \mu l$

1.12 pav. Pirmasis sijų svyravimo dažnis

2. Darbo tikslas

Tikslas - išanalizuoti gelžbetoninėje perdangoje atsirandančius savuosius svyravimo dažnius ir vibracijas nuo žmonių srautų, sudaryti kompiuterinius skaičiuojamuosius modelius. Gauti ir iširti imitacijos rezultatus.

3. Uždaviniai

Keliami tokie darbo uždaviniai;

1. Išnagrinėti perdangose atsirandančias vibracijas nuo savos masės;
2. Išnagrinėti perdangose atsirandančias vibracijas nuo žmonių;
3. Pagerinti perdangos savybes taip, kad jos vibracijos sumažėtų.

4. Laukiami rezultatai

Laukiamas darbo rezultatas- išanalizuoti didelių tarpatramių liaunų gelžbetoninių perdangų savuosius svyravimo dažnius bei surasti veiksnius, darančius jiems įtaką. Taip pat gauti perdangos svyravimo pagreitį ir padidinti perdangos svyravimo dažnį, sumažinti svyravimo pagreitį bei gauti perdangos optimaliausią konstrukcinį variantą.

5. Tyrimų metodologija / Taikomi tyrimo metodai

Pasirinktos temos didelių tarpatramių liaunų gelžbetoninių perdangų vibracijos nuo žmonių taikymo ir projektavimo palyginamąja analize ieškant optimaliausio varianto. Racionalizavimo metodo paieškoms pasitelkiamos kelių tipų perdangos, su skirtingais konstrukciniais sprendimais. Visiems perdangų tipams skaičiuojamas erdvinis modelis, kuriame priimama toks pat perdangos ilgis, tos pačios apkrovos, tik skirtingos konstrukcinės schemas.

Natūralių dažnių skaičiavimas „Scia Engineer“ programoje;

„Scia Engineer“, kaip skalės faktorius, buvo įdiegtas M-ortonormalizacija. Tai parodyta tokiu santykiu:

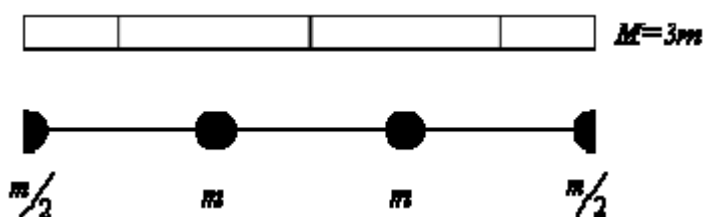
$$\Phi_i^T \cdot M \cdot \Phi_i = 1 \quad (5.1)$$

Kai kurios M-orto normalizacijos charakteristikos yra

$$\Phi_i^T \cdot M \cdot \Phi_j = 0, \text{ kai } i \neq j \quad (5.2)$$

$$\Phi_i^T \cdot K \cdot \Phi_i = \omega^2 \quad (5.3)$$

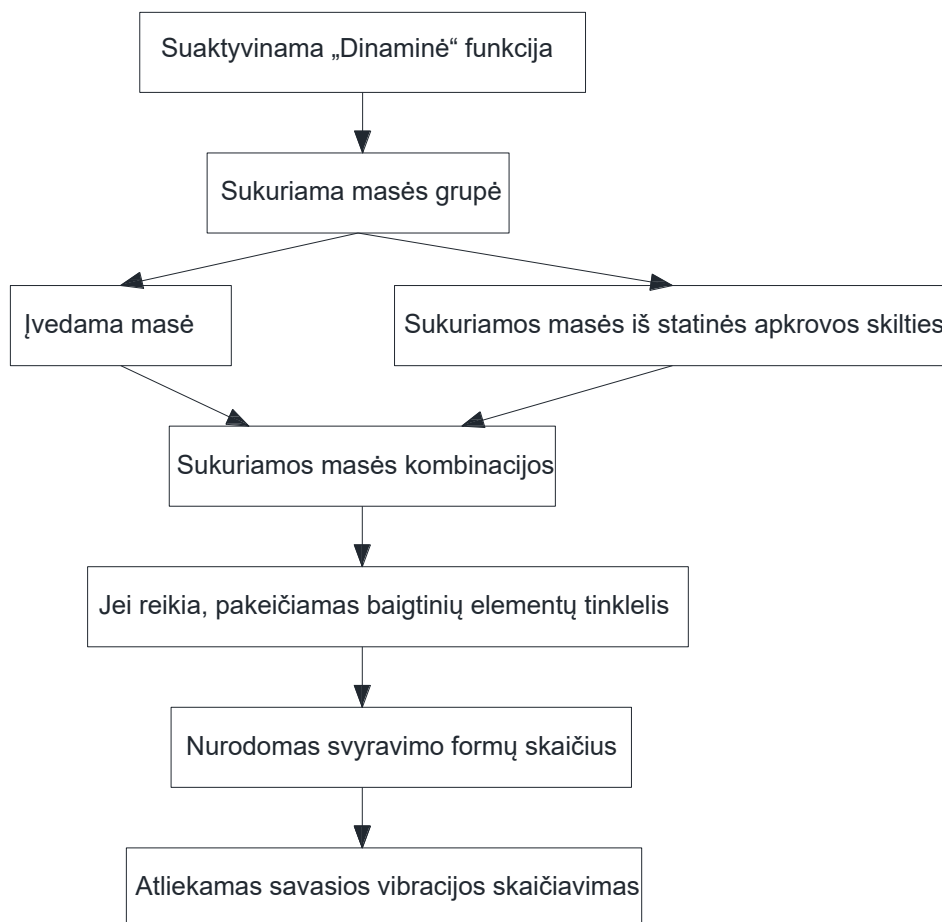
M matricą galima apskaičiuoti įvairiais būdais. „Scia Engineer“ taip naudoja matricos masę pateikiamos kaip M-matricos. Vienkartinė masės matrica suteikia didelių pranašumų dėl atminties naudojimo ir skaičiavimo pastangų, nes šiuo atveju M matrica yra įstrižinė matrica. „Taigi masės yra nukreiptos į baigtinių elementų tinklelio mazgus“ [13]. Šis principas yra iliustruotas 5.1 pav.:



5.1 pav. Masės yra nukreiptos į baigtinių elementų tinklelio mazgus

Taigi savųjų masių ir savųjų dažnių apskaičiavimas atliekamas pagal diskredituotą baigtinio elemento modelio struktūrą. Tai reiškia, kad vietoj bendros struktūros yra begalinis skaičius laisvės laipsnių, analizuojamas skaičiavimo modelis su ribotu laisvės laipsnių skaičiumi. Laisvės laipsnių skaičių paprastai galima nustatyti paprastu dauginimu: skaičius mazgų dauginamas iš galimų poslinkių mazge. Svarbu žinoti, kad modelio tikslumas yra proporcingas diskreditacijose tikslumui, tai yra baigtinių elementų tinklelio elementų skaičius. Šis būdas beveik neturi praktinės reikšmės statinio skaičiavimo analizei. Tačiau dinaminei ir nelineijinei analizei jis yra labai svarbus, nes gali labai pakeisti rezultatų tikslumą.

Toliau pateiktoje schemoje parodyti įvairūs etapai, kuriuos reikia atlikti norint išanalizuoti ir apskaičiuoti dinaminės apkrovos poveikį.



5.2 pav. Natūralaus dažnio skaičiavimo algoritmas „SCIA Engineer“ programoje

Analizė tarp statinio ir dinaminio skaičiavimo yra aiški: statiniame skaičiavime apkrovos yra suskirstytos į apkrovų grupes, o apkrovų grupės yra naudojamos sudaryti kombinacijoms, kai tuo tarpu atliekant dinaminį skaičiavimą masės yra sugrupuotos į masių grupes ir masių grupės yra naudojamos masių deriniams. Toliau bus aptariamas dinaminės apkrovos skaičiavimas „Scia Engineer“ programoje. Taigi pirmiausia „Scia Engineer“ programoje nustatomi savieji modeliai ir jie naudojami pusiausvyros lygčių atskyrimui į antrosios eilės diferencialinių lygčių rinkinį, kuris yra vienas po kito sprendžiamas tiesiogine laiko integracija grindžiama pateiktose lygtyse;

$$\Phi_i^T \cdot M \cdot \Phi_j = 0, \text{ kai } i \neq j \quad (5.4)$$

$$\Phi_i^T \cdot M \cdot \Phi_i = 1, \text{ kai } i = j \quad (5.5)$$

$$\Phi_i^T \cdot K \cdot \Phi_i = \omega_i^2 \quad (5.6)$$

$$y = \varphi \cdot Q \quad (5.7)$$

Kur φ yra nuosavųjų vektorių matrica ($n \times n$), o Q yra laiko priklausomas vektorius.

$$M \cdot \varphi \cdot \ddot{Q} + C \cdot \varphi \cdot \dot{Q} + K \cdot \varphi \cdot Q = F \quad (5.8)$$

Kai lygtis yra iš anksto padauginta iš φ^T ir atsižvelgiama į aukščiau pateiktas lygtis, gaunama;

$$\ddot{Q} + \varphi^T \cdot C \cdot \varphi \cdot \dot{Q} + \Omega^2 \cdot Q = F \quad (5.9)$$

Šis lygčių rinkinys vis dar yra susietas dėl slopinimo termino. Tačiau jei C yra priimtas (tai reiškia, kad $\varphi^T C \varphi$ sumažina tik įstrižaines), tada lygtys nėra susietos ir gali būti išspręstos atskirai. Bendrieji rezultatai gaunami surenkant individualius rezultatus, taip pat yra tikslus sprendimas, jei tinka C prielaida. Tačiau jei tik keletas savųjų vektorių ($m < n$) naudojami φ vietoj visų savo vektorių, tada lygčių sistema ir sprendimų superpozicija suteikia sprendinį y , kuris yra priartėjęs prie tikslaus sprendinio.

„Scia Engineer“ programoje yra daroma prielaida C , taip pat daroma prielaida, kad visi modalinio slopinimo veiksniai yra pastovūs. Tai reiškia, kad;

$$\Phi^T \cdot C \cdot \Phi = 2 \cdot \omega_i \cdot \xi \cdot \delta_{ij} \quad (5.10)$$

Vertė ξ yra vienas iš įvesties duomenų ir vadinamas slopinimo koeficientu.

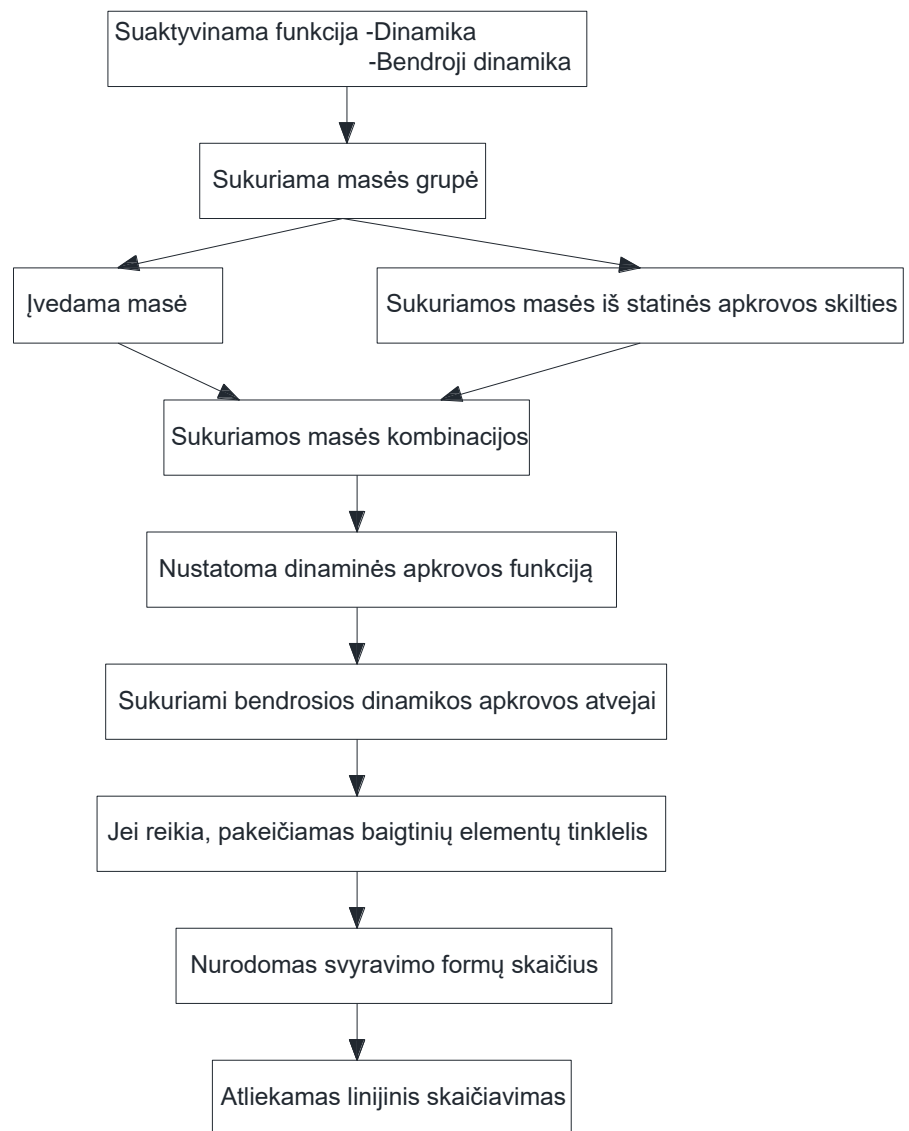
Metodas, naudojamas kiekvienai atsitai antrosios eilės diferencialinei lygčiai išspręsti, yra „Newmark“ metodas. Šis metodas yra besąlygiškai stabilus, bet jo tikslumas priklauso nuo laiko stadijos. Šį laiko žingsnį turi pateikti vartotojas. Ši siūloma vertė apskaičiuojama taip: 0,01 ten yra mažiausias visų rūšių režimas, į kurį reikia atsižvelgti.

Ši siūloma vertė garantuoja tikslumą, kuris yra didesnis nei 1 % per kiekvieną šio didžiausio režimo integracijos laikotarpį. Daugeliu atveju gali būti naudojamas didesnis laiko etapas, nes šio paskutinio režimo indėlis yra nedidelis.

Modalinis svoris yra trečiasis kriterijus, kurį galima naudoti.

„Scia Engineer“ programoje įmanoma įvesti dinaminę funkciją. Tai gali būti naudojama įvairiais tikslais, pavyzdžiui, harmoningos apkrovos, ėjimo ir pan. Tokiu atveju vartotojas turi įvesti dinaminę funkciją, kuri parodo dažnumą pagal laiko trukmę.

Toliau pateiktoje schemoje pavaizduoti įvairūs etapai, kurie yra reikalingi norint atlikti ir išanalizuoti dinaminės apkrovos poveikį bei jį apskaičiuoti:

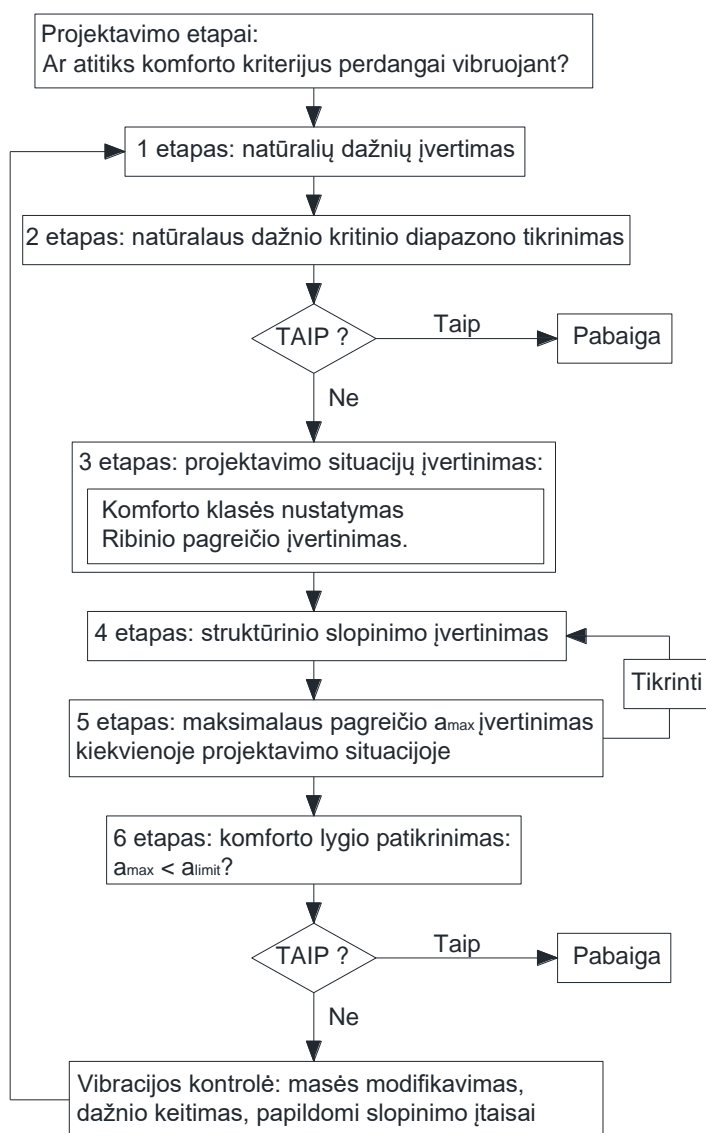


5.3 pav. Dinaminės apkrovos įvertinimas „SCIA Engineer“ programoje

6. Tyrimai ir jų rezultatai

Buvo tiriama didelių tarpatramių liaunų gelžbetoninių perdangų savieji svyravimo dažniai, kaip jie priklauso nuo perdangos ilgio, pločio, aukščio, betono stiprumo, perdangos inercijos momento ir savosios masės tai pat nuo jos atrėmimo tipo.

Buvo sukurta „Excel“ programoje skaičiuoklė, kurios pagalba yra suskaičiuojami perdangos savieji svyravimo dažniai, taip pat svyravimo pagreitis nuo vieno žmogaus RMS. „Excel“ programoje gautus savuosius svyravimo dažnius lyginome su „SCIA Engineer“ skaičiavimo programoje gautais rezultatais.



6.1 pav. Skaičiavimo algoritmas

Dažnis – „fizikinis dydis, rodantis, kiek kartų įvykis pasikartoja per laiko vienetą. Norint apskaičiuoti įvykio dažnį, pasikartojimų skaičius per tam tikrą laiko tarpą dalinamas iš to laiko tarpo trukmės“ [14].

$$f = \frac{1}{T} \quad (6.1)$$

T – „periodas (laiko tarpas, per kurį įvyksta 1 svyravimas)“ [14]

Perdangos savasis svyravimo dažnis - „tai svyravimai kuriuos sukelia kūne veikiančios vidinės jėgos (kurios vyksta savaime)“ [15].

$$f = \frac{2}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot E \cdot I}{0,49 \cdot \mu \cdot l^4}} \quad (5.2)$$

E -betono tamprumo modulis:

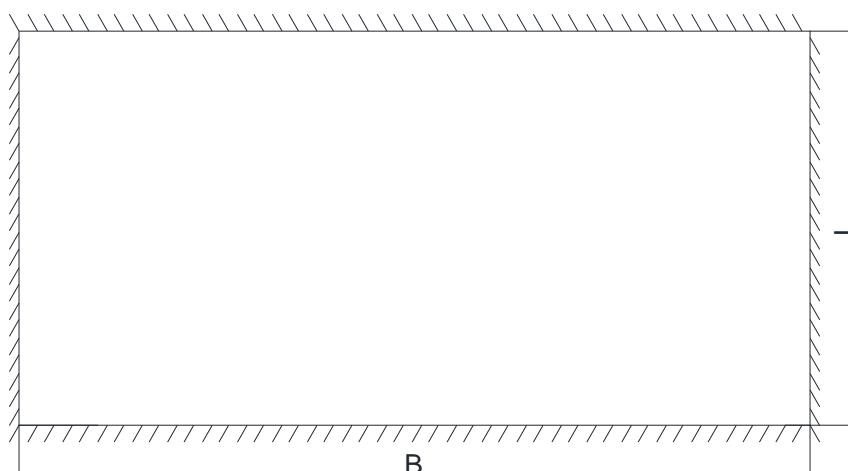
I - skerspjūvio inercijos momentas – „fizikinis dydis, lygus kūną sudarančių materialijų taškų masių ir jų atstumų kvadratų iki nagrinėjamos sukimosi ašies sandaugų sumai“ [16].

l -perdangos ilgis;

μ -paskirstyta masė kg/m^2

6.1. Perdangos savojo svyravimo dažnio skaičiavimas

Šiame skyrelyje bus aptariamas perdangos savojo svyravimo dažnio apskaičiavimas. Taigi pirmiausia yra apskaičiuojamas monolitinės perdangos savasis svyravimo dažnis.



6.1.1 pav. Perdangos schema

H=0,30 m

B=30 m

L=12 m

E=30 Gpa

I=0,0025 m⁴

$\mu=750 \text{ kg/m}^2$

Atremta dvejais galais;

$$f = \frac{2}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot E \cdot I}{0,49 \cdot \mu \cdot L^4}} = \frac{2}{3,14} \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot 30 \cdot 10^9 \cdot 0,0025}{0,49 \cdot 750 \cdot 12^4}} = 3,45 \text{ Hz} \quad (6.1.1)$$

Atremta perimetru;

$$f = \frac{\pi}{2} \cdot \left(\frac{1}{L^2} + \frac{1}{B^2} \right) \cdot \sqrt{\frac{1,04 \cdot E \cdot I}{\mu}} = \frac{3,14}{2} \cdot \left(\frac{1}{12^2} + \frac{1}{30^2} \right) \cdot \sqrt{\frac{1,04 \cdot 30 \cdot 10^9 \cdot 0,0025}{750}} = 4,08 \text{ Hz} \quad (6.1.2)$$

Skaičiavimai palyginimui „SCIA Engineer“ skaičiavimo programa.

Mode	Omega [rad/s]	Period [s]	Freq. [Hz]
1	21.8272	0.2879	3.4739
2	24.8327	0.2530	3.9522
3	33.8061	0.1859	5.3804
4	48.5160	0.1295	7.7216

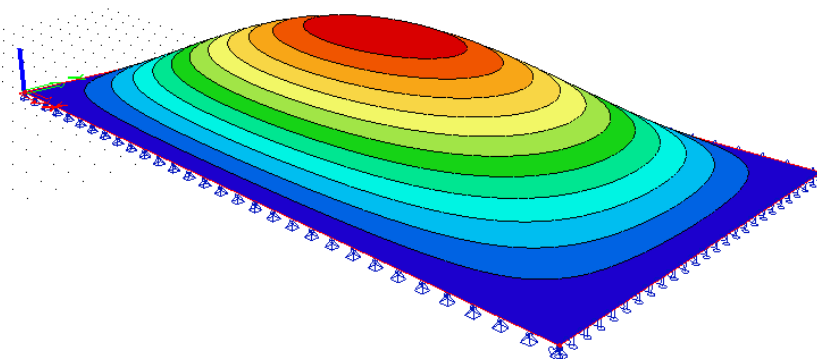
6.1.2 pav. „SCIA Engineer“ savojo dažnio rezultatai, dviem galais atremtai perdangai

Mode	Omega [rad/s]	Period [s]	Freq. [Hz]
1	25.3410	0.2479	4.0331
2	35.6834	0.1761	5.6792
3	53.0516	0.1184	8.4434
4	77.4340	0.0811	12.3240

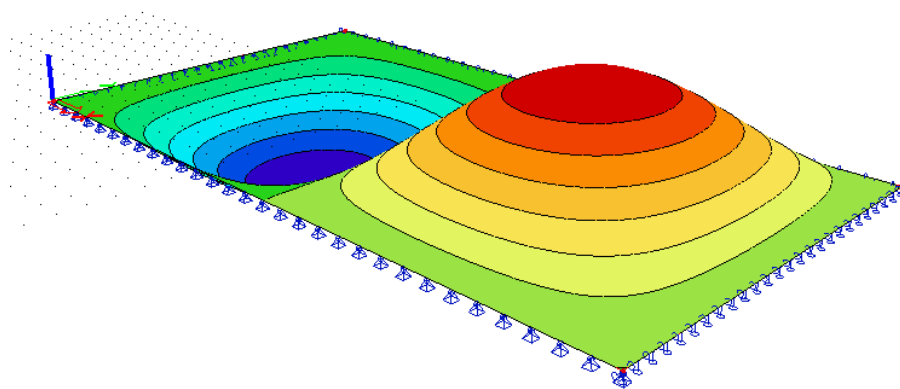
6.1.3 pav. „SCIA Engineer“ savojo dažnio rezultatai, perimetru atremtai perdangai

Vėliau apskaičiuojamas perimetru atremtos perdangos svyravimo formos:

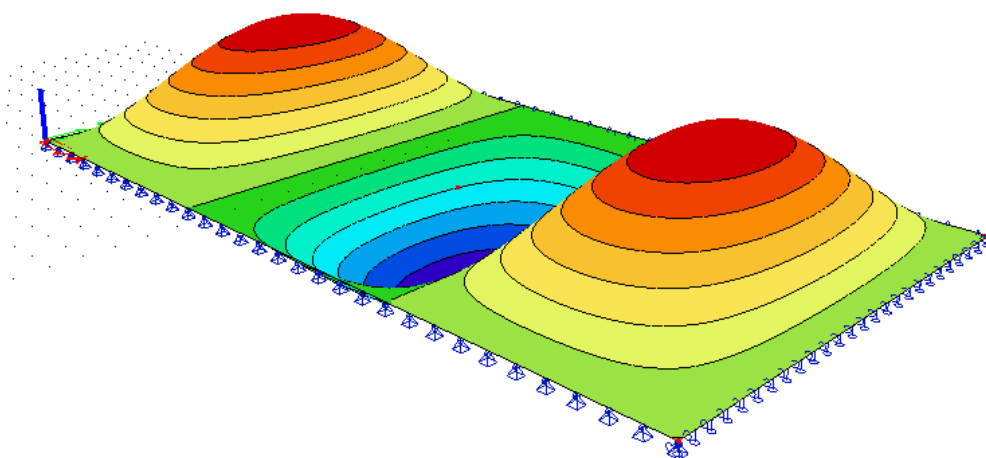
Skaičiuodami tai pat gauname tiek svyravimų formų, kiek užsiduodama, kad suskaičiuotų.



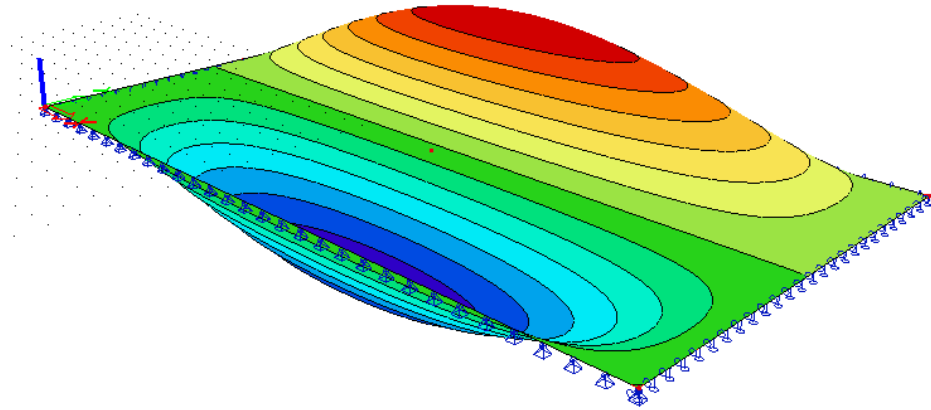
6.1.4 pav. Pirma svyravimo forma 4,0331 Hz



6.1.5 pav. Antra svyravimo forma 5,6782 Hz



6.1.6 pav. Trečia svyravimo forma 8,4434 Hz



6.1.7 pav. Ketvirta svyravimo forma 12,3240 Hz

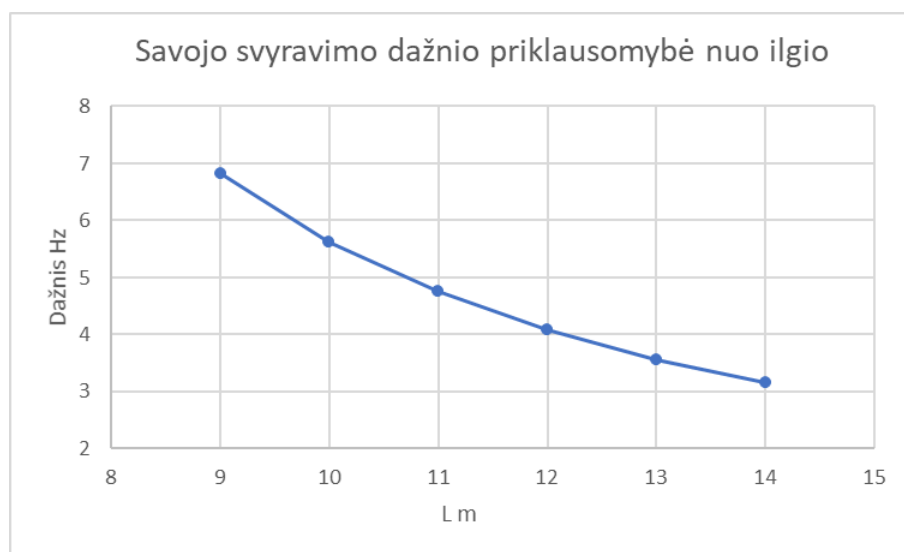
Kaip matome iš skaičiavimų tiek skaičiavimai ranka, tiek skaičiavimo programa yra panašūs, dvejais galais atremtos perdangos rezultatai $3,45 \approx 3,4739$, o perimetru atremtos perdangos $4,08 \approx 4,0331$. Galima teikti, kad rezultatai teisingi.

6.2. Perdangos savąjį svyravimo dažnį įtakoiantys veiksniai

Šiame skyrelyje bus aptariami veiksniai, turintys įtakos savajam svyravimo dažniui. Taigi išskiriami šie veiksniai, turintys įtakos perdangos svyravimo dažniui:

- Perdangos ilgis;

Skaičiavimams naudojami tie patys duomenys, kurie buvo naudoti ankščiau, tik keičiamas perdangos ilgis.

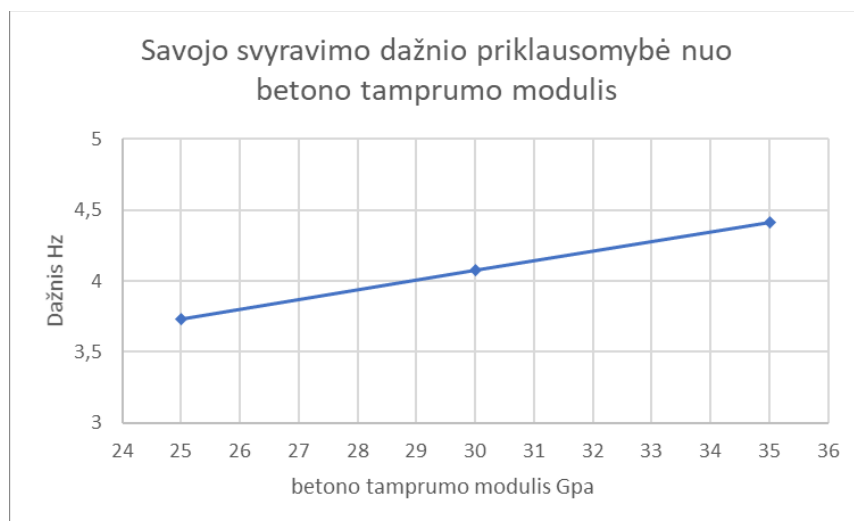


6.2.1 diagrama. Savojo svyravimo dažnio priklausomybė nuo ilgio

Kaip matome pagal pateiktą diagramą perdangos savasis svyravimo dažnis mažėja didėjant perdangos ilgiui.

- Perdangos betono tamprumo modulis;

Skaičiavimams naudojami tie patys duomenys kurie buvo naudoti ankščiau, tik keičiamas perdangos betono tamprumo modulis.



6.2.2 diagrama. Savojo svyravimo dažnio priklausomybė nuo betono tamprumo modulio

Kaip matome pagal pateiktą diagramą perdangos savasis svyravimo dažnis didėja, didėjant perdangos betono tamprumo moduliui.

- Perdangos skerspjūvio inercijos momentas;

Skaičiavimams naudojami tie patys duomenys, kurie buvo naudoti ankščiau, tik keičiamas perdangos skerspjūvio inercijos momentas.

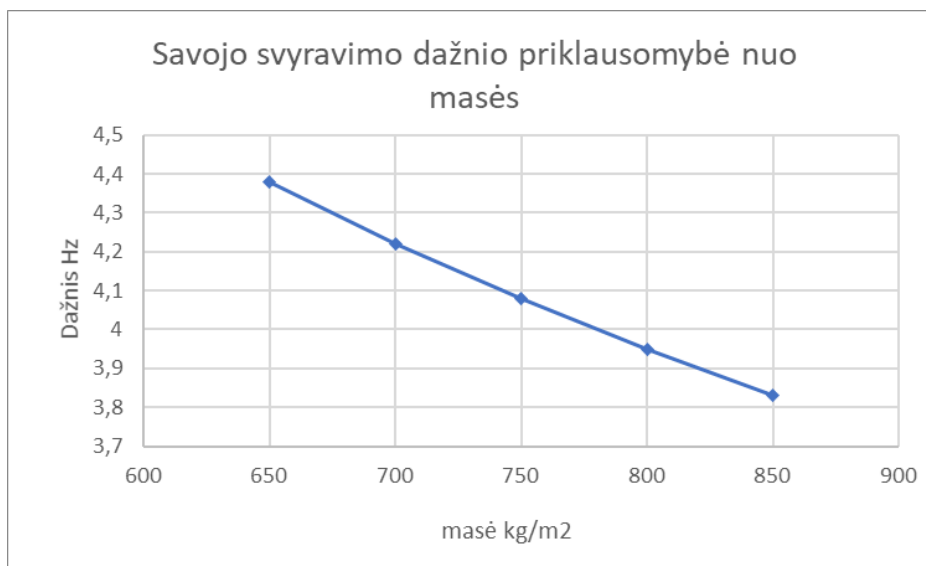


6.2.3 diagrama. Savojo svyravimo dažnio priklausomybė nuo skerspjuvio inercijos momento

Kaip matome pagal pateiktą diagramą perdangos savasis svyravimo dažnis didėja, didėjant perdangos skerspjuvio inercijos momentui.

- Perdangos masė;

Skaičiavimams naudojami tie patys duomenys, kurie buvo naudoti anksčiau, tik keičiama perdangos masė.



6.2.4 diagrama. Savojo svyravimo dažnio priklausomybė nuo masės

Kaip matome pagal pateiktą diagramą perdangos savasis svyravimo dažnis mažėja didėjant perdangos masei.

- Perdangos atrėmimas;

Skaičiavimams naudojami tie patys duomenys, kurie buvo naudoti ankščiau, tik keičiamas perdangos atrėmino būdas.

6.2.1 lentelė. Savojo svyravimo dažnio priklausomybė nuo atėmimo tipo

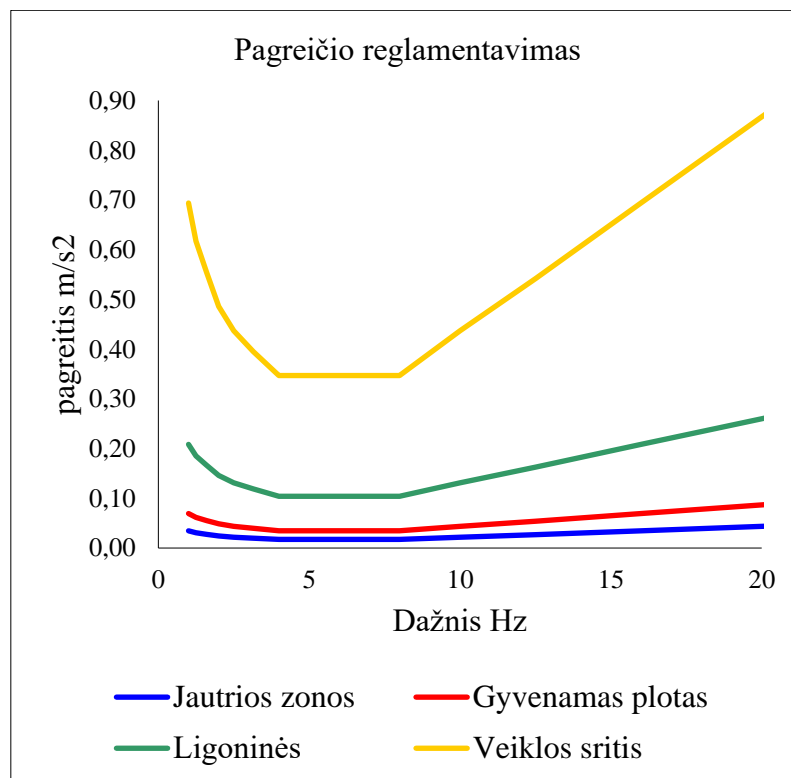
Atrėmino tipas	Atremti du galai	Atremta perimetru
Dažnis Hz	3,47	4,08

Perdangos savasis svyravimo dažnis didesnis esant atrėmimui perimetru.

6.3. Perdangos svyravimo pagreičio (akseliaracijos) skaičiavimas

„Perdangose reglamentuojamas žmogaus ėjimo sukeltas svyravimo pagreitis RMS m/s^2 “ [13].

Jis yra reglamentuojamas į keturis dydžius pagal perdangos naudojimo paskirtį.



6.3.1 diagrama. Pagreičio reglamentavimas RMS

Perdangų pagrečiams taikomi skirtingi slopinimo koeficientai, priklausomai nuo esančių atitvarų ant perdangos.

A: Atvira erdvė, be lengvų pertvarų-slopinimo koeficientas 0,02

B: Atviras kambarys, su lengvomis pertvaromis-slopinimo koeficientas 0,03

C: Kambario, su sunkiomis pertvaromis-slopinimo koeficientas 0,05

D: Prieškambaris-slopinimo koeficientas 0,01 [17]

Pagreičio skaičiavimas nuo žmogaus ėjimo;

Pagreitis RMS;

Nereguliarus vaikščiojimas;

$$a_{\text{RMS}} = \frac{P \cdot a_{\text{max}} \cdot R1 \cdot R2}{\sqrt{2}} = \frac{1 \cdot 0,091 \cdot 1 \cdot 0,916}{\sqrt{2}} = 0,059 \text{m/s}^2 \quad (6.3.1)$$

Nuolatinis vaikščiojimas:

$$a_{\text{RMS}} = \frac{P \cdot a_{\text{max}} \cdot R1 \cdot R2}{\sqrt{2}} = \frac{4,74 \cdot 0,091 \cdot 1 \cdot 0,916}{\sqrt{2}} = 0,249 \text{m/s}^2 \quad (6.3.2)$$

P-vaikščiojimo intensyvumo koeficientas

6.3.1 lentelė. vaikščiojimo intensyvume koeficientai

Nereguliarus vaikščiojimas	Nuolatinis vaikščiojimas	Uždaras nuolatinis vaikščiojimas
1	4,74	9,49

a_{max} -Maksimalus ilgalaikio smūgio pagreitis;

$R1$ - korekcijos koeficientas, rezonansiniams pastatams;

$R2$ - Korekcijos koeficientas, apkrovos modelis ($R2 < 1$)

$$a_{\text{max}} = \frac{F}{2 \cdot M_{\text{all}} \cdot \zeta} = \frac{196,2}{2 \cdot 54000 \cdot 0,02} = 0,091 \text{m/s}^2 \quad (6.3.3)$$

F -sužadinta žingsnio jėga;

M_{all} - apibendrinta perdangos masė;

ζ - slopinimo koeficientas;

$$F = rmg = 0,2 \cdot 100 \cdot 9,81 = 196,2 \text{m/s}^2 \quad (5.3.4)$$

r -furjė koeficientas kritinės apkrovos komponentui;

m - žmogaus svoris;

g -laisvojo kritimo pagreitis;

$$M_{\text{all}} = \mu \cdot L \cdot L \cdot 0,5 = 750 \cdot 12 \cdot 12 \cdot 0,5 = 54000\text{kg} \quad (6.3.5)$$

μ -paskirstyta masė kg/m^2 ;

B -perdangos plotis;

L - perdangos ilgis;

$$R_2 = \left(\zeta \cdot w \cdot \frac{T_w}{20}\right)^{\frac{1}{8}} = \left(0,02 \cdot 25,6 \cdot \frac{19,26}{20}\right)^{\frac{1}{8}} = 0,916 \quad (6.3.6)$$

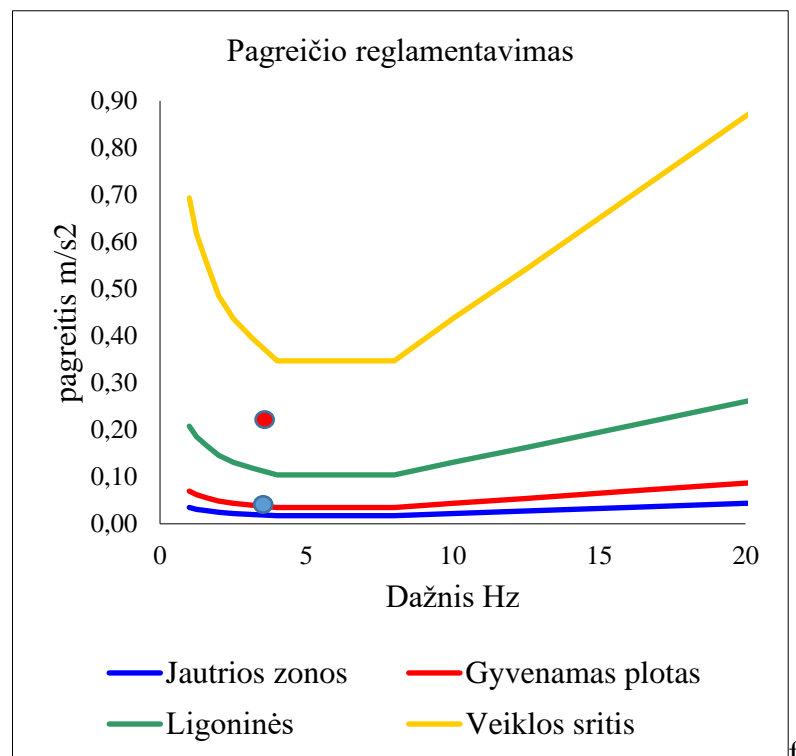
w -dinaminio elastingumo modulis;

T_w -Gang koeficientas;

$$w = f \cdot 2 \cdot \pi = 4,08 \cdot 2 \cdot 3,14 = 25,62\text{s}^{-1} \quad (6.3.7)$$

$$T_w = \frac{B}{V} = \frac{30}{1,56} = 19,26\text{s}^{-1} \quad (6.3.8)$$

V -ėjimo greitis m/s



6.3.2 diagrama. Pagreičio reglamentavimas RMS

● Nereguliarus vaikščiojimas

● Nuolatinis vaikščiojimas

Gavę šį rezultatą, matome, kad pagreičio dydis tenkina reikalavimus veiklos srityse plotuose, taip pat ligoninėse ir gyvenamuosiuose plotuose, kai vaikščiojimas yra nereguliarus, bet netenkina jautrios zonos paskirties vietose. O kai vaikščiojimas yra nuolatinis matome, kad pagreičio dydis tenkina tik veiklos srityse.

Visus skaičiavimus suvedus į „Excel“ programos skaičiuoklę, bus galima visada greitai gauti naujus duomenis, pasikeitus pradinėms sąlygoms, ar skaičiuojant naują perdangą.

Perdangos elementas

Perdangos tipas **Monolitas**

Skerspjūvio konstantos

plokštės Savasis svoris **750** kg/m²

Inercijos momentas **2,50E-03** m⁴/m

Perdabgos aukštis **0,30** m

Papildomas betonas **0** m

Didžiausias statinis diapazonas **27** m

Dinaminio elastingumo modulis

f_{ck} **30** MPa

Sekantis elastingis modulis. DS 1992-1-1 **33**

Siūlomas E modulis (1,2 x statisk) **39** GPa

parenkamas E modulis **30** GPa

skaičiavimo modelis

Modelis pasirinkite **Atremta perimetru**

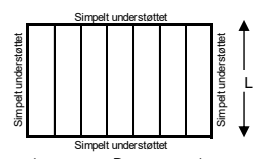
plokštės zona

Ilgis L **12** m

Plotis B **30** m

paildoma apkrova **0** kg/m²

visas svoris **750** kg/m²



Konstrukcija **A: Nekilnojamas turtas** 1

Asmenų skaičius **1**

tipas **A: Atvira erdvė, be popieriaus, per**

slopinimo koeficienta **0,02** - **0,13** -

Afstvinningsfaktor **1,00** -

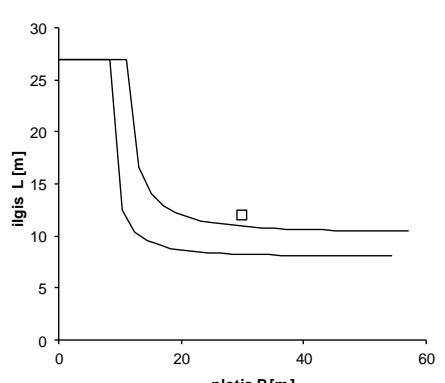
eismo intensyvumas **Nuolatinis vaikščiojimas** 2

komforto jautrumas **veiklos sritys** 4,24 4

Pagreičio lygis

Mažiausias savo dažį **4,08** Hz

Komfortas gali būti OK, reikia išsamiai įvertinti

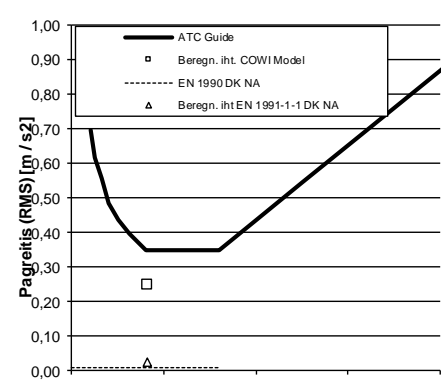


Pagreičio lygis

Pagreitis, RMS (ATC vadovas) **0,249** m/s²

Pagreitis, s (EN 1991-1-1 N/ N NA) **0,026** m/s²

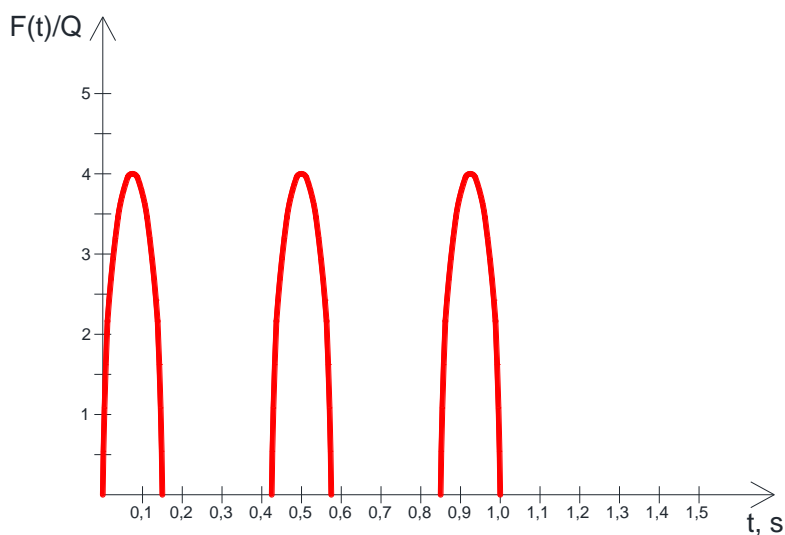
Palyginimas su priėmimo reikalavimais:



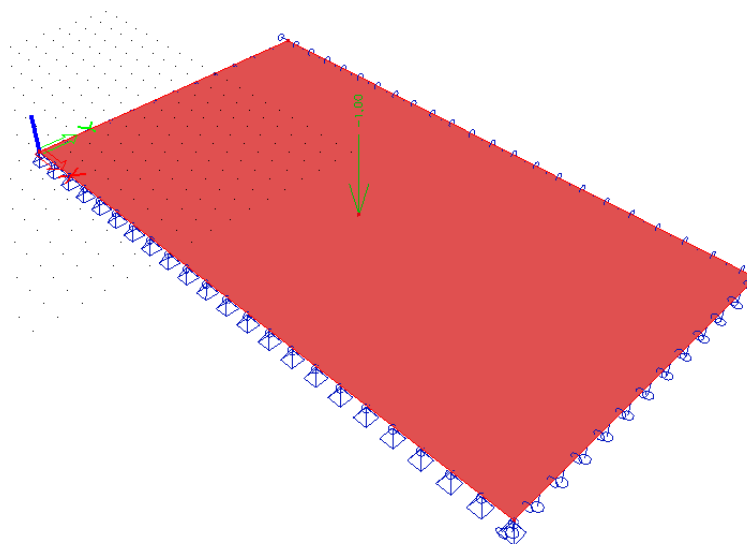
6.3.1 pav. „Excel“ programoje sukurta skaičiuoklė

6.4. Perdangos svyravimas nuo žmonių gupių ir veiklos

Skaičiavimai tęsiami su perimetru atremta perdanga. Imituojama situacija, kai perdangos viduryje šokinėja vienas asmuo. Tai atliekama „SCIA Engineer“ programoje, kur žmogaus apkrova užduodama kaip dinaminė 6.4.1 diagrama.



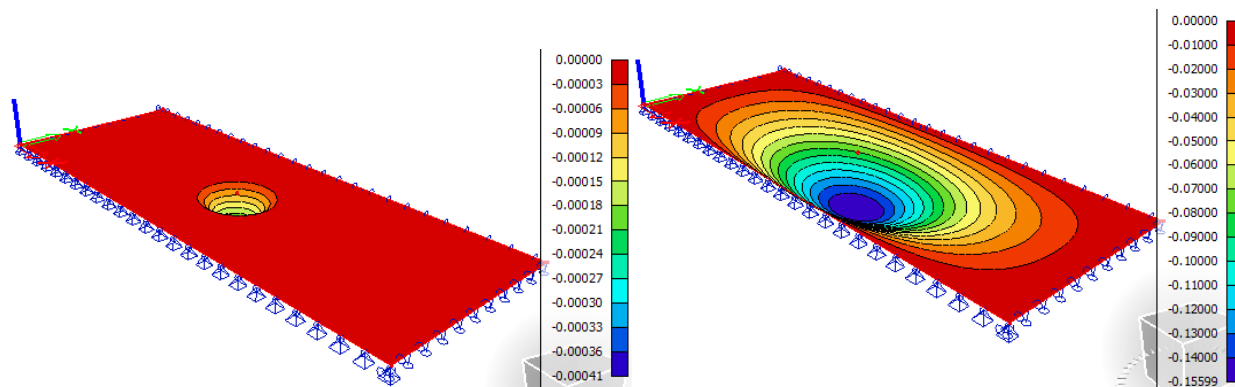
6.4.1 diagrama. Vertikalios jėgos perdavimas nuo vieno žmogaus nuolatinio šokinėjimo



6.4.1 pav. Vieno žmogaus šokinėjimo perdangos viduryje skaičiuojamoji schema

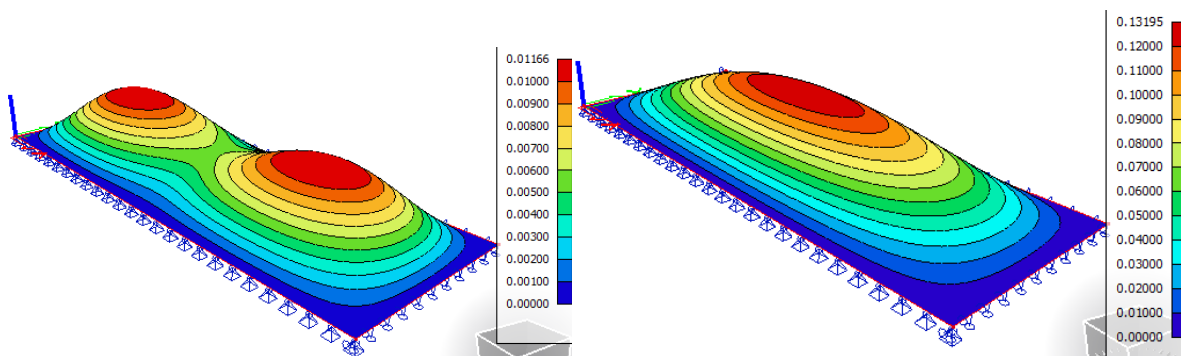
Skaičiavimams yra užsiduodama 0,1 sekundės intervalus, taip yra gaunami rezultatai ir kaip kinta perdangos deformacijos kas 0,1 s.

