



Ehituse ja arhitektuuri instituut

TEHNOSEADMETE HELIRÕHUTASEMETE ARVUTUS  
VÄLISKESKKONNAS JA HELIRÕHUTASEMETE MÕJU  
ÜMBRITSEVATE HOONETE FASSAADIDELE JA  
TERRITOORIUMILE JUHKENTALI KVARTALI (LIIVALAIA  
TN 34, LIIVALAIA TN 36, VESKI TN 1) HOONETE NÄITEL

JUHKENTALI QUARTER BUILDINGS (LIIVALAIA 34, LIIVALAIA 36, VESKI 1) HVAC  
EQUIPMENT'S CALCULATION OF SOUND PRESSURE LEVELS AND IT'S IMPACT TO  
BUILDING'S FACADES AND SURROUNDING TERRITORIES

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Kelli Luukas

Üliõpilaskood: 144514

Juhendajad: Marko Ründva, assistent  
Endrik Arumägi, vanemteadur

Tallinn, 2020

## **AUTORIDEKLARATSIOON**

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

“.....” ..... 2020

Autor: .....

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

“.....” ..... 2020

Juhendaja: .....

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....” .....2020

Kaitsmiskomisjoni esimees .....

/ nimi ja allkiri /

## TTÜ ehituse ja arhitektuuri instituut

### LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

**Üliõpilane:** Kelli Luukas, 144514

**Õppekava, peeriala:** EAKI02/09 Küte ja Ventilatsioon  
**Juhendajad:** Marko Ründva, assistent, 620 2405  
Endrik Arumägi, vanemteadur, 620 2402

**Lõputöö teema:**

(eesti keeles) *Tehnoseadmete helirõhutasemete arvutus väliskeskkonnas ja helirõhutasemete mõju ümbritsevate hoonete fassaadidele ja territooriumile Juhkentali kvartali (Liivalaia tn 34, Liivalaia tn 36, Veski tn 1) hoonete näitel.*

(inglise keeles) *Juhkentali quarter buildings (Liivalaia 34, Liivalaia 36, Veski 1) HVAC equipment's calculation of sound pressure levels and it's impact to building's facades and surrounding territories.*

**Lõputöö põhieesmärgid:**

1. Juhkentali kvartali hoonete fassaadidele mõjuvate helirõhutasemete arvutamine lähtuvalt naaberhoonete tehnoseadmete helivõimsustasemetest.
2. Erinevate ISO 9613 standardil põhinevate arvutusmeetodite ehk mürakaardistamistarkvara SoundPLAN 7.4, A. Halme ja O. Seppäneni keskkonnamüra arvutusvalemi ning veebibrauseripõhise müraarvutustarkvara [www.noisetools.net](http://www.noisetools.net) helirõhutasemete tulemuste võrdlus ning analüüs.
3. Selgitada välistehnoseadmetest tuleneva müra vähendamise võimalusi.

**Lõputöö etapid ja ajakava:**

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Lõputöö teema püstitus ja juhendajate leidmine	01.2019
2.	Lõputöö algandmete kogumine, müratasemete arvutus ja müra kaardistamine	10.2019
3.	Saadud tulemuste kokkuvõte ja analüüs	12.2019

**Töö keel:** eesti

**Lõputöö esitamise tähtaeg:** "....." 2020a

**Üliõpilane:** Kelli Luukas ..... "....." 2020a

/allkiri/

**Juhendajad:** Marko Ründva ..... "....." 2020a

/allkiri

Endrik Arumägi ..... "....." 2020a

/allkiri/

*Kinnise kaitsmise ja/või avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel*

# SISUKORD

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU .....	7
SISSEJUHATUS .....	8
1. TEHNOSEADMETEST LEVIVA VÄLISMÜRA ALUSED JA MAGISTRITÖÖS KASUTATAVAD TERMINID .....	11
1.1. Akustika põhimõisted .....	11
1.1.1. Heli .....	11
1.1.2. Müra .....	11
1.1.3. Helilaine .....	11
1.1.4. Ekvivalentne helirõhutase $L_{Aeq, T}$ ( $L_{Ceq, T}$ ) .....	11
1.1.5. Maksimaalne helirõhutase $L_{pA, max}$ ( $L_{pC, max}$ ) .....	12
1.1.6. Tonaalne heli .....	12
1.1.7. Madalsageduslik müra .....	12
1.1.8. Müra normtase .....	12
1.1.9. Müra taotlustase .....	12
1.1.10. Müra piirväärtus .....	12
1.1.11. Välisterritoorium .....	12
1.1.12. Helisagedus .....	13
1.1.13. Kesksagedus .....	13
1.1.14. Õhuheli .....	13
1.1.15. Helirõhutase ja helivõimsustase .....	14
1.1.16. Sagedusribad .....	14
1.1.17. Oktaavriba .....	14
1.1.18. A-kaalutud helitase .....	15
1.2. Tehnoseadmete valik .....	16
1.3. Tehnoseadmete akustika ja välismüra .....	17
1.3.1. Tehnoseadmete akustiline projekteerimine .....	17
1.3.2. Müratasemete liitmine .....	18
1.3.3. Põhilised akustilised vead projekteerimisel .....	18
1.3.4. Välistehnoseadmete müra akustiline analüüs .....	19
1.3.5. Helienergia hajumine väliskeskkonnas .....	19
1.3.6. Tuule, temperatuuri ja sademete mõju helilainetele .....	20
2. MÜRA VÄHENDAMISE MEETODID .....	21
2.1. Müraallika emissioonide vähendamine .....	21
2.2. Mürakaitsekraan ja müratõke .....	21

2.3.	Väiksemate tehnoseadmete kasutamine.....	22
2.4.	Mürasummutid.....	22
2.5.	Ekstreemsed müra tõkestamise meetodid .....	23
2.6.	Asukoha valik.....	23
3.	JUHKENTALI KVARTALI EHITUSPROJEKTI KIRJELDUS JA ARVUTUSMETOODIKAD.....	24
3.1.	Arhitektuuriline ehitusprojekti kirjeldus .....	24
3.2.	Juhkentali kvartali ventilatsiooni- ja jahutussüsteemide tutvustus.....	26
3.2.1.	A-hoone ventilatsiooni- ja jahutussüsteemide tutvustus .....	26
3.2.2.	B-hoone ventilatsiooni- ja jahutussüsteemide tutvustus.....	31
3.2.3.	C-hoone ventilatsiooni- ja jahutussüsteemide tutvustus.....	33
4.	Juhkentali kvartali müraarvutused.....	36
4.1.	HALME- SEPPÄNENI ARVUTUSMEETODI KIRJELDUS JA RAKENDAMINE JUHKENTALI KVARTALIS .....	37
4.1.1.	Halme- Seppäneni arvutusmeetodi kirjeldus.....	37
4.1.2.	Heli ülekandumine kliimaseadmest keskkonda .....	37
4.1.3.	Halme- Seppäneni arvutusmeetodi rakendamine Juhkentali kvartali hoonetes.....	39
4.1.4.	Helirõhutasemete tulemused A- hoone fassaadil B- ja C- hoone müraallikatest .....	39
4.1.5.	Helirõhutasemete tulemused B- hoone fassaadil A- ja C- hoone müraallikatest .....	41
4.1.6.	Helirõhutasemete tulemused C- hoone fassaadil A- ja B- hoone müraallikatest .....	43
4.2.	MÜRAARVUTUSED NOISETOOLS.NET INTERNETITARKVARA ABIL.....	45
4.2.1.	NST internetitarkvara tutvustus .....	45
4.2.2.	NST kasutamine Juhkentali kvartali müratasemete uurimisel.....	47
4.2.3.	Summaarsed helirõhutasemete tulemused A-hoone fassaadil B- ja C- hoone müraallikatest.....	48
4.2.4.	Summaarsed helirõhutasemete tulemused B-hoone fassaadil A- ja C- hoone müraallikatest.....	50
4.2.5.	Summaarsed helirõhutasemete tulemused C-hoone fassaadil A- ja B- hoone müraallikatest.....	51
4.2.6.	Tulemused .....	53
4.3.	JUHKENTALI KVARTALI MÜRASIMULATSIOONID JA MÜRAKAARDISTAMINE SOUNDPLAN AKUSTIKA TARKVARA ABIL .....	54
4.3.1.	SoundPLAN akustika tarkvara tutvustus .....	54
4.3.2.	Arvutuskiirus.....	54
4.3.3.	Müratulemused SoundPLAN akustikatarvara abil .....	54
4.3.4.	Müratulemused A- hoone fassaadil B- hoone tehnoseadmetest .....	55
4.3.5.	Müratulemused A- hoone fassaadil C- hoone tehnoseadmetest .....	57
4.3.6.	Müratulemused B- hoone fassaadil A- hoone tehnoseadmetest .....	58
4.3.7.	Müratulemused B- hoone fassaadil C- hoone tehnoseadmetest .....	60
4.3.8.	Müratulemused C- hoone fassaadil A- hoone tehnoseadmetest .....	62

4.3.9.	Müراتulemused C- hoone fassaadil B- hoone tehnoseadmetest .....	63
4.3.10.	Juhkentali kvartali mürakaart.....	65
5.	ANALÜÜS.....	66
	KOKKUVÕTE.....	69
	Kasutatud kirjandus.....	73
	LISAD.....	74
	Lisa 1 Müraallikate paiknemine Juhkentali kvartali hoonetes .....	75
	Lisa 2 Helirõhutasemete tulemused Halme-Seppäneni meetodil .....	79
	Lisa 3 Helirõhutasemete tulemused NST meetodil.....	85
	Lisa 4 Helirõhutasemete tulemused SoundPLANis .....	92

## LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

VJ insener- ventilatsiooni- ja jahutussüsteemide insener

NST- veebibrauseripõhine müraarvutustarkvara [www.noisetools.net](http://www.noisetools.net)

ASHRAE- Ameerika kütte-, jahutus- ja ventilatsiooniinseneride ühing

MAS Environmental- Ühendkuningriigi keskkonnatervisealane nõustamis- ja koolitusühing

## SISSEJUHATUS

Müra on oluline rahvatervise küsimus. Müra avaldab negatiivset mõju inimeste tervisele ja heaolule ning on järjest kasvav probleem ühiskonnas. [1]

Elanike mugavus on tehnosüsteemide projekteerijate eesmärk. Heli või müra on võtmesõnaks mugavuse hindamisel lisaks temperatuurile, õhuniiskusele ja siseõhu kvaliteedile. [2] Akustika konsultandid/ -projekteerijad on tavaliselt hõivatud akustiliselt kriitiliste hoonetega, nagu näiteks teatrid ja muuseumid, ning seetõttu jääb mugava akustilise keskkonna loomine enamikel juhtudel tehnosüsteemide projekteerijate teha. [2]

Erinevad helid võivad põhjustada unehäireid. Müra raskendab uinumist, mõjutab une sügavust ja põhjustab ülearust ning enneagset ärkamist. Kui müra ei oleks tervistkahjustav, siis ikkagi see vähendaks hubasust näiteks töökohas, eluruumides ja puhkealadel. [3]

Müra mõjutab lisaks sisekliimale ka inimese töö tegemise võimet ning kiirust.

Lisaks püsivale kuulmiskahjustusele põhjustab müra kuulmisaistingu väsimust kui ajutist kuulmisvõime halvenemist.

Hoone katusel paiknevad tavaliselt hoone ventilatsiooni- ja jahutusseadmed, mis genereerivad müra. Hoone fassaadil paiknevad enamasti hoone või korteripõhiste ventilatsiooniseadmete õhuvõtu- ja väljaviskerestid, mis genereerivad müra. Eelpool nimetatud müraallikaid nimetatakse keskkonnamüra allikateks. Müra tekitatud heli osakaal ja müra põhjustatud kahjud on aastatega suurenenud eelkõige linnastumise, liikluse tihenemise ning tehnilise arengu tõttu. [1]

Autorit ajendas antud teemal magistritööd koostama põhjus, et järjest aktuaalsem on müra levimine (linna)keskkonnas. Tänapäeval on kiirelt kasvamas vajadus kõrgete büroo- ja korterelamute järele eriti tihedama asustusega linnades.

Sellest tingituna tekib rohkem olukordi, kus hoonete fassaadidele ning katustele paigaldatud tehnoseadmed võivad tekitada müraprobleeme nii sama kui ka ümbritsevate hoonete fassaadidele. Mõjusfääris on siseruumid, terrassid ning rõdud.

Uurimistöö üheks keskseks eesmärgiks on välja selgitada, millist (kui suurt) mõju avaldavad hoone väliste tehnoseadmete poolt genereeritud müra naaberhoonete fassaadidele Tallinnas, kesklinna linnaosas, Juhkentali kvartali kõrghoonete (Liivalaia tn 34, Liivalaia tn 36 ja Veski tn 1) näitel.



Uurimistööks vajalike andmete ligipääsu võimaldas Kapitel AS, keda autor tänab koostöö eest.

Magistritöö laiem eesmärk on uurida, kuidas oleks võimalik hoonete VJ inseneridel lihtsate ning kiirete arvutustega kindlaks määrata tehnoseadmete müratase naaberhoonete fassaadidele. Selline arvutuskäik võimaldaks tulevikus ära hoida tehnoseadmetest tuleneva keskkonnamüra negatiivse mõju naaberhoonete sisekliimale. Uurimistöös lähtutakse sisekliima mugavuse hindamiseks just tehnoseadmetest tuleneva keskkonnamüra (linnastumise) aspektist.

Selleks, et hinnata mürataset nii sise- kui välisruumides on olemas erinevad arvutusstandardid ja -meetodid. Lisaks on riikides olemas siseriiklikud normdokumendid lubatud tehnoseadmete müra osas. Eestis on välismüra hindamiseks kõige olulisem määrus sotsiaalministri kehtestatud määrus nr 71 (vastu võetud 16.12.2016) „Välisõhus leviva müra normtasemed ja mürataseme mõõtmise, määramise ja hindamise meetodid“, millest antud uurimistöös lähtutakse.

Müra nõuetele vastavust peab kontrollima ja hindama VJ insener. VJ insener valib tehnoseadmed vastavalt vajalikule võimsusele ning peab tegema vajalikud arvutused müratulemuste saamiseks, või kasutama müratarkvarasid müratasemete hindamiseks. Seejärel peab insener kontrollima, kas saadud tulemused vastavad kehtivatele määrustele ja standarditele. Enamus juhtudel teeb VJ insener müraarvutused hoone siseruumidele, kuid kõrghoonete ja tihedama asustusega aladel tuleb kontrollida ka helirõhutasemeid, mida tehnoseadmete töötamine põhjustab väliskeskkonda. Suuremate projektide tarbeks tellitakse vastavad müraarvutused volitatud akustikaspetsialistidelt, kuid lihtsamad ja esmased välismüra arvutused on võimalik ka VJ inseneril teha.

Projekteerimispraktika näitab, et tavaliselt VJ insenerid projekteerimisel välismüraarvutusi ei tee. Selleks pole aega ega ressursi ette nähtud.

Ehituses on tavapärane, et töövõtja, ehitaja või tellija soovib asendada projekteerijate poolt määratud tehnoseadmed. Sageli soovitakse VJ inseneride poolt valitud seadmed välja vahetada odavamate vastu. Odavamad seadmed võivad tegelikkuses tähendada väiksemaid seadmeid, mis samade õhuvooluhulkade saamiseks genereerivad rohkem müra, seda seetõttu, et väiksem ventilaator peab töötama suuremal kiirusel rohkemate pöörete juures. See võib tingida olukorra, kus alltöövõtja/ehitaja ei oska või ei tee nn asendustehnoseadmetega müraarvutusi. Sellest tulenevalt võivad välja valitud odavamad seadmed tekitada müra, mis ei vasta mürale esitatavatele nõuetele.

Tihti peale tehakse müraarvutused lähtuvalt ühe seadme parameetritest, kuid unustatakse lisada kõikide seadmete müraparaameetrid. Enamikel kõrghoonetel on sõltuvalt ruumide arvukusest vaja

rohkem kui 1 hoonet teenindavat tehnoseadet. Müraarvutuste tegemisel on oluline kõikide tehnoseadmete müratasemete arvessevõtmine. Loogiliselt võttes on mitme samasuguse või erineva tehnoseadme poolt genereeritav müra suurem, kui ainult ühe seadme poolt genereeritav müra. Sellisele asjaolule ei oska alltöövõtjad alati tähelepanu pöörata ja selle tagajärjeks on lubatust kõrgem müratase keskkonnas.

Magistritöö koostaja pakub välja, millised on lihtsad ja kiired võimalused selliste arvutuste tegemiseks ja kuidas on seeläbi võimalik edaspidi müraprobleeme ennetada.

Käesolev magistritöö on jaotatud seitsmesse põhietappi:

- 1) Selgitatakse heli ja müra põhimõisteid ja magistritöös kasutatavaid termineid, tehnoseadmete valiku aluseid ja tehnoseadmete projekteerimist lähtuvalt akustilisest seisukohast.
- 2) Antakse soovitusi ja tuuakse välja võimalusi, kuidas saaks vältida müra levikut tehnoseadmetest keskkonda.
- 3) Tutvustatakse Juhkentali kvartali arhitektuurilist eelprojekti ning eelprojekti kasutatavaid ventilatsiooni- ja jahutussüsteeme.
- 4) Arvutatakse tehnoseadmetest tulenevad helirõhutasemed väliskeskkonda ja naaberhoonete fassaadidele kasutades Alpo Halme ja Olli Seppäneni (Halme- Seppäneni) keskkonnamüra valemit.
- 5) Arvutatakse tehnoseadmetest tulenevad helivõimsustasemed väliskeskkonda ja naaberhoonete fassaadidele kasutades internetist leitavat müratarkvara [www.noisetools.net](http://www.noisetools.net) (edaspidi NST)
- 6) Koostatakse 3D-mudel ning mürakaart Juhkentali kvartalist ning selle naaberhoonetest SoundPLAN 7.4 akustikatarkvara abil.
- 7) Analüüsitakse saadud tulemusi.

Magistritöös analüüsitakse Halme- Seppäneni, NST ning SoundPLAN 7.4 arvutusmeetodeid ja võrreldakse neid. Antud meetodid on omavahel võrreldavad, kuna kõik kolm arvutusmeetodit põhinevad ISO 9613 rahvusvahelisel standardil, kuid Halme- Seppäneni ja NST arvutusmeetodid on lihtsustatud.

# 1. TEHNOSEADMETEST LEVIVA VÄLISMÜRA ALUSED JA MAGISTRITÖÖS KASUTATAVAD TERMINID

## 1.1. Akustika põhimõisted

### 1.1.1. Heli

Heli on keskkonnas levivad mehaanilised võnkumised. [4]

Heli määratletakse häiringuna elastses keskkonnas, mida inimese kõrv on võimeline kuulma.

Keskkonnaks, kus heli levib, võib olla gaas, vedelik või tahke aine. [2]

### 1.1.2. Müra

Müra on mittesoovitud heli või heli ilma mingi väärtuseta. [2] Müra on levinuim ja üks olulisimaid keskkonnategureid, mis alandab keskkonna kvaliteeti ja võib põhjustada terviseprobleeme. [1]

### 1.1.3. Helilaine

Helilaine amplituud esindab heli valjust ja seda mõõdetakse detsibellides. [2]

Mida valjem on heli, seda suurem on heli amplituud. Helilained ei läbi otseselt seinu või teisi tahkeid objekte. Selle asemel helilained mõjutavad seinu ja eseme välispinda, põhjustades selle vibreerimist. See omakorda põhjustab õhumolekulide vibreerumist. Tegelikult helilaine liigutab seinu või eset, mida ta mõjutab.

Heli lainepikkust õhus arvutatakse järgmiselt:

$$\lambda = c_0 / f \quad (1.1),$$

kus  $\lambda$  on lainepikkus meetrites,

$c_0$  on heli kiirus, mis on 341 m/s merepinnal,

$f$  on helisagedus hertzides (Hz).

### 1.1.4. Ekvivalentne helirõhutase $L_{Aeq,T}$ ( $L_{Ceq,T}$ )

Mõõdetud helirõhutase etteantud ajavahemikus, kus kasutatakse A- või C-korrektsooni ning mis iseloomustab muutuva tasemega müra. [4]

Ekvivalentne müratase on selline püsiva tasemega müra, mis omab sama akustilist energiat kui muutuva tasemega müra kindla mõõtmisaja jooksul.

### **1.1.5. Maksimaalne helirõhutase $L_{pA,max}$ ( $L_{pC,max}$ )**

Etteantud ajavahemikus mõõdetud helirõhutaseme maksimaalne väärtus, kus kasutatakse A- või C-korrektsiooni ja ajakarakteristikut «Fast», kui mõõtmistingimustes ei ole ajakarakteristiku kasutamine sätestatud teisiti. [4]

### **1.1.6. Tonaalne heli**

Tonaalseks heliks loetakse heli, mille sagedusspektris esineb selgesti eristatav toon. [4]

Heli on tonaalne, kui mingis 1/3 oktaavribas mõõdetud helirõhutase ületab temale eelnevas ja järgnevas 1/3 oktaavribas mõõdetud taseme 5 dB või enam.

Seadmed, nagu näiteks ventilaatorid, kompressorid ja pumbad võivad tekitada tonaalseid helisid. Tonaalsete seadmete hindamisel tuleks olla ettevaatlik, kuna need ei ole oktaavriba poolt hästi määratletud.

### **1.1.7. Madalsageduslik müra**

Müra sagedusvahemikus 10 Hz–200 Hz. [4]

### **1.1.8. Müra normtase**

Mürataseme normitud arvsuurus, mida kasutatakse erineva müraolukorra hindamisel. [4]

### **1.1.9. Müra taotlustase**

Normtase uutel planeeritavatel ja rekonstrueeritavatel aladel ning ehitistes, samuti olemasoleva müraolukorra parandamisel. [4]

### **1.1.10. Müra piirväärtus**

Suurim lubatud normtase olemasolevatel aladel ja ehitistes. [4]

### **1.1.11. Välisterritoorium**

Maa-ala hoone vahetus läheduses, mida kasutatakse puhkuseks. [4]

### 1.1.12. Helisagedus

Kuulmisaisting tekib, kui õhurõhu kõikumine paneb kõrva trumminaha võnkuma. [3]

Kui võnked on sagedased, loetakse heli kõrgeks. Väikese sagedusega võnkeid kogetakse madala helina. Helisagedus  $f$  [Hz] on võngete arv  $n$  jagatud ajaga  $T$  [s], mille jooksul võnkeid vastu võeti.

$$f = \frac{n}{T} \quad (1.2)$$

Inimene on võimeline kuulma helisid vahemikus sagedusega 20 ja 20 000 Hz.

Kuulmisteravus ei ole konstantne, vaid oleneb sagedusest. Helisagedus on lainepikkuse mõõt. [5] Lainepikkus näitab heli põhjustavaid vibratsioone. Helisagedust väljendatakse tsüklitega sekundis või hertsides (Hz).

Tehnoseadmete spetsifikatsioonides on tavaliselt toodud helitasemed vastavalt oktaavriba spektrile. Oktaavriba spekter koosneb kaheksast kesksagedusest. Näide oktaavribast on toodud allolevas tabelis.

Tabel 1.1 Tüüpilised helivõimsustaseme kirjeldamise kriteeriumid

	Oktaavriba sagedus (Hz)							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$L_w$ (dB)	88	96	91	83	76	72	68	67

### 1.1.13. Kesksagedus

Kesksageduseks loetakse müraarvutastarkvarades sagedust 500 Hz. Sagedust 500 Hz kasutatakse sageli müratasemete esmakordse hindamise jaoks.

### 1.1.14. Õhuheli

Heli vajab levimiseks vahendavat ainet, sest vaakumis helid levida ei saa. [3]

Õhumüra on õhu vahendusel heliallikast keskkonda leviv müra. Seda põhjustavad näiteks kõne, muusika, helivõimendusseadmed, hoone tehnoeadmed ja mitmesugused masinad. Heli kiirus õhus ei sõltu sagedusest, kuid temperatuur  $t$  [°C] avaldab mõju heli kiirusele  $c$  [m/s].

$$c = 331 + 0,6t \quad (1.3)$$

### 1.1.15. Helirõhutase ja helivõimsustase

Helirõhutase kirjeldab heli "efekti". Heli rõhk sõltub nii heliallikast kui ka keskkonnast, kus heliallikas ja heli vastuvõtja asuvad. Kõik kriteeriumid või hinnangud, mida kasutatakse heli "efekti" kirjeldamiseks, põhineb helirõhutasemetel. [2]

Helivõimsustasemed kirjeldavad heliallika poolt tekitatud heli "kogust". Teiste sõnadega, helivõimsus on ainult heliallika, mitte heliallika keskkonna karakteristik. See muudab heli võimsuse ideaalseks meetodiks seadme näitajate kirjeldamiseks ja ühe tarnija seadmete võrdlemiseks teiste tarnijatega.

Helivõimsust ( $L_w$ ) ei saa mõõta otse, vaid see tuleb arvutada helirõhutaseme ( $L_p$ ) mõõtmiste tulemuste põhjal. Kuna täpseid helirõhutasemeid on parimal juhul ainult keeruline mõõta väljas (keskkonnas) lähedal asuvate esemete ja teiste heliallikate häiringute tõttu, siis ainuke viis seadme helivõimsuse taseme määramiseks on kas laborikatsega või heli intensiivsuse meetodiga.

$$L_w = 10 \log_{10} \frac{W}{W_0} \quad (1.4)$$

Võrdlusvõimsuseks on  $W_0 = 10^{-12}$  W. Helivõimsustase määratletakse tertsi- või oktaavribades, millest viimane on sagedamini kasutusel. Mitmesuguste seadmete helivõimsustase antakse sageli eri toimimis- ja kasutusväärtustele.

### 1.1.16. Sagedusribad

Heliallikate tekitatavad helirõhutasemed on üksiksagedustel erinevad. Seepärast jagatakse akustikas heli sagedusjaotus ehk helispekter väiksemateks osadeks ehk sagedusribadeks. [3]

Tavaliselt kasutatakse oktaavribasid või tertsi- ehk kolmandikoktaavribasid. Ribalaius ehk sagedusala, kust mõõdetud heli sisaldub sagedusribal näidatud helirõhutasemes, on alati proportsionaalselt sama osa kesksagedusest. Sagedusribade kindlaksmääramine tuleneb kuuldeaistingu omadustest.

Oktaavriba ribalaius hertsides on umbes 70% kesksagedusest. Kui helikõrgus kasvab oktaavi võrra, siis sagedus kahekordistub. Kuuldeaistinguna sageduse suhteline muutus ühe oktaavi võrra tundub sama suurena hoolimata sellest, et sageduse erinevus hertsides kasvab iga muutusega.

### 1.1.17. Oktaavriba

Akustiline analüüs viiakse läbi laias sagedusvahemikus. See jaguneb 10 oktaavribaks kesksageduste järgi. Oktaavriba ribalaius katab kogu heli alates 0,707 kesksagedusest kuni 1,414 kesksagedusega helini. [2]

Mitmed väljaanded kasutavad oktaavribasid numbritega 1-8 alustades sagedusalaga 63 Hz. Akustiline analüüs ja hinnangud põhinevad mõõdetud helirõhu või helivõimsuse summal oktaavriba kõigil sagedustel.

### 1.1.18. A-kaalutud helitase

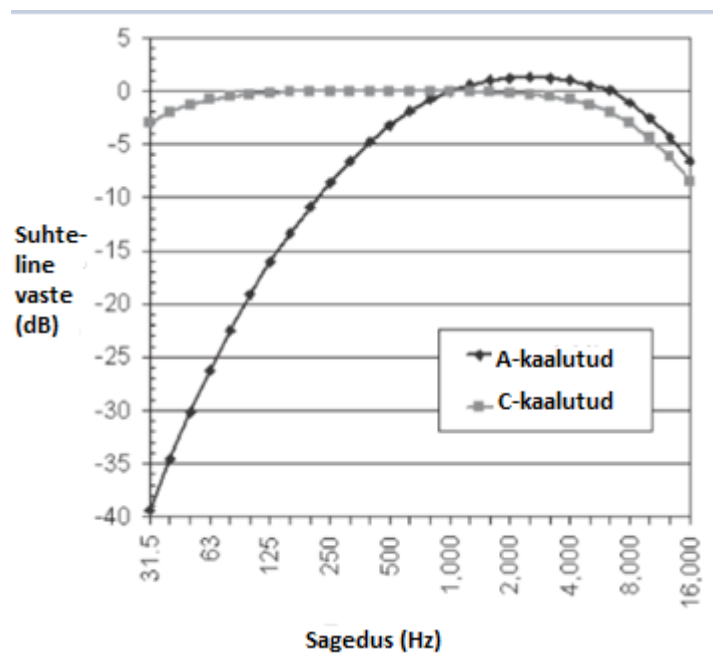
A-kaalutud helirõhk on nn korrigeeritud helirõhk, et see sarnaneks paremini inimese kõrva kuulmisomadustega. Inimese kõrv hindab umbkaudu A-kaalutud kõverat vahemikus 20-30 dB. [2]

Tabel 1.2. A- kaalutud oktaavribade korrigeerimine

Oktaavriba	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Korrigeerimine	-26	-16	-9	-3	0	1	1	-1

A-kaalutud helirõhutase on ühekohaline hindamissüsteem, mis on leidnud laialt kasutust heli analüüsimiseks väliskeskkonnas. A-kaalutud helirõhutaset saab mõõta otse kasutades vastavat korrektsiooni, mis on sisse ehitatud enamikele helitaseme mõõtjatele. [5]

A- ja C- kaalutud ligilähedane tarkvara on näidatud alljärgneval joonisel.



Joonis 1.1 A- ja C- kaalutud helirõhutasete korrektsioonid

Graafikult on näha, et C-kaalutud helirõhutase ei arvesta madalaid sagedusi samamoodi nagu A-kaalutud helirõhutase.

A-kaalutud helitase on korrigeeritud mitmesugustest välismüradest tulenevate häiringute tõttu, nagu näiteks liikluse müra jms. Seetõttu on enamus välismüra helitasemed kirjeldatud dBA-na.

Tehnoseadme puhul hinnatakse tavaliselt dBA-s ainult välisõhu, heitõhu või tehnoseadme kestast läbitulevaid helisid, kuid mitte kanalite ja torude helikomponente. Helivõimsust ei mõõdeta tavaliselt dBA-s, kuna A-kaalutud helitase on mõeldud häiringute või "efektide" mõõtmiseks välismüra allikatel ja  $L_w$  on karakteristik müraallikast, mitte müra "efektist".

## 1.2. Tehnoseadmete valik

Õhuvool ja rõhu langus kanalisüsteemis ning ennekõike rõhuavasse sisenev helivõimsus on tehnoseadme valimisel kesksel kohal. [6]

Soovitud õhuvool ja rõhkude erinevus saavutatakse tavaliselt mitme alternatiivse lahendusega, mille ostuhind ja püsikulud võivad märkimisväärselt erineda. Sageli pole kõige odavam seade tegelikkuses kõige odavam. Seadme ostuhind võib olla madal, samuti võib vähendada tehnoseadme vajalikku pinda ning suurendada samal ajal õhu liikumise kiirust masinas. Selle tulemuseks on kõrge ventilaatori ülerõhk ja samuti kõrgem müratase, mis võib kliimaseadme üldkulusid veelgi suurendada, kuna heli summutamise vajadus on suurem. Parema üldise ökonoomsuse aitab saavutada suurema kanaliristlõike ja väiksema õhukiiruse valimisega. Tähelepanu tuleb pöörata ka ventilaatoris heli neeldumisele ja ventilaatori helivõimsusele. Hea efektiivsusega ventilaator on sageli ka tehniliselt soodne.

Kliimaseadme komponendid summutavad ventilaatori heli, eriti madalatel sagedustel. Seetõttu on ventilaatori paigutamine masina ettepoole mõistlikum lahendus, kui ventilaatori paigaldamine masina viimasesse ossa, mis on tegelikult tavaks.

Eelpool toodu põhjal peab tehnoseadme valimine põhinema:

- 1) Seadme oma rõhulangusel;
- 2) Elektrienergial, mida ventilaator vajab töö tegemiseks;
- 3) Kanalisse edastatav helivõimsus ja selle jaotumine oktaavribades;
- 4) Staatiline rõhk seadme rõhuavas.

VJ seadmete mõõtmete vähendamine väiksemate rõhukadudega on soodne nii energiakasutuse kui ka helitehnoloogia osas.



## 1.3. Tehnoseadmete akustika ja välismüra

### 1.3.1. Tehnoseadmete akustiline projekteerimine

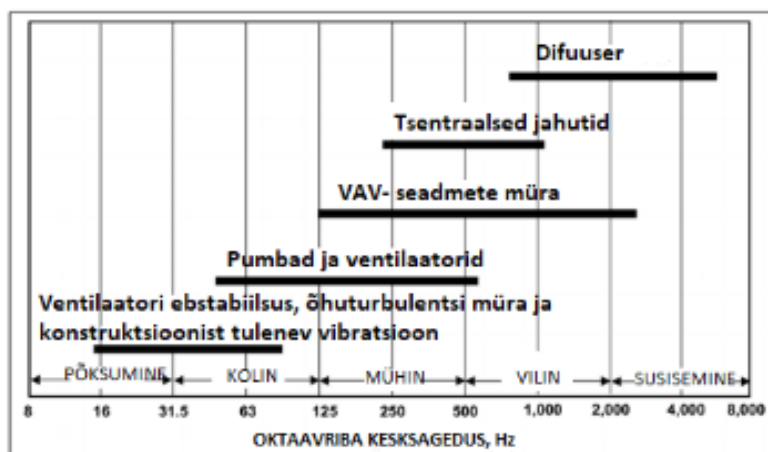
Katusepealsed tehnoseadmed pakuvad tehnosüsteemide insenerile rohkem võimalusi siseruumide projekteerimiseks, kuna katusele paigaldatavate tehnoseadmete võrra on hoone siseruumides rohkem ruumi. Samuti on tellijal teatud eelised katusele paigaldatavate tehnoseadmete tõttu, näiteks saab tänu sellele hoone ehituskulusid vähendada ja nagu eespool öeldud, siis on siseruumides rohkem põrandapinda, ning kaob vajadus ehitada hoonele ventilatsioonikamber, või tehnoruum VJ seadmete jaoks. Vaatamata nendele positiivsetele aspektidele on akustilisest vaatenurgast suured tehnoseadmed ka suured müraallikad. Seetõttu soovitab näiteks ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) teha vähemalt lihtne akustiline analüüs projekteerimisprotsessi alguses. [7]

Suuremõõtmelised katused sisaldavad suurel hulgal heliallikaid, nagu näiteks suruõhuventilaatoreid, jahutusseadmeid, toiteventilaatoreid ja väljatõmbeventilaatoreid. Iga seade (e antud juhul müraallikas) on ainulaadse helikvaliteedi ja helitasemega. Heli määramisel, mida vastuvõtja kuuleb mängivad rolli erinevad aspektid.

Tehnoseadmete heliallikad koosnevad:

- Õhuvoolust ( $m^3/s$ )
- Õhu survest (Pa)
- Ventilaatori tüübist ja suuruselt

Tehnoseadmed tekitavad heli kõigil sagedustel ja võimsustel. Sagedusvahemikud näitavad, kus erinevat tüüpi tehnoseadmed võivad tekitada müraprobleeme. [2]



Joonis 1.2 Sagedusvahemikud, kus erinevad tehnoseadmed mõjutavad mürataset

VJ seadmetest tulenev müra koosneb enamasti õhuvoolumürast, mis tuleneb õhu turbulentsist ventilaatoris ja kompressori mürast külmutusagensi sisse- ja väljalülitustsükli ajal.

### 1.3.2. Müratasemete liitmine

Kui kahe või enama heliallika helitasemeid on mõõdetud või arvutatud eraldi ning on vaja leida heli kombineeritud helirõhutasemeid, siis selleks tuleb kõik müratasemed kokku liita. [8]

Kuna detsibellid on logaritmilised väärtused, siis on müratasemete liitmine küllaltki keeruline protsess. Üks võimalus detsibellide liitmiseks on teisendada üksikud dB- väärtused lineaarseteks väärtusteks. Sellisel viisil müratasemete liitmist kasutatakse käesolevas magistritöös ning seda arvutatakse järgnevalt:

$$L_{presult} = 10 * \log(10^{\frac{L_{p1}}{10}} + 10^{\frac{L_{p2}}{10}} + 10^{\frac{L_{p3}}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_{pn}}{10}}), \quad (1.5)$$

kus  $L_{presult}$  on kogu müratase detsibellides (dB)

### 1.3.3. Põhilised akustilised vead projekteerimisel

Alati on odavam projekteerida ja paigaldada tehnosüsteemid õigesti esimesel korral, kui hakata korra paigaldatud süsteemi vaiksemaks muutma. [5]

Tüüpilised vead projekteerimisel, mis põhjustavad halba akustilist lahendust on [5]:

1. Vale või ebaefektiivse ventilaatori/ mootori valik.
2. Halb automaatika, mis võib põhjustada ventilaatori ebastabiilsust töötamisel.
3. Unustatakse erinevad müraallikad omavahel kokku liita, mille tulemusel tegelikkuses müra kasvab.

Käesolevas magistritöös keskendutakse olukorrale, kus tehnoseadmete heliallikas asub välistingimustes nagu näiteks mitmed VJ seadmete välisosad.

Tehnoseadmete heliallikate poolt genereeritav helivõimsustase väliskeskkonda tuleb kindlaks määrata sobivas vormis. Näiteks väikeste heliallikate puhul tuleb arvesse võtta oktaavriba helivõimsustasemeid. Suuremate heliallikate puhul tuleb arvestada oktaavribade ja suunakoefitsientide helivõimsuse taset.

### 1.3.4. Välisestehnoseadmete müra akustiline analüüs

Kinnisvaraobjektidel on välismüra tasemete analüüsid sageli nõutud külgnevatele hoonetele. Väliskeskonnas kasutatavad tehnoseadmed, nagu näiteks erinevad jahutus- ja ventilatsiooni katuseadmed genereerivad müra erinevatel helitasemetel. VJ seadmetest tulenev müra võib häirida naabreid või hoones viibijaid. [9]

Müraallika tugevuse kirjeldamiseks on vaja kaht olulist näitajat: müraallika helivõimsustase ja selle suund. Helivõimsustase on mõõtühik, mis näitab kogu helivõimsustaset, mida heliallikas kiirgab kõikidesse suundadesse. Müraallika suund/ juhitudus on mõõtühik, mis näitab heli varieerumist erinevates suundades. Heli suunda näidatakse tavaliselt nurgafunktsioonina müraallika akustilise keskpunkti asukoha ümber ning ka sageduse funktsioonina.

Välismüra levimisel tuleb arvestada meteoroloogiliste mõjudega, maapinnakatete mõjuga, atmosfääriheli neeldumise ja sellega seotud heli sumbumisega ning tõkete ja peegeldavate pindadega. Kõiki neid mõjusid arvestada on tegelikes arvutustes keeruline ja aeganõudev protsess. Kuna eespool loetletud välismüra levimise mõjurid on väga kõikuvad väärtused, siis nendega arvestamine välismüra esmasel hindamisel ei ole alati põhjendatud ning täpne.

Lihtne akustiline analüüs peaks sisaldama akustiliste põhitõdede ülevaatamist suurte tehnosüsteemide korral. Akustiline analüüs aitab välja selgitada parimad kujundusotsused ja aitab seadme paigaldamisel kulutusi kokku hoida ning samas tagab hoone kasutajate ja naaberhoonete elanike rahulolu.

Akustiline mudel koosneb:

1. Müraallikast, kust heli pärineb.
2. Heli vastuvõtja asukohast.
3. Heli teekonnast. Arvestatakse heli teekonda müraallikast vastuvõtjani.

Vastuvõtja kohaks on asukoht, kus on huvi antud helitaseme info kohta. Vastuvõtja asukohaks võib olla näiteks rõdu, terrass, hoone välisfassaad, konverentsiruum, avatud kontoriruum, eluruum, teater jpm. Uuritaval heliallikal võib olla mitu vastuvõtjat.

Heli varieerub kõige rohkem heli teekonnal. Seetõttu on heli teekond eriti oluline näitaja. Heli teekondi müraallikast vastuvõtjani võib olla rohkem kui üks.

### 1.3.5. Helienergia hajumine väliskeskonnas

Helienergia hajub õhus kahel peamisel põhjusel:

1. Õhu hõõrdumisel tekivad viskoossed kaod. Õhumolekulid muunduvad soojuseks. [9]

2. Niinimetatud lõõgastusprotsessid- helienergia imendub hetkeks õhumolekulidesse ning põhjustab molekulide vibreerimise ja pöörlemise. Need molekulid saavad hiljem uuesti heli kiirata (tekitada väikest kaja), mis võivad osaliselt seguneda sissetuleva heliga. [9]

### **1.3.6. Tuule, temperatuuri ja sademete mõju helilainetele**

Tuul, temperatuur ja sademed võivad helilaineid painutada ja mõjutada helitasemeid suurte vahemaade korral. Nende mõju on lühiajaline ja akustilistes hinnagutes seda tavaliselt ei arvestata. [2]

## 2. MÜRA VÄHENDAMISE MEETODID

### 2.1. Müraallika emissioonide vähendamine

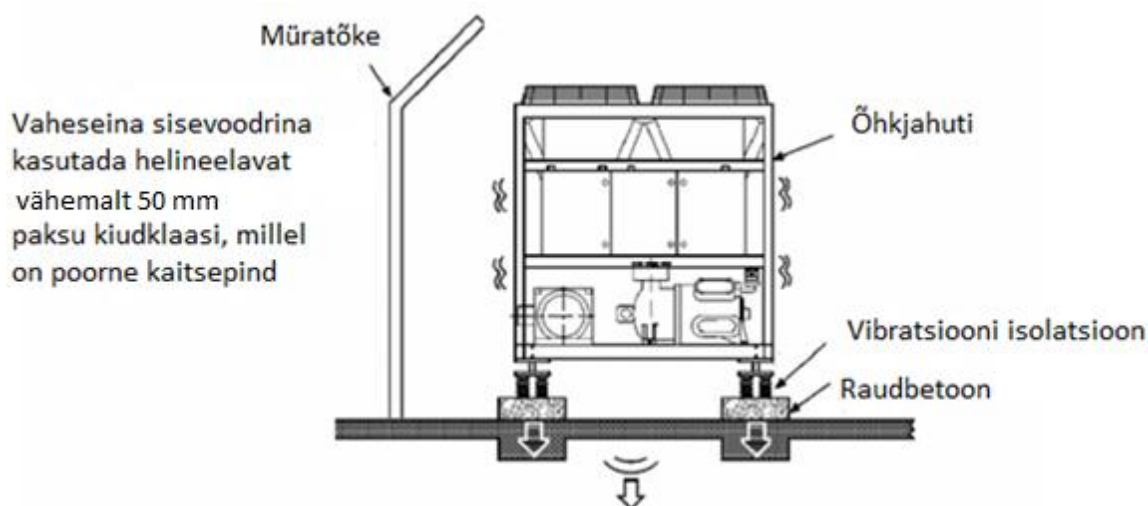
Müraallika emissioonide vähendamine on tõhusaim müra tõkestamise meetod, kuna sellega kaitstakse mürareostuse eest ka muid, mitte ainult probleemseid objekte. [10]

Müra emissioonide vähendamiseks on võimalus vahetada müra tekitatav seade või seadme osa vähese müraga seadme osa, seadme vastu.

### 2.2. Mürakaitseekraan ja müratõke

Keskkonnamüra vähendamine on kõige efektiivsem müraallika läheduses. Välistehnoseadmete müra vähendamiseks saab kasutada heliümbriseid, helitõkkeid ja vaheseinu, mis vähendavad heli ülekandumist keskkonda. [11]

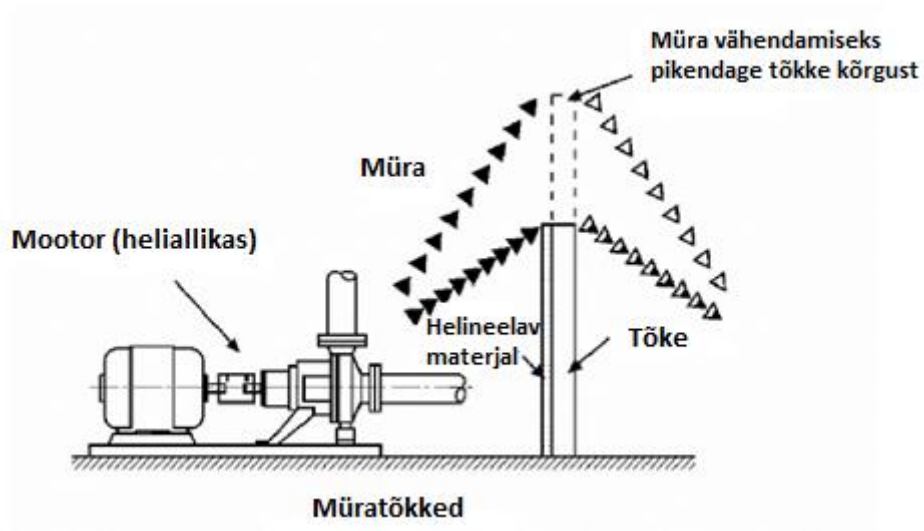
Kui seadme helivõimsustase on liiga suur, võiks hoone katusele rajada mürakaitseekraani, müratõkke või osalise müra kaitseala ümbrusesse kostuva müra levimise tee blokeerimiseks. Kui hoone ümbruses asetsevad müratundlikud hooned, siis tuleks ümber müraallika igas suunas paigaldada müratõkke.



Joonis 2.1 Müra summutamine müratõkke abil

Müraallikas ei tohiks olla tühimikku ega liigendit, mille kaudu müra lekib. Tõkke pinna tihedus peab olema vähemalt  $10 \text{ kg/m}^2$ . Vaateväli müraallika ja vastuvõtja vahel peab olema täielikult katkestatud.

Müratõkkest tulenevalt võib mürataseme langus olla vahemikus 5 dB (A) kuni 10 dB (A). Müra vähendamine on tõhusam, kui müratõke on vooderdatud heli neelava materjaliga müraallika poolt või müratõke on võimalikult kõrgel vaateväljas. [11]



Joonis 2.2 Müratõkked

### 2.3. Väiksemate tehnoseadmete kasutamine

Lisaks algele disainile saavad masinaehitusinsenerid soovimatute helide ärahoidmiseks proovida vähendada tehnoseadmete õhuvooluhulka ja seeläbi tehnoseadmete suurust.

Mitme väiksema tehnoseadme kasutamine võib kokku anda madalama mürataseme kui ühe suure tehnoseadme paigaldamine.

### 2.4. Mürasummutid

Mürasummuteid saab efektiivselt kasutada paigaldades helisummutid enne ventilatsiooniseadme õhuvõtu- ja väljaviskeresti. Selline lahendus omakorda eeldab, et hoones on ruumi, kuhu helisummutid paigaldada.

## **2.5. Ekstreemsed müra tõkestamise meetodid**

Ekstreemsetes müratingimustes saab kasutada isegi spetsiaalselt müra jaoks konstrueeritud kabiine, bokse või hooneid. [10]

Hoone müratundlikule fassaadile võib paigaldada mürakaitse lamellid/ plaadid.

## **2.6. Asukoha valik**

Mürareostuse piiramiseks on mõistlik üle vaadata müraallika paiknemine müratundlike hoonete või ruumide suhtes. Mida kaugemale viia müraallikas vastuvõtjast, seda väiksemad müratasemed on vastuvõtja asukohas.

Kui müraallika paiknemist ei saa teatud tingimustel muuta, siis on võimalus vaadata üle müratundlike ruumide paiknemine hoones. Müratundlikud ruumid saab projekteerida näiteks hoone teisele fassaadile.

### 3. JUHKENTALI KVARTALI EHITUSPROJEKTI KIRJELDUS JA ARVUTUSMETOODIKAD

#### 3.1. Arhitektuuriline ehitusprojekti kirjeldus

Magistritöös uuritakse tehnoseadmete helirõhutasemeid väliskeskkonnas, mis paikneb Tallinnas, kesklinna linnaosas, Liivalaia, Juhkentali ja Imanta tänava vahelises piirkonnas. Ehituskompleksi aadressideks on Liivalaia tn 34 // Liivalaia tn 36 // Veski tn 1, Tallinn. [12]

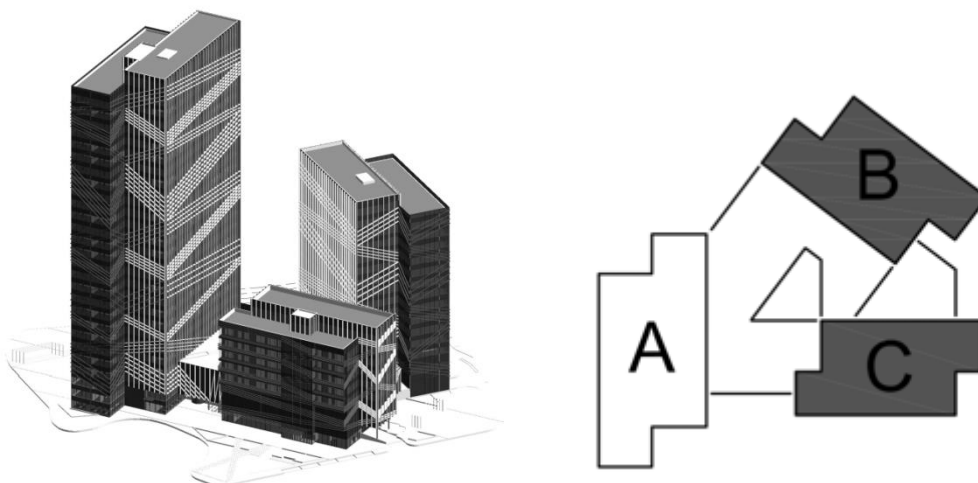
Juhkentali kvartali arhitektuurse eelprojekti on koostanud FIE Arhitekt Martin Aunin.

Antud ehituskompleksi tehnoseadmete eelprojekt on koostatud BI Inseneribüroo poolt ning autor tänab BI Inseneribürood projekti ning magistritöös vajalike andmete jagamise eest.

Liivalaia tn 34, Liivalaia tn 36 ning Veski tn 1 sihtotstarbeks on äri- ning elamumaa. [12]

Maa-alale on projekteeritud ehituslik kompleks, mis koosneb [12]:

- kahekorruselisest maa-alusest kompleksi osast,
  - 28-korruselisest hoonest, maapealne brutopind  $39\,000\ m^2$  (A- hoone),
  - 15-korruselisest hoonest, maapealne brutopind  $16\,350\ m^2$  (B- hoone),
  - 9-korruselisest hoonest, maapealne brutopind  $8185\ m^2$  (C-hoone)
- ja maapealsest kolmekorruselisest hoonete vahelisest kompleksi osast.



Joonis 3.1. Liivalaia tn 34 // Liivalaia tn 36 // Veski tn 1



Magistritöös uuritavate müraarvutusmeetoditega teostatakse müraarvutused A-, B-, ja C- hoone tehnoseadmetest sellesse ehituskompleksi kuuluvatele hoonetele, ehk A- hoone puhul B- ja C- hoonele, B-hoone puhul A- ja C- hoonele jne. Kõigepealt leiti kõik müratulemused eraldi igasse mõjupunkti ning seejärel liideti kõik müratasemete tulemused kokku kasutades eelpool toodud helitasemete liitmise logaritmilist valemit (valem 1.4).

Müratasemete liitmisel tuleb arvestada, et kui ühe müraallika müratase on vastuvõtja punktis suurem teistest müraallikatest  $\geq 10$  dB, siis on määravaks suurim müraallikas. Juhkentali kvartalis on domineerivateks müraallikateks hoonete katustel paiknevad jahutusseadmed, mille müratasemed on  $\geq 10$  dB üle ventilatsiooniseadmete õhuvõtu- ja väljaviskerestide müratasemetest. Seega, müratulemused sõltuvad Juhkentali kvartalis jahutusseadmete müratasemetest ning ventilatsiooniseadmete müraallikad ei mõjuta märkimisväärselt arvutustulemusi.

Mürakaardistamistarkvaraga SoundPLAN 7.4 teostatakse müraarvutused nii antud ehituskompleksi kuuluvatele hoonetele kui ka naaberhoonete fassaadidele. Juhkentali kvartalist ja selle naaberhoonetest koostatakse mürakaart eelprojekti järgsete tehnoseadmete müratasemetega.

Kõik kolm arvutusmeetodit on omavahel võrreldavad kuna põhinevad ISO 9613-2:1996 standardil, kuid Halme- Seppänen ja NST on selle standardi põhjal lihtsustatud arvutusmeetodid.

Keskkonnaministri määrus nr 71 „Välisõhus leviva müra normtasemed ja mürataseme mõõtmise, määramise ja hindamise meetodid“ (vastu võetud 16.12.2016) lisa nr 1 kohaselt on Juhkentali kvartali näol tegemist III astme müra kategooriaga (keskuse maa-alad). [13]

Antud määrus kehtestab III kategooria müra piir- ja sihtväärtusteks tabelis nr 3.2 toodud suurused. Määruse järgi rakendatakse tehnoseadmete müra piirväärtusena tööstusmüra sihtväärtust. Kuna antud müra kategoorias on tööstusmüra sihtväärtus öösel madalam kui päeval, siis lõputöös kasutatakse kriitiliseimat piirväärtust ehk 45 dB (ööine olukord). Öine olukord sai määravaks eelkõige seetõttu, et hoone sisekliima tingimuste tagamiseks etteantud välistemperatuuril (+27°C) töötavad katusel paiknevad vesi-etüleen-glükooli jahutitega külmamasinad suvises olukorras öö läbi ning tekitavad selle aja jooksul müra. Hoonete ventilatsiooniseadmed hakkavad suvisel perioodil tööle alates kella 6st hommikul, et tagada sobilik sisekliima selleks ajaks, kui inimesed tööle jõuavad, ning vastavalt määrusele on see öine aeg.

Tabel 3.1 Müra normtasemed

		Müra piirväärtus		Müra sihtväärtus	
Müra liik		Liiklusmüra	Tööstusmüra	Liiklusmüra	Tööstusmüra
Müra kategooria	Aeg				
III kategooria	Päev	65	65	60	55
	öö	55	50	50	45

## 3.2. Juhkentali kvartali ventilatsiooni- ja jahutussüsteemide tutvustus

A-, B- ja C- hoonete katustel paiknevad lisaks jahutus- ja ventilatsiooniseadmetele ka katuseventilaatoreid ning muid müraallikaid, kuid eelprojekti mahus pole neile müraallikatele müraandmeid antud ning seetõttu antud töös neile müraarvutusi ei tehta.

Juhkentali kvartalis on määravaks jahutusseadmete müratasemed ning seetõttu on järgnevatel alapunktides müraallikate asukohtadena joonistel välja toodud katusepealsed jahutusseadmed.

Lisas 1 on toodud kõikide ventilatsiooniseadmete müraallikate paiknemised hoonete ning korruste kaupa.

### 3.2.1. A-hoone ventilatsiooni- ja jahutussüsteemide tutvustus

A-hoonet teenindab kokku 27 ventilatsiooniseadet, mille kirjeldused on toodud alljärgnevas tabelis 3.3.

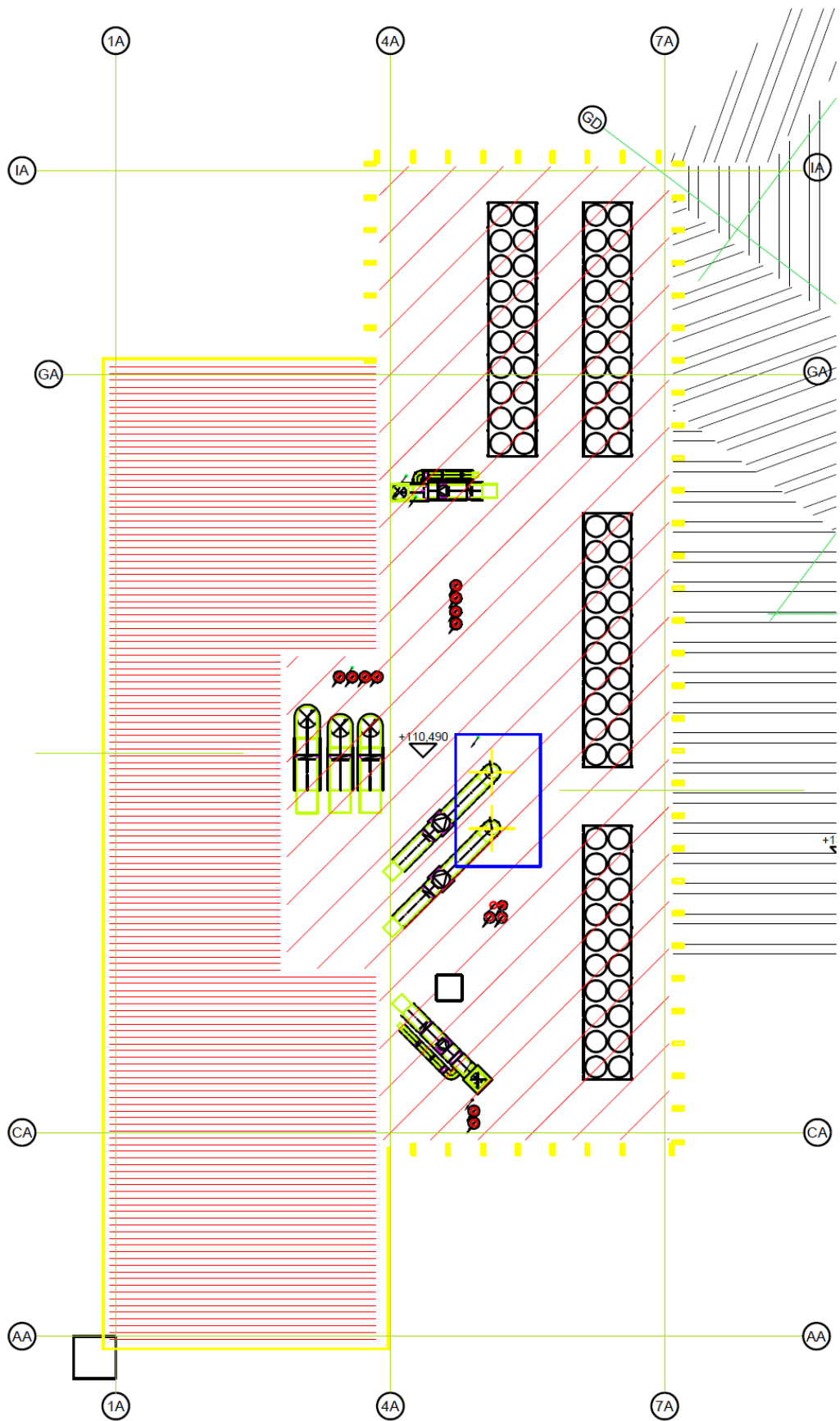
Tabel 3.2 A-hoone ventilatsiooniseadmete kirjeldus

Seadme tähis	Seadme asukoht	Arv	Tootlikkus SP/ VT
		tk	l/s
SV-A-1, SV-A-2	4.korrus	2	2200
			2200
SV-A-3	4.korrus	1	1900
			1900
SV-A-4, SV-A-5	5.korrus	2	2700
			2700
SV-A-6, SV-A-7	5.korrus	2	2900
			2900
SV-A-8	5.korrus	1	2500
			2500
SV-A-9	5.korrus	1	1500
			1500

Seadme tähis	Seadme asukoht	Arv	Tootlikkus SP/ VT
		tk	l/s
SV-A-10, SV-A-11	5.korrus	2	3600
			3600
SV-A-10, SV-A-11	5.korrus	2	3600
			3600
SV-A-12, SV-A-13	8.korrus	2	3600
			3600
SV-A-14, SV-A-15	11.korrus	2	3600
			3600
SV-A-16, SV-A-17	14.korrus	2	3600
			3600
SV-A-18, SV-A-19	17.korrus	2	3600
			3600
SV-A-20, SV-A-21	20.korrus	2	3600
			3600
SV-A-22, SV-A-23	23.korrus	2	3600
			3600
SV-A-24, SV-A-25	26.korrus	2	3600
			3600
SV-A-26	-1. korrus	1	900
SV-A-27	-2. korrus	1	900

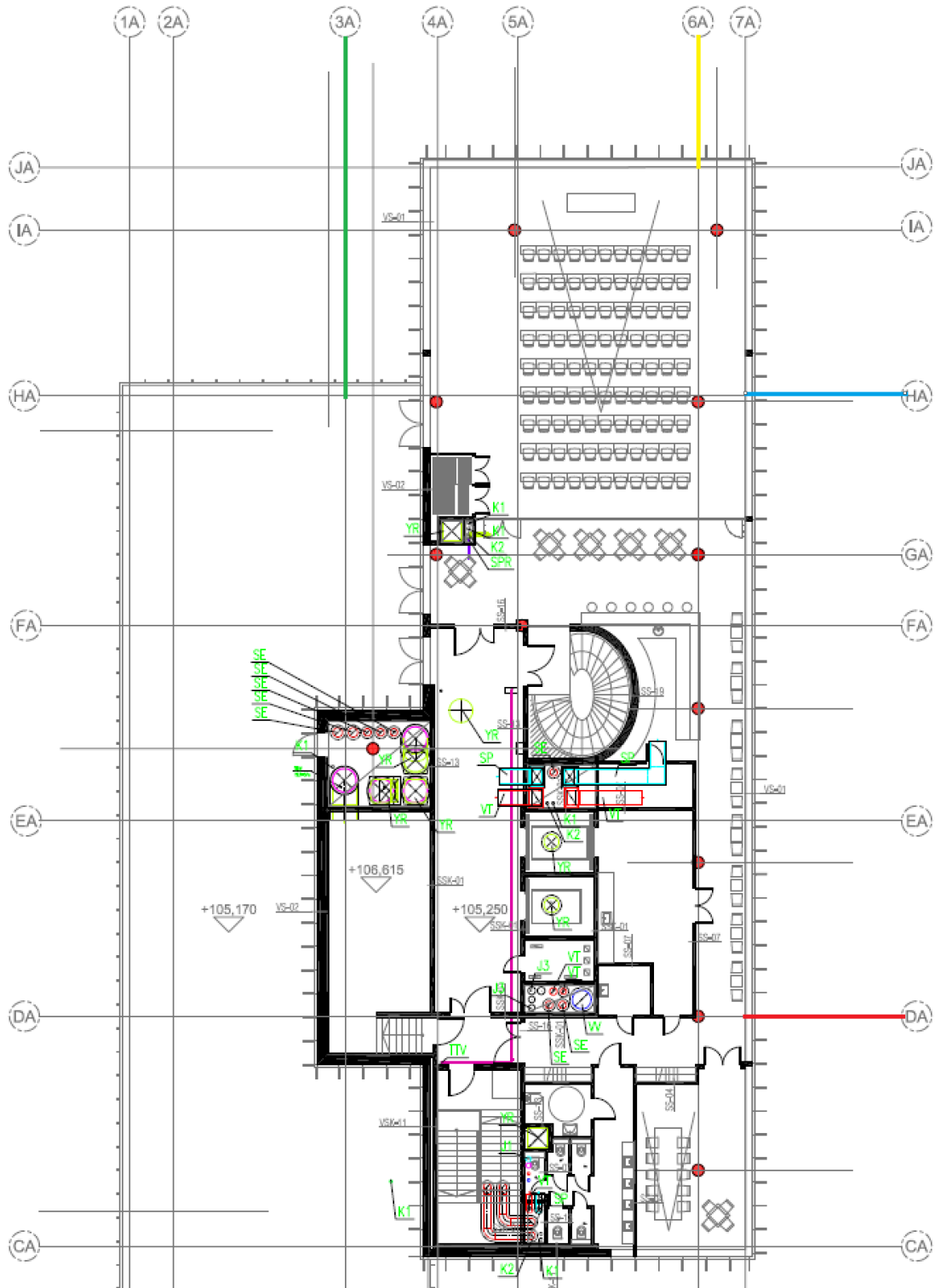
A-hoone õhuvõtu- ja väljaviskerestid asuvad hoone 3., 4., ja 5., korrusel ning nende paiknemine on toodud Lisas 1.

Lisaks ventilatsiooniseadmetele asub A- hoone katusel 4 vesi-etüleen-glükooljahutit (chillerit), mille koguvõimsuseks on 2800 kW. Kõikide jahutite helivõimsustasemeks on määratud  $L_{wA} = 98$  dB. 2 külmamasinat varustavad külmakandjaga A- hoone ventilatsiooniseadmete jahutuskalorifeere ning 2 A-hoone büroo- ja teenindusruumides paiknevate jahutatavate ruumide jahutuspalke.



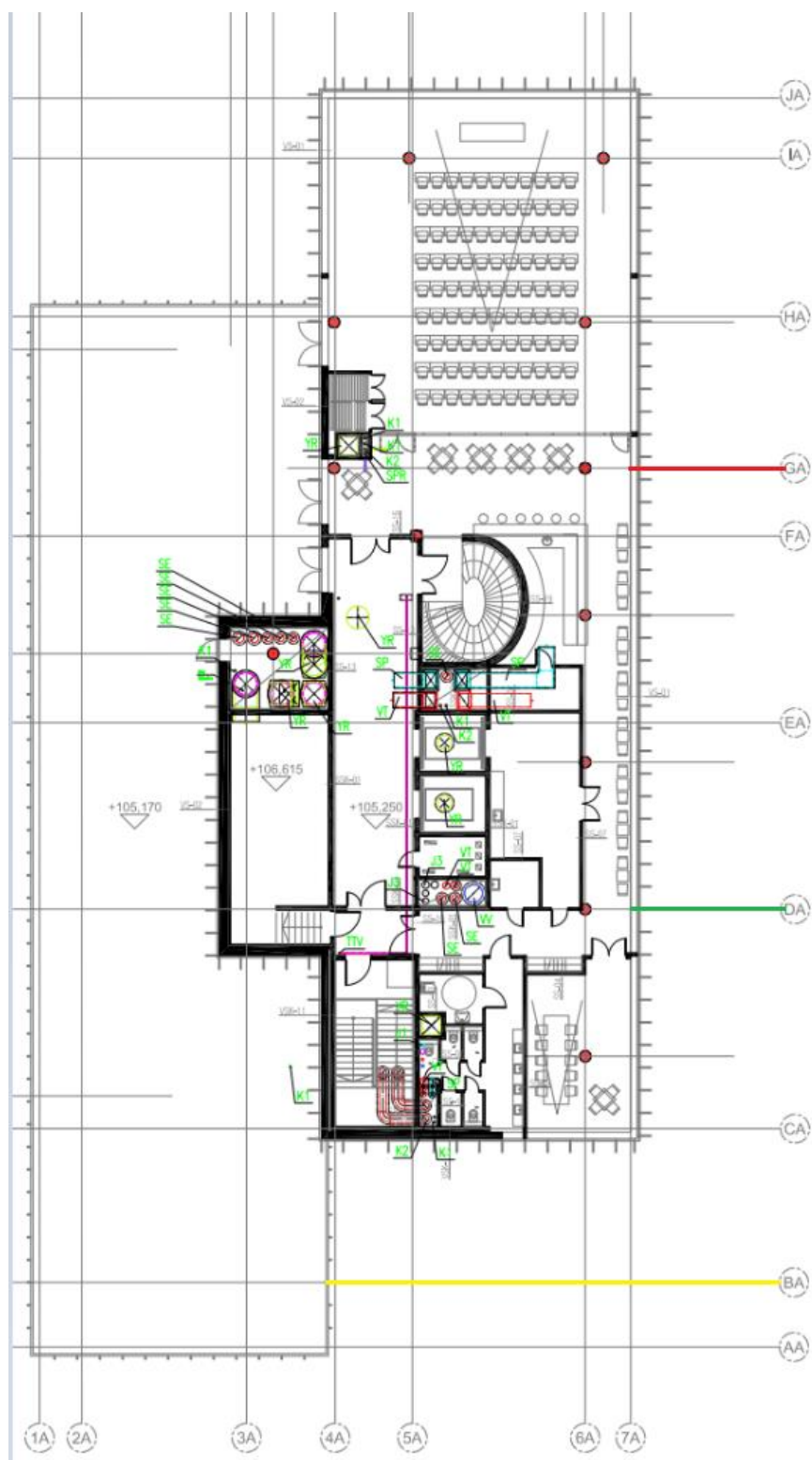
Joonis 3.2 A-hoone katusel paiknevad jahutusseadmed

B- hoone müraalikatest tehakse müraarvutused A-hoone valitud müra mõjupiirkondadesse, mis on valitud B- hoone puhul telgedele 6A, 3A, DA ning HA, kusjuures valitud teljed on B- hoone poolsed. Joonisel 3.3 on müra mõjupiirkond 6A märgitud kollase, 3A märgitud rohelse, DA punase ning HA sinise joonega. Neid värve kasutatakse hiljem tulemuste graafiliseks kuvamiseks, kus iga värv tähistab vastavat mõjupiirkonda.



Joonis 3.3 A-hoone müra mõjupunktid B- hoone tehnoseadmetest

C- hoone müraallikatest tehakse müraarvutused A-hoone valitud piirkondadesse, mis on valitud telgedele BA, DA ning GA, kusjuures valitud teljed on C- hoone poolsed. Joonisel 3.4 on müra mõjupiirkond BA märgitud kollase, DA rohelse ning GA punase joonega.



Joonis 3.4 A-hoone müra mõjupunktid C- hoone tehnoseadmetest

### 3.2.2. B-hoone ventilatsiooni- ja jahutussüsteemide tutvustus

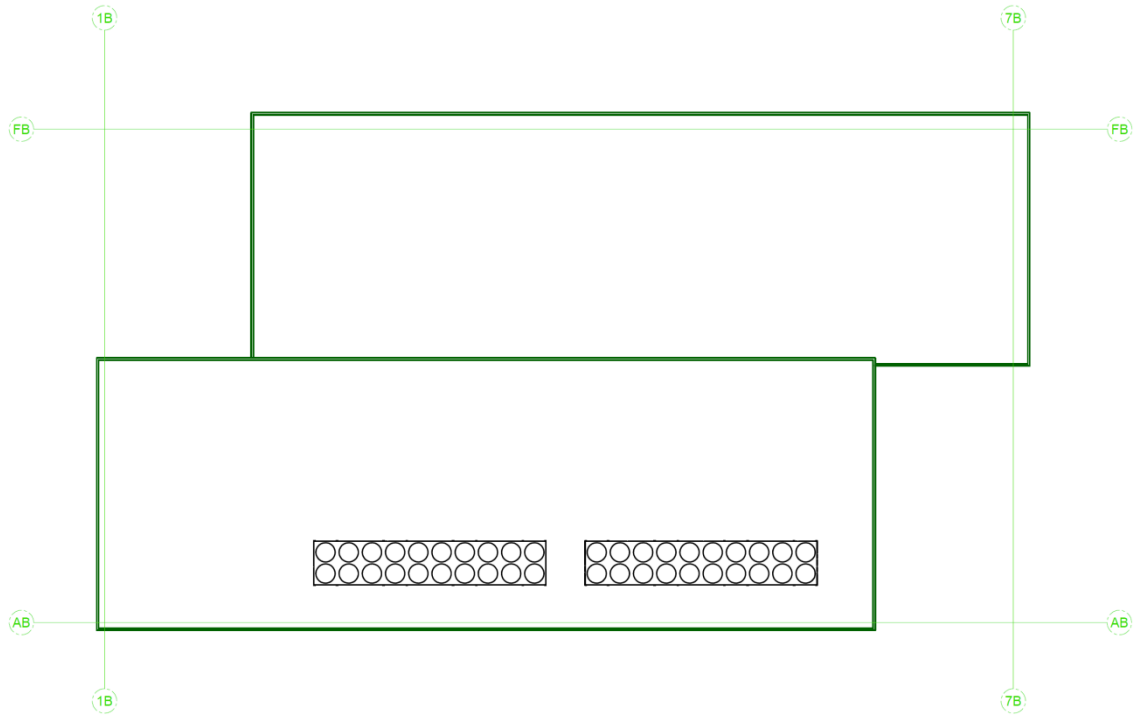
B- hoonet teenindab kokku 11 ventilatsiooniseadet, mille kirjeldused on toodud alljärgnevas tabelis 3.4.

Tabel 3.3 B-hoone ventilatsiooniseadmete kirjeldus

Seadme tähis	Seadme asukoht	Tootlikkus SP/ VT
		l/s
SV-B-1	4.korrus	3000
		3000
SV-B-2	4.korrus	2000
		2000
SV-B-3, SV-B-4	4.korrus	2200
		2200
SV-B-5	4.korrus	600
		600
SV-B-6	4.korrus	800
		800
SV-B-7	4.korrus	2000
		2000
SV-B-8, SV-B-9	7.korrus	8000
		8000
SV-B-10, SV-B-11	7.korrus	8000
		8000

Lisaks ventilatsiooniseadmetele asub B- hoone katusel 2 vesi-etüleen-glükooljahutit, mille koguvõimsuseks on 1600 kW. Neist 1 külmamasin varustab külmakandjaga ehitusliku kompleksi B osa ventilatsiooniseadmete jahutuskalorifeere ning teine B-hoone büroo- ja teenindusruumides paiknevate jahutatavate ruumide jahutuspalke. Jahutite helivõimsustasemeks on määratud  $L_{wA} = 98$  dB.

B- hoone katusepealsed müraallikad on toodud järgneval joonisel ning 7. korrusel asuvad ventilatsiooniseadmete õhuvõtu- ja väljaviskerestid on toodud Lisas 1.

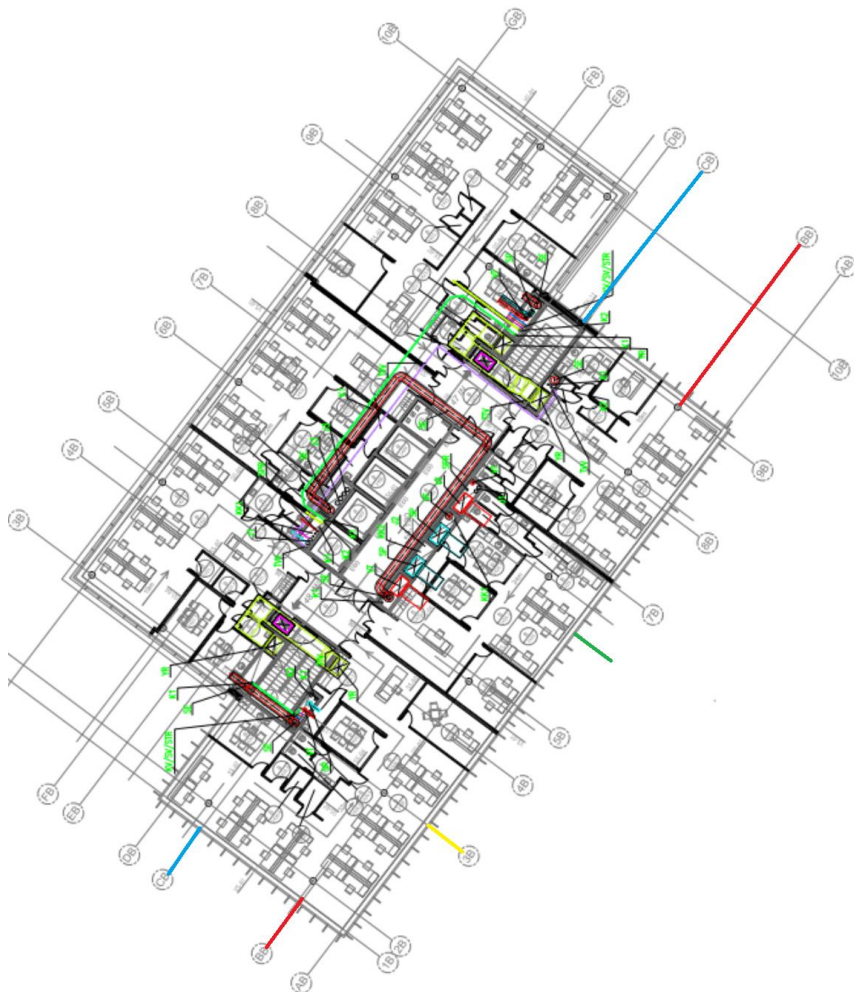


Joonis 3.5 B-hoone katusel paiknevad jahutusseadmed

A ja C- hoone müraalikest tehakse kõikide arvutusmeetoditega müraarvutused telgedele 3B, 6B, BB ning CB. A- hoone tehnoseadmetest tulenevad müratasemed arvutatakse A-hoone poolsetele B- hoone telgedele ning sama kehtib ka C- hoonele- müraarvutused C- hoone tehnoseadmetest tehakse C- hoone poolsetele B- hoone telgedele.

Joonisel 3.6 on müra mõjupiirkond 3B märgitud kollase, 6B rohelise, BB punase ning CB sinise joonega. Neid värve kasutatakse hiljem tulemuste graafiliseks kuvamiseks, kus iga värv tähistab vastavat müra mõjupiirkonda.





Joonis 3.6 B-hoone müra mõõpunktid A- ja C- hoone tehnoseadmetest

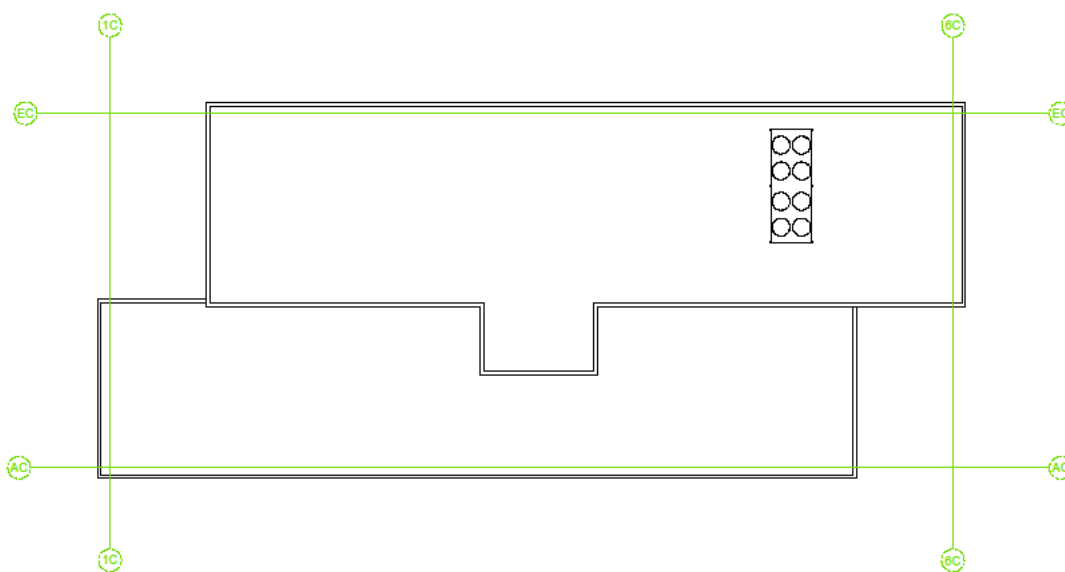
### 3.2.3. C-hoone ventilatsiooni- ja jahutussüsteemide tutvustus

C- hoonet teenindab 3 üldventilatsiooniseadet ning lisaks 60 korterite ventilatsiooniagregaati, mille kirjeldused on toodud alljärgnevas tabelis 3.5.

Tabel 3.4 C-hoone ventilatsiooniseadmete kirjeldus

Seadme tähis	Seadme asukoht	Tootlikkus SP/ VT
		l/s
SV-C-1	2.korrus	3900
		3900
SV-C-2, SV-C-3	2.korrus	300
		300
Korterite vent. agregaadid 60 tk	4.-9. Korrus	50
		50

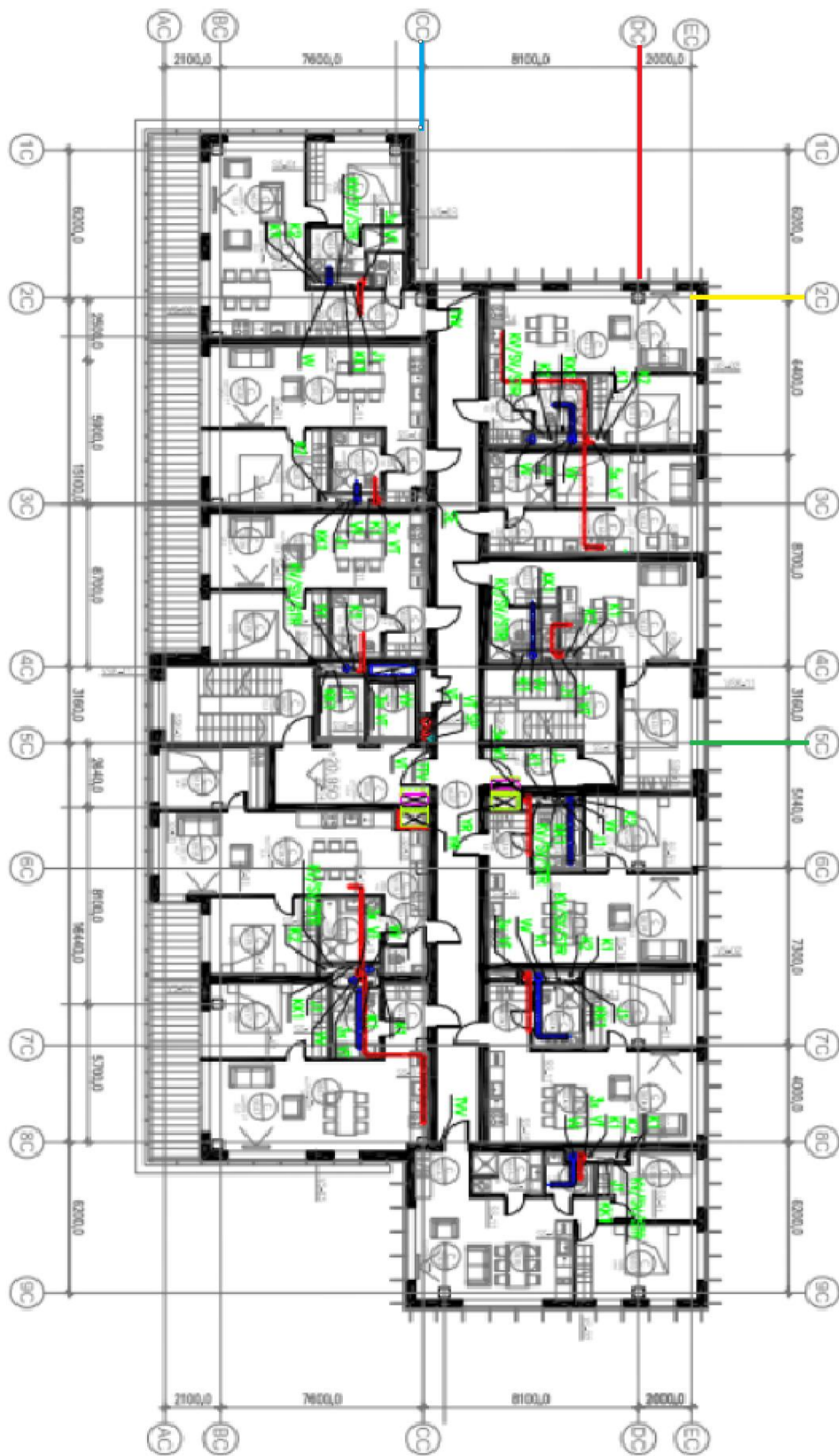
Lisaks ventilatsiooniseadmetele asub C- hoone katusel vesi-etüleen-glükooljahuti, mille võimsuseks on 250 kW. See varustab külmakandjaga ehitusliku kompleksi C osa jahutatavate korterite jahutusseadmeid ning äripindade ventilatsiooni jahutuskalorifeere. Jahuti helivõimsustasemeks on määratud  $L_{wA} = 84$  dB. C-hoone õhuvõtu- ja väljaviskerestid asuvad 3. ja 4. korrusel. C-hoone kõik müraallikad, millele antud töös müraarvutused tehakse, on toodud alljärgnevatel joonistel korruste kaupa.



Joonis 3.7 C-hoone katusel paiknev jahutusseade

A ja B- hoone müraallikatest tehakse kõikide arvutusmeetoditega müraarvutused telgedele 2C, 5C, CC ning DC.

Joonisel 3.5 on müra mõjupiirkond 2C märgitud kollase, 5C rohelise, CC sinise ning DC punase joonega. Neid värve kasutatakse hiljem tulemuste graafiliseks kuvamiseks, kus iga värv tähistab vastavat müra mõjupiirkonda.



Joonis 3.8 C-hoone müra mõjupunktid A- ja B- hoone tehnoseadmetest

## 4. Juhkentali kvartali müraarvutused

Selles peatükis on kirjeldatud kõiki kolme antud uurimistöös kasutatud müraarvutusmeetodeid ning on toodud nende arvutusmeetoditega saadud tulemused.

Kõik kolm arvutusmeetodit põhinevad ISO 9613:1996 rahvusvahelisel müraarvutusstandardil ning on seetõttu omavahel võrreldavad.

ISO 1996 standardite seeria määratleb meetodid müra kirjeldamiseks välistingimustes ühiskondlikus keskkonnas. [14]

ISO 9613 meetod on üldine - seda saab kasutada erinevate müraallikate jaoks ja see hõlmab enamikku peamistest summutusmehhanismidest. Antud standard täpsustab tehnilise meetodi heli sumbumise arvutamiseks välistingimustes levimisel, et ennustada keskkonnamüra taset erinevatest müraallikatest. Meetod ennustab ekvivalentset pidevat A-kaalutud helirõhutaset teadaolevate müraemissiooni allikatest levimiseks soodsates meteoroloogilistes tingimustes. Meetod ennustab ka pikaajalist keskmist A-kaalutud helirõhutaset. Pikaajaline A- kaalutud helirõhutase hõlmab mitmesuguseid meteoroloogilisi tingimusi.

ISO 9613 arvutusmeetod koosneb konkreetset oktaavribade algoritmidest (nominaalse keskribasagedusega 63 Hz kuni 8 kHz) punktmüraallikast või punktmüraallikatest tuleva heli sumbumise arvutamiseks. Heli allikas või heliallikad võivad olla liikuvad või paigalseisvad.

ISO 9613 standardi arvutusmeetodis arvestatakse:

- 1) Geomeetrilist erinevust;
- 2) Atmosfääri neeldumist;
- 3) Maapinna efekti;
- 4) Pindade peegeldust;
- 5) Takistusi.

## 4.1. HALME- SEPPÄNENI ARVUTUSMEETODI KIRJELDUS JA RAKENDAMINE JUHKENTALI KVARTALIS

### 4.1.1. Halme- Seppäneni arvutusmeetodi kirjeldus

### 4.1.2. Heli ülekandumine kliimaseadmest keskkonda

Mugava keskkonna saavutamiseks seadistatakse hoonete tehnilised seadmed hoonetevälisele maksimaalsele lubatud müratasemele. [6]

Neid nõudeid täidetakse kahes põhisituatsioonis:

- Heli levib hoone fassaadil (välisseinad, katus) oleva ava või välimist ümbrist läbiva kanali kaudu.
- Heli allikas on väljas (kondensaatorid, ventilaatorid).

Väikese heliava puhul vabas ruumis võib eeldada, et väike heli avaneb kõigis suundades ühtlaselt.

Helirõhutase keskkonda saab arvutada vastavalt valemile:

$$L_p = L_w + 10 \lg(1/Qr^2) \quad (4.1),$$

kus

$L_p$  = helirõhutase r, dB

$L_w$  = helivõimsustase avast, dB

r = kaugus avast, m

Q = ruuminurk (rad), millele heli jagatakse

Kui ava on vabas ruumis, siis on pika kanali otsa ruuminurk võrdne  $Q=4\pi$ , tasasel pinnal  $2\pi$ , nurga all  $\pi$  ja nurgas  $\pi/2$ . Antud juhul kasutab autor kanali otsa ruuminurgaks  $Q=2\pi$ , kuna tegu on tasase pinnaga.

Ehituspraktika aga näitab, et tavaliselt ei ole välisruum täiesti vaba ja seal esinevad takistused.

Takistused peegeldavad heli. Hoone pinnad ja tihedalt kaetud maapind absorbeerivad heli nii vähe, et neid võib lugeda täielikult heli peegeldavateks pindadeks. Tehnoseadmete heli allika poolt genereeritav müra liigub läbi välisava avause erinevates suundades. Ava suurus, takistused ja kaugus mõjutavad heli vastuvõtja asukohas tekkivat mürataset.

Kui välisruumis on rohkem peegeldavaid pindu, siis lisatakse nende mõju. Kui vaatluse all on rohkem kui üks heli allikas, siis määratakse nende poolt põhjustatud helirõhutase eraldi ja need helirõhutasemed kombineeritakse vastavalt valemile 1.4.

Seega määrab välise helirõhutase heli, mis tuleneb otse heli allikast ja võib olla mõne täiendava peegeldusega.

Vabas ruumis paikneva heli allika orientatsioon on suletud ruumist täiesti erinev. Hoone väliskestas olevad avad on üldiselt palju laiemad ja orientatsioon palju suurem, kui ruumis

asuvatel väikestel lõppseadmetel.

Ventilatsiooni –ja jahutusseadme maksimaalne helivõimsustase peab olema dimensioneeritud nii, et aknaga külgneva hoone ruumides ega välisterritooriumil ei ületataks lubatud müra piirväärtust. Halme- Seppäneni valemit kasutades on oluline ka arvestada kaugus ventilatsiooni- ja jahutusseadme keskpunktist hoone välisseinani. Eeskirjade kohaselt mõõdetakse akna või rõdu kõrval olevat helitaset hoonest umbes ühe meetri kauguselt. Tehnoseadme müratase arvestatakse heliallikast 1 m kaugusel ning külgneva hoone välisseinast 1 m kaugusel, ehk tegeliku kauguse saamiseks müraallikast vastuvõtjani tuleb kogu kaugusest maha lahutada 2 m. Sellega on tagatud, et kõik helinähtused on piisava täpsusega sagedusest sõltumatud. Mürataseme arvutamisel kasutatakse A-korrektsooni.

Halme- Seppäneni arvutusmeetod põhineb ISO 9613-2:1996 standardil, kuid ei võta arvesse meteoroloogilisi mõjusid, maapinnakatete mõju, atmosfääriheli neeldumist ja sellega seotud heli sumbumist ning tõkkeid ja peegeldavaid pindu. Halme- Seppäneni meetod on uurimiseks valitud seetõttu, et selle valemi kasutamine on kiire ja lihtne ning sobib omaduste poolest müratasemete esmaseks hindamiseks väliskeskkonnas. Antud valemit kasutades tuleb arvestada, et saadud tulemused on ülehinnatud tegeliku olukorra suhtes, kuna ei võta arvesse eelpool nimetatud sumbuvus jms tegureid. Uurimistöö eesmärk on välja selgitada, kui suur keskmine erinevus on Halme- Seppäneni müravalemiga saadud tulemustel ning SoundPLAN mürakaardistamistarkvaraga saadud tulemustel. Nagu eespool öeldud, on SoundPLAN nendest kolmest arvutusmeetodist täiuslikeim, kuna põhineb täielikult ISO 9613-2: 1996 standardil ning sellega on võimalik saada kõige lähedasem tulemus tegelikule olukorrale.

Uurimistööga selgitatakse välja, kui suur vahe on Halme- Seppäneni lihtsustatud valemiga saadud tulemustel ning detailse arvutusega spetsiaaltarkvaras saadud tulemustel. Seda vahe arvesse võttes on võimalik VJ inseneridel tulevikus kasutada Halme- Seppäneni valemit välismüra hindamisel kasutades uurimistöös välja selgitatud parandustegurit.

### 4.1.3. Halme- Seppäneni arvutusmeetodi rakendamine Juhkentali kvartali hoonetes

Halme- Seppäneni arvutusmeetodi rakendamiseks kasutatakse tabelarvutusprogrammi Microsoft Office Excel. Selleks koostatakse tabel, mis koosneb kolmest tulpast. Need kolm tulpa kirjeldavad:

1. Vaatluse all olevat korruse numbrit;
2. müra mõjupiirkonna numbrit;
3. tulemuseks saadud helirõhutaset ( $L_p$ ) detsibellides.

Helirõhutasemete leidmiseks kasutati valemit 4.1 ning selleks sisestati Excelisse helivõimsutase avast, müraallika kaugus vastuvõtjast ning ruuminurk, milleks võeti iga olukorra puhul  $Q=2\pi$ , eelpool põhjendatud tingimuse tõttu. Kaugus müraallika ja fassaadi vahel on mõõdetud linnulennult otse müraallika keskpunktist fassaadini ning tõkke olemasolul (nt maja nurk) on kaugus mõõdetud ümber nurga.

### 4.1.4. Helirõhutasemete tulemused A- hoone fassaadil B- ja C- hoone müraallikatest

Selles alapunktis on toodud helirõhutasemete summaarsed väärtused A-hoone fassaadile B- ja C- hoone müraallikatest. Lisas 1 on toodud A- hoone müratasemed B-hoone tehnoseadmetest. Teiste olukordade tulemused tabelkujul on samuti toodud Lisas 2.

Tabel 4.1 A-hoone helirõhutasemed B- hoone tehnoseadmetest

Korrus	Mõjupiirkond	Helirõhutase
nr	nr	$L_{pA}$ (dB)
5	1	58
5	2	56
5	3	58
5	4	56
6	1	58
6	2	56
6	3	58
6	4	56
7	1	59
7	2	56
7	3	59
7	4	57
8	1	59
8	2	56
8	3	59

8	4	57
9	1	59
9	2	57
9	3	60
9	4	57
10	1	60
10	2	57
10	3	60
10	4	58
11	1	61
11	2	57
11	3	61
11	4	58
12	1	61
12	2	57
12	3	61
12	4	58

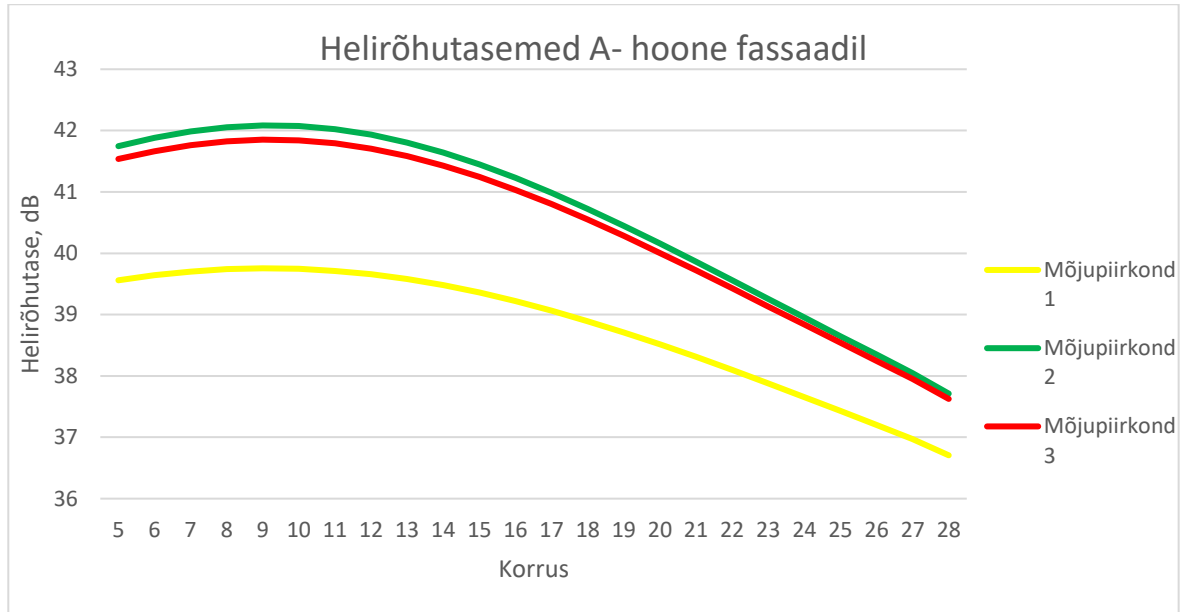
Korrus	Mõjupiirkond	Helirõhutase
nr	nr	$L_{pA}$ (dB)
13	1	62
13	2	57
13	3	62
13	4	58
14	1	62
14	2	58
14	3	62
14	4	59
15	1	62
15	2	58
15	3	63
15	4	59
16	1	63
16	2	58
16	3	63
16	4	59
17	1	63
17	2	58
17	3	63
17	4	59
18	1	63
18	2	58
18	3	63
18	4	59
19	1	63
19	2	58
19	3	63
19	4	59
20	1	62
20	2	58
20	3	63

20	4	59
21	1	62
21	2	58
21	3	62
21	4	59
22	1	61
22	2	57
22	3	62
22	4	58
23	1	61
23	2	57
23	3	61
23	4	58
24	1	61
24	2	57
24	3	61
24	4	58
25	1	60
25	2	57
25	3	60
25	4	58
26	1	59
26	2	56
26	3	60
26	4	57
27	1	59
27	2	56
27	3	59
27	4	57
28	1	58
28	2	56
28	3	58
28	4	56



B- hoone müraallikad tekitavad kõige suuremat müraprobleemi korrustel 16-20. Kõige suurem mürakoormus tekib 18. korrusel 3. mõjupiirkonnas, kus arvutuste tulemusel on summaarne helirõhutase 63 dB.

Järgneval graafikul tuuakse helirõhutasemete tulemused A- hoone fassaadil C- hoone müraallikatest.

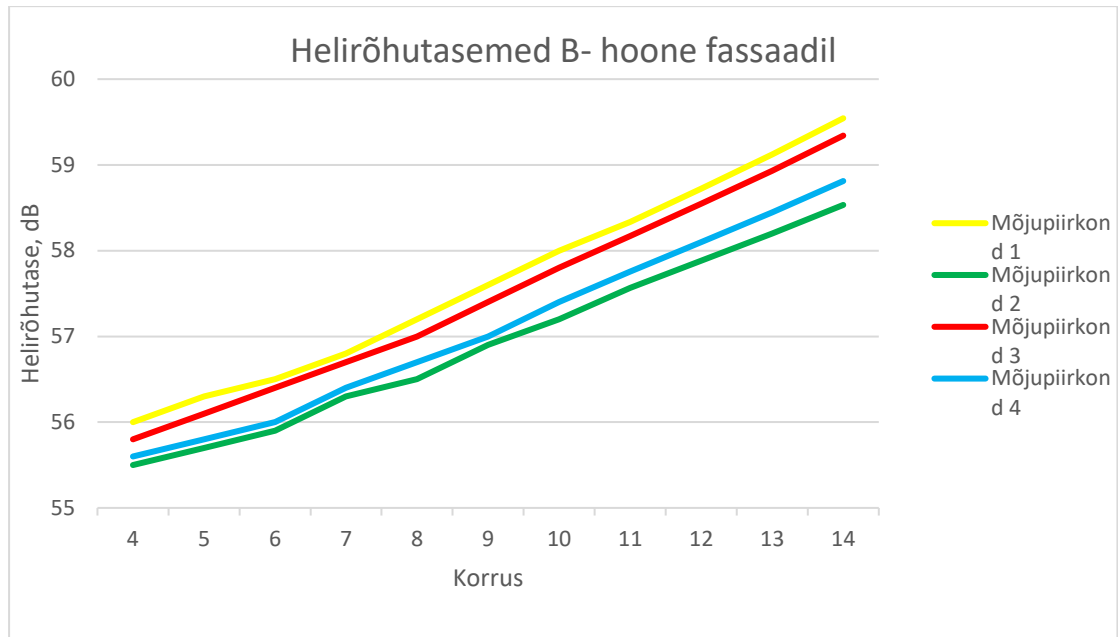


Joonis 4.1 Helirõhutasemete muutus korruste kaupa A- hoone fassaadil

Halme- Seppäneni arvutusvalemit kasutades saadi C- hoone tehnoseadmetest A-hoone fassaadile kõige kõrgemaks müratasemeks 42 dB, mis avaldub 2. mõjupiirkonnas 9. ja 10. korrusel.

#### 4.1.5. Helirõhutasemete tulemused B- hoone fassaadil A- ja C- hoone müraallikatest

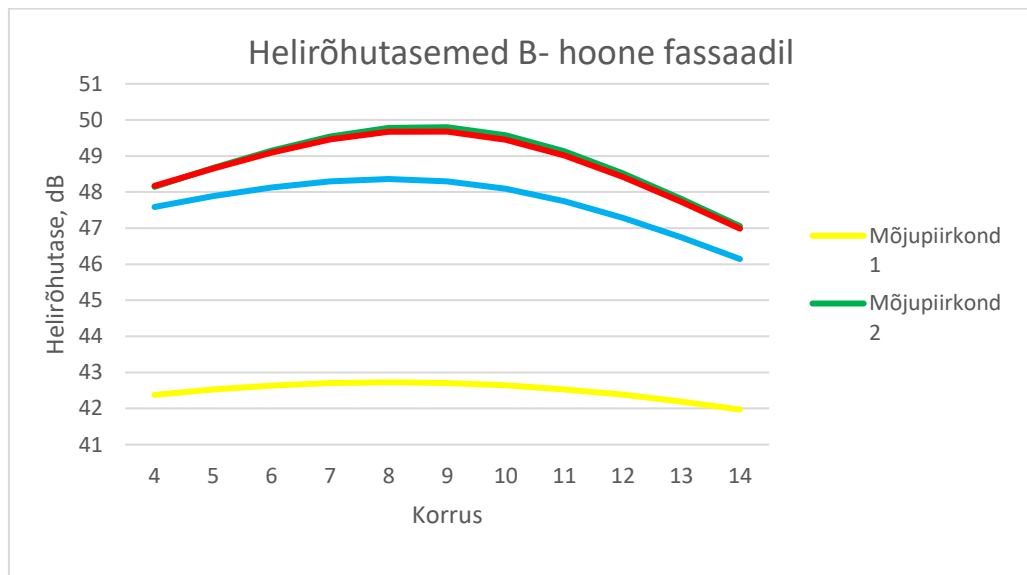
Joonisel 4.2 on toodud helirõhutasemete tulemused B- hoone fassaadil A- hoone müraallikatest.



Joonis 4.2 Helirõhutasemete muutus korruste kaupa B- hoone fassaadil

Kõige madalamad müratasemed on neljandal ehk kõige madalamal korrusel 56 dB ja kõrgemad müratasemed kõrgematel korrustel. Kõige kõrgem müratase 60 dB on tulemuste järgi 14. korrusel esimeses mõjupunktis ehk teljel 3B, mis asub A-hoonele kõige lähemal.

Joonisel 4.3 on toodud helirõhutasemete tulemused B- hoone fassaadil C- hoone müraallikatest.

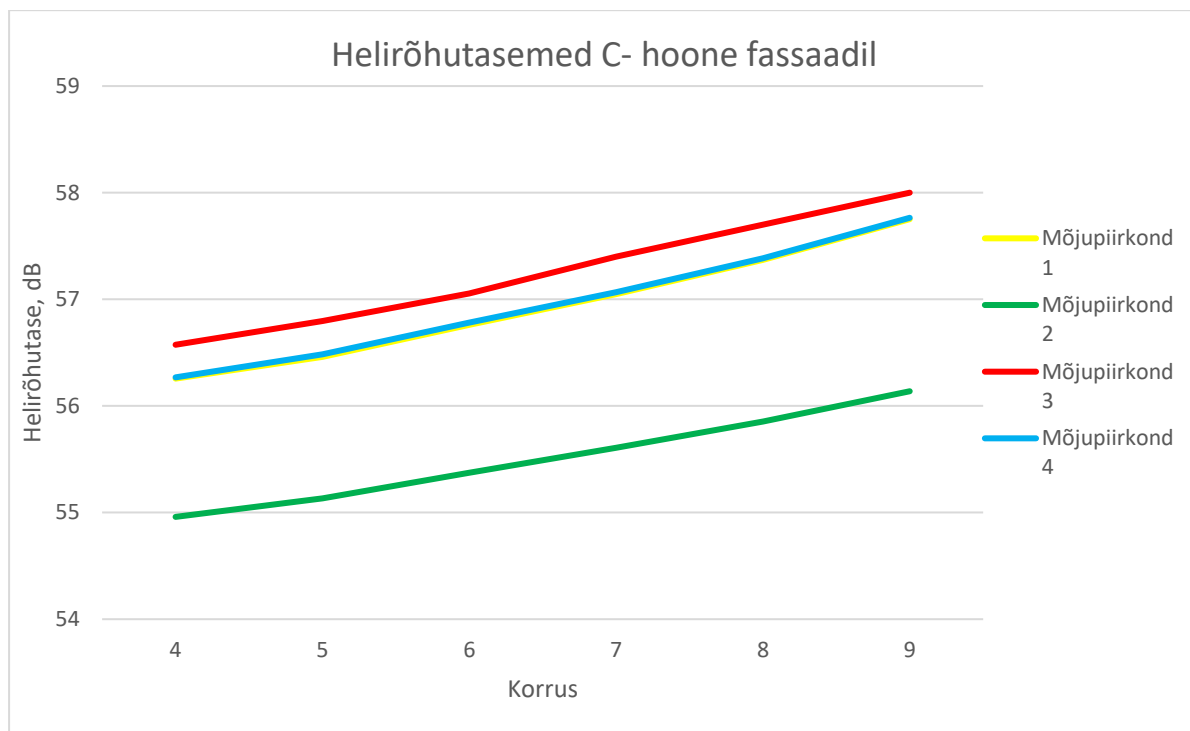


Joonis 4.3 Helirõhutasemete muutus korruste kaupa B- hoone fassaadil

Kõige kõrgem müratase saadi 8. ja 9. korrusel 2. mõjupunktis 50 dB ning kõige madalamaks helirõhutasemeks saadi 14. korruse 1. mõjupunktis 42 dB.

#### 4.1.6. Helirõhutasemete tulemused C- hoone fassaadil A- ja B- hoone müraallikatest

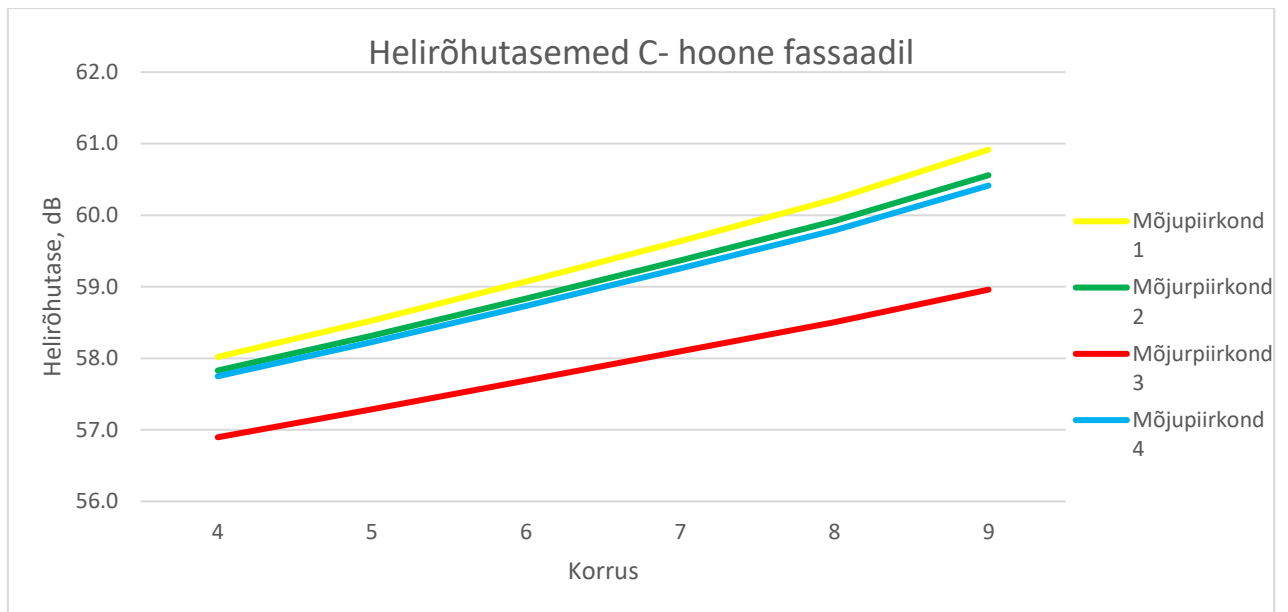
Joonisel 4.4 on toodud helirõhutasemete tulemused C- hoone fassaadil A- hoone müraallikatest.



Joonis 4.4 Helirõhutasemete muutus korruste kaupa C-hoone fassaadil

Kõige madalamad müratasemed on neljandal ja kõrgemad müratasemed 9. korrusel. Kõige kõrgem müratase 58 dB on tulemuste järgi 9. korrusel kolmandas mõjupunktis teljel CC, mis asub A-hoonele kõige lähemal.

Joonisel 4.5 tuuakse helirõhutasemete tulemused C- hoone fassaadil B- hoone müraallikatest.



Joonis 4.5 Helirõhutasemete muutus korruste kaupa C-hoone fassaadil

B-hoone müraallikad tekitavad kõige suuremat müra C- hoone 9. korrusel 1. mõjupunktis ehk teljel 2C, kus saadi helirõhutaseme väärtuseks 61 dB. Kõige vähem on mõjutatud neljanda korruse 4. mõjupunkt ehk telg CC, mis asub B-hoone müraallikatest kõige kaugemal.

## 4.2. MÜRAARVUTUSED NOISETOOLS.NET INTERNETITARKVARA ABIL

### 4.2.1. NST internetitarkvara tutvustus

Veebibrauseripõhine tarkvara NST on välja antud MAS Environmental'i poolt. MAS Environmental on Ühendkuningriigis asuv sõltumatu keskkonnatervise ja koolituste alane konsultatsiooniettevõtte, mis tegeleb enamike keskkonnatervise aspektidega. [15]

Firma pakub oma teenuseid kohalikele omavalitsustele, ettevõtetele ning ülikoolidele nii linna- ja maaplaneerimise kui ka litsentseerimise teemadel. Firma viib läbi koolitusi kohalikele omavalitsustele Ühendkuningriigis, sellistel teemadel nagu tuuleparkide müra, põhilised häiringud, mürapõhimõtete hindamine ja määramine jpm.

NST on inglisekeelne internetitarkvara programm, mis on tasuta ning kättesaadav kõigile. Antud tarkvara abil on võimalik arvutada müratase soovitud punktis. NST interaktiivne diagramm on ligikaudne arvutusvahend, mille abil on võimalik ühendada mürataseme vähenemine tulenevalt kaugustest, tõkke olemasolust ning selle kõrgusest (vastuvõtja ning müraallika vahel) ja õhu neeldumisest. Programmi tuleb sisestada ka keskkonnaparametrid, milles müratasest uuritakse, nagu temperatuur, suhteline niiskus ning maapinna faktor (0 või 1, sõltuvalt, kas maapind/ pind on pehme või kõva). Nende andmete põhjal arvutab programm müraallikast kandunud mürataseme vastuvõtja punktis detsibellides (dB).

NST kasutamiseks tuleb valida tonaalsete allikate jaoks "*single frequency*" ehk ühe sagedusega ja lairiba allikate jaoks "*multi spectrum*" ehk mitme sagedusega lahter. Helitasest saab muuta lahtris „*single frequency*“ valitud helisageduse juures ning „*multi spectrum*“ lahtris tuleb lisada kõik helitasemete väärtused erinevate helisageduste korral. Samuti saab muuta vahemaid (meetrites) ning klõpsata diagrammile ja lohistada diagrammi üksusi, et muuta nende positsiooni. Antud programm valiti uurimiseks peamiselt selle kasutuslihtsuse tõttu.

NST programmis eeldatakse, et:

1. Heli ei levi läbi tõkke. Seetõttu peab kogu heli ülekande läbi tõkke olema vähemalt 10 dB madalam tõkke kohal asuva heli ülekande tasemest.
2. Tõke ei põhjusta peegeldusi. Tegelikuses võib väikeste vahemaade ja paljude peegeldavate pindade korral tekkida "kanjoni efekt" korduvate peegeldustega.

3. Puuduvad mõjutavad ilmastikutingimused, näiteks tuul või temperatuuride inversioon, kuna need mõjutavad müraallika levimisrada ja difraktsiooni tõkke ümber.
4. Müraallikas käitub punktallikana ja on kaugeleulatuv, kus loomupärane juhitavus on minimaalne.
5. Mudelis kasutatud seinu peetakse ideaalselt peegelduvateks 1 meetri kaugusele.
6. Tingimused on vabas väljas.
7. Tõke on müraallika ja vastuvõtja teega risti.

Helilained levivad sfäärina ja järgivad helitaseme vähendamisel "pöördruuduseadust". Üldine reegel on see, et helitase väheneb 6 dB iga vahemaa kahekordistamise kohta.

Heli sumbumine tõkke tõttu antud programmis põhineb standardil ISO 9613-1:1996 (kuni 10000 m). [16]

ISO 9613-1:1996 järgi saab puhtatooniliste helide jaoks atmosfääri mõjul sumbumise neeldumist kirjeldada nelja muutuja funktsiooni sumbumistegurina: helisagedus, temperatuur, õhuniiskus ja õhurõhk. Väliskesskonna heli sumbumisel arvestatakse:

- 1) Helisagedus 50Hz kuni 10 kHz;
- 2) Temperatuur vahemikus - 20 °C kuni +50°C;
- 3) Suhteline õhuniiskus vahemikus 10% kuni 100% ja
- 4) Rõhk 101,325 kPa (atmosfäärirõhk),

Kuna helilained liiguvad õhu kaudu, muundatakse väike osa energiast soojuseks sõltuvalt õhutemperatuurist ja õhuniiskusest, kuid see kogus on märkimisväärne vaid kõrgete sageduste ja pikkade vahemaade korral.

Helilaineid vähendab barjäär sõltuvalt helilaine sagedusest. Madalamatel sagedustel on see vähem mõjutatud.

Mida suurem on vahemaa, seda tõhusam on tõke. Üldine reegel on see, et üksik tõke silmade kõrgusel allika ja vastuvõtja vahel vähendab mürataset umbes 5 dB. ISO 9613-2: 1996 arvestab ainult kuni kahte ekraani. Kui on rohkem kui kaks ekraani tuleks valida need kaks, mis on kõige tõhusamad, ja ignoreerida kõiki teisi. Juhendis öeldakse ka, et tõkke sumbumine on piiratud 20 dB-ga ühe tõkke puhul ja 25 dB-ga kahe tõkke korral. Seda saab kalkulaatori abil valikuliselt rakendada, eemaldades valiku "Rakenda limiit".

#### 4.2.2. NST kasutamine Juhkentali kvartali müratasemete uurimisel

Magistritöös kasutati „*multi spectrum*“ varianti, seda selleks, et saada võimalikult täpseid arvutustulemusi. Kuna magistritöö lähteandmeks oli Juhkentali kvartali tehnosüsteemide eelprojekt, siis polnud müraallikatele antud oktaavriba väärtusi kõigil helisagedustel. Oktaavriba väärtused kõikidel sagedustel saadi integreerimise teel. Selleks leiti Juhkentali kvartali projektis kasutatavatele tehnoseadmetele sarnased seadmed ning nende oktaavribade põhjal integreeriti vajalikud andmed.

Käesolevas uurimistöös kasutab autor antud programmi määramaks, kas programmi tulemused on piisavalt usaldusväärsed või mitte. Selle põhjal saab järeldada, kas VJ projekteerijad saaksid seda programmi kasutada lihtsate ja kiirete esmaste müraarvutuste tegemiseks ning selle kaudu ennetada müraprobleemide teket.

Selleks, et antud internetitarkvarasse vajalikud andmed sisestada kasutati tabelarvutusprogrammi MS Excel 2017. Antud internetitarkvara programmi sisestati müraallika kõrgus, vastuvõtja kõrgus, vahemaa vastuvõtja ja müraallika vahel, müraallika oktaavriba helitasemed kõikidel sagedustel, keskkonnaparameetrid nagu temperatuur ( $t$ , °C), suhteline niiskus (RH, %) ning pinnasefaktor (0/1). Kõikides antud magistritöös uuritavates olukordades on maapinna faktoriks 0, kuna hoonete vahelisel alal on tegemist kõva pinnaga. Uurimiseks kasutati standardset olukorda, kus õhutemperatuuriks on 10°C ja suhteline õhuniiskus 70%. Tõkkeid müraallikate ja vastuvõtjate vahel ei ole. Jälgivuse lihtsustamiseks neid parameetreid autor tabelites edaspidi ei kirjelda.

Tabel 4.2. Näide oktaavriba tuletamisest ja integreerimisest

Näidiseseade									
Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Lw(dB(A))
1020 rpm	62	73	80	84	91	87	78	71	93

A-hoone seade katusel									
Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Lw(dB(A))
1020 rpm	67	78	85	89	96	92	83	76	98

Tabelis 5.1 toodud väärtused on saadud näidiseseadme oktaavriba integreerimisel. Kusjuures näidiseseadme tehnilised parameetrid on samad võrreldes integreeritava(te) seadme(te) parameetritega.

Kõik järgmises alapeatükis toodud tulemused on toodud ka Lisas 3 graafilisel või tabelkujul.

### 4.2.3. Summaarsed helirõhutasemete tulemused A-hoone fassaadil B- ja C-hoone müraallikatest

Tabel 4.3 A-hoone summaarsed helirõhutasemed B- hoone müraallikatest

Korrus	Mõjupiirkond	Helirõhutaseme
Nr	nr	$L_{pA}$ (dB)
5	1	58
5	2	56
5	3	58
5	4	56
6	1	59
6	2	57
6	3	59
6	4	57
7	1	59
7	2	57
7	3	59
7	4	57
8	1	59
8	2	57
8	3	59
8	4	57
9	1	60
9	2	57
9	3	60
9	4	57
10	1	60
10	2	58
10	3	60
10	4	58
11	1	61
11	2	58
11	3	61
11	4	58
12	1	61
12	2	58
12	3	62
12	4	58
13	1	62
13	2	58
13	3	62
13	4	58
14	1	62
14	2	59

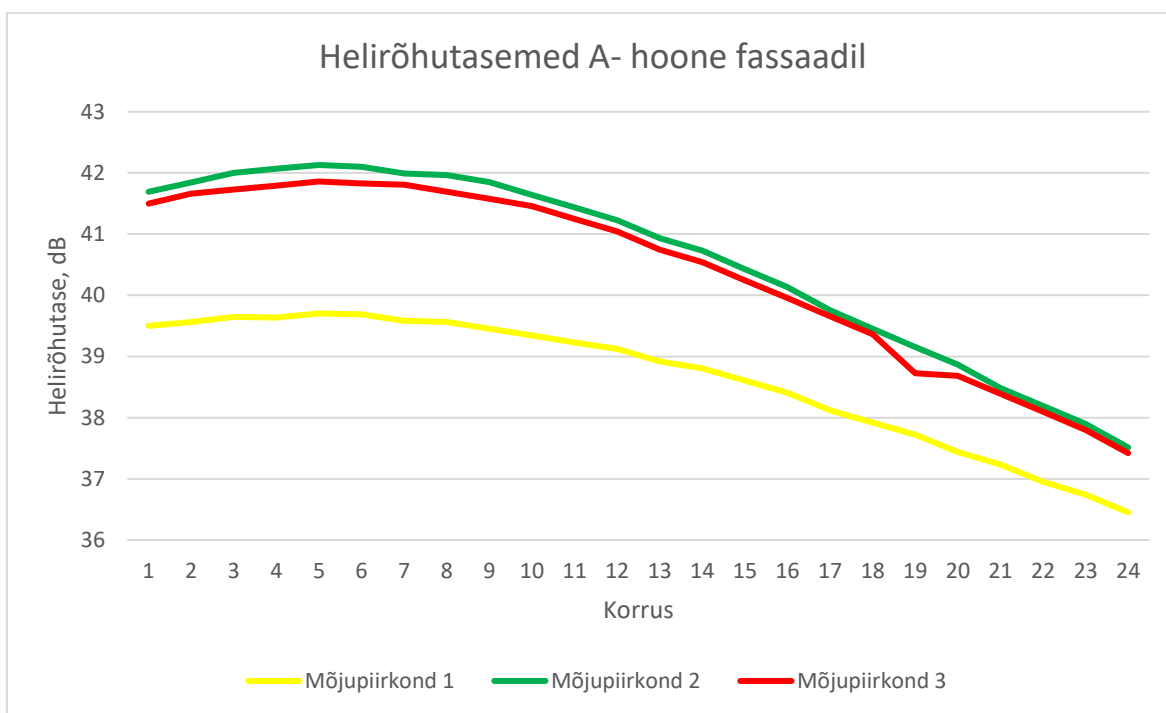
14	3	62
14	4	59
15	1	63
15	2	59
15	3	63
15	4	59
16	1	63
16	2	59
16	3	63
16	4	59
17	1	63
17	2	59
17	3	63
17	4	59
18	1	63
18	2	59
18	3	63
18	4	59
19	1	63
19	2	59
19	3	63
19	4	59
20	1	63
20	2	59
20	3	63
20	4	59
21	1	62
21	2	59
21	3	62
21	4	59
22	1	62
22	2	58
22	3	62
22	4	58
23	1	61
23	2	58
23	3	61
23	4	58
24	1	61
24	2	58



Korrus	Mõjupiirkond	Helirõhutase
Nr	nr	$L_{pA}$ (dB)
24	3	61
24	4	58
25	1	60
25	2	58
25	3	60
25	4	58
26	1	60
26	2	57

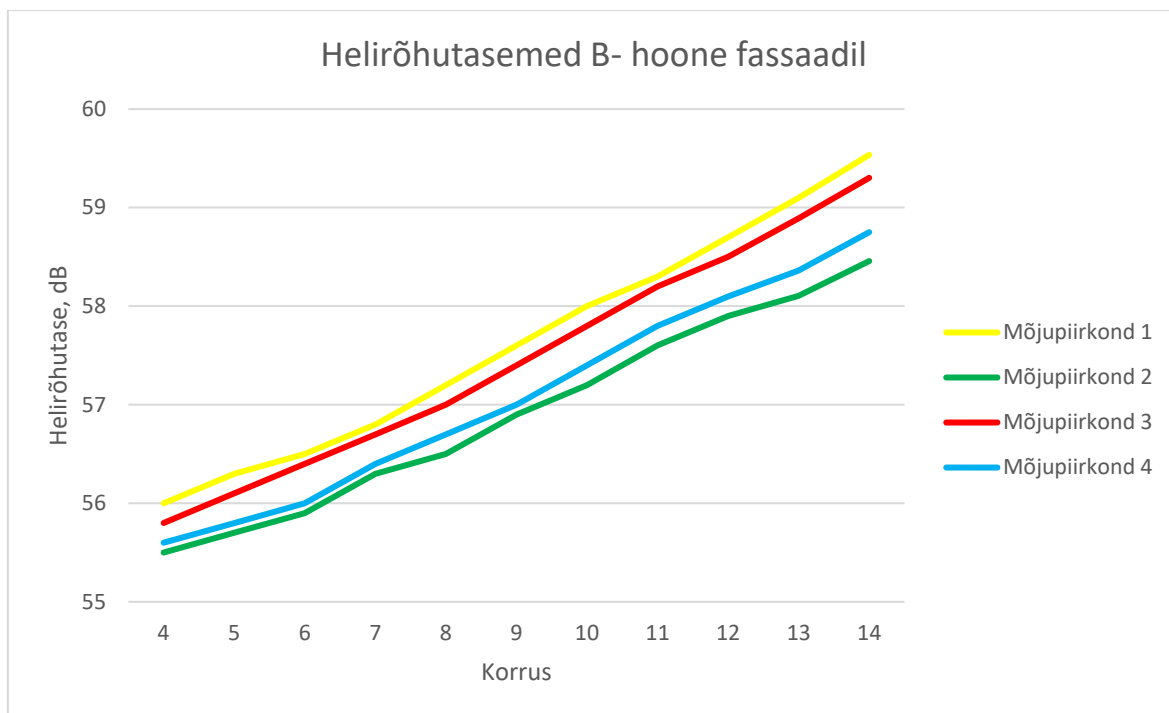
26	3	60
26	4	57
27	1	59
27	2	57
27	3	59
27	4	57
28	1	58
28	2	57
28	3	58
28	4	56

Järgneval graafikul on toodud A-hoone summaarsed helirõhutasemed C- hoone müraallikatest.

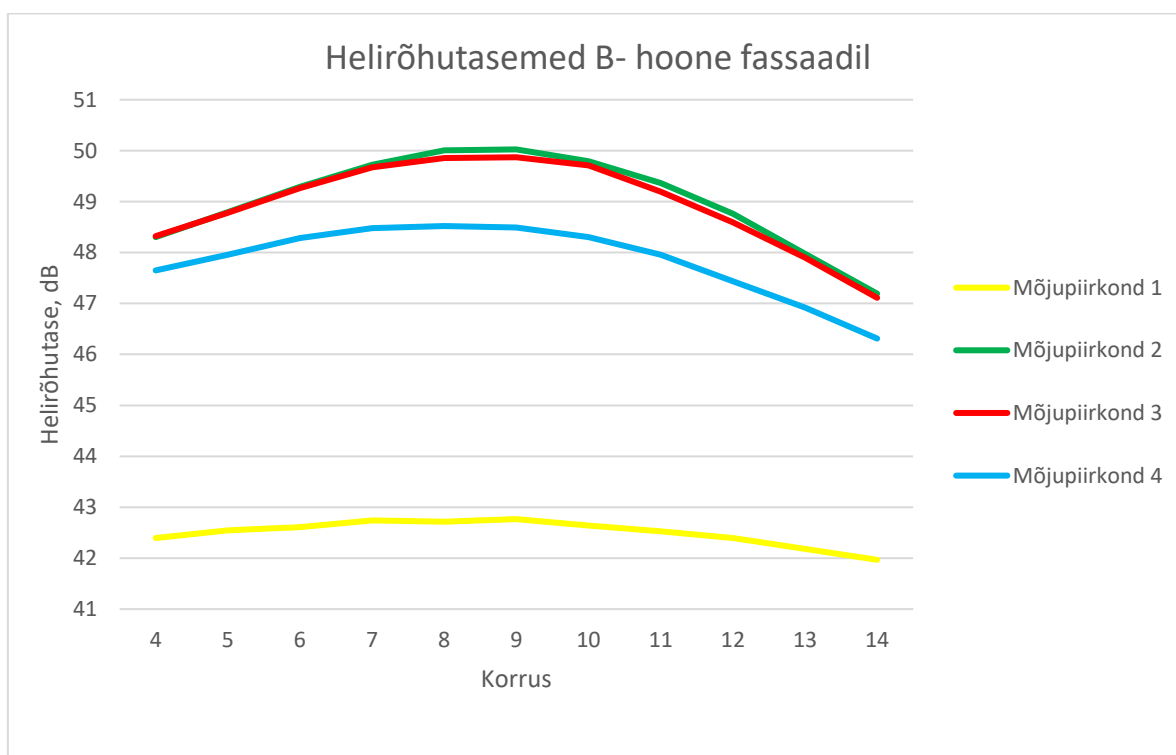


Joonis 4.6 A-hoone summaarsed helirõhutasemed valitud mõjupunktides

#### 4.2.4. Summaarsed helirõhutasemete tulemused B-hoone fassaadil A- ja C-hoone müraallikatest

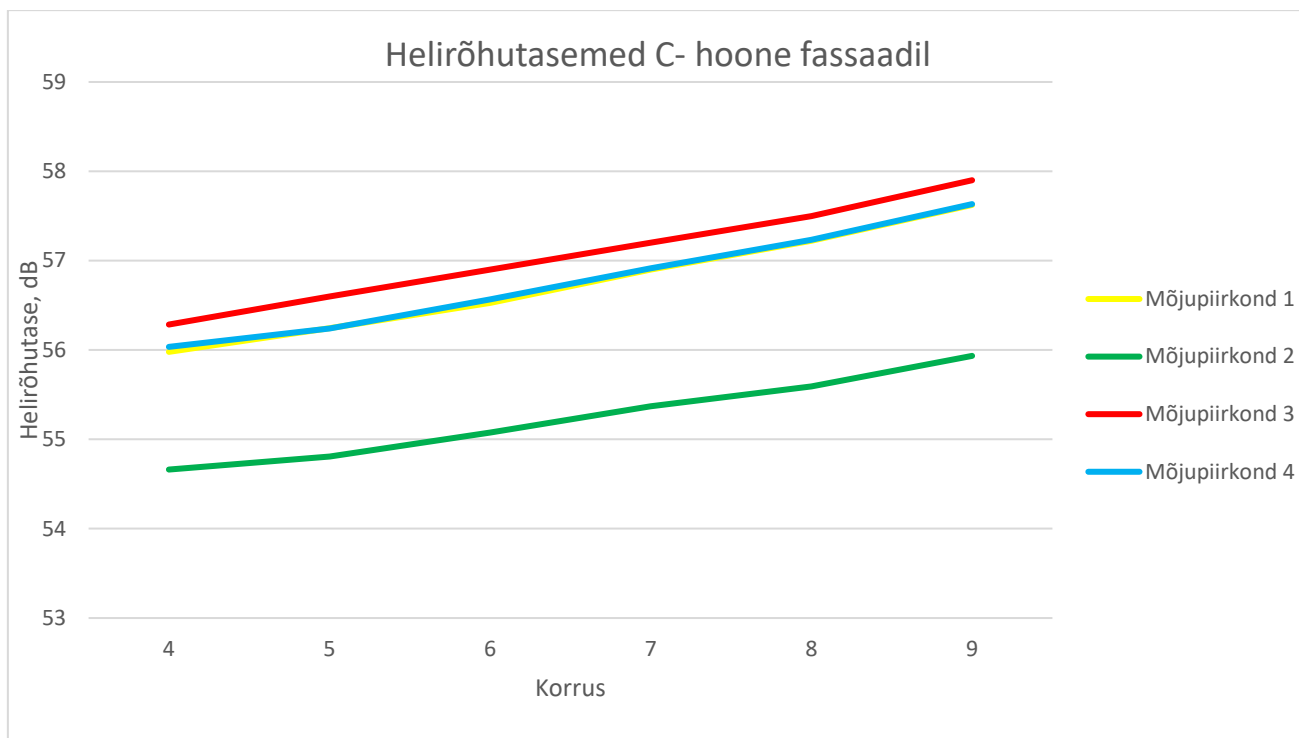


Joonis 4.7 B-hoone summaarsed helirõhutasemed valitud mõjupunktides A-hoone müraallikatest

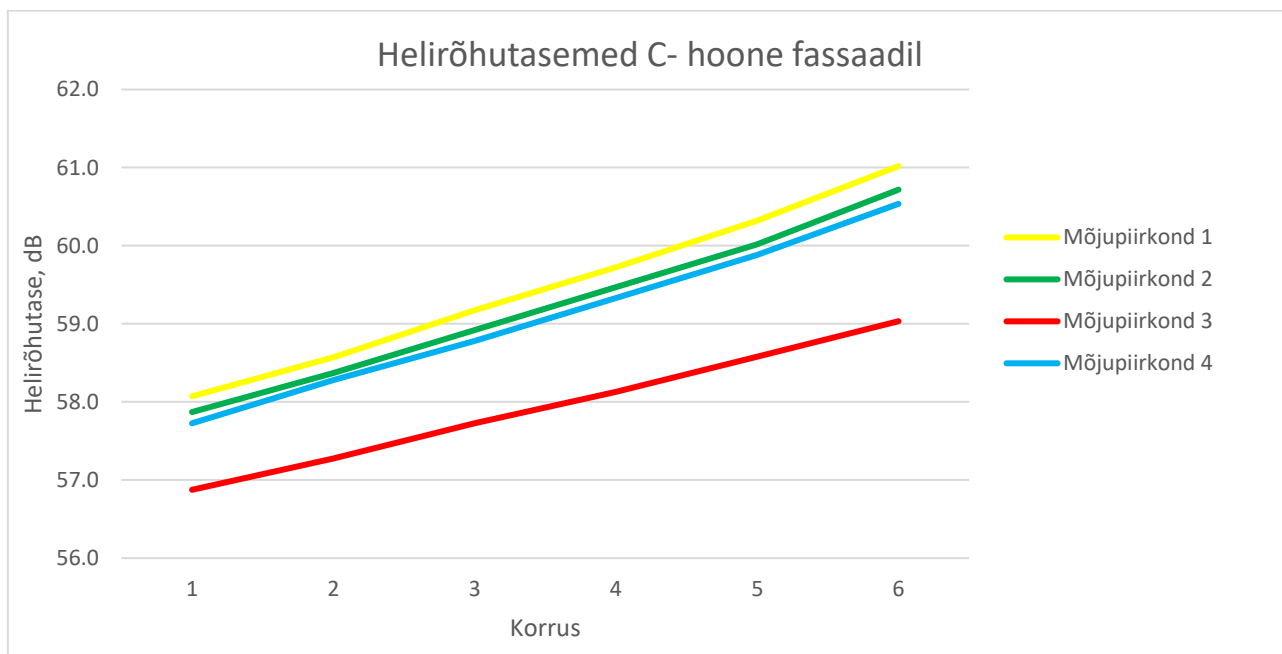


Joonis 4.8 B-hoone summaarsed helirõhutasemed valitud mõjupunktides C-hoone müraallikatest

#### 4.2.5. Summaarsed helirõhutasemete tulemused C-hoone fassaadil A- ja B-hoone müraallikatest



Joonis 4.9 C-hoone summaarsed helirõhutasemed valitud mõjupunktides A-hoone müraallikatest



Joonis 4.10 C-hoone summaarsed helirõhutasemed valitud mõjupunktides B-hoone müraallikatest

Sound Propagation Level Calculator

Interactive noise source to receiver diagram with barrier calculations

Sound Propagation Level Calculator (Version 3.3) - MAS Environmental 2019 - www.masenv.co.uk

WALL +
WALL +

← 28.4m →

1  
1  
SCALE

**Source**

63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Hz
67	78	85	89	96	92	83	76	dB

Total Sound Power Level 98.4 dB

**Receiver**

63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Hz
20.6	31.6	38.5	42.4	49.3	44.8	33.8	19.7	dB

Resulting Sound Pressure Level 51.6 dB

**Barriers**

- No barriers
- Single barrier
- Double barrier
- Building

**Display**

- Off
- Grid (m)
- Distance (m)
- Wavelength (λ)

**Environmental Parameters**

°C Temperature

% Humidity

Ground Factor (G)

Hard / Soft

**Options**

- Reset all values
- Link to this calculation
- Copy results to clipboard
- Save results as an image

Joonis 4.11 Väljavõtte andmete sisestamisest [www.noisetools.net](http://www.noisetools.net) lehelt

#### 4.2.6. Tulemused

Tulemusi võrreldes on näha, et Halme-Seppäneni valemiga ning NSTga saadud tulemused on samas suurusjärgus, see tähendab, et need erinevad keskmiselt A-hoone puhul  $3 \times 10^{-3}$  dB, B-hoone puhul on erinevus  $5 \times 10^{-4}$  dB ning C-hoone puhul  $7 \times 10^{-2}$  dB.

Kuna saadud tulemuste erinevus kahe arvutusmeetodi puhul on võrdlemisi väike, siis võib öelda, et NST kasutamine on sama usaldusväärne kui Halme-Seppäneni arvutusvalemi järgi müratasemete arvutamine. Seetõttu ei ole selles peatükis kõiki saadud tulemusi eraldi analüüsitud ning analüüsiks võib vaadelda eelmise peatüki tulemuste analüüsi.

## **4.3. JUHKENTALI KVARTALI MÜRASIMULATSIOONID JA MÜRAKAARDISTAMINE SOUNDPLAN AKUSTIKA TARKVARA ABIL**

### **4.3.1. SoundPLAN akustika tarkvara tutvustus**

Rahvusvaheline akustika tarkvara SoundPLAN on üks esimestest müra modelleerivatest tarkvaradest maailmas. SoundPLANi tarkvara on maailmas üha enam kasutust leidev ja see on välja töötatud põhiliselt müra ennustamiseks keskkonnas. Erinevate müraallikate tekitatav müra levib ja hajub vastavalt füüsikaseadustele etteantud maastikul.

Paljud valitsused ja inseneriühendused üle maailma leidsid vajadust akustika põhimõteteid algoritmida, et insenerid saaksid erinevatele stsenaariumitele mõistlikult lähedaseid vasteid tegelikele olukordadele. SoundPLANi kasutavad erinevad omavalitsused, keskkonnaametid ning era- ja valitsusasutused. [15]

SoundPLAN müraarvutustarkvara põhineb ISO 9613-2:1996 standardil.

### **4.3.2. Arvutuskiirus**

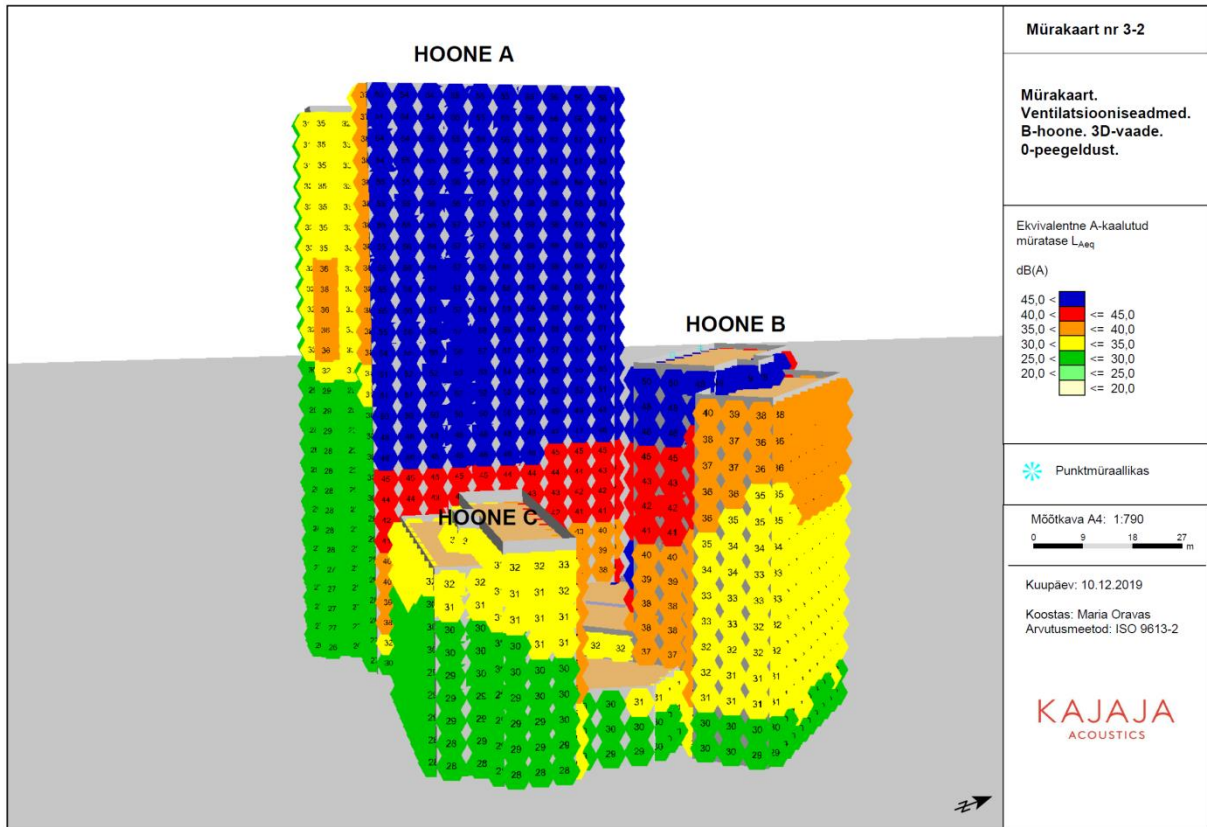
SoundPLAN teeb suuremad arvutused suure kiirusega ja kõrge täpsusega- müra arvutatakse digitaalse maamudeliga (Digital Ground Model). Tarkvara saab teha arvutused siseruumist väliskeskkonda ning hoone väliskeskkonnast ümbritsevasse keskkonda. [15]

### **4.3.3. Müratulemused SoundPLAN akustikatarvara abil**

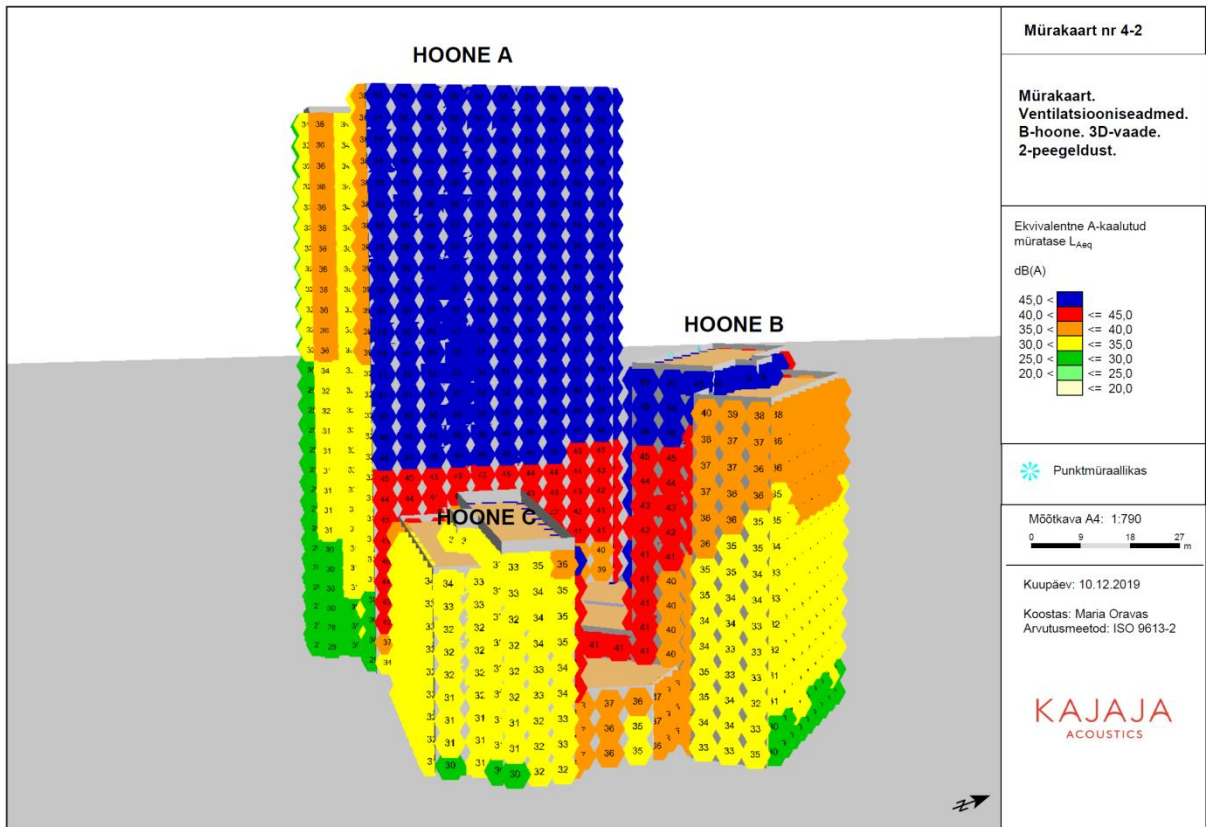
Müraarvutused SoundPLAN 7.4ga teostatakse kahes situatsioonis: olukorras, kus arvestatakse 0 peegeldusega ning olukorras, mis arvestab 2 peegeldust (ISO9613-2:1996). SoundPLANiga koostatakse ka mürakaart, kus näidatakse Juhkentali kvartali mürasimulatsiooni tulemusi. Mürasimulatsioonis on arvestatud Juhkentali kvartali müraallikatest tulenevate müratasemetega. Mürakaartide koostamisel oli autorile abiks OÜ Kajaja Acoustics konsultant Maria Oravas. Mõlema olukorra (0 vs 2 peegeldust) kriitilisem või olukorda paremini selgitav mürakaart esitatakse järgnevates alapunktides ning ülejäänud olukorra tulemused on toodud Lisas 4.

#### 4.3.4. Müratulemused A- hoone fassaadil B- hoone tehnoseadmetest

Müratulemused A- hoone fassaadil B-hoone tehnoseadmetest tuuakse järgmistel joonistel graafiliselt.



Joonis 4.12 Helirõhutasemed B-hoone tehnoseadmetest A- hoone fassaadil 0 peegeldusega



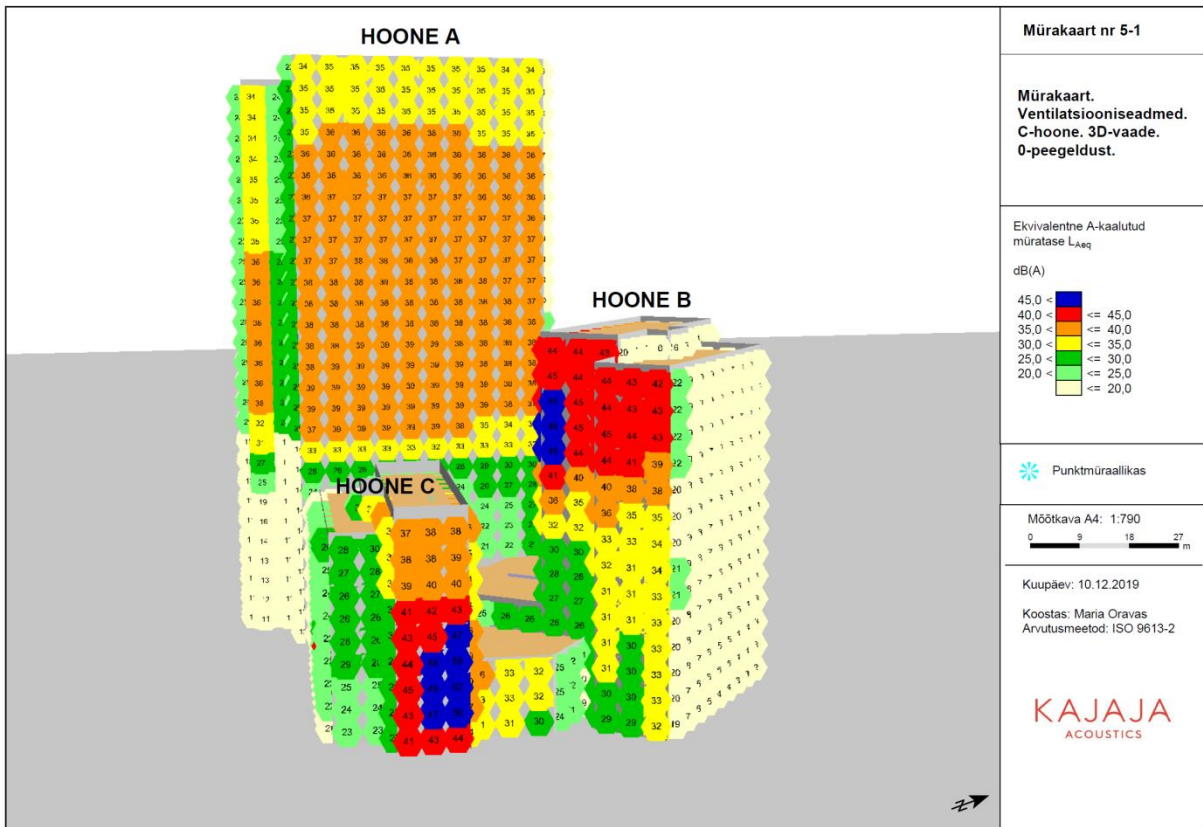
Joonis 4.13 Helirõhutasemed B- hoone tehnoseadmetest A-hoone fassaadil 2 peegeldusega

Tulemustest selgub, et kõige rohkem B- hoone jahutusseadmetest on mõjutatud A- hoone B- hoone poolne fassaad alates 11. korrusest. Mida kõrgemale 11. korrusest minna, seda kõrgemaks lähevad ka helirõhutasemed. Seda seetõttu, ülemistel korrustel ei ole müra levik tõkestatud/ varjestatud. Üldlevinud rusikareegel ütleb, et kui vastuvõtja punktis on müraallikat näha, siis on sellel vastuvõtupunktile kindlasti mõju. ISO 9613-2 järgi võetakse arvutustes arvesse kaks kõige kriitilisemat peegeldust. Antud olukorras omab A- hoonele mõju nii Olümpia hotelli peegeldus kui B- hoone katuse peegeldus.

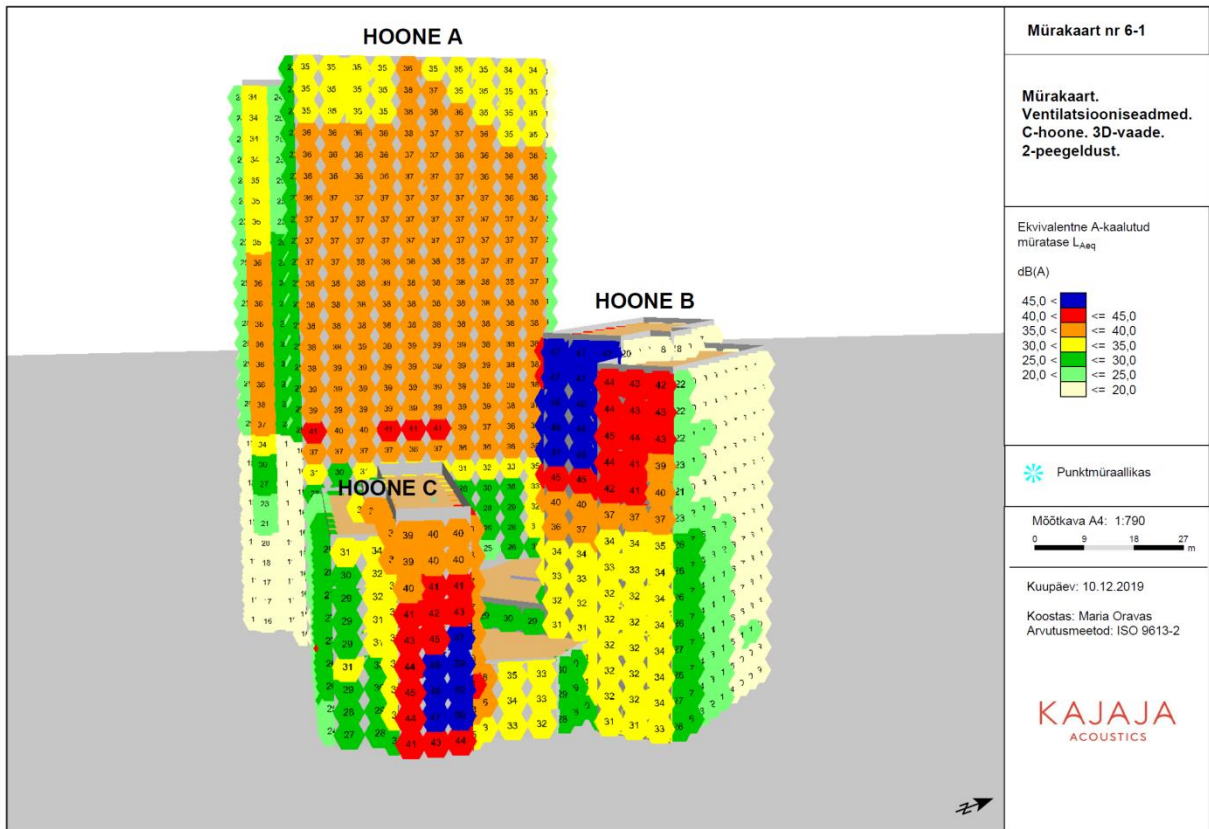
Nii 0 kui 2 peegeldusega olukorras on kõige kriitilisem 17-20. korrusel 1. mõjupiirkond, kus müratase fassaadil on 60 dB. Alumistel korrustel (4., 5., 6.) jääb müratase vahemikku 30-44 dB.



### 4.3.5. Müratulemused A- hoone fassaadil C- hoone tehnoseadmetest



Joonis 4.14 Helirõhtasemed C- hoone tehnoseadmetest A-hoone fassaadil 0 peegeldusega

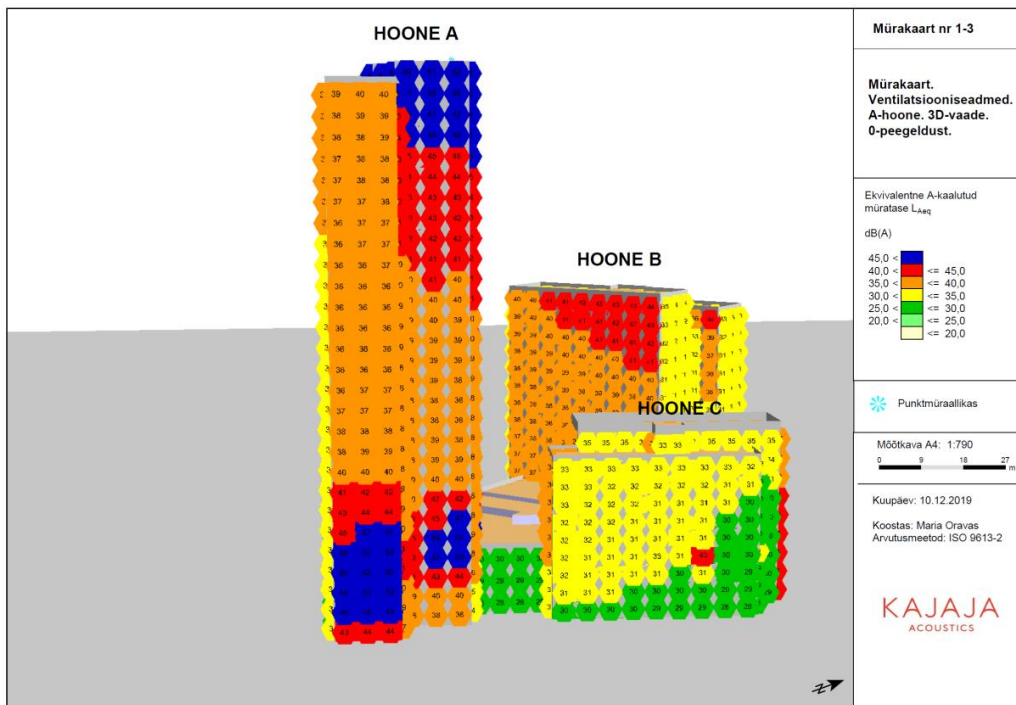


Joonis 4.15 Helirõhutasemed C- hoone tehnoseadmetest A-hoone fassaadil 2 peegeldusega

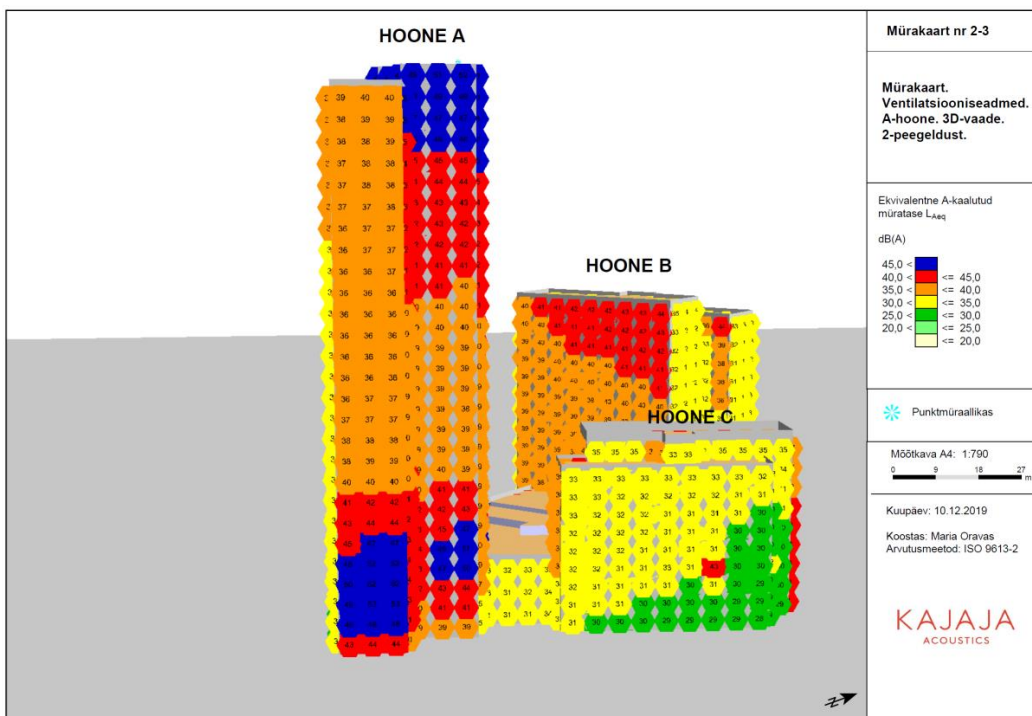
0 peegeldusega olukorras on kõige kõrgemad müratasemed 11- 25 korrustel kõikides mõjupiirkondades ning müratase neil korrustel jääb vahemikku 35-39 dB. 2 peegeldusega on kõige rohkem mõjutatud korrused 10-25 samuti kõikides mõjupiirkondades.

#### 4.3.6. Müratulemused B- hoone fassaadil A- hoone tehnoseadmetest

Müratulemused B- hoone fassaadil A-hoone tehnoseadmetest tuuakse järgmistel joonistel graafiliselt.



Joonis 4.16 Helirõhutasemed A- hoone tehnoseadmetest B-hoone fassaadil 0 peegeldusega

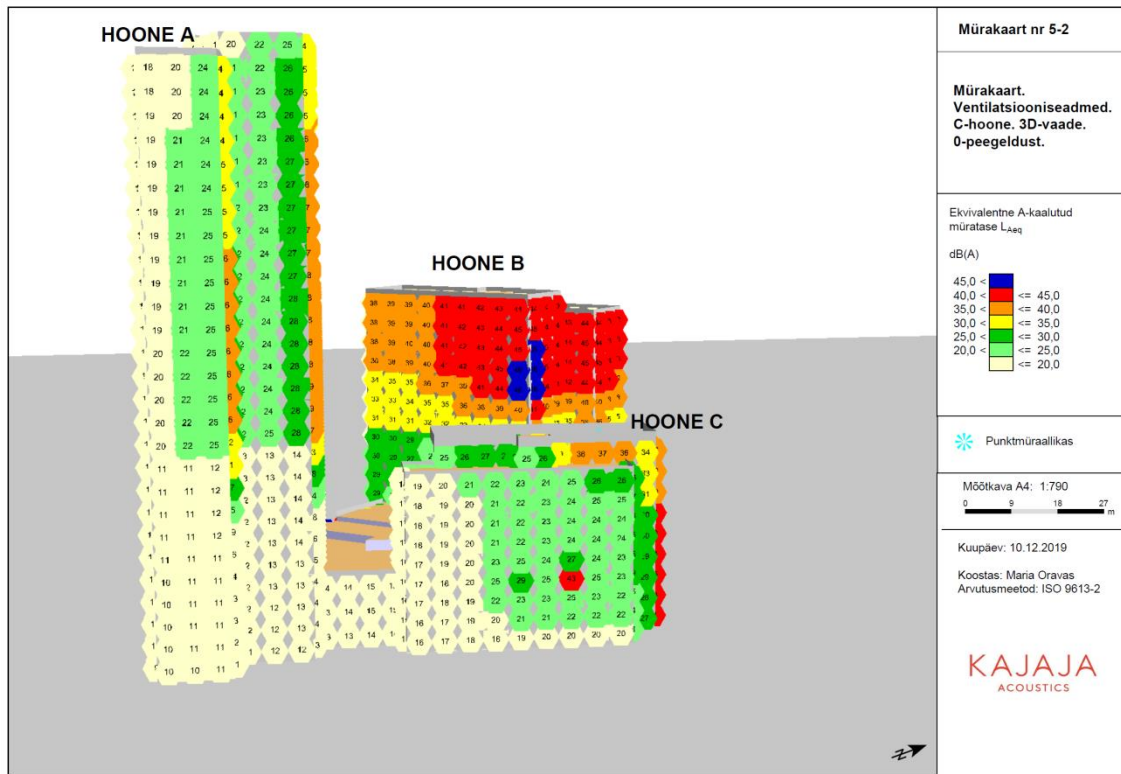


Joonis 4.17 Helirõhutasemed A- hoone tehnoseadmetest B-hoone fassaadil 2 peegeldusega

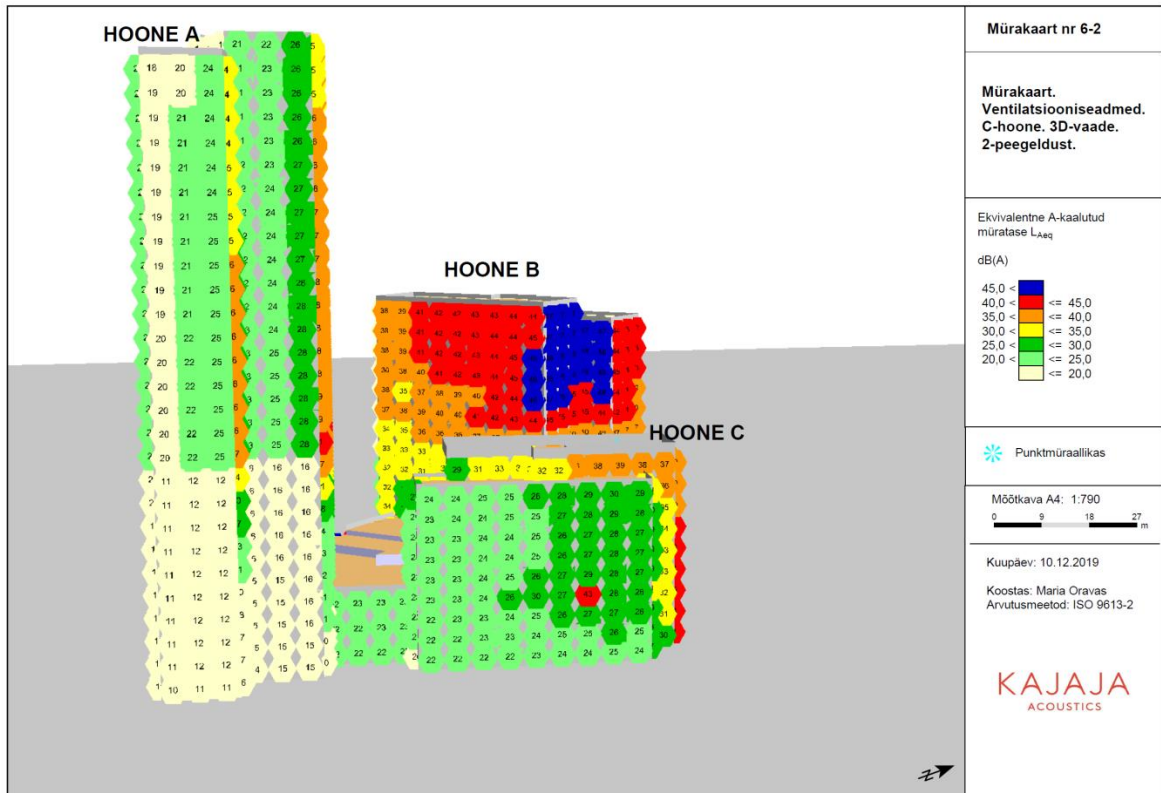
Kuna A-hoone kõige kõrgemate müratasemetega seadmed (jahutusseadmed) asuvad katusel, siis tekitab A -hoone katuse serv B- hoone fassaadidele müratõkke. Nurk B- hoone fassaadi ja A-hoone jahutusseadmete vahel on nii väike, et B- hoonele ei jõua väga suur osa A- hoone jahutusseadmete mürast. Kõige kõrgemad müratasemed on 0 peegeldusega olukorras korrustel 10-14 1. ja 2. mõjupiirkonnas, kus müratasemed jäävad 38- 42 dB piirsesse. 2 peegeldusega

olukorras on samuti kriitiliseimad mõjupiirkonnad 1 ja 2, korrustel 9-14, kus müratasemed on vahemikus 39- 43 dB.

#### 4.3.7. Müratulemused B- hoone fassaadil C- hoone tehnoseadmetest



Joonis 4.18 Helirõhutasemed C- hoone tehnoseadmetest B-hoone fassaadil 0 peegeldusega

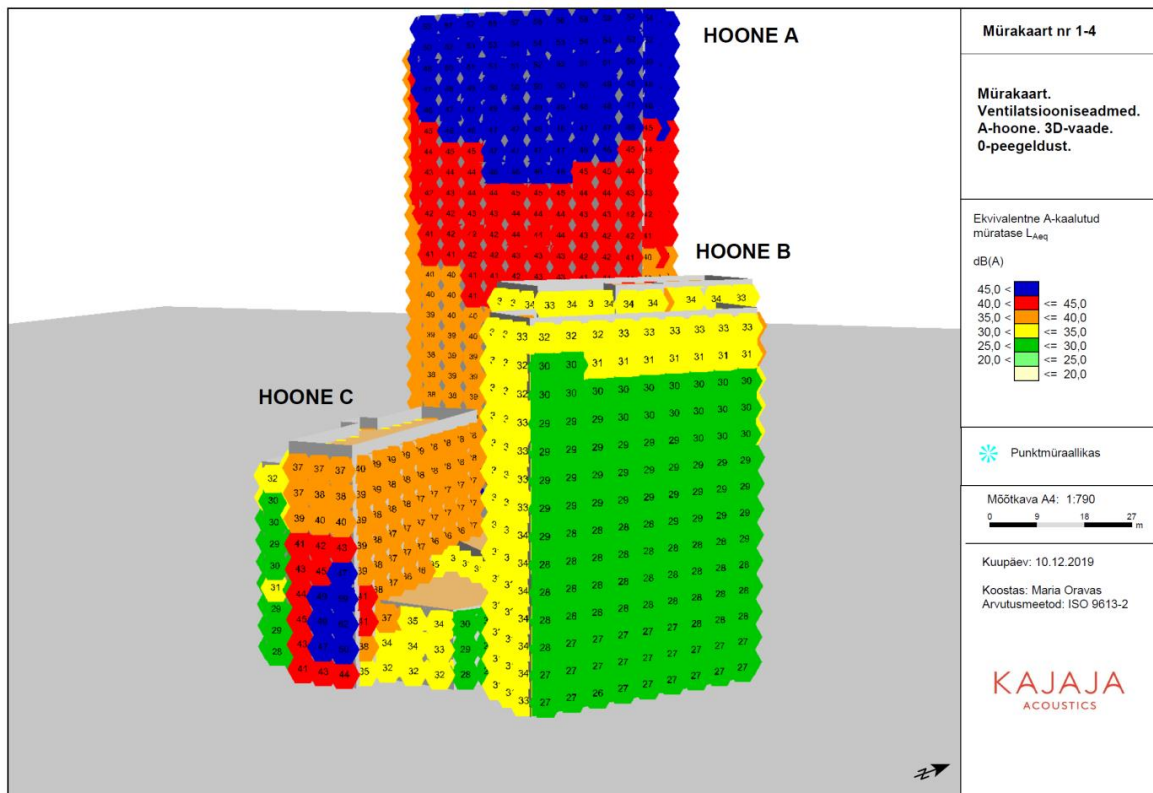


Joonis 4.19 Helirõhutasemed C- hoone tehnoseadmetest B-hoone fassaadil 2 peegeldusega

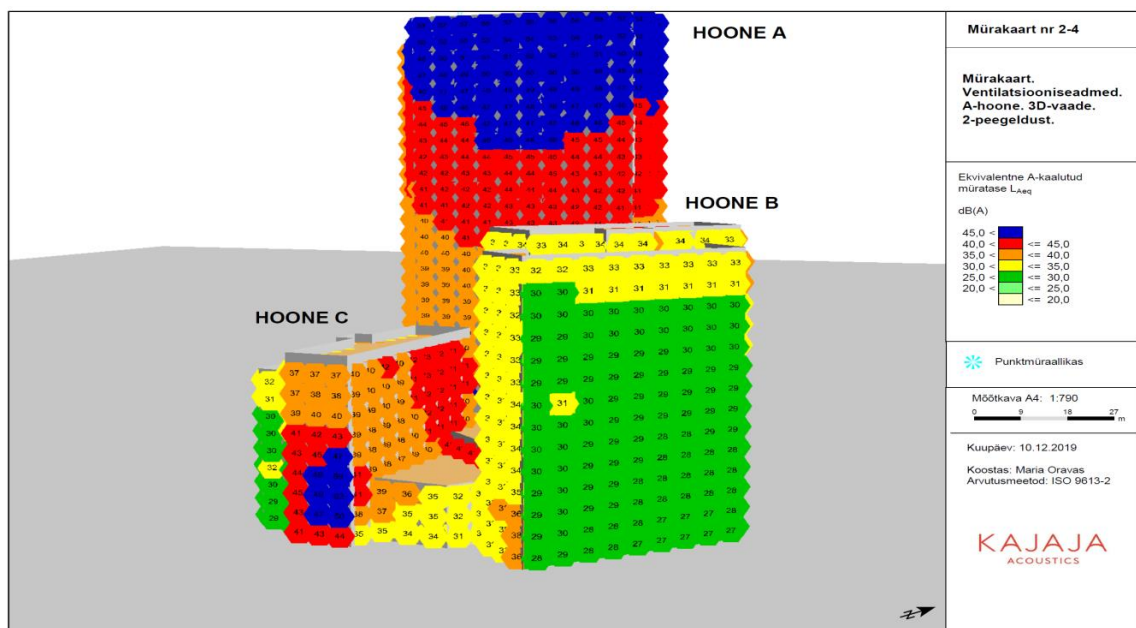
C-hoone tehnoseadmed annavad B- hoone fassaadile suuremad müratasemed kui A- hoone tehnoseadmed, kuna C- hoone ventilatsiooni- ja jahutusseadmed on B- hoonele lähemal. Samuti on B- hoonest C- hoone müraallikaid silmaga näha.



#### 4.3.8. Müratulemused C- hoone fassaadil A- hoone tehnoseadmetest



Joonis 4.20 Helirõhutasemed A- hoone tehnoseadmetest C-hoone fassaadil 0 peegeldusega

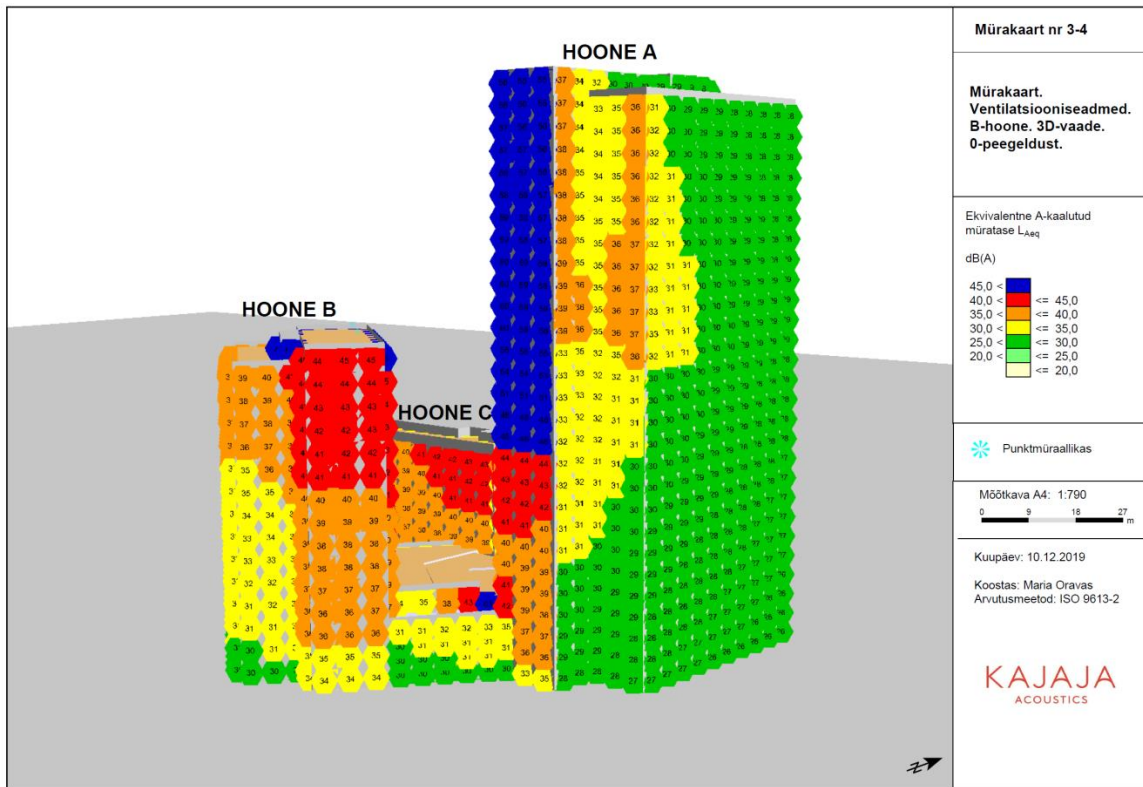


Joonis 4.21 Helirõhutasemed A- hoone tehnoseadmetest C-hoone fassaadil 2 peegeldusega

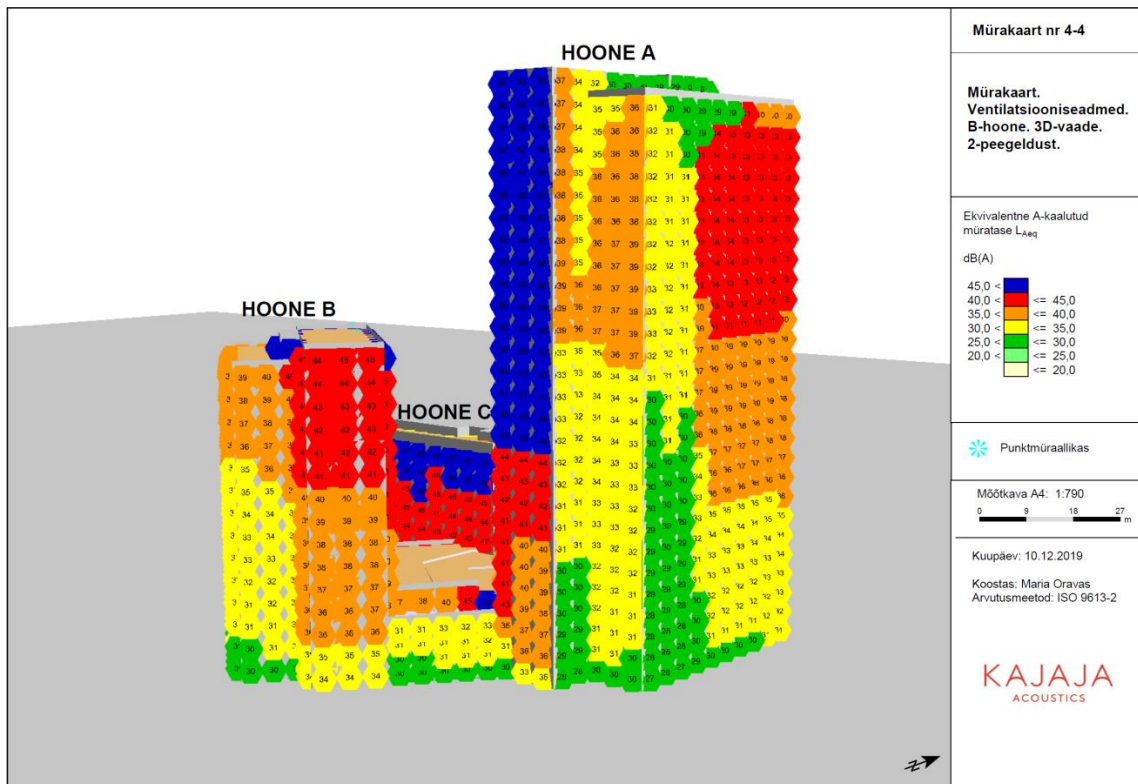
Tulemustest selgub, et kõige rohkem on mõlema peegeldusega olukorras mõjutatud C- hoone ehituskompleksi välimine fassaad. Seda sellepärast, et välimisele fassaadile on A -hoone katuseadmete nurk C- hoonele suurem kui sisemisele fassaadile ning suurem on ka müra mõju.

2 peegeldusega olukorras on kõige kriitilisemaks 1. ja 2. mõjupiirkond korrustel 4- 9. Nendes punktides on müratasemed 40- 42 dB.

#### 4.3.9. Müratulemused C- hoone fassaadil B- hoone tehnoseadmetest



Joonis 4.22 Helirõhutasemed B- hoone tehnoseadmetest C-hoone fassaadil 0 peegeldusega



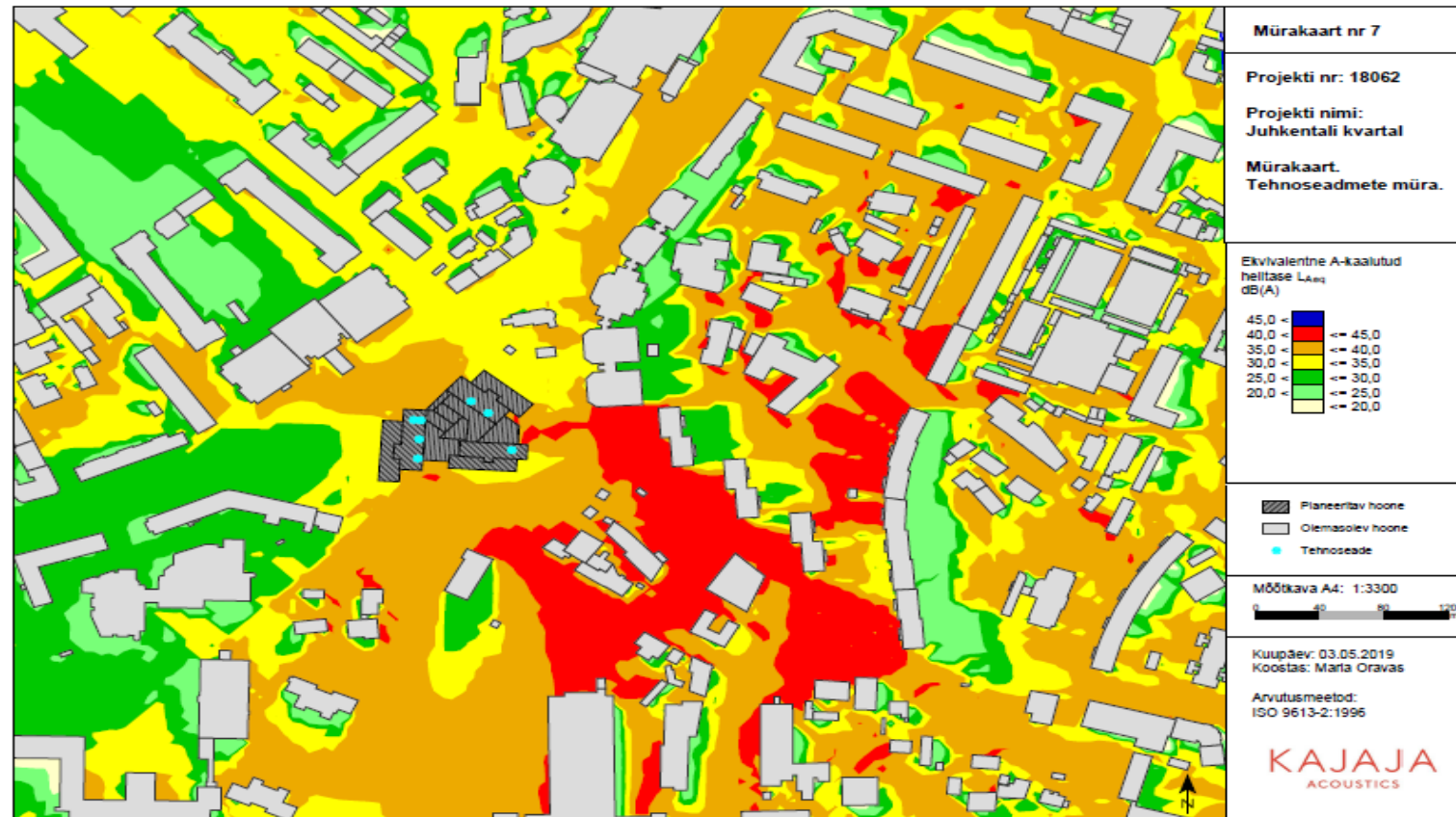
Joonis 4.23 Helirõhutasemed B- hoone tehnoseadmetest C-hoone fassaadil 2 peegeldusega

Uuritavates mõjupiirkondades on 0 peegeldusega olukorras kõige suuremad müratasemed 6-9. korrusel 1. ja 2. mõjupiirkonnas. Need mõjupiirkonnad asuvad võrreldes 3. ja 4. mõjupiirkonnaga B- hoonele lähemal ning ilmselt mängivad seal rolli ventilatsiooniseadmete õhuvõtu- ja väljaviske restide asukohad, mida on C- hoonest silmaga näha. Nendes mõjupiirkondades jääb müratase 40-43 dB vahemikku.

2 peegeldusega olukorras on kõige kriitilisemaks samuti 1. ja 2. mõjupiirkond korrustel 5-9. Nendes punktides on müratasemed 43- 48 dB.



#### 4.3.10. Juhkentali kvartali mürakaart



Joonis 6.14 Mürakaart Juhkentali kvartali territooriumist

Juhkentali kvartali mürakaardilt on näha, et eelprojekti järgsete tehnoseadmete paigaldamisel tekitatakse naaberhoonete territooriumile ja fassaadidele märkimisväärsed müratasemed. Siiski ei tohiks tekkida üheski piirkonnas Juhkentali kvartali tehnoseadmete töötamise tõttu 45 dB ületamist.

## 5. ANALÜÜS

Magistritöös tehtud arvutuste põhjal selgub, et Halme- Seppäneri ning NST meetodil saadud tulemused erinevad teineteisest keskmiselt  $2 \cdot 10^{-2}$  võrra. Kuna Halme- Seppäneri arvutusvalem ei võta arvesse õhu neeldumist, siis madalamad ja täpsemad tulemused on saadud NST-st. Kuna antud meetodid erinevad teineteisest väga vähe ning Halme- Seppäneri arvutusmeetod on rohkem tuntud, siis edaspidi analüüsitakse Halme- Seppäneri ning SoundPLAN arvutusmeetodiga saadud tulemusi.

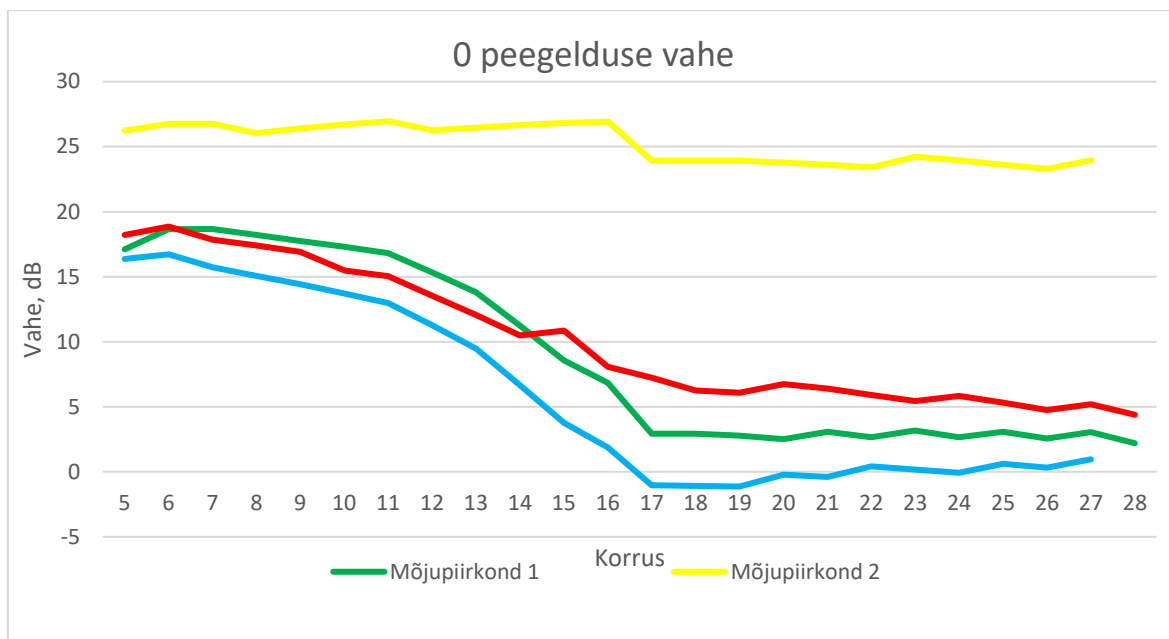
Halme- Seppäneri ning NSTga saadud tulemustest selgus, et olulist lisainfot ei anna, kui teostada arvutusi fassaadi horisontaalses pinnas erinevates osades, kuna määravaks saab müraallikale lähim punkt. Vastavalt tehtud arvutustele on müratasemete erinevus 1-2 dB samal fassaadil samal korrusel.

Kõige suuremat mõju naaberhoonete fassaadidele Halme- Seppäneri valemi järgi avaldab B- hoone, kuna selle müraallikate asetus ja kõrgus on heli levimise jaoks soodsates asukohtades. B- hoone tekitab A- hoone 18. korrusel 3. mõjupunktis helirõhutaseme väärtuseks 63 dB ning C- hoone 9. korrusel 1. mõjupunktis helirõhutaseme väärtuseks 61 dB. Kuna Halme- Seppäneri valemis ei arvestata takistuste, peegeldumiste, õhu neeldumise ning atmosfääri sumbuusteguritega, siis tegelikkuses on helirõhutasemed eeldatavalt madalamad.

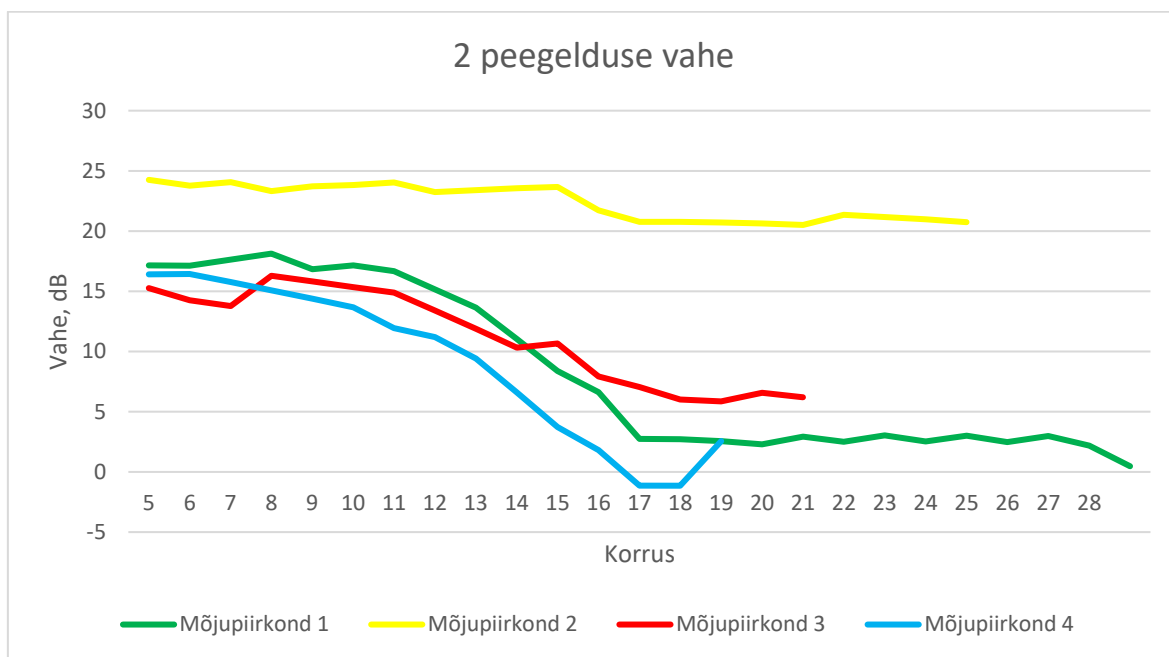
SoundPLANiga saadud tulemuste järgi on samuti B- hoone tehnoeadmetel naaberhoonete fassaadidele suurim mõju. Tulemuste järgi tekib näiteks A- hoone 10- 28 korrustel, 1., 3., ja 4., mõjupunktis arvutuslikeks helirõhutasemeteks 43-60 dB. Kõige kõrgemad helirõhutasemed on 2 peegeldusega olukorras A- hoone 17- 20. korrusel, kus müratase on maksimum 60 dB. Järelikult on selles olukorras SoundPLANiga saadud tulemus 3 dB madalam Halme-Seppäneri meetodiga saadud tulemusest.

Seega on nii Halme- Seppäneri kui SoundPLANiga kõige kõrgemad müratasemed B- hoone tehnoeadmetest A- hoone fassaadil.

Järgnevalt tuuakse graafiliselt välja Halme- Seppäneri ning SoundPLAN müraarvutustarkvara kasutamisel saadud erinevused A- hoone fassaadi müratulemustest B- hoone tehnoeadmetest.



Joonis 5.1 Halme- Seppäneni ning SoundPLAN arvutustulemuste vahe 0 peegelduse korral



Joonis 5.2 Halme- Seppäneni ning SoundPLAN arvutustulemuste vahe 2 peegelduse korral

Tulemusi võrreldes järeldeb, et müratõkketa olukordades on alumistel korrustel Halme- Seppäneni ning SoundPLANi arvutustulemuste vahe 9-18 dB. Nii suur vahe on tingitud sellest, et alumistele korrustele tekitab katuse äär varjestuse, mida SoundPLAN arvutustarkvara arvestab, kuid Halme- Seppäneni valem ei ole võimeline arvesse võtma. Järelikult sobib Halme- Seppäneni valem juhul, kui tegemist on lihtsa geomeetriaga ning müraallikast on näha müra hindamise punkt.

Võrreldes spetsiaaltarkvaraga arvatud tulemustega on kõrgematel korrustel Halme- Seppäni valemiga järgsed arvutustulemused sarnased 1., 3., ja 4. mõjupiirkonnas (vahe 0-6 dB). Võrreldes teiste piirkondadega on teine mõjupiirkond B- hoone suhtes nurga taga ning Halme- Seppäni valemiga ei ole võimalik arvestada heli liikumist tõkete suhtes. Samuti on need mõjupiirkonnad lähemal kui teine mõjupiirkond.

Tulemustest tuleb välja, et kui arvutada Halme- Seppäni valemiga müratasemed vastuvõtja punkti, mille teel müraallikast ei ole tõkkeid (antud juhul alates 17. korrusest ülespoole), saab 2 peegeldusega tulemuse ehk SoundPLANiga saadud tulemuse Halme- Seppäni valemiga saadud tulemusest keskmiselt 3 dB maha arvestades. 3 dB arvestab sellisel juhul summutusmehhanisme.

Müraatõkkega olukorras pole Halme- Seppäni valemit mõttekas kasutada. Kui arvutada helirõhutasemeid müraallikast vastuvõtjani tõkke olemasolul, siis tuleb Halme- Seppäni arvutusmeetodiga saadud tulemusest maha lahutada 20 dB, et saada SoundPLANiga modelleeritud tulemusele sarnane väärtus. Selline arvutusmeetod oleks väga ebatäpne ning sellise täpsustasemega tehnoseadmete müraarvutusi teha ei tohiks.

Müraarvutused Juhkentali kvartalis näitavad, et kõigile ehituskompleksi osadele (A-, B-, ja C- hoonele) tuleks katusel paiknevatele jahutusseadmetele paigaldada kas müraatõke või rakendada muud efektiivset müraaitse meetodit. Magistritöös koostatud arvutused naaberhoonete fassaadidele on piisavad, et anda lähteülesanne VJ projekteerijale efektiivse müraaitsemeetodi projekteerimiseks.

## KOKKUVÕTE

Juhkentali kvartali hoonekompleksi baasil teostatud müraarvutustest ilmneb, et Halme-Seppäneni ning NST müraarvutusmeetodid erinevad teineteisest vähe- keskmiselt  $2 \cdot 10^{-2}$  dB, mille võib jätta arvestamata. Kuna Halme-Seppäneni meetod ei võta arvesse õhu neeldumist, siis on NST meetod täpsem. Selleks, et saada Halme-Seppäneni või NST meetodiga adekvaatne vaste spetsiaaltarkvaras teostatud arvutuse tulemusele, tuleks müratõkketa olukordades tulemusest maha lahutada 3 dB. Halme-Seppäneni valem sobib kasutamiseks juhul, kui tegemist on lihtsa geomeetriaga ning müraallikast on näha müra hindamise punkt.

3 dB seisaks vastavates olukordades atmosfääri sumbumise, müra neeldumise jm sumbumistegurite eest. Tuleb arvestada, et antud parandustegur on saadud Juhkentali kvartali hoonete analüüsimisel ning täpsemalt B- hoone tehnoseadmete mõjust A- hoonele. Antud olukord valiti lõplikuks analüüsiks kuna see on akustiliselt kõige kriitilisem Juhkentali kvartalis.

Keerukamate projektide projekteerimisel ning müratundlike hoonete jaoks on põhiprojekti käigus mõistlik tellida akustikaspetsialistidelt vastav mürakaart, sest Halme-Seppäneni valemiga õigete tulemuste saamiseks võib palju aega kuluda ning suuremate vahemaade puhul ei pruugi arvutused täpsed olla. Siiski on magistritöös välja toodud teguri 3 dB maha arvestamisel võimalik saada ligilähedane tulemus reaalsele olukorrale ning see on müra esmasel hindamisel piisav. Magistritöös tehtud müraarvutused on lähteülesandeks VJ insenerile mürakaitsevahendite dimensioneerimiseks.

Müra hindamiseks soovitud punkti tuleb teha müraarvutused konkreetsesse müra vastuvõtja punkti. Tänu sellele arvutusele on teada, milline heli jõuab meid huvitavasse punkti. Kui nõutud mürakriteeriumid on ületatud, on vaja täiendavalt müra vähendamismeetodeid. Kui ventilaatori õhuvõtu- või väljaviske avas leviv müra on liiga suur, saab kasutada täiendavalt mürasummuteid õhuvõtu- ja väljaviskeava ees. Kui domineerivaks on õhuvoolu põhjustatud müra, saab paigaldada tõkke müraallika ette ning katta müra tõkke müraallika poolt näiteks helineelava materjaliga.

Juhkentali kvartali müraarvutused näitasid, et eelprojekti järgsete seadmete kasutamisel tuleb ehituskompleksi kõigile hoonetele rajada katusel paiknevatele jahutusseadmetele müratõkked või rakendada muud müra vähendamise meetodit.

Õhus leviva mehaanilise müra kontrollimiseks saab rakendada vaheseinte ehitamist ja vaadata üle fassaadikujundus, müraallika asukoha planeerimise, müratõkked ja valida vaiksemaid seadmeid. Müra kontrollimiseks on mõistlik hoolikalt valida tehnoseadme asukoht nii, et see oleks võimalikult kaugel müratundlikest hoonetest/ ruumidest, valida madala helivõimsusega ventilaatorid.

## SUMMARY

Noise calculations for Juhkentali quarter indicate that noise calculation methods by Halme-Seppänen and NST differ slightly ( $2 * 10^{-2}$  dB), which can be ignored. Since the Halme-Seppänen method does not take into account air absorption, the NST method is more accurate. In order to obtain an adequate response to the actual situation with Halme-Seppänen or NST, 3 dB should be deducted from the result in non-noise situations. 3 dB would be responsible for the attenuation of the atmosphere, noise absorption and the attenuation factors of the reflections in the respective situations. It should be taken into account that this factor (3 dB) is derived from the analysis of the Juhkentali quarter buildings and more specifically from the impact of building B on building A. This situation was chosen for the final analysis because it is the most acoustically critical in the Juhkentali quarter.

In designing more complex projects and for sound-sensitive buildings, it makes sense to order a corresponding noise map from acoustics specialists in the main project, as the Halme-Seppänen formula can take a long time to get the correct results, and for larger distances the calculations may not be accurate. However, accounting for the factor 3 dB identified in master's thesis can produce a close result to the real situation and is sufficient for the initial assessment of noise. The noise calculations carried out in the master's thesis are the starting task for the ventilation and cooling engineer to dimensionize the noise protection equipment.

Noise calculations must be made to a specific noise receiver point to assess the noise at the desired point. Thanks to this calculation, we know which sound will reach an interest point. If the required noise criteria are exceeded, additional noise reduction methods are required. If the noise emitted by the fan opening is too high, additional noise volumes in front of the air intake and exhaust vent can be used. If the noise caused by air flow is dominant, the barrier can be mounted in front of the noise source and the noise barrier can be covered by noise source, for example, sound-absorbing material.

Noise calculations in the quarter indicated that all buildings in the construction complex must be equipped with noise barriers to the cooling equipment on the roof or with other noise abatement methods when using post-project equipment.

To control mechanical noise in the air, the building of partitions can be implemented and the facade design, noise source location planning, noise barriers can be reviewed and more quiet equipment can be selected.

For noise control, it is reasonable to carefully select the location of the equipment so that it is as far away as possible from noise sensitive buildings/rooms, select low-sound fans. Ideally, an octave band is provided for the sound emitted from the device to the channel as well as for the sound emitted from the body of the device.



## Kasutatud kirjandus

- [1] T. Jauhiainen, H. S. Vuorinen, M. Heinonen-Guzejev, Keskkonnamüra mõjud. Tallinn, ÖKOKRATT, 2010.
- [2] McQuay International, HVAC Acoustic Fundamentals. 2004
- [3] Soome ehitusinseneride liit, „Hoonete akustiline projekteerimine. Akustika alused.“ Tallinn, ET-INFOkeskuse AS, 2009.
- [4] Sotsiaalministri määrus nr 42 „Müra normtasemed elu- ja puhkealal, elamutes ning ühiskasutusega hoonetes ja mürataseme mõõtmise meetodid“. Riigi Teataja, 2002.
- [5] YORK A Johnson Controls Company, Fundamentals Of Acoustics. Pennsylvania, USA. Johnson Controls, 2006.
- [6] A. Halme ja O. Seppänen, Ilmastoinnin Ääniteknikka. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy, 2002.
- [7] ASHRAE, D. Guckelberger, Controlling Noise From Large Rooftop Units. ASHRAE Journal, 2000.
- [8] „Environmental Noise“, Brüel & Kjaer, 2001.
- [9] A. A. Medhat, A. Fahim, H. S. Seddeq, Noise Prediction for Outdoor Cooling Systems; Case Study. Journal of American Science, 2010.
- [10] T. Lahti, Keskkonnamüra hindamine ja müra leviku tõkestamine. Tallinn, ÖKOKRATT, 2010.
- [11] A. Bhatia, HVAC Systems Noise Control. Continuing Education and Development, Inc. Stony Point, NY.
- [12] Arhitekt Martin Aunin, Juhkentali kvartal ehitusprojekti arhitektuurse osa seletuskiri. Tallinn, 2019.
- [13] Keskkonnaministri määrus nr 71 „Välisõhus leviva müra normtasemed ja mürataseme mõõtmise, määramise ja hindamise meetodid“. Riigi Teataja, 2017.
- [14] International Organization of Standardization, Acoustics- Attenuation of sound during propagation outdoors- Part 2: General Method of calculation.
- [15] <https://www.soundplan.eu/english/soundplan-acoustics/>
- [16] International Organization of Standardization, Acoustics- Attenuation of sound during propagation outdoors- Part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere.

**LISAD**

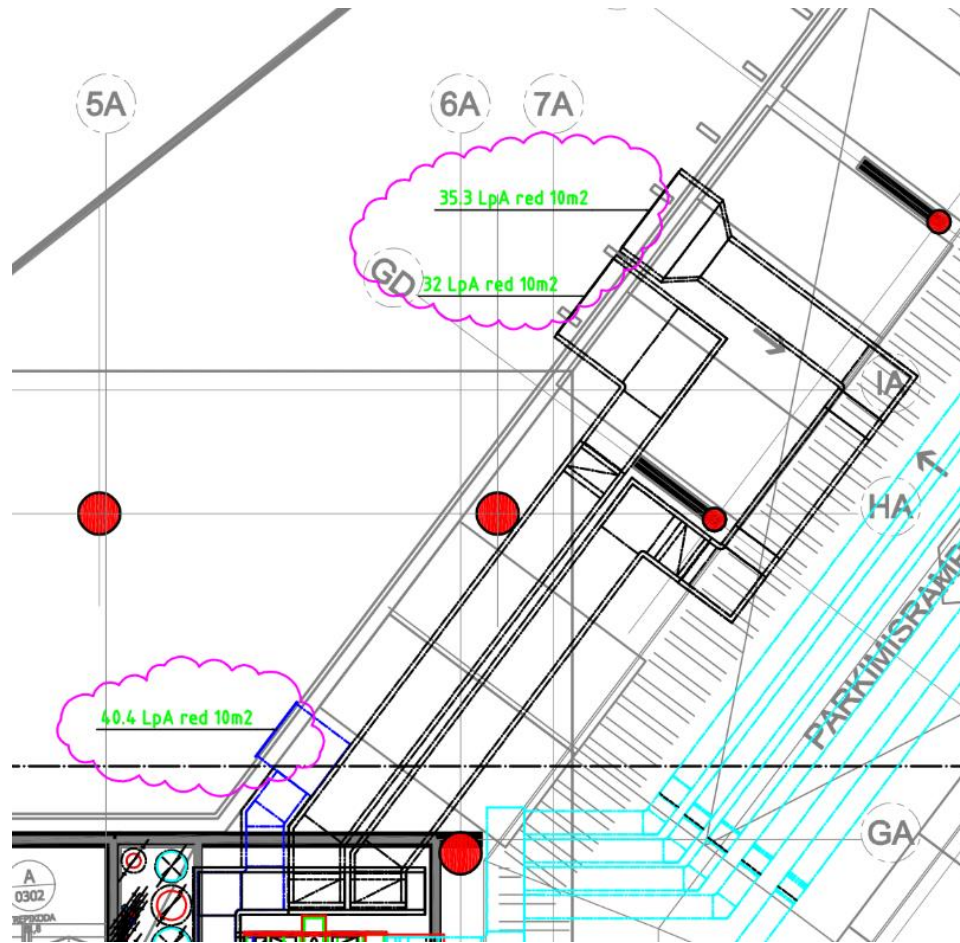
**LISA 1 MÜRAALLIKATE PAIKNEMINE JUHKENTALI KVARTALI  
HOONETES**

**LISA 2 HELIRÕHUTASEMETE TULEMUSED HALME-SEPPÄNENI  
MEETODIL**

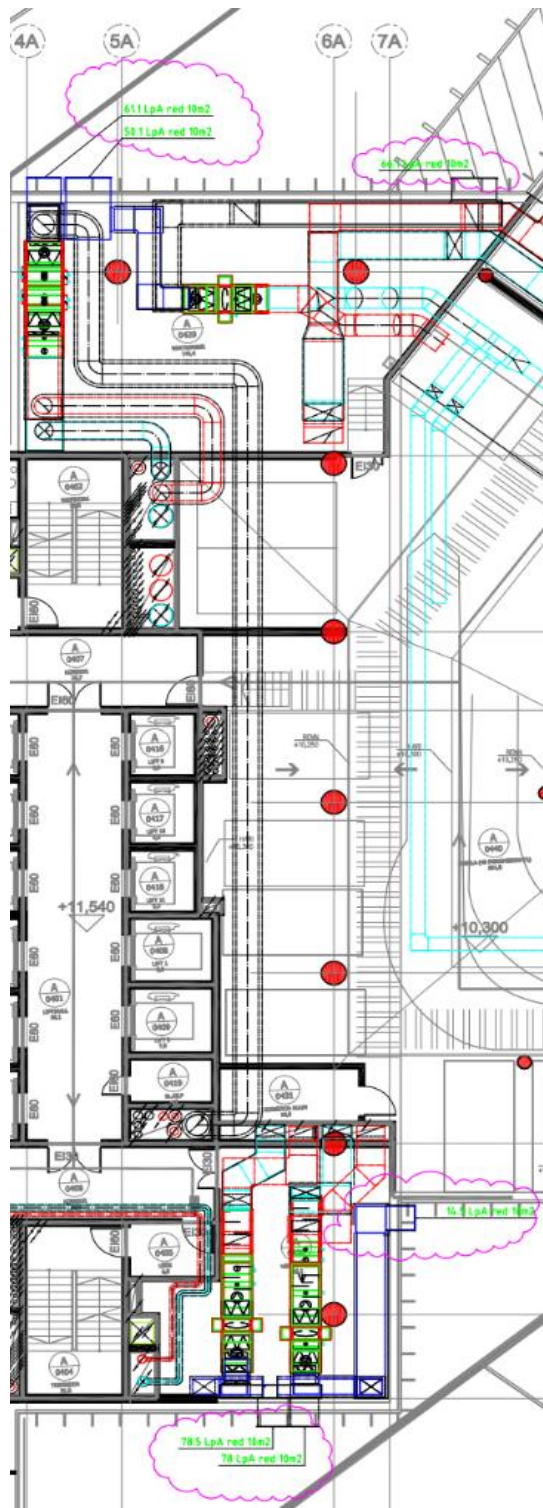
**LISA 3 HELIRÕHUTASEMETE TULEMUSED [WWW.NOISETOOLS.NET](http://WWW.NOISETOOLS.NET)  
MEETODIL**

**LISA 4 HELIRÕHUTASEMETE TULEMUSED SOUNDPLANIS**

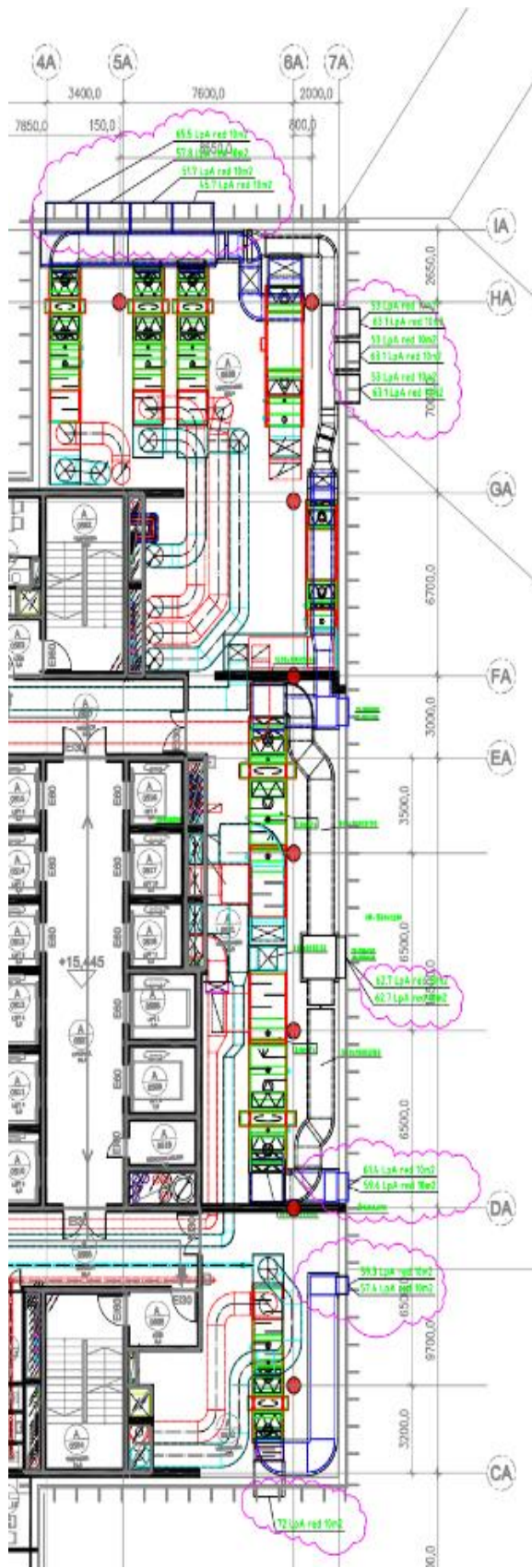
Lisa 1 Müraallikate paiknemine Juhkentali kvartali hoonetes



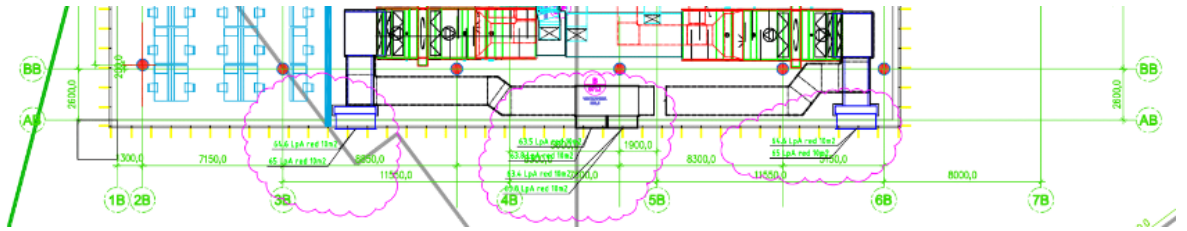
Joonis 1.1 Õhuvõtu- ja heitõhurestide paiknemine A-hoone fassaadi 3. korrusel



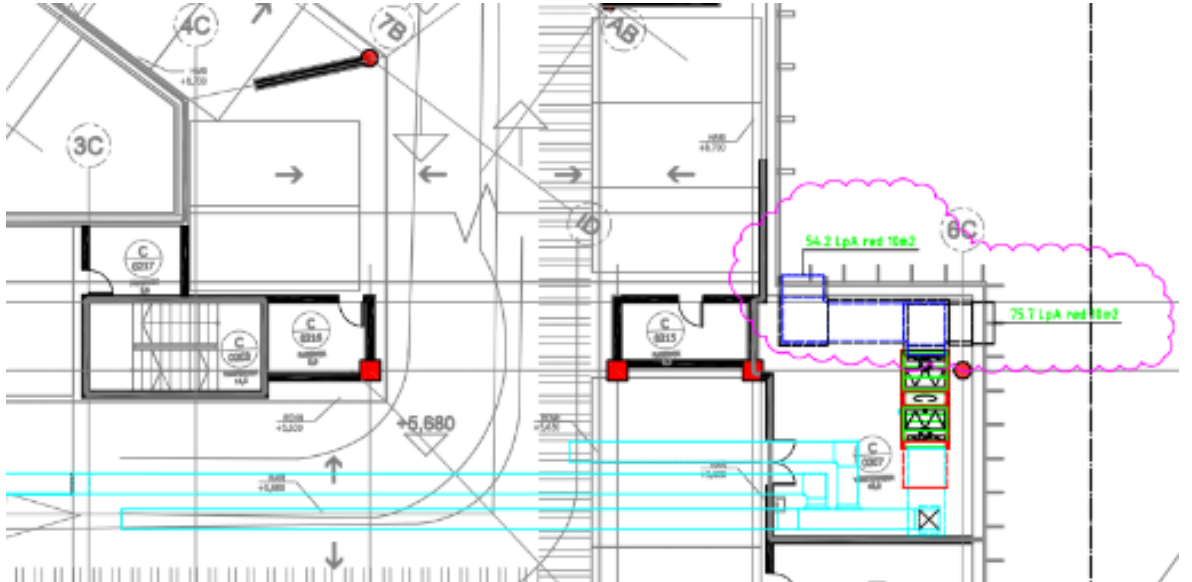
Joonis 1.2 Õhuvõtu- ja heitõhurestide paiknemine A-hoone fassaadi 4. korrusel



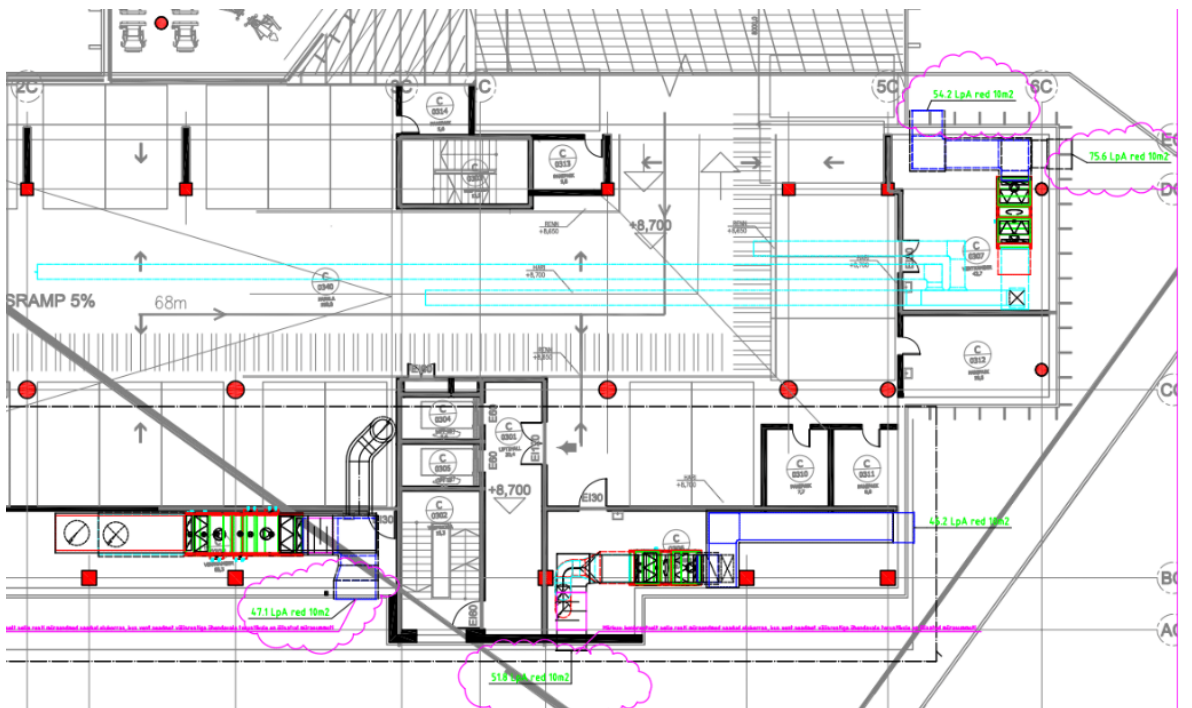
Joonis 1.3 Õhuvõtu- ja heitõhuretide paiknemine A-hoone fassaadi 5. korrusel



Joonis 1.4 B- hoone 7. korrusel paiknevad õhuvõtu- ja väljaviskerestide asukohad

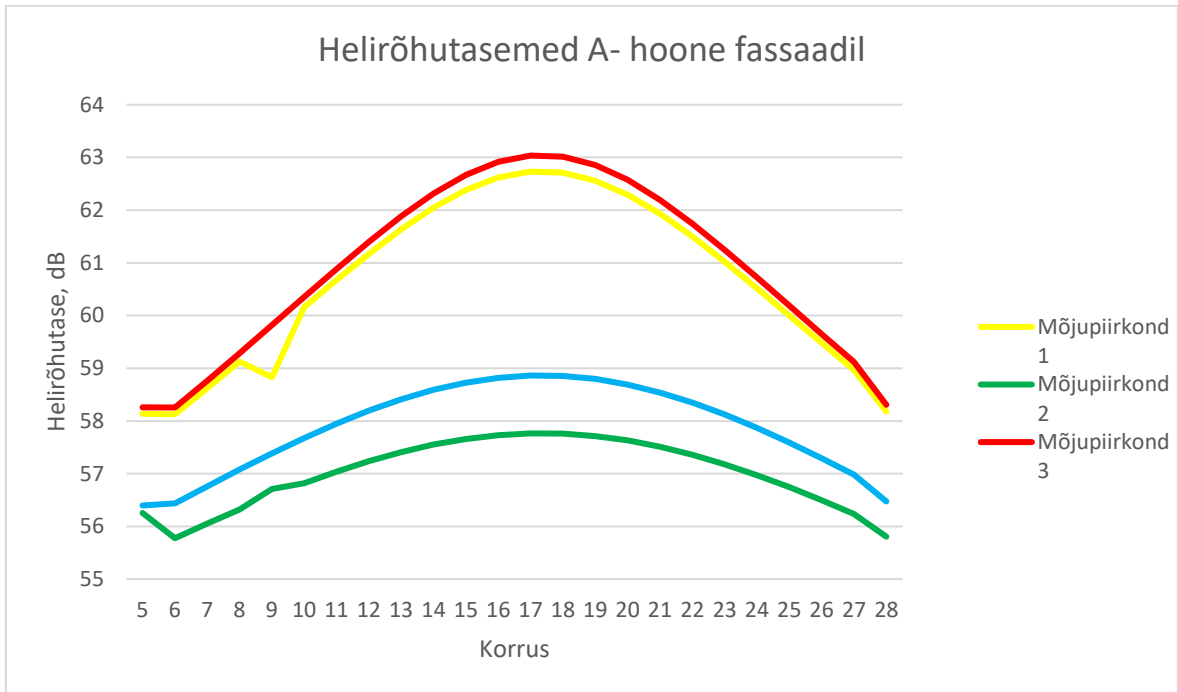


Joonis. 1.5 C- hoone 3. korrusel paiknevad õhuvõtu- ja väljaviskeresti asukohad



Joonis. 1.6 C- hoone 4. korrusel paiknevad õhuvõtu- ja väljaviskerestide asukohad

## Lisa 2 Helirõhutasemete tulemused Halme-Seppäneni meetodil



Joonis 2.1 Helirõhutasemed korruste kaupa A-hoone fassaadil B- hoone tehnoseadmetest



Tabel 2.1 Helirõhutasemed korruste A-hoone fassaadil C- hoone tehnoseadmetest

Korrus	Mõjupiirkond	Helirõhutase
nr	nr	$L_{pA}$ (dB)
5	1	40
5	2	42
5	3	42
6	1	40
6	2	42
6	3	42
7	1	40
7	2	42
7	3	42
8	1	40
8	2	42
8	3	42
9	1	40
9	2	42
9	3	42
10	1	40
10	2	42
10	3	42
11	1	40
11	2	42
11	3	42
12	1	40
12	2	42
12	3	42
13	1	40
13	2	42
13	3	42
14	1	39
14	2	42
14	3	41
15	1	39
15	2	41
15	3	41
16	1	39
16	2	41

16	3	41
17	1	39
17	2	41
17	3	41
18	1	39
18	2	41
18	3	41
19	1	39
19	2	40
19	3	40
20	1	39
20	2	40
20	3	40
21	1	38
21	2	40
21	3	40
22	1	38
22	2	40
22	3	39
23	1	38
23	2	39
23	3	39
24	1	38
24	2	39
24	3	39
25	1	37
25	2	39
25	3	39
26	1	37
26	2	38
26	3	38
27	1	37
27	2	38
27	3	38
28	1	37
28	2	38
28	3	38



Tabel 2.2 Helirõhutasemed korruste B-hoone fassaadil A- hoone tehnoseadmetest

Korrus	Mõjupiirkond	Helirõhutase
nr	nr	$L_{pA}$ (dB)
4	1	56
4	2	56
4	3	56
4	4	56
5	1	56
5	2	56
5	3	56
5	4	56
6	1	57
6	2	56
6	3	56
6	4	56
7	1	57
7	2	56
7	3	57
7	4	56
8	1	57
8	2	57
8	3	57
8	4	57
9	1	58
9	2	57
9	3	57
9	4	57
10	1	58
10	2	57
10	3	58
10	4	57
11	1	58
11	2	58
11	3	58
11	4	58
12	1	59
12	2	58
12	3	59
12	4	58
13	1	59
13	2	58
13	3	59
13	4	58
14	1	60

14	2	58
14	3	59
14	4	59

Tabel 2.3 Helirõhutasemed korruste kaupa B- hoone fassaadil C- hoone tehnoseadmetest

Korrus	Mõjupiirkond	Helirõhutase
nr	nr	$L_{pA}$ (dB)
4	1	42
4	2	48
4	3	48
4	4	48
5	1	43
5	2	49
5	3	49
5	4	48
6	1	43
6	2	49
6	3	49
6	4	48
7	1	43
7	2	50
7	3	49
7	4	48
8	1	43
8	2	50
8	3	50
8	4	48
9	1	43
9	2	50
9	3	50
9	4	48
10	1	43
10	2	50
10	3	49
10	4	48
11	1	43
11	2	49
11	3	49
11	4	48
12	1	42
12	2	49
12	3	48
12	4	47
13	1	42
13	2	48
13	3	48
13	4	47

14	1	42
14	2	47
14	3	47
14	4	46

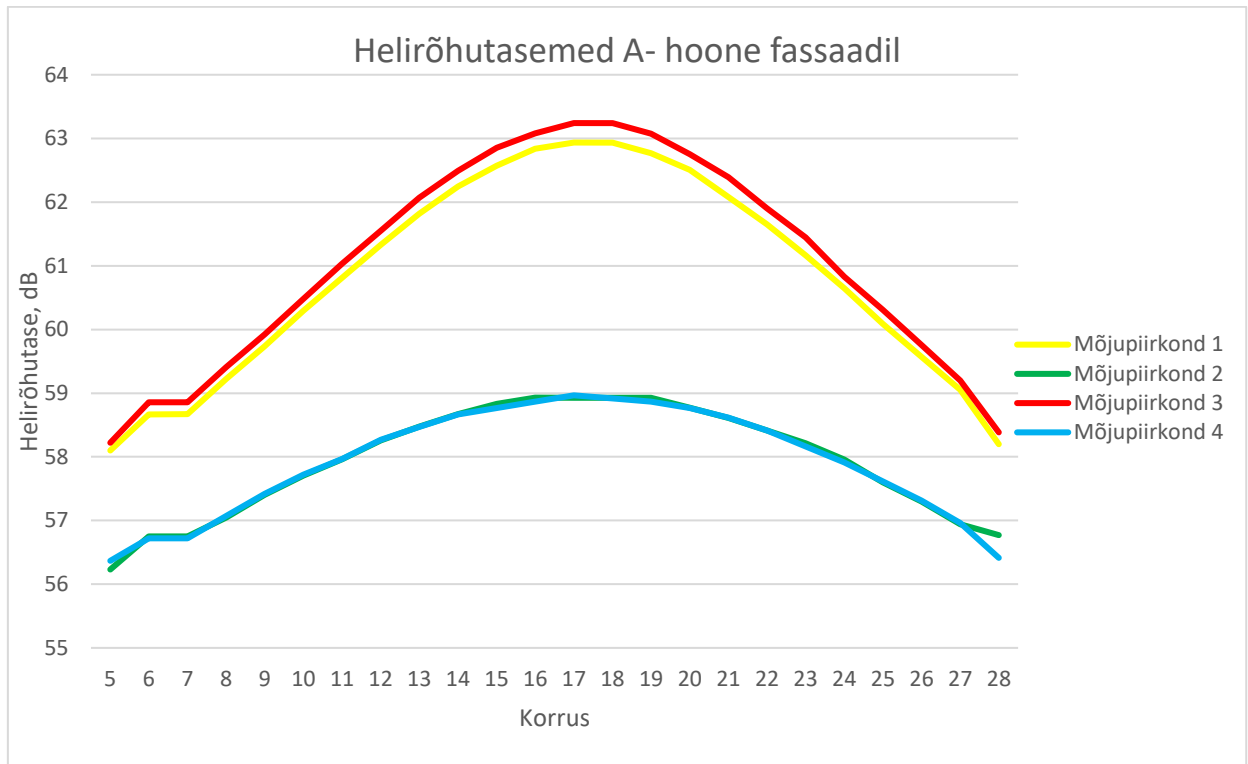
Tabel 2.4 Helirõhutasemed korruste kaupa C- hoone fassaadil A- hoone tehnoseadmetest

Korrus	Mõjupiirkond	Helirõhutase
nr	nr	$L_{pA}$ (dB)
4	1	56
4	2	55
4	3	56
4	4	57
5	1	56
5	2	55
5	3	56
5	4	57
6	1	57
6	2	55
6	3	57
6	4	57
7	1	57
7	2	56
7	3	57
7	4	57
8	1	57
8	2	56
8	3	57
8	4	58
9	1	58
9	2	56
9	3	58
9	4	58

Tabel 2.5 Helirõhutasemed korruste kaupa C-hoone fassaadil B- hoone tehnoseadmetest

Korrus	Mõjupiirkond	Tulemused
nr	nr	$L_{pA}$ (dB)
4	1	58
4	2	58
4	3	58
4	4	57
5	1	59
5	2	58
5	3	58
5	4	57
6	1	59
6	2	59
6	3	59
6	4	58
7	1	60
7	2	59
7	3	59
7	4	58
8	1	60
8	2	60
8	3	60
8	4	59
9	1	61
9	2	61
9	3	60
9	4	59

### Lisa 3 Helirõhutasemete tulemused NST meetodil



Joonis 3.1 Helirõhutasemed korruste kaupa A-hoone fassaadil B- hoone tehnoseadmetest

Tabel 3.1 Helirõhutasemed korruste kaupa A-hoone fassaadil C- hoone tehnoseadmetest

Korrus	Mõjupiirkond	Helirõhutaseme
nr	nr	$L_{pA}$ (dB)
5	1	40
5	2	42
5	3	41
6	1	40
6	2	42
6	3	42
7	1	40
7	2	42
7	3	42
8	1	40
8	2	42
8	3	42
9	1	40
9	2	42
9	3	42
10	1	40
10	2	42
10	3	42
11	1	40
11	2	42
11	3	42
12	1	40
12	2	42
12	3	42
13	1	39
13	2	42
13	3	42
14	1	39
14	2	42
14	3	41
15	1	39
15	2	41
15	3	41
16	1	39
16	2	41
16	3	41

Korrus	Mõjupiirkond	Helirõhutase
Nr	nr	$L_{pA}$ (dB)
17	1	39
17	2	41
17	3	41
18	1	39
18	2	41
18	3	41
19	1	39
19	2	40
19	3	40
20	1	38
20	2	40
20	3	40
21	1	38
21	2	40
21	3	40
22	1	38
22	2	39
22	3	39
23	1	38
23	2	39
23	3	39
24	1	37
24	2	39
24	3	39
25	1	37
25	2	38
25	3	38
26	1	37
26	2	38
26	3	38
27	1	37
27	2	38
27	3	38
28	1	36
28	2	38
28	3	37

Tabel 3.2 Helirõhutasemed korruste kaupa B-hoone fassaadil A- hoone tehnoseadmetest

Korrus	Mõjupiirkond	Helirõhutase
nr	nr	$L_{pA}$ (dB)
4	1	56
4	2	56
4	3	56
4	4	56
5	1	56
5	2	56
5	3	56
5	4	56
6	1	57
6	2	56
6	3	56
6	4	56
7	1	57
7	2	56
7	3	57
7	4	56
8	1	57
8	2	57
8	3	57
8	4	57
9	1	58
9	2	57
9	3	57
9	4	57
10	1	58
10	2	57
10	3	58
10	4	57
11	1	58
11	2	58
11	3	58
11	4	58
12	1	59
12	2	58
12	3	59
12	4	58
13	1	59
13	2	58
13	3	59

13	4	58
14	1	60
14	2	58
14	3	59
14	4	59

Tabel 3.3 Helirõhutasemed korruste kaupa B-hoone fassaadil C- hoone tehnoseadmetest

Korrus	Mõjupiirkond	Helirõhutaseme
nr	nr	$L_{pA}$ (dB)
4	1	42
4	2	48
4	3	48
4	4	48
5	1	43
5	2	49
5	3	49
5	4	48
6	1	43
6	2	49
6	3	49
6	4	48
7	1	4
7	2	50
7	3	50
7	4	48
8	1	43
8	2	50
8	3	50
8	4	49
9	1	43
9	2	50
9	3	50
9	4	48
10	1	43
10	2	50
10	3	50
10	4	48
11	1	43
11	2	49
11	3	49
11	4	48
12	1	42
12	2	49
12	3	49
12	4	47
13	1	42
13	2	48
13	3	48
13	4	47
14	1	42

14	2	47
14	3	47
14	4	46

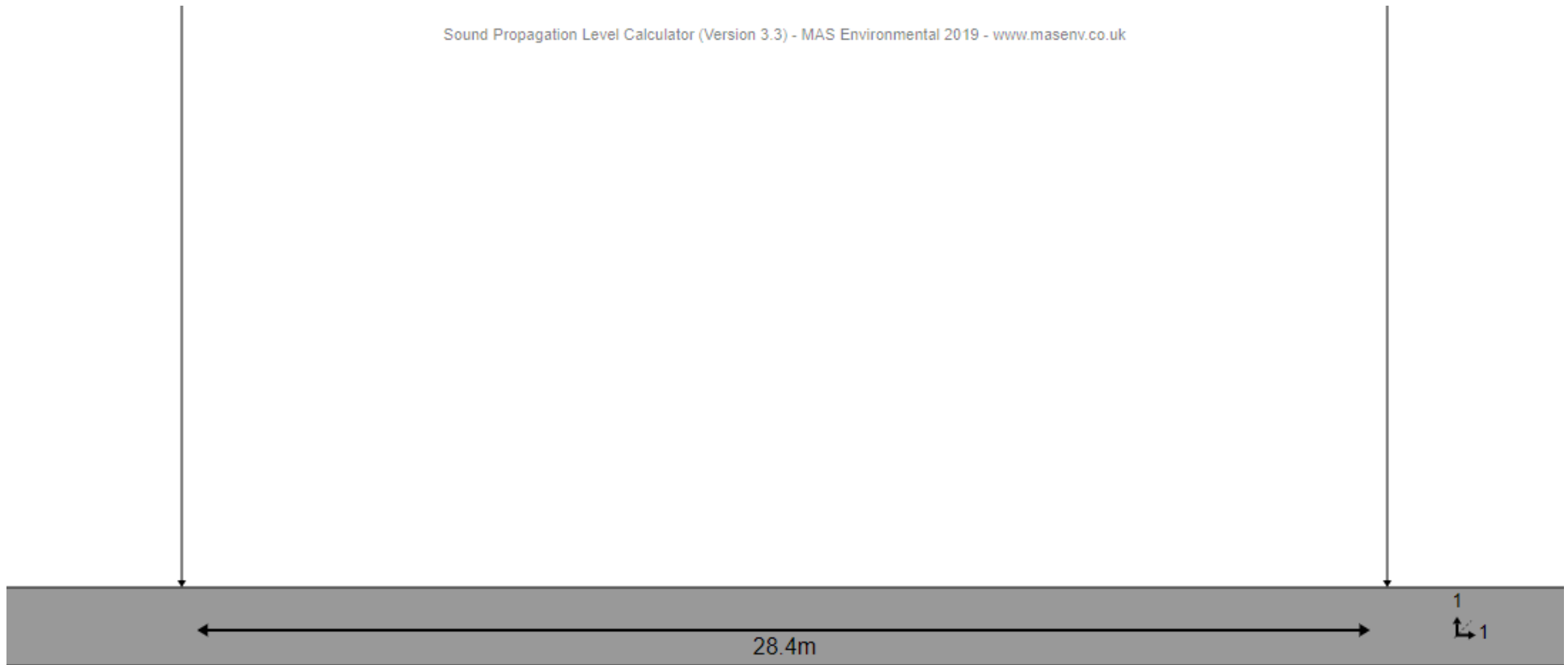


Tabel 3.4 Helirõhutasemed korruste kaupa C-hoone fassaadil A- hoone tehnoseadmetest

Korrus	Mõjupiirkond	Helirõhutase
nr	nr	$L_{pA}$ (dB)
4	1	56
4	2	55
4	3	56
4	4	56
5	1	56
5	2	55
5	3	56
5	4	57
6	1	57
6	2	55
6	3	57
6	4	57
7	1	57
7	2	55
7	3	57
7	4	57
8	1	57
8	2	56
8	3	57
8	4	58
9	1	58
9	2	56
9	3	58
9	4	58

Tabel 3.5 Helirõhutasemed korruste kaupa C-hoone fassaadil B- hoone tehnoseadmetest

Korrus	Mõjupiirkond	Helirõhutase
nr	nr	$L_{pA}$ (dB)
4	1	58
4	2	58
4	3	58
4	4	57
5	1	59
5	2	58
5	3	58
5	4	57
6	1	59
6	2	59
6	3	59
6	4	58
7	1	60
7	2	59
7	3	59
7	4	58
8	1	60
8	2	60
8	3	60
8	4	59
9	1	61
9	2	61
9	3	61
9	4	59

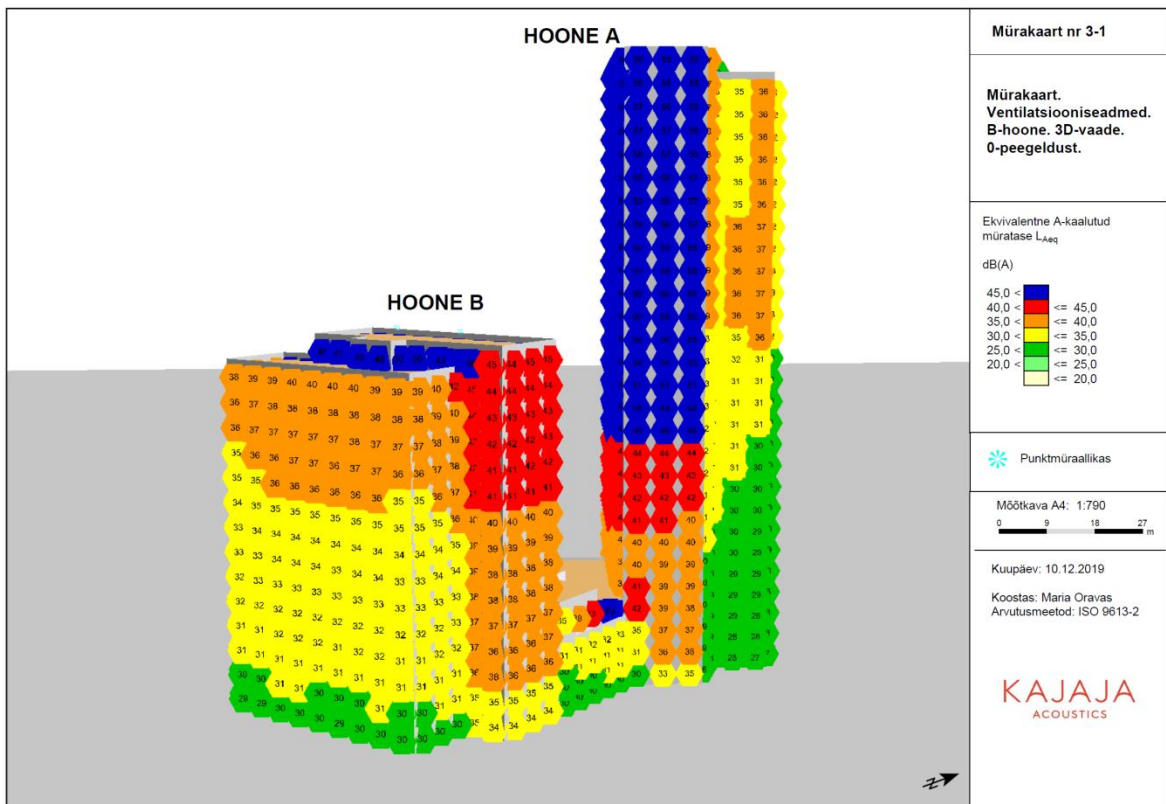


Frequency - Hz	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Total
Source - dB	67	78	85	89	96	92	83	76	98.4
Receiver - dB	20.6	31.6	38.5	42.4	49.3	44.8	33.8	19.7	51.6

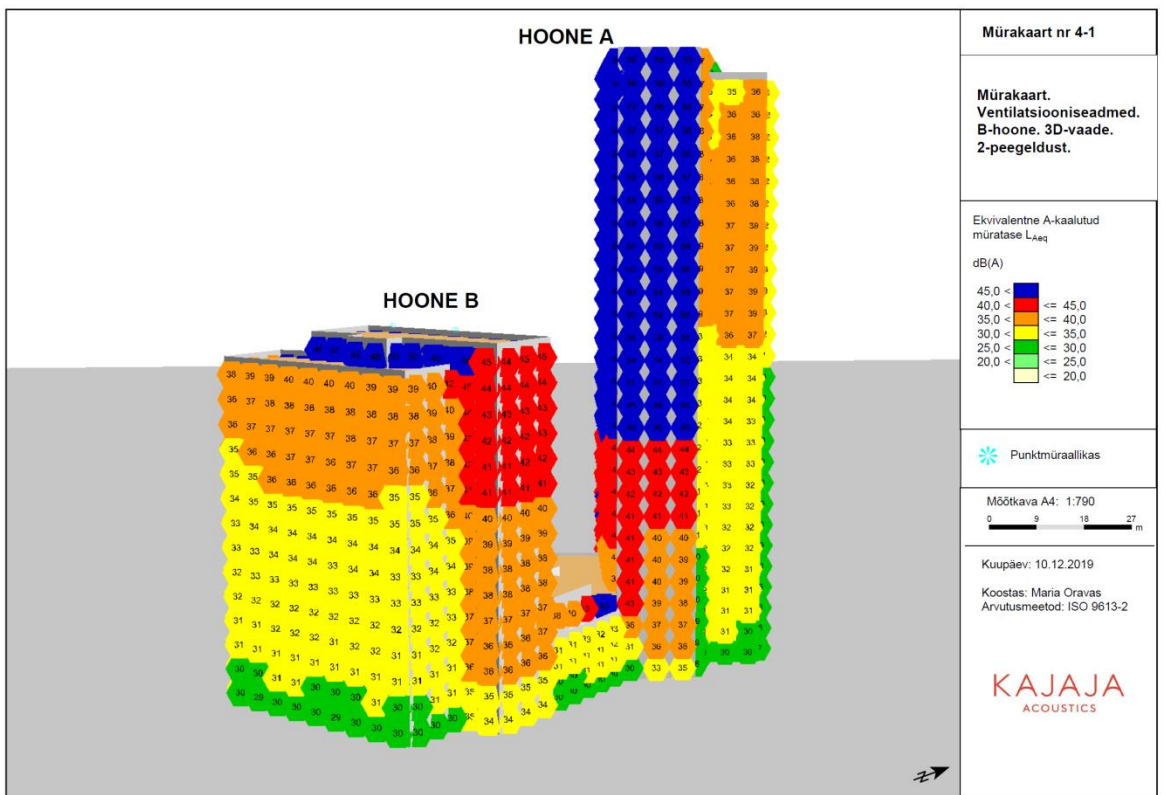
Environmental parameters: 10°C Temperature, 70% Humidity, 0 Ground Factor (G)

Joonis 3.2. Väljavõte Noisetools.net tulemustest

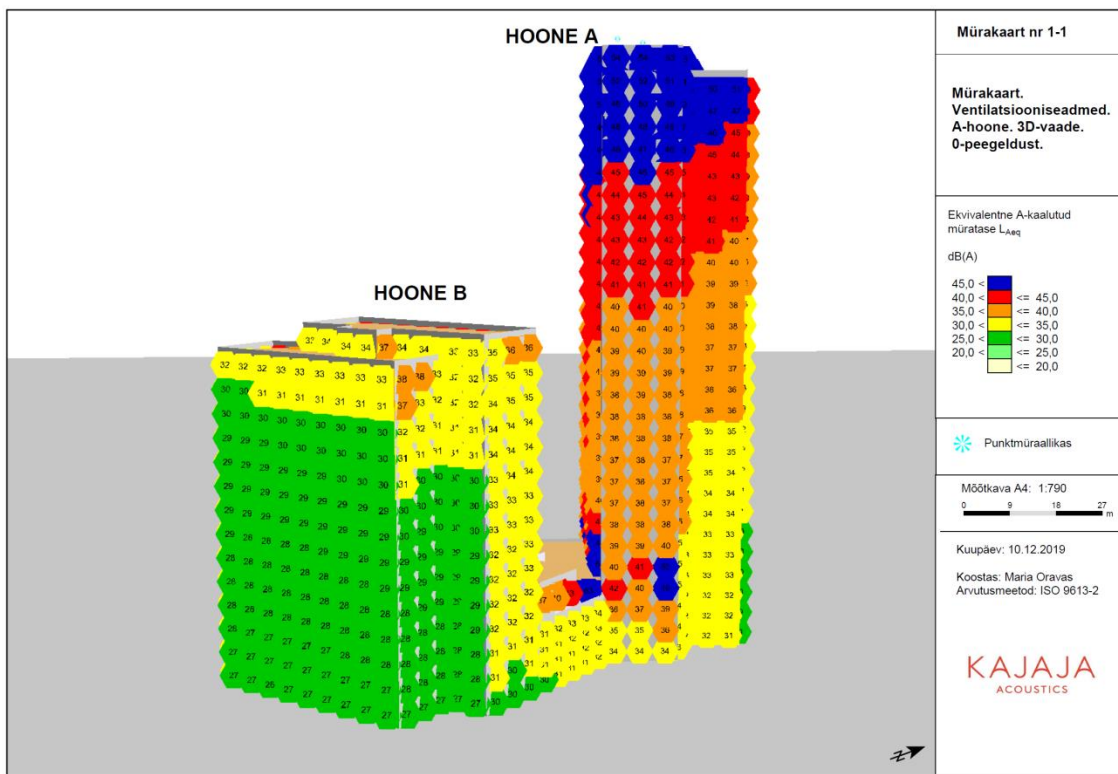
Lisa 4 Helirõhutasemete tulemused SoundPLANis



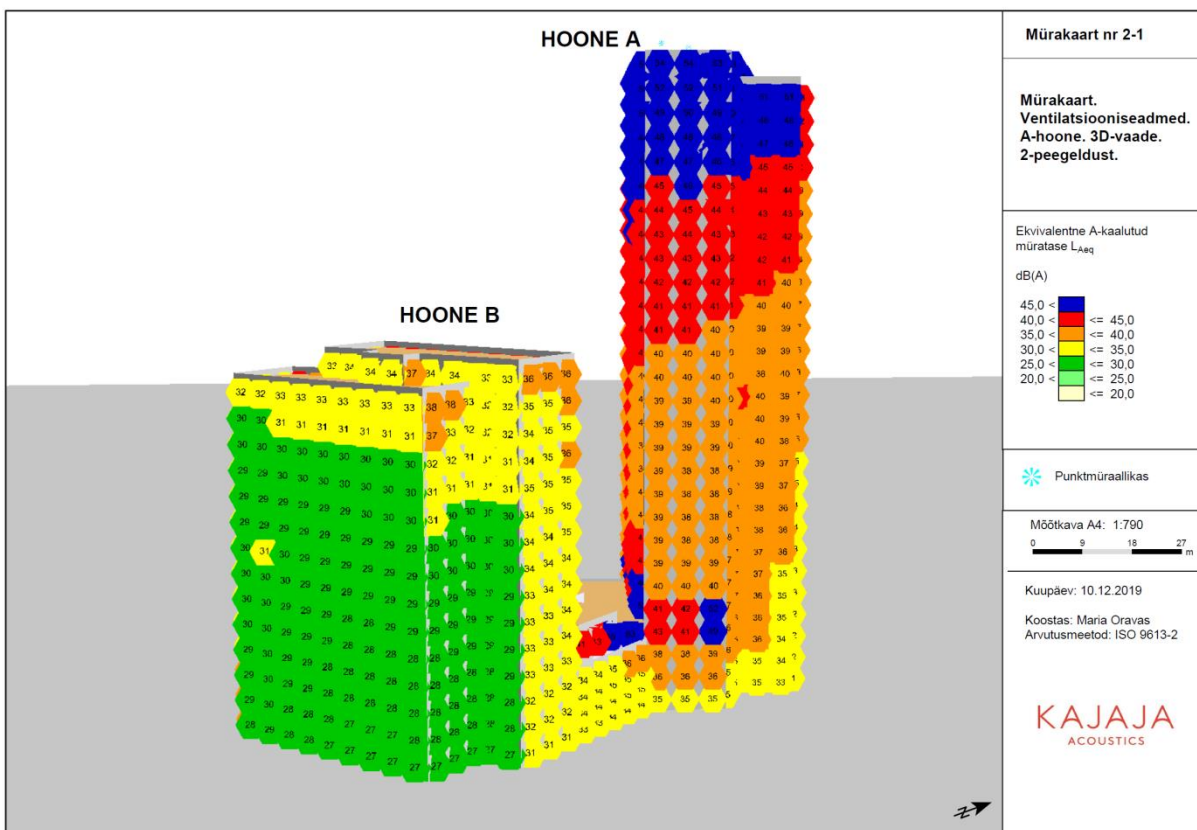
Joonis 4.1 Helirõhutasemed B-hoone tehnoseadmetest A- hoone fassaadil 0 peegeldusega



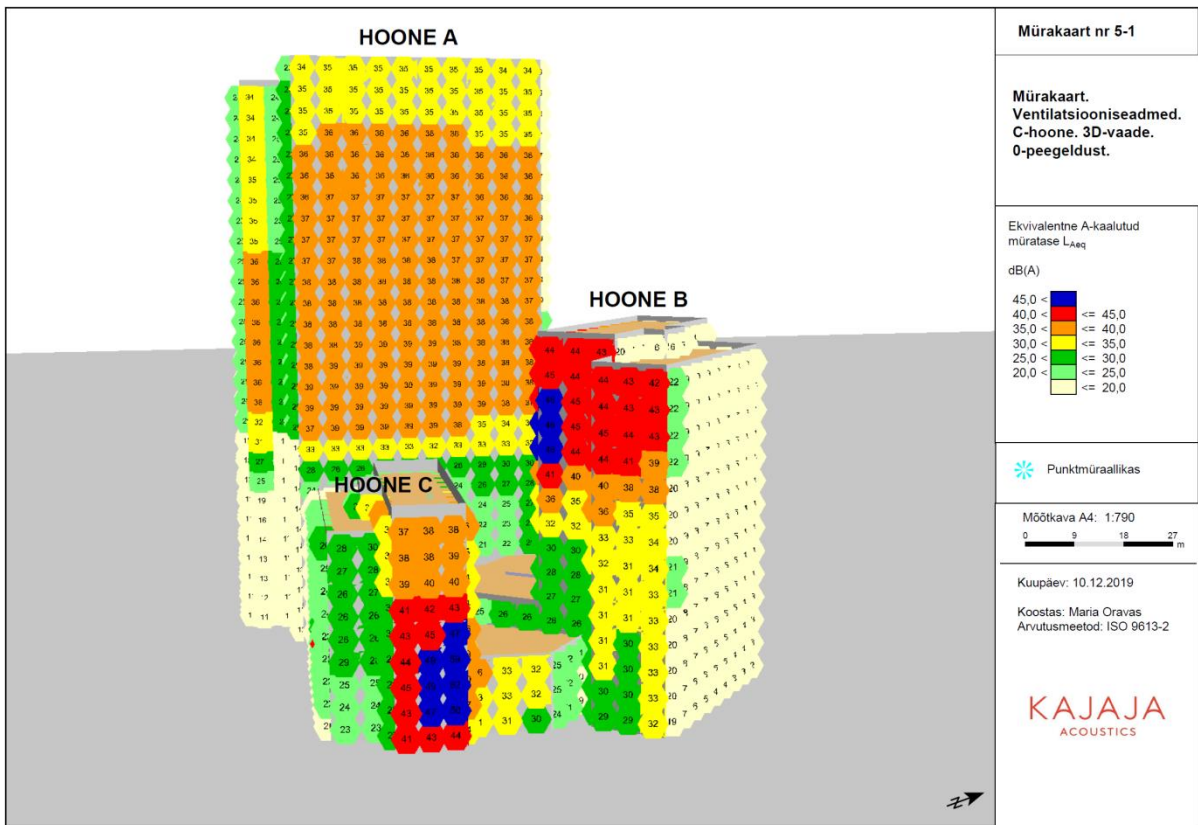
Joonis 4.2 Helirõhutasemed B- hoone tehnoseadmetest A-hoone fassaadil 2 peegeldusega



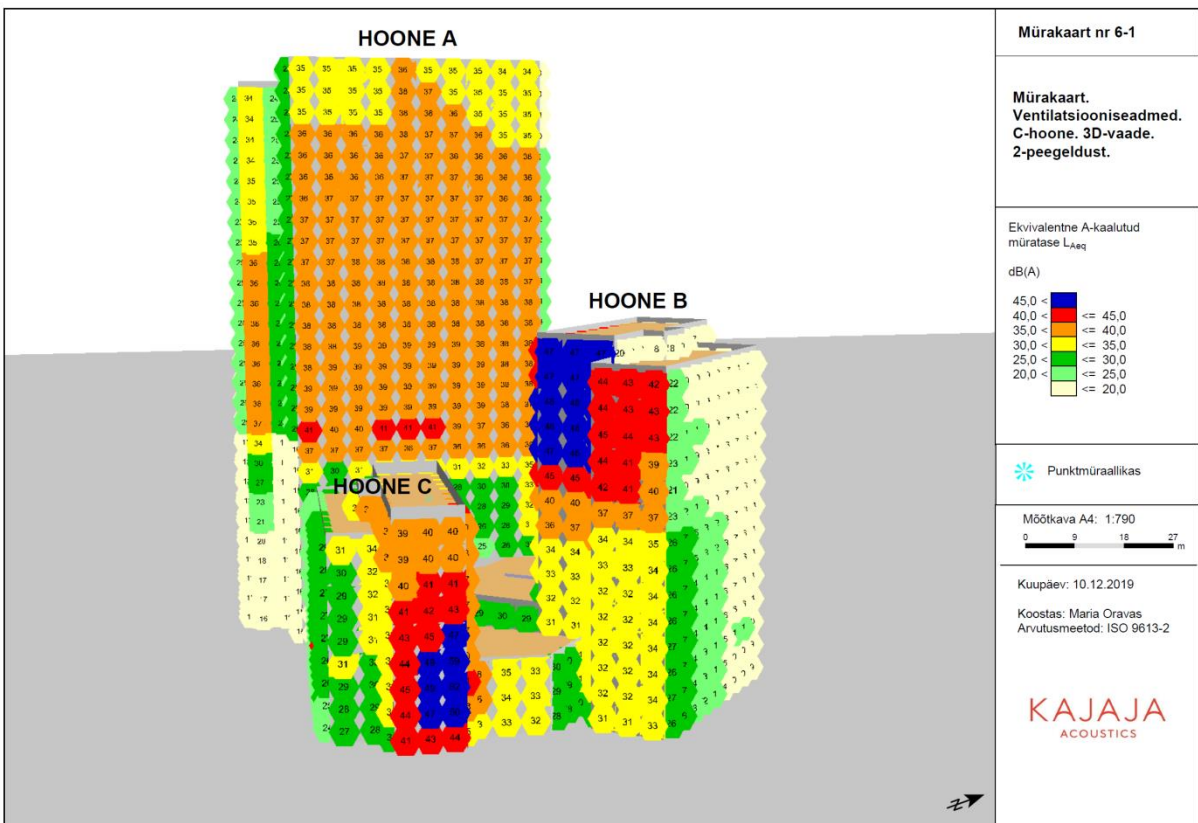
Joonis 4.3 Helirõhutasemed A- hoone tehnoseadmetest B-hoone fassaadil 0 peegeldusega



Joonis 4.4 Helirõhutasemed A- hoone tehnoseadmetest B-hoone fassaadil 2 peegeldusega

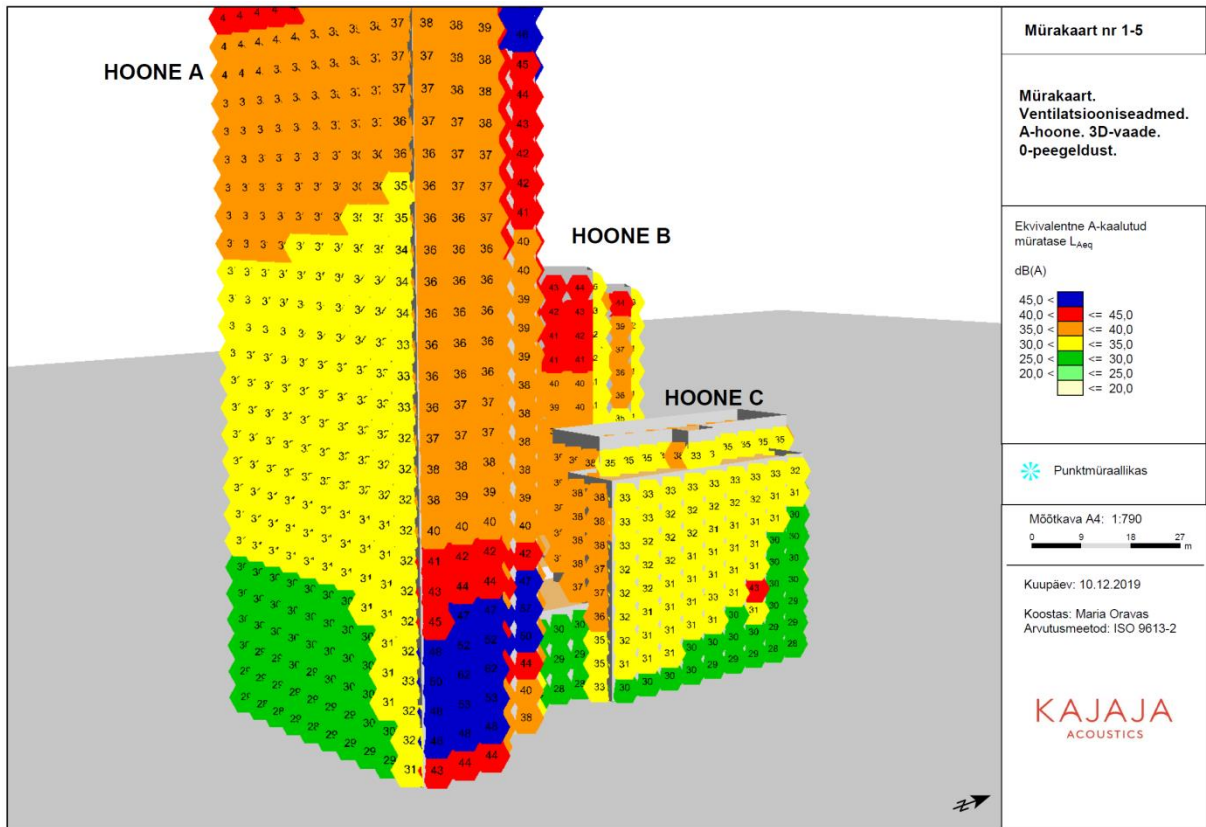


Joonis 4.5. Helirõhutasemed C- hoone tehnoseadmetest B-hoone fassaadil 0 peegeldusega

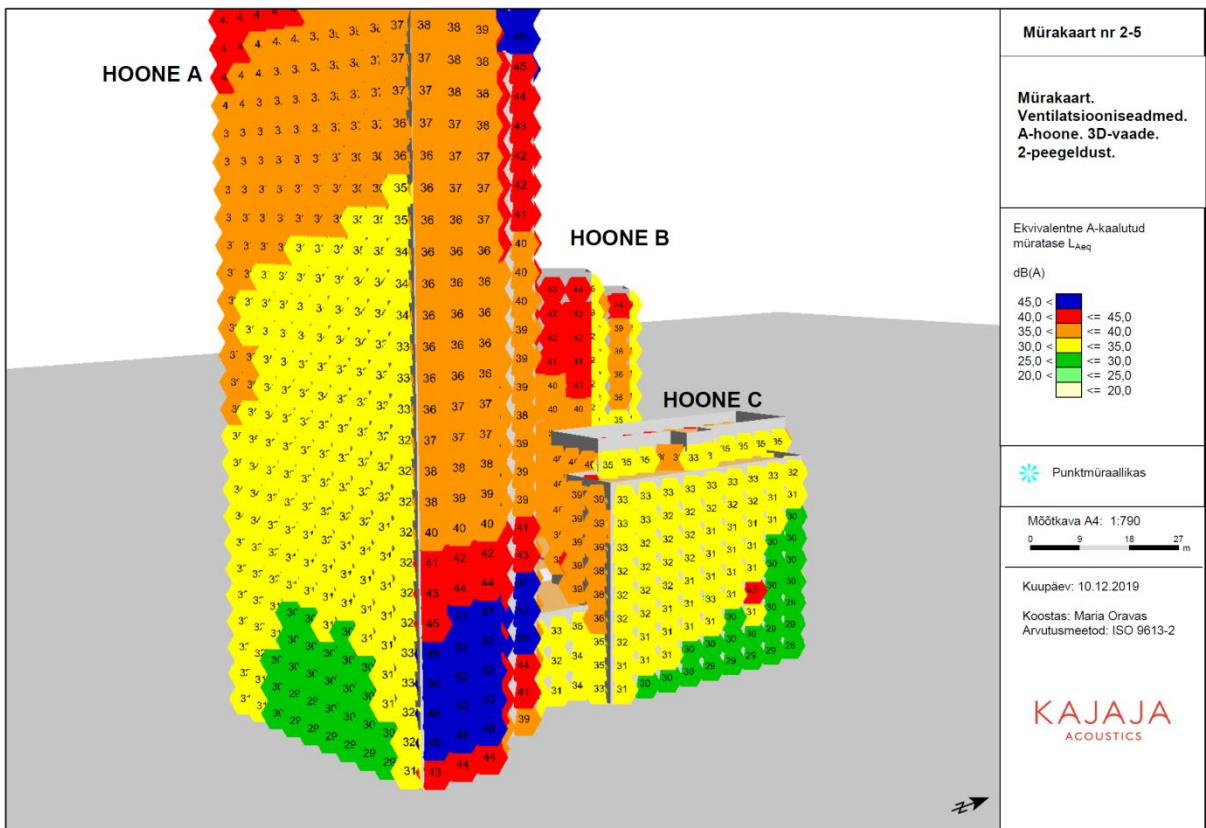


Joonis 4.6 Helirõhutasemed C- hoone tehnoseadmetest B-hoone fassaadil 2 peegeldusega

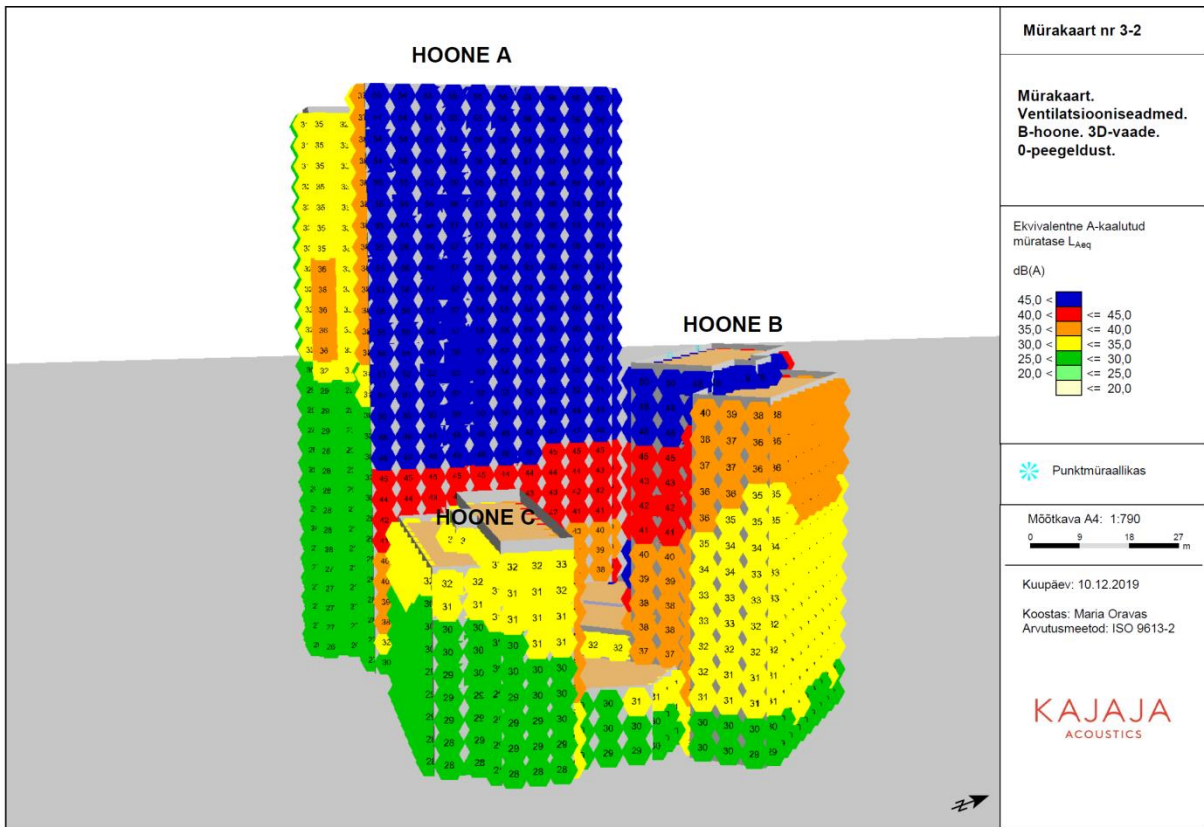




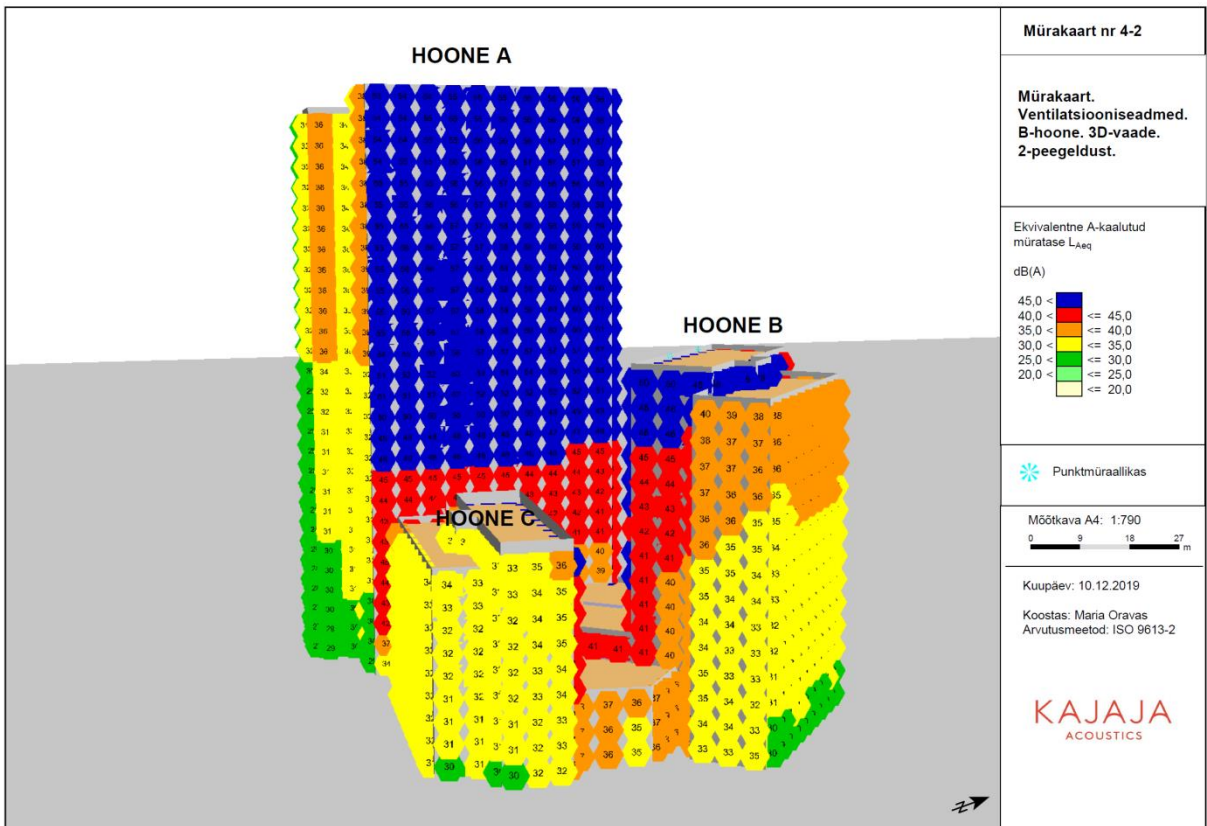
Joonis 4.7 Helirõhutasemed A- hoone tehnoeadmetest C-hoone fassaadil 0 peegeldusega



Joonis 4.8 Helirõhutasemed A- hoone tehnoeadmetest C-hoone fassaadil 2 peegeldusega

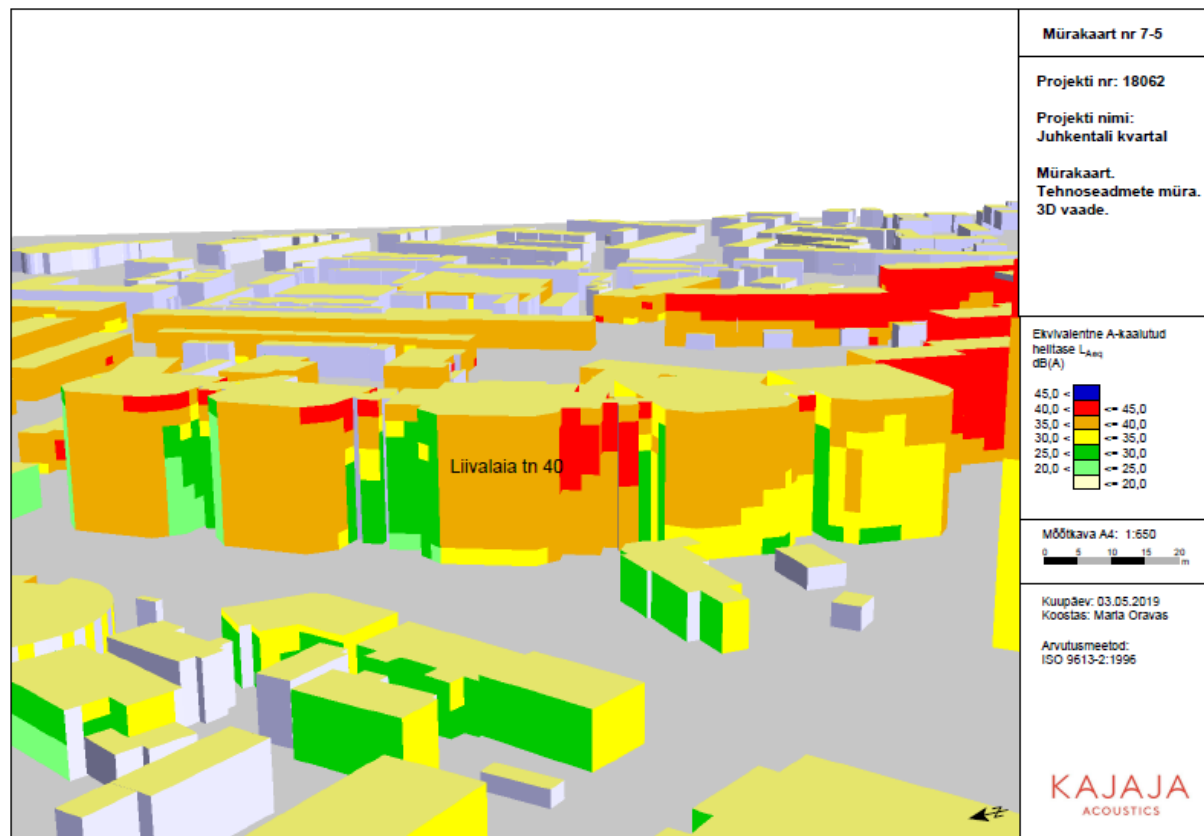


Joonis 4.9 Helirõhutasemed B- hoone tehnoseadmetest C-hoone fassaadil 0 peegeldusega

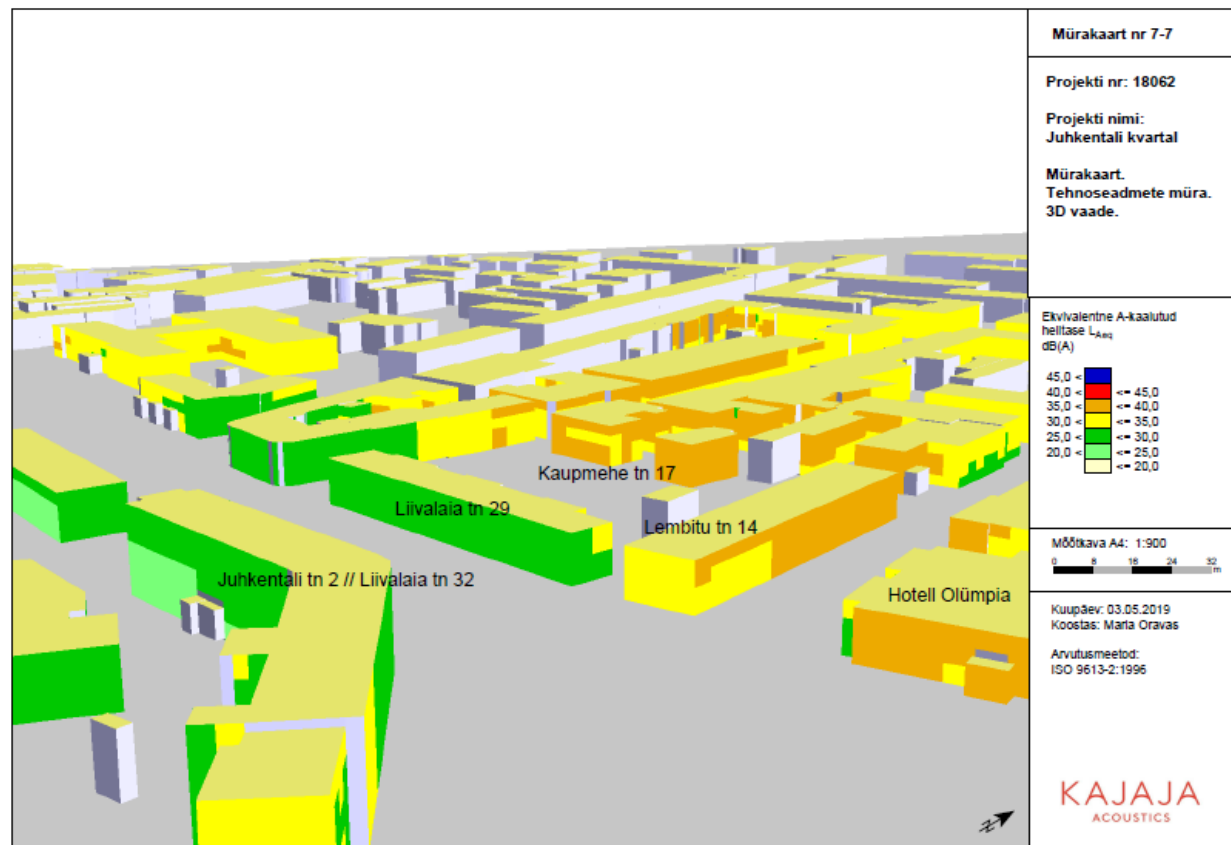


Joonis 4.10 Helirõhutasemed B- hoone tehnoseadmetest C-hoone fassaadil 2 peegeldusega

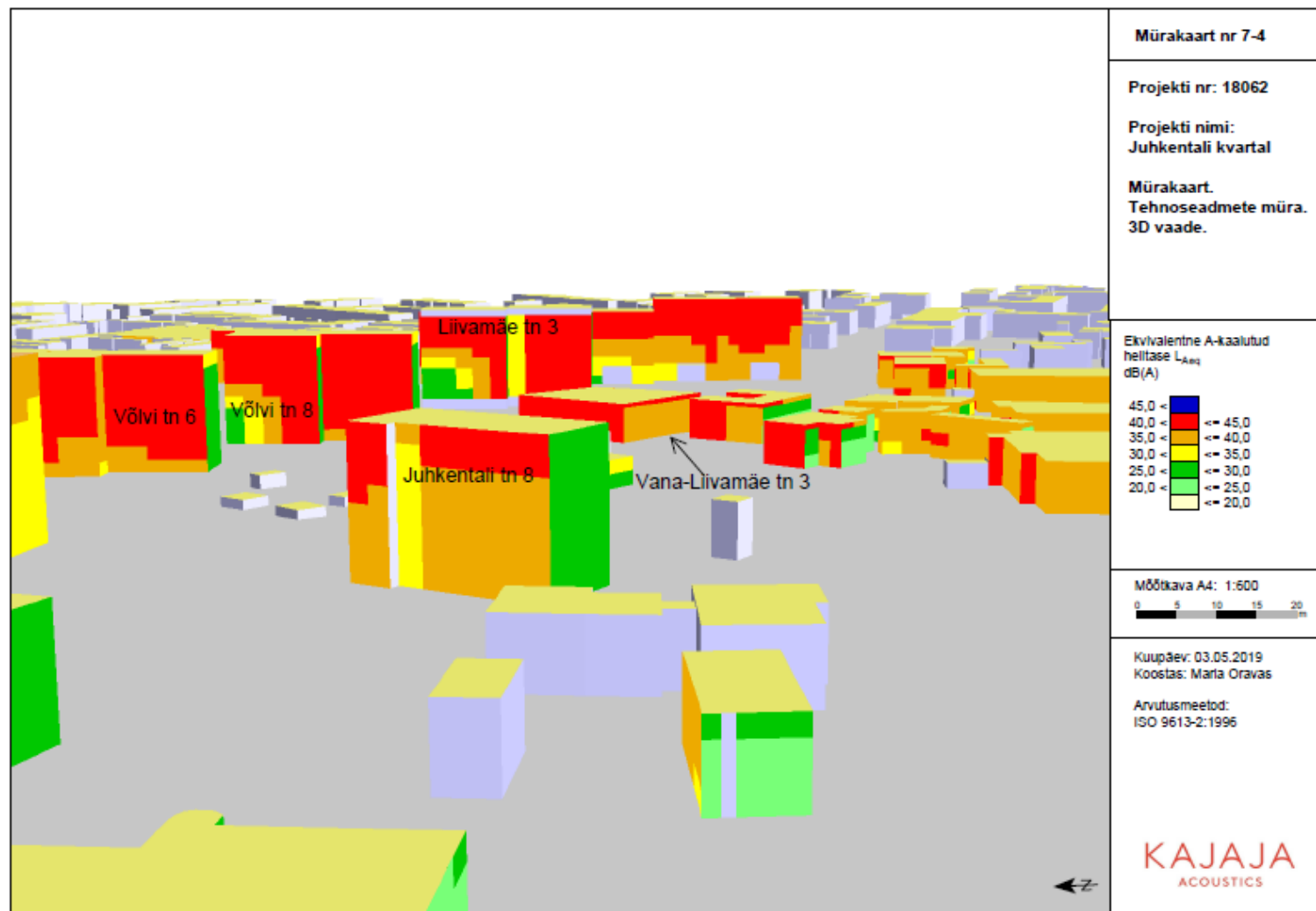




Joonis 4.11 Mürakaart Juhkentali kvartali naaberhoonetest



Joonis 4.12 Mürakaart Juhkentali kvartali naaberhoonetest



Joonis 4.13 Mürakaart Juhkentali kvartali naaberhoonetest