



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
MEHAANIKATEADUSKOND

Masinaehituse instituut
Autotehnika õppetool

MEA70LT

Malle Seppor

Katseseadme müra vähendava katte projekteerimine

Autor taotleb
tehnikateaduste magistri
akadeemilist kraadi

Tallinn 2014

AUTORIDEKLARATSIOON

Deklareerin, et käesolev magistritöö on minu iseseisva töö tulemus.
Esitatud materjalide põhjal ei ole varem akadeemilist kraadi taotletud.
Töös kasutatud kõik teiste autorite materjalid on varustatud vastavate viidetega.

Töö valmis juhendamisel

“.....”200...a. Töö autor allkiri

Töö vastab magistritööle esitatavatele nõuetele “.....”200...a.

Juhendaja allkiri

Lubatud kaitsmisele

..... õppekava kaitsmiskomisjoni esimees

“.....”200... a.

..... allkiri

TTÜ masinaehituse instituut
Tootearenduse õppetool

MAGISTRITÖÖ ÜLESANNE
2014 aasta kevadsemester

Üliõpilane: Malle Seppor, 120024
Õppekava: MATM02/11
Eriala Tootearendus ja tootmistehnika
Juhendaja: Professor Jüri Lavrentjev
Konsultant: Viktor Laurmaa

MAGISTRITÖÖ TEEMA:

Katseseadme müra vähendava katte projekteerimine

Noise-reducing enclosure design for a testing device

Lõputöös lahendatavad ülesanded ja nende täitmise ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Täitmise tähtaeg
1.	Info kogumine, sarnaste toodetega tutvumine	30.01.2014
2.	Katsete teostamine müra taseme ja spektri määramiseks	28.02.2014
3.	Termoanalüüsi teostamine	30.04.2014
4.	Lahenduste genereerimine, parima valik ja projekteerimine	30.04.2014
5.	Helisumbuvusanalüüsi teostamine	15.05. 2014
6.	Dokumenteerimine	22.05.2014

Lahendatavad insenertehnilised ja majanduslikud probleemid: Müra summutava katte projekteerimine. Uute detailide tööjooniste ning toote koostejooniste valmistamine. Müra taseme ning helispektri mõõtmine. Termoanalüüsi teostamine

Täiendavad märkused ja nõuded:.....

Töö keel: Eesti keel

Kaitsmistaoetus esitada dekanaati hiljemalt 12.05.2014 Lõputöö esitamise tähtaeg 27.05.2014

Üliõpilane /allkiri/kuupäev.....

Juhendaja..... /allkiri/ kuupäev.....

Kontakttelefon 57818633 E-mail: malle.seppor@gmail.com

Konfidentsiaalsusnõuded ja muud ettevõttepoolsed tingimused formuleeritakse pöördel

EESSÕNA.....	6
LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU.....	7
1. SISSEJUHATUS	8
2. ABB MADALPINGEAJAMI TESTSEADME TUTVUSTUS	10
2.1 Testseadme kirjeldus ning kasutamine igapäevatoös	10
2.1.1 Ajam ja selle tööpõhimõte	12
2.1.2 Asünkroonmootor	13
2.2 Soojuskaod testseadmes	15
2.3 Termoanalüüs Flir i3 termokaameraga ja nende abil soojuskadude arvutus	17
3. PROBLEMIKIRJELDUS NING KATSED	25
3.1 Müra mõju inimesele	26
3.2 Kontoris määratletud müratasemete normid	27
3.3 Töös kasutatav müramõõtmise meetoodika	28
3.4 Müra mõõtmise tulemused.....	29
3.5 Heli neelavad materjalid	37
3.6 Jahutuse avauste projekteerimise teooria.....	40
4. OLEMASOLEVAD LAHENDUSED.....	42
5. PROJEKTEERIMINE	43
5.1 Projekti nõuete määramise meetodid	43
5.1.1 Musta kasti maatriks.....	43
5.1.2 Nõuete loetelu koostamine	43
5.1.3 Morfoloogilise maatriksi koostamine.....	44
5.2 Esialgsete lahenduste hindamine ja parima lahenduse valik	45
5.3 Projekteerimisel kasutatav tarkvara.....	48
5.4 Katee välisseinad ning uks.....	49
5.5 Müra summutavad seinad ja lae paneelid.....	50

5.6	Ventilatsiooni õhuvoolu arvutamine ning jahutuse valik	51
5.7	Käepide ja rattad.....	54
5.8	Mootorist tuleneva vibratsiooni summutamine.....	55
5.9	Projekteeritud katte üldvaade.....	57
6.	MÜRA SUMBUVUSE ANALÜÜS.....	59
7.	EDASISED TEGEVUSED.....	61
	KOKKUVÕTE.....	62
	SUMMARY	64
	VIIDETE LOETELU	66
	LISA 1	68
	LISA 2	69
	GRAAFILINE OSA	70

EESSÕNA

Käesolev magistritöö on valminud tootearendusprojekti alusel ABB AS Madalpingeajamite tehase inseneriosakonnas. Projekt käivitati 2014 aasta alguses et vähendada testseadmetest tulenevat müra kontorikeskkonnas. Kõik töös kasutatud andmed, joonised ning tulemused on ABB AS omand.

Autor soovib avaldada tänu juhendajale Jüri Lavrentjevile ning ettevõtte poolsele juhendajale Viktor Laurmaale nende poolsete nõuannete ning abi eest töö valmimisel.

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

IGBT - *Insulator-gate bipolar transistor* (Isoleeritud paisuga bipolaartransistor)

PDM – *Product data management* (Toote andmete haldus)

CAD – *Computer Aided Design* (Raalprojekteerimine)

NR – *Noise reduction* (Müra vähenemine)

SPL – *Sound pressure level* (Mürarõhutase)

TL – *Transmission loss* (Ülekandekadu)

IL – *Insertion loss* (Paigalduskadu)

1. SISSEJUHATUS

Töökeskkonnas tekkiv müra ja sellest tulenevate terviseriskidega puutuvad iga päev miljonid töötajad Euroopas. Eelkõige on müraga probleeme tööstusharudes nagu töötlev tööstus ja ehitus, samuti võib leida seda ka igal pool mujal. Tööinspektsiooni sõnul peab iga viies Euroopa töötaja vähemalt pooltel juhtudel tööl häält tõstma, et end kuuldavaks teha, ning seitsmel protsendil on tööga seotud kuulmiskahjustusi.[1]

Antud lõputöö teemaks on ABB ajamite ja taastuenergiaseadmete tehase avatud kontoris paiknevale katseseadmele müra summutava katte väljatöötamine, arvestades testseadmest tulenevat spetsiifikat kui ka ohutuslaseid nõudeid. Teema on aktuaalne kuna ABB eesmärgiks on olla vastutustundlik ettevõtte nii oma klientide kui ka töötajate ees ning antud probleem on eksisteerinud kontoris alates inseneri meeskonna loomisega aastast 2010. Nimelt kasutavad kontorikeskkonnas töötavad tarkvarainsenerid oma töös madalpingeajami katseseadet, mis põhjustab häirivat müra. Müra ja laua pinna kahjustamise vähendamiseks kasutavad mõned insenerid pehmendusmaterjali testseadme all.

Üheks teema aktuaalsuseks võib tuua välja ka asjaolu, et ABB madalpingeajami ja taastuenergia tehase meeskonnal puudub materjalide akustiliste omaduste kohta teadmised, mis annab autorile võimaluse kaaskolleegidele antud teematikat tutvustada ning kontoris valitseva müra probleemile lahendust luua.

Tehase tegevuse põhisuund on madalapingeliste sagedusmuundurite tootmine. Ajamite ja taastuenergiaseadmete tehase toodab sagedusmuundureid globaalsetele turgudele. Klientideks on tüüpilised sagedusmuundurite kasutajad üle maailmas, sealhulgas suured lõpptarbijad nagu metallitööstustehased, paberivabrikud, masinatootjad ja süsteemiintegraatorid. Üks suuremaid lõpptarbijaid on tuuleenergia segment. Tehas rajati 2005. aastal, 2006. aastal toimus oluline kasv ja tootmine keskendus puhtalt sagedusmuunduritele. Tehases on ametis ligi 340 väga professionaalset ja pühendunud töötajat. Tootmise kasv jätkub, edasiminekuks on leidnud aset ka inseneritöö ja kompetentsi tasandil.[2]

Kuna tegemist on uurimusliku projekteerimisalase tööga, teostab autor valitseva turuanlüüsi kaardistamiseks erinevaid lahendusi ning tuues välja nende sobivuse ning mittevastavuse oodatava lahenduse nõudeid silmas pidades. Ülevaate erinevatest lahendustest turul annab autor peatükis neli.

Töös on kasutatud erinevaid meetodeid määratlemaks müra taset ning helispektrit.

Metoodilised kirjeldused ning tulemused on toodud välja peatükis kolm. Samuti oli autoril võimalus kasutada ABB litsentsiga arvutitarkvara Creo2 et teostada graafiline mudeli lahendus.

Projekti sihiks on sooritada algusest lõpuni mehaanikainseneri igapäevatööd peegeldav projekt, mille eesmärgiks on saada teadmisi projekteerimisest kui ka koguda materjalide akustika alaseid teadmisi. Projekti lõpuks peab valmima lõpptoode, mis vastab kehtestatud nõuetele ning vastab ABB kvaliteedi- ning ohutuslastele nõuetele ning tagab meeldiva kontorikliima.

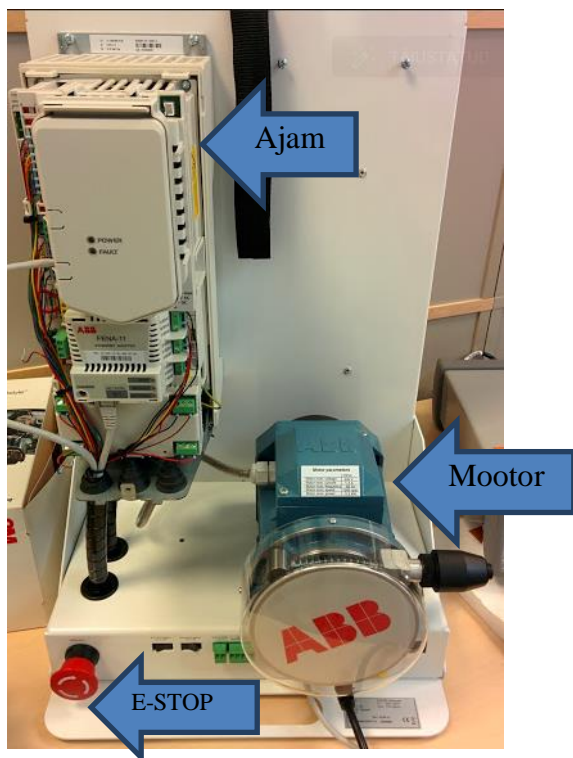
2. ABB MADALPINGEAJAMI TESTSEADME TUTVUSTUS

2.1 Testseadme kirjeldus ning kasutamine igapäevatöös

ABB madalpingeajamite ning taastuenergiategase tarkvarainsenerid kasutavad igapäevatööks 2 erinevat tüüpi madalpingeajami (edaspidi *ajam*) katseseadet (nimetustega ACS580 ja ACS880). Mõlemad seadmed on sarnase konstruktsiooniga koosnedes metall-alusest, ajamist, ajami IO juhtpaneelist, asünkroonmootorist, millele on konfigureeritud testimise protsessi vajalikkusest tulenevalt mehhaaniline pidur ning hädaolu korral kasutatav väljalülitus nupp (sele 2.1). Kõige olulisemad komponendid ligipääsetavuse seisukohast ning antud töös arvestamist vajavad on ajam, juhtpaneel ning mootor. Kuna antud katseseade on tegelikkuses projekteeritud müügiinseneridele demonstratsiooniesinemiste tegemiseks ei ole tarkvarainseneridel oluline kasutamaks ajami enda välist katett, seega näeb projekti aluseks oleva testseadme välimus välja natukene teistsugune (sele 2.2) kui selet 2.1 toodud pilt tootekataloogilt.



Sele 2.1 Madalpingeajami katseseade ACS880



a.



b.

Sele 2.2 Katseseadmed kontorikeskkonnas: a) ACS580, b) ACS880

Seadmele on kehtestatud välitingimuste nõuded (tabel 2.1), mis tagavad seadme vigadeta töö. Katseseadeldis töötab vahelduvvoolus pingel $U_1 \sim 100V - 240V$. Testrit on võimalik kasutada nii 115V kui ka 230V pinge korral. [2]

Kasutades testrit transpordikohvril võib tekitada ülekuumenemise ebapiisava jahutuse võimalikkuse tõttu, seega soovitatakse katseseadeldis transpordikohvril välja võtta enne kasutamist.

Tabel 2.1 Testrile kehtestatud välitingimuste nõuded

Parameeter	Väärtus	Ühik
Lubatud temperatuur:		
Transpordi puhul	-40 kuni +70	°C
Hoiustamisel	-40 kuni +71	°C
Töötamisel(külmumine ei ole lubatud)	-15 kuni +40	°C
Lubatud kõrgus töötamiseks	0 kuni 4000	m
Lubatud niiskustase	5 kuni 95	%

Tarkvarainsenerid kontrollivad testseadme abil erinevate ABB poolt välja mõeldud tarkvaraliste programmide toimimist. Antud töö kontekstis nimetab autor müra taseme mõõtmiseks kasutatavaid programme edaspidi režiimideks, millest antud töös on kasutusel kolm erinevat varianti.

Tarkvarainsenerid kasutavad testseadme tööle ning välja lülitamiseks spetsiaalset nuppu (E-STOP) testseadme alumises osas (märgitud noolega seel 2.2). Režiimide kontrollimiseks ning muutmiseks kasutavad tarkvarainsenerid juhtpaneeli, mis on ühendatud ülejäänud testseadmega andmesidekaabli abil.

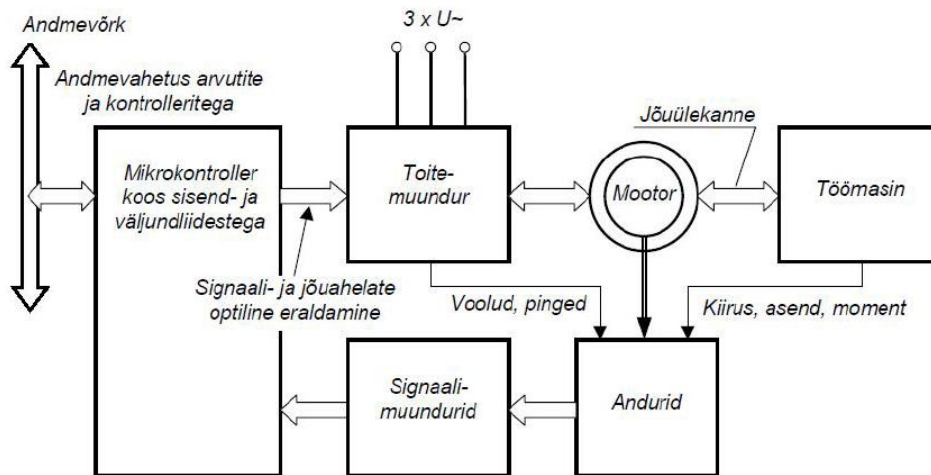
Antud töö seisukohast on tarkvarainseneridele oluline ajamile ligipääsetavus ning selle visuaalne nähtavus. Samuti on oluline pidev ligipääsetavus mehhaanilise piduri käepidemele ning samuti hädaohu väljalülitusnupp.

2.1.1 Ajam ja selle tööpõhimõte

Madalpingemuundur on tänapäeval kasutatavates elektriamites põhi-komponendiks kiiruse reguleerimiseks. Traditsiooniliselt oli sagedusmuundur ette nähtud mootori toitepinge ja sageduse sujuvaks reguleerimiseks. Tänapäeval kujutab sagedusmuundur terviklikku ajamiplokki, mis sisaldab toitemuundurit, andureid, juhtseadet ning võimaldab juhtida elektrimootorit ja tema poolt käitavat töömasinat. Samuti on võrguliidese abil ajamit rakendada keerukates automaatjuhtimissüsteemides. Tänapäeval kasutatakse erinevat tüüpi sagedusmuundureid, kõige enamasti alalisvoolu vahelüliliga muundurit.

Elektriam koosneb elektrimootorist, jõuülekandest, toitemuundurist ja juhtseadmetest. Mõnikord võib ühes ajamis olla ka mitu mootorit, jõuülekannet ja toitemuundurit. Umbes 60% maailmas toodetud elektrienergiast tarbitakse elektriamite poolt. Kuigi ka koduses majapidamises võib leida ajamitega seadmeid, näiteks külmutite kompressor, ventilaatorid, pesumasinad ja segistid, on peamiseks rakendusala ikkagi tööstus, energeetika ning transport [3]. Asünkroonmootori pöörlemiskiirus sõltub eelkõige toite sagedusest, mille muutmise saavutatakse sujuvat mootori pöörlemiskiiruse juhtimise. Pöördemomenti juhitakse pingega. Vastavalt sisendsignaalile juhivad alalisvoolu ja vahelduvvoolu elektriamid otstarbekalt töömasina kiirust, momenti ja asendit [4]. Sagedusmuundur alaldab toitepinget dioodsilla abil, kasutades kondensatoreid puhvrina ja IGBT transistorid väljundis annavad vajaliku sageduse ja pinget. Mootorit juhitakse nii pinget kui sageduse

reguleerimisega ning jälgides töövoolu tagasisidena. Sõltuvalt konkreetsest tehnilisest lahendusest ja valitud juhtimis põhimõttest kasutatakse ajamis eri tüüpi andureid voolude, pingete, asendi, kiiruse, kiirenduse, pöördemomendi või muude parameetrite mõõtmiseks. Ajamite üldine tööpõhimõte on näidatud seel 2.3[5]



Sele 2.3 Ajami tööpõhimõte

Ajam on kinnitatud testseadme metallist alusele kahe kinnitusvahendiga (seda tüüpi ajamit nimetatakse seinale paigaldatav tüüp) ning on seega ka stendilt kergesti eemaldatavad (sele 2.1 ja 2.2)

2.1.2 Asünkroonmootor

Testseadme koosseisu kuuluv mootor (sele 2.2) on ABB mootoritehase toodangust pärinev 0,18 kW võimsusega asünkroonmootor (tehniline nimetus M2VA 63 B 4 (3GVA 062 142-ASC)), mille andmed on toodud tabelis 2.2. [2]

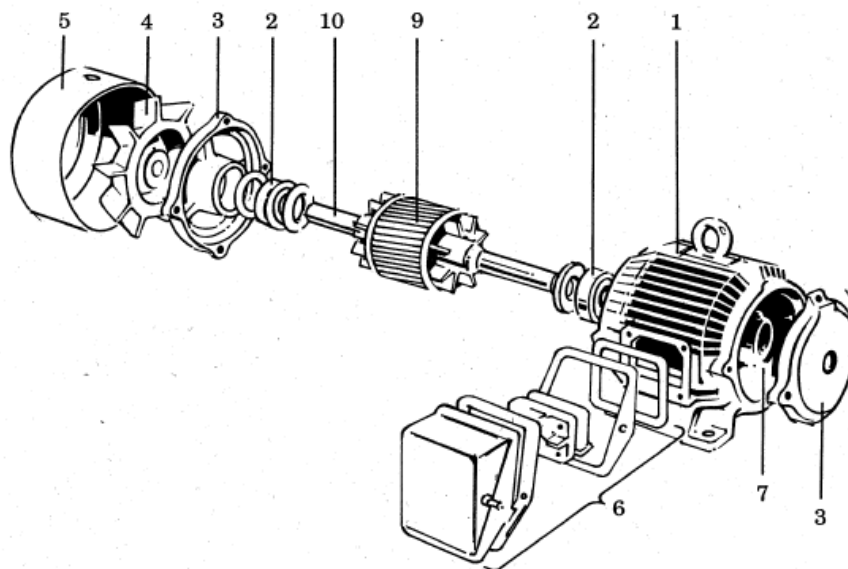
Tabel 2.2 Mootori põhikarakteristikud

Mootori parameetri nimi	Väärtus	Ühik
Mootori maksimaalne võimsus	0,18	kW
Mootori töötamise pinge vahemik	100-240	V
Liinivool	1,2	A
Võrgu sagedus	50	Hz
Mootori pöörlemisagedus	1360	p/min

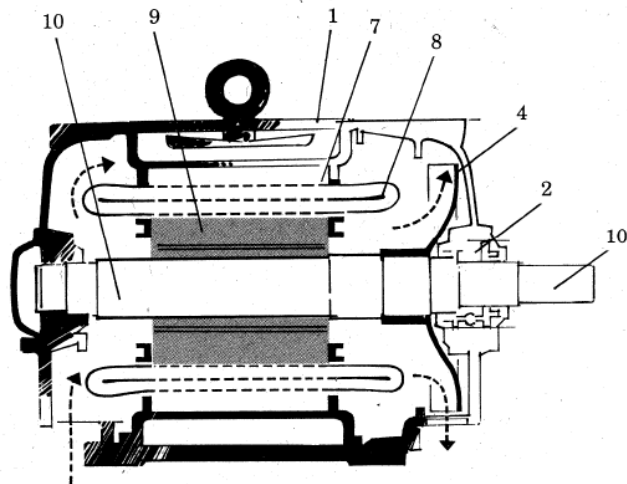
Asünkroonmootorid on ühed enamkasutatavamad jõuallikad maailmas. Peamiselt tuleneb see

tema vähest hooldusvajadust. Mootori põhiosadeks on staator ja rootor. Staatorimähise ülesandeks on pöörleva magnetvälja tekitamine. Mootori kiirus sõltub magnetvälja pöörlemise kiirusest ja viimane omakorda staatorimähise pooluste arvust ja toitevoolu sagedusest. Staator on mootori paigal seisev osa. [6]

Selel 2.4 ja 2.5 on toodud asünkroonmootori ehituse läbilõiked. Staator paikneb mootorikeres 1, mis fikseerib kõik masinaosad omavahel ja millega mootor kinnitatakse tööpingile (näiteks puutööpink). Veerelaagrid 2 paiknevad laagrikilpides 3, mis tagab masinaosade kontsentrisuse. Keres 1 paikneb staatori magnetsüdamik 7, mis on koostatud 0,3...0,5 mm paksustest stantsitud staatorilekkidest, mis on omavahel isoleeritud. Staatori uuretes on pöördmagnetvälja tekitav kolmefaasiline mähis 8. Laagritel pöörleb võllile 10 kinnitatud rootor 9. Vabal võlli otsal on tavaliselt ventilaator 4, mis mootori pööreldes puhub jahutusõhku mootorikere jahutusribide vahele. Ventilaator on kaetud kattega 5, millega välditakse pöörleva ventilaatori juhuslik puutumine. Mootori elektriliseks ühendamiseks on kerel klemmikarp 6. [6]



Sele 2.4 Asünkroonmootori ehitus



Sele 2.5 Asünkroonmootori ehituse läbilõige

Mootor on kinnitatud metallist alusele nelja mutri ning poldiga mis hoiavad mootorit kindlalt stendi küljes kinni. Mootori peamised mõõtmed on (saadud toote kataloogist ABB kodulehelt [2]): kõrgus 405mm, laius 155 mm ja sügavus 226. Samu andmeid kasutab autor peatükis 2.3 soojuskadude arvutamisel.

2.2 Soojuskaod testseadmes

Energia muundamine elektrimasinas on paratamatult seotud kadudega nii ajamis kui ka mootoris (sele 2.6).

Peamised soojusallikad testseadmes on

- 1) Alaldi soojuskaod
- 2) Inverteri juhtimis- ja lülituskaod
- 3) Mootori vaseskaod
- 4) 24V toiteploki soojuskadu

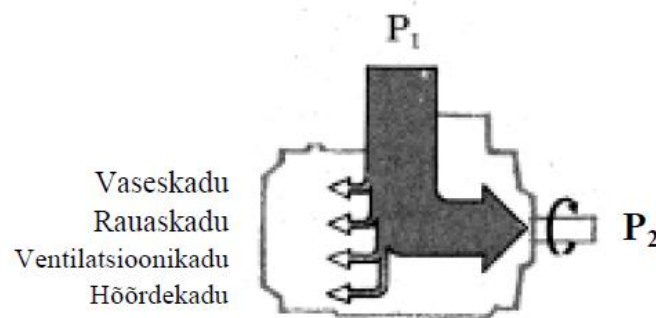
Antud töös ei arvestata hüstereesikadusid ja pöörisvoolusid, kuna nende määratlemine viiks töö eesmärgist liialt eemale kuna nõuaks juba suuremat analüüsi.

Kuna peamiseks soojuskadude allikaks katseseadmes on elektrimootor, kirjeldab autor neid põhjalikumalt. Nimelt elektrimootori kaod tekivad:

- voolu kulgemisel läbi mähise juhtme, kus tekib mittesoovitav soojus. Seda kadu tuntakse kui vaseskadu. Vaseskadu on võrdeline voolutugevuse ruuduga ja juhi takistusega, valemi (2.1) kujul

$$P_{Cu} = I^2 r \quad (2.1)$$

- magnetsüdamikus ajaliselt muutuva magnetvälja toimel hüstereesist ja pöörivooludest tekkiva soojusena. Seda kadu tuntakse kui rauaskadu (ka teraseskadu). Rauaskadu on seda suurem, mida suurem ja massiivsem on magnetsüdamik, mida suurem on magnetsüdamiku materjali hüstereesisilmuse pindala ja mida suurem on ümbermagneetamise sagedus
- masinaosade ja õhu vahelisest hõõrdest – ventilatsioonikadu
- hõõrdest laagrites – hõõrdekadu



Sele 2.6 Soojuskadod asünkroonmootoris

Kadude tõttu on elektrimasina kasulik võimsus võllil P_2 alati väiksem kui elektrivõrgust tarbitav võimsus P_1 . Nende omavahelist suhet iseloomustab masina kasutegur η valemi (2.2) alusel

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \quad (2.2)$$

Elektrimasina kasutegur on enamasti vahemikus 0,7...0,9. Kasutegur sõltub masina tüübist ning on seda suurem, mida suurem on masin, küündides väga suurtes masinates isegi üle 0,98. Käesoleva magistritöö aluseks oleva katseseadme koosseisu kuuluva mootori kasutegur on tootja andmete põhjal 0,75. Kuna kasutegur sõltub ka masina koormusest, mis tähendab et kaod kasvavad koormuse suurenemisel, suureneb sellega ka soojenemine. Elektrimasina lubatava koormuse määrabki tavaliselt soojenemise lubatav piir, harvem mingi osa

mehaaniline tugevus või voolutihedus liugkontaktidel. Seepärast on väga oluline luua soojuse ära juhtimiseks head jahutustingimused. Jahutuse seisukohast on oluline, et mootor saaks piisavalt alla 40 °C jahutusõhku. Kui mootori jahutusribide vahed on ummistunud, halvenevad jahutustingimused ja mootor võib liigselt soojeneda. Seetõttu tuleb mootor paigaldada nii, et see ei oleks mustusega liiga kergesti saastatav ning et mootorit oleks vajaduse korral kerge puhastada.[6]

Samuti on ka kogu katseseadme tööle on sätestatud ranged töökeskkonna piirid, mille ületamine võib kaasa tuua katseseadme ülekuumenemise, mis võib kontori tingimustes ilmtingimata olla ohtlik.

2.3 Termoanalüüs Flir i3 termokaameraga ja nende abil soojuskadude arvutus

Mootori jahutuse välja arvestamiseks kasutab autor ABB D&R labori kasutusse kuuluvat termokaamerat FLIR i3 selet 2.7 (peamised tehnilised omadused on toodud tabelis 2.3), millega määratleda testseadme termodünaamiline mudel projekteerimaks vajaminevat õhuavausi.



Sele 2.7 Flir i3termokaamera

Inimesele nähtamatut infrapunakiirgust kiirgavad kõik objektid, mis on temperatuuriga üle – 273 °C. Infrapunakaamera suudab tuvastada ning pildi kujul esitada mõõdistatava objekti

soojad ja külmad piirkonnad, mis teeb infrapunakaamerast väärtusliku diagnostikatööriista mitmel tööstusalal, kuna see suudab leida probleeme, mis ei ole nähtavad palja silmaga, hinnata kiirelt kahjusid ja teha ennetavat kontrolli ning enamasti seda kõike ilma midagi lahti võtmata [7] .

Mõned valdkonnad ja probleemid, kus termograafiat kasutatakse:

- soojalekete, energiakadude ja kehva isolatsiooni kindlakstegemine
- elektrikilpide ja alajaamade ülevaatus
- niiskuskahjustuste kindlakstegemine
- tootmisprotsesside jälgimine
- põrandakütte torustike kontroll
- arvutiparkide koormuse testimine
- põletike uurimine veterinaarias ja humanitaarmeditsiinis
- militaar-, pääste ja turvarakendused
- meditsiin [8]

Tabel 2.3 Flir i3 tehnilised omadused

Kirjeldav näitaja	Väärtus
Temperatuuridispasoon	-20...+250 °C(täpsus +-2°C või +2% lugemisel)
Termotundlikkus	0,15°C
Spektraalala	7,5...13µm
Kiirgustegur	0,2...1,0 muudetav/valitav materjali nimekirjast
Detektor	60x60 lamemaatriks (FPA)
Vaateväli (FOV)/IFOV	12,5°(H) x 12,5°(V) / 3,7 mrad

Konvektsioonist tulenevad soojuskaod sõltuvad pinna temperatuuri ning keskkonna temperatuuri vahest ning konvektiivsest soojusjuhtivuse koefitsendist (sõltudes temperatuuri vahest ning kokkupuutuva pinna olekust). Konvektiivne soojusjuhtivuse koefitsent arvutatakse kasutades tugevusarvutusi ning ühikuta suurust. Kalkuleerides ühikuta suurustega ning tugevusarvutustega on väga keerukaks. Kuid vaatamata sellele võib teadusartiklitest ning kirjandusest leida selle teostamiseks palju erinevaid meetodeid.[9]

Konvektiivset soojusjuhtivuse koefitsenti väljendatakse tihti kui funktsionaalselt sõltuvust temperatuuri vahest väljaspool termokineetilist kihti ning vertikaalse seina pinna temperatuuriga.[9]

Soojuskaod konvektsioonist leitakse valemi abil:

$$q_t = \alpha_k (t_1 - t_2) \quad (2.3)$$

Kus, α_k – Konvektiivsoojusülekanne koefitsent

t_1 – Õhutemperatuur

t_2 – Pinna temperatuur

Kogu hall-keha kiirgus (keha, mis kiirgab konstantses osas vastates musta keha kiirgusele) kalkuleeritakse Stefan-Boltzmanni reegli järgi, peale mida kogu keskkonna kiirguse intensiivsus lahutati kogu hall-keha kiirguse intensiivsusest. Valem arvutamaks soojuskadusid keha soojuskiirgusest on järgnev:

$$I = (\sigma \cdot \varepsilon_s \cdot T_s^4) - (\sigma \cdot \varepsilon_t \cdot T_t^4) \quad (2.4)$$

Kus ε_s - hall-keha kiirgustegur

ε_t – keskkonna kiirgustegur

T_s – hall-keha termodünaamiline temperatuur

T_t – keskkonna termodünaamiline temperatuur

σ – Stefan-Boltzmann'i konstant

Kogu soojuskadu leitakse valemi abil

$$Q = S(I + q_t) \quad (2.5)$$

Kus, q_t – soojuskaod konvektsioonist

I – hall-keha kiirguse intensiivsus

S – pind mille soojuskadusid leiame [9]

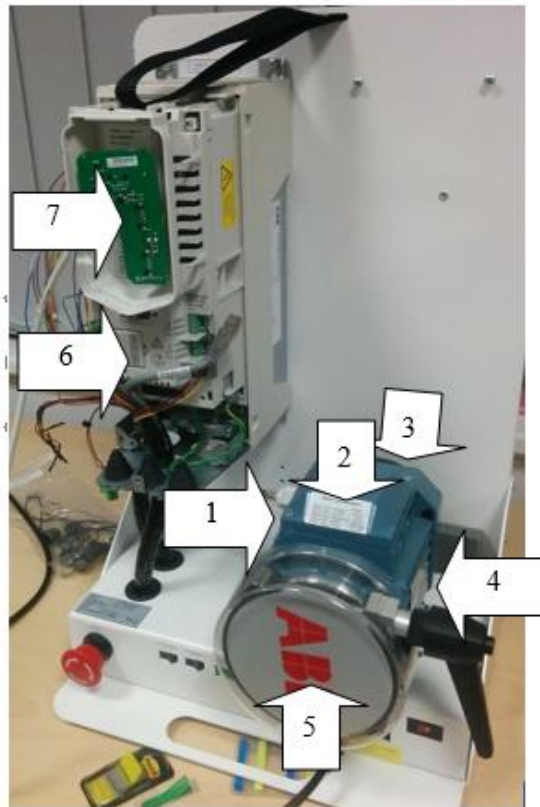
Enne kalkulatsioonide tegemist peab määratlema ka piirtingimused, mis on toodud tabelis 2.4

Tabel 2.4 Piirtingimused soojusenergia mõõtmiseks termokaamera abil

Piirtingimuse nimetus	Väärtus	Ühik
Kiirgustegurid materjalides	0,95	-
Õhutemperatuur	24	°C
Õhuniiskus	21	%
Mõõtekaugus	0,5	m

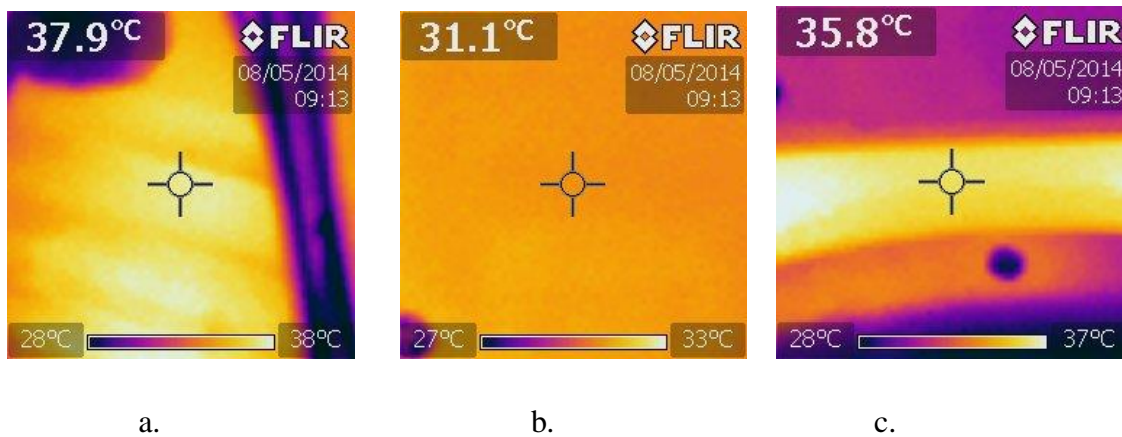
Tulemuste saamiseks mõõdeti temperatuur kohe aparadi käima panemisel (katseseade töötas koguaeg režiimil 1, kirjeldatud peatükis 3.3) erinevatest punktides ning korrati katseid erineva ajalise vahe järel. Viimane mõõtmine teostati tunni aja möödumisel peale testseadme tööle lülitamisest. Reaalsuses sellist olukorda ei pruugi tekkida, kui katseseadet niivõrd pika aja jooksul lastakse töötada, vaid pigem kasutatakse energia kokkuhoiu mõttes katseseadet lühema aja jooksul.

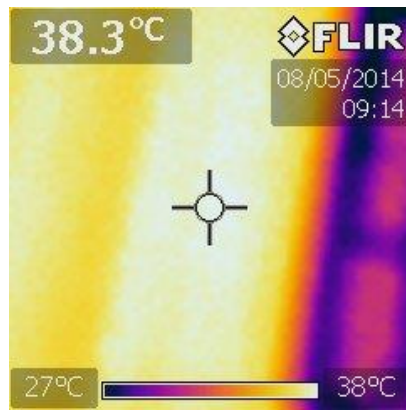
Katsed teostati punktides 1-7 toodud seel 2.8



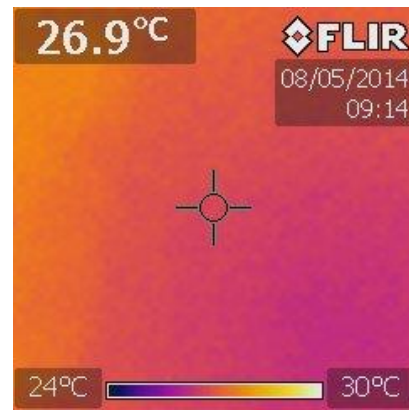
Sele 2.8 Termoanalüüsi mõõtepunktid testseadmel

Katse algust tähistavad pildid on toodud Selel 2.9

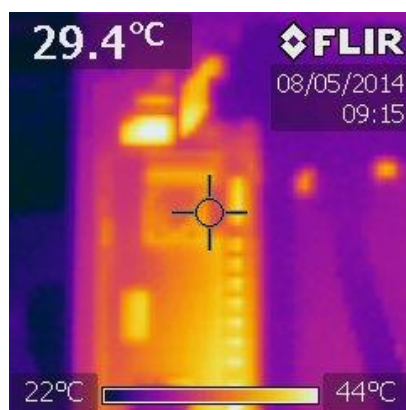




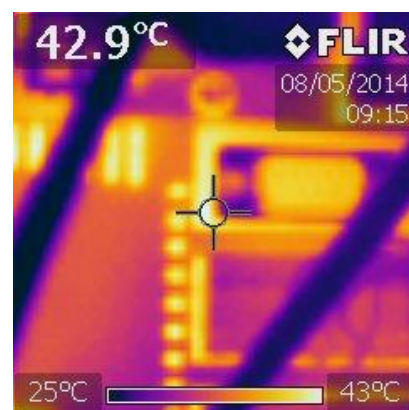
d.



e.



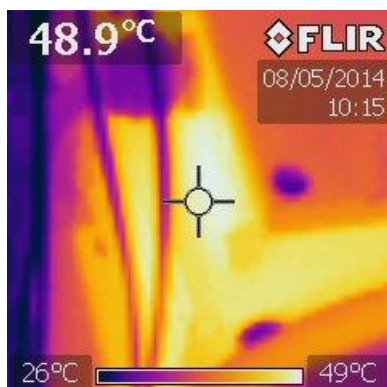
f.



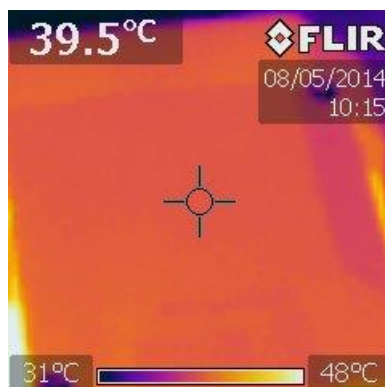
g.

Sele 2.9 Termokaamera pildid (katse alguses) a) katsepunkt1, b) katsepunkt 2, c) katsepunkt 3, d) katsepunkt 4, e) katsepunkt 5, f) katsepunkt 6, g) katsepunkt 7

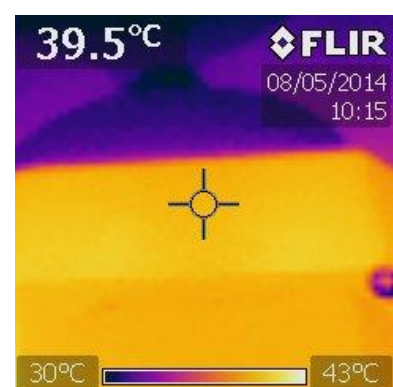
Tunni aja möödudes teostatud pildid on toodud 2.11



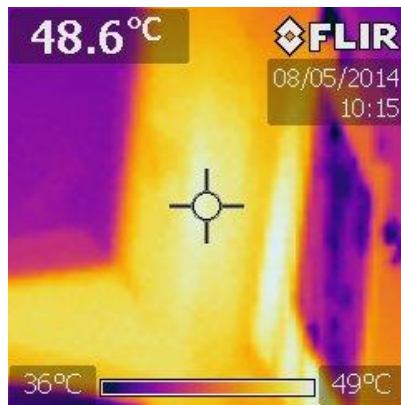
a.



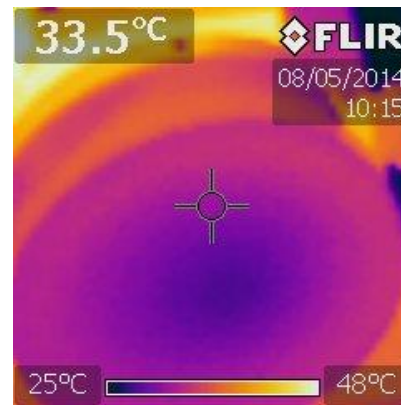
b.



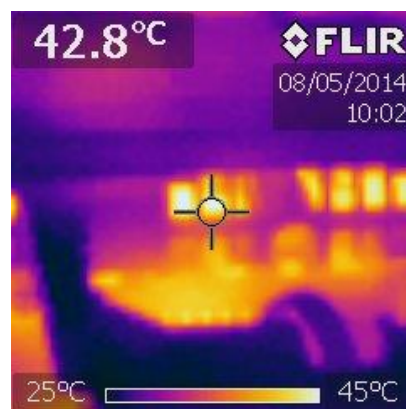
c.



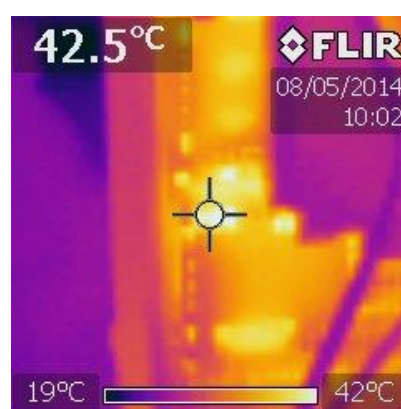
d.



e.



f.



g.

Sele 2.10 Termokaamera pildid (katse lõpus): a) katsepunkt1, b) katsepunkt 2, c) katsepunkt 3, d) katsepunkt 4, e) katsepunkt 5, f) katsepunkt 6, g) katsepunkt 7

Kasutades aritmeetilise keskmise arvutamise valemit leiti, et mootori keskmine pinnatemperatuur oli katse lõpus 39,58 °C ning ajami keskmine pinnatemperatuur oli 39,75 °C.

Kasutades mõõdetud andmeid valemis 2.3 ning teades eelnevalt, et alumiiniumi $\alpha_k = 237 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ ning ajami pealiskatte PTFE $\alpha_k = 0,25 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ leiame konvektiiv soojuskaod mootoris ning ajamis

$$q_{tmootor} = 237(297,15 - 312,58) = 3656,9 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$$

$$q_{tajam} = 0,25(297,15 - 312,90) = 3,9 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$$

$$q_t = 3660,8 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$$

Kasutades valemit 2.4, leiame kiirguse soojuskaod,

$$I_{mootor} = (5.670373 \times 10^{-8} \times 0,95 \times 312.58) - (5.670373 \times 10^{-8} \times 1 \times 297,15^4) = 514,3 - 442,1 = 72,2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2},$$

$$I_{ajam} = (5.670373 \times 10^{-8} \times 0,95 \times 312.90^4) - (5.670373 \times 10^{-8} \times 1 \times 297,15^4) = 516,4 - 442,1 = 74,3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2},$$

$$I_t = 72,2 + 74,3 = 146,5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2},$$

Kasutades valemit 2.5 ning arvutades eelmistes punktides toodud mõõtmete alusel mootori ning ajami pindala (mootor 0,160m² ja ajam 0,379 m²), leiame kogu soojuskaod

$$Q_{mootor} = 0,160 \times (72,2 + 3656,9) = 596,65 \text{ W},$$

$$Q_{ajam} = 0,379 \times (74,3 + 3,9) = 29,63 \text{ W},$$

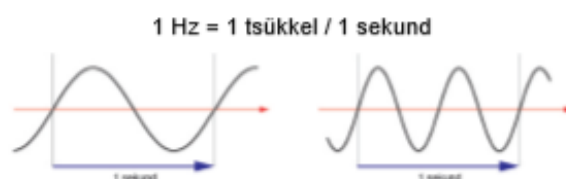
$$Q_t = 596,65 + 29,63 = 626,29 \text{ W},$$

Arvutustest selgus, et soojuskadu mis tekib mootori ning ajami töötamise ajal on 626,29W. Leitud suurust kasutatakse edaspidistes peatükkides määramaks õhuvoolamise hulga ning sellega ka ventilatsiooniseadme valiku.

3. PROBLEMIKIRJELDUS NING KATSED

Käesolevas peatükis toob autor välja töös käsitletava probleemi tausta ning teostab ka katsed määratlemaks müra helitaseme ning spektri.

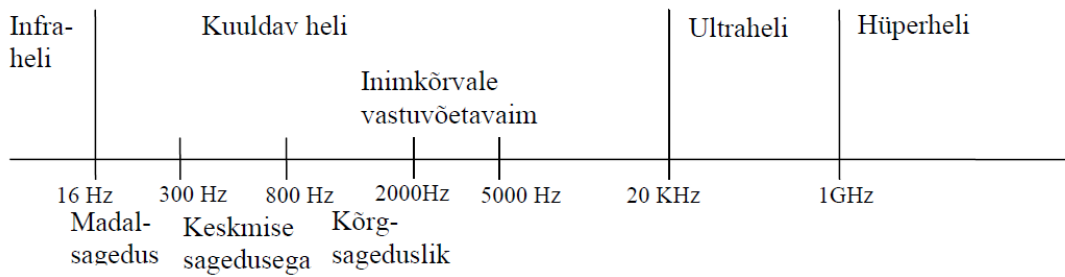
Heli on elastses keskkonnas leviv elastsusaine, mida on võimalik kuulda. Laiemas tähenduses mõistetakse heli all igasugust elastses keskkonnas levivat lainet. Sagedus on aga termin, mis väljendab tsüklite arvu ajaühikus. Sagedust mõõdetakse Hertses ning seda kujutatakse graafiliselt (sele 3.1). [10]



Sele 3.1 Sagedus

Mida suurem on heli sagedus, seda kõrgema heliga on tegemist.

Heli tekitaja ehk heli allikas võib olla ükskõik mis suudab panna heli võnkuma. Näiteks ühest otsast kinnitatud terasriba, inimese hääleaparaat jne. Heli levib gaasides ja tahketes materjalides, kuid ei levi vaakumis. Heli võib iseloomustada mitmesuguste näitajate abil. Heli sagedust f mõõdetakse Hertses (Hz) ja see näitab võnkumise sagedust (võnke perioodide arvu) ajaühikus (sekundis). Mida kõrgem on heli sagedus, seda kõrgem on kuuldav toon. Kõrva tundlikkus on suurim helisagedusel 2000...5000 Hz. Täiskasvanu tajub heli 16...20 000 Hz, väikelastel ulatub see kuni 40000 Hz ja vanuritel langeb 8000...10000 ja alla selle (sele 3.2). Infra- ja ultraheli asuvad väljaspool kuulesagedust. Kuigi kõrvaga ei ole neid võimalik kuulda, tekitavad nad siiski närvilisust ja ebamugavust. Helilaine pikkus λ (m) on helilainete levimisel õhus pikilainena tekkivate hõreduste ja tihenduste vahekaugus. Kuuldava heli lainepikkused jäävad 21 m ja 17 mm vahele. Lainepikkused erinevate sageduste puhul ja erinevates materjalides on toodud tabelis 3.1. Heli levimiskiiruseks v (m/s) nimetatakse keskkonnaosakeste liikumise kiirust helilaines. Õhutemperatuuri 20°C juures on heli levimiskiirus õhus 343 m/s. Muude materjalide puhul on erinev. [11]



Sele 3.2 Heli sagedus

Tabel 3.1 Heli levimise kiirus materjalides

Materjal	v m/s	Pc kg/m ² s
Õhk	343	413
Vesi	1 450	1 430 000
Puit	3 000	2 770 000
Tellismüür	3 600	7 610 000
Betoon	4 000	8 000 000
Teras	5 000	40 400 000
Klaas	5 200	17 300 000
Kumm	40	4 600

3.1 Müra mõju inimesele

Inimesele mõjub liigeses müras olemine nii füsioloogiliselt kui ka psühholoogiliselt. Pidevalt müra sees töötamine võib häirida und, põhjustada südame-veresoonkonna haigusi ning kuulmise kaotust, vähendada sooritusvõimet, tekitada tundlikkust, agressiivsust, stressi ja muutusi sotsiaalses käitumises.

Müra mõju näitlikult erinevatel tasemetel:

Optimaalne müra 10–20 dBA esineb näiteks vaikse ilmaga vabas looduses.

Kontoris on vastuvõetav müra 50–55 dBA, mis ei sega tööd.

Üle 60 dBA müra hakkab segama keskendumist. Seda teeb eriti katkendlik ja impulssmüra, näiteks telefonihelin, teiste inimeste jutt, sisse kostev tänavamüra (autod).

70 dBA segab telefoniga kõnelemist. 80 dBA segab inimeste omavahelist suhtlemist.[12]

Tarkvarainseneri enda arvamuse kohaselt on suurimaks müraallikaks mootor. Teiseks müraallikaks on jahutusventilaatori töötamisel tekkiv heli. Kolmandaks tekib müra pooljuhtide lülitamisel.

3.2 Kontoris määratletud müratasemete normid

Vastavalt Töötervishoiu ja tööohutuse seadusest defineeritakse müra kui inimest häirivat või tema tervist ja heaolu kahjustavat heli. Kuna antud lõputöö kirjutamise aluseks on juba häirima hakanud helitaseme vähendamine on hea võrrelda hetkeolukorda seadusest tulenevate normidega. Tööstusettevõtete müra lubatud ekvivalenttasemed on toodud tabelis 3.2 ning mürataseme normid büroo- ja haldushoonetes tabelis 3.3.