Gaunami tokie rezultatai;



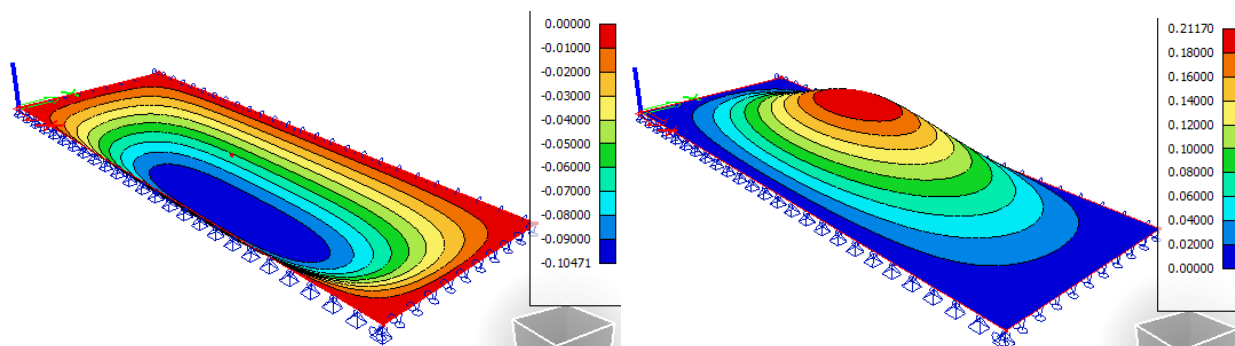
6.4.2 pav. Deformacija nuo vieno žmogaus šokinėjimo po 0,0 s didžiausia deformacija -0,0041 mm

6.4.3 pav. Deformacija nuo vieno žmogaus šokinėjimo po 0,1 s didžiausia deformacija -0,15599 mm



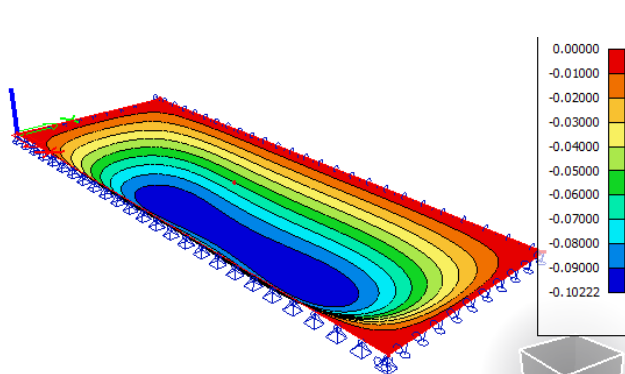
6.4.4 pav. Deformacija nuo vieno žmogaus šokinėjimo po 0,2 s didžiausia deformacija -0,01166 mm

6.4.5 pav. Deformacija nuo vieno žmogaus šokinėjimo po 0,3 s didžiausia deformacija 0,13195 mm

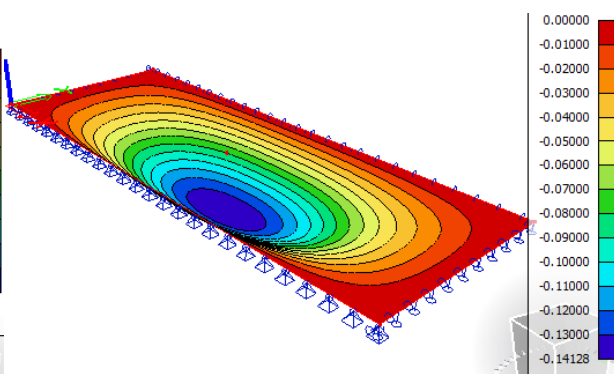


6.4.6 pav. Deformacija nuo vieno žmogaus šokinėjimo po 0,4 s didžiausia deformacija -0,10471 mm

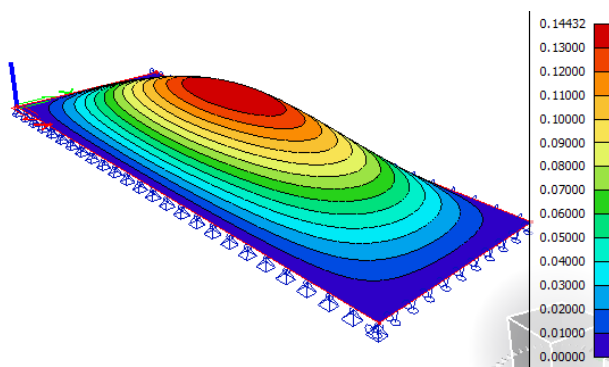
6.4.7 pav. Deformacija nuo vieno žmogaus šokinėjimo po 0,5 s didžiausia deformacija -0,2117 mm



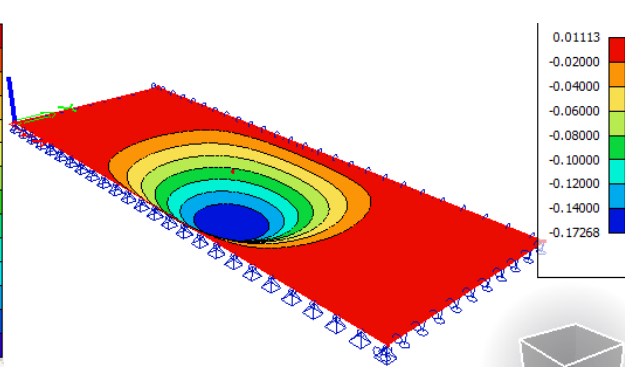
6.4.8 pav. Deformacija nuo vieno žmogaus šokinėjimo po 0,6 s didžiausia deformacija -0,10222mm



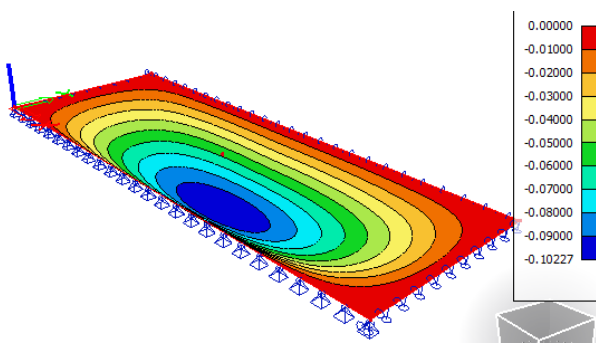
6.4.9 pav. Deformacija nuo vieno žmogaus šokinėjimo po 0,7 s didžiausia deformacija -0,14158 mm



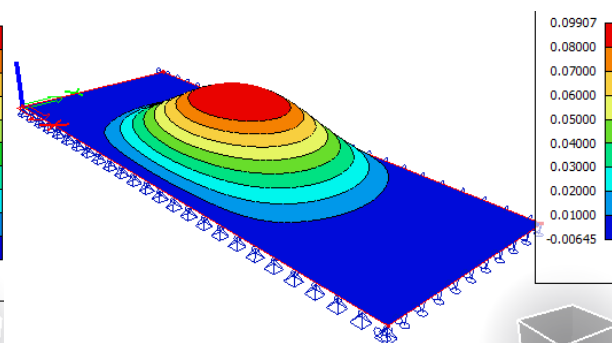
6.4.10 pav. Deformacija nuo vieno žmogaus šokinėjimo po 0,8 s didžiausia deformacija 0,14432 mm



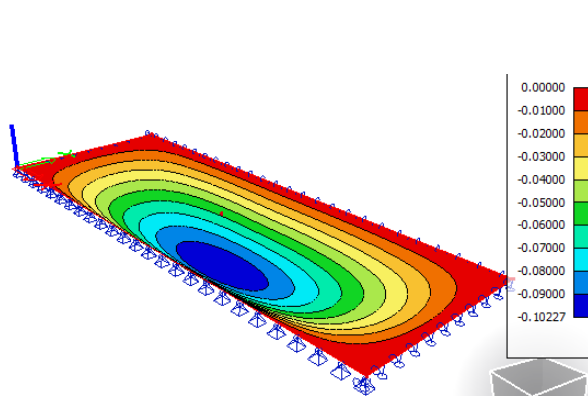
6.4.11 pav. Deformacija nuo vieno žmogaus šokinėjimo po 0,9 s didžiausia deformacija -0,17268 mm



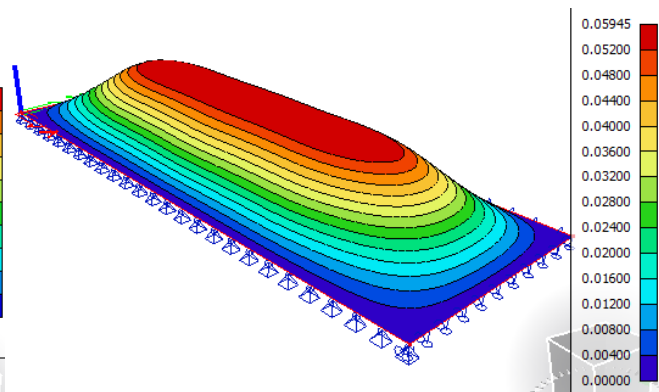
6.4.12 pav. Deformacija nuo vieno žmogaus šokinėjimo po 1,0 s didžiausia deformacija -0,10227 mm



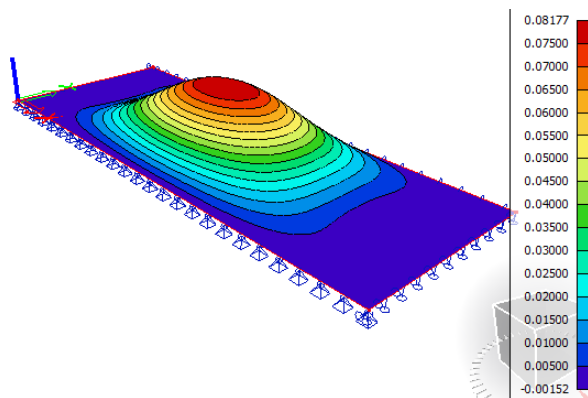
6.4.13 pav. Deformacija nuo vieno žmogaus šokinėjimo po 1,1 s didžiausia deformacija 0,09907 mm



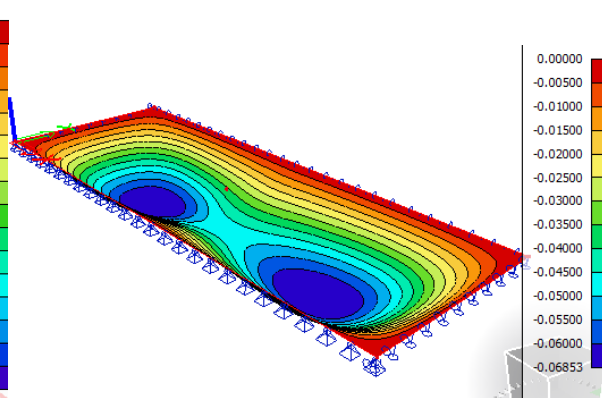
6.4.14 pav. Deformacija nuo vieno žmogaus šokinėjimo po 1,2 s didžiausia deformacija -0,10227 mm



6.4.15 pav. Deformacija nuo vieno žmogaus šokinėjimo po 1,3 s didžiausia deformacija 0,05945 mm

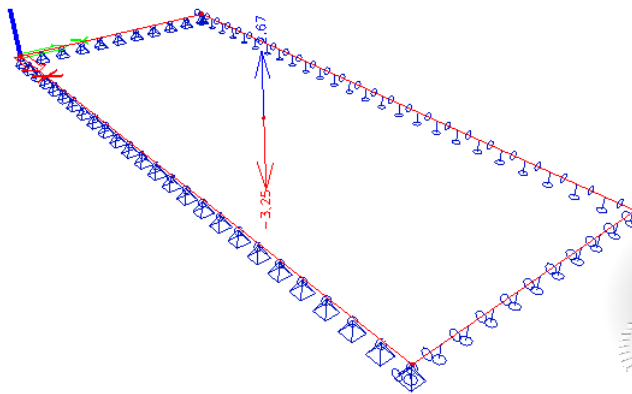


6.4.16 pav. Deformacija nuo vieno žmogaus šokinėjimo po 1,4 s didžiausia deformacija 0,08177 mm



6.4.17 pav. Deformacija nuo vieno žmogaus šokinėjimo po 1,5 s didžiausia deformacija -0,0685 mm

Kaip matome pateiktuose paveikslukuose didžiausia neigiama deformacija pasiekama po 0,9 sekundes -0,17268 mm, tada kai įvyksta trečias perdangos svyravimas, o didžiausia teigiama deformacija pasiekama po 0,5 sekundžių 0,2117 mm kai vyksta antras perdangos svyravimas. didžiausia svyravimo amplitudė gaunama 0,39 mm. O didžiausias svyravimo pagreitis gaunamas 3,15 m/s². Kai matome pagal 6.4.1 lentelė. toks svyravimo pagreitis patenka į D svyravimo klasę, pagal kurią, ant tokios perdangos gali būti gyvenamasis plotas, ofisas, susibūrimo vietos, prekybos vietos, viešbutis, pramonė, sportas. Pilni skaičiavimo rezultatai pateikti pirmame priede.

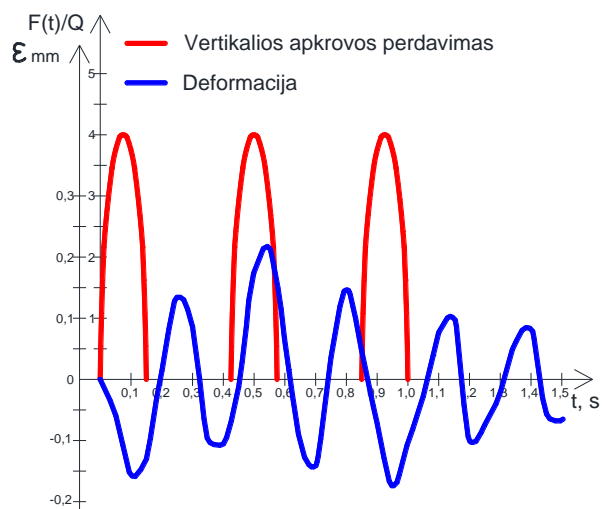


6.4.18 pav. Didžiausias svyravimo pagreitis, kai šokinėja vienas žmogus

6.4.1 lentelė. Pagreičio reglamentavimas pagal veiklos sritį

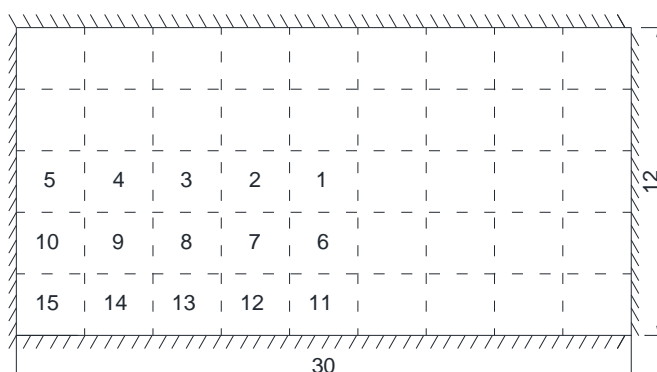
Klasė	OS-RMS		PERDANGOS FUNKCIJA									
	Žemutinė riba	Viršutinė riba	Jautrios zonos	Ligoninės	Švietimo įstaigos	Gyvenamasis plotas	Ofisas	Susibūrimo vietos	Prekyba	Viešbutis	Pramonė	Sportas
A	0.0	0.1	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
B	0.1	0.2	Orange	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
C	0.2	0.8	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
D	0.8	3.2	Red	Orange	Orange	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
E	3.2	12.8	Red	Red	Red	Orange	Orange	Orange	Orange	Green	Green	Green
F	12.8	51.2	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Orange	Orange	Orange

■ - rekomenduojama
■ - kritinė
■ - nerekomenduojama



6.4.2 diagrama. Vertikalios jėgos perdavimas nuo vieno žmogaus nuolatinio šokinėjimo perdangos viduryje ir perdangos deformacija nuo tos jėgos, jos pridėjimo vietoje

Toliau skaičiuojamas variantas kai vienu metu ant perdangos šokinėja grupė žmonių pagal 6.4.1 diagramą, užsiduodama, kad bus 9 žmonių grupė, kadangi perdanga yra didelė ji yra sudalinama į atskiras zonas, kaip parodyta 6.4.19 pav. Kadangi perdanga simetriška skaičiuojami atskiri variantai tik viename ketvirtadalyje perdangos, nes kituose gaunamos tokios pačios reikšmės. Tikrinama ir ieškoma pavojingiausios zonos, kurioje nuo sinchroninio grupės žmonių šokinėjimo deformacijos ir pagreitis didžiausi. Gauti rezultatai pateikiami 6.4.2 lentelėje.



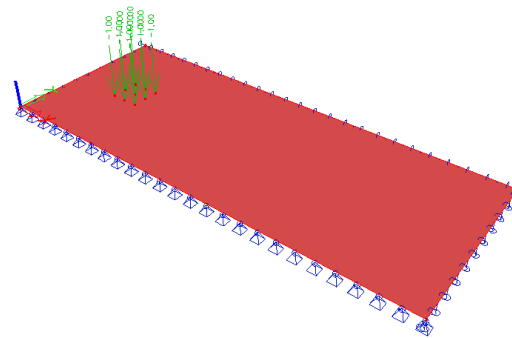
5.4.19 pav. Perdangos sudalinimas i atskiras zonas

6.4.2 lentelė. Didžiausios deformacijos nuo sinchroninio grupės žmonių šokinėjimo atskirose zonose

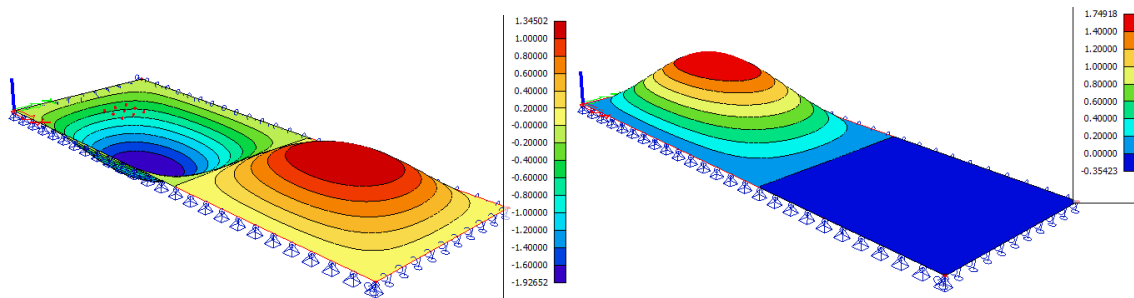
Zona	Didžiausia neigiama deformacija mm	Didžiausios neigiamos deformacijos laikas s	Didžiausia teigiama deformacija mm	Didžiausios teigiamos deformacijos laikas s	Svyravimo amplitudė mm	Svyravimo pagreitis m/s^2
1	-1,46	1,0	1,82	0,6	3,28	4,48
2	-1,85	1,0	1,97	0,6	3,82	4,46
3	-2,35	1,0	2,20	0,6	4,45	5,10
4	-1,93	1,0	1,75	0,6	3,56	5,26
5	-0,75	1,0	0,65	0,6	1,33	4,27
6	-1,17	1,0	1,45	0,6	2,62	3,59
7	-1,49	1,0	1,58	0,6	3,07	3,70
8	-1,87	1,0	1,76	0,6	3,63	4,41
9	-1,54	1,0	1,41	0,6	2,95	4,19
10	-0,61	1,0	0,53	0,6	1,14	4,15
11	-0,44	1,0	0,54	0,6	0,98	4,04
12	-0,57	1,0	0,57	0,6	1,16	3,56
13	-0,70	1,0	0,66	0,6	1,36	3,77
14	-0,58	1,0	0,54	0,6	1,12	4,17
15	-0,22	1,0	0,20	0,6	0,44	4,06

Kaip matome pagal pateiktus rezultatus didžiausia neigiama deformacija gaunama trečiojoje zonoje po 1 sekundės ji yra -2,35 mm, o didžiausia teigiama deformacija gaunama tai pat trečiojoje zonoje po 0,6 sekundžių ji yra 2,20 mm, dėl šios priežasties didžiausia svyravimo amplitudė gaunama

trečiojoje zonoje 4,45 mm. O didžiausias svyravimo pagreitis gaunamas ketvirtoje zonoje $5,26 \text{ m/s}^2$ ir patenka E svyravo pagreičio klasę. Gavus tokius rezultatus didžiausias dėmesys yra skiriamas ketvirtajai zonai todėl toliau ji bus nagrinėjama. Pilni rezultatai pateikti antrame- šešioliktame priede.

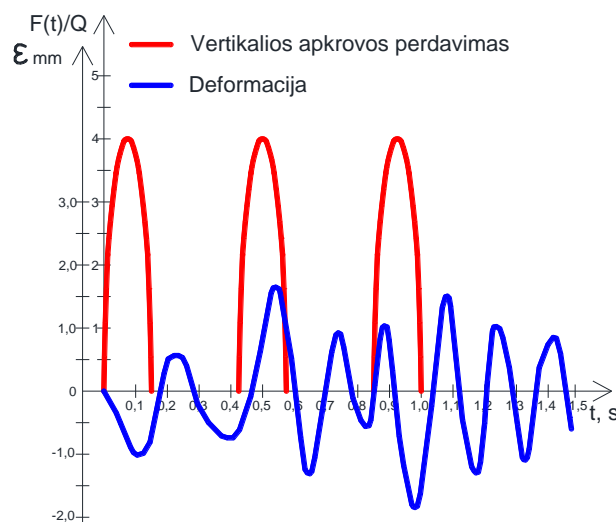


6.4.20 pav. Grupės žmonių šokinėjimo ketvirtojoje perdangos zonoje skaičiuojamoji schema



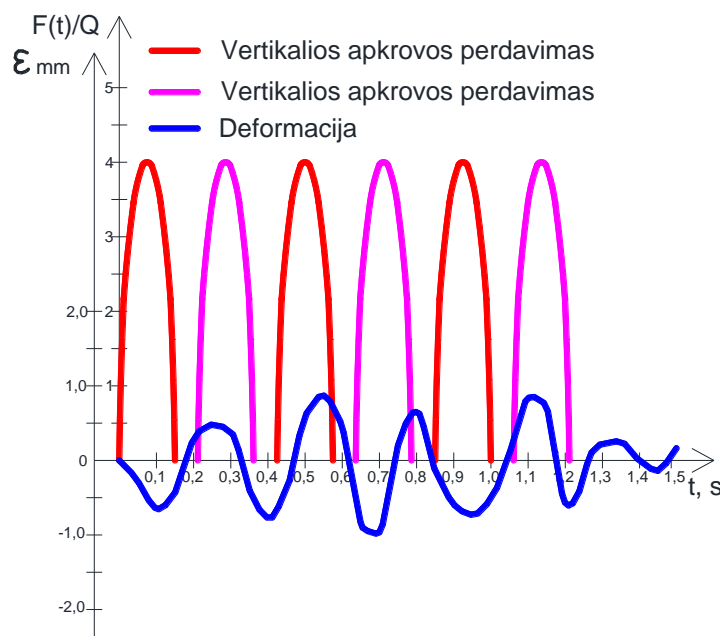
6.4.21 pav. Deformacija nuo grupės žmonių šokinėjimo 4 zonoje po 1,0 s didžiausia deformacija -1,92652 mm

6.4.22 pav. Deformacija nuo grupės žmonių šokinėjimo 4 zonoje po 0,6 s didžiausia deformacija 1,74918 mm



6.4.3 diagrama. Vertikalios jėgos perdavimas nuo grupės žmonių sinchroninio šokinėjimo ketvirtoje zonoje ir perdangos deformacija nuo tų jėgų, jų pridėjimo vietoja

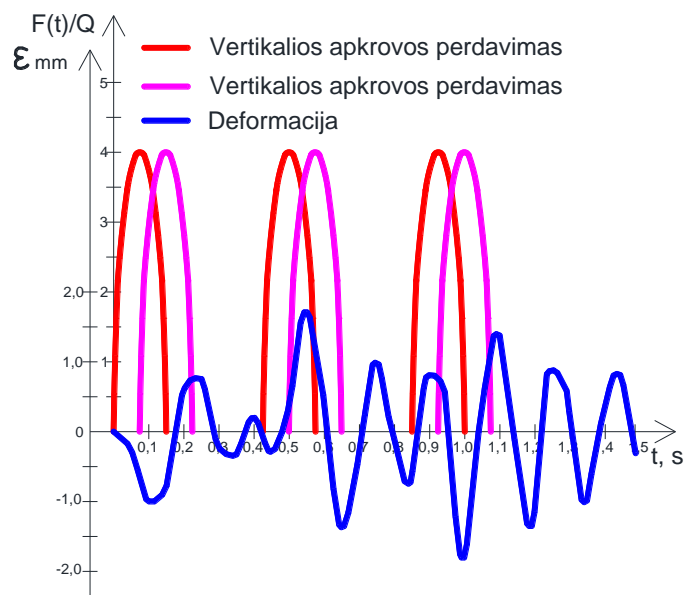
Toliau skaičiuojamas variantas kai ketvirtojoje zonoje vienu metu pašoka pusė žmonių, o kita dalis pašoka už tam tikro laiko, kaip parodyta 6.4.4 diagramoje



6.4.4 diagrama. Vertikalios jėgos perdavimas nuo grupės žmonių nesinchroninio šokinėjimo ketvirtoje zonoje ir perdangos deformacija nuo tos jėgos

Pagal gautus rezultatus matome, kad tokiu variantu, didžiausia neigiama deformacija pasiekama 0,7 s. Ji lygi $-0,97$ mm., o didžiausia teigiama deformacija - 0,6 s ir lygi $0,87$ mm. Svyravimo amplitudė gaunama $1,84 < 3,56$ mm. Svyravimo pagreitis $4,15$ m/s². Toks svyravimo pagreitis yra priskiriamas E svyravimo klasei, todėl tokios perdangos gali būti naudojamos, tik pramonės ir sporto veiklai priskiriamuose pastatuose. Pilni skaičiavimo rezultatai pateikti septynioliktame priede.

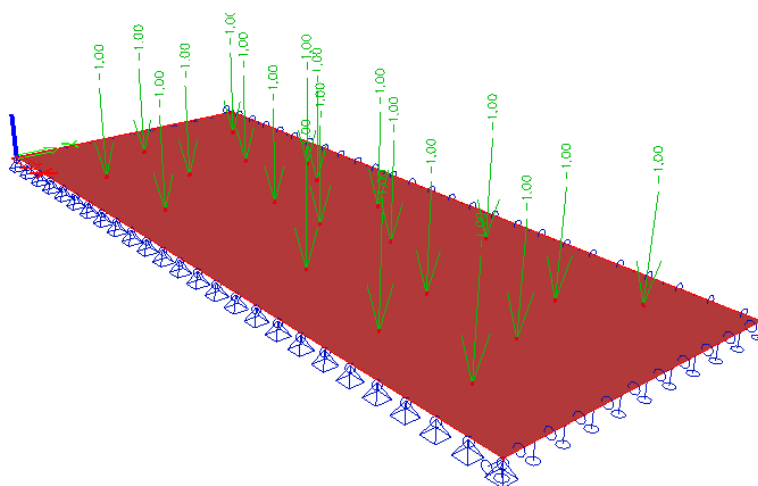
Kitas variantas, kuris yra skaičiuojamas, tai kai vienu metu pašoka pusė žmonių, o kita dalis už tam tikro laiko, kaip parodyta 6.4.5 diagramoje.



6.4.5 diagrama. vertikalios jėgos perdavimas nuo grupės žmonių nesinchroninio šokinėjimo ketvirtoje zonoje ir perdangos deformacijos nuo tos jėgos

Pagal gautus rezultatus matome, kad tokiu variantu, didžiausias neigiama deformacija pasiekama po 1 s ir ji lygi 1,91 mm, o didžiausia teigiama po 0,6 s ir lygi 1,82 mm. Svyravimo amplitudė gaunama $3,73 > 1,84\text{mm}$. Svyravimo pagreitis $6,54 \text{ m/s}^2$. Toks svyravimo pagreitis yra E svyravimo klasėje, ir ant tokios perdangose gali būti, tik pramonės ir sporto veikla. Kaip matome toks variantas yra pavojingiausias. Pilni skaičiavimo rezultatai pateikti aštuonioliktame priede.

Kitas variantas skaičiuojamas kai vienu metu ant perdangos šokinėja didesnė grupė žmonių, tai yra 20 žmonių grupė, kurie ant perdangos išdėstyti atsitiktine tvarka visoje perdangoje pagal 6.4.23 pav.

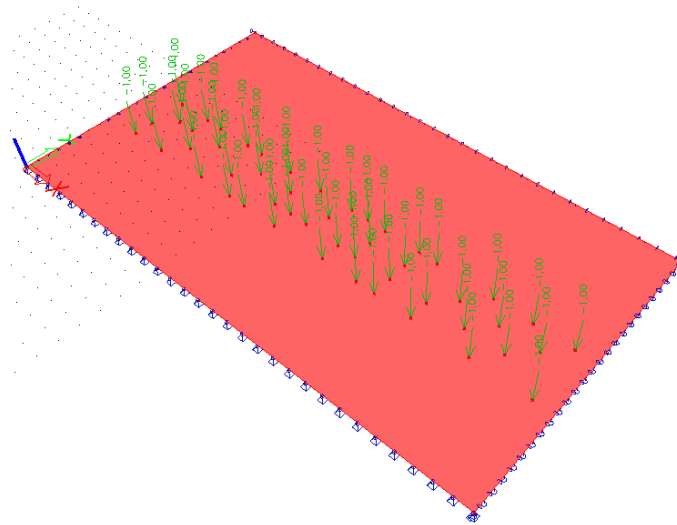


6.4.23 pav. Grupės žmonių šokinėjimo atsitiktinai išsidėsčius ant perdangos skaičiuojamoji schema

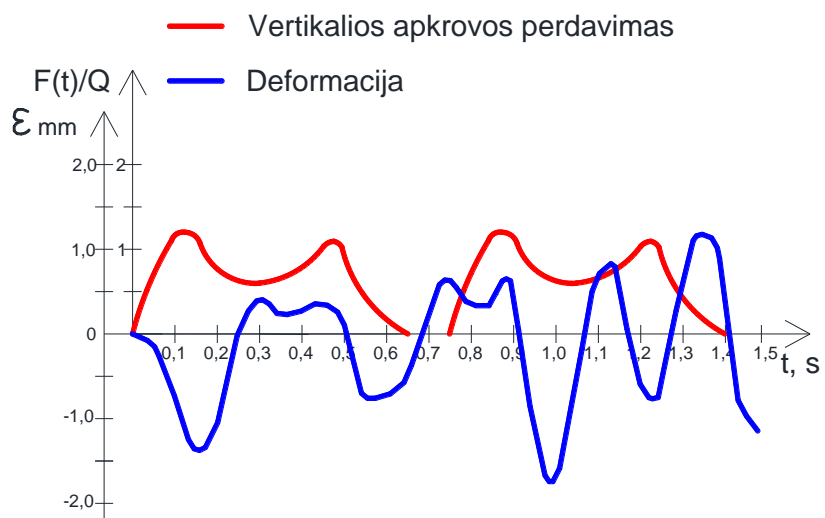
Pagal gautus rezultatus matome, kad tokiu variantu, didžiausia neigiama deformacija pasiekama po 0,7 s ir lygi 1,27 mm, o didžiausia teigiama deformacija po 0,6 s ir lygi 1,68mm.

Svyravimo amplitudė gaunama 2,95 mm ji mažesnė nei gaunama variantu parodytu 6.4.5 diagramoje, ir svyravimo pagreitis mažesnis 4,28 m/s². Taigi galime teikti, kad didesnės grupės žmonių, išsidėsčiusių atsitiktine tvarka, variantas nėra toks pavojingas kaip mažesnės grupės koncentracija vienoje vietoje. Pilni skaičiavimo rezultatai pateikti devynioliktame priede.

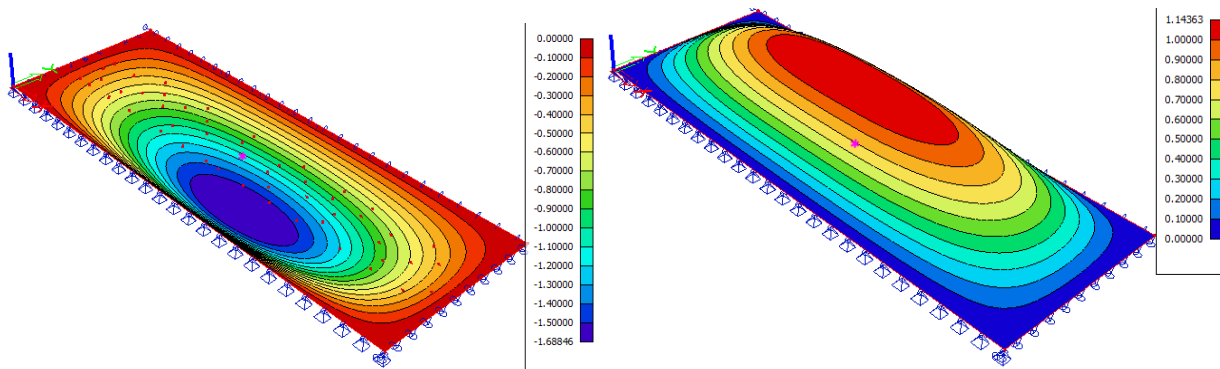
Dar vienas bandomas variantas - didelės grupės žmonių (50 žmonių) ėjimas išilgai perdangos kaip tai parodyta 6.4.24 pav. Nuo žmogaus ėjimo vertikalios jėgos perdavimo galime matyti 6.4.6 diagramoje.



6.4.24 pav. Grupės žmonių ėjimo išilgai perdangos



6.4.6 diagrama. Vertikalios jėgos perdavimas nuo žmonių vaikščiojimo ir perdangos deformacija nuo tos jėgos



6.4.25 pav. Deformacija nuo grupės žmonių ėjimo išilgai perdangos po 1 s didžiausia deformacija -1,68846 mm

6.4.26 pav. Deformacija nuo grupės žmonių ėjimo išilgai perdangos po 1,3 s didžiausia deformacija 1,14363 mm

Pagal gautus rezultatus matome, kad nuo 50 žmonių grupės ėjimo išilgai perdangai, didžiausia amplitudė gaunama 2,83 mm, o svyravimo pagreitis $2,51 \text{ m/s}^2$. Tiek svyravimo amplitudė, tiek pagreitis gaunami mažesni nei nuo 9 žmonių šokinėjimo, taigi galime teigti, kad žymiai pavojingesnis variantas yra nuo žmonių fizinės veiklos, (sporto, šokių ar pan.). Pilni skaičiavimo rezultatai pateikti dvidešimtame priede.

6.5. Perdangos natūralaus svyravimo dažnio padidinimas ir pagreičio sumažinimas

Šiame skyrelyje bus aptariama perdangos natūralaus svyravimo dažnio padidinimo ir pagreičio sumažinimo galimybės. Didžiausias ir pavojingiausias atvejis gautas 6.4.5 diagramoje, kai svyravimo pagreitis yra $6,54 \text{ m/s}^2$. Norint padidinti savąjį svyravimo dažnį ir svyravimo pagreitį, reikia keisti pradines sąlygas. Pirmiausia buvo keičiamas perdangos aukštis: jis buvo pakeistas nuo 300–350 mm. Atlikus šiuos pakeitimus buvo gauti rezultatai: savasis svyravimo dažnis pirma forma gautas $4,70 > 4,03 \text{ Hz}$, antra forma $6,61 > 5,68 \text{ Hz}$, trečia forma $9,83 > 8,44 \text{ Hz}$, ketvirta forma $14,35 > 12,32 \text{ Hz}$. Taigi savasis svyravimo dažnis visose formose padidėjo. Tuo tarpu perdangos svyravimo pagreitis $3,74 < 6,54 \text{ m/s}^2$ padidinus perdangos aukštį nuo 300–350 svyravimo pagreitis sumažėjo 43%. Vėliau perdangos aukštis buvo pakeistas iki 400 mm. Atlikus šį pakeitimą buvo gauti tokie rezultatai: savasis svyravimo dažnis pirma forma gautas $5,37 > 4,03 \text{ Hz}$, antra forma $7,37 > 5,68 \text{ Hz}$, trečia forma $11,21 > 8,44 \text{ Hz}$, ketvirta forma $6,36 > 12,32 \text{ Hz}$. Taigi savasis svyravimo dažnis visose formose padidėjo.

Perdangos svyravimo pagreitis $4,29 < 6,54 \text{ m/s}^2$ padidinus perdangos aukštį nuo 300–400 mm sumažėjo 34%. Bet kaip matome lyginant du variantus kai perdangos aukštis 400 mm ir 350 mm,

mažesnis pagreitis gautas perdangoje, kurios aukštis yra 350 mm ($3,74 < 4,29 \text{ m/s}^2$). Taigi galime teigti, kad racionalesnis variantas, kai perdangos aukštis 350mm.

Kita sąlyga, kuri buvo keičiama – perdangos betono klasė. Betono klasė iš C30/37 buvo pakeista į C35/45. Atlikus šiuos pakeitimus buvo gauti tokie rezultatai: savasis svyravimo dažnis pirma forma gautas $4,11 > 4,03 \text{ Hz}$, antra forma $5,79 > 5,68 \text{ Hz}$, trečia forma $8,61 > 8,44 \text{ Hz}$, ketvirta forma $12,57 > 12,32 \text{ Hz}$. Taigi savasis svyravimo dažnis visose formose padidėjo. Tuo tarpu perdangos svyravimo pagreitis $5,52 < 6,54 \text{ m/s}^2$ padidinus perdangos betono klasę nuo C30/37 į C35/45 sumažėjo 15,5%.

Kitu variantu betono klasė buvo keičiama iš C30/37 į C40/50. Atlikus šį pakeitimą gauti tokie rezultatai: savasis svyravimo dažnis pirma forma gautas $4,18 > 4,03 \text{ Hz}$, antra forma $5,88 > 5,68 \text{ Hz}$, trečia forma $8,75 > 8,44 \text{ Hz}$, ketvirta forma $12,77 > 12,32 \text{ Hz}$. Taigi savasis svyravimo dažnis visose formose padidėjo. Perdangos svyravimo pagreitis $4,54 < 6,54 \text{ m/s}^2$, o padidinus perdangos betono klasę nuo C30/37 į C40/50 svyravimo pagreitis sumažėjo 30,1%. Galiausiai, trečiuoju atveju buvo keičiami du aspektai tai perdangos aukštis kartu su betono stiprumo klase. Perdangos aukštis buvo pakeistas nuo 300–350 mm, o betono klasė buvo pakeista nuo C30/37 iki C35/45. Atlikus šiuos pakeitimus gauti šie rezultatai: savasis svyravimo dažnis pirma forma gautas $4,79 > 4,03 \text{ Hz}$, antra forma $6,74 > 5,68 \text{ Hz}$, trečia forma $10,02 > 8,44 \text{ Hz}$, ketvirta forma $14,63 > 12,32 \text{ Hz}$. Taigi savasis svyravimo dažnis visose formose padidėjo. Tuo tarpu perdangos svyravimo pagreitis sumažėjo $3,17 < 6,54 \text{ m/s}^2$ padidinus perdangos aukštį nuo 300–350mm, o betono klasę padidinus nuo C30/37 iki C35/45 svyravimo pagreitis sumažėjo 51,5 %. Toks svyravimo pagreitis jau pereina iš E svyravimo klasės į D svyravimo klasę, kurioje jau gali būti vykdoma ne tik pramonės ir sporto veikla, bet ir gyventi ir dirbti žmonės (gyvenamasis plotas, ofisas, susibūrimo vietos, prekybos vietos, viešbučiai).

7. Optimalaus varianto paieškos

Optimalus – „tinkamiausias, palankiausias, geriausias pagrindiniai normos variantai tinkamiausias, geriausias“[18].

Toliau buvo skaičiuojami ir vertinami variantai, keičiant konstrukcinius sprendimus, kurie bus lyginami ir bus ieškoma optimaliausio varianto.

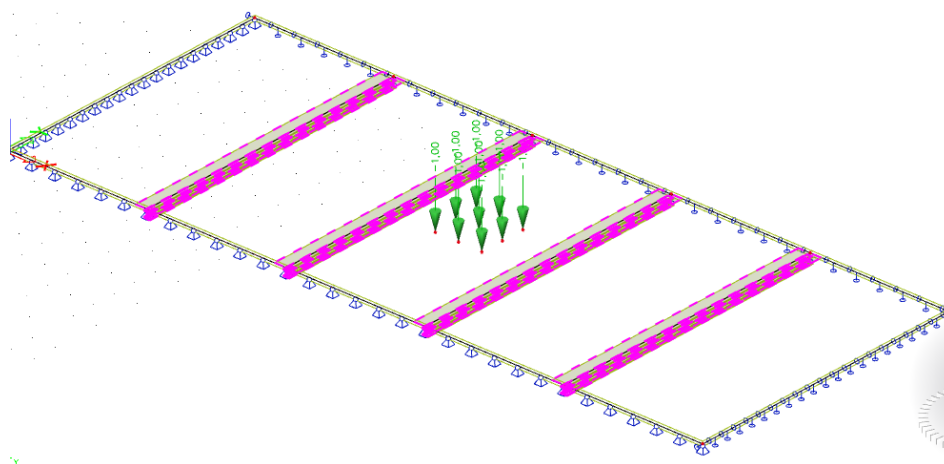
Tyrimo metu buvo suprojektuotos trijų tipų perdangos su vienodu tarpatramiu ir ilgiu, bet skirtingu konstrukciniu sprendimu.

Pirmas variantas, tai jau anksčiau suskaičiuotas kai monolitinė perdanga yra 300mm storio, o ant jos vidurio vyksta sinchroninis grupės žmonių šokinėjimas. Atlikus skaičiavimus gauti tokie rezultatai

N	f [Hz]	ω [1/s]	ω^2 [1/s ²]	T [s]
Mass combination : CM1				
1	4,03	25,34	642,13	0,25
2	5,68	35,68	1273,23	0,18
3	8,44	53,05	2814,30	0,12
4	12,32	77,43	5995,68	0,08

7.1 pav. „SCIA Engineer“ savojo dažnio rezultatai, monolitiniai 300m perimetru atremtai perdangai

Antruoju variantu skaičiavimai atlikti su kompozitine perdanga kurią sudaro, metalinės sijos ir monolitinė perdanga ant viršaus. Sijos išdėstomos kas 6 metrus parenkamas jų profilis HEB300, o monolito aukštis - 0,2m betono klasė - C30/37. Perdangos atrėmimas ir dydis toks pat, kaip nagrinėtos pirmuoju variantu.



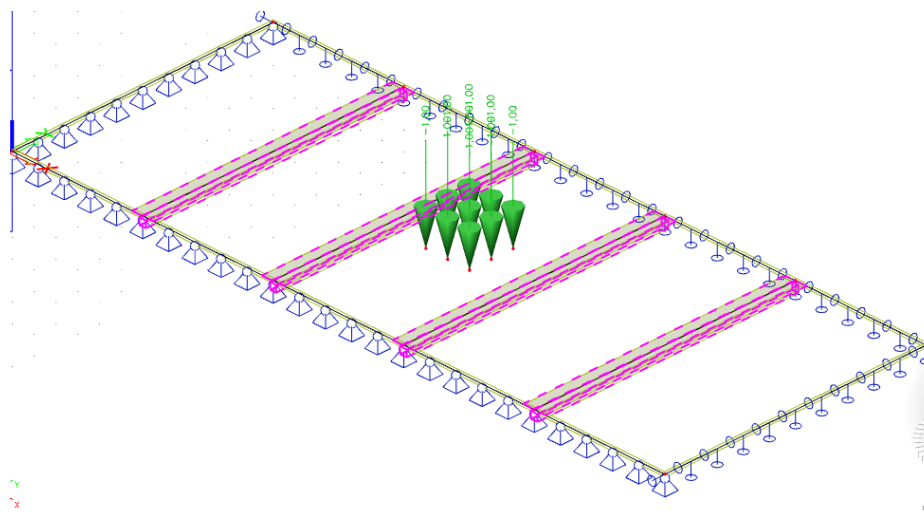
7.2 pav. Kompozitinė perdanga - metalinės sijos su monolitine perdanga

N	f [Hz]	ω [1/s]	ω^2 [1/s ²]	T [s]
Mass combination : CM1				
1	4,59	28,81	829,90	0,22
2	5,44	34,18	1168,36	0,18
3	6,99	43,90	1927,60	0,14
4	9,28	58,30	3398,65	0,11

7.3 pav. SCIA Engineer savojo dažnio rezultatai, kompozitinei perdangai

Pilni skaičiavimo rezultatai pateikti dvidešimt pirmame priede.

Trečiuoju variantu atlikti skaičiavimui tai perdanga su sijomis, kurią sudaro, GB sijos ir monolitinė perdanga ant viršaus. Sijos išdėstomos kas 6metrus parenkama jų geometrija 300x300, o monolito aukštis - 0,2m betono klasė - C30/37. Perdangos atrėmimas ir dydis toks pat, kaip nagrinėtos pirmuoju variantu.



7.4 pav. Sijinę perdanga

N	f [Hz]	ω [1/s]	ω^2 [1/s ²]	T [s]
Mass combination : CM1				
1	4,61	28,99	840,65	0,22
2	5,47	34,39	1182,82	0,18
3	7,02	44,11	1945,36	0,14
4	9,30	58,45	3416,84	0,11

7.5 pav. „SCIA Engineer“ savojo dažnio rezultatai, sija perdangai

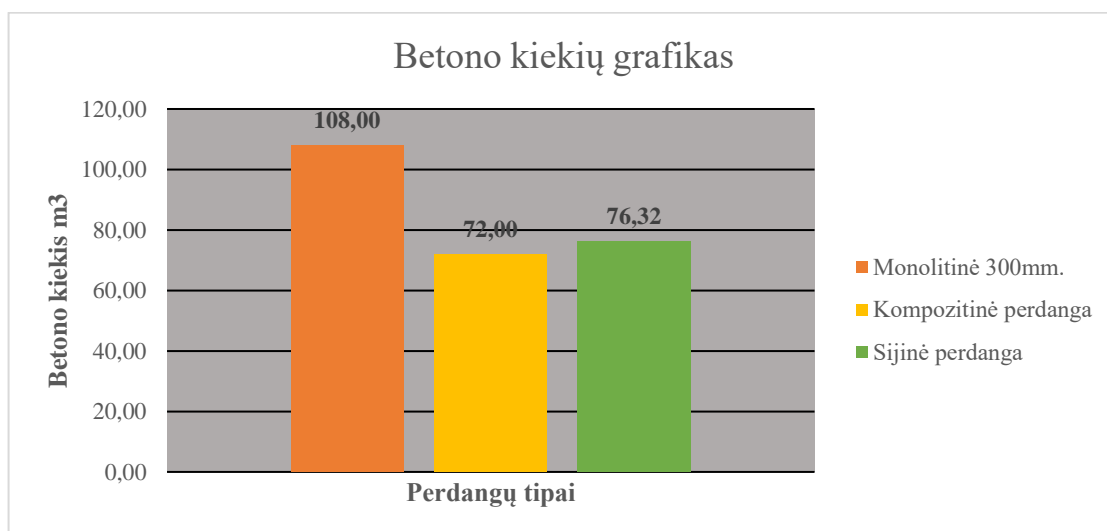
Pilni skaičiavimo rezultatai pateikti dvidešimt antrame priede.

7.1 lentelė. Skirtingų konstrukcijų sprendimo gauti rezultatai

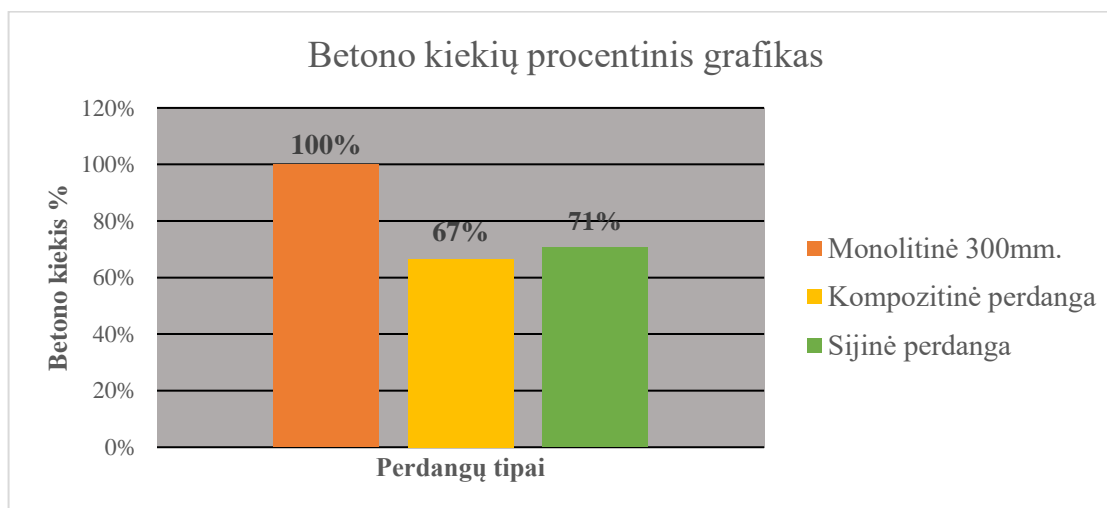
Tipas	Didžiausia neigiama deformacija mm. Vibruojant perdangai	Didžiausia teigiama deformacija mm. Vibruojant perdangai	Svyravimo amplitudė mm	Svyravimo pagreitis m/s^2	Perdangos įlinkis mm.
Monolitinė 300 mm.	-1,46	1,82	3,28	4,48	35,49
Kompozitinė perdanga	-1,99	1,34	3,33	9,33	30,08
Sijinė perdanga	-1,99	1,22	3,21	7,59	29,26

Atlikto tyrimo rezultatų, medžiagų kiekių ir kitų pagrindinių lyginimo rodiklių santrauka pateikiama lentelėse:

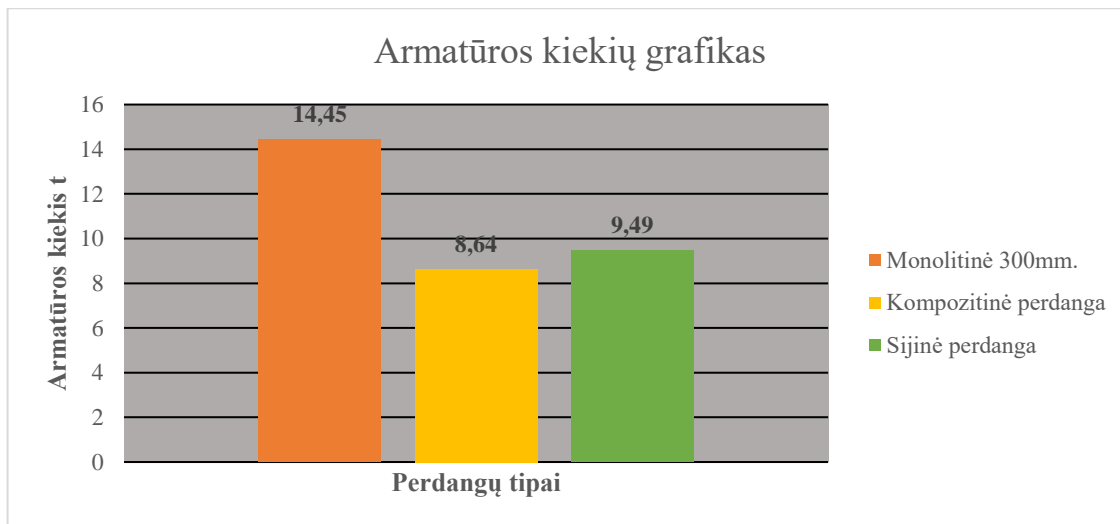
Toliau grafiškai pateikiami palyginamojo tyrimo rezultatai:



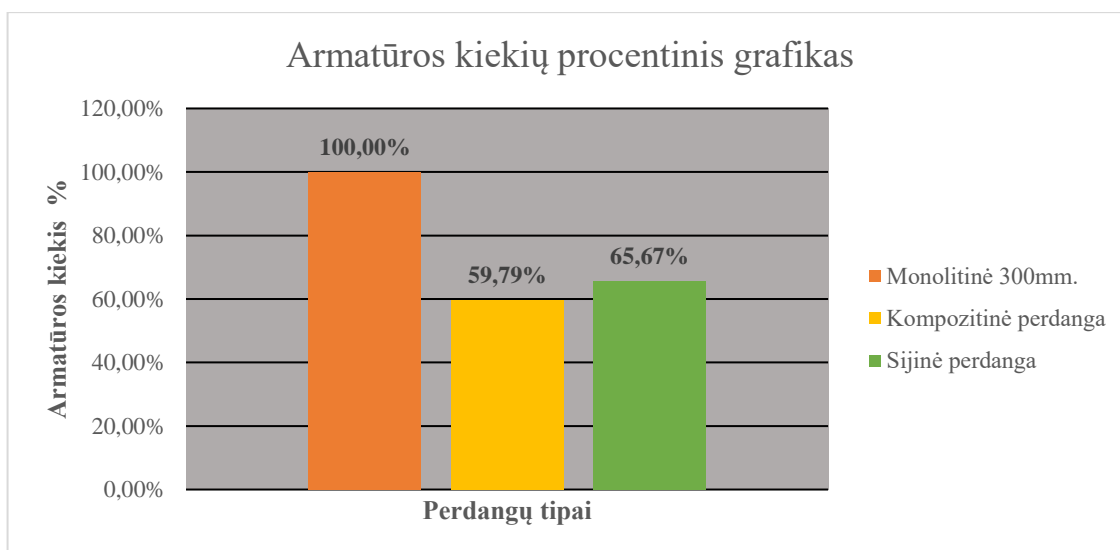
7.1 diagrama. Betono kiekių grafikas m^3



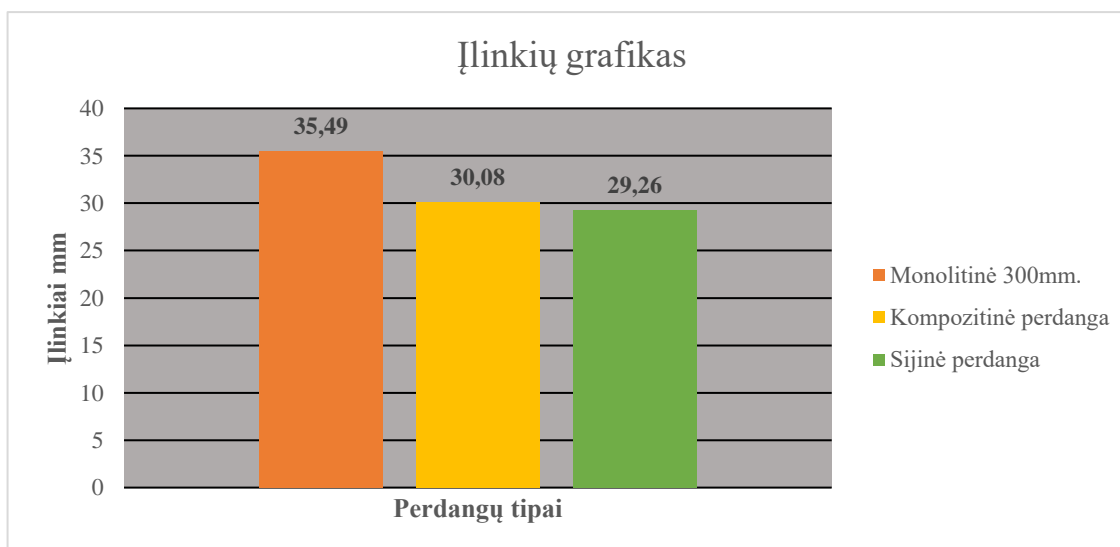
7.2 diagrama. Betono kiekių procentinis grafikas



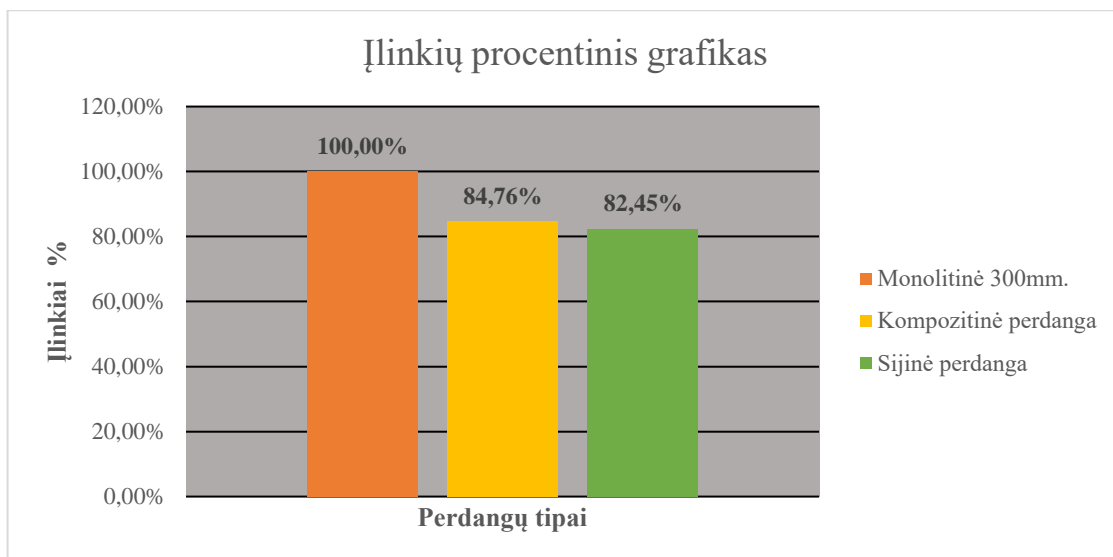
7.3 diagrama. Armatūros kiekių grafikas t



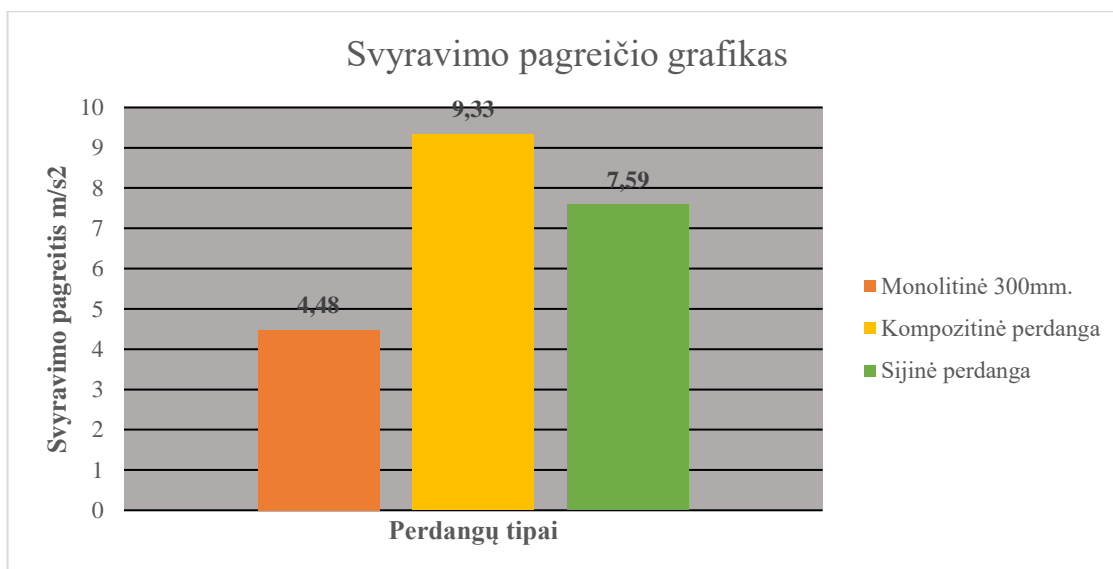
7.4 diagrama. Betono kiekių procentinis grafikas



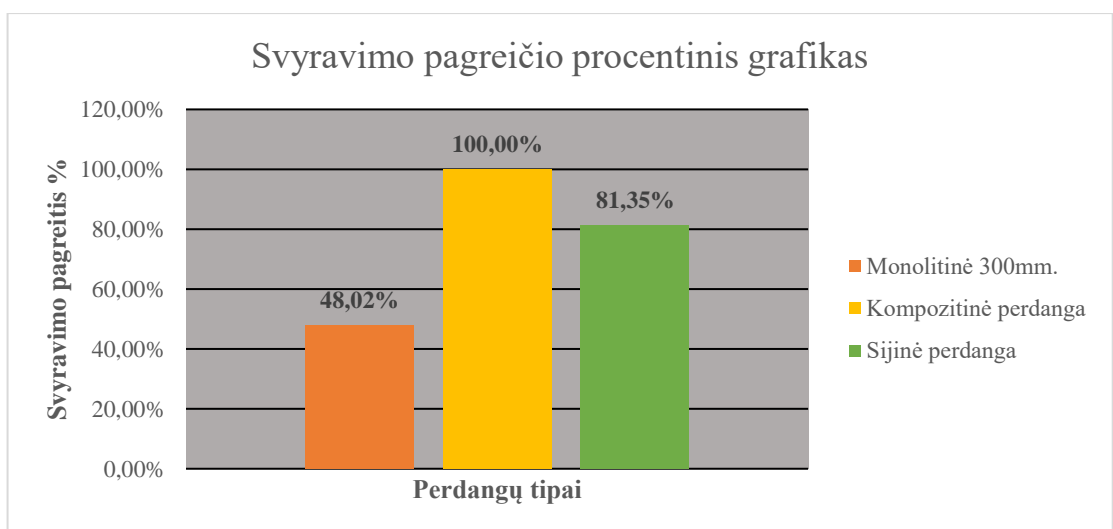
7.5 diagrama. Įlinkių grafikas mm



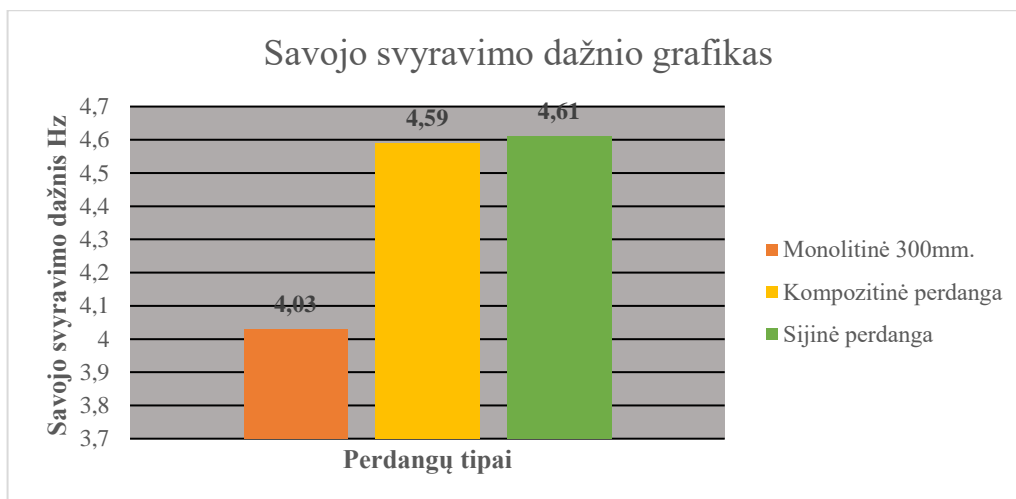
7.6 diagrama. Įlinkių procentinis grafikas



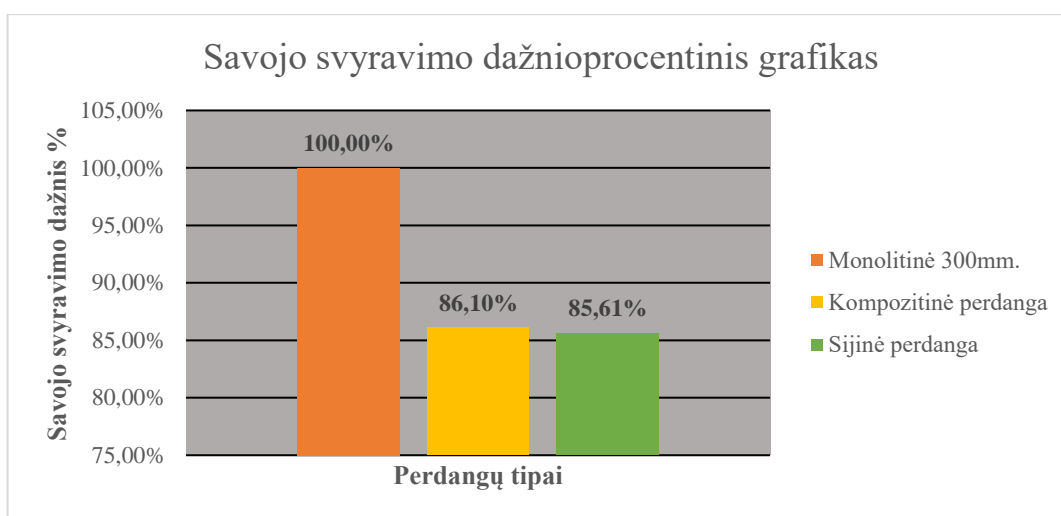
7.7 diagrama. Svyravimo pagreičio grafikas m/s²



7.8 diagrama. Svyravimo pagreičio procentinis grafikas



7.9 diagrama. Savojo svyravimo dažnio grafikas Hz



7.10 diagrama. Savojo svyravimo dažnio procentinis grafikas

Skaičiavimai atliekami esant subjektyviam reikšmingumui:

Subjektyvus – „būdingas žmogui kaip subjektui, nuostatų matavimo skalė, parengta vieno autoriaus be ekspertų pagalbos“

7.2 lentelė. Svertinė normalizuota matrica P*

	K1, Kaina, Lt/m ²	K2, Darbų trukmė, mėn.	K3 Betono kiekis m ³	K4 Armatūros kiekis kg	K5 Įlinkis mm	K6 Svyravimo pageitis m/s ²	K7 Savojo svyravimo dažnis Hz	K8 Metalų kiekis kg	K9 Perdangos aukštis
Monolitinė 300mm.	0,284	0,241	0,421	0,444	0,374	0,209	0,305	0,000	0,231
Kompozitinė perdanga	0,344	0,345	0,281	0,265	0,317	0,436	0,347	1,000	0,385
Sijinė perdanga	0,372	0,414	0,298	0,291	0,309	0,355	0,348	0,000	0,385

Nustatomas idealus teigiamas variantas:

$$a^+ = \{21600; 0,8; 72; 8,64; 29,26; 4,48; 4,61; 0; 0,3\} = \{0,037; 0,033; 0,035; 0,033; 0,039; 0,026; 0,044; 0,000; 0,026\}$$

Nustatomas idealus neigiamas variantas:

$$a^- = \{27000; 1,2; 108; 14,45; 35,49; 9,33; 4,03; 5616; 0,5\} = \{0,046; 0,05; 0,053; 0,055; 0,047; 0,054; 0,038; 0,125; 0,043\}$$

Idealus teigiamo varianto skirtumo (atstumo) L_{i+} tarp realaus a_i ir a^+ nustatymas:

$$L_i^+ = \sum_{j=1}^n |x_{ij} - x_j^+| \quad (7.1)$$

7.3 lentelė. Idealus teigiamo varianto skirtumo (atstumo) L_{i+} tarp realaus a_i ir a^+ - reikšmės

L_{1+}	0,048
L_{2+}	0,173
L_{3+}	0,067

Idealus neigiamo varianto skirtumo (atstumo) L_{i-} tarp realaus a_i ir a^- nustatymas:

$$L_i^- = \sum_{j=1}^n |x_{ij} - x_j^-| \quad (7.2)$$

7.4 lentelė. Idealus neigiamo varianto skirtumo (atstumo) L_{i-} tarp realaus a_i ir a^- reikšmės

L_{1-}	0,182
L_{2-}	0,057
L_{3-}	0,163

Santykinio lyginamų variantų artumo idealiam $K_{bit,i}$ nustatymas.

$$K_{bit,i} = \frac{L_i^-}{L_i^+ + L_i^-} \quad (7.3)$$

7.5 lentelė. Santykinio lyginamų variantų artumo idealiam K_{bit} - reikšmės

$K_{bit,1}$	0,793	maksimali vertė
$K_{bit,2}$	0,249	
$K_{bit,3}$	0,709	

Racionaliausiai inžinerinis sprendimas bus tas, kurio Kbit reikšmė yra max.

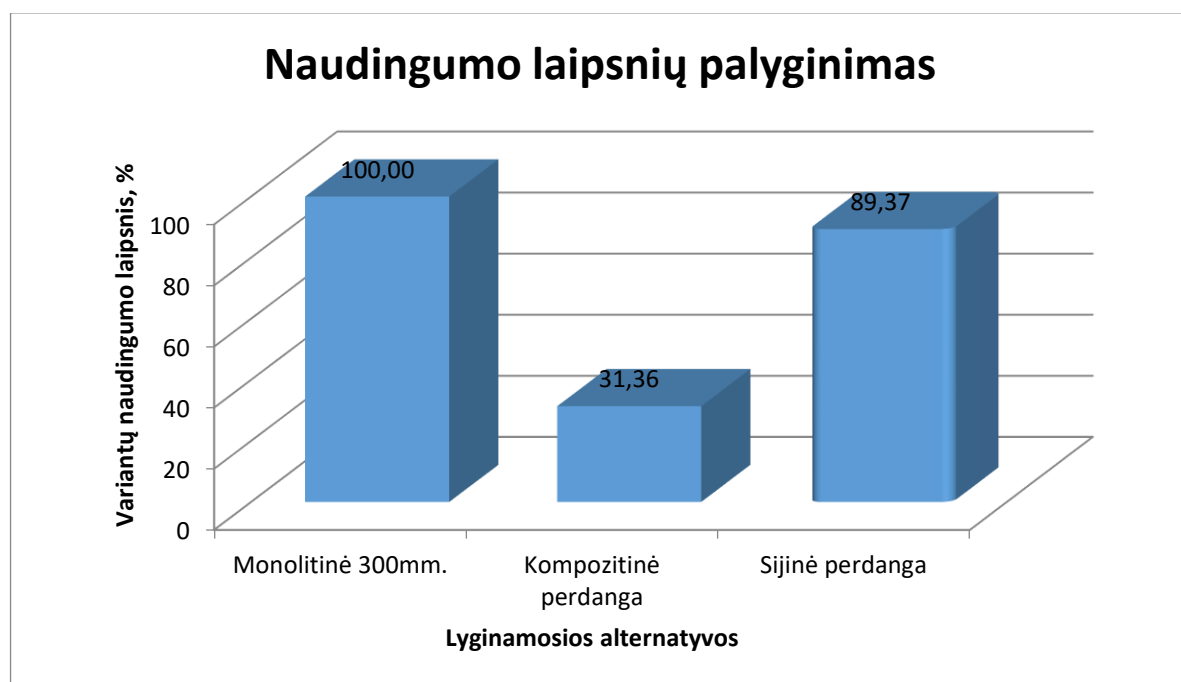
Nustatomas naudingumo laipsnis pagal formulę:

$$N_i = \frac{K_{bit,i}}{K_{bit,max}} \cdot 100\% \quad (7.4)$$

7.6 lentelė. Naudingumo laipsnis

N ₁	100,00
N ₂	31,36
N ₃	89,37

Pagal gautus duomenis pateikiamas grafinis variantų palyginimas



7.11 diagrama. Grafinis variantų palyginimas skaičiais remiantis subjektyviam reikšmingumui

Nustatyta, kad labiausiai efektyvi monolitinė 300 mm storio perdanga, jos mažiausia darbų kaina ir darbų trukmė, taip pat mažiausias svyravimo pagreitis ir metalo kiekis, aukštis. Nuo monolitinės perdangos labai nedaug atsilieka sijinė perdanga tik 10,63 %, labai neefektyvus beveik tris kartus gaunama kompozitine perdanga, jos labai didelis svyravimo pagreitis ir metalo kiekis.

Išvados

1. Norint padidinti perdangos savąjį svyravimo dažnį reikia mažinti perdangos ilgį ar masę, arba didinti tamprumo modulį ar inercijos momentą.

2. Apskaičiavus perdangos svyravimo pagreitį nuo vieno žmogaus ėjimo matome, kad pagreičio dydis tenkina reikalavimus veiklos srities plotuose, taip pat ligoninėse ir gyvenamuosiuose plotuose, kai vaikščiojimas yra nereguliarus. Apskaičiavus skirtingus variantus nuo žmonių grupių gauname, kad variantas kai ketvirtoje zonoje vienu metu pašoka pusė žmonių, o kita dalis už tam tikro laiko, kaip parodyta 6.4.5 diagramoje yra pavojingiausias, gaunamas didžiausias svyravimo pagreitis RMS kuris lygus $6,54 \text{ m/s}^2$. Toks svyravimo pagreitis yra E svyravimo klasėje, ir tokiose perdangose gali būti, tik pramonės ir sporto veikla.

3. Pakeitus perdangos storį nuo 300 - 350 mm savasis svyravimo dažnis padidėjo nuo 4,03 - 4,70 Hz 16%, o perdangos svyravimo pagreitis sumažėjo nuo $6,54 - 3,74 \text{ m/s}^2$ 43%. Pakeitus perdangos storį nuo 300 - 400 mm savasis svyravimo dažnis padidėjo nuo 4,03 - 5,73 Hz 42%, o perdangos svyravimo pagreitis sumažėjo nuo $6,54$ iki $4,29 \text{ m/s}^2$ 34%. Pakeitus perdangos storį nuo 300–350 mm, o betono klasė nuo C30/37 iki C35/45. savasis svyravimo dažnis padidėjo nuo 4,03 iki 4,79 Hz 19%, o perdangos svyravimo pagreitis sumažėjo nuo $6,54$ iki $3,17 \text{ m/s}^2$ 51,5 %.

Literatūros sąrašas

1. C.M.R, Gaspar. J.G, Santos da Silva, L.F. (2016). *Multimode vibration control of building steel–concrete composite floors submitted to human rhythmic activities.*
2. C.M.R, Gaspar. (2013). *Dynamic analysis and vibration control of buildings' floors when submitted to human rhythmic activities.*
3. Qi, An. Qingying, Ren. Hongbo, Liu. Hongbo, Liu. & Zhihua, Chen. (2010). *Dynamic performance characteristics of an innovative Cable Supported Beam Structure–Concrete Slab Composite Floor System under human-induced loads.*
4. Silva, José GS. Andrade, Sebastião AL. Lopes, Elvis DC. (2014) *Parametric modelling of the dynamic behaviour of a steel–concrete composite floor. Eng Struct.*
5. Hu, L. J. (2007). *Serviceability design criteria for commercial and multifamily floors. Canadian Forest Service Report No. 4. Forintek Canada Corp.*
6. Tomi, Toratti. ir Asko, Talja. (2006). *Classification of human induced floor vibrations.*
7. INTERNATIONAL STANDARD ISO 10137 (2007). *Bases for design of structures — Serviceability of buildings and walkways against vibrations*
8. ELLIS, B.R. (2003). *The influence of crowd size on floor vibrations induced by walking. The Structural Engineer, 18 March.*
9. M R, Willford. ir P, Young. (2006). *A Design Guide for Footfall Induced Vibration of Structures.*
10. Lukas, Wolski. (2006). *Natural frequency of Cobiax flat slabs.*
11. Bachmann, H. (2014). *Case studies of structures with man-induced vibration, Journal of Structural Engineering.*
12. Markus, Feldmann. (2015). *Design Guide for Floor Vibrations ArcelorMittal Europe - Long Products Sections and Merchant Bars.*
13. Advanced Professional Training Dynamics „SCIA Engineer“ (2014).
14. Wikipedia. (2017). Dažnis.
[žiūėta 2018-12-10]. Prieiga per internetą
<https://lt.wikipedia.org/wiki/Dažnis>
15. Bijan O Aalami.. (2012). *Vibration Design of concrete floos for serviceability.*
16. Jonas, Juodis. (2009). *Medžiagų atsparumas praktinių darbų aprašas.*
17. Christoph, Heinemeyer. (2009). *Design of lightweight footbridges for humas induced vibrations.*
18. Valstybinės lietuvių kalbos komisijos. (2015). Optimalus.
[žiūėta 2018-12-10]. Prieiga per internetą
<http://www.vlkk.lt/konsultacijos/5121-optimalus>

Priedai

1 priedas

Rezultatai: nuo vieno žmogaus nuolatinio šokinėjimo perdangos viduryje, perdangos deformacija nuo tos jėgos jos pridėjimo vietoje ir svyravimo pagreitis.

Laikas s	Deformacija mm	Pagreitis m/s ²
0,00	0,00	0,10
0,10	-0,16	0,06
0,20	-0,01	0,05
0,30	0,13	0,20
0,40	-0,11	0,09
0,50	-0,21	1,50
0,60	-0,10	0,32
0,70	-0,14	1,78
0,80	0,14	1,04
0,90	-0,17	2,68
1,00	-0,10	2,14
1,10	0,01	3,15
1,20	-0,10	2,70
1,30	0,06	0,53
1,40	0,08	1,96
1,50	-0,07	2,32

Rezultatai: nuo grupės žmogaus sinchroninio šokinėjimo pirmoje zonoje, perdangos deformacija nuo tų jėgų jų pridėjimo vietoje ir svyravimo pagreitis.

Laikas s	Deformacija mm	Pagreitis m/s ²
0,00	0,00	0,40
0,10	-1,32	0,44
0,20	-0,10	0,03
0,30	0,73	0,75
0,40	-0,92	0,40
0,50	1,45	1,92
0,60	1,82	0,74
0,70	-1,23	2,84
0,80	1,26	4,48
0,90	-0,62	2,37
1,00	-1,46	1,02
1,10	0,65	2,74
1,20	-0,58	0,88
1,30	-0,18	2,28
1,40	0,71	2,96
1,50	-0,60	4,04

Rezultatai: nuo grupės žmogaus sinchroninio šokinėjimo antroje zonoje, perdangos deformacija nuo tų jėgų jų pridėjimo vietoje ir svyravimo pagreitis.

Laikas s	Deformacija mm	Pagreitis m/s ²
0,00	0,00	0,40
0,10	-1,32	0,21
0,20	0,45	0,44
0,30	0,88	0,17
0,40	-1,06	0,38
0,50	1,96	1,44
0,60	0,67	1,03
0,70	-1,12	2,63
0,80	1,37	4,46
0,90	-1,22	1,70
1,00	-1,85	1,98
1,10	1,56	2,98
1,20	-0,91	0,64
1,30	-0,49	1,06
1,40	0,58	1,76
1,50	-0,91	3,64

Rezultatai: nuo grupės žmogaus sinchroninio šokinėjimo trečioje zonoje, perdangos deformacija nuo tų jėgų jų pridėjimo vietoje ir svyravimo pagreitis.

Laikas s	Deformacija mm	Pagreitis m/s ²
0,00	0,00	0,40
0,10	-1,38	0,49
0,20	0,61	0,90
0,30	0,95	0,37
0,40	-1,04	2,34
0,50	0,80	1,07
0,60	2,20	1,03
0,70	-0,92	1,38
0,80	1,38	5,10
0,90	-1,38	1,96
1,00	-2,35	3,64
1,10	1,91	3,91
1,20	1,46	1,69
1,30	-0,63	0,60
1,40	0,38	1,81
1,50	-0,91	3,63

Rezultatai: nuo grupės žmogaus sinchroninio šokinėjimo ketvirtoje zonoje, perdangos deformacija nuo tų jėgų jų pridėjimo vietoje ir svyravimo pagreitis.

Laikas s	Deformacija mm	Pagreitis m/s ²
0,00	0,00	0,40
0,10	-1,10	0,49
0,20	0,52	0,50
0,30	0,76	0,27
0,40	-0,77	0,40
0,50	0,66	1,64
0,60	1,75	0,60
0,70	-0,75	2,50
0,80	1,05	5,26
0,90	-0,97	0,36
1,00	-1,93	2,91
1,10	1,58	3,43
1,20	1,35	0,99
1,30	-0,59	0,93
1,40	0,37	3,04
1,50	-0,63	4,24

Rezultatai: nuo grupės žmogaus sinchroninio šokinėjimo penktoje zonoje, perdangos deformacija nuo tų jėgų jų pridėjimo vietoje ir svyravimo pagreitis.

Laikas s	Deformacija mm	Pagreitis m/s ²
0,00	0,00	0,39
0,10	0,45	0,12
0,20	-0,20	0,16
0,30	-0,09	0,23
0,40	0,08	0,22
0,50	0,32	1,95
0,60	0,65	0,83
0,70	-0,31	1,43
0,80	-0,07	4,27
0,90	0,50	2,35
1,00	-0,75	1,18
1,10	0,62	2,04
1,20	-0,54	1,29
1,30	0,20	3,04
1,40	0,17	3,13
1,50	-0,22	2,00

Rezultatai: nuo grupės žmogaus sinchroninio šokinėjimo šeštoje zonoje, perdangos deformacija nuo tų jėgų jų pridėjimo vietoje ir svyravimo pagreitis.

Laikas s	Deformacija mm	Pagreitis m/s ²
0,00	0,00	0,32
0,10	-1,06	0,40
0,20	0,08	0,16
0,30	0,59	0,59
0,40	-0,75	0,49
0,50	1,18	1,27
0,60	0,65	0,35
0,70	-0,99	2,27
0,80	1,02	3,59
0,90	-0,50	2,72
1,00	-1,17	0,81
1,10	0,54	2,84
1,20	-0,46	1,83
1,30	-0,15	2,06
1,40	0,57	2,98
1,50	-0,49	3,38

Rezultatai: nuo grupės žmogaus sinchroninio šokinėjimo septintoje zonoje, perdangos deformacija nuo tų jėgų jų pridėjimo vietoje ir svyravimo pagreitis.

Laikas s	Deformacija mm	Pagreitis m/s ²
0,00	0,00	0,40
0,10	-1,06	0,10
0,20	0,36	0,23
0,30	0,71	0,18
0,40	-0,86	0,44
0,50	1,05	1,36
0,60	1,58	0,61
0,70	-0,91	1,61
0,80	1,11	3,70
0,90	-0,99	2,73
1,00	-1,49	1,75
1,10	1,28	3,12
1,20	-0,74	1,75
1,30	-0,40	1,06
1,40	0,46	1,67
1,50	-0,74	3,58

Rezultatai: nuo grupės žmogaus sinchroninio šokinėjimo aštuntoje zonoje, perdangos deformacija nuo tų jėgų jų pridėjimo vietoje ir svyravimo pagreitis.

Laikas s	Deformacija mm	Pagreitis m/s ²
0,00	0,00	0,40
0,10	-1,11	0,43
0,20	0,50	0,55
0,30	0,77	0,23
0,40	-0,84	0,14
0,50	0,66	1,95
0,60	1,76	0,56
0,70	-0,74	1,62
0,80	1,12	4,41
0,90	-1,11	2,08
1,00	-1,87	2,59
1,10	1,55	4,06
1,20	-1,17	1,24
1,30	0,36	1,65
1,40	0,32	2,35
1,50	-0,75	3,92

Rezultatai: nuo grupės žmogaus sinchroninio šokinėjimo devintoje zonoje, perdangos deformacija nuo tų jėgų jų pridėjimo vietoje ir svyravimo pagreitis.

Laikas s	Deformacija mm	Pagreitis m/s ²
0,00	0,00	0,32
0,10	-0,92	0,41
0,20	0,42	0,35
0,30	0,62	0,23
0,40	-0,62	0,28
0,50	0,54	1,85
0,60	1,41	0,42
0,70	-0,61	2,01
0,80	0,86	4,19
0,90	0,89	2,07
1,00	-1,54	1,32
1,10	1,29	2,88
1,20	-1,08	2,29
1,30	0,33	1,25
1,40	0,29	2,73
1,50	-0,52	3,53

Rezultatai: nuo grupės žmogaus sinchroninio šokinėjimo dešimtoje zonoje, perdangos deformacija nuo tų jėgų jų pridėjimo vietoje ir svyravimo pagreitis.

Laikas s	Deformacija mm	Pagreitis m/s ²
0,00	0,00	0,33
0,10	-0,37	0,12
0,20	0,17	0,09
0,30	0,24	0,27
0,40	-0,23	0,05
0,50	0,27	1,94
0,60	0,53	1,20
0,70	-0,24	1,50
0,80	0,32	4,15
0,90	-0,41	2,84
1,00	-0,61	1,27
1,10	0,51	1,73
1,20	-0,44	1,38
1,30	0,16	3,41
1,40	0,14	2,44
1,50	-0,19	2,05

Rezultatai: nuo grupės žmogaus sinchroninio šokinėjimo vienuoliktoje zonoje, perdangos deformacija nuo tų jėgų jų pridėjimo vietoje ir svyravimo pagreitis.

Laikas s	Deformacija mm	Pagreitis m/s ²
0,00	0,00	0,32
0,10	-0,40	0,14
0,20	0,03	0,08
0,30	0,22	0,30
0,40	-0,29	0,23
0,50	0,48	1,78
0,60	0,54	0,51
0,70	-0,38	2,24
0,80	0,39	4,04
0,90	-0,19	2,86
1,00	-0,44	2,09
1,10	0,22	3,60
1,20	-0,17	1,89
1,30	0,16	2,40
1,40	0,21	3,09
1,50	-0,19	3,21

Rezultatai: nuo grupės žmogaus sinchroninio šokinėjimo dvyliktoje zonoje, perdangos deformacija nuo tų jėgų jų pridėjimo vietoje ir svyravimo pagreitis.

Laikas s	Deformacija mm	Pagreitis m/s ²
0,00	0,00	0,26
0,10	-0,38	0,11
0,20	0,14	0,06
0,30	0,27	0,13
0,40	-0,33	0,19
0,50	0,40	1,76
0,60	0,57	0,52
0,70	-0,35	1,73
0,80	0,43	3,56
0,90	-0,38	2,66
1,00	-0,57	0,73
1,10	0,51	3,28
1,20	-0,28	0,96
1,30	0,09	1,76
1,40	0,17	1,79
1,50	-0,28	2,49

Rezultatai: nuo grupės žmogaus sinchroninio šokinėjimo tryliktoje zonoje, perdangos deformacija nuo tų jėgų jų pridėjimo vietoje ir svyravimo pagreitis.

Laikas s	Deformacija mm	Pagreitis m/s ²
0,00	0,00	0,32
0,10	-0,42	0,14
0,20	0,19	0,21
0,30	0,29	0,10
0,40	-0,32	0,12
0,50	0,26	1,86
0,60	0,66	0,48
0,70	-0,28	1,86
0,80	0,44	3,77
0,90	-0,42	3,00
1,00	-0,70	1,62
1,10	0,60	3,22
1,20	-0,44	1,06
1,30	0,13	2,03
1,40	0,13	2,28
1,50	-0,29	2,38

Rezultatai: nuo grupės žmogaus sinchroninio šokinėjimo keturioliktoje zonoje, perdangos deformacija nuo tų jėgų jų pridėjimo vietoje ir svyravimo pagreitis.

Laikas s	Deformacija mm	Pagreitis m/s ²
0,00	0,00	0,26
0,10	-0,35	0,14
0,20	0,16	0,09
0,30	0,24	0,12
0,40	-0,24	0,11
0,50	0,21	1,86
0,60	0,54	0,52
0,70	-0,23	2,02
0,80	0,32	4,17
0,90	-0,30	3,14
1,00	-0,58	2,01
1,10	0,50	3,72
1,20	-0,41	1,99
1,30	0,12	1,50
1,40	0,11	3,27
1,50	-0,21	3,28

Rezultatai: nuo grupės žmogaus sinchroninio šokinėjimo penkioliktoje zonoje, perdangos deformacija nuo tų jėgų jų pridėjimo vietoje ir svyravimo pagreitis.

Laikas s	Deformacija mm	Pagreitis m/s ²
0,00	0,00	0,27
0,10	-0,14	0,19
0,20	0,06	0,13
0,30	0,09	0,12
0,40	-0,09	0,09
0,50	0,11	2,05
0,60	0,20	1,06
0,70	-0,09	1,75
0,80	0,12	4,06
0,90	-0,11	2,91
1,00	-0,22	1,86
1,10	0,20	2,98
1,20	-0,17	0,77
1,30	0,06	3,66
1,40	0,06	2,28
1,50	-0,08	2,57

Rezultatai: nuo grupės žmogaus nesinchroninio šokinėjimo ketvirtoje zonoje, perdangos deformacija nuo tų jėgų jų pridėjimo vietoje ir svyravimo pagreitis.

Laikas s	Deformacija mm	Pagreitis m/s ²
0,00	0,00	0,21
0,10	-0,14	0,28
0,20	0,06	0,23
0,30	0,09	2,93
0,40	-0,09	3,17
0,50	0,11	2,60
0,60	0,87	3,13
0,70	-0,97	0,59
0,80	0,12	4,15
0,90	-0,11	3,07
1,00	-0,22	3,87
1,10	0,20	2,55
1,20	-0,17	1,84
1,30	0,06	0,84
1,40	0,06	1,97
1,50	-0,08	0,87

Rezultatai: nuo grupės žmogaus nesinchroninio šokinėjimo ketvirtoje zonoje, perdangos deformacija nuo tų jėgų jų pridėjimo vietoje ir svyravimo pagreitis.

Laikas s	Deformacija mm	Pagreitis m/s ²
0,00	0,00	0,28
0,10	-1,06	1,57
0,20	0,63	2,10
0,30	0,95	3,18
0,40	-0,97	1,94
0,50	0,80	3,24
0,60	1,82	4,39
0,70	-0,57	2,07
0,80	1,03	6,54
0,90	0,84	4,27
1,00	-1,91	2,00
1,10	1,54	3,48
1,20	-1,43	3,98
1,30	0,65	0,87
1,40	-0,09	2,09
1,50	-0,51	3,21

Rezultatai: nuo grupės žmonių šokinėjimo atsitiktinai išsidėsčius, perdangos deformacija nuo tų jėgų jų pridėjimo vietoje ir svyravimo pagreitis.

Laikas s	Deformacija mm	Pagreitis m/s ²
0,00	0,00	0,10
0,10	-1,08	0,11
0,20	0,13	0,23
0,30	0,75	0,55
0,40	-1,23	0,91
0,50	1,26	1,60
0,60	1,68	0,92
0,70	-1,27	2,48
0,80	1,42	2,00
0,90	-0,79	3,81
1,00	-1,04	2,83
1,10	0,95	4,28
1,20	-0,35	3,48
1,30	-0,14	1,07
1,40	0,52	3,03
1,50	-0,83	2,95

Rezultatai: nuo grupės žmonių vaikščiojimo, perdangos deformacija nuo tų jėgų jų pridėjimo vietoje ir svyravimo pagreitis.

Laikas s	Deformacija mm	Pagreitis m/s ²
0,00	0,00	0,04
0,10	-0,70	0,09
0,20	-1,01	0,27
0,30	0,40	0,43
0,40	0,26	0,73
0,50	0,17	0,30
0,60	-0,71	0,43
0,70	0,11	0,88
0,80	0,37	0,32
0,90	0,62	2,32
1,00	-1,69	2,51
1,10	0,50	1,40
1,20	-0,33	1,26
1,30	1,14	1,41
1,40	0,99	1,07
1,50	-1,10	0,59

Rezultatai: nuo grupės žmogaus sinchroninio šokinėjimo pirmoje zonoje, kai perdanga kompozitinė, perdangos deformacija nuo tų jėgų jų pridėjimo vietoje ir svyravimo pagreitis.

Laikas s	Deformacija mm	Pagreitis m/s ²
0,00	0,00	0,63
0,10	-2,13	0,71
0,20	0,99	0,55
0,30	-0,34	0,22
0,40	0,37	0,67
0,50	1,34	1,29
0,60	0,60	5,59
0,70	-0,69	1,71
0,80	0,54	1,49
0,90	0,30	6,57
1,00	-1,99	9,33
1,10	1,10	6,14
1,20	-0,99	1,29
1,30	0,46	4,87
1,40	-0,48	3,13
1,50	0,16	6,05

Rezultatai: nuo grupės žmogaus sinchroninio šokinėjimo pirmoje zonoje, kai perdanga sijinė, perdangos deformacija nuo tų jėgų jų pridėjimo vietoje ir svyravimo pagreitis.

Laikas s	Deformacija mm	Pagreitis m/s ²
0,00	0,00	0,80
0,10	-2,01	0,60
0,20	0,94	0,55
0,30	-0,33	0,40
0,40	-0,28	0,59
0,50	1,06	2,48
0,60	0,62	1,02
0,70	-0,69	0,95
0,80	0,48	1,82
0,90	0,14	4,68
1,00	-1,99	1,50
1,10	1,02	3,83
1,20	-1,01	2,26
1,30	0,49	0,92
1,40	-0,61	0,75
1,50	0,23	7,59