



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND

Materjali- ja keskkonnatehnoloogia instituut

ÜMBERTÖÖDELDUD TEKSTIILMATERJALIDEST
VALMISTATUD HELI- JA
SOOJUSISOLATSIOONIMATERJALIDE ANALÜÜS JA
KATSETAMINE ETTEVÕTTE AS TOOM TEKSTIIL NÄITEL

ANALYSIS AND TESTING OF SOUND AND THERMAL INSULATION MATERIALS
MADE FROM RECYCLED TEXTILE MATERIALS ON THE EXAMPLE OF COMPANY
AS TOOM TEKSTIIL

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Joanna-Eliisa Servet

Üliõpilaskood: KVEM 153171

Juhendaja: Tiia Plamus, Polümeeride ja
tekstiilitehnoloogia labor, Lektor

Tallinn 2018

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.

“.....” 201.....

Autor: Joanna-Eliisa Servet

/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

“.....” 201.....

Juhendaja: Tiia Plamus

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....”201... .

Kaitsmiskomisjoni esimees: Andres Krumme

/ allkiri /

Materjali- ja keskkonnatehnoloogia instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Joanna-Eliisa Servet 153171KVEM
Õppekava, peeriala: KVEM Puidu-, plasti- ja tekstiilitehnoloogia, tekstiilitehnoloogia
Juhendaja: Tiia Plamus, Polümeeride ja tekstiilitehnoloogia labor, lektor 620 2904
Konsultant: Innar Susi, ostu- ja müügijuht
Toom Tekstiil AS, +3725094965, innar@toomtekstiil.ee

Lõputöö teema:

(eesti keeles) Ümbertöödeldud tekstiilmaterjalidest valmistatud heli- ja soojusisolatsioonimaterjalide analüüs ja katsetamine ettevõtte AS Toom Tekstiili näitel

(inglise keeles) Analysis and testing of sound and thermal insulation materials made from recycled textile materials on the example of company AS Toom Tekstiil

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Teha kindlaks, kas Toom Tekstiil AS toodetavad tekstiilijäätmetest ümbertöödeldud heli- ja soojusisolatsioonimaterjalid vastavad neile esitatud Eestis kehtivate miinimumnõuetele
2. Leida tekstiiljäätmetest ümbertöödeldud heli- ja soojusisolatsioonimaterjalidele standarditele vastavad miinimumnõuded ning sobivus kasutamaks neid ehituskonstruktsioonides
3. Järeldused, kas ümbertöödeldud tekstiilmaterjalid oleksid konkureerivad juba Eesti turul olevate soojusisolatsioonimaterjalidega

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Sissejuhatuse kirjutamine	16.02.2018
2.	Vormistamine	05.03.2018

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
3.	Kasutatud kirjanduse ülevaade -ülevaate tegemine tekstiilmaterjalide ümbertöötlemisest	27.03.2018
4.	Ümbertöödeldud tekstiilmaterjalidest heli- ja soojusisolatsioonimaterjalide valmistamise kirjutamine Toom Tekstiil AS näitel	11.04.2018
5.	Nõuded heli- ja soojusisolatsioonimaterjalidele- standardid, nõudmised materjali omadustele, soovituslikud miinimumnõuded, ülevaade Eesti turul kasutatavatest/ olemasolevatest materjalidest	22.04.2018
6.	Lõputöö esitamine vahekaitsmisel	04.05.2018
7.	AS Toom Tekstiil soojus- ja heliisolatsioonimaterjalide katsetamine	10.05.2018
8.	Kaitsmistootluse esitamine	14.05.2018
9.	Tasuvusanalüüsi moodustamine	17.05.2018
10.	Järelduste moodustamine	18.05.2018
11.	Kokkuvõtte kirjutamine	20.05.2018
12.	Magistritöö esitamine retsensendile	24.05.2018
13.	Kõidetud magistritöö ja vajalike dokumentide esitamine teaduskonda	30.05.2018
14.	Magistritöö kaitsmine	06.06.2018

Töö keel: Eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** "30" mai.2018.a

Üliõpilane: Joanna-Eliisa Servet ".....".....201....a
/alkiri/

Juhendaja: Tiia Plamus ".....".....201....a
/alkiri/

Konsultant: Innar Susi ".....".....201....a
/alkiri/

SISUKORD

EESSÖNA.....	8
LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU.....	10
SISSEJUHATUS	12
1 ÜLEVAADE TEKSTIILMATERJALIDE ÜMBERTÖÖTLEMISEST.....	14
2 ETTEVÕTTE TOOM TEKSTIIL AS TUTVUSTUS.....	16
2.1 Toom Tekstiil AS tootmisliin.....	16
2.2 Tekstiilmaterjalide ümbertöötlemine Toom Tekstiil AS'is.....	17
2.3 Tekstiiljäätmete ümbertöötlemisest saadud materjal	17
3 SOOJUSISOLATSIOONIMATERJALID	19
3.1 Soojusisolatsioonimaterjalide olulised omadused	19
3.2 Isoleerimise mõte, eesmärgid ja liigid	20
3.3 Erinevad soojustusmaterjalid	21
3.4 Nõuded soojusisolatsioonimaterjalidele	22
3.5 Ümbertöödeldud tekstiilkiududest valmistatud soojusisolatsioonimaterjalide kirjeldus	24
3.6 Eestis kehtivad soojusisolatsioonimaterjalidele kehtivad standardid	26
3.7 Ehitustoodete ja -elementide tuleohutusalane klassifikatsioon	27
3.7.1 Tuletundlikkuse klassid	27
3.7.2 Katsemeetodid ja kasutusulatuse reeglid	27
3.7.3 Ehitustoodete katsetamine.....	27
3.7.4 Soojusisolatsioonitoodete katsetamine.....	28
3.7.5 Ehitustoodete klassifikatsiooni kriteeriumid	28
4 HELIISOLATSIOONIMATERJALID	30
4.1 Akustilised materjalid	32
4.2 Erinevad heliisolatsioonimaterjalid	34
4.3 Heliisolatsioonimaterjalide standardid Eestis.....	34

4.4 Müra normtasemed	35
4.4.1 Normdokumendid	35
4.4.2 Heliisolatsiooninõuded ehitise sisepiiretele	36
5 AS TOOM TEKSTIIL MATERJALIDE KATSETAMINE	40
5.1 Soojusisolatsioonimaterjalide katsetamine	41
5.1.1 Aparatuur	41
5.1.2 Seadme ja katsekehade piirangud	42
5.1.3 Soojusjuhtivusteguri määramise protseduur	43
5.2 Soojusisolatsioonimaterjalide soojusjuhtivus ja testide tulemused.....	43
5.2.1 Kiudude termilised omadused	43
5.2.2 Soojusmahtuvus	44
5.2.3 Soojusjuhtivus	44
5.2.4 Soojusisolatsioonimaterjalide soojusfüüsikaliste mõõtmiste protokoll	45
5.3 Pikaajalise veeimavuse immersiooni määramine	47
5.4 Veeimavuse testi protseduur.....	50
5.5 Soojusisolatsioonivatiin <i>Blue Sky Multicolor</i> katsetulemused	51
5.6 Soojustusvill vill + polüester + <i>Aflammit</i> 6 % katsetulemused	52
5.7 Soojustusvatiin 100% polüester katsetulemused	52
5.8 Tulekindluse klassi määramine	53
6 HELIISOLATSOONIMATERJALIDE KATSETAMINE	55
6.1 Heliisolatsiooni teststendi ja mõõtemetodi lühikirjeldus	55
6.2 Eksperimendi lühikirjeldus	56
6.3 Tulemused.....	57
6.4 Järeldused	61
7 KATSETULEMUSTE KOKKUVÕTE JA ANALÜÜS.....	62
8 KOKKUVÕTE.....	68

SUMMARY	69
KASUTATUD KIRJANDUS.....	70
LISAD	73
Lisa 1 Toom Tekstiil AS ümbertöötlemistööstuse tootmisliin	74
Lisa 2 Soojusjuhtivuse U-arvu arvutamiskäik heli- ja soojusisolatsioonimaterjalidele.....	78
Lisa 3 Pikaajalise veeimavuse EVS - EN 12087 katseprotokollid.....	80
Lisa 4 Toom Tekstiil AS soojusisolatsioonimaterjalide hindade ümberarvutus.....	92

EESSÕNA

Lõputöö teema "Ümbertöödeldud tekstiilmaterjalidest valmistatud heli- ja soojusisolatsioonimaterjalide analüüs ja katsetamine ettevõtte Toom Tekstiil AS näitel" on kujunenud välja mitmete projektiainete raames, mille käigus tehti koostööd Viljandi ettevõtte Toom Tekstiil AS'iga. Ettevõtte poolne konsultant on ostu- ja müügijuht Innar Susi, kes on autorit aidanud erinevate kirjandusallikatega ning vajalike katsekehadega. Lõplikult on aidanud autoril teema formuleerida magistritöö juhendaja Tiia Plamus.

Töös on välja toodud tekstiiljäätmete kogunemise probleem ja selle kasulikkusele suunamine - soojusisolatsioonimaterjalide valmistamine. Magistritöös on kasutatud kolme eri tüüpi materjale, milleks on villasoojusisolatsiooni-, polüestersoojusisolatsiooni- ja *Blue Sky Multicolor* (ümbertöödeldud tekstiilmaterjalist) soojusisolatsioonimaterjalid. Antud soojusisolatsioonimaterjalidele on leitud miinimumnõuded, tehtud standardiseeritud katsed ning analüüs vastavalt katsetulemustele.

Magistritöö materjalide standardiseeritud katsetused on läbiviidud Tallinna Tehnikaülikooli kahes erinevas laboris. Kolmas katsetus on tehtud katsestendiga akustikalaboris, kuid test ei ole standardiseeritud. Põhjalikult oli autoril võimalus läbi viia järgmised katsetused - soojustakistuse määramine kasutades kaitsekehaga kuumutusplaadi ja soojusvoo meetodi EVS - EN 12667 : 2001 ja EN 12087 pikaajalise veeimavuse määramine.

Pikaajalise veeimavuse katsetus viidi läbi ehitusmaterjalide teadus- ja katselaboratooriumi kliimalaboris ja soojusjuhtivusteguri määramine energiatehnoloogia instituudi laboris. Ehitusmaterjalide teadus- ja katselaboratooriumis aitas suurel määral autorit laborant Lea Saia ja mõtteid toetas teadur Tiina Hain. Energiatehnoloogia instituudi laboris aitas katsetamistel ja aruteludel insener Gert Kuldma ja loa katsetamiseks andis ettevõtlusspetsialist Mari Sulg.

Magistritöö autor on kõigile kaasaaidanutele väga tänulik, eriti kannatlikule ja põhjalikule juhendajale Tiia Plamusele. Muidugi autor tänab koostöö ettevõtet Toom Tekstiil AS'i, kes varustas autorit materjalidega ja materjalide tehniliste näitajatega. Suur tänu läheb ka toetavatele perekonnale ja sõpradele.

Võtmesõnad: heli- ja soojusisolatsioonimaterjalid, tekstiilijäätmed, standardiseeritud katsetused, tasuvusanalüüs, magistritöö

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

Selles peatükis tuuakse välja olulisemad magistritöö lühendid ja tähised ning nende definitsioonid.

A - voolukiirusega ristuv soojus

Aflammit - Toom Tekstiil AS materjalides kasutatav viimistlusvahend

E - erikaal, tähis Toom Tekstiil AS materjalidel, mille arv tähise taga näitab kuupmeetri materjali kaalu kilogrammides (näide, kui 1500 g materjal on paksusega 8 cm, siis E arv on $1,5 / 0,08 = 18,75$ see tähendab materjal on E19)

Fiberfill - sünteetiline materjal, peamiselt kasutatakse polstriks ja isolatsiooniks. Seda leidub rõivastes ja pehmes mööblis nagu padjad ja tekid [1]

FIGRA_{0,2MJ} - Põlemise intensiivsus, kui THR väärtus on 0,2 MJ

FIGRA_{0,4MJ} - Põlemise intensiivsus, kui THR väärtus on 0,4 MJ

High-loft - kiu struktuurile on antud termin, mis sisaldab endas rohkem õhku kui kiusid [2]

L'nw - löögimürataseme indeks (dB)

q - voolukiiruse tihedus

q - Soojusvoog, mis võrdub $k (dT / dx)$, kus dT / dx on temperatuuri gradient, k on soojusjuhtivus

R - termiline vastupidavus soojusjuhtivuse määramisel

R - helisummutuskoefitsient

Recofill - Toom Tekstiil AS soojustus-, heliisolatsioonipaneelides kasutatud materjal, mis koosneb erinevatest tekstiili- ja tööstusjäätmest

R'w - õhumüra isolatsiooni indeks (dB)

THR_{600s} - 600 s jooksul eralduv summaarne soojushulk (MJ)

ΔT - temperatuuride erinevus katsekehades

U - arv - soojatakistuse pöördarv

$v \%$ - keskmise veeimavuse protsent kg/m^2

W_{ip} - veeimavus, $v \%$

$p+$, $p-$ - positiivne ja negatiivne liikuv helilaine

λ *lambda* - soojusjuhtivustegur

λt - soojustakistus

Φ - mõõdetud soojus voolukiirusest

SISSEJUHATUS

Tekstiilitööstusest ja olmetarbimisest tekib igapäevaselt suurel hulgal tekstiiljätmeid. Tekstiiljätmed on üks suurematest keskkonda saastavatest teguritest. 2012. aasta andmetel toodeti maailmas 84 miljonit tonni tekstiilkiude, millest suurem osa ringlusprotsessis läheb põletamise ja prügimägedele. 2015.aasta andmetel tekkis Eestis aga ühe väikse riigi kohta samuti suur kogus tekstiiljätmeid, mis oli üle 21 000 tonni. Kuna maailma üleüldine jäätmete probleem suureneb iga hetkega, siis ettevõtted peavad enda tööstuse jäätmete sorteerimisega minema aina läbipaistvamaks ja leidma erinevaid lahendusi tekkivatele jäätmetele.

Jäätmete ümbertöötlemise ja uuesti kasutusele võtmiseks on seni juba mõeldud üsna palju lahendusi. Tekstiiljätmeid töödeldakse ümber majapidamise puhastuslappideks, autotööstuses kasutatakse ümbertöödeldud tekstiiljätmeid heliisolatsiooniks ning mattideks ja paljudeks muudeks erinevateks esemeteks.

Käesolevas lõputöös tuuakse välja ülemaailmne ning Eesti sisene tekstiiljätmete kogunemise probleem, milles ümbertöötlemine mängib suurt rolli. Antud teema on väga päevakohane ning seetõttu käsitletakse tekstiiljätmete kasulikkusele suunatud ümbertöötlemist. Selles töös võetakse aluseks koostööfirma Toom Tekstiil AS poolt toodetavad soojus- ja heliisolatsioonimaterjalid. Magistritöös tuuakse välja ümbertöötamise temaatika, mis võib standardite ja nõuete kohaste andmete koostöös tuua turule materjale, mida on võimalik kasutada ehituskonstruktsioonides ehitiste soojus- ning heliisolatsioonimaterjalideks.

Lõputöös pannakse kirja heli- ja soojusisolatsioonimaterjalidele nõuded ja standardid, tuuakse välja näiteid juba turul olevatest materjalidest. Kirjeldatakse ümbertöödeldud tekstiiljätmetest toodetud materjalide valmimisprotsessi ning samuti katsetusmeetodeid ja analüüsitakse katsetulemusi.

Lõputöö üldine eesmärk on teha kindlaks, kas Toom Tekstiil AS toodetavad tekstiiljätmetest ümbertöödeldud heli- ja soojusisolatsioonimaterjalid vastavad neile esitatud Eestis kehtivate miinimumnõuetele. Alaeesmärkideks on leida tekstiiljätmetest ümbertöödeldud materjalidele standarditele vastavad miinimumnõuded ning materjalide sobivus kasutamaks neid ehituskonstruktsioonides. Heli- ja soojusisolatsioonimaterjalide katsetulemustest tehakse järeldused, kas ümbertöödeldud tekstiilmaterjalid suudavad konkureerida juba turul

saadaolevate materjalidega. Lõputöö eesmärgi kohaselt analüüsitakse töö teises pooles antud materjalide tasuvust kasutatamaks neid soojus- ja heliisolatsioonimaterjalidega konkureerivate materjalidega.

Magistritöö esimeses pooles kirjeldatakse tekstiilijätmete probleemi ülemaailmses olukorras ning tuuakse välja võimalusi, kuidas on võimalik antud materjale taaskasutada tekstiilitööstuses.

1 ÜLEVAADE TEKSTIILMATERJALIDE ÜMBERTÖÖTLEMISEST

Tekstiilikiude ja -materjale toodetakse maailmas vastavalt inimeste tarbimisharjumustele. Kiirmoe brändid toodavad kuni 50 erinevat kollektsiooni aastas, millest enamus moodustuvad odavad polüestrist rõivad. Mida odavam on rõivaese, seda suuremal hulgal seda ostetakse. Mis viib selleni, et toodetakse aina rohkem ja rohkem tekstiilmaterjale, mida ei ole võimalik nii suurel hulgal ja kiirusel ümbertöödelda.

Tekstiilkiudude kogutoodang maailmas vastavalt 2012. aasta andmetele on 84 miljonit tonni ja see arv on pidevalt kasvav. Nende andmete seisuga toodetavate kiudude järjestus on-

- Polüester 43,3 miljonit tonni;
- Polüpropüleen 6,1 miljonit tonni;
- Nailon 4,0 miljonit tonni;
- Puuvill 23,5 miljonit tonni;
- Tsellulooskiud 4,0 miljonit tonni;
- Vill 1,0 miljonit tonni [3].

2015.aasta andmetel tekkis Eestis aga ühe väikse riigi kohta suur kogus tekstiilijäätmeid, mis oli üle 21 000 tonni. Kui kasutada efektiivsemat kogumissüsteemi, siis 50 % tekstiilijäätmetest saaks taaskasutada isolatsioonimaterjalide tarbeks. Sellise koguse isolatsioonimaterjaliga saaks soojustada ära 4400 ehitusalase pindalaga 100 m² eramajapidamise [4].

Majapidamisest leiab tee ringlusesse enamus tekstiili jäätmetest. Riiete keskmiseks elueaks loetakse umbes 3 aastat, misjärel tooted lähevad äraviskamisele (näiteks vanad riided). Need on tarbitud olmejäätmed, mis suunduvad edasi heategevusmüügiks ja heategevusorganisatsioonidesse. Enamik taaskasutatud kodutekstiilitooted tulevad nimetatud organisatsioonidest, kus tekstiilijäätmeid müüakse või annetatakse. Ülejäänud jäätmed lähevad kas tekstiili taaskasutamisettevõttele või prügilasse. Tekstiilijäätmeid võib tekkida ka lõnga ja kanga tootmisel, rõivaste valmistamise protsessis ja jaekaubanduses. Neid kutsutakse postindustriaalseteks jäätmeteks [5].

Hetkel on maailmas võetud kasutusele vaid minimaalne osa tekstiilikiududest, mis pärast ühekordset kasutamist töödeldakse ümber või antakse taaskasutusse. Ühendkuningriigis,

Põhjamaades ja Hollandis moodustub tekstiilijäätmetest 61% olmeprügi, need kas põletatakse või nad jõuavad prügimäele pärast ühekordset kasutamist. Ülejäänud 39% lähevad taaskasutamiseks (riided, kaltsud, kiud tööstustele rakendamiseks või energia saamiseks) [6].

Tekstiiltoodete ja -protsesside jäätmete taaskasutamiseks on palju kaalukaid põhjusi. Need hõlmavad ressursside säilitamist, prügilateenuste vajaduse vähendamist ja sellega seotud maksuvõimaluste tasumist ning toodete odavat tooraine pakkumist. Kuid tegelikkuses ei ole tekstiilide ringlussevõtt inimeste poolt väga kiirel kasvul. Lisaks sellele, et tööstuste ning valitsuse poolne avalik ringlusesse võtmine on ebapiisav, on sageli ka teiste jäätmete viiside kõrvaldamise oluline põhjus majandus. Ehkki võivad kergesti kõrvaldada ringlussevõtu kasulikkuse tasakaalu selleks ettenähtud õigusaktid, võib selline sunnitud liikumine avaldada keskkonnakaitse seisukohast vastupidist mõju. Ümbertöötlemine, mis näiliselt tundub ilmselge valik, on see keerulisem kui tegelikult tundub [7].

Jäätmevoogude taaskasutamine hõlmab toote esialgsel kujul taaskasutamist, riide puhul tavapäraselt ringlusessevõttu või muuta tekstiilijäätmed uuesti tooteks. Tavaliselt on ringlusessevõtu tehnoloogiad jagatud esmasteks, sekundaarseteks, tertsiarseteks ja kvaternaarseks lähenemisteks. Peamised lähenemised esmase ringlusessevõtu puhul hõlmavad toote ringlusessevõttu algupärase kujuga. Sekundaarne ringlussevõtt hõlmab materjalide sulatamist ehk plasttoote töötlemine uueks tooteks, millel on madalam füüsikaliste, mehaaniliste ja/ või keemiliste omaduste hulk. Kolmanda taseme ringlussevõtt hõlmab selliseid protsesse nagu pürolüüs ja hüdrolyüs, mis muudavad plastijäätmed põhikemikaalideks või kütuseks. Kvaternaarse ringlussevõtt viitab kiudude tahkete jäätmete põletamisele ja tekitatud soojust kasutamisele. Kõik need neli lähenemist on välja töötatud kiudude ringlusessevõtuks [7].

Välja arvatud otsene taaskasutamine, on jäätmete ringlusessevõttuga seotud mitmed protsessid, mis nõuavad teatud koguse energiat, täiendavate toorainete tarbimist ja jäätmete emissiooni õhku paiskamist, vette ja pinnasesse. Nendeks on näiteks mehaaniline, keemiline või bioloogiline töötlemine. Pärast ringlusessevõtetud toote valmistamist tuleb seda turustada. Kas sellele on mõistlik nõudlus ja on see konkurentsivõimeline. Järgmised väljakutsed puudutavad töödeldavate jäätmete käepärastust [7].

2 ETTEVÖTTE TOOM TEKSTIIL AS TUTVUSTUS

Järgnev peatükk kirjeldab ettevõtte Toom Tekstiil AS põgusat tutvustust, firma tootmisliini ja ümbertöödeldud materjale, mida toodetakse ühe osana selles tööstuses. Toom Tekstiil AS on Viljandis põhiliselt kodutekstiilidega tegelev ettevõtte, mis on üle 20-ne aasta juba edukalt toiminud.

2.1 Toom Tekstiil AS tootmisliin

Toom Tekstiil AS tegeleb peamiselt kodutekstiili ja madratsite tootmisega, mistõttu tekib neil tööstuses tootmisjääke, millest lõviosa läheb ümbertöötlemiseks. Tekstiilijäätmeid saab firma erinevatelt tekstiilitooteid ja mööblit tootvatelt firmadelt. Samuti pakuvad jäätmeid ka erinevad taasringlus poed. Lisaks tellib Toom Tekstiil AS villakiudu Suurbritanniast ja Saksamaalt, kus kiud ei ole tellitava firma kvalifikatsiooninõudeid täitnud nende endi toodete valmistamisel. Toom Tekstiil AS ostu- ja müügijuht Innar Susi leiab, et tekstiilijäätmete sissetulekut tuleb tulevikuplaanis hakata tasustama või piirama jäätmete rohkuse tõttu. Hetkel on Innar Susi sõnul Toom Tekstiil AS'il tekstiilijäätmete ümbertöötlemise majas olenevalt hooajast 16 tunnised tööpäevad ja iga päev toimub töötajate seas 2-3 vahetust.

Lisas 1 on ära näidatud tekstiilijäätmete mehaanilise ümbertöötlemise etapid kasutades selleks vajalikke seadmeid. Nendeks on seadmed nagu kanga purustaja, sorteerija ja pakkija. Ka on näidatud etapid ümbertöödeldud tekstiilijäätmetest materjalide valmistamisest. Masinatel toimub tekstiilkiudude segude ettevalmistus, kraasimine ning termiline töötlemine.

Eelnevalt on tekstiiljäätmed sorteeritud arvatava kiukoostise järgi. Nendelt on eemaldatud lukud, nõöbid ja muud tekstiilmaterjalidest mitte koosnevad detailid. Samuti on sorteeritud jäätmed vastavalt sellele, mis toodeteks neid hiljem ümber töödeldakse (näiteks puhastuslappideks või isolatsioonimaterjalideks).

2.2 Tekstiilmaterjalide ümbertöötlemine Toom Tekstiil AS'is

Toom Tekstiil AS asutati aastal 1995 Illimar Toomi poolt. Firma peamiselt valmistab järgmiseid tootegruppe: tekid ja madratsid (viskoelastsed- ja vedrumadratsid) ning nende katted. Tootmises on ka erinevad padjad (põrandale käivad, toolipealsed-, diivanipadjad), pehme mööbel, voodilina, vedruvoodid, nõeltorgitud mittekootud materjalid ja ka vatiin [8].

Toom Tekstiil AS aastatootmine on päris laialatuslik. Sellest hulgast moodustub umbes 1500000 polüester tekki, sama palju naturaaltäidisega tekki, 6 miljonit patja ja umbes 2400 tonni mittekootud materjale. Toom Tekstiil AS'le kuuluv tööstuslike tekstiilijäätmete ümbertöötlustehas alustas oma tootmisega 2013.aastal, kus nad peamiselt töötlevad ümber madratsi- ja tekiservasid, mis on nende enda firma tootmisjääk [8].

2.3 Tekstiiljätmete ümbertöötlemisest saadud materjal

Toom Tekstiil valmistab ümbertöödeldud tekstiilijätmetest järgmiseid materjale:

- Isolatsioonmaterjalid
- Termovatiin
- Pehme mööbli materjalid
- Kiud
- Teised materjalid (heliisolatsioonmaterjalid, lamineeritud materjalid, sein- ja laepaneelid ja nii edasi) [9].

Ühed nendest materjalidest on *High-loft* ja *fiberfill*. Mittekootud *High-loft*¹ ja *fiberfill*² materjale valmistatakse looduslikust ja sünteetilisest kiust. *High-loft* materjale valmistatakse ka ainult sünteetilistest kiududest [9].

¹ High-loft- kiu struktuurile on antud termin, mis sisaldab endas rohkem õhku kui kiusid. See on kõrge, madala tihedusega materjal, mida kasutatakse sellistes rakendustes nagu fiberfill, isolatsioon ja muu selline. Üldine termin kiu struktuurile, mis sisaldab rohkem õhku kui kiusid [2]

High-loft materjale kasutatakse vatitekkide ja muu magamisvarustuse ka polsterdatud madratsite jaoks. Toodetel on fikseeritud struktuur ning seetõttu on neid kerge hooldada ja nad püsivad paremini võrreldes nõeltorgitud vateermaterjaliga. Magamisvarustus, mis on valmistatud *high-loft* materjalidest on soojemad ja tagavad kuiva magamiskeskkonda [9].

Kiutüübid, mida Toom Tekstiil AS ümbertöödeldud tekstiilijäätmetest pakub on näiteks *Solid Regenerated PES*³, *Solid* ja *HC Virgin PES*⁴. Lisaks kuuluvad sinna hulka *PP fiber*⁵, *viscose staple fiber*⁶, *HC REG PES*⁷ *fiber*, *HS REG PES*⁸ ja *HS* ja *HCS Virgin PES*⁹ [9].

Toom Tekstiil AS kasutab masinaid, mis võimaldavad lausriide tootmist laiusega 0,25 - 2,10 meetrit valmis kujul. Nendel kangastel on võimalik pindtihedus vahemikus 90 kuni 500 g/m². Nõeltorgitud materjale toodetakse peamiselt polüester kiust, kuid kui kaustada erinevaid kiudude segusid, siis oleks võimalus saavutada materjalil erinevaid tehnilisi omadusi [9].

² Fiberfill - sünteetiline materjal, peamiselt kasutatakse polstriks ja isolatsiooniks. Seda leidub rõivastes ja pehmes mööblis nagu padjad ja tekid [1]

³ Solid Regenerated PES - polüestri kiu tüüp

⁴ Solid ja HC Virgin PES - polüestri kiu tüüp

⁵ PP fiber - sünteetiline kiud kuhu saanud polüpropüleenist sulamist. Polüpropüleenikiud on üldiselt parem polüamiidkiududest elastsuse ja paindlikkuse poolest, kuid see on halvem kulumiskindluse poolest [9].

⁶ Viscose staple fiber - tehiskiud, mis on biolagunevad kiud (omadustelt sarnased puuvillaga). VSF on väga mitmekülgne ja selles on lihtsalt segatud kiud, mistõttu kasutatakse kiudu laialdaselt rõivatööstuses nagu kodutekstiilides, kleidi materjalides, kootud rõivastuses ja lausriideks [30].

⁷ HC REG PES - polüestri kiu tüüp

⁸ HS REG PES - polüestri kiu tüüp

⁹ HS ja HCS Virgin PES - polüestri kiu tüüp

3 SOOJUSISOLATSIOONIMATERJALID

Soojusisolatsioonimaterjalidel on väga palju olulisi aspekte, neist kõige olulisem võiks öelda on selle jõudlus, mida arvestatakse terve hoone eluea jooksul. Jõudlus tagab järjepidevalt kavandatud vastupanu soojuse läbilaskmisele. Kuigi soojusisolatsioonimaterjalide tootjatel on enda toodetud materjalide kohta teatavad ootused ja juhendid, peaksid kuuluma ka projekteerimisprotsessi hulka tegurid, mis on seotud antud materjali paigaldusviisiga [10].

Soojusisolatsioonimaterjalide paigaldamise lõplik tulemus sõltub sellest, kui lihtsalt saab ehitaja paigaldada materjali. Isolatsioonplaadid tuleb nii paigaldada, et külgnevate paneelide vahel puuduvad lüngad, sama ka plaatide ja muude konstruktsioonelementide vahel, mis moodustavad osa üldisest isolatsioonipinnast (näiteks sarikad või talastik). Kõik materjali vahele jäävad tühimikud võimaldavad õhu liikumist ja vähendavad selle jõudlust [10].

Mõnel soojusisolatsioonimaterjalil on nende paigaldatud eluea jooksul tõenäoliselt teatud määral ebastabiilsus. Paljudel juhtudel on selline tulemus oodatav ja seda saab lahendada hoolika disaini ja paigaldusmeetodi abil. Kõigil teistel juhtudel peaks spetsifikaatorilt otsima isolatsioonitootjaga seonduvaid riske käsitlevaid juhendeid, eriti kui materjalidel ei ole paigaldatud jõudlust kindlaks tehtud [10].

On olemas isolatsioonimaterjale, mis kannatavad niiskuse või niiskuse toimel omadused halvenevad. Seetõttu enne tootmisprotsessi disainer peaks hoolikalt üksikasjalikult tagama, et selline isolatsioonimaterjal oleks kaitstud niiskuse eest. Kui niiskus on kõrge (sissevool või üle 95% RH), siis tuleb täpsustada sobivalt vastupidav materjal [10].

3.1 Soojusisolatsioonimaterjalide olulised omadused

Soojusisolatsioonimaterjalide olulised tegurid, mida tuleb meeles pidada materjalide hindamisel, on soojusjuhtivustegur λ (lambda), termiline vastupidavus (R), konkreetne soojusvõimsus, tihedus, termiline difusioon.

Soojusjuhtivus mõõdab, kui sujuvalt soojust saab juhtida materjali kaudu. Soojusülekanne on läbi soojusisolatsiooni (soojusülekanne kohta). Sageli nimetatakse seda λ (lambda) väärtuseks. Mida madalam on näitaja, seda parem on esitus [10].

Termiline vastupidavus on nimetaja, mis ühendab materjali soojusjuhtivuse selle laiusega - see annab näitaja, mis on väljendatud vastupanu pindalaühiku kohta (m^2K/W). Suurem paksus tähendab vähem soojusvoogu ja seega ka madalamat juhtivust. Üheskoos moodustavad need parameetrid konstruktsiooni soojustakistuse. Kõrge soojustakistusega ehituskiht on hea isolaator, madala soojustakistusega materjal on halb isolaator [10].

Materjali spetsiifiline soojusmahtuvus on vajalik temperatuuri tõstmise kogus 1 K (või 1 °C) materjali 1 kilogrammi kohta. Heal isolaatoril on kõrgem soojusmaht, sest soojuse ülekandmiseks kulub aega, enne kui see soojeneb (temperatuur tõuseb) et soojust edasi viia. Kõrge spetsiifiline soojusmahtuvus on iseärasus kus materjal laseb läbi soojusmahu või soojuspuhverduse(soojuskadu) [10].

Tihedus vastab materjali massi ühiku mahule ja mõõdetakse kilogrammides/ m^3 . Suure tihedusega materjal maksimeerib üldist massi ja on osa madalast termilisest difusioonist ja kõrgest termilisest massist [10].

Termilise difusiooniga mõõdetakse materjali suutlikkust soojusenergia käitamiseks, võrreldes selle suutlikkusega hoida soojusenergiat. Näiteks metallid edastavad soojuslikku energiat kiiresti (külm, et puudutada), samas kui puit on aeglased saatjad. Isolatsioonid on madal termilise difusiooniga [10].

3.2 Isoleerimise mõtte, eesmärgid ja liigid

Isoleerimise mõtte on välistada või vähendada mingi mõjuri toimimist. Soojusisolatsioon on soojuse läbikandumise mõju vähendav mitte välistav isolatsioon. Soojuse levimise tõttu piirdes kolme komponendina (soojusjuhtivus, konvektsioon, kiirgus), on soojustamise eesmärgiks kõikide mõjurikomponentide redutseerimine parimal võimalikul ja mõistlikul viisil [11].

Soojusisolatsiooni komponentideks on sellest lähtuvalt:

1. Soojusenergia soojusjuhtivuse teel liikumist tõkestavad soojusisolatsioonid
2. Soojusenergia konvektiivset ja difuusset liikumist tõkestavad tuuletõkked ja tihendusmaterjalid
3. Soojusenergia kiirguslikku levimist tõkestavad soojuskiirguse isolatsioonid [11].

Soojusisolatsioon ei ole ainult selleks mõeldud materjal vaid ta käitub kui süsteemi osana. Mistõttu koos teiste temaga seotud komponentidega moodustabki ta ühtse süsteemi [11].

Terviklikkus, hästi töötavas soojustussüsteemis osalevad võrdselt:

1. Soojustuse toetuspind, muud pinnad, konstruktsiooniosad
2. Põhisoojustusmaterjal, nende kihid
3. Lisasoojustusmaterjal külmasildade, ebakohtade ja teiste kohtade isoleerimiseks
4. Soojustuse kinnitussüsteem, kinnitusvahendid, liimid ja teised komponendid
5. Soojustuse osade sidumise materjalid (vahud, villaribad ja teised)
6. Tuuletõkke materjal
7. Tuuletõkkematerjali kinnitus- ja tihendussüsteem
8. Aurutõkke materjal
9. Aurutõkkematerjali kinnitus- ja tihendussüsteem
10. Õhuvahed ja pilud vajalikes asukohtades
11. Soojustusega kontaktis olevad muud membraanid (näiteks hüdroisolatsioon) ja teised süsteemi osad (sinna alla kuuluvad - vooder, kaitsemembraanid ja teised, mis on mõeldud soojustuse kaitsmiseks ilmastiku mõjude, koormuse, niiskuse ja muu sellise eest)
12. Läbitud erinevatest süsteemi osadest [11].

3.3 Erinevad soojustusmaterjalid

Klaasvill on mõeldud seinte, lagede ja pörandate soojustamiseks, sammumüra summutamiseks pörandates, soojatorustike, trasside, mahutite soojustamiseks, mürasummutusplaatidena ventilatsioonikanalites ning helineelavate seinakatetena stuudiotēs. Takistab müra edasikandumist mööda ehituskonstruktsioone [12].

Erinevad kivivillad on pehmed soojustusmaterjalid (väliseinte, pörandate, lagede ja vaheseinte soojustamiseks), mida kasutatakse peamiselt seina, betoonkonstruktsiooni, krohvialuste, katuse, pörandate soojusisolatsioonimaterjalidena. Kivivill on ka tulekaitse isoleermaterjal ja sammusummutusmaterjal. Materjali kasutatakse õõtsuvates pörandakonstruktsioonides sammumüra isoleerimiseks betooni, pumbatavate pahtlikihtide või plaatide all [12].

Vahtpolüstüreen (EPS) on mõeldud kasutamiseks ehitustel ja ehitusmaterjalitööstuses soojusisolatsioonina, lisaks veel heliisolatsioonina. Samuti ka lamekatuste, välis- ja siseseinte soojustamiseks, kihtpaneelide, vundamentide, lae- ja põrandakonstruktsioonide soojustamiseks. Vahtpolüstüreen toimib väga hästi ka heliisolaatorina, mistõttu kasutatakse seda põrandate heliisolatsiooniks (sammu) heli nõrgendamiseks ja selle levimise tõkestamiseks mööda ehitise konstruktsioonelemente [12].

3.4 Nõuded soojusisolatsioonimaterjalidele

Nõuded soojustussüsteemile sõltuvad hoonest, konstruktsioonist ja soojusisolatsiooni paigaldamise tingimustest [11].

Allpool on välja toodud erinevad nõuded soojustusele:

1. Soojustuse ühilduvus muude süsteemi elementidega, nähtavale osale taotletud nõuetega
2. Soojustussüsteemi madal, võimalikult väike soojusjuhtivus
3. Soojustussüsteemi nõutav õhulekkekindlus
1. Materjali vähene niiskusimavus ja kapillaartõusunäitaja¹⁰
2. Konstruktsiooni sobiv veeauru difusiooninäitaja
3. Valitud dimensioneeringu juures on välditud kondensaadi teke süsteemis
4. Niiskustaluvus, süsteemi pealispinna vetthülgavus
5. Konstruktsiooni sobiv, piisav tulekindlus/ süttivustundlikkus
6. Kõrge resistentsus bioloogilistele faktoritele, niiskuse kaasmõjudele
7. Piisav soojusinerts
8. Allergeenide ja emiteeruvate ainete ja osakeste vähesus või puudumine
9. Suur või piisav, kasutuskohale vastav koormustaluvus
10. Jäikus või paindumus vastavalt vajadusele
11. Sobilik struktuur ja pinnakiht nähtavale jäävatel pindadel
12. Lihtne ja ohutu paigaldatavus

¹⁰ Kapillaartõusunäitaja - vedelikutaseme muutus kapillaarides ja poorides

13. Unifitseeritud, konstruktsiooniehitusega kokku sobivad gabariitmõõdud ja kinnituslahendused
14. Miinimumini viidud mõõduhälbed(tolerantsid)
15. Materjali varieeritavad toodetavad paksused
16. Logistiliselt sobilik pakendamine
17. Ühilduvate materjalide, tarvikute ja lahenduste olemasolu
18. Garanteeritud omadused (tootetugi ja süsteem kvaliteedi tõenduseks) [11].

Soojustused peavad peale ettenähtud soojatõkestusomadustele olema veel vastupidavad mitmetele erinevatele faktoritele:

1. Ilmastiku mõjud (lumi, vesi, jää, tuul, UV ja muud võimalikud mõjud)
2. Eluslooduse mõjud (närlised, linnud, seened, hallitused, bakterid, putukad ja teised)
3. Mehaanilised mõjud (koormused ja pinged, mis võivad tekkida paigaldamisel ja eksploatatsioonis, deformatsioonid temperatuuri- ja niiskuse mõjul)
4. Termilised mõjud (eelkõige tulekindlus, süttivustundlikkus, püsivus tuleolukorras)
5. Aja mõjud (korduv koormamine, murenemine, moraalne ehk tehnoloogiline vananemine, erosioon) [11].

Soojustusisolatsioonimaterjalid peavad olema ka keskkonnale ohutud, tervisele ohutud ja võiksid olla taaskasutatavad. Soojustusmaterjalidele on määratud kindlad parameetrid ja piirnõuded, mille järgi valitakse kindlatesse konstruktsioonidesse vajalikud materjalid. Järgnevas tabelis 1 on toodud välja soovituslikud miinimumnõuded [11].

Tabel 1. Soojustusmaterjalide hindamisel olulised parameetrid

Jrk nr	Katsetuse nimetus	Definitsioon	Tähis	Standard	Soovituslik miinimumnõue
1	Soojusjuhtivusteguri määramine	Soojusjuhtivusteguri näol on tegu ainete ja materjalide füüsilise parameetriga, mis iseloomustab nende ainete võimet soojust juhtida. Soojusjuhtivustegur λ on ainet iseloomustav suurus ning oleneb aine või materjali omadustest ja olekust, temperatuurist ning niiskusest. Kõrge soojustakistusega ehituskiht on hea isolaator; madala soojustakistusega üks on halb isolaator. Mida madalam on näitaja, seda parem on esitus [10]	λ	EVS EN 12667	Euroopas levinud soojustusmaterjalide keskmine soojaerijuhtivus on 0,037 W/m·K
2	Pikaajaline veeimavus sukeldamise teel	Isolatsioonimaterjalide niiskuseimavus määratakse kolme põhikatsuga ja üks neist on pikaajaline veeimavus sukeldamise teel [8]	v %	EVS-EN 12087	<3,0 kg/m ²
3	Tulekindluse klassifikatsioon	Ehitise vastupanuvõime tulele ja kõrgele temperatuurile [9]	A1, A2, B, C, D, E, F	EN 13501-1	Mittesüttivus

3.5 Ümbertöödeldud tekstiilkiududest valmistatud soojusisolatsioonimaterjalide kirjeldus

Toom Tekstiil AS valmistab soojusisolatsioonimaterjale erinevatest tekstiilkiududest ja tekstiiljäätmest ümbertöödeldud tekstiilkiududest. Põhilised soojusisolatsioonimaterjalid, mida firma toodab on vill-, polüester- ja multicolor soojustus. Väga olulist rolli mängib materjalide omadused ja nende sobivuse hindamine antud otstarbeks (Tabel 1).

Eelpool nimetatud materjalide parameetrid on:

1. Soojustuvill (Joonis 2) - 50 % lambavill, 50 % polüester, pindtihedus 1500 – 3000 g/ruutmeeter paksuse 10 cm juures;
2. Polüester soojustusvatiin (Joonis 1) - 100 % polüester, pindtihedus 1500 – 3000 g/ruutmeeter paksuse 10 cm juures;

3. *Multicolor* soojusisolatsioonimaterjal (Joonis 3) - 60 % ümbertöödeldud tekstiilijäde nimetusega *Recofill*¹¹, 40 % polüester, pindtihedus 2000 – 3000 g/ruutmeeter paksuse 10 cm juures.



Joonis 1. Toom Tekstiil AS poolt toodetud polüester soojusisolatsioonimaterjal (autori foto)

¹¹ Recofill - Toom Tekstiil AS soojustus-, heliisolatsioonipaneelides kasutatud materjal, mis koosneb erinevatest tekstiili- ja tööstusjäätmetest (näiteks madratiservad)



Joonis 2. Toom Tekstiil AS poolt toodetud villa soojusisolatsioonimaterjal (autori foto)



Joonis 3. Toom Tekstiil AS poolt toodetud *Multicolor* soojusisolatsioonimaterjal (autori foto)

3.6 Eestis kehtivad soojusisolatsioonimaterjalidele kehtivad standardid

Eestis kasutuses olevad põhilised ja üldised kvaliteedi ning füüsikaliste suuruste standardid enam kasutatavatele soojusisolatsioonimaterjalidele on:

1. EVS - EN 13172: 2012 - Soojusisolatsioonitooted. Vastavushindamine;
2. EVS - EN ISO 7345: 2006 - Soojusisolatsioon. Füüsikalised suurused ja määratlused;
3. EVS - EN ISO 9251: 2006 - Soojusisolatsioon. Soojaülekande tingimused ja materjalide omadused. Sõnastik;
4. EVS - EN 13162: 2012 + A1: 2015 - Ehituslikud soojusisolatsioonitooted. Tööstuslikult valmistatud mineraalvillatooted (MW). Spetsifikatsioon;
5. EVS - EN 13163: 2012 + A1: 2015 - Ehituslikud soojusisolatsioonitooted. Spetsifikatsioon, EPS tööstuslikult valmistatud tooted;
6. EVS - EN 13165:2012 + A1: 2015 - Ehituslikud soojusisolatsioonitooted. Tööstuslikult valmistatud jäigast vahtpolüuretaanvahust (PU) tooted. Spetsifikatsioon [13].

3.7 Ehitustoodete ja -elementide tuleohutusala klassifikatsioon

Alljärgnevas peatükis antakse ülevaade standardist Ehitustoodete ja -elementide tuleohutusala klassifikatsioon osa 1. See standard on klassifikatsioon tuletundlikkuse katsete alusel EVS-EN 13501 - 1: 2007 + A1: 2009. Selle standardi eesmärgiks on määratleda ehitustoodete tuletundlikkuse protseduur [10].

3.7.1 Tuletundlikkuse klassid

Teatud klassi liigitatud toodete puhul eeldatakse nende vastavust mistahes madalamale klassile esitatud nõuetele. Klassifikatsiooni saab anda ainult konkreetsetele tootele. Tootele saab anda klassifikatsiooni vastavalt tootele nõutavate katsete või laiendatud kasutusulatuse protsessi alusel. Klassifikatsiooni saab anda ühele toote tüübile, näiteks põrandakatted, mida ei saa tõlgendada või tunnustada erinevate klassifikatsiooni süsteemidega [10].

3.7.2 Katsemeetodid ja kasutusulatuse reeglid

Toodete tuletundlikkuse klassifikatsiooniks on ettenähtud alljärgnevad katsemeetodid. Otsese ja laiendatud kasutusulatuse määramine peab olema läbi viidud vastavalt standardites CEN/TS 15117 ja prEN 15725 kirjeldatule [10].

3.7.3 Ehitustoodete katsetamine

See peatükk kirjeldab ehitustoodete katsetamisest, milles ei ole käsitletud põrandakatteid. Klass E- klassi E pretendeerivat toodet katsetatakse vastavalt standardile EN ISO11925 - 2, valides mõjutusajaks 15 sekundit. Klassid D, C, B- klassidesse D, C või B pretendeerivat toodet tuleb kõigepealt katsetada EN ISO 11925 - 2 järgi mõjutusajaga 30 sekundit [10].

Tooteid, mis rahuldavad katsetusel EN ISO 11925 - 2 järgi klassidesse D, C või B kehtestatud nõudeid katsetatakse täiendavalt vastavalt standardile EN 13823. Viimatimärgitud meetodil tuleb kõigepealt kontrollida, kas toode vastab *FIGRA*_{0,2MJ}¹² järgi klasside A2 või B nõuetele, kui mitte, tuleb kasutada *FIGRA*_{0,4MJ}¹³ otsustamiseks, kas klasside C või D nõuded on täidetud [10].

3.7.4 Soojusisolatsioonitoodete katsetamine

Klass E_L - toodet, mis pretendeerib klassile E_L, katsetatakse standardi EN ISO 11925 - 2 järgi mõjutustasemega 15 sekundit. Klassid D_L, C_L, B_L - toodet, mis taotleb klasse D_L, C_L, B_L, katsetatakse standardi EN ISO 11925 - 2 järgi mõjutustasemega 30 sekundit. Tooteid, mis rahuldavad katsetusel EN ISO 11925 - 2 järgi klassidele D_L, C_L või B_L kehtestatud nõudeid katsetatakse täiendavalt vastavalt standardile EN 13823. Viimatimärgitud meetodil tuleb kõigepealt kontrollida, kas toode vastab *FIGRA*_{0,2MJ} järgi klasside A2_L või B_L või C_L nõuetele, kui mitte, tuleb kasutada *FIGRA*_{0,4MJ} otsustamiseks, kas klassi D_L nõuded on täidetud [10].

Klassid A1_L, A2_L - Homogeensed tooted - Toodet, mis pretendeerib klassile A1_L katsetatakse standardite EN ISO 1182 ja EN ISO 1716 järgi. Toodet, mis pretendeerib klassile A2_L

¹² *FIGRA*_{0,2MJ}- Põlemise intensiivsus, kui THR väärtus on 0,2 MJ

¹³ *FIGRA*_{0,4MJ}-Põlemise intensiivsus, kui THR väärtus on 0,4 MJ

katsetatakse standardite EN ISO 1182 või EN ISO 1716 järgi. Mittehomogeensed tooted- kõiki klassile A₁ pretendeerivaid mittehomogeense toote põhikomponente katsetatakse eraldi vastavalt standardite EN ISO 1182 ja EN ISO 1716 järgi [10].

Kõiki klassile A₂ pretendeerivaid mittehomogeense toote põhikomponente katsetatakse eraldi vastavalt standardite EN ISO 1182 või EN ISO 1716 järgi. Mittehomogeense toote lisakomponente katsetatakse eraldi vastavalt standardile EN ISO 1716. Klassi A₂ tooted - lisaks sellele katsetatakse kõiki klassile A₂ pretendeerivaid tooteid vastavalt standardile EN 13823 [10].

3.7.5 Ehitustoodete klassifikatsiooni kriteeriumid

Peatükk kirjeldab ehitustoodete klassifikatsiooni kriteeriumeid, mis ei käsitle põrandakatteid. Klass F, on klass millel nõuded puuduvad. Klassi F kohaldatakse ka siis, kui toode katsetamisel vastavalt standardile EN ISO 11925 - 2 ei rahulda klassile E esitatavaid nõudeid [10].

Klass E- toode peab vastama järgmistele nõuetele:

1. EN ISO 11925 - 2 - Pindmise leegi ja kui nõutud ka servaleegi rakendamisel mõjutustasemel 15 sekundit, leegi levik vertikaalsuunas ei ületa 20 sekundit jooksul 150 mm [10].

Klass D- toode peab vastama alljärgnevatele nõuetele:

- a) EN ISO 11925 - 2 - Pindmise leegi ja kui nõutud, ka servaleegi rakendamisel mõjutustasemel 30 sekundit, leegi levik vertikaalsuunas ei ületa 60 sekundit jooksul 150 mm.
- b) EN 13823 - $FIGRA (= FIGRA_{0,4M}) < 750 \text{ W/s}$ [10].

Klass C- toode peab vastama kõigile alljärgnevatele nõuetele:

- a) EN ISO 11925-2 - Pindmise leegi ja kui nõutud, ka servaleegi rakendamisel mõjutustasemel 30 sekundit, leegi levik vertikaalsuunas ei ületa 60 sekundit jooksul 150 mm.

- b) EN 13823 - Leegi külgsuunalist levikut (*LFS*) katseksemplari servale ei toimu - *FIGRA* (= $FIGRA_{0,4MJ}$) < 250 W/s - THR_{600s}^{14} < 15 MJ [10]

Klass B- toode peab vastama kõikidele alljärgnevatele nõuetele:

- a) EN ISO 11925 - 2 - Pindmise leegi ja kui nõutud, ka servaleegi rakendamisel mõjutustasemel 30 sekundit, leegi levik vertikaalsuunas ei ületa 60 sekundi jooksul 150 mm.
- b) EN 13823 - Leegi külgsuunalist levikut (*LFS*) katsekeha servale ei toimu. *FIGRA* (= $FIGRA_{0,4MJ}$) < 120 W/s. THR_{600s} < 7,5 MJ [10]

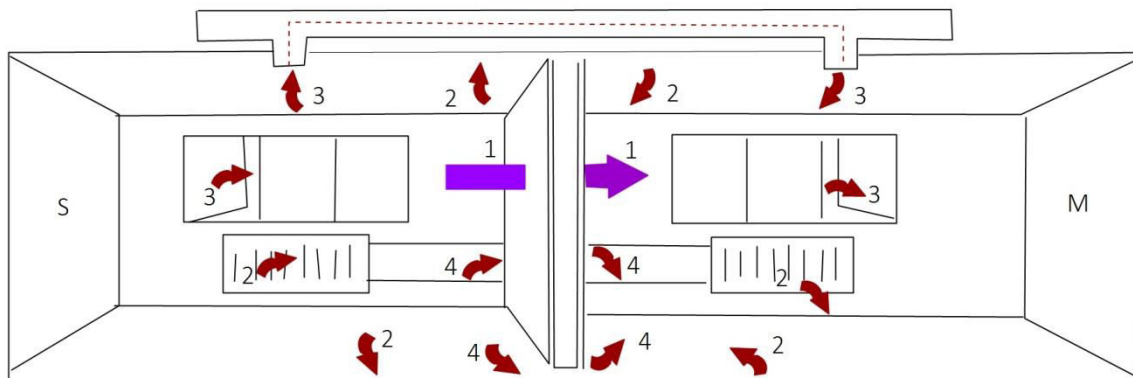
¹⁴ THR_{600s} - 600 s jooksul eralduv summaarne soojushulk [MJ]

4 HELIISOLATSIOONIMATERJALID

Heