

Laimonas Ratkevičius, Agnė Spiridavičienė, Edmundas Žižys, Henrik Möller

2024-10-24

K. Parčevskio Gimnazijos Nemenčinėje Koncertų Salės Akustinio Modeliavimo Ataskaita

Užsakovas: UAB „Plėtros partneriai“

Kontaktinis asmuo: Pavel Verbovič

1 ĮVADAS

Nemenčinėje yra naujai statoma K. Parčevskio gimnazija, kurioje bus įrengiama koncertų salė pritaikyta natūralios akustikos kameriniams, simfoniniams bei įgarsintiems renginiams. Numatomas salės tūris yra apie 4200 m³. Norint salę pritaikyti natūralios akustikos, bei įgarsintiems renginiams, salėje bus privaloma numatyti garsą sugeriančių, nukreipiančių, sklaidančių ir atspindinčių paviršių, bei varijuojančios akustikos sprendimų.

Ši ataskaita iškelia koncertų salės vidaus akustikos, foninio triukšmo, bei garso izoliacijos reikalavimus, pristato salės dizaino akustinį konceptą, bei pateikia rekomenduojamas medžiagas.

2 REIKALAVIMAI**2.1 Vidaus akustikos reikalavimai**

Toliau išvardinti salės akustiniai reikalavimai buvo išvesti remiantis ISO 3382-1 „Acoustics – Measurement of room acoustic parameters. Performance spaces“ ir NS 8178 „Acoustic criteria for rooms and spaces for music rehearsal and performance“ standartais, kurie užtikrina kokybišką ir muzikalią aplinką šiai koncertų salei.

Lentelė 1. Salės akustiniai reikalavimai

Parametras	Garso dažnių sritis, Hz	Parametro vertė
Aidėjimo trukmė, RT60	125 - 4000	1.0; 1.6s
Garso stiprumas, G	500 - 1000	-2; +10dB
Ankstyvoji aidėjimo trukmė, EDT	125 - 4000	≥ RT60
Muzikos raiška, C80	500 - 1000	-5; +5dB
Kalbos aiškumas, D50	500 - 1000	0.3; 0.7
Ankstyvųjų šoninių atspindžių frakcija, LF80	125 - 1000	≥ 0.20
Ankstyvoji energija scenoje, ST _{early}	250 - 2000	≥ -13dB
Vėlyvoji energija scenoje, ST _{early}	250 - 2000	≥ -16dB

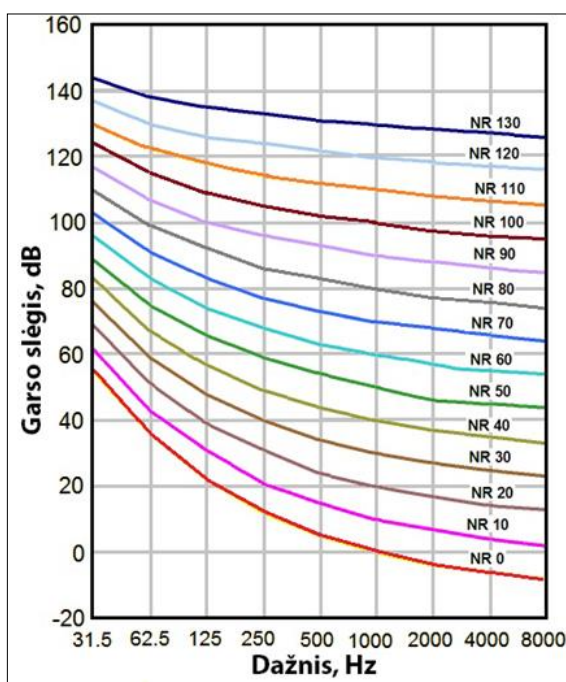
2.2 Foninio triukšmo reikalavimai

Norint užtikrinti kokybišką salės skambesį, bei komfortą tiek žiūrovams, tiek atlikėjams, salėje privalo būti ribojamas foninio triukšmo lygis nuo salėje ir aplink salę esančių triukšmą skleidžiančių įrenginių. Pagal Europoje taikomus standartus, natūralios akustikos koncertų salėse **foninis triukšmo lygis privalo neviršyti NR20 kreivės**, kurios vertės yra pateikiamos *Lentelė 2* ir *Pav. 1* žemiau.

Salėje, kurioje keliamas griežtas NR20 foninio triukšmo reikalavimas, būtina užtikrinti, kad ventiliacijos ortakių difuzoriuose oras išseidintų itin lėtai (rekomenduojama neviršyti 1 m/s), garso, apšvietimo ir kita įranga privalo turėti pasyvius (triukšmo nekeliančius) aušinimosi sprendimus.

Lentelė 2. NR20 ribiniai triukšmo lygiai (L_{Zeq} , dB)

Dažnis, Hz	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
NR									
NR20	69	51	39	31	24	20	17	14	13
NR25	72	55	44	35	29	25	22	20	18
NR30	76	59	48	40	34	30	27	25	23



Pav. 1. NR kreivės

2.3 Garso izoliacijos reikalavimai

Nors aplink salę nėra triukšmingų arba triukšmui jautrių patalpų, tačiau dėl bendros salės garso izoliacijos gerinimo, yra rekomenduojama numatyti duris į salę su laboratoriniu garso izoliacijos rodikliu siekiančiu $R_w \geq 42$ dB.

Uždarytos durys turi būti visiškai sandarios, prisiglaudžiančios prie varčios per vieną arba daugiau guminių tarpinių. Guminės tarpinės turi būti įrengtos taip, jog nepraleistų nei garso nei šviesos visu perimetru. Deklaruojama garso izoliacijos vertė turi būti pateikiama vertinant durų varčią su visu rėmu. Durys į mūrą privalo būti montuojamos užtikrinant pilną sandarumą, visu perimetru naudojant lėtai besiplečiančias putas (pvz. Soudal Flexifoam).

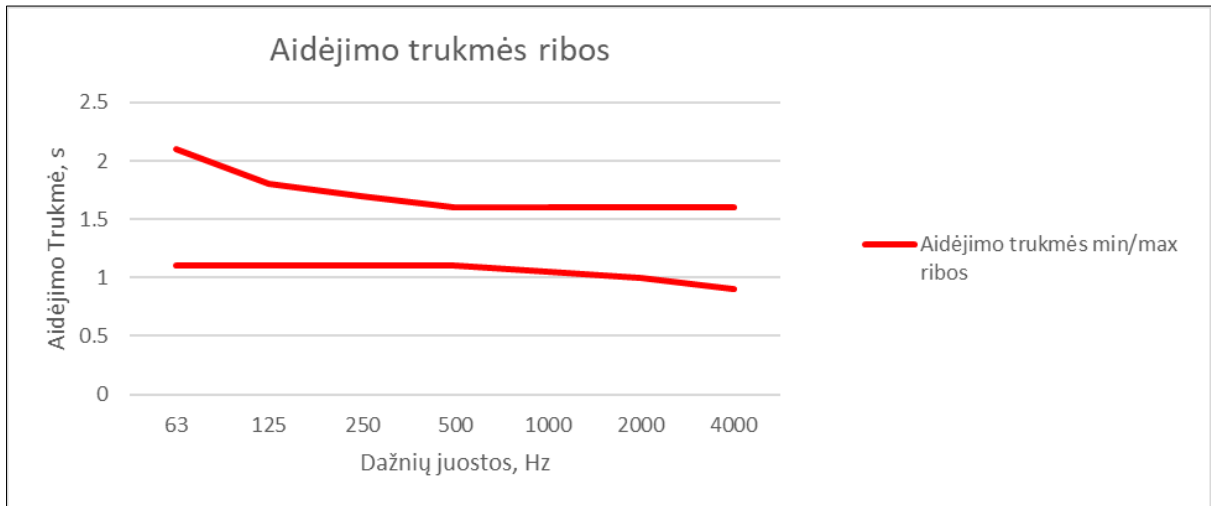
3 AKUSTINIS MODELIAVIMAS

Atliekami akustiniai skaičiavimai, siekiant įvertinti patalpos akustines savybes ir parinkti reikiamus akustinius sprendimus tinkamai patalpos akustikai užtikrinti. Numatyta, jog pagrindė salėje vyks natūralios akustikos koncertai, dėl to natūrali salės aidėjimo trukmė yra taikoma siekti apie 1.6s, kai salė naudojama be įgarsinimo įrangos, ir apie 1.0s, kai salė yra naudojama su įgarsinimo įranga. Aidėjimo trukmei

sumažinti yra rekomenduojama įrengti kintamos akustikos sprendimus (nusileidžiančias „roller“ tipo užuolaidas) ant galinės bei šoninių sienų.

3.1 Akustinio modeliavimo rezultatai

Remiantis NS 8178:2014 standartu buvo užsibrėžtos maksimalios aidėjimo trukmės reikšmės dažnių juostose, kai salė naudojama natūralios akustikos koncertui (viršutinė max riba), bei, kai salė naudojama su įgarsinimo įranga (apatinė min riba). Pav. 2 pateikia šiuos reikalavimus.



Pav. 2. Aidėjimo trukmės reikalavimai

3.2 Akustinės medžiagos ir jų principinis išdėstymas

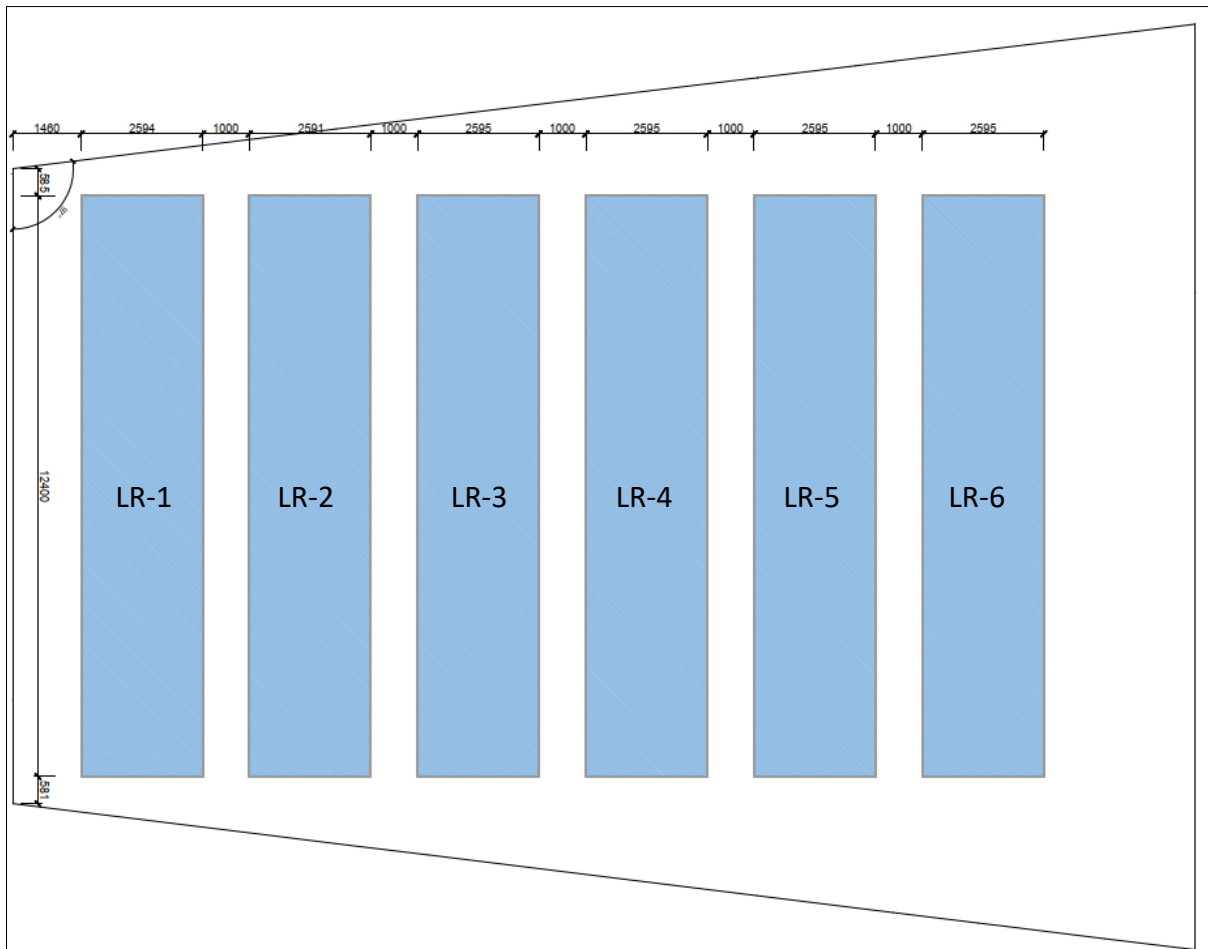
3.2.1 Lubos

Siekiant akustiškai tikslingai nukreipti garsą, salės lubos turi būti papildomai dengiamos garsą atspindinčiais lenktais pakabinamais lubiniais reflektoriais, kaip parodyta Pav. 3. Lubų reflektoriai yra konstruojami minimaliai iš dvigubo 6 mm storio lenkto gipso kartono, arba alternatyvios ne mažesnio svorio medžiagos. **Ant kiekvieno reflektoriaus viršaus ~30% ploto yra padengiama tolygiai išdėstyta atvira nedulkančia, dengta stiklo audiniu arba gamykliškai dažyta mineraline vata.** Mineralinei vatai prilaikyti, ant reflektorių kraštų gali būti daromi maži kraštai, tačiau pagrindinis vatos plotas turi būti atviras. Tikslus reflektorių dydis, išdėstymas, lenkimo kampai ir pakabinimo kampai yra pateikiami Pav. 5 ir Pav. 6. **Reflektoriai turi laisvę būti keičiamo aukščio +/-10cm aukštyje žemyn, pagal interjero dizainą.**

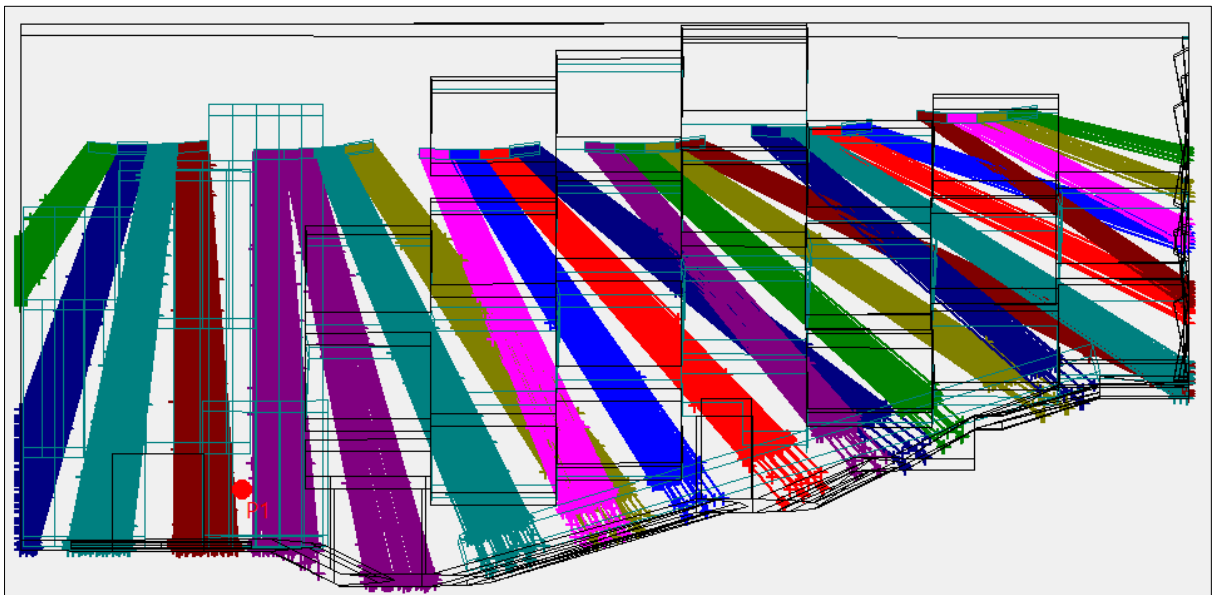
Reflektoriai šiuo metu yra projektuojami vienodo minimalaus nurodyto ~12.4 metro pločio, tačiau gali būti ir prailginami į abu šonus, kad sektų platėjančias salės sienas.

Užbaigus statybos darbus, akustikai turi turėti galimybę koreguoti (mažinti, arba minimaliai didinti) mineralinės vatos kiekį ant reflektorių, kad optimizuotų galutinę salės akustiką.

Pav. 6 parodo reflektorių veikimo principą, kuriame matyti tolygus garso atspindėjimas į scenos ir žiūrovinę dalį.



Pav. 5. Lubinių reflektorių (LR) išdėstymo schema. Vaizdas iš viršaus plane.



Pav. 6. Lubiniai reflektoriai - tolygūs atspindžiai į scenos ir žiūrovinę dalį.

3.2.2 Priekinė siena (apatinė dalis)

Salės priekinės sienos dalis pavaizduota Pav. 7 sudaryta iš dviejų pagrindinių elementų:

1. Medinės lamelės. Lamelės montuojamos ant medinio karkaso, kuris yra atitrauktas ne daugiau kaip 800 mm atstumu nuo galinės scenos mūrinės sienos. Garsui pralaidi lamelių sienelė yra daroma iš medinių arba fibrogipso šerdies dengtomis natūraliu medžio lukštu tašų. ~50% sienos ploto sudaro lamelės, o ~50% paliekama atvira, kaip rodo vizualizacija žemiau. Tarpai tarp lamelių, ir jų vaizduojamos įpjovos gali būti varijuojami pagal interjero dizainą. **Lamelės gali užsitęsti į scenos šonus, kaip pavaizduota Pav. 7.** Lamelėse turi būti įrengiamos viso keturios durys, kurios leistų patekimą į sceną iš salės galo ir šonų.

2. Scenos užuolaida. Už lamelių (tarp mūro sienos ir karkaso) yra montuojami 700-1000g/m² svorio mechaniškai bėgelio su guoliniais ratukais laisvai slankiojančių užuolaidų segmentai (klostavimas 1:1,25), kurie suteiks scenai kintamos akustikos variaciją ir bus slankiojama pagal pasirodymo poreikį ir muzikantų išsidėstymą scenoje. Pilnai išskleista užuolaida turi uždengti visą scenos galinę sieną už lamelių. Užuolaida posūkio daryti kartu su lamelėmis link šoninių scenos sienų neturi.



Pav. 7. Salės priekinė siena

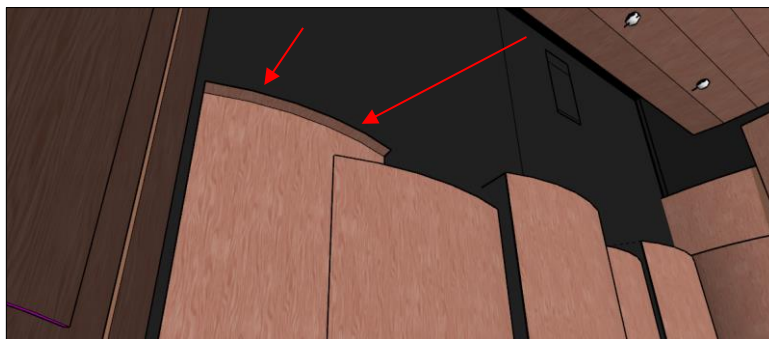
3.2.3 Priekinė siena (viršutinė dalis)

Priekinės sienos viršutinė dalis (virš lamelių sienos), pavaizduota Pav. 8 yra daroma iš didelių lenktų (minimaliai 2x12.5mm storio gipso kartono plokščių (1x12,5 mm g/k svoris > 8 kg/m²) (arba alternatyvios medžiagos sudarančios tokį patį arba didesnį svorį per m²), su už jų tiesiogiai prie plokščių pritvirtinta 50mm storio (tankis ~40kg/m³) pusiau kieta mineraline vata. **Mineralinė vata už reflektorių turi būti uždaroma kitomis plokštėmis, pavyzdžiui 1x12.5mm gipso plokšte, kad būtų apsaugota nuo dulkių ir nesuteiktų scenos erdvei nepageidaujamos garso sugerties.** Konkrečių kampų ir dydžių šioms plokštėms nėra, tad jos gali būti taikomos prie interjero dizaino vizijos.

Papildomai, ant visų šių plokščių viršaus turi būti montuojama 200-300 mm gylio stačiai į plokštes stovinti „palangė“, kuri suteiks muzikantams papildomą ankstyvąjį garso atspindį, kaip pavaizduota ant vienos plokštės pavyzdžio Pav. 9.



Pav. 8. Priekinės sienos viršutinė dalis – lenkti reflektoriai

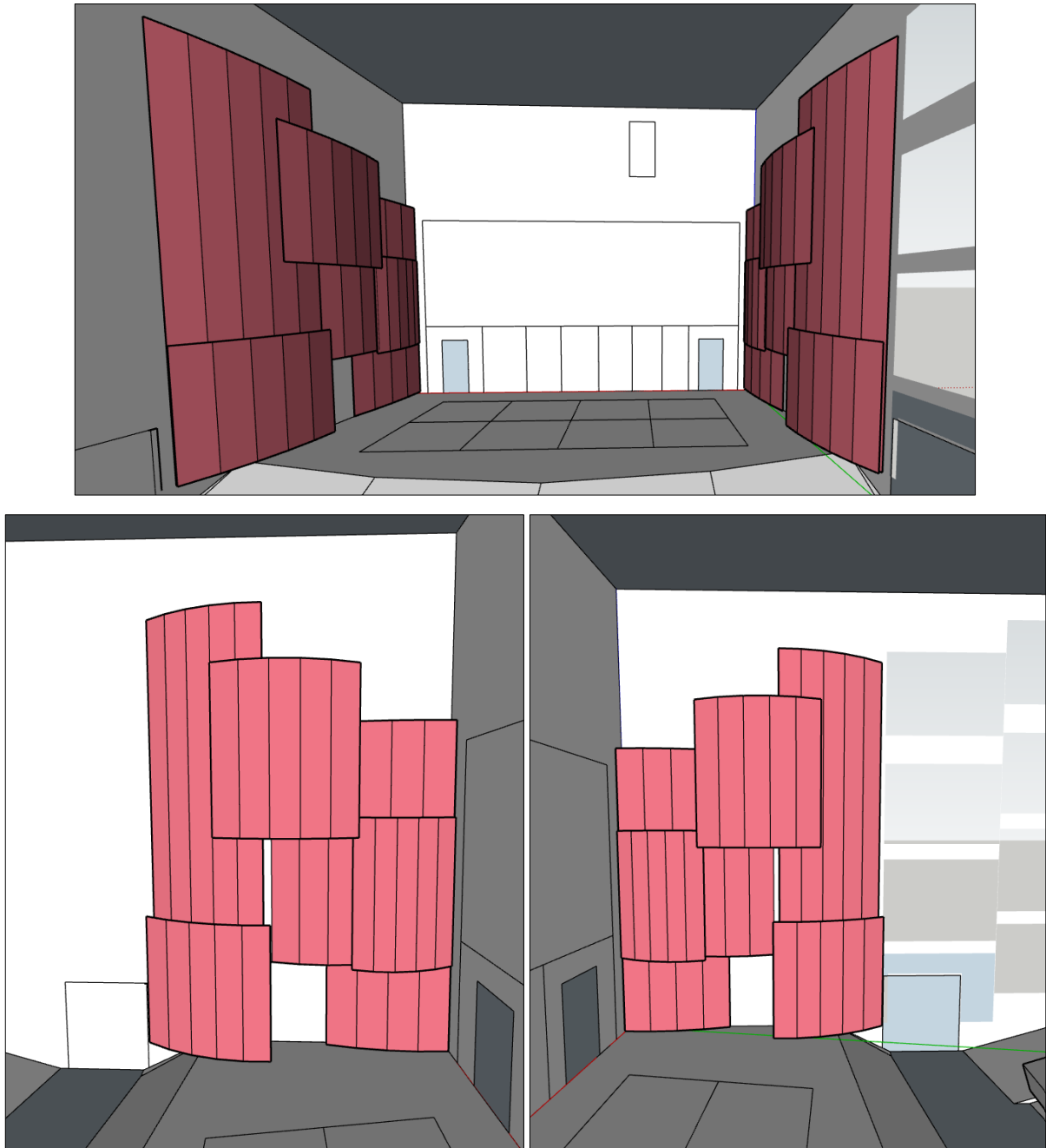


Pav. 9. 200-300 mm gylio „palangė“ išlindusi į scenos pusę

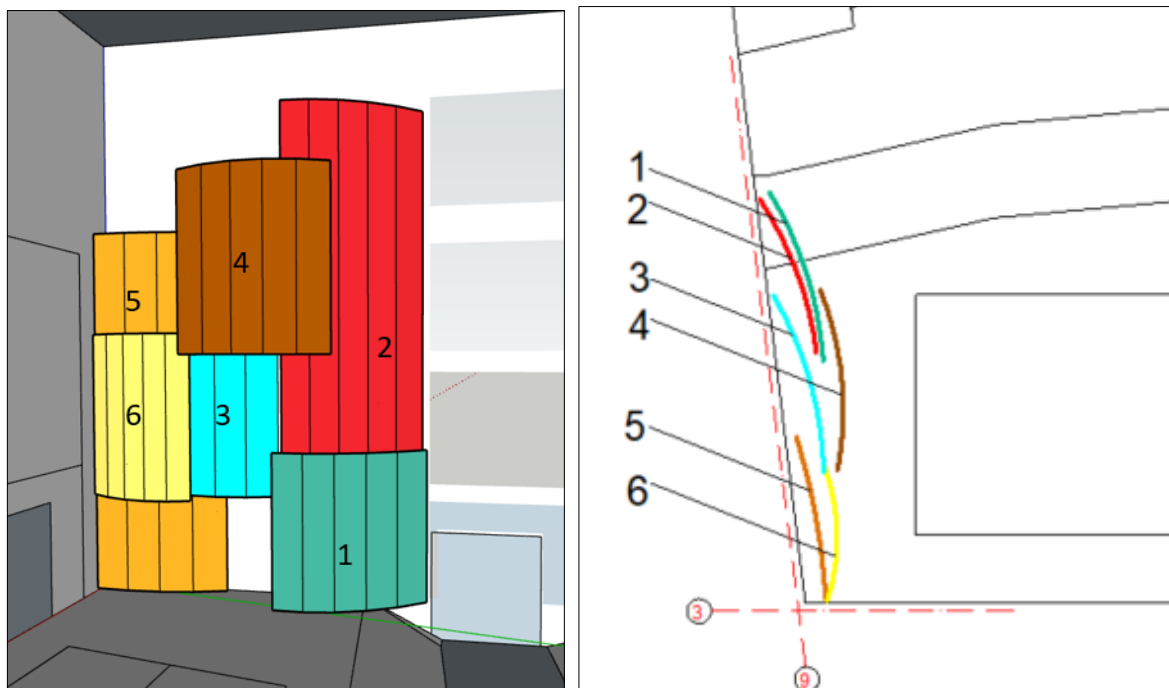
3.2.4 Šoniniai scenos reflektoriai

Scenos šoninės sienos turi būti dengiamos garsą atspindinčiais reflektoriais, kaip parodyta Pav. 10 ir Pav. 11. Reflektoriai konstruojami iš 2x12,5 mm storio gipso kartono (1x12,5 mm g/k svoris >8 kg/m²) (arba alternatyvios medžiagos su tokiu pačiu arba didesniu svoriu per m²) su už jų tiesiogiai prie plokščių pritvirtinta 50mm storio (tankis ~ 40kg/m³) pusiau kieta mineraline vata. **Mineralinė vata už reflektorių turi būti uždaroma kitomis plokštėmis, pavyzdžiui 1x12.5mm gipso plokšte, kad būtų apsaugota nuo dulkelėjimo ir nesuteiktų scenos erdvei nepageidaujamos garso sugerties.** Tikslus reflektorių dydis, išdėstymas, lenkimo kampai ir montavimo kampai yra suderinti su architekto ir pateikti architektūriniuose brėžiniuose.

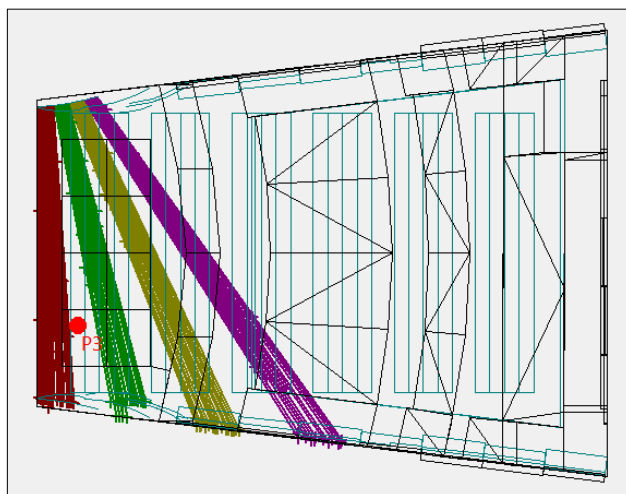
Pav. 12 ir Pav. 13 parodo reflektorių veikimo principą – tolygų garso nukreipimą ir paskirstymą į sceną, bei žiūrovinę dalį.



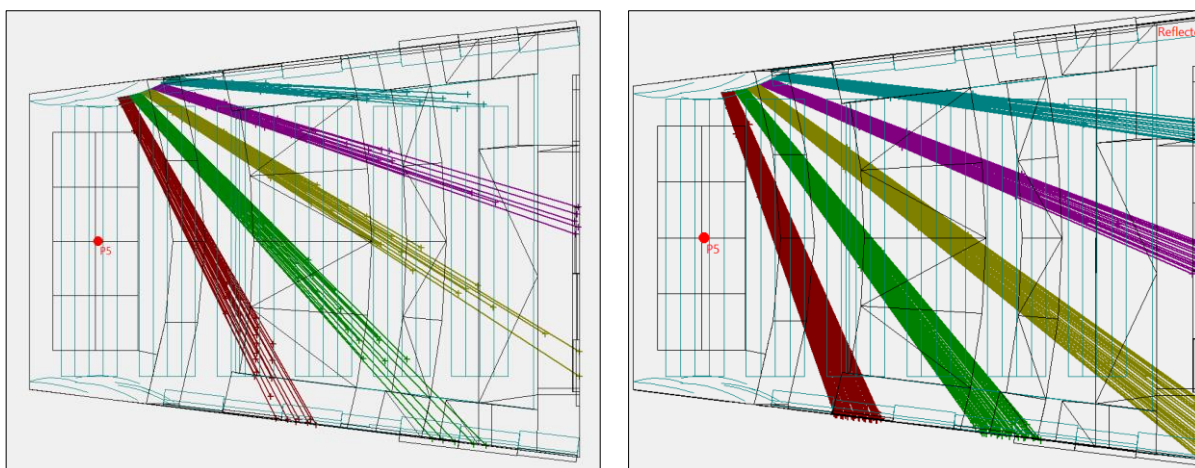
Pav. 10. Scenos šoninių reflektorių (SR) išdėstymo schema.



Pav. 11. Scenos reflektorių (SR) išdėstymo schema. Vaizdas iš priekio ir vaizdas plane.



Pav. 12. Scenos šoninio reflektoriaus Nr. 5 atspindžiai nukreipti į atlikėjus



Pav. 13. Scenos šoninio reflektoriaus Nr. 2 ir Nr. 1 atspindžiai nukreipti į žiūrovų sėdimas vietas

3.2.5 Salės šoninės sienos

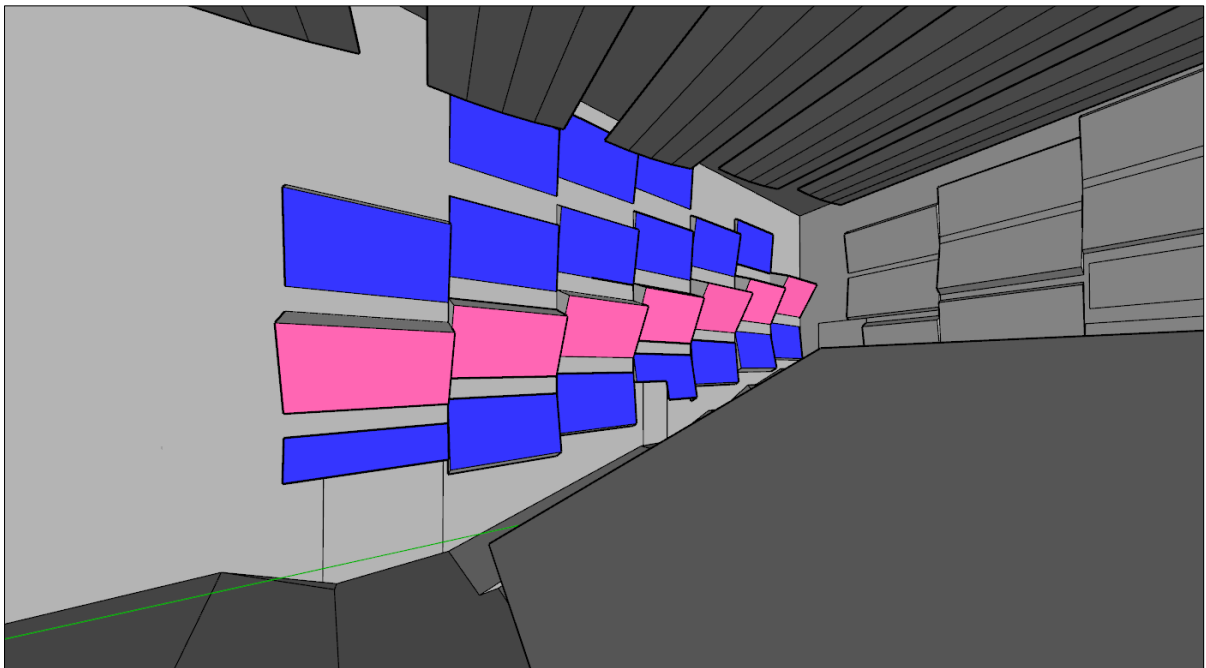
Salės šoninės sienos turi būti projektuojamos taip, jog dalį garso atspindėtų į žiūrovus, o dalį garso išsklaidytų.

Rožine spalva pažymėti elementai nukreipia garsą į žiūrovinę dalį. Tikslus elementų dydis, išdėstymas ir pakreipimo kampai yra suderinti su architekto ir pateikti architektūriniuose brėžiniuose.

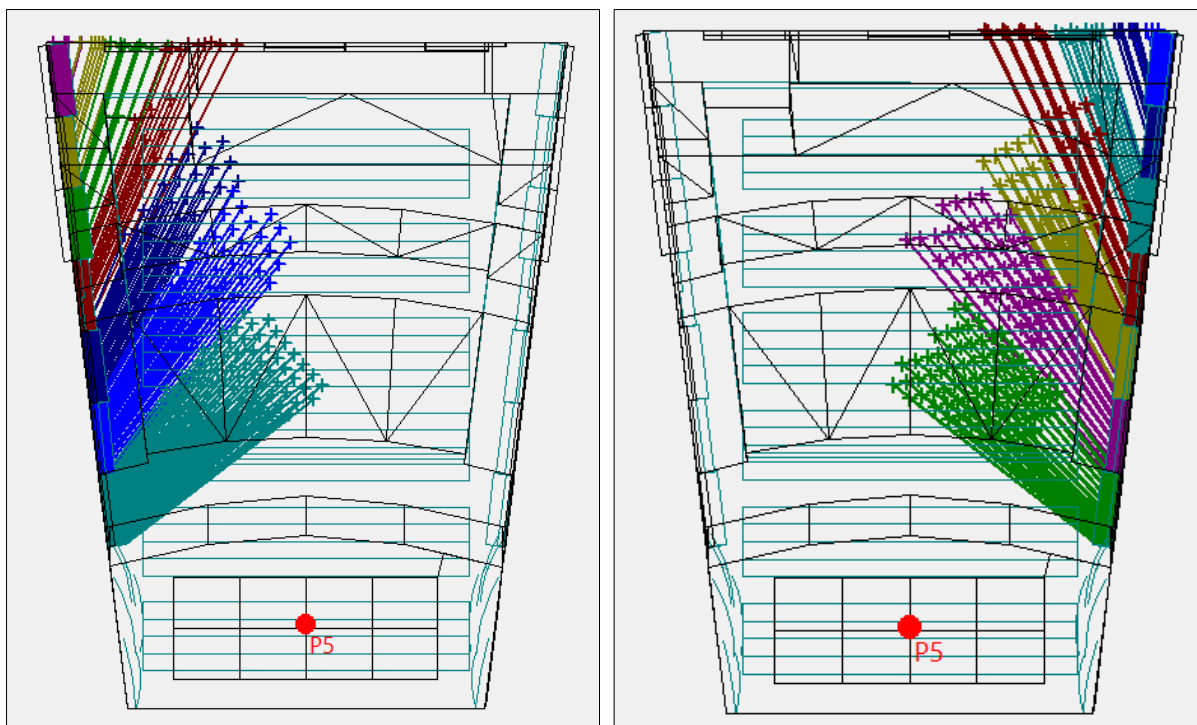
Mėlyna spalva pažymėti elementai išsklaido garsą po salę. Šių elementų dydis, pozicija ir kampai nėra griežtai nustatomi, tad gali būti pritaikomi pagal interjero dizaino viziją, tačiau norint juos pakeist – būtina sutikrinti su akustikos specialistu, kad įvertinti ar dėl jų pozicijų pakitimų neatsiranda nepageidautinų akustinių reiškinių.

Priekinės elementų plokštumos, fokusuojančios garsą į salę, privalo būti sudarytos iš 2x12,5mm storio gipso kartono ($1 \times 12,5$ mm g/k svoris >8 kg/m²) ir 1x13mm fibrogipso šerdies plokštės (arba alternatyvių medžiagų su bendru 25-30 kg/m² svoriu) su už jų tiesiogiai prie plokščių pritvirtinta 50mm storio (tankis ~ 40 kg/m³) mineraline vata.

Likusios elementų plokštumos iš šonų, apačios ir viršaus turi būti gaminami iš 2x12,5 mm storio gipso kartono ($1 \times 12,5$ mm g/k svoris >8 kg/m²) (arba alternatyvios medžiagos su tokiu pačiu, bet ne didesniu svoriu per m²) su už jų tiesiogiai prie plokščių pritvirtinta 50mm storio (tankis ~ 40 kg/m³) mineraline vata.



Pav. 14. Salės žiūrovinės dalies šoninių sienų garsą atspindintys ir sklaidantys elementai.



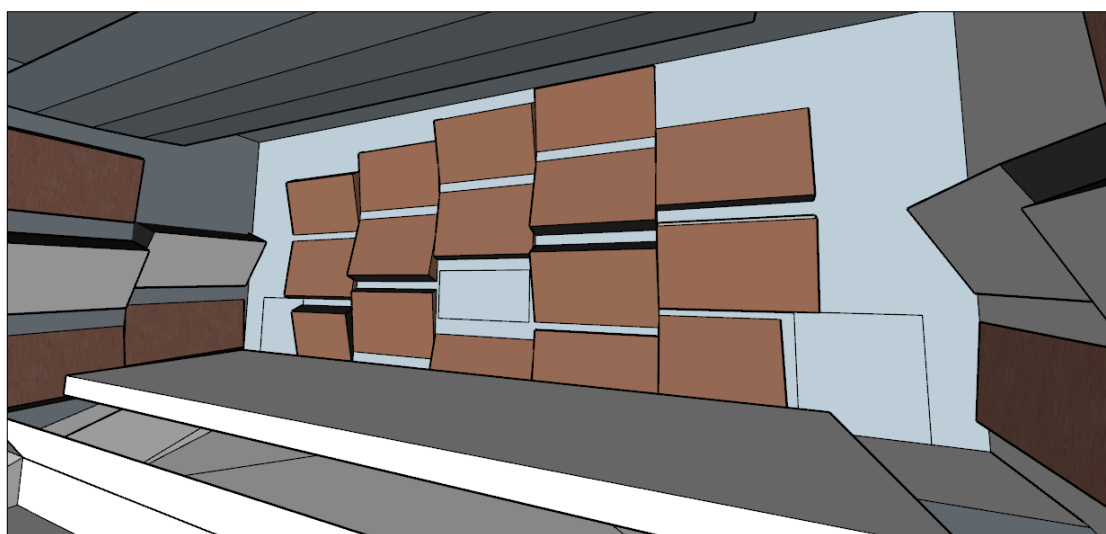
Pav. 15. Šoninių sienų reflektoriai. Atspindžiai nukreipiami į žiūrovus.

3.2.6 Salės galinė siena

Salės galinė siena yra skirta išsklaidyti garsą. Tikslus elementų dydis, išdėstymas ir pakreipimo kampai yra suderinti su archytekte ir pateikti architektūriniuose brėžiniuose.

Priekinės elementų plokštumos fokusuojančios garsą į salę privalo būti sudarytos iš 2x12,5mm storio gipso kartono (1x12,5 mm g/k svoris >8 kg/m²) ir 1x13mm fibrogipso šerdies plokštės (arba alternatyvių medžiagų su bendru 25-30 kg/m² svoriu) su už jų tiesiogiai prie plokščių pritvirtinta 50mm storio (tankis ~40kg/m³) mineraline vata.

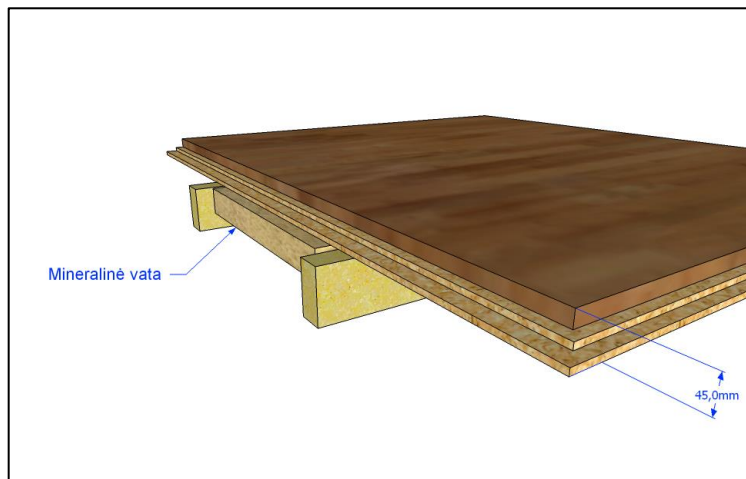
Likusios elementų plokštumos iš šonų, apačios ir viršaus turi būti gaminami iš 2x12,5 mm storio gipso kartono (1 x 12,5 mm g/k svoris >8 kg/m²) (arba alternatyvios medžiagos su tokiu pačiu, bet ne didesniu svoriu per m²) su už jų tiesiogiai prie plokščių pritvirtinta 50mm storio (tankis ~40kg/m³) mineraline vata.



Pav. 16. Salės galinės siena su garsą sklaidančiais elementais

3.2.7 Scenos Grindys

Scenos dalies grindys turi būti sudarytos iš ~45-48 mm storio medžio gaminio plokštės montuojamų ant medinių lagių su 50mm mineralinės vatos plokšte (tankis 45-70kg/m³) montuojama prie grindų plokštės apačios. Grindų karkaso/lagių aukštis pagal poreikį – išlaikant varijuojančius horizontaliai 300-400-500-600mm tarpus tarp jų.



Pav. 17 Scenos grindų konstrukcija

3.2.8 Žiūrovinės grindys

Žiūrovinės salės dalies grindys turi būti įrengiamos naudojant parketlentes ar alternatyvią medžiagą ant minkšto pakloto dedamo tiesiai ant betoninio grindų pagrindo.

3.2.9 Žiūrovų kėdės

Tvirtos vidutinio minkštumo koncertų salės kėdės. Užsilenkianti sėdimoji dalis turi turėti apie 50 mm storio paminkštinimą. Nugaros atrama paminkštinta apie 30 mm. Iš galo tvirta >8 mm storio fanera turi būti neaptraukta audiniu. Porankiai be paminkštinimų. Kėdės aukštis ~ 800 mm. (technines specifikacijas ir kiekius žr. Scenos technologijų dalyje). Kėdės turi atitikti sekančius kėdžių sugerties parametrus (per m²) nurodytus Lentelė 3:

Lentelė 3. Žiūrovinių kėdžių sugerties parametrai

Dažnis, Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Sugerties koef, α_w (Minimalus)	0,40	0,40	0,45	0,60	0,6	0,6	0,6	0,6
Sugerties koef, α_w (Maksimalus)	0,6	0,6	0,6	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75

Visos siūlomos kėdės privalo turėti akredituotų laboratorijų išduotus matavimų protokolus su kėdžių sugerties parametrais visose dažnių oktavose. (Akustikos specialistas turi peržiūrėti matavimų prokolus ir įvertinti kėdžių tinkamumą).

3.3 Kintamos akustikos sprendimai

Norint salę pritaikyti ne tik natūralaus garso akustiniams renginiams, bet taip pat ir sustiprinto įgarsinimo muzikos, su įgarsinimo įranga, salėje privalo būti įrengtos nuo lubų nusileidžiančios akustinės „roll-up“

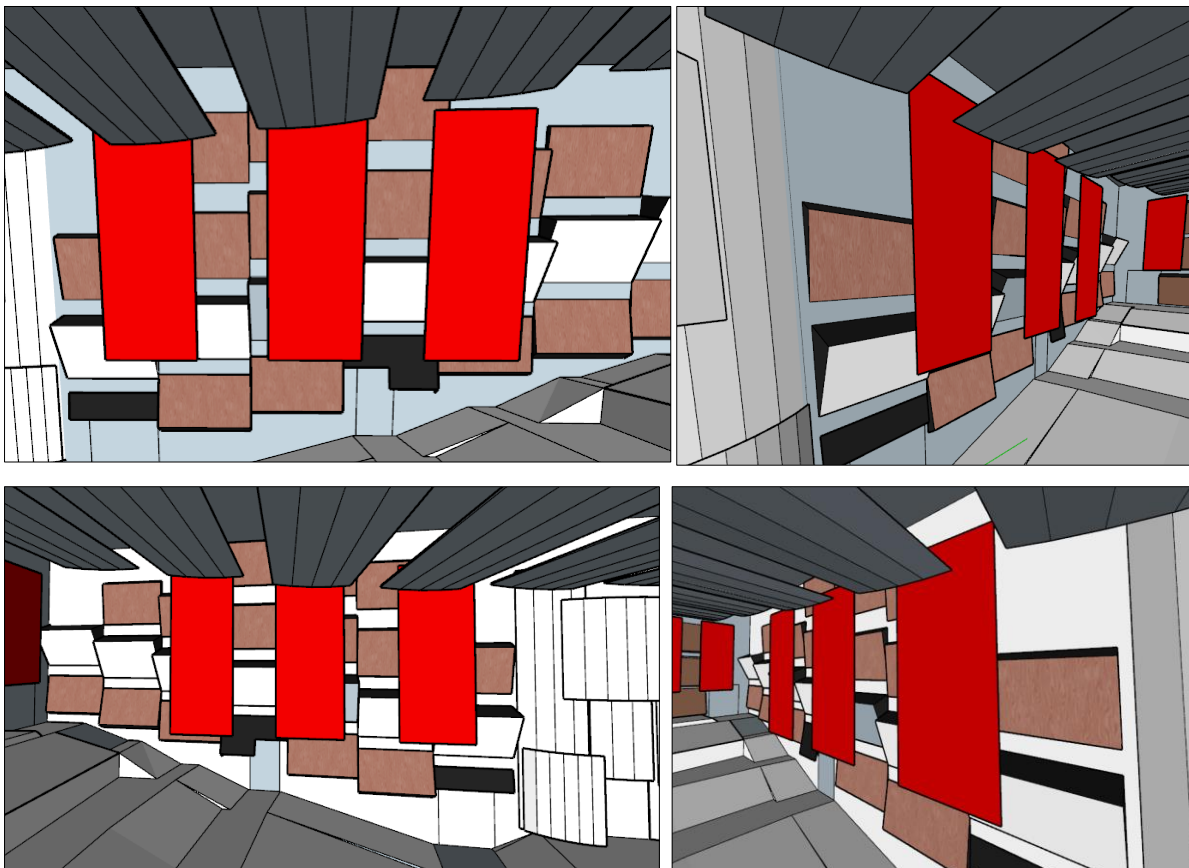
tipo akustinės užuolaidos, kurių paskirtis salei suteikti papildomos garso sugerties reikiamuose dažniuose, kad salė būtų adaptuota naudoti įgarsinimo aparatūrą.

Akustiniai skaičiavimai parodė, jog dėl salės charakteristikų, reikiamos kintamos akustikos užuolaidos turi tik dalinai sugerti vidutinius ir aukštus dažnius, bei sugerti dalį žemų dažnių. Dėl to, yra rekomenduojamas ~600g/m² PVC ir PES pagrindo Showtex Sonomesh gaminytis kuris tinkamai sukontroliuoja aidėjimo trukmę salėje (arba lygiavertis produktas, kuris atitinka pavyzdyje pateikto produkto technines garso sugerties ir svorio charakteristikas (technines specifikacijas ir kiekius žr. Scenos technologijų dalyje).

Šios užuolaidos turi būti numatytos ant salės šoninių, bei galinės sienų.

Šoninės užuolaidos turi būti suprojektuotos, taip, kad:

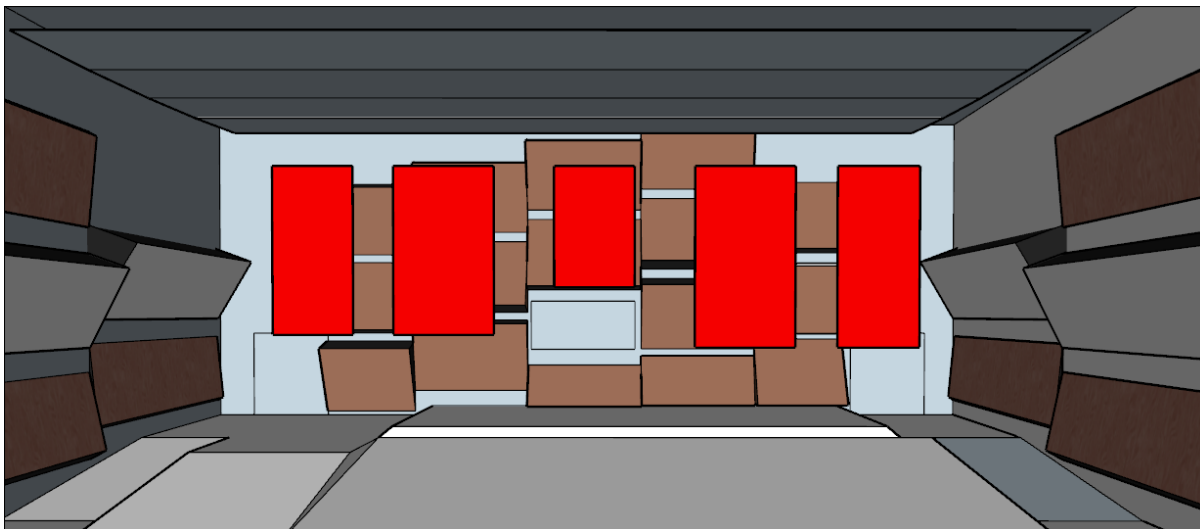
- Užimtų ~45m² bendro ploto ant vienos sienos (viso ~90m² ant abiejų šoninių sienų),
- Būtų išdėstytos tolygiai, maždaug ties trečiu, ketvirtu ir penktu lubiniais reflektoriais,
- Nusileistų maždaug iki aukščiausio salės grindų lygio, kaip pavaizduota Pav. 18.
- Išsivyniojusios užuolaidos turi būti atitrauktos nuo mūrinės sienos >400mm.



Pav. 18 Kintamos akustikos elementai ant šoninių sienų

Galinės salės sienos kintamos akustikos elementai turi būti suprojektuoti, taip, kad:

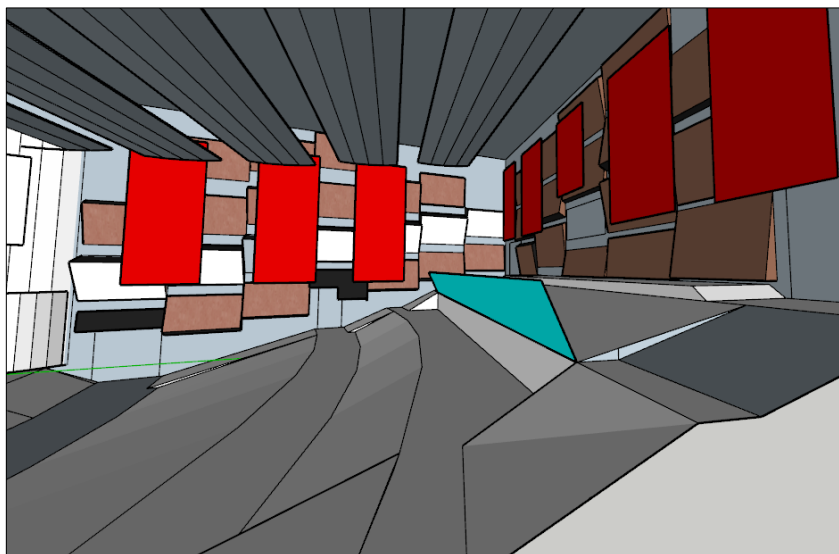
- Užimtų apie 45m² bendro galinės salės sienos ploto,
- Būtų išdėstytos tolygiai per visą galinę salės sieną,
- Nuleisti elementai neužblokuotų įėjimo į salę durų ir operatorinės lango
- Išskleisti elementai turi būti atitraukti nuo mūrinės sienos >400mm.



Pav. 19 Galinės salės sienos kintamos akustikos elementai

3.4 Stiklinis turėklas žiūrovinėje dalyje

Žydra spalva Pav. 20 pažymėtas salės balkono žiūrovinės dalies stiklo turėklas privalo būti pasviręs $\sim 25^\circ$ kampu link scenos, bei būti suskaidytas į kuo daugiau dalių su $\sim 10\text{cm}$ tarpais tarp stiklo elementų.



Pav. 20. Salės balkono žiūrovinės dalies turėklas

4 GARSO IZOLIACIJA, VIBRACIJOS IR ĮRANGOS TRIUKŠMAS

4.1 Antivibraciniai kabinamų elementų sprendimai

Norint išvengti nepageidaujamų vibracijų, visos akustinės plokštės prie metalinio karkaso turi būti tvirtinamos naudojant antivibracines tarpines (1-3 mm storio). Tam puikiai tinka gipso kartono konstrukcijoms naudojamos garso izoliacinės juostos (Pav. 21). Metaliniai karkasai turi būti standžiai suveržti, kad neviruotų ir neskleistų pašalinių garsų.



Pav. 21. Garso izoliacinė juosta puikiai tinka vibracijoms slopinti.

Svarbu! *Esant rizikai, kad salės akustiniai elementai vibruos net ir panaudojus garso izoliacinę juostą – yra privaloma juos tvirtinti per gumines antivibracines tarpines! Konstruktorius ir rangovas privalo užtikrinti kokybišką akustinių elementų įrengimą.*

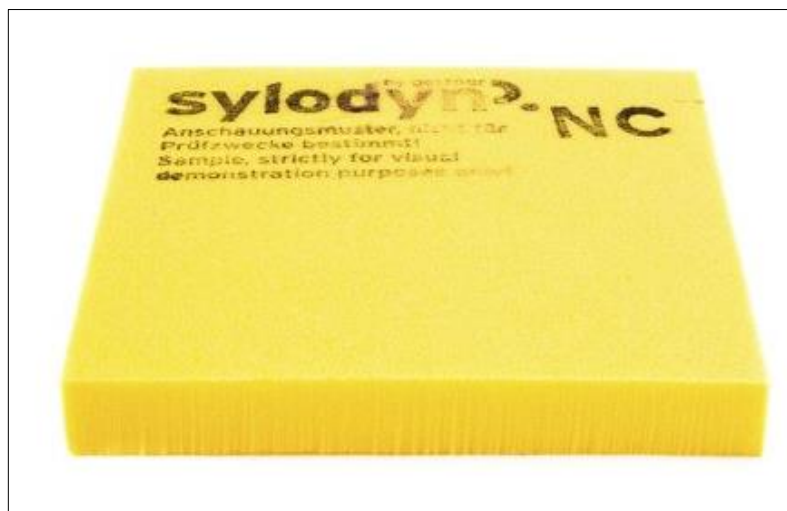
4.2 Inžinerinių įrenginių vibracija į pastato konstrukcijas

Inžinerinę įrangą rekomenduojama montuoti naudojant antivibracinius sprendinius. Šiuos sprendinius gali pasiūlyti įrangos gamintojas konkrečiai juos pritaikydamas pagal konkrečios įrangos charakteristikas (svoris, tvirtinimo atramų skaičius ir pan.), arba jie gali būti paskaičiuoti izoliacinės medžiagos tiekėjo pagal įrangos svorį, veikimo dažnį ir montavimo taškų dimensijas. Renkantis nestandartinių sprendinių medžiagas, rekomenduojami (kaip pvz.: Getzner Sylodyn, Kraiburg Vibrafoam arba Kraiburg Vibradyn) gaminiai.

Elastomerinės medžiagos (Pav. 22 Getzner Sylodyn NC elastomerinės tarpinė) turi būti montuojamos po kiekvieno įrenginio atramos taškais (kojelėmis). Siekiant užtikrinti, jog apkrovos į tarpines būtų paskirstytos tolygiai, tarp įrenginio kojos ir tarpinės turi būti montuojama standi plokštė (betoninė, medinė ar kt.) (Pav. 23). Jeigu įrenginys montuojamas ant metalinio rėmo, elastomerinės tarpinės pakišamos po rėmu taip, jog būtų apkrautas visas tarpinės plotas (Pav. 24).

Elastomerinės medžiagos parenkamos atsižvelgiant į įrenginių svorį. Antivibracinės medžiagos dydis parenkamas taip, jog nebūtų viršijama leistina apkrova elastomerinei tarpinei. Elastomerinės medžiagos turi būti paskaičiuotos taip, jog jų rezonansinis dažnis būtų <20 Hz.

Pastaba: antivibracinės tarpinės Sylodyn NC gali būti pjaustomos statybvietėje pagal pateiktus matmenis ir iš karto dedamos po įrenginiais pagal pateiktas rekomendacijas.



Pav. 22 Getzner Sylodyn NC elastomerinės tarpinės pavyzdys

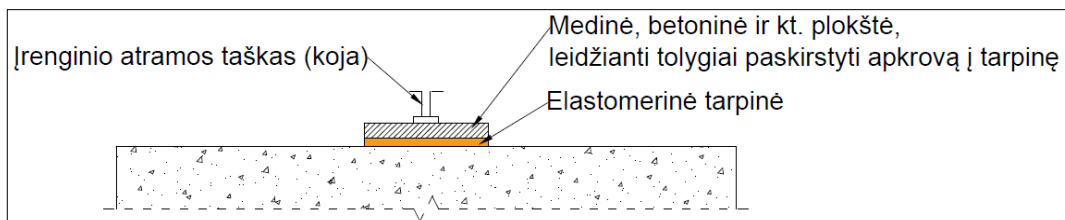
Getzner Sylodyn NC:

https://www.getzner.com/en-us/products/syloDYN?gclid=CjwKCAjw-b-kBhB-EiwA4fvKrEECx32smHnS-nnDINzTnu6m5EK3Q3AEx7XkU6HHymZD5Aau_YNu84RoCjUwQAvD_BwE

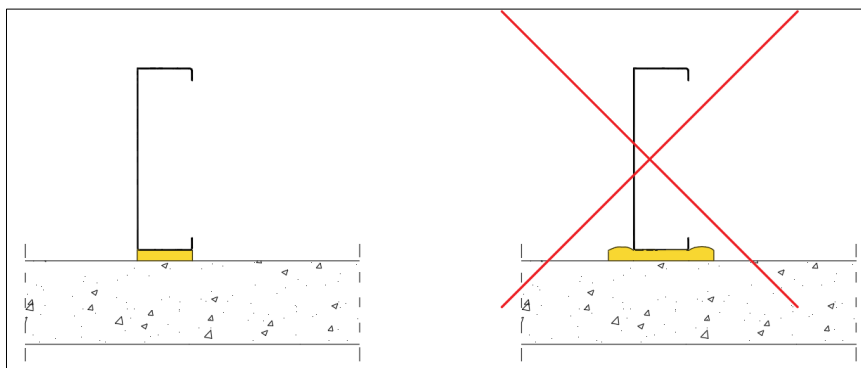
Kraiburg Purasys VibradynS150:

<https://www.kraiburg-purasys.com/en/vibration-isolation-for-construction-industry-2/>

Gamintojas nepateikia skaičiuoklių, todėl dėl tikslesnių kiekių reikia kreiptis į gamintoją.



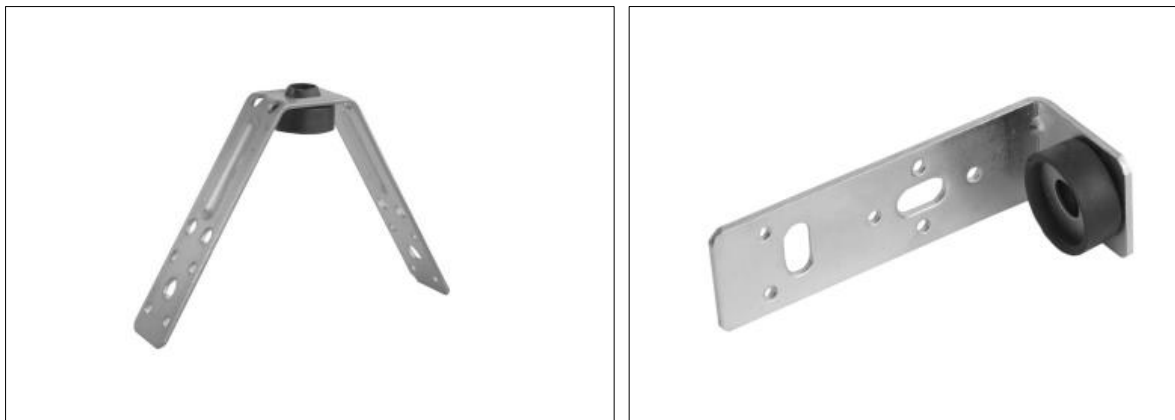
Pav. 23 Antivibracinės tarpinės įrengimo pavyzdys, kai ventkamera stovi ant kojelių



Pav. 24 Antivibracinės tarpinės įrengimo pavyzdys, kai ventkamera stovi ant metalinio rėmo

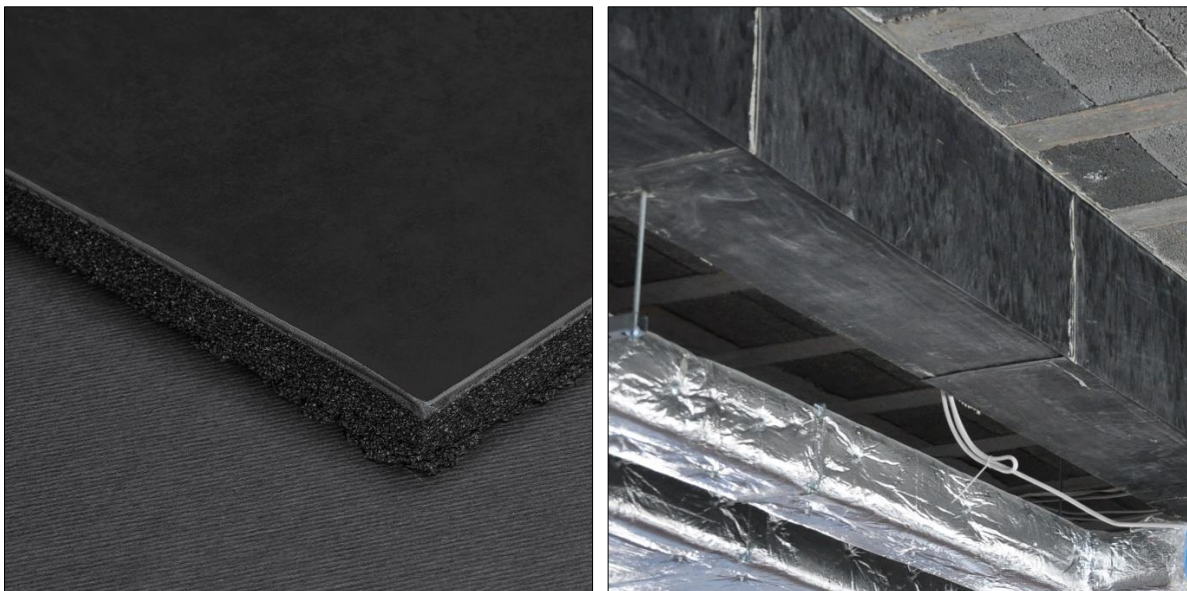
4.3 Šachtų, vandens, nuotekų ir vibruojančių ŠVOK įrenginių montavimas prie paviršių

Norint užtikrinti, kad šachtų, vandens, nuotekų, bei vibruojančių įrenginių keliamas struktūrinis triukšmas nebūtų perduodamas į pastato konstrukcijas, rekomenduojame vamzdžius ir laikiklius prie sienų bei lubų montuoti per antivibracines tarpines, kaip pvz:



Pav. 25. Antivibracinės tarpinės.

Papildomai, visi triukšmą keliantys vamzdžiai, pvz vandens nuotekų, ar oro tiekimo vamzdžiai privalo būti dengiami (kaip pvz.: K-Flex, K-Fonik, ST GK) vibracijas ir garsą sugeriančia medžiaga. Ši medžiaga yra sunki ($\sim 4 \text{ kg/m}^2$), dėl to efektyviai sugeria vamzdžiuose susidarantį triukšmą. Galima naudoti alternatyvią medžiagą, tačiau jos svoris turi siekti $\sim 4 \text{ kg/m}^2$, jog efektyviai slopintų triukšmą.

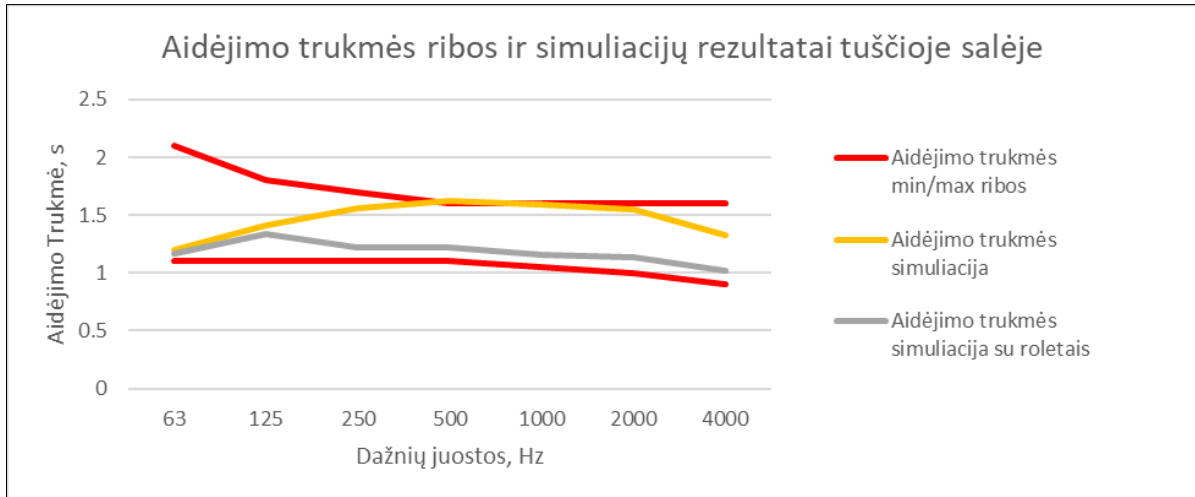


Pav. 26. Pavyzdys K-Flex K-Fonik ST GK

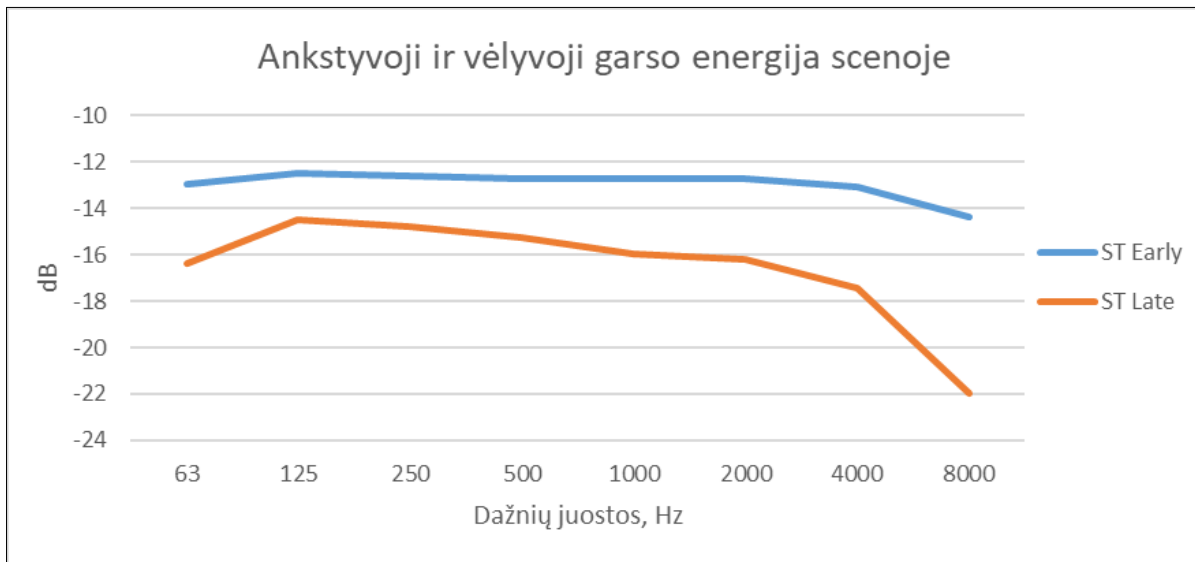
5 AKUSTINIO 3D MODELIAVIMO REZULTATAI

Įrengus salę, naudojant aukščiau aprašytus sprendimus, gaunami žemiau pateikti akustiniai parametrai ir rezultatai, kurie parodo, jog išsikelti reikalavimai salėje yra pasiekti, bei parodo reikalaujamų muzikinių parametru G_{Early} , G_{Late} , C80, D50, T30, EDT, LF80 ir STI tolygų pasiskirstymą po visą salės erdvę.

Pav. 27 parodo salės aidėjimo trukmės simuliacijos rezultatus su kintamos akustikos sprendimais (roletais) ir be jų. Aidėjimo trukmė telpa į 1.0 - 1.6s 125-4000Hz dažnių ruože. Pav. 28 parodo ankstyvosios ir vėlyvosios garso energijos kiekį scenoje, kuris siekia -13dB ir -16dB atitinkamai 500 – 2000Hz dažnių juostose.



Pav. 27. Aidėjimo trukmės $T_{30}(RT60)$ simuliacijos rezultatai tuščioje salėje be nuleistų roletų ir su jais

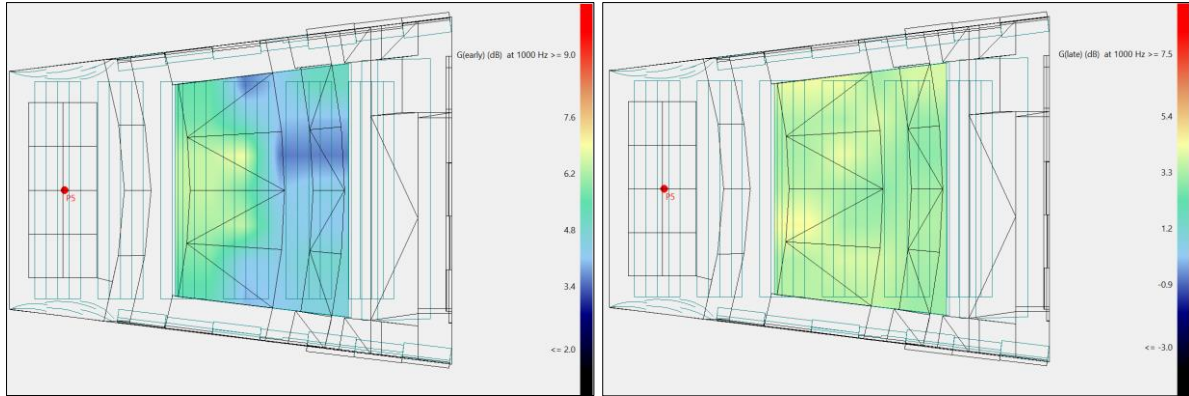


Pav. 28. Ankstyvosios ir vėlyvosios garso energijos scenoje simuliacijos rezultatai

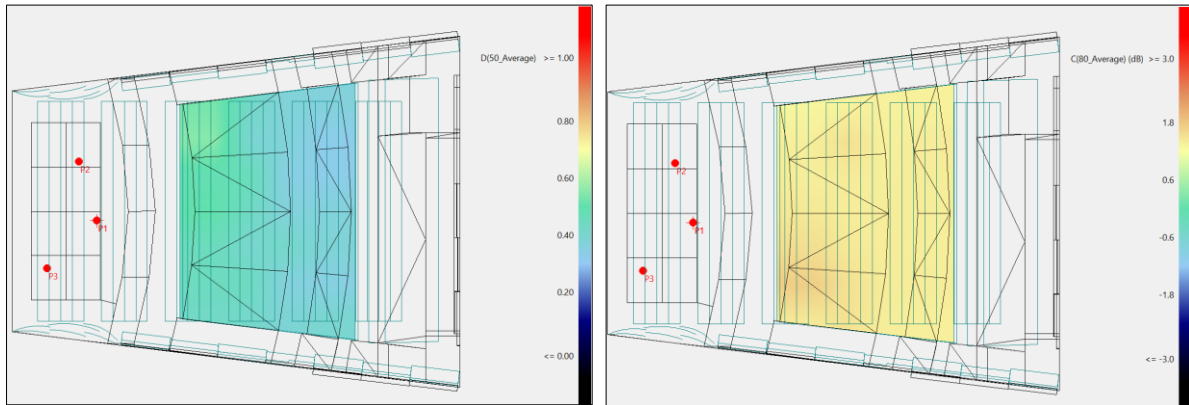
5.1 Grafiniai rezultatai gyvo garso koncerto metu

Žemiau pateikti grafikai parodo reikalaujamų muzikinių parametrų tolygų pasiskirstymą salėje su žiūrovais.

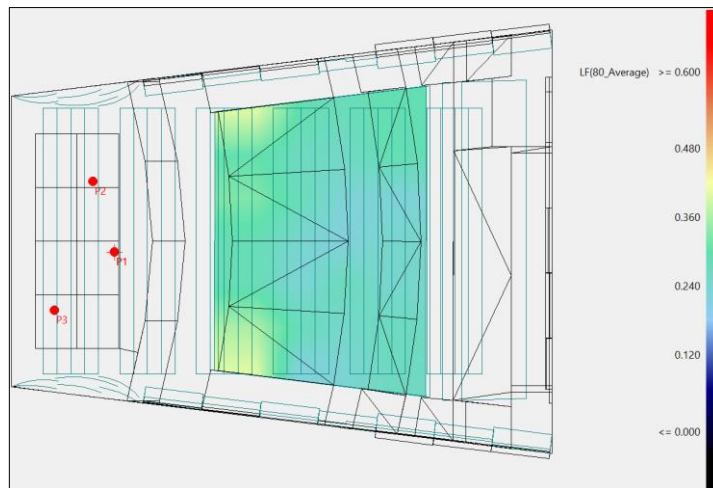
Pav. 29 rodo ankstyvojo ir vėlyvojo garso stiprinimą siekiant 3 – 6dB. Pav. 30 parodo kalbos raiškos D50 0.4 – 0.6 rezultata, bei muzikos aiškumo 1 – 2dB rezultata. Pav. 31 parodo lateraliųjų atspindžių LF80 ≥ 0.20 rezultata, bei Pav. 32 parodo RT60 ir EDT tolygų pasiskirstymą salėje.



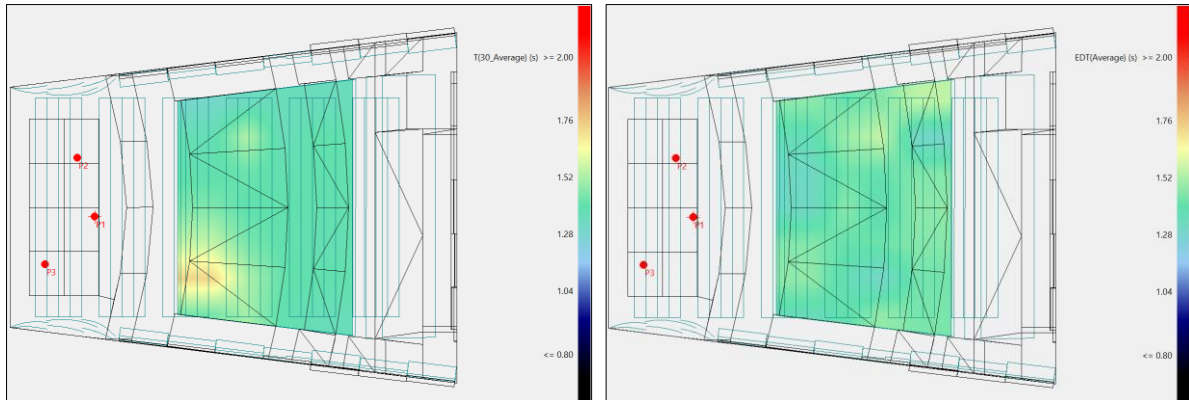
Pav. 29. Ankstyvojo ir vėlyvojo garso stiprinimo G pasiskirstymas salėje su žiūrovais



Pav. 30. Muzikos aiškumo $C80$ ir kalbos raiškos $D50$ pasiskirstymas salėje su žiūrovais



Pav. 31. Lateralinių atspindžių frakcijos $LF80$ pasiskirstymas salėje su žiūrovais

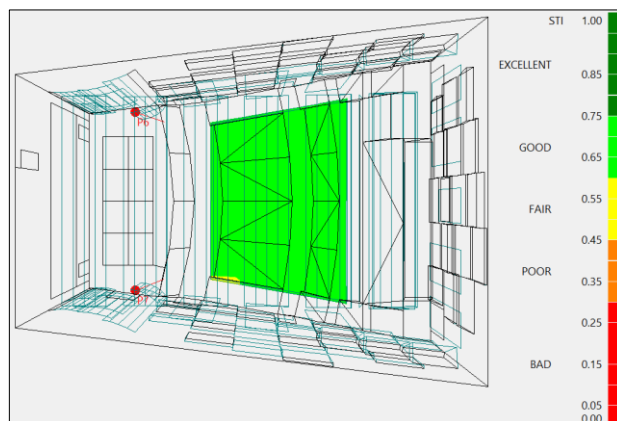


Pav. 32. Ankstyvosios EDT ir vėlyvosios T30(RT60) aidėjimo trukmės pasiskirstymas salėje su žiūrovais

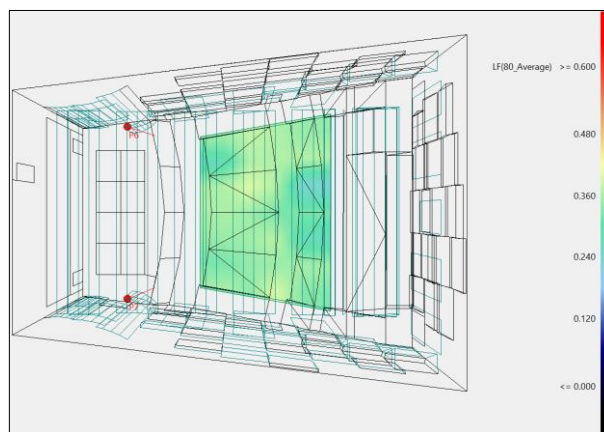
5.2 Grafiniai rezultatai įgarsinto koncerto metu – su roletais

Pav. 33 vaizduoja, jog su kintamais akustiniais sprendimais – roletais, salėje bus užtikrinta geras kalbos perdavimo suprantamumas visoje žiūrovinėje dalyje.

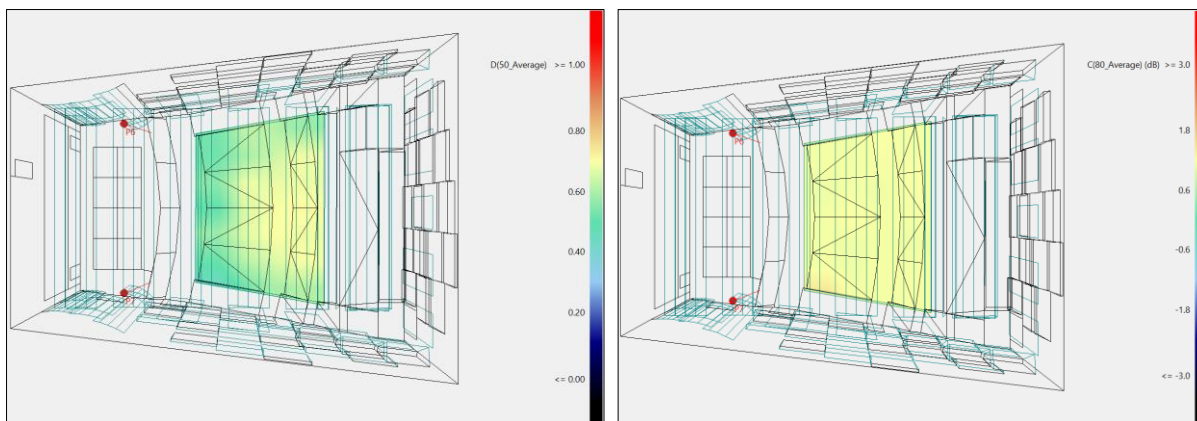
Pav. 34 vaizduoja lateraliųjų atspindžių frakciją LF80 siekiančius >0.2 . Pav. 35 vaizduoja, kad naudojant kintamos akustikos sprendimus kalbos raiškumo D50 vertė kyla visoje salėje, kas yra norimas rezultatas. Pav. 36 vaizduoja tolygų T30 ir EDT pasiskirstymą salėje.



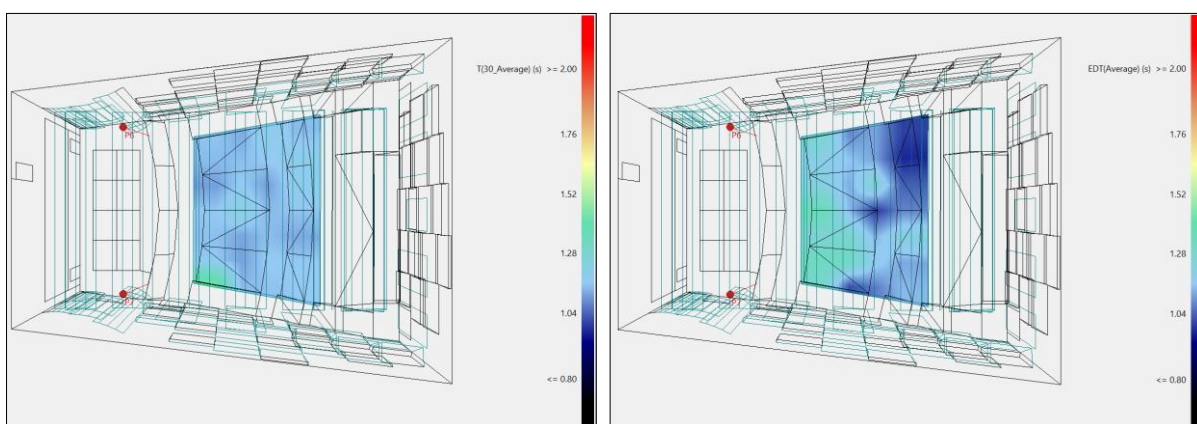
Pav. 33. Kalbos perdavimo suprantamumo indeksas STI - geras



Pav. 34. Lateralinių atspindžių frakcijos LF80 pasiskirstymas salėje su žiūrovais



Pav. 35. Muzikos aiškumo C80 ir kalbos raiškos D50 pasiskirstymas salėje su žiūrovais



Pav. 36. Ankstyvosios EDT ir vėlyvosios T30 aidėjimo trukmės pasiskirstymas salėje su žiūrovais