Hoonestatud või hoonestamata alad jaotatakse üldplaneeringu alusel: I kategooria - looduslikud puhkealad ja rahvuspargid, puhke- ja tervishoiuasutuste puhkealad; II kategooria - laste- ja õppeasutused, tervishoiu- ja hoolekandeadasutused, elamualad, puhkealad ja pargid linnades ning asulates; III - kategooria sega ala (elamud ja ühiskasutusega hooned, kaubandus-, teenindus- ja tootmisettevõtted); IV - kategooria tööstusala. Ajamite ja taastuenergiaseadmete tehas kuulub III kategooria alade hulka.[13]

Tabel 3.2 Tööstusettevõtete müra ekvivalenttase $L_{pA,eq,T}$, dB

	päeval	öösel
I kategooria	45	35
II kategooria	50	40
III kategooria	55	45
IV kategooria	65	55

Tabel 3.3 Mürataseme normid büroo- ja haldushoones

Nõupidamisruumides, lugemissaalides, võrdsustatud ruumides	töökabinettides, õppeklassides ja nendega	Hoone tehnikommunikatsioonid	$L_{pA,max}$ (dB) 35
Avatud näituseruumides	plaanilahendusega tööruumides,	Hoone tehnikommunikatsioonid	$L_{pA,max}$ (dB) 40

Kuvariga töötamise tervishoiu ja tööohutuse nõuded sätestavad nõuded töökeskkonnale: §4 lõige 1- Seadmetest lähtuv müra ning taustmüra tuleb viia nii madalale tasemele, et müra ei häiri keskendumist ega suhtlemist. [14]

3.3 Töös kasutatav müramõõtmise meetodika

Müratasemeid mõõdeti ABB madalpingeajamite ja taastuvenergiatega kolmandal korrusel kahel erineval moodusel. Mõõtmisel rakendas tarkvarainsener ajamile kolme erinevat režiimi:

- 1) Tühijooks – seadme lülitussagedus 3kHz
- 2) Mootorile on rakendatud mehhaaniline pidur
- 3) Dünaamiline režiim

Esimeseks katseks kasutati 3M müramõõdikut SD-200 (sele 3.3). Antud aparaat kuulub ABB QMS, EMS & OHS Spetsialisti töövahendite hulka mõõtmaks tehases olevaid müratasemeid. Mõõtmiseks oli võimalik valida erinevaid tüüpe funktsioone ning autor otsustas kasutada A/S

sageduse vahemikus mõõtmist, mis tähendab et sagedus mida mõõdetakse jääb vahemikku 20Hz kuni 20kHz.



Sele 3.3 3M müramõõdik SD-200

Teiseks meetodiks mürataseme kaardistamiseks kasutas autor vabavaralist Audio SpectrumView programmi koos väiksete mõõtmetega mikrofoniga, mis oli ühendatud arvuti audiopistikusse. SpectrumView programmiga on võimalik analüüsida heli sagedustel 10 kuni 20kHz ning määratleda näidete kõrgustest erinevaid tasemeid (autor kasutas taset 0- 8000Hz, mis sai valitud esmase katse tegemiseks juhuslikult, eeldades et tegemist on pigem madalate sagedustega). Samuti on antud programmiga võimalik mõõta nii hetkelist, keskmist kui ka maksimaalseid tulemusi.

3.4 Müra mõõtmise tulemused

Müramõõdikuga SD-200 teostati mõõtmised kolmanda korruse kontori erinevates punktides (Lisa 1) mille tulemused on kantud tabelisse 3.4.

Tabel 3.4 Müratasemed ABB Ajamite ja taastuenergia tehase kontori III korruse osas.

Asukoht/Režiim	Dünaamiline (dB)	Piduriga (dB)	Mitu, dünaamiline (dB)
1	59,5	64,9	67,4
2	45,7	48,8	51
3	48,2	50,2	54,2
4	48,5	51,5	55,2
5	46,4	49,0	-
6	43	-	-

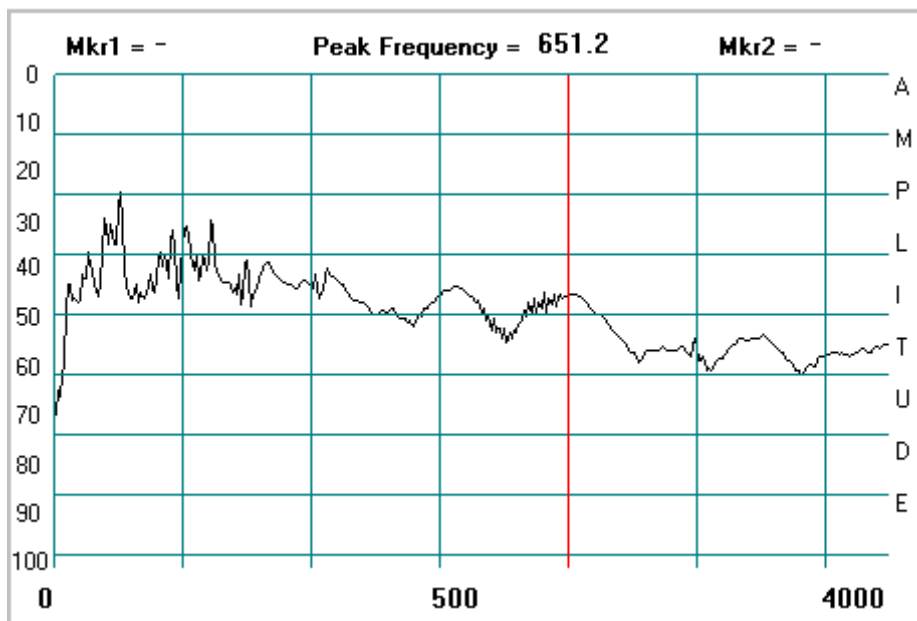
Andmetest võib näha, et kõige suurem müratase mõõdeti testinseneride laudade juures ulatudes üle 67 dB.

Autor mõõtis ka müratasemed otse testriit endalt võttes tulemused testri erinevatelt külgedelt. Tulemused on toodud tabelis 3.5. Tulemustest on näha, et kõige rohkem heli kandub kontorisse just eest ning paremalt poolt. Antud asjaolu võtab autor katte projekteerimisel arvesse. Testimiseks kasutati punktis kirjeldatud seadet

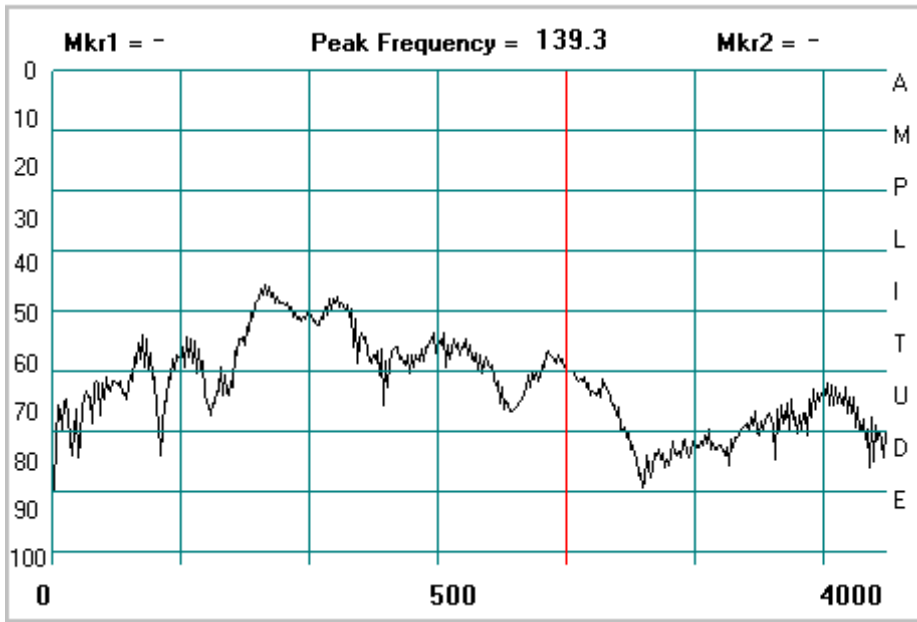
Tabel 3.5 Müratasemed madalpingeajami testriit

Mõõtmise asukoht	Müratase (dB)	
	Režiim1	Režiim2
ülalt	52,6	71,4
alt	-	55,6
paremalt	47	73,9
vasemalt	45,9	63,3
eest	47	68
tagant	61,3	-

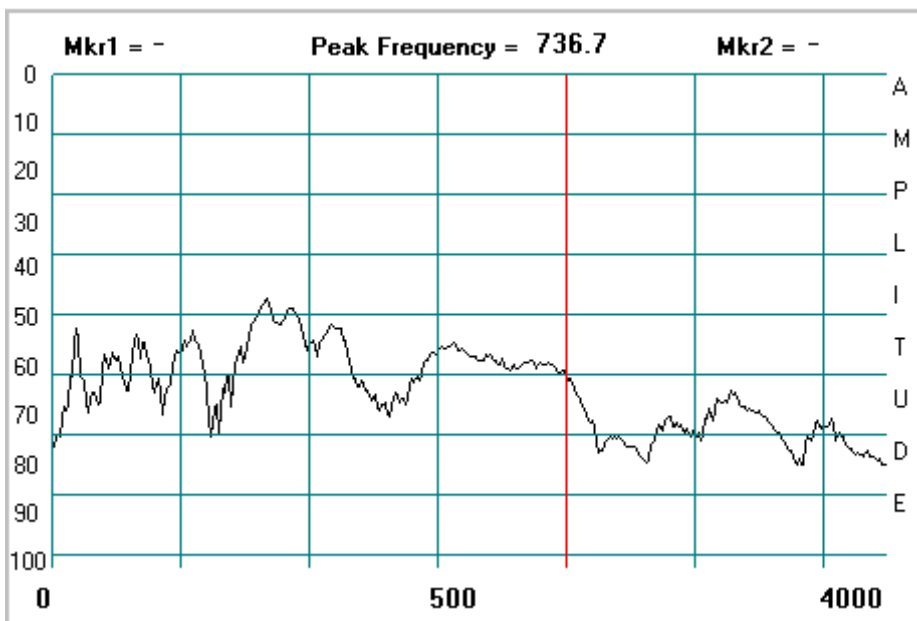
SpectrumView programmi abil teostati mõõtmised 2 erinevas kontori punktis kasutades 3 erinevat režiimi. Esmased mõõtmise tulemused on esitatud graafiliselt (sele 3.4– 3.9).



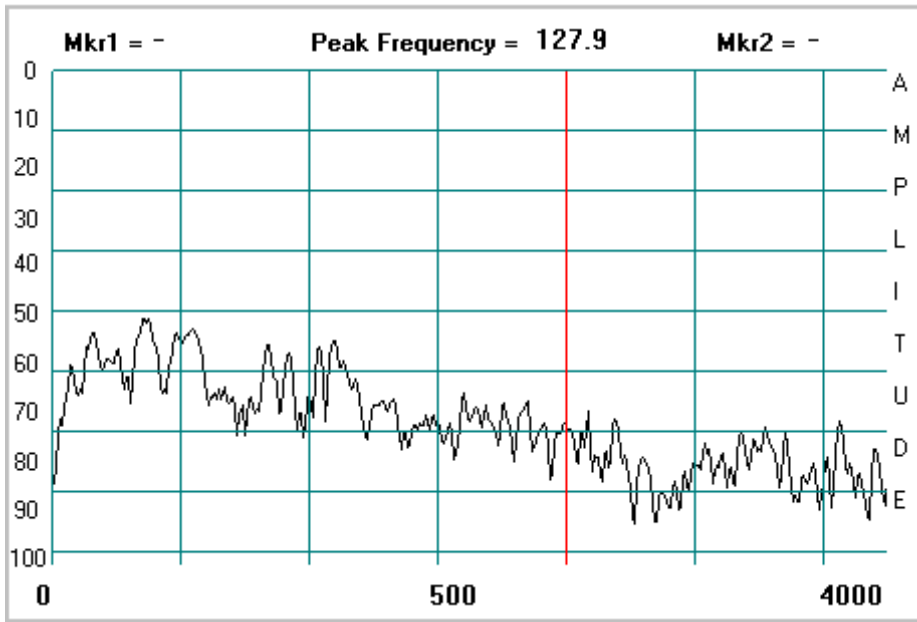
Sele 3.4 Režiim 1, asukoht 1



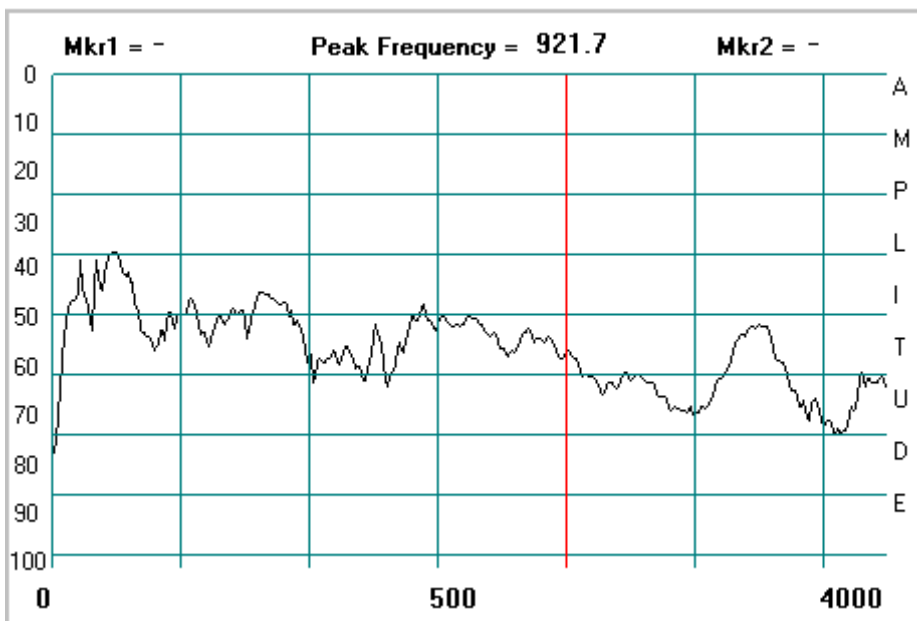
Sele 3.5 Režiim 1, asukoht 2



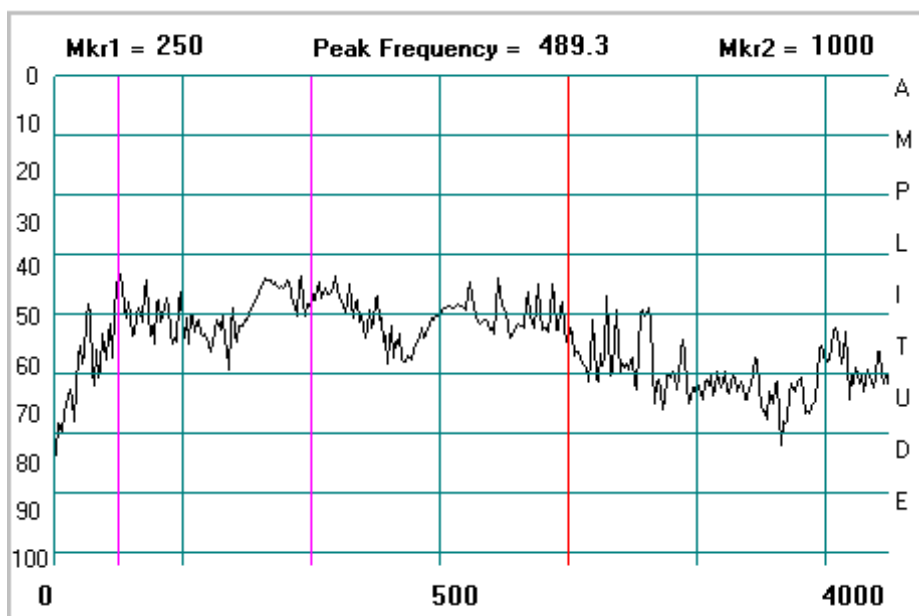
Sele 3.6 Režiim 2, asukoht 1



Sele 3.7 Režiim 2, asukoht 2

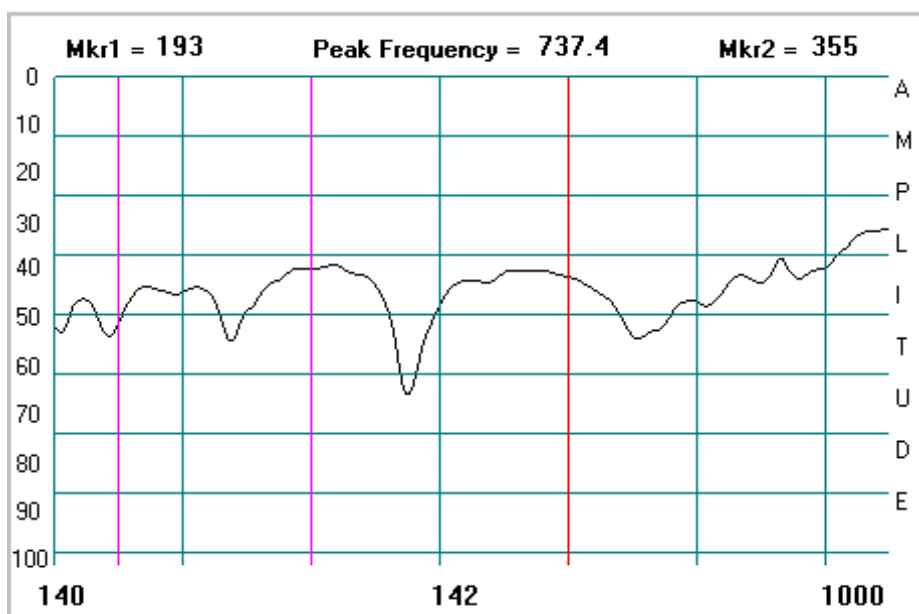


Sele 3.8 Režiim 3, asukoht 1

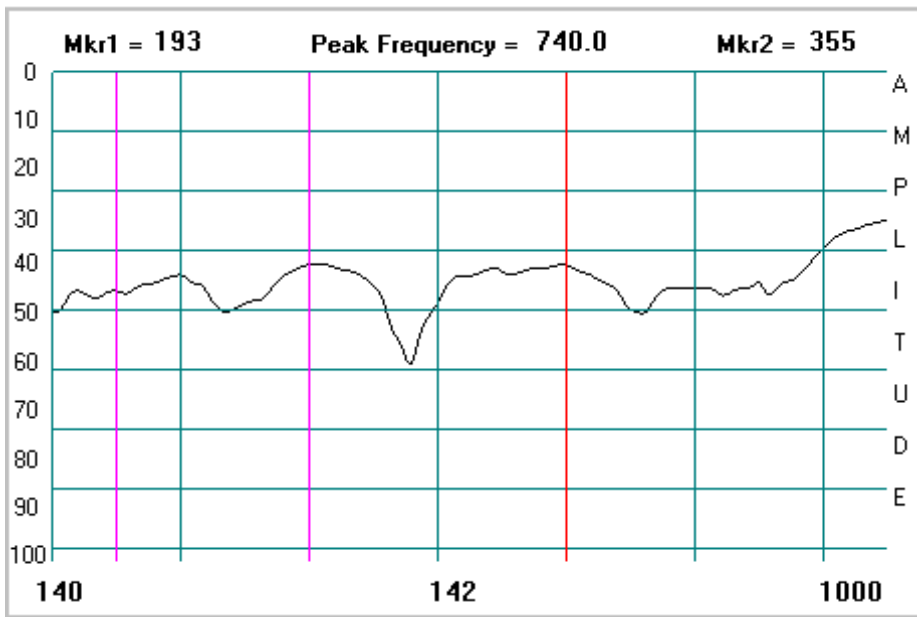


Sele 3.9 Režiim 3, asukoht 2

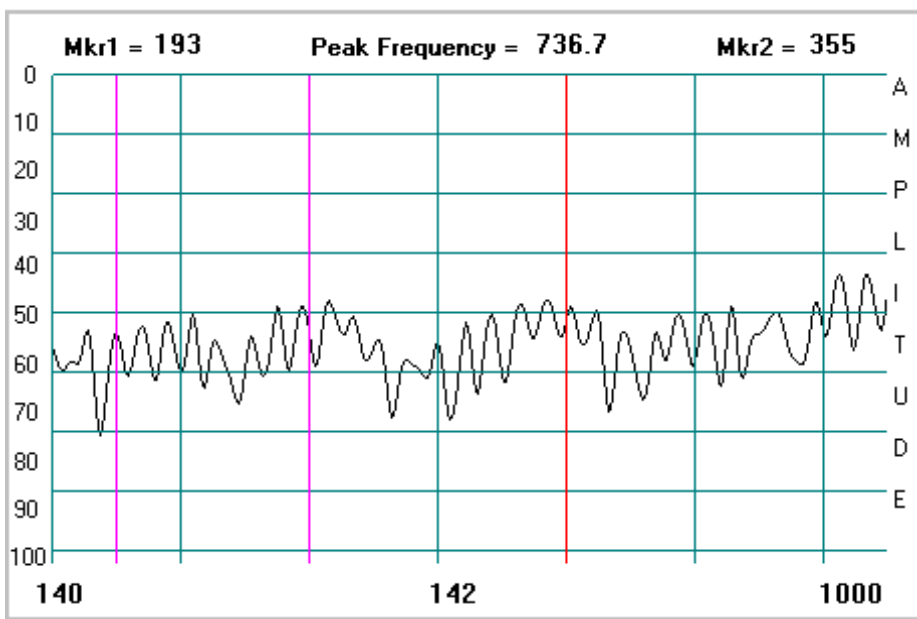
Esmastele mõõtmiste graafikuid vaadates selgus, et oluline müra jäi vahemikku 200-800 Hz. Kuna ka A asukoht erines B asukohast märgatavalt teostati uued katsed ainult asukohas A. Samuti otsustati katsed teostada testri koosseisu kuuluva mootori erinevatel pöörlemisagedustel (0; 25; 50; 75 Hz) ning režiimil 1 ja 3 (tühijooks ja dünaamiline). Tulemused on toodud graafikutena seledel 3.10-3.17.



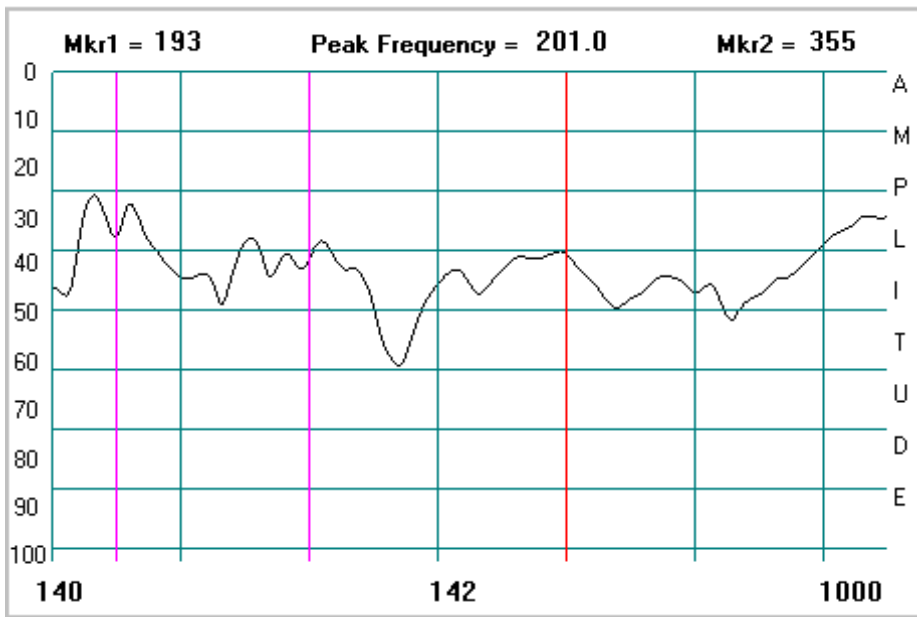
Sele 3.10 Režiim 1, pöörlemisagedus 0Hz



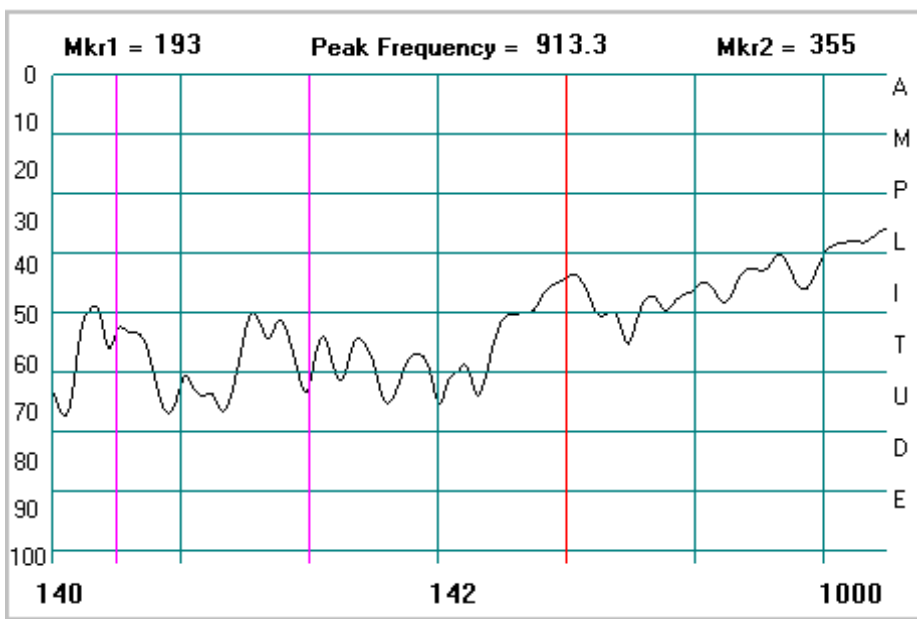
Sele 3.11 Režiim 1, pöörlemisagedus 25Hz



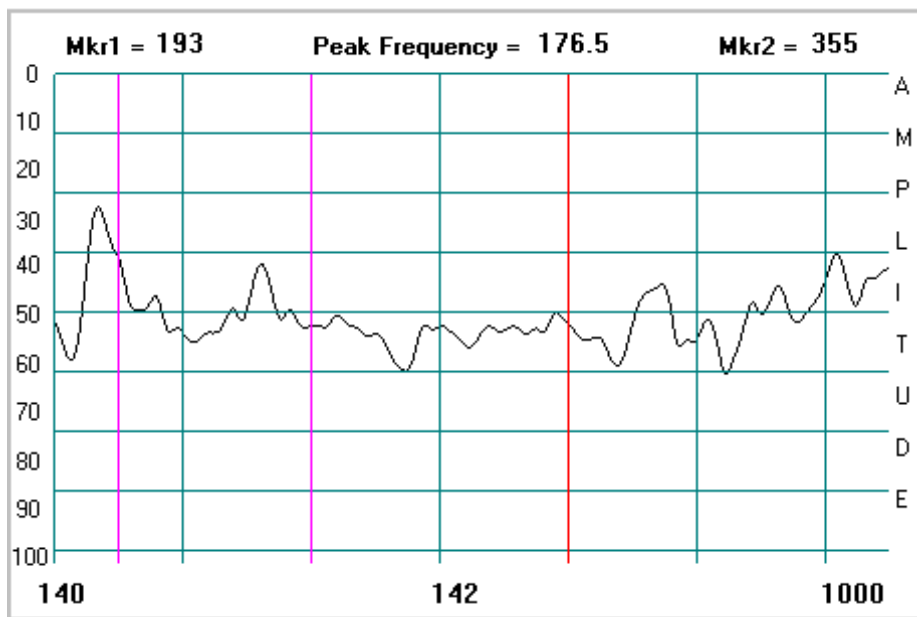
Sele 3.12 Režiim 1, pöörlemisagedus 50Hz



Sele 3.15 Režiim 3, pöörlemisagedus 25Hz



Sele 3.16 Režiim 3, pöörlemisagedus 50Hz



Sele 3.17 Režiim 3, pöörlemisagedus 75Hz

Tulemustest võib järeldada, et tegemist on madalal sagedusel tekkiva müraga, mida tuleb katte projekteerimisel arvesse võtta. Kuna erinevad materjalide tüübid ja nende paksused summutavad erinevaid helisagedusi erinevalt, siis võimaldab heliallika sagedusanalüüs täpsemalt projekteerida helisummutusmeetmeid. Heliallika analüüs võimaldab ka projekteerimisel arvesse võtta võimalikke resonantside tekkimise ohtu nii seadme ruumalas kui ka katte konstruktsioonis.

3.5 Heli neelavad materjalid

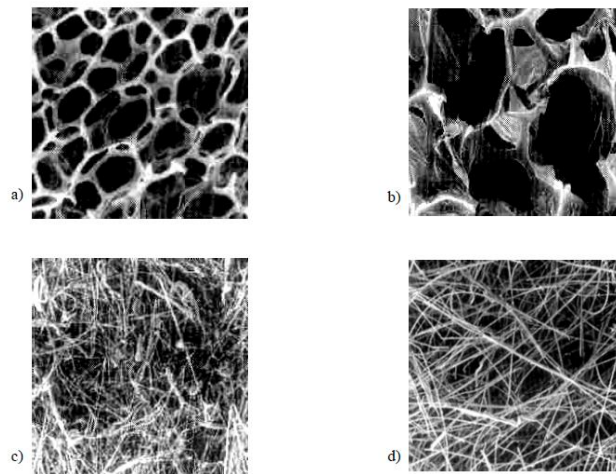
Müra vähendamiseks on olemas kolm põhilist moodust:

1. Asendada heli tekitav allikas vähem heli tekitava allikaga,
2. Blokeerida heli tahke, raske materjaliga mis takistab helilainete ülekandumist,
3. Kasutada kerget, poorset materjali, mis neelaks heli endasse.

Heli neeldumist nimetatakse nähtuseks, kus heli neeldub muutudes akustilisest energiast soojusenergiaks. Heli neelduvad materjalid on kiulised, kergekaalulised ning poorset omades poorset struktuuri vastastikku läbitavates tühimikes, milledes akustiline energia konverteeritakse soojusenergiaks. Seega võib öelda, et heli neelav materjal on hajutava struktuuriga, mis käitub muundurina konverteerimaks akustilist energiat soojusenergiaks.

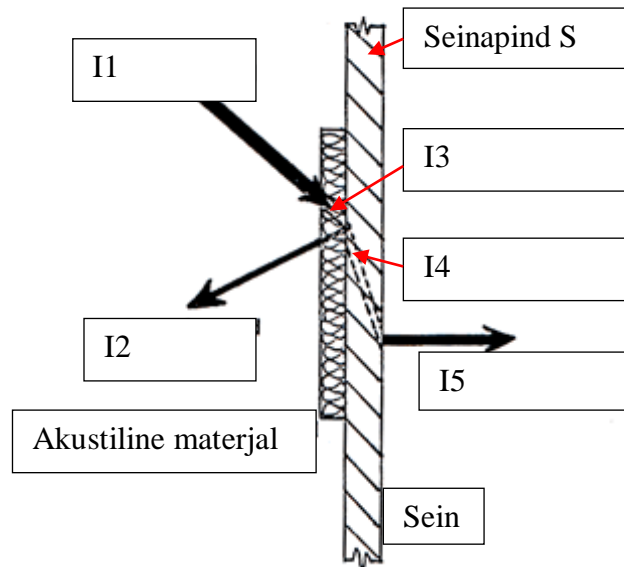
Materjali neeldumiskarakteristikud sõltuvad eelkõige materjali paksusest, tihedusest, poorsusest, voo takistusest, kiudude paiknemisest materjalis. Samuti sõltub neelduvus helilainete sagedusest.[15]

Füüsikaliste omaduste poolest jagunevad akustilised materjalid poorseteks ja resoneerivateks. Poorsed materjalid neelavad akustilist energiat hõõrdumisel õhuga, mis liigub materjali poorides. Selel 3.18 on näha erinevate poorsete materjalide struktuure. Tavalised valmistatakse poorseid heli neelavaid materjale köögivilja, mineraalide või keraamika kiududest ning elastomeerist. Igal materjalil on oma eelised ning puudused ning eelkõige peab silmas pidama millisesse aplikatsiooni seda otsitakse.[15]



Sele 3.18 Erinevate poorsete materjalide struktuurid: a) võrgu struktuuriga vaht, b) osaliselt võrgu struktuuriga vaht, c) mineraalvill, d) klaaskiud.

Helineeldenähtuste selgitamiseks eeldatakse (sele 3.19), et kui helilainete intensiivsusega I_1 langeb seinapinnale S , siis osa helilainetest intensiivsusega I_2 peegeldub ruumi tagasi, osa I_3 aga tungib materjali sisse. Sissetunginud heliintensiivsusest neeldub seina materjalis osa I_4 , kuna osa I_5 läbib seina. Kui sein on õhuke, siis võib ta membraanina või plaadina võnkudes põhjustada helienergia kandumist ühest ruumist teise. Kui seinamaterjalil leidub avadega õõsi, siis võngub õhk neis nagu Helmholti resonants.



Sele 3.19 Helineeldenähtus

Heli sumbumist eri materjalides hinnatakse helineeldumisteguriga. Kui mingi heli võimsus langeb mingile pinnale P_k (W), siis osa sellest peegeldub P_p (W) tagasi ja osa neeldub materjalides P_n (W). Neeldunud heli võimsuse suhet pinnale langenud helivõimsusse nimetatakse helineeldumisteguriks α .

$$\alpha = P_n/P_k \quad (3.1)$$

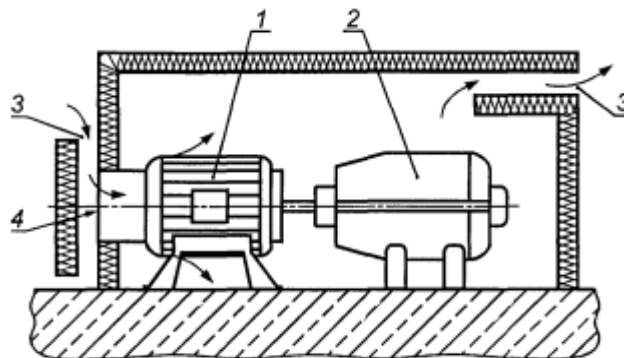
Helineeldumisteguri väärtused sõltuvad sagedusest ning materjalidest (tabel 3.6). Sõltuvalt heliallika omadustest alaneb helitase heliallikast eemaldumisel erinevalt. Mõjutab ka keskkond: tuul, maapind, õhutemperatuur ja niiskus. Samuti mõjutavad tõkked, mille taga võib helitase langeda 15-20 dB.[11]

Tabel 3.6 Materjalide helineeldumistegurid

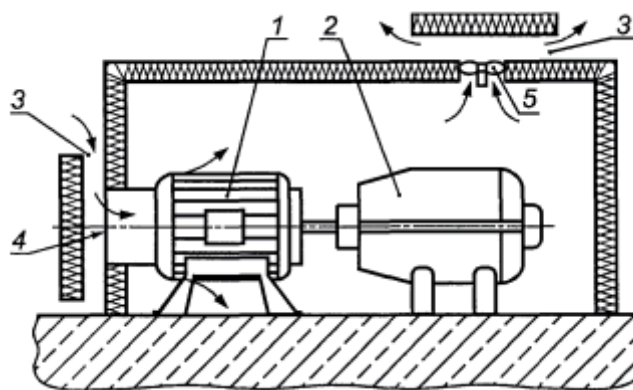
Materjal	Heli sagedus Hz					
	125	250	500	1000	2000	4000
Ehitusmaterjalid						
Betoon	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04
Krohvimata tellissein	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,06
Õlivärviga krohv	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03
Laudpõrand	0,11	0,11	0,10	0,08	0,08	0,09
Vaip-põrand 5,5 mm	0,04	0,10	0,31	0,70	0,93	0,74
Kahekordsed aknad	0,35	0,29	0,20	0,14	0,10	0,06
Puuvillane seinavaip	0,02	0,02	0,03	0,10	0,25	0,51
Linaluuplaat	0,12	0,21	0,33	0,45	0,46	0,44
Õhuke puitpaneel	0,47	0,2	0,1	0,04	0,05	0,1
Jäigale alusele kinnitatud poome materjal	0,2	0,3	0,75	0,94	0,95	0,95
Klaasvill 5 cm, kaetud perforeeritud plekiga	0,18		0,60	0,73		0,85
Objektid						
Inimene	0,25	0,33	0,40	0,42	0,45	0,48
Kõvaistmega tool	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Pehme tool	0,05	0,09	0,12	0,13	0,15	0,16

3.6 Jahutuse avauste projekteerimise teooria

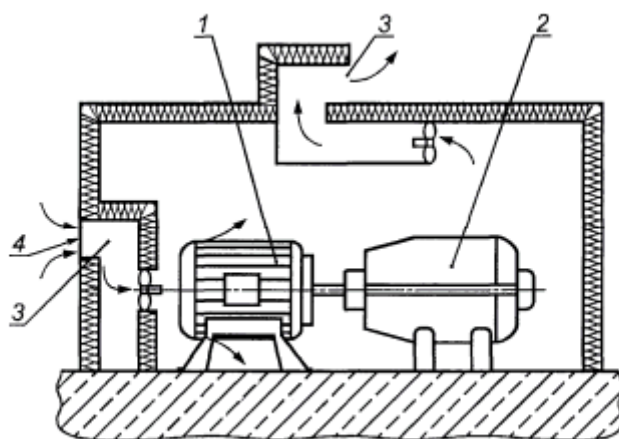
Kuna testseadme töötamise jaoks on vaja tagada piisav õhu juurdevool peab projekteerima ka avauseid. Kuna avauseid müra summutavas seadmes võivad muuta selel 3.20– 3.22 on toodud välja ISO standardi 15667:2000 Annex B osas kirjeldatud näited, mil viisil võib erinevaid avausi projekteerida, et säilitada mürataseme madal tase. [16]



Sele 3.20 Näide avauste projekteerimisel katetele. 1. elektrimootor, 2. turbokompressor, 3. tõkestatud sissevoolu ja äravoolu avaused, 4. kaitsevõre



Sele 3.21 Näide avauste projekteerimisel katetel. 1. elektrimootor, 2. turbokompressor, 3. tõkestatud sissevoolu ja äravoolu avaused, 4. kaitsevõre, 5. ventilaator



Sele 3.22 Näide avauste projekteerimisel katetel. 1. elektrimootor, 2. turbokompressor, 3. tõkestatud sissevoolu ja äravoolu avaused, 4. kaitsevõre

Käesolevas töös käsitletakse avauste teooriat ventilatsiooni valikul peatükis 5.6.

4. OLEMASOLEVAD LAHENDUSED

Olemasolevatest lahendustest võime leida katteid erinevatele seadmetele. Valmistootena pakutakse eelkõige lahendusi serveritele ning personaalarvutitele. Tehnilistele seadmetele peab saatma hinnapäringu oma spetsifikatsioonidega, mille peale saadetakse hinnapakkumine. Erilahenduse tellimine võib osutuda kindlapeale kallimaks, kui juba olemasoleva lahenduse ostmine.

Peamiseks miinuseks miks antud töö puhul ei saaks kasutada juba olemasolevat lahendusi on testseadme ligipääsetavuse küsimus. Seel 4.1 võime näha müra vähendavat kate arvutitele/serveritele, mis ei taga dünaamilist ligipääsetavust mida nõuab testimise protsess.



Sele 4.1 Müra vähendav kate serveritele/ arvutitele [17]

Seel 4.2 võime näha meie ülesande võimaliku lahendusele sarnast toodet. Kate on helikindel ning üks läbipaistvast materjalist. Hilisemal etapil toob autor välja erinevused võrdlemaks antud toodet väljamõeldud lahendusega.



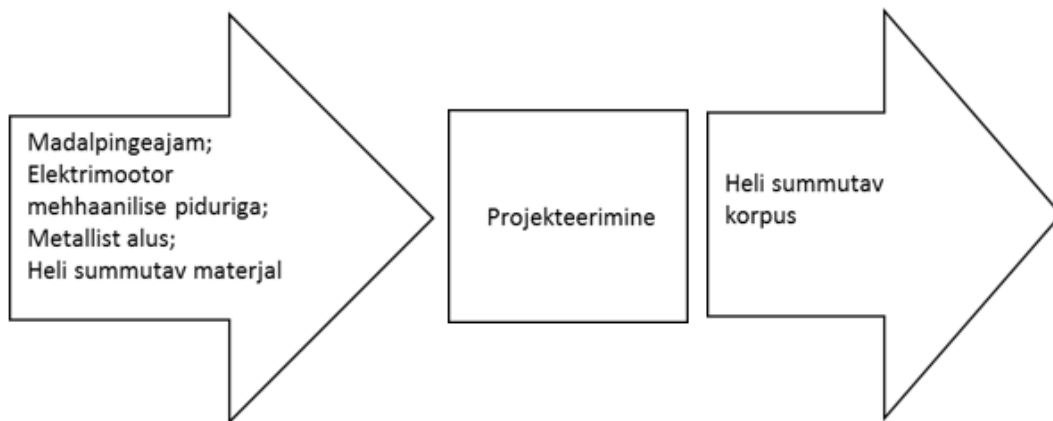
Sele 4.2 AcoustiRACK™ ACTIVE – serverikabinet [18]

5. PROJEKTEERIMINE

5.1 Projekti nõuete määramise meetodid

5.1.1 Musta kasti maatriks

Projekteerimise nõuete paika panemiseks kasutatakse musta kasti mõistet, mis kujutab loodava süsteemi kõrgeimat abstraktsiooni. Mustal kastil (sele 5.1) on sisendid ja väljundid süsteemi piiril. Kogu projekteerimise protsessi võime nimetada mustaks kastiks, mida me järk-järgult detailiseerime, et leida olemasolevate sisenditele võimalikult ideaalilähedane väljund.



Sele 5.1 Süsteemi abstraktsioon musta kastina

Mustast kasti maatriksi abil saame määratleda süsteemi piirid ning tagada lähteülesandest mitte kõrvale kaldumise. Antud lähtemaatriks peaks hoidma meid erinevates projekteerimise punktides fokuseeritud lähteülesande – müra vähendava katte projekteerimisel.

5.1.2 Nõuete loetelu koostamine

Enamikul juhtudest ei ole projekteerimise ülesande andjal selge, missugust üksikasjalist infot on vaja, millest järeldub ülesande selgitamise vajadus. Selleks koostab autor nõuete loetelu (tabel 5.1) – tuues välja peamised spetsifikatsioonid mis projekteeritavalt kattel peavad olema täidetud. Antud faas on otsustav igasuguse toote edukusele.

Tabel 5.1 Nõuete loetelu

Nr	Spetsifikatsioon		Tähis	Fikseeritud nõue	Soov
1	Funktsioon	Summutada testseadmest tulenevat heli -15 dB võrra		x	
2	Tehnilise protsessi tingimused				
2.1	Madalpingeajam	Kuju ja mõõdud:		x	
		materjal			
		Mass			
		olek			
2.2.	Mootor	Asünkroonmootor mõõtmetega		x	
		mass			
2.3.	Ohutuslüüti	Mõõtmed		x	
2.4.	Süsteemi töötamine	Jahutuse vajalikkus		x	
3.	Käsitlemine				
3.1.	Eluiga	10 aastat		x	
3.2.	Transporditav				x
3.3.	Vastupidav				x
3.4.	Hooldusvaba				x
4.	Kuju				
4.1.	Kontorikeskkonda sobiv				x
4.2.	Osaliselt läbipaistvast materjalist				x
5.	Hoiustamine	kompaktne			x
6.	Valmistusaeg	Tarneaeg 2 nädalat		x	
7.	Valmistamine	Valmistamine toimub hanke korras		x	
8.	Kulud	Kulud võimalikult madalad		x	

5.1.3 Morfoloogilise maatriksi koostamine

Morfoloogiline kaart on üheks võimaluseks kuidas läheneda probleemilahendusele loovalt. Morfoloogiline kaart leiab kõik võimalikud lahendused, määratleb võtmeparameetrid ning elemendid ning võimaldab tuua välja tuhandeid lahendusi. Kuna iga parameetri jaoks määratletakse mitu valikuvarianti, on võimalik valikuvariantide kombineerimisel saada hulgaliselt unikaalseid lahendusi. Morfoloogilise kaardi sammudeks on kõigepealt võimalike lahendite parameetrite määratlemine, millele järgneb iga parameetri jaoks võimalike valikuvariantide koostamine. Peale valikuvariantide koostamist kombineeritakse alternatiivsed lahendid ning analüüsitakse neid ning valitakse parim.

Morfoloogilisest kaardist (Lisa 2) saime lahendid (tabel 5.2)

Tabel 5.2 Võimalikud lahendid

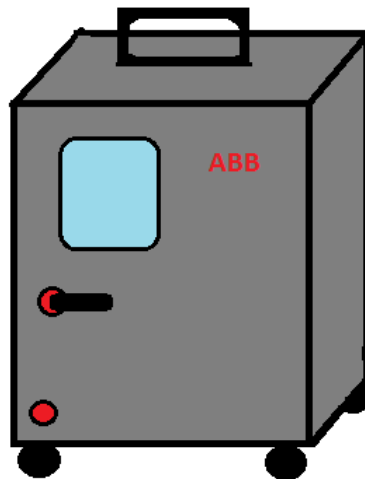
Lahend1	Lahend2	Lahend3	Lahend4	Lahend5
vanade seadmete asendamine uutega, helineelav materjal siseküljel	müra summutav kate	müra summutav kate	aktiivne heli vähendus seade katseseadmes, helineelav materjal siseküljel	müra summutav kate
piduri rakendamine katte sees	piduri rakendamine kattest väljaspool	piduri rakendamine kattest väljaspool	piduri rakendamine kattest väljaspool	piduri juhtimine automaatselt
4 ratta abil	2 küljeratta abil	4 ratta abil	2 küljeratta abil	käepidemetest kinni hoides/tõstes
käepidemest katte pealmises osas	kohvri teleskoop käepidemest tagaküljel	käepidemest katte pealmises osas	kohvri teleskoop käepidemest tagaküljel	2 käepidemest katte külgedel
ilma eraldi jalgadeta ratastel,	2 ratta ja 2 jala abil	ilma eraldi jalgadeta ratastel,	2 ratta ja 2 jala abil	kummist jalgade abil
risttahukas	risttahukas	silindri kujuline	risttahukas	risttahukas
plastik	lehtmetail (teras)	lehtmetail (teras)	lehtmetail (teras)	puut
läbi PVC klaasist ukse	Läbi PVC klaasist ukse akna	-	läbi PVC klaasist ukse	-
katte pinnale toodud pesast	katte pinnale toodud pesast	katte pinnale toodud pesast	toitekaabel on viidud katte sisse	toitekaabel on viidud katte sisse
katte pinnale toodud pesast	katte pinnale toodud pesast	katte pinnale toodud pesast	katte pinnale toodud pesast	andmesidekaabel on viidud katte sisse põrandalt
Ventilaator ja väljavooluava	Ventilaator ja väljavooluava	õhutus torud	õhuavaused	õhuavaused

5.2 Esialgsete lahenduste hindamine ja parima lahenduse valik

Olles eelnevalt morfoloogilise maatriksi abil leidnud viis erinevat lahendivarianti, hindame neid omavahel ning valime välja parima, mida asume ka projekteerima.

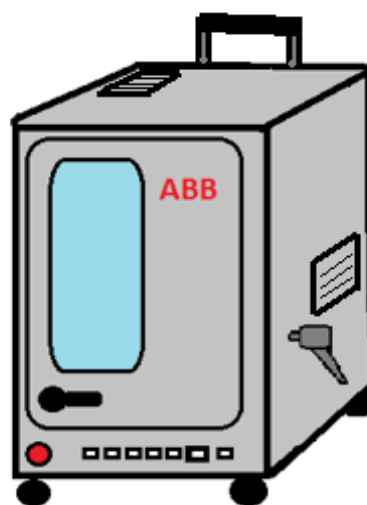
Esimese lahenduse (sele 5.2) puhul analüüsitakse kõiki seadmeid ning vahetatakse välja vananenud komponendid, mis tekitavad üleliigset müra keskkonda. Katseseadmele disainitakse ristkülikukujuline plastikkate, millele lisatakse ventilaator ning õhu väljalaske ava. Mehaanilist pidurit rakendatakse PVC klaasist ukse avamisel katte sees. Antud lahenduse

plussideks on tema kerge kaal ning suhteliselt lihtne teostus.



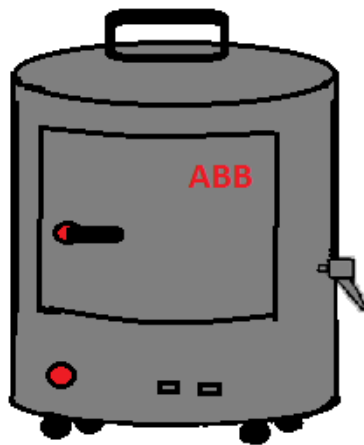
Sele 5.2 Võimaliku lahendi 1 eskiis

Teine lahend (sele 5.3) kujutab endas samuti risttahuka kujulist katet, mille välissein valmistatakse terasest lehtmetailist paksusega 2mm (standard materjal ABB tootmises). Katte sisemine seis on valmistatud heli neelavast materjalist. Mehaanilist pidurit rakendatakse väljaspool katet toodud keermelati abil. Testseadme ja katte transportimiseks paigaldatakse põhja kahte nurka rattad ning tagumise välisseina külge teleskoop käepide. Seadme juhtimine toimub I/O paneeli kasutades, mille hõlpsaks kasutamiseks tuuakse andmeside ühenduse pistikud katte väliskatetele. Sarnaselt tuuakse ka toitekaabli ühenduse pistik. Piisava õhutuse tagamiseks paigaldatakse kattesse ventilaator ning väljalaskeava. Teise lahendi plussideks on tema müra summutavus ning mugav kasutamine.



Sele 5.3 Võimaliku lahendi 2 eskiis

Kolmas lahend (sele 5.4) on silindrilise kujuga lehtmetailist kate, mille siseseina külge paigaldatakse heli neelduv materjal. Mehaaniline pidur on sarnaselt teisele lahendusele toodud kattedest välja. Mugavaks transpordiks on kattel neli ratast, mille peal saab katet ka laual hoiustada (ratastel on lukustussüsteem). I/O paneel ning toitekaabel ühendatakse katte välispinnale toodud pistikute abil. Piisava jahutuse tagamiseks projekteeritakse kattes õhutustorud. Kolmas lahendi plussideks võib tuua tema jahutuse lihtsuse ning huvitava disaini.



Sele 5.4 Võimalik lahend 3 eskiis

Neljas võimalik lahend sisaldab endas aktiivset helivähendusseadeldist, mille abil on võimalik helilaineid summutada elektrooniliselt. Kate on risttahuka kujuline ning valmistatud lehtmetailist (terasest). Katte siseküljel on helineelav materjal. Testseadme tööd saab jälgida läbi PVC materjalist ukse. Jahutuse tagamiseks on projekteeritud piisavad õhuavaused, mille ette on paigutatud piisava helineeldeteguriga materjal. Mehaanilise piduri latt ja käepide on toodud kattedest välja, et tagada piisav isoleeritus testseadme töötamise ajal.

Viies lahend (sele 5.5) on risttahuka kujuline müra summutav kate, mis on valmistatud puidust. Katte siseküljele on kinnitatud heli neelav materjal. Piduri rakendamine mootorile toimub automaatika abil ning on juhitud väljaspool katet. Kui seadeldist on vaja transportida toimub see kahest käepidemest kinni hoides. Toitekaabel ning andmesidekaabel on viidud läbi katte.



Sele 5.5 Võimalik lahend 5

Pannes saadud lahendid hindamismaatriksisse, andes igale kriteeriumile, mille kaudu otsitavat lahendit tahetakse valida, osakaalu, leitakse viie lahendi hulgast kõige sobivam (tabel 5.3).

Tabel 5.3 Hindamismaatriks

Kriteerium	Osakaal	Lahend 1	Lahend 2	Lahend 3	Lahend 4	Lahend 5
Hind (odav)	9	9*9	9*9	8*9	6*9	6*9
Kasutamislühtsus (lihtne)	9	8*9	9*9	9*9	9*9	8*9
Müra maksimaalse vähenduse % võimalikkus (võimalikult suur)	10	5*10	9*10	8*10	9*10	7*10
Ohutus (ohutu)	9	9*9	9*9	7*9	8*9	7*9
Esteetiline disain (esteetiline)	8	8*9	9*9	6*9	9*9	10*8
Kaal (kerge)	6	10*6	9*6	9*6	9*6	8*6
Töökindlus (töökindel)	10	9*10	9*10	9*10	9*10	8*10
KOKKU	-	498	549	488	513	467

Hindamismaatriksist selgub, et kõige sobivam lahendi versioon on versioon number kaks. Edasistes peatükkides käsitletakse ainult selle lahendusvariandi projekteerimist.

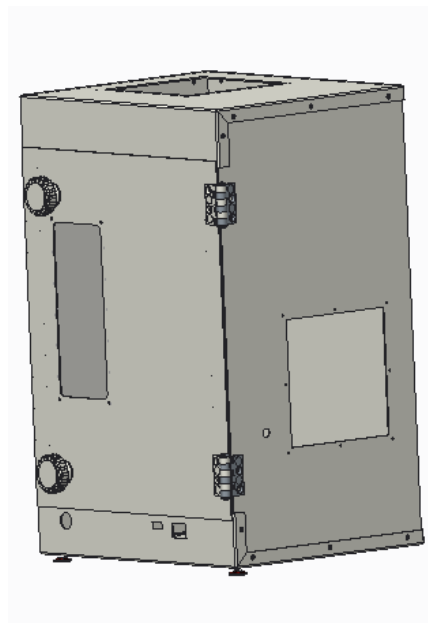
5.3 Projekteerimisel kasutatav tarkvara

Müra vähendava katte projekteerimisel ABB AS-s on kasutatud Creo2 Parametric projekteerimisprogrammi mis töötab koos PDMLink mugandatud andmehalduspaketiga ABB

Drives üksusele. Kui antud disain suunatakse ABB tehase tootmisesse oleks kogu toote CAD dokumentatsioon leitav ABB PDM süsteemis, milles muudatuste ning uute dokumentide loomist saab teostada lokaalselt, kuid enne kõigile osapooltele nähtavaks muutmist tuleb teostada serverisse üleslaadimine. Valmis toote puhul saab PDMLink-i kaudu toote dokumentatsiooni kinnitada ning ühendada ABB SAP andmebaasiga, kus andmed muutuvad nähtavaks tootmisele ning tarnijatele. Kogu logistika, materjalide ostu, tootmise ning lõpptoote müügi protsessi planeerimine toimib läbi SAP keskkonna. Seetõttu on väga oluline detailse ning täpse osaloetelu koostamine, uuendamine ning üleslaadimine.

5.4 Katte välisseinad ning uks

Helikindla katte uks ning ülejäänud välisseinad on valmistatud standardsest valge värvikihiga terasplekist paksusega 2mm. Kahe millimeetrine terasplekk on ABB standardsest kasutusel ning seega ka kulusäästlik kasutada (samuti on teada, et terase transmissioonikadu on meie töö õnnestumiseks sobiv, pikemalt peatükis 6). Katte kõrguseks on 621 mm laiuks 410 mm ning sügavuseks 335 mm. Võrreldes testseadmega on katte mõõtmetele lisatud müra summutava materjali paksus ning on arvestatud tolerantsiga Xmm. Välisseinte CAD mudel on näidatud seel 5.6. Katte osad ühendatakse omavahel isepuurivate heksagonaalse peaga kruvidega M6.



Sele 5.6 Katseseadme välisseina ja ukse CAD mudel

Paremale välisseinale on projekteeritud ringikujuline avaus, millest tuuakse välja mootorile

rakenduva mehaanilise piduri latt ning käepide. Avaus läbib nii välisseina kui ka müra summutavat isolatsioonimaterjali, mille kohta võib leida informatsiooni peatükis 5.5.

5.5 Müra summutavad sein ja lae paneelid

Vastavalt peatükis 3.5 välja toodud materjali uurimuse põhjal otsustati, et müra tõkestavaks materjaliks kasutatakse paksusega 25mm heli neelduvat paneele. Paneelid on toodetud ettevõtte Custom Audio Designs poolt. Tabelis 5.4 on toodud tema põhilised andmed ning tabelis 5.5 helineeldetegurid.

Tabel 5.4 Akustilise paneeli andmed tootja kodulehelt

Toode	F110/F120/F130/F140 vaht
Kirjeldus	Kleebitav vaht - tulekindel
Standardne lehe suurus	1,2x1m
Tihedus	Ligikaudu 80-90 kg/m ³
Standardne paksus	12mm ja 25mm
Termiline juhtivus	0,05 W/mK
Tõmbetugevus	88 kps
Pikenemine	188%
Opereerimistemperatuurid	80°C (pidev maksimum) 110 °C (hüppeline) -30 °C (miinimum)

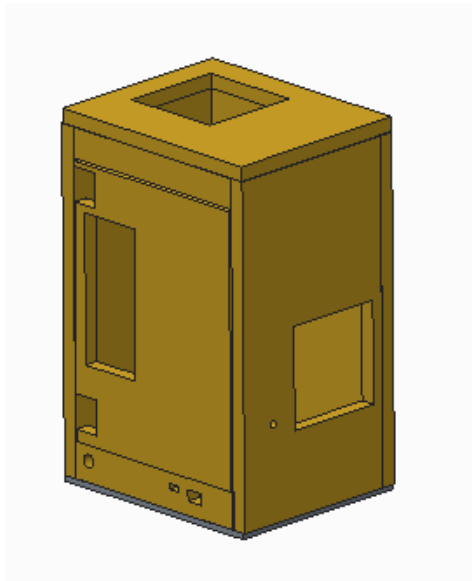
Tabel 5.5 Akustilise paneeli helineeldetegurid tootja kodulehelt

Materjal/ Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	NRC
12mm PUFR	0,05	0,15	0,20	0,35	0,40	0,45	0,28
25mm PUFR	0,10	0,25	0,45	0,60	0,65	0,75	0,49
50mm PUFR	0,25	0,45	0,70	0,85	0,85	1,00	0,70

Antud materjal kinnitatakse kasutades isekleepuvat pinda otse metallkatte sisepinnale.

Kleepimise juures peab olema tähelepanelik, et materjal ei jäta ühtegi vahekohta, millest võiks heli läbi kanduda. Seepärast ongi heli neelduvad paneelid küllaltki väikeste tolerantsidega võrreldes väliskattega. Tänu pehmele ülesehitusele on võimalik ka erinevates ebatäpsetes kohtades materjali natukene vastavalt olukorrale modifitseerida.

Paneele tuli kattes 7 erinevat tükki: lagi, 3 küljepaneeli, 1 uksepaneel, 1 ukse ja lae vaheline riba ning 1 ukse ja põranda vaheline riba. Heli summutav on ka põrandal olev kummist antivibratsiooni matt (pikemalt peatükis 5.7). Mudel paneelidest on toodud seel 5.7.



Sele 5.7 Heli neelava materjali kihi CAD mudel

5.6 Ventilatsiooni õhuvoolu arvutamine ning jahutuse valik

Kasutades saadud soojuskadude väärtust mis on leitud peatükis 2.3 leiame soojuskao poolt mõjutatud jahutuse võimsuse projekteeritud kattes. Selleks kasutame valemit

$$Q_e = Q_v - Q_s \quad (5.1)$$

ning $Q_s = k \cdot A \cdot (T_i - T_u)$

kus Q_e – nõutav jahutusvõimsus;

Q_v – komponentide soojuskadu;

Q_s – soojus, mis eraldub katte pinnalt;

k – soojuslähikandegur, teras- 5,5 W/m²K;

T_i – soovitud sisemine temperatuur kattes;

T_u – maksimaalne katet ümbritsev temperatuur;

A – soojuskao poolt mõjutatud katte pindala vastavalt DIN 0660, osa 500 järgi (sele 5.8)

Enclosure installation type to DIN 0660, Part 500	Formula for calculating the effective surface area of an enclosure
Single enclosure, free-standing on all sides	$A \text{ (m}^2\text{)} = 1.8 \times H \times (W + D) + 1.4 \times W \times D$
Single enclosure for wall-mounting	$A \text{ (m}^2\text{)} = 1.4 \times W \times (H + D) + 1.8 \times D \times H$
First or last enclosure in a suite – free-standing	$A \text{ (m}^2\text{)} = 1.4 \times D \times (H + W) + 1.8 \times W \times H$
First or last enclosure in a suite for wall-mounting	$A \text{ (m}^2\text{)} = 1.4 \times H \times (W + D) + 1.4 \times W \times D$
Enclosure within a suite – free-standing	$A \text{ (m}^2\text{)} = 1.8 \times W \times H + 1.4 \times W \times D + D \times H$
Enclosure within a suite for wall-mounting	$A \text{ (m}^2\text{)} = 1.4 \times W \times (H + D) + D \times H$
Enclosure within a suite for wall-mounting – with covered roof surface	$A \text{ (m}^2\text{)} = 1.4 \times W \times H + 0.7 \times W \times D + D \times H$

Sele 5.8 Katte paigaldamine vastavalt VDE 0660, osa 500 järgi

Kui sisemine temperatuur kattes on suurem kui väliskeskkonna temperatuur ($T_i > T_u$), siis soojus kiirgub kattest välja ($Q_s > 0$). Kui keskkonna temperatuur on suurem kui katte sisemine temperatuur ($T_i < T_u$), siis soojus liigub keskkonnast kattesse ($Q_s < 0$).

Asendades valemisse 5.1 eelnevalt defineeritud suurused leiame nõutava jahutusvõimsuse

$$Q_e = 626,29 - 5,5 \times (1,8 \times 0,621 \times (0,410 + 0,335) + 1,4 \times 0,410 \times 0,335) \times (313,15 - 297,15) = 536,09 \text{ W}$$

Kasutades valemit 5.2 CFM arvutamiseks (cubic feet per minute) leiame õhu liikumise kiiruse ruumist sisse või välja liikumisel mis on välja töötatud ventilaatorite valiku tegemiseks tootja Hoffman kodulehel.[19]

$$CFM = \frac{Q_e \cdot 3,16}{\Delta T \cdot F} \quad (5.2)$$

kus 3,16 on konstant

$$CFM = \frac{536,09 \times 3,16}{28,8} = 58,82 \text{ ft}^3/\text{min}$$

Konverteerides CFM SI mõõtühikutesse saame soovitavaks õhuvooluks 99,9 m³/h

Tulemusest selgub, et antud töös projekteeritud katele sobiks 99,9 m³/h õhuvoolu tagav ventilaator. Peatükis 3.6 välja toodud avauste teooria kohaselt peaks müra paremaks summutamiseks kasutama pealiskattega ventilaatorit või projekteerima õhu sissevõtu ning väljalaske ava vastavalt standardile.

Erinevate ventilatsiooniseadmete tootjate vahel valides otsustas autor kasutada Stego seadmeid. Filter-ventilaatorid on madala helitasemega ning võimaldavad tagada piisava õhu juurdevoolu kattes. Stego toodete seast vastab meie nõuetele kõige paremini toode FF 018 (sele 5.9, andmed tabel 5.6), mis tagab 200m³/h vaba õhuvoolu ning 125 m³/h õhuvoolu koos ventilaatori kattega, millel on paigaldatud ka filter. [20]

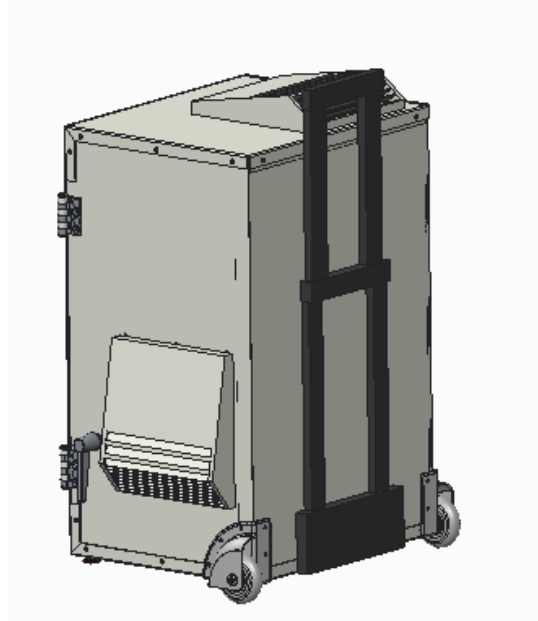
FF 018 | 200m³/h



Sele 5.9 Stego FF 018 filter ventilaator

Tabel 5.6 Stego FF 118 filter-ventilaator ja väljalaske filtri andmed

	Töö- pinge	Õhu hulk, Vaba liikumine	Õhu hulk koos väljund filtriga	Voolu- tarve	Energia- tarve	Keskmine müratase	Sügavus katte sees	Väljalõike suurus katte pinnal	Kaal
Ventilaator	230VAC, 50Hz	200 m ³ /h	125 m ³ /h	320mA	45W	52dB	95mm	176x176+ 0,4	1,7 kg
Filter							16mm	176x176+ 0,4	0,6 kg

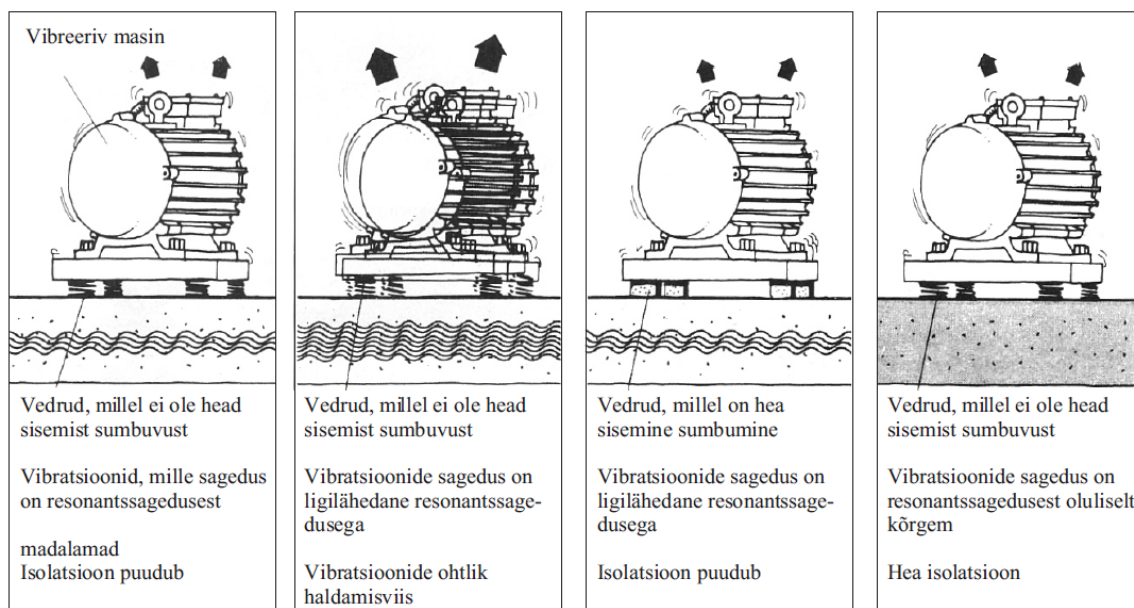


Sele 5.11 Katseseadme CAD mudel koos teleskoop käepidemega ning ratastega

5.8 Mootorist tuleneva vibratsiooni summutamine

Vibreerivad masinad on kasulik monteerida rasketele või jäikadele alustele. Kui see ei ole võimalik teostada saab heli levikut piirata ka paigutades vibreeriva masina ja põranda vahele elastseid elemente. Käesolevas töös on mõttekas isoleerida masin katte sees, et takistada mootori poolt tekitava vibratsiooni kandumist kattele.

Masin, mis on monteeritud elastsetele elementidele või isolaatoritele, omab „fundamentaalsel sagedust”. Kui seade on väga raske, siis on see sagedus määratud masina, selle baasi raskuse ja isolaatori jäikusega. Mida kergem on masin ja mida jäigem on isolaator, seda kõrgem resonantssagedus tekib. Vibratsioone, mis on sellest fundamentaalsest sagedusest madalama sagedusega, ei blokeerita. Vibratsioonid, mis on selle fundamentaalse sagedusega ligilähedasel sagedusel, võimenduvad oluliselt. Masin võib ennast lausa oma montaažist lahti murda. Sellist olukorda saab vältida, kasutades elemente, millel on hea sisemine sumbuvus. Sehel 5.12 on toodud erinevate elementide kasutamine vibreeriva masina heli isoleerimisel.[21]



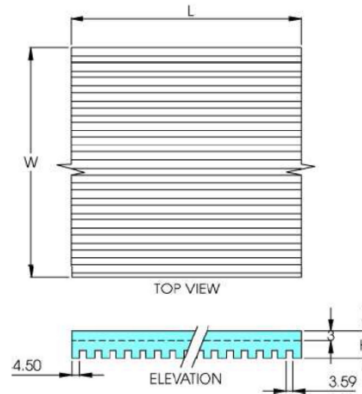
Sele 5.12 Erinevate elementide kasutamine vibreeriva masina heli isoleerimisel

Kuna katseseade ise on kinnitunud juba metallalusele kasutab autor müra summutamiseks antivibratsiooni matti (andmed tabelis 5.3), mis on erilise koostisega matt, loodud vibratsiooni isoleerimiseks. Matil on 5 mm laiused ribad, mis on kummaski poolel üksteise suhtes 90° nurga all, selleks et tagada mati võimalikult hea haarduvus ja antivibratsioonilised omadused. Mati maksimumraskus on 5 kg/cm². Kasutades mitut matikihti on võimalik mati kandevõimet suurendada.

Tabel 5.3 Antivibratsioonimati spetsifikatsioon[22]

Omadused	Väärtus	Testimismeetod
Polümeeri tüüp	NR/SBR	-
Erikaal (g/cm ³)	1,08	ASTM D1056
Materjali kõvadus (Sh.A)	50 +/-5	ASTM D240
Tõmbetugevus (Mpa)	3,4	ISO 1789
Materjali venivus (%)	270	ISO 1789
Temperatuuritaluvus (C)	-25...+100 C	-

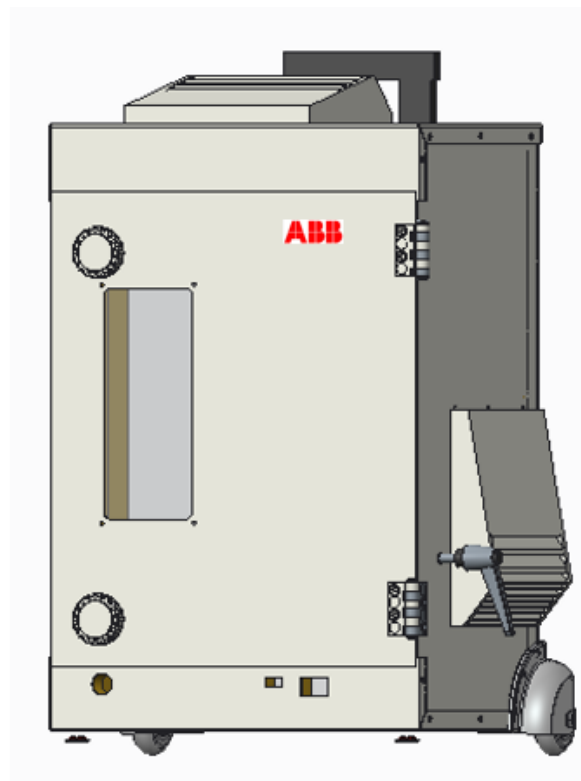
Antivibratsiooni matti on saadaval kahest materjalist- NR/SBR. Mati ülemisel ja alumisel pinnal on 5mm laiused ribad mis on asetusega 90° ning mis tagavad parema nakkumise kokkupuute pinnaga (sele 5.13).[8]



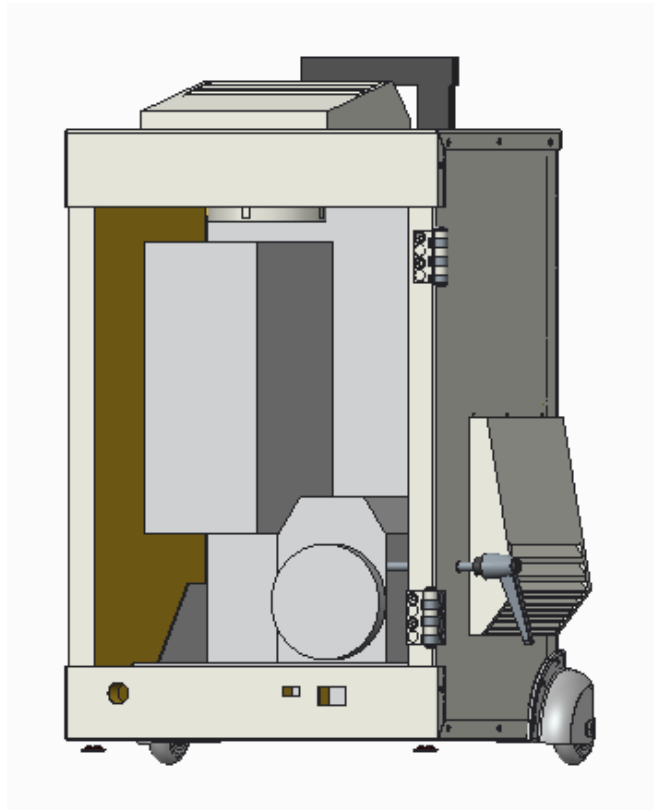
Sele 5.13 Antivibratsioonmatti läbilõige

5.9 Projekteeritud kate üldvaade

Kogu projekteeritud helikindla kate koost erinevate vaadete abil on toodud selel 5.14- 5.15.



Sele 5.14 Katseseadeldise kate väline eestvaate CAD mudel



Sele 5.15 Katseseadeldise kate väline eestvaate CAD mudel ilma ukse ja ukse heliisolatsioonita

6. MÜRA SUMBUVUSE ANALÜÜS

Masinate katete puhul, mis paiknevad avatud ruumis on müra vähendamine (NR – noise reduction) võrdne transmissiooni kaoga katte seintes (NR=TL, kus NR= SPL(kattes sees) – SPL (kattest väljaspool), dB; TL – transmissiooni kadu kattes seinas, dB)

Kuid kui kate disainitakse ainult põhinedes TL väärtusele võib tekkida ebaefektiivsed lahendused. Seetõttu kasutatakse sumbuvestegurit rohkem kui müra vähendust. Sumbuvestegur on leitav valemiga

$$IL = TL - 10 \log \left(\frac{1}{\alpha} \right) \quad (6.1)$$

kus IL = helirõhu tase asukohas ilma katteta – helirõhutase asukohas kattega,

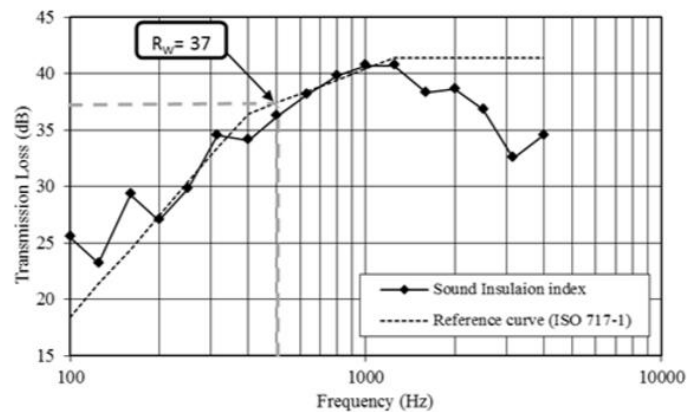
TL – katte seina transmissiooni kadu

α – keskmine katte sisemuse helisumbuvestegur [23]

Leides antud töös kasutatud lahenduse jaoks õige transmissioonikao väärtuse (tabel 6.1) leiame projekteeritud katte sumbuvestegurid IL (tabel 6.2). Käesolevas kalkulatsioonis ei arvestata katte ukse paikneva akrüülklaasi transmissioonikadudega, kuna ISO 717/1 standardi järgi (sele 6.1) on see suurem kui terasel. Helineeldetegur on antud peatükis 5.5. Sumbuvestegurid arvutatakse kõigi sagedustega mille sumbuvestegur tahame teada. Kui helineeldeteguri koefitsient on ainult 0,1 siis sumbuvestegur on 10dB madalam kui transmissioonikadu. Kui helineeldetegur läheneb maksimumile on sumbuvestegur võrdne transmissioonikaoga.

Tabel 6.1 Heli transmissioonikaod [24]

Kirjeldus	Heli transmissioonikadu (dB)/(Sagedustel)					
	125	250	500	1000	2000	4000
1 mm galvaniseeritud terasplekk	8	14	20	26	32	38
1,6 mm galvaniseeritud terasplekk	14	21	27	32	37	43



Sele 6.1 Akrüülklaasi transmissioonikaod

Tabel 6.2 Helisumbuvused erinevatel sagedustel kasutades valemit 6.1, dB

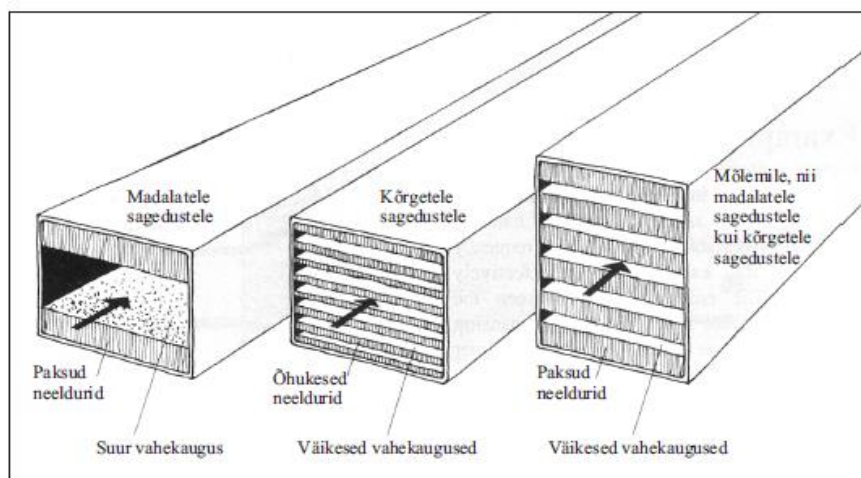
Heli sumbuvus (dB)/ (Sagedustel)					
125	250	500	1000	2000	4000
4	15	24	30	35	42

Kalkulatsiooni kohaselt peaks projekteeritud kate summutama 250 Hz – 500 Hz vahemikus üle 15 dB, mis sobib projekti eesmärgiks seatud suurusega.

7. EDASISED TEGEVUSED

Edasine tegevuskava käsitleb tegevuspunkte, mille abil oleks võimalik järgnevate katete efektiivsust tõsta ning hinda alandada :

- Edasine uurimus helisummutusmaterjalide kohta;
- Testseadme aluse võimalik eemaldamine katte kaalu vähendamise eesmärgil. Optimaalse raami projekteerimine, millele testseadme komponendid kinnitada.
- Katte jahutuse ümber projekteerimine toru-jahutuse põhimõttel (sele 7.1)



Sele 7.1 Heli summutamine torustikes [21]

KOKKUVÕTE

Käesoleva lõputöö teema tekkis tootearendusprojektist ABB AS Madalpingeajamite tehases kus tarkvarainseneride poolt kasutatavad katseseadmed toodavad kontorikeskkonda segavat müra, mille vähendamiseks käivitati projekt spetsiaalse katte projekteerimiseks ning selle tootmisvalmidusse viimiseks. Magistritöös on kirjeldatud müra summutava katte projekteerimine, erinevad lahendused ning nende analüüsimise meetodid.

Töö esimeses etapis kirjeldati katseseadme ehitust ning selle tööpõhimõtet, tuues välja ajami ning asünkroonmootori peamised karakteristikud. Katseseade koosneb asünkroonmootorist ning seda juhtivast sagedusmuundurist. Sagedusmuundur on seade vahelduvvoolu sageduse muutmiseks. Kaasaegse sagedusmuunduri põhi tööülesanneteks on lühisrootoriga asünkroonmootori juhtimine ja kaitsmine. Tarkvarainsenerid kasutavad käesoleva lõputöö aluseks olevat katseseadeldist nende poolt arendavate sagedusmuunduri juhtimisalgoritmide katsetamiseks reaalse mootori peal. Esimese etapi üheks olulisemaks osaks oli infootsingute teostamine soojuskadude määratlemiseks ning termokaamera abil tehtud soojuspilte kasutades soojuskadude arvutamine.

Teises etapis toodi välja probleemikirjeldus ning teostati infootsingud müra tasemetest ning selle mõjust inimesele. Teises etapis teostati ka katsed leidmaks katseseadme poolt tekitatavad müratasemed ning teostati spektraalanalüüs. Spektraalanalüüsi abil selgitati välja peamine sagedusvahemik milles müra on kõige suurem.

Kolmandas etapis leiti kasutades erinevaid tootearenduse metoodikat võimalikud lahendid ning anti neile hinnangud. Lahenduste genereerimiseks kasutati morfoloogilise maatriksi põhimõtet, kus projekteeritava katte peamistele kriteeriumitele mõeldi välja võimalikult palju reaalseid lahendusi. Võimalikest lahenditest valiti välja viis erinevat ning paigutati need hindamismaatriksisse. Hindamismaatriksis hinnati iga lahendit erinevate hindamiskriteeriumite abil leides kõigist ühe parima võimaliku lahendi. Parim võimalik lahend projekteeriti kasutades Creo2 programmi. Kolmanda etapi oluline osa oli ka ventilatsiooni õhuvoolu arvutus, milles kasutati eelnevalt leitud soojuskadusid.

Töö neljandas etapis arvutati projekteeritud mudeli andmeid kasutades müra sumbumus kattes. Arvutuste tegemiseks teostati infootsingud leidmaks sobivat valemit kalkuleerimaks

müra sumbumus katetes ning väiksemates katetes. Leitud sumbumus näitas, et projekteeritud kate vähendab mürataset nõutud määral.

Töö oodatud eesmärgi võib arvata täidetuks, kuna müra summutav ning lihtsasti kasutatav kate ABB katseseadme jaoks on loodud ning selle toimimine ka arvutuste põhjal tõestatud. Töös käsitletu on heaks materjaliks ABB AS's töötavatele inseneridele mõistmaks toodete müratasemete vähendamise teooriat.

Pärast lõputöö valmimist projekt jätkub katseseadme mehaanilise konstruktsiooni muutmisega ning odavama ja tõhusama ventilatsiooni arendamisega.

SUMMARY

The topic of this thesis grew out from the product development project in ABB AS Drives factory, where demo cases used by software engineers produce disturbing noise in the Office environment. To reduce this noise a project was launched to design a special cover that could be ready to produce. Thesis describes the design process, different solutions and analyses used during the development of the cover.

In the first stage the author of the thesis described the construction and its main operation of the testing device bringing also out the main characteristics of the drive and electric motor. The testing device consists of induction motor and frequency converter controlling it. Frequency converter is a device to change the frequency of AC power. Main responsibilities of frequency converter are management and protection of squirrel cage induction motor. Software engineers use the device to test the control algorithms that are developed by them on a real motor. The main part for the author under the first stage were educating herself in the field of heat losses and creating the heat loss calculations based on the thermal camera pictures.

In the second stage the problem description was given and research over noise levels and its effects on people was made. In the second stage a tests about noise levels created by testing device and its spectral analysis was made. Using the spectral analysis the main sound frequency where the noise is the highest was found.

In the third stage using different production development methods several possible solutions were given and valuated. To generate solutions a morphological analysis were made. Several parameters were taken into account to which as much as realistic solutions were generated. From the generated solutions five were put into valuation matrix were every solution were evaluated by several valuation criteria. From the valuation the best solution was calculated that was designed in Creo2 program. One of the most important parts of the third stage was also ventilation air flow calculation to find the need of ventilation and the most suitable fan.

In the fourth stage of the thesis a calculation was made to find the insertion loss of the enclosure. Large research was made finding the best calculation formulas. The insertion loss that was found show that the enclosure reduces the noise on the required level.

The expected goal of the thesis can be considered as filled, since the noise reducing enclosure is made for ABB testing device and its effectiveness proved by calculations. The thesis could be considered as good reference material for the ABB mechanical engineers when in need of developing less noisy produces as well as understand the theory of noise reduction.

After the thesis is ready the project continues with research of mechanical construction of the testing device and designing more cost-efficient and effective cooling system.

VIIDETE LOETELU

1. Tööinspektsiooni kodulehekülg [WWW] www.ti.ee (01.03.2014)
2. ABB AS kodulehekülg [WWW] www.abb.ee (15.03.2014)
3. **Lehtla. T.** Elektriajamid. Tallinn, TTÜ Kirjastus, 2007.
4. **Vodovozev. V., Vinnikov. D., Jansikene. R.** Elektriajamite elektroonsed süsteemid, Tallinn, TTÜ Kirjastus, 2008.
5. TTÜ E-õppematerjalid moodulile Mehhatroonikaseadmed [WWW] <https://moodle.e-ope.ee>
6. TTÜ E-õppematerjalid moodulile Elektrotehnika alused, Lahtmets. R. [WWW] http://www.ene.ttu.ee/leonardo/elektro_alused/ (20.04.2014)
7. Ronex OÜ kodulehekülg [WWW] www.ronex.ee (02.05.2014)
8. Finestum OÜ kodulehekülg [WWW] www.termo.ee (02.05.2014)
9. **Vítěz. T., Trávníček. P.** The measurement of heat loss with use of a thermal Imaging system, Acta univ. Agric et silvic. Mendel. Brun., 2011, LIX, No. 3, pp. 193–196
10. TLÜ E-õppematerjal moodulile Multimeedium, helid, helisalvestised [WWW] www.tlu.ee (21.04.2014)
11. TTÜ E-õppematerjalid moodulile Ehitusfüüsika, Ruus. A. [WWW] <https://moodle.e-ope.ee> (22.04.2014)
12. TLÜ E-õppematerjalid moodulile Töötingimused ja töökeskkond [WWW] www.tlu.ee (01.03.2014)
13. Müra normtasemed elu- ja puhkealal, elamutes ning ühiskasutusega hoonetes ja müra taseme mõõtmise meetodid.(2002). Riigi Teataja nr 42. [WWW] <https://www.riigiteataja.ee/akt/163756> (01.03.2014)
14. Kuvariga töötamise töötervishoiu ja tööohutuse nõuded. (2000). Riigi Teataja nr 362 [WWW] <https://www.riigiteataja.ee/akt/72421> (02.03.2014)
15. Sagartzazu. X., Hervella. L., Pagalday. M. Review in Sound Absorbing Materials, Archives of Computational Methods in Engineering September 2008, Volume 15, Issue 3, pp 311-342
16. Acoustics – Guidelines for noise control by enclosures and cabins. (2000) EVS-EN ISO 15667:2000, Technical Committee ISO/TC43, Acoustics, Subcommittee SC 1, Noise.
17. MS NOISE™ kodulehekülg [WWW] www.msnoise.com (04.03.2014)

18. Silentium Ltd kodulehekülg [WWW] www.silentium.com (04.03.2014)
19. Hoffman kodulehekülg [WWW] www.hoffmanonline.com (10.05.2014)
20. Stego kodulehekülg [WWW] www.stego.de (10.05.2014)
21. Euroopa töötervishoiu ja tööohutuse agentuur [WWW] www.osh.sm.ee (20.04.2014)
22. Kumex OÜ kodulehekülg [WWW] www.kumex.ee (21.04.2014)
23. Ministry of Manpower kodulehekülg [WWW] www.mom.gov.sg (20.04.2014)
24. Norton. M.P., Karczub. D.G., Fundamentals of Noise and Vibration Analysis for Engineers, Cambridge University Press, 2003

LISA 1

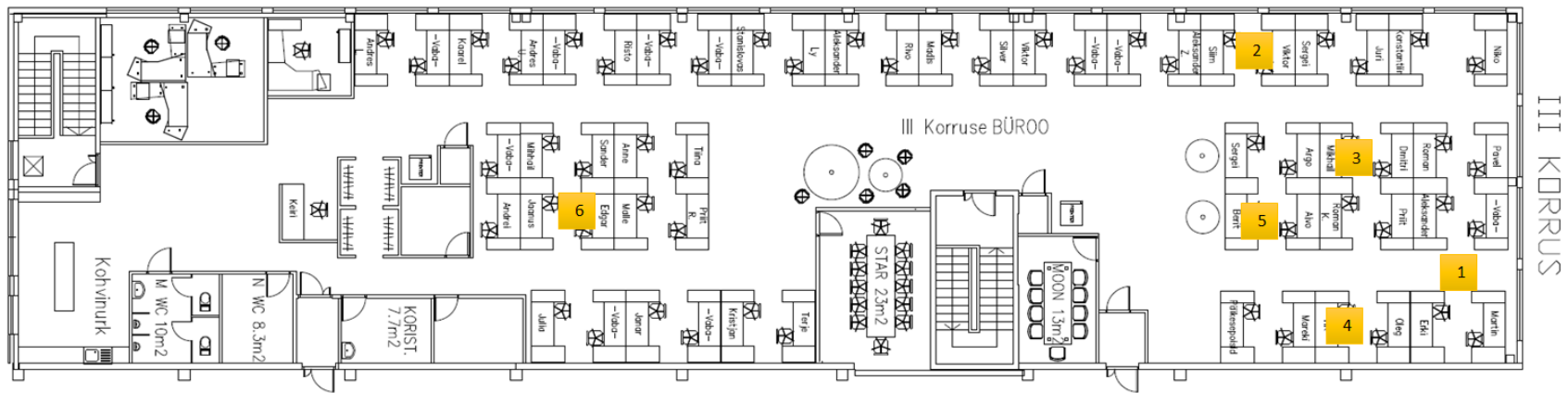


ABB Ajamite ja taastuenergia tehase III korruse müra taseme mõõtmise plaan

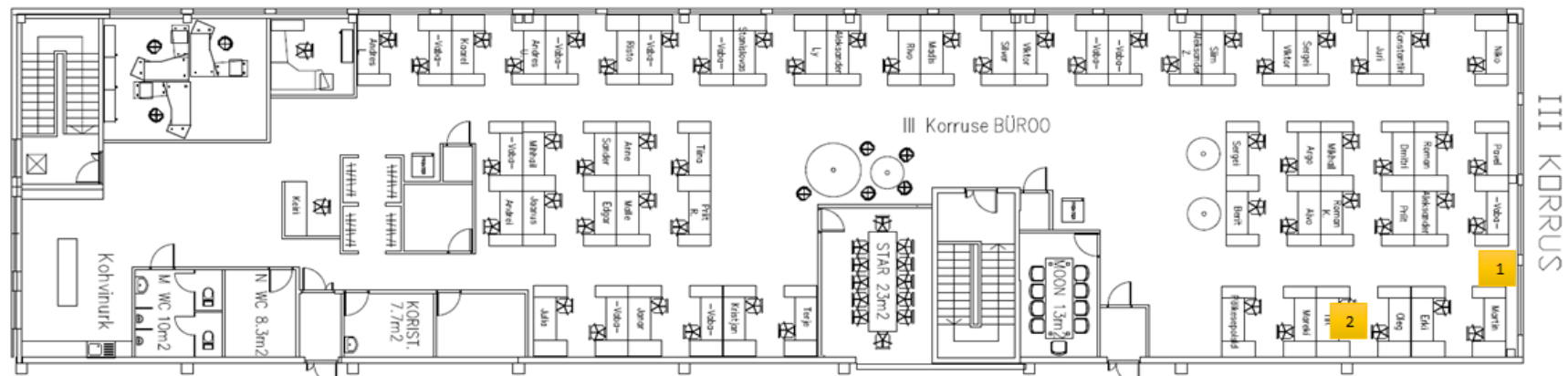


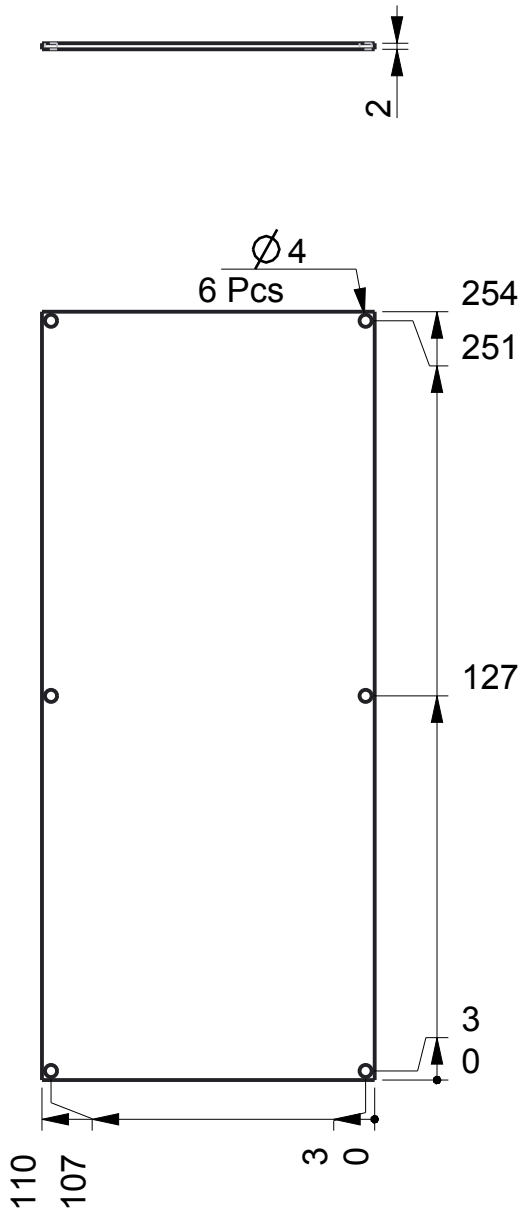
ABB Ajamite ja taastuenergia tehase III korruse müra spektri mõõtmise plaan (SpectrumView programmiga)

LISA 2

Jrk nr	Parameeter	Lahendid				
		1	2	3	4	5
1	Müra summutamine seadmes	vanade seadmete asendamine uutega	müra summutav kate	aktiive helikontroll seade katseseadmes		
2	Mehaanilise piduri kasutamine	piduri rakendamine katte sees	piduri rakendamine kattest väljaspool	piduri juhtimine automaatselt		
3	Katte transportimine	2 küljeratta abil	4 ratta abil	käepidemetest kinni hoides/tõstes		
4	Katte tõstmine	käepidemest katte pealmises osas	2 käepidemest katte külgedel	kohvri teleskoop käepidemest tagaküljel		
5	Laual seismine	4 reguleeritava jala abil	antivibratsiooni jalgade abil	kummist jalgade abil	2 ratta ja 2 jala abil	ilma eraldi jalgadeta ratastel,
6	Katte kuju disain	risttahukas	silindri kujuline			
7	Väliskatte materjal	puit	lehtmetall (teras)	plastik		
8	Katseseadme töö jälgimine	läbi PVC klaasist ukse	Läbi PVC klaasist ukse akna	kattesse paigaldatud kaamera abil		
9	Toitepinge saamine	katte pinnale toodud pesast	toitekaabel on viidud katte sisse			
10	andmeside kaabli ühendamine seadmega	katte pinnale toodud pesast	andmesidekaabel on viidud katte sisse põrandalt	Kaabel viiakse ukse vahelt		
11	Jahutuse tagamine	õhuavaused	ventilaator+väljavooluava	õhutus torud		

GRAAFILINE OSA

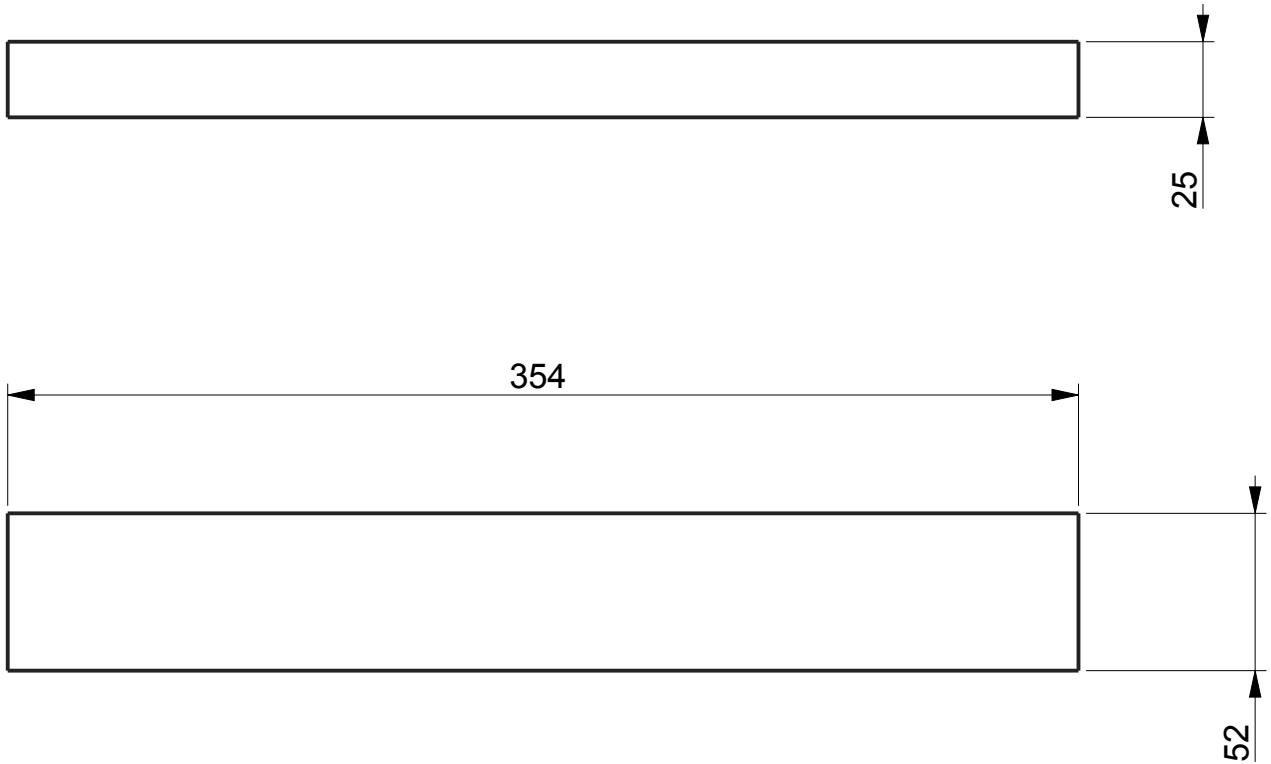
AKEN		We reserve all rights in this document and in the information contained therein. Reproduction, use or disclosure to third parties without express authority is strictly forbidden. © ABB Oy
AKEN (PART)		
A		



MATERIAL: PLEXIGLAS® GS 15mm
 ZTV-Lsw 06, EN 1793/1-3 /
 EN 1794/1-2
 GENERAL TOLERANCE: ISO 2768-m

Cust. Doc. No.		Based on		Customer			
ABB Ref. No.							
Prep.	Malle Seppor	19.05.2014	Title	GLASS DOOR PLEXIGLAS KORPUS	Doc. des.	Scale	Form
Check.					DETAIL DRAWING	0,400	A4
Appr.					Resp.dept.	Rev.ind.	Lang.
Project name					Doc. No.	A (DR)	Sheet
Weight kg					3AUA0411		Total
							1
							1

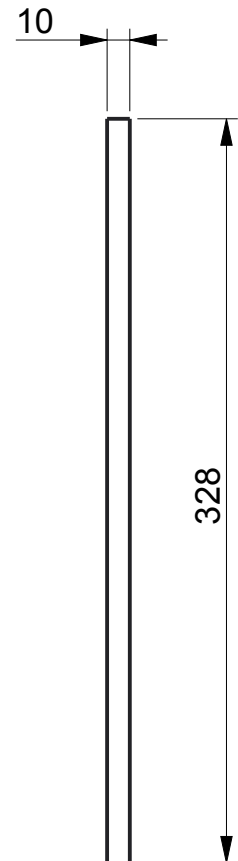
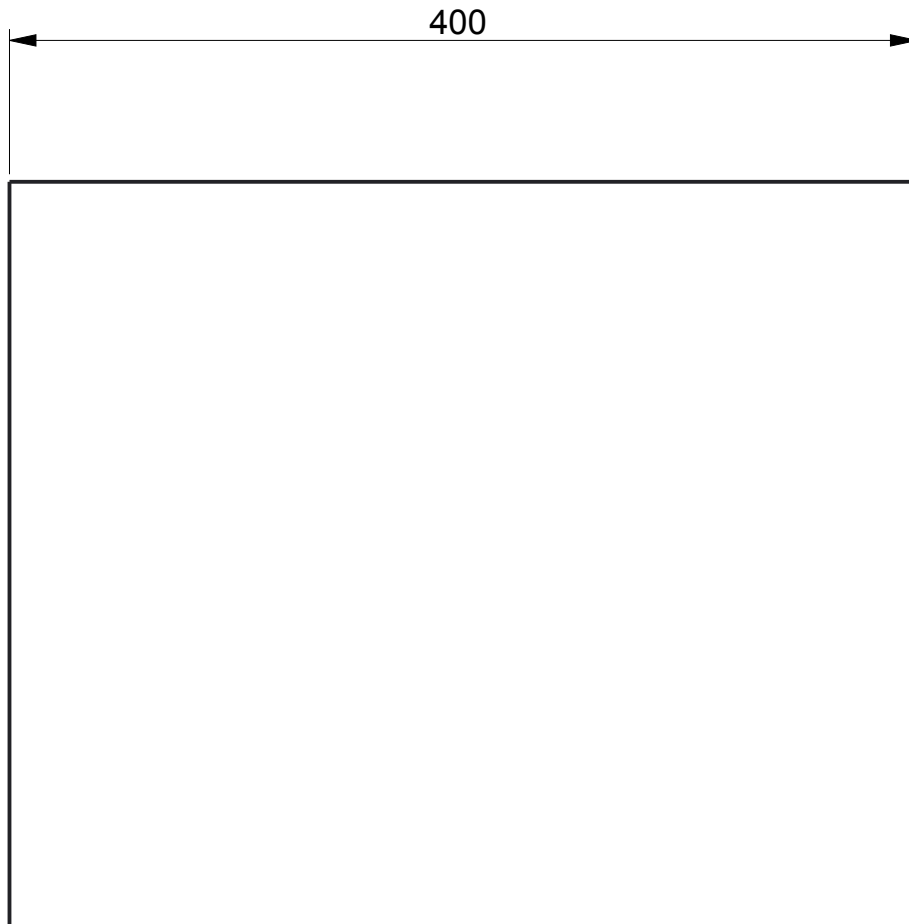
EES_ISO_YLEVEL		We reserve all rights in this document and in the information contained therein. Reproduction, use or disclosure to third parties without express authority is strictly forbidden. © ABB Oy
EES_ISO_YLEVEL (PART)		
A		



MATERIAL: DUCT FOAM
FIRE RETARDANT 25 mm
BS EN ISO 11654:1997
GENERAL TOLERANCE: ISO 2768-m

Cust. Doc. No.		Based on		Customer			
ABB Ref. No.							
Prep.	Malle Seppor	19.05.2014	Title	PANEL, FOAM ISOLATION, WALL, FRONT KORPUS	Doc. des.	Scale	Form
Check.					DETAIL DRAWING	0,400	A4
Appr.					Resp.dept.	Rev.ind.	(DR)
Project name					Doc. No.	3AUA0312	
Weight kg						Lang.	Sheet 1
						Total	1

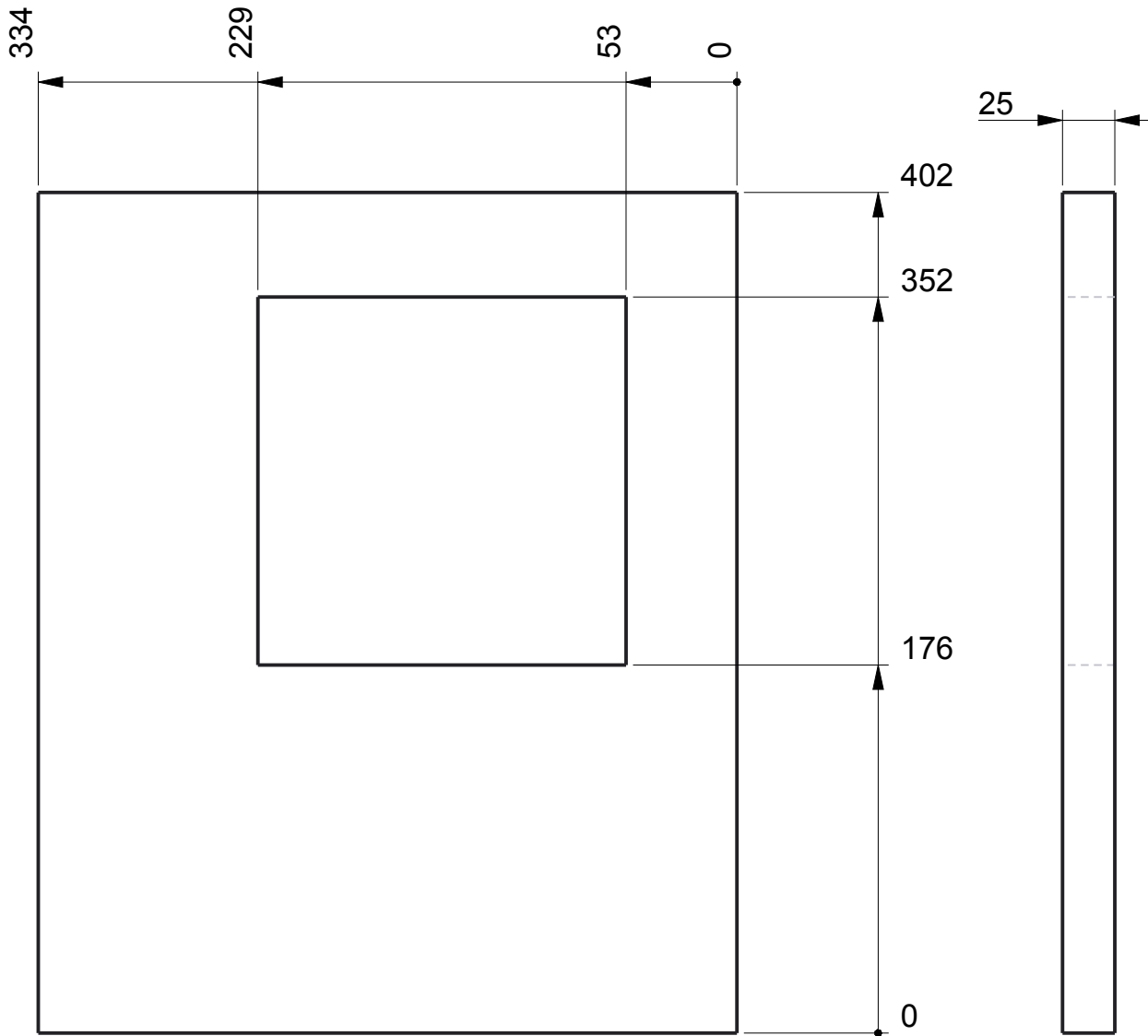
ISO_FLOOR		We reserve all rights in this document and in the information contained therein. Reproduction, use or disclosure to third parties without express authority is strictly forbidden. © ABB Oy
ISO_FLOOR (PART)		
A		



MATERIAL: DUCT FOAM
FIRE RETARDANT 25 mm
BS EN ISO 11654:1997
GENERAL TOLERANCE: ISO 2768-m

Cust. Doc. No.		Based on		Customer				
ABB Ref. No.								
Prep.	Malle Seppor	19.05.2014	Title	ANTIVIBRATION MAT MAT, FLOOR	Doc. des.	Scale	Form	
Check.						0,300	A4	
Appr.			KORPUS		Resp.dept.	Rev.ind.	A (DR)	Lang.
Project name								
Weight kg					Doc. No.	3AUA0211		Sheet 1
								Total 1

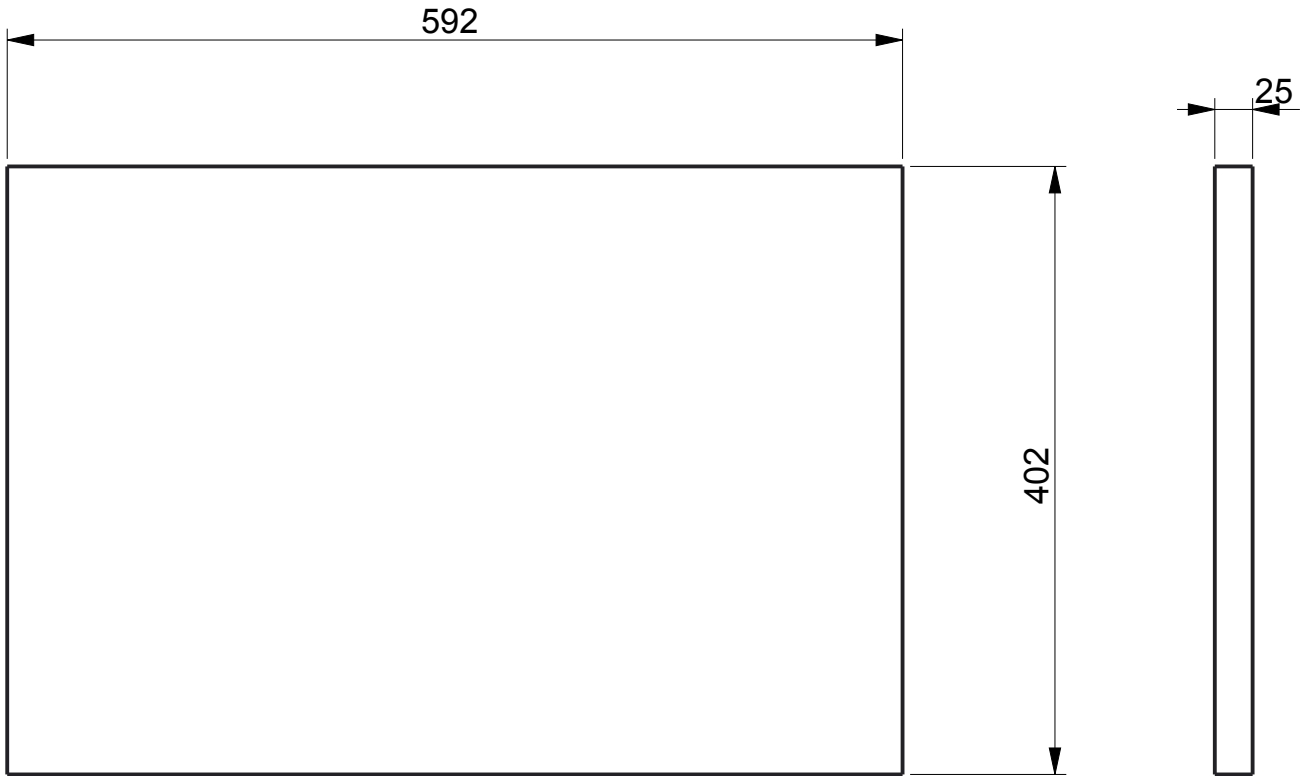
ISO_ROOF		We reserve all rights in this document and in the information contained therein. Reproduction, use or disclosure to third parties without express authority is strictly forbidden. © ABB Oy
ISO_ROOF (PART)		
A		



MATERIAL: DUCT FOAM
FIRE RETARDANT 25 mm
BS EN ISO 11654:1997
GENERAL TOLERANCE: ISO 2768-m

Cust. Doc. No.		Based on		Customer			
ABB Ref. No.							
Prep.	Malle Seppor	19.05.2014	Title	PANEL, FOAM ISOLATION, ROOF, FOAM KORPUS	Doc. des.	Scale	Form
Check.					DETAILED VIEW	0,300	A4
Appr.					Resp.dept.	Rev.ind.	Lang.
Project name					Doc. No.	3AUA0111	Sheet 1
Weight kg							Total 1

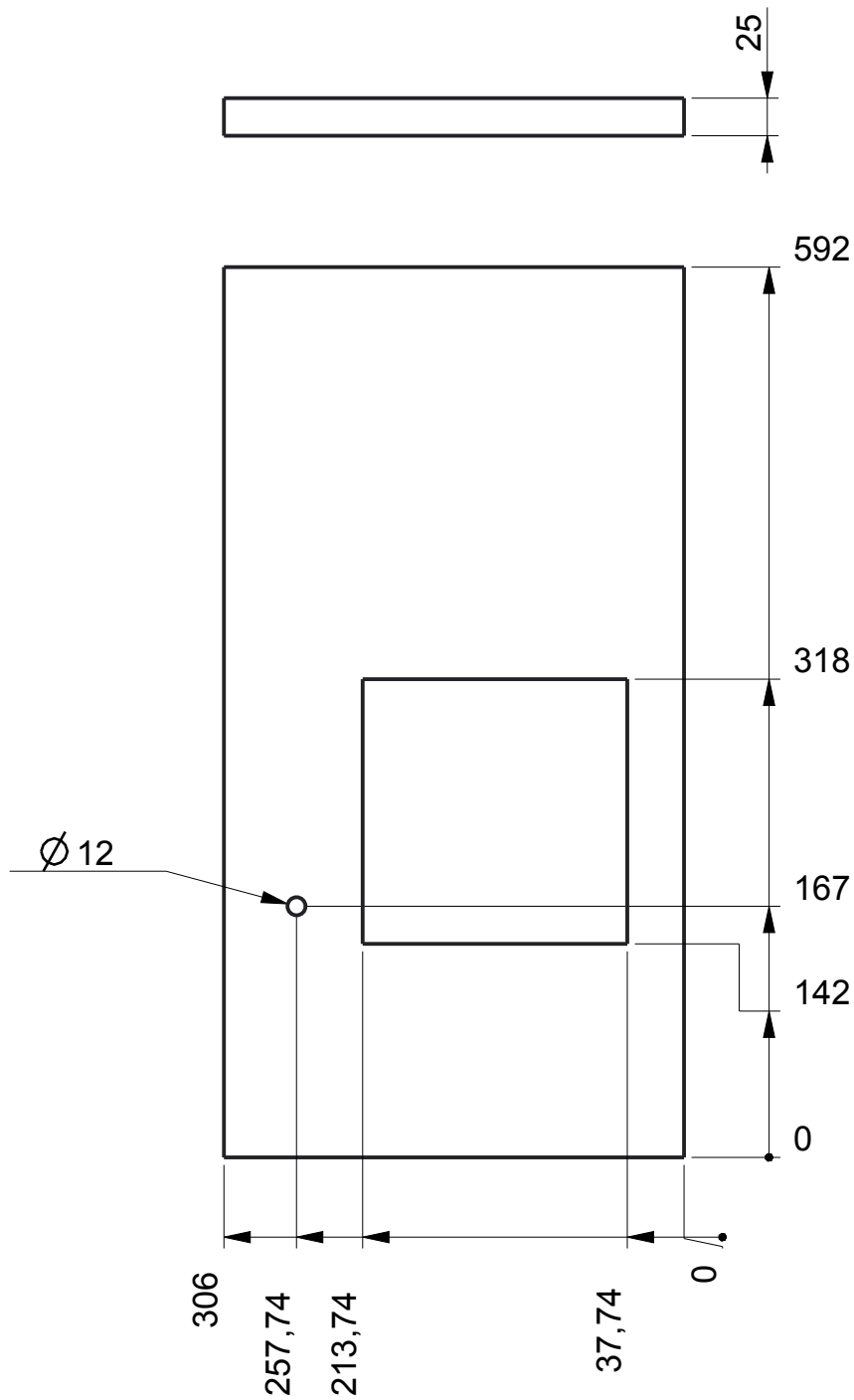
ISO_WALL_BACK		We reserve all rights in this document and in the information contained therein. Reproduction, use or disclosure to third parties without express authority is strictly forbidden. © ABB Oy
ISO_WALL_BACK (PART)		
A		



MATERIAL: DUCT FOAM
FIRE RETARDANT 25 mm
BS EN ISO 11654:1997
GENERAL TOLERANCE: ISO 2768-m

Cust. Doc. No.		Based on		Customer			
ABB Ref. No.							
Prep.	Malle Seppor	19.05.2014	Title	PANEL, FOAM ISOLATION, WALL (BACK)	Doc. des.	Scale	Form
Check.							
Appr.			KORPUS	Resp.dept.	Rev.ind.	A (DR)	Lang.
Project name							Doc. No.
Weight kg							Total
							1

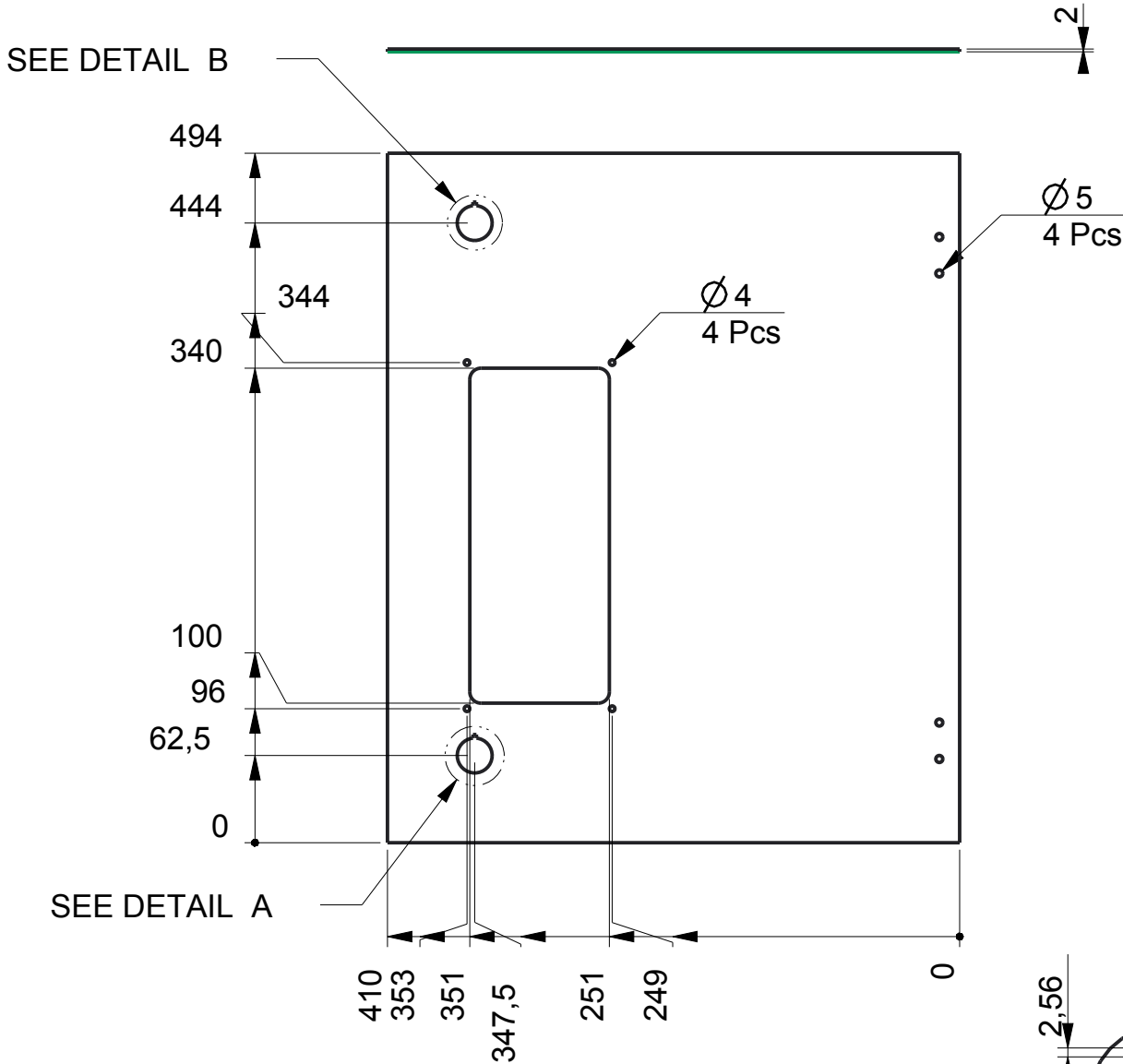
ISO_WALL2		We reserve all rights in this document and in the information contained therein. Reproduction, use or disclosure to third parties without express authority is strictly forbidden. © ABB Oy
ISO_WALL2 (PART)		
A		



MATERIAL: DUCT FOAM
FIRE RETARDANT 25 mm
BS EN ISO 11654:1997
GENERAL TOLERANCE: ISO 2768-m

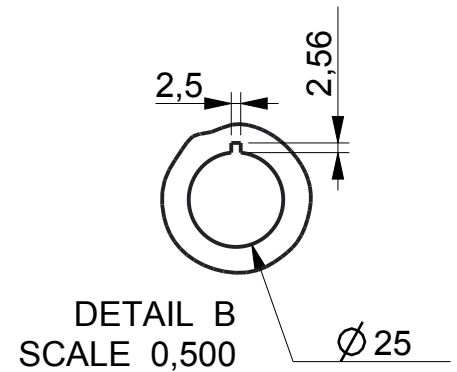
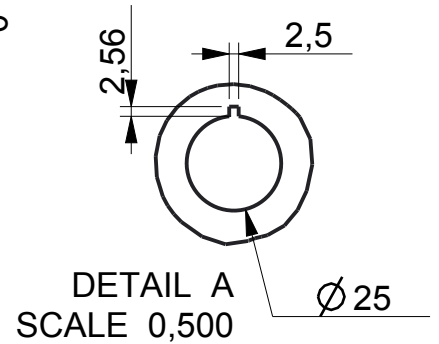
Cust. Doc. No.		Based on		Customer			
ABB Ref. No.							
Prep.	Malle Seppor	19.05.2014	Title	PANEL, FOAM ISOLATION, WALL2, FOAM KORPUS	Doc. des.	Scale	Form
Check.					DETAIL DRAWING	0,200	A4
Appr.					Resp.dept.	Rev.ind.	A (DR)
Project name					Doc. No.	3AUA0314	
Weight kg						Lang.	Sheet 1
						Total	1

UKS		We reserve all rights in this document and in the information contained therein. Reproduction, use or disclosure to third parties without express authority is strictly forbidden. © ABB Oy
UKS (PART)		
A		



SEE DETAIL A

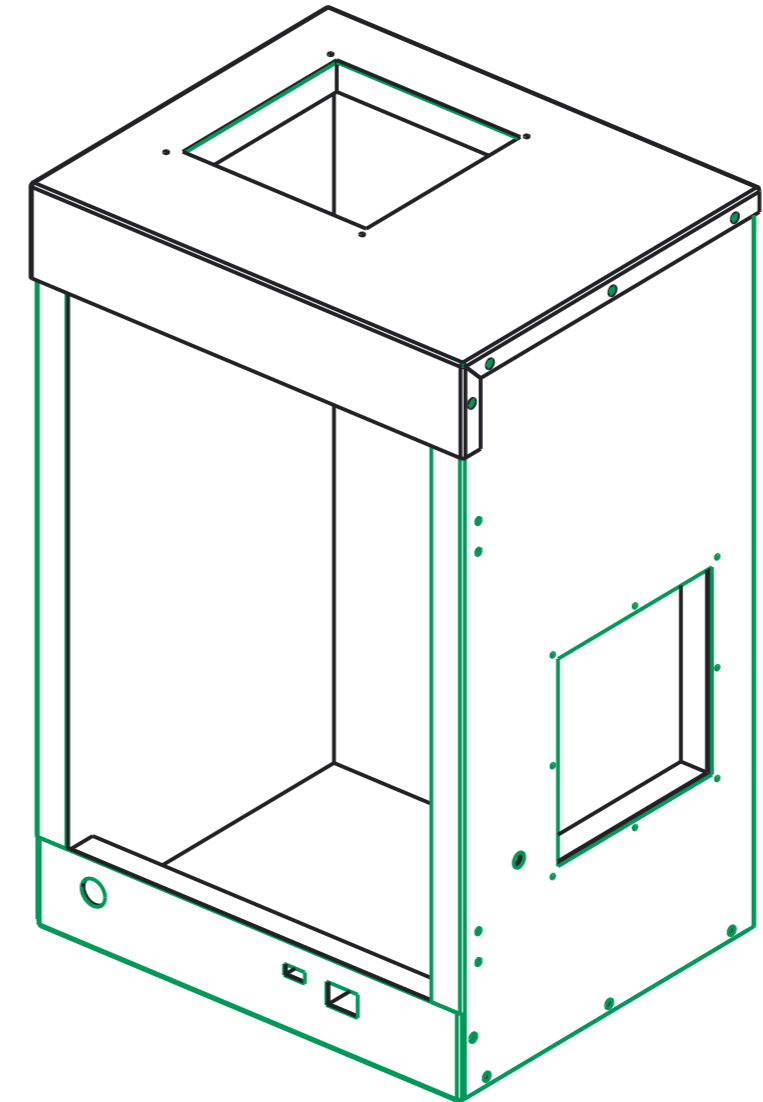
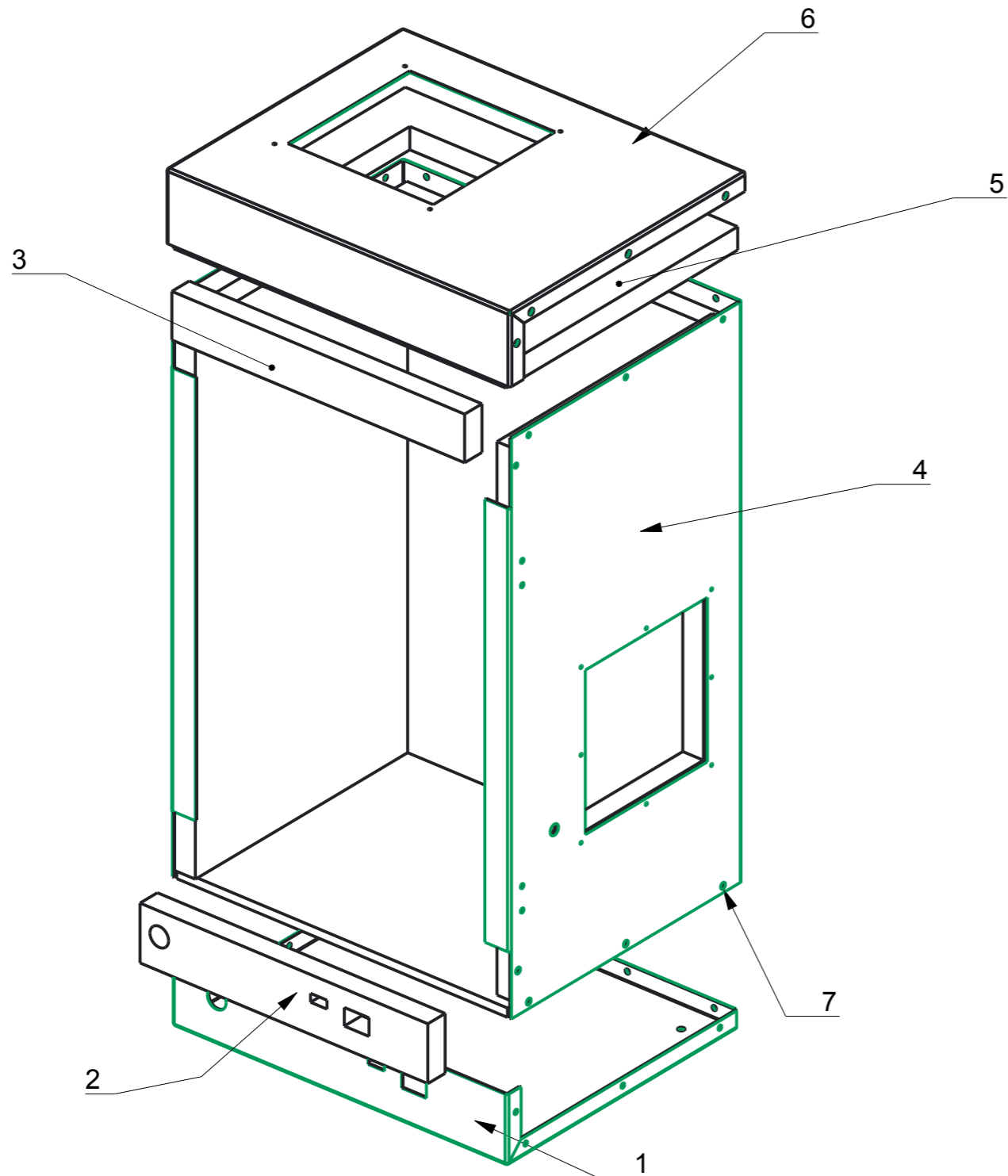
SEE DETAIL B



MATERIAL: HDG STEEL SHEET 2,0 mm
DX51D+Z275-M-A-C
EN 10372
UNMARKED BEND RADII R=0,6mm
COATING: POLYESTER POWDER PAINT
TONE: RAL 7035 SEMIGLOSS
THICKNESS OF COATING: 80 µm
PAINT SPECIFICATION: 3AFE64510967
GENERAL TOLERANCE: ISO 2768-m

Cust. Doc. No.		Based on		Customer			
ABB Ref. No.							
Prep.	Malle Seppor	19.05.2014	Title	PLATE, STEEL DOOR	Doc. des.	Scale	Form
Check.				KORPUS	DETAIL DRAWING	0,200	A4
Appr.					Resp.dept.	Rev.ind.	Lang.
Project name					A (DR)		
Weight kg					Doc. No.	3AUA0401	Sheet
							Total
							1
							1

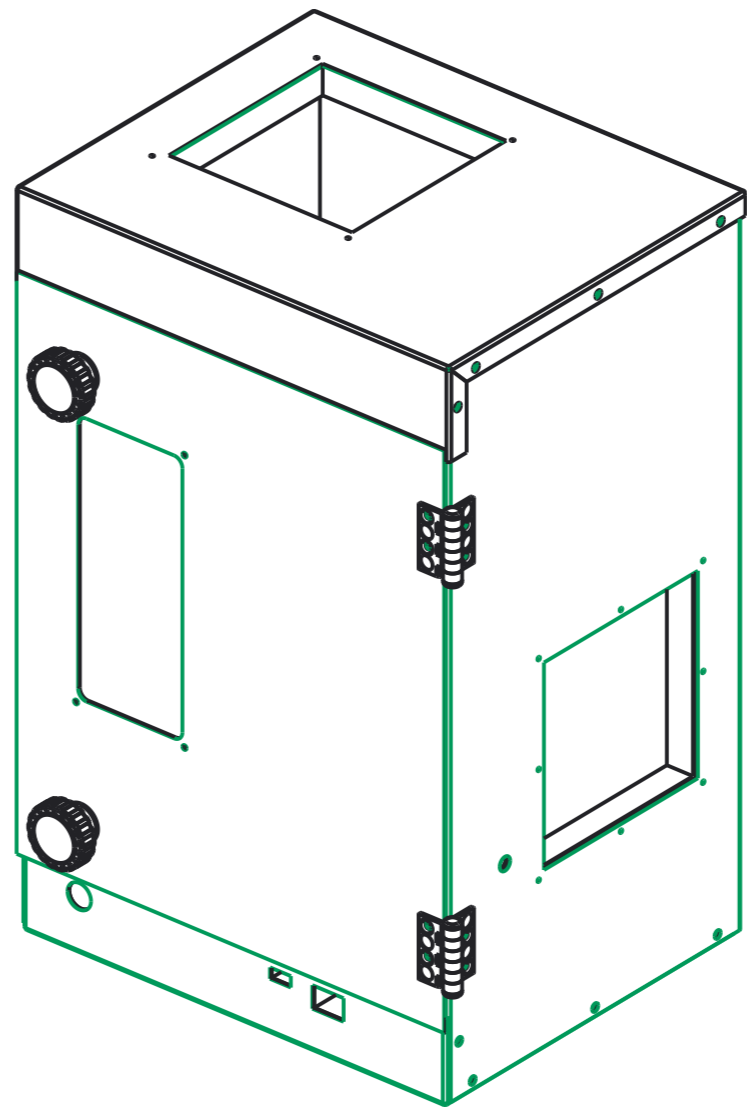
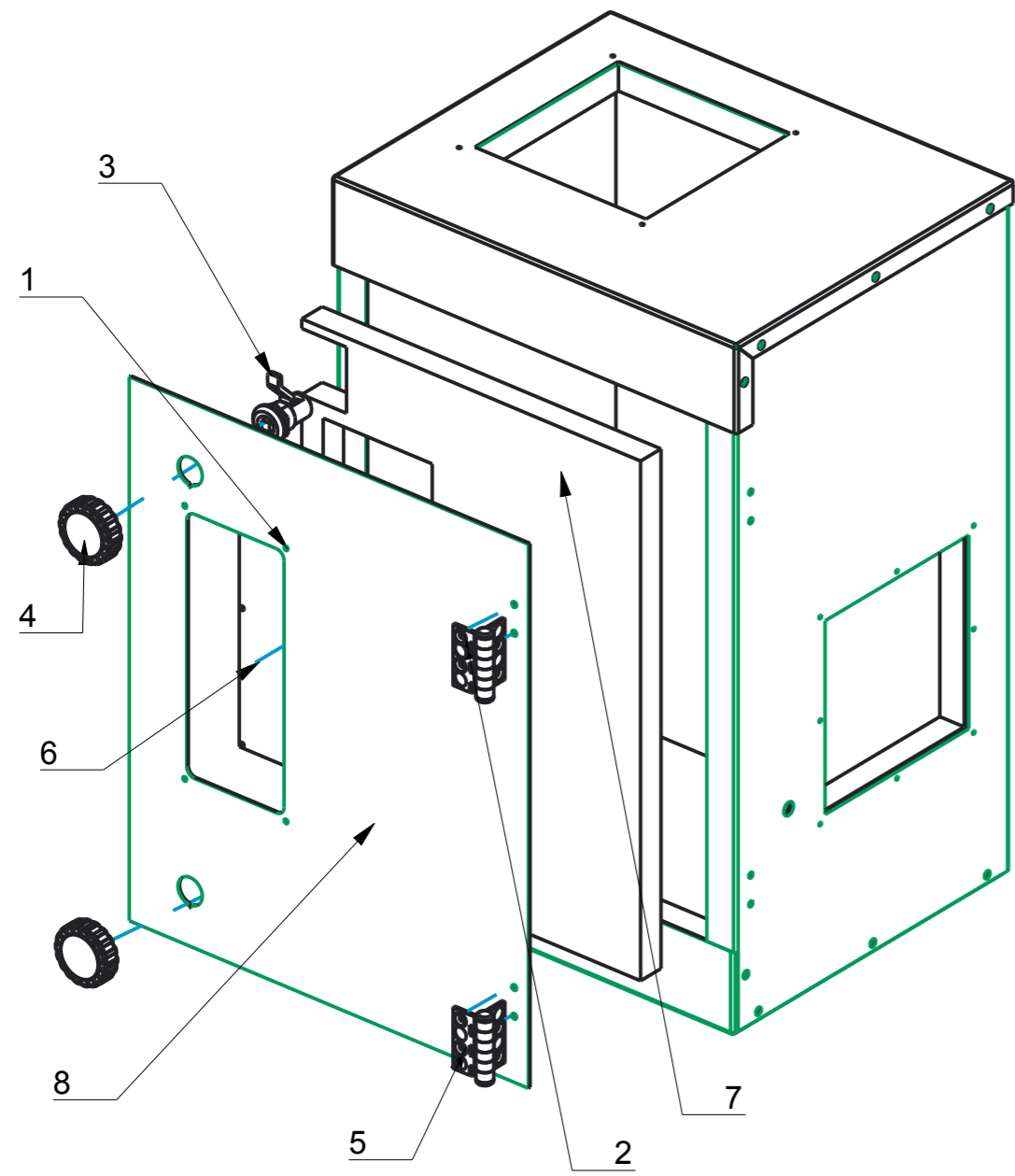
KOOST	We reserve all rights in this document and in the information contained therein. Reproduction, use or disclosure to third parties without express authority is strictly forbidden. © ABB Oy		
KORPUS_1 (ASSEM)			
A			



7	24	3AUA1111	SCREWS	DIN7500C/DIN7985 ZN M6x12 TAPPING SCREW
6	1	3AUA0101	ROOF	SHEET METAL 2MM, ROOF
5	1	3AUA0111	ROOF_ISO	FR25SA FIRE RETARDENT DUCT FOAM 25MM
4	1	3AUA0301	WALLS	SHEET METAL 2MM, WALLS
3	1	3AUA0312	EES_ISO_YLEVEL	FR25SA FIRE RETARDENT DUCT FOAM 25MM
2	1	3AUA0311	EES_ISO_ALL	FR25SA FIRE RETARDENT DUCT FOAM 25MM
1	1	3AUA0201	FLOOR	SHEET METAL 2MM, FLOOR
PRTNO	QTY	MRP CODE	NAME/TITLE_1	TECH. DESC/TITLE_2

Based on	Prepared	Malle Seppor	19.05.2014	Title	KORPUS KOOST1 WALL/ROOF/FLOOR	Doc. des.	DETAIL DRAWING	Scale	0,180	Form	A3	
Customer	Check.					Resp.dept.		Rev.ind.	A (DR)	Lang.		
Cust. Doc. No.	Project name					Doc. No.	3AUA0001			Sheet	2	
ABB Ref. No.	Weight kg									Total	5	

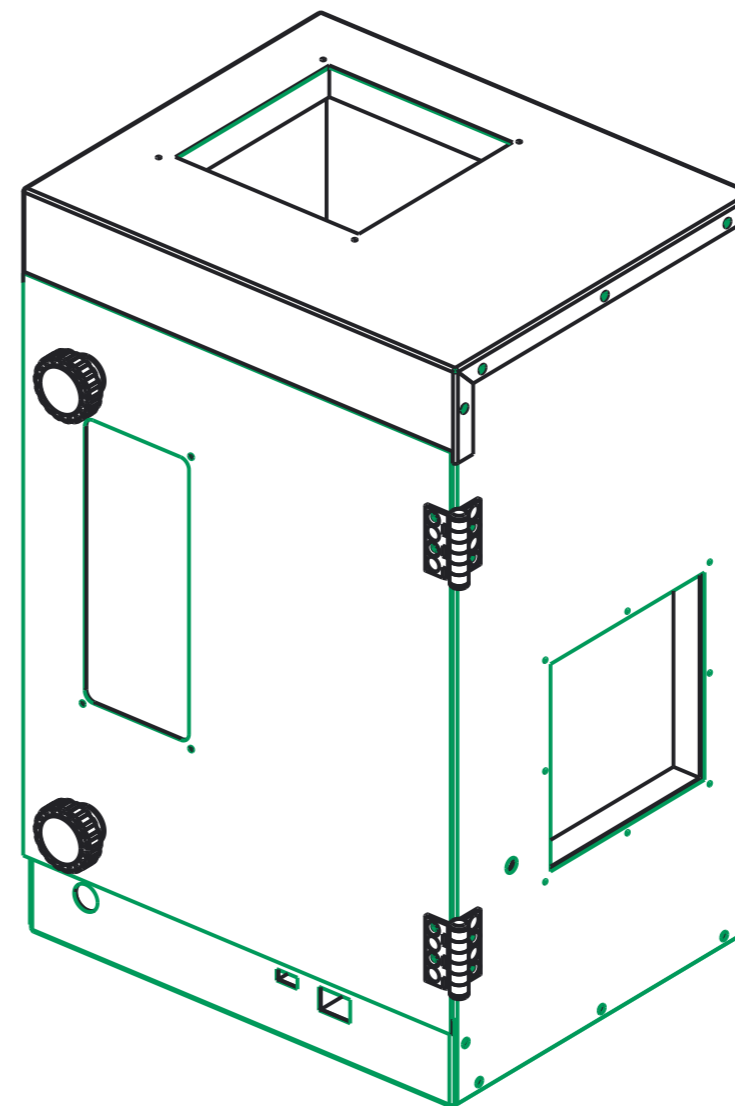
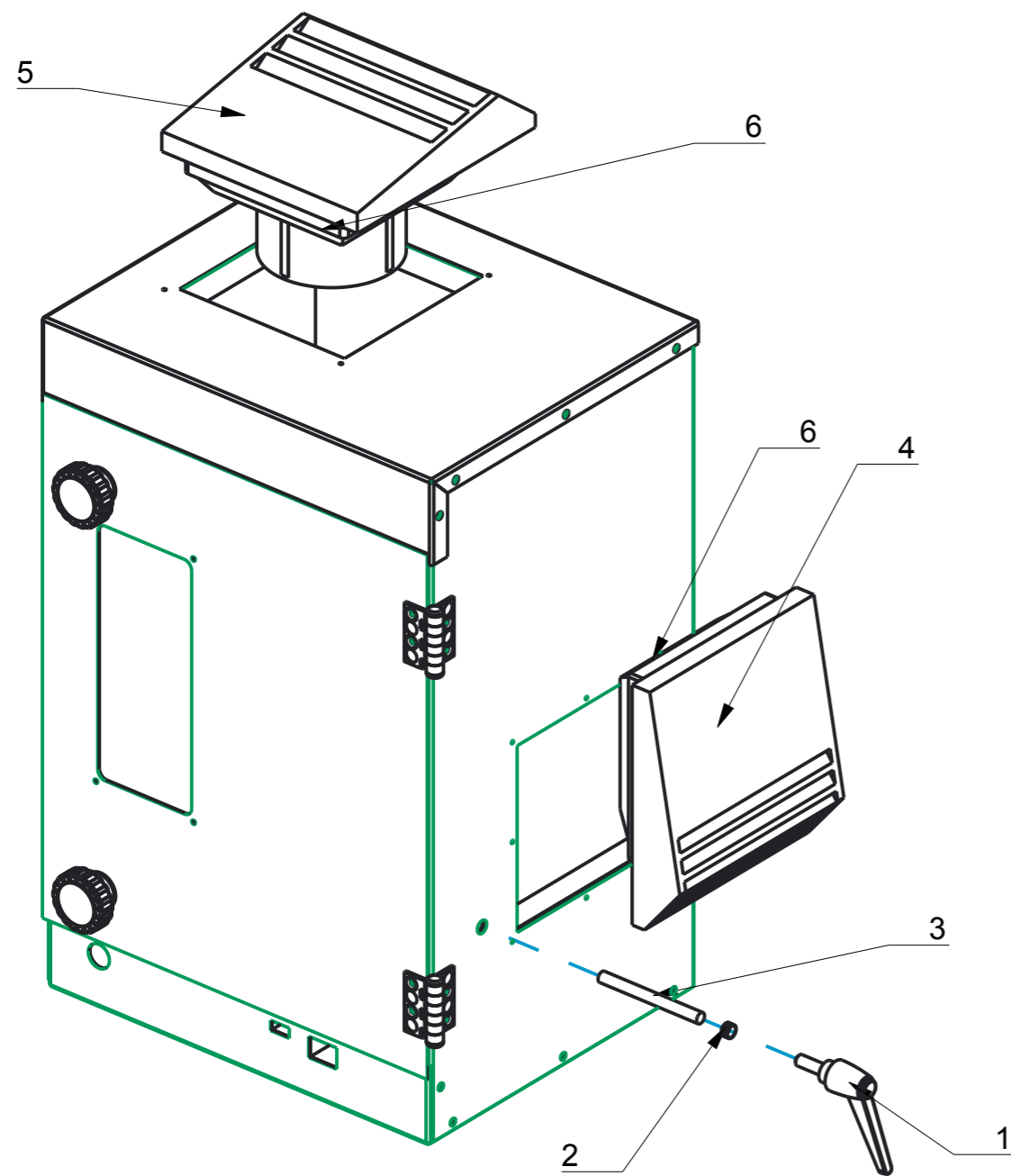
KOOST	We reserve all rights in this document and in the information contained therein. Reproduction, use or disclosure to third parties without express authority is strictly forbidden.		
KORPUS_1 (ASSEM)			
A			



8	1	3AUA0401	UKS	UKS_SHEET METAL
7	1	3AUA0402	F140	FR25SA FIRE RETARDENT DUCT FOAM 25MM
6	1	3AUA0411	Plexiglas door window	PLEXIGLAS® GS 4MM
5	2	3AUA0422	422611 HINGES	CFC55 SH-5
4	2	3AUA0431	ROTARY CLAMPING LATCHE (FRONT)	GN_116_1
3	2	3AUA0432	ROTARY CLAMPING LATCHE	GN_116_1
2	8	3AUA1300	HINGES SCREW	DIN 965/ISO7046/4.8 ZN M5x12 TORX
1	6	3AUA0426	COMBISCREW+SERPRESS NUT	DIN 6900/ISO10644/ DIN 6905+6902A DIN7985 8,8ZN M4x16 COMBISCREW
PRTNO	QTY	MRP CODE	NAME/TITLE_1	TECH. DESC/TITLE_2

Based on	Prepared	Malle Seppor	19.05.2014	Title	KORPUS KOOST2 DOOR PARTS	Doc. des.	DETAIL DRAWING	Scale	0,180	Form	A3	
Customer	Check.					Resp.dept.		Rev.ind.	A (DR)	Lang.		
Cust. Doc. No.	Project name					Doc. No.	3AUA0001			Sheet	3	
ABB Ref. No.	Weight kg									Total	5	

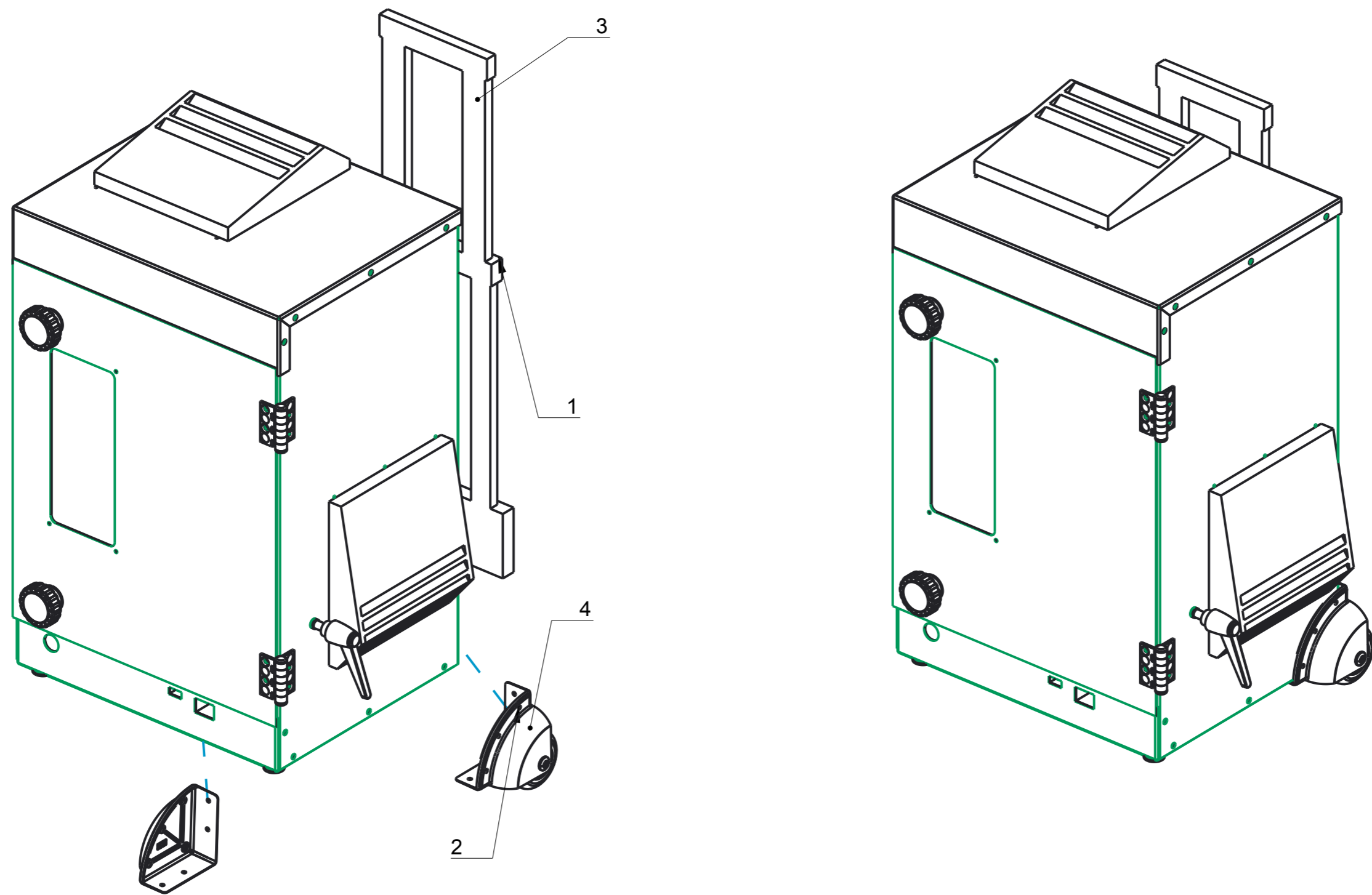
KOOST	We reserve all rights in this document and in the information contained therein. Reproduction, use or disclosure to third parties without express authority is strictly forbidden.		
KORPUS_1 (ASSEM)			
A			



6	1	3AUA1200	DOUBLE SIDED TAPE	STEGO DOUBLE SIDED TAPE
5	1	3AUA0602	EXIT FILTER	11802.0_00
4	1	3AUA0601	FILTERFAN	FF018/01804.0_00
3	2	3AUA0503	BREAK BAR	STEEL D10 L300
2	1	3AUA0502	0001234	RUBBER BUFFER M10
1	1	3AUA0501	466009	BREAK HANDLE
PRTNO	QTY	MRP CODE	NAME/TITLE_1	TECH. DESC/TITLE_2

Based on	Prepared	Malle Seppor	19.05.2014	Title	KORPUS KOOST3 WALL OUTER PARTS	Doc. des.	DETAIL DRAWING	Scale	0,180	Form	A3	
Customer	Check.					Resp.dept.		Rev.ind.	A (DR)	Lang.		
Cust. Doc. No.	Project name					Doc. No.	3AUA0001			Sheet	4	
ABB Ref. No.	Weight kg									Total	5	

KOOST	We reserve all rights in this document and in the information contained therein. Reproduction, use or disclosure to third parties without express authority is strictly forbidden.		
KORPUS_1 (ASSEM)			
A			



4	2	3AUA0701	SIDE WHEELS	TCH-511-2294800
3	1	3AUA0801	TROLLEY HANDLE	001_334_221
2	14	3AUA1000	Side wheel screws	DIN7500C/DIN7985 ZN M5x12 TAPPING SCREW
1	6	3AUA1100	Trolley handle screws	M3x6 SCREW
PRTNO	QTY	MRP CODE	NAME/TITLE_1	TECH. DESC/TITLE_2

Based on	Prepared	Malle Seppor	19.05.2014	Title	KORPUS KOOST4 WALL OUTER PARTS2	Doc. des.	DETAIL DRAWING	Scale	0,180	Form	A3	
Customer	Check.					Resp.dept.		Rev.ind.	A (DR)	Lang.		
Cust. Doc. No.	Project name					Doc. No.	3AUA0001			Sheet	5	
ABB Ref. No.	Weight kg									Total	5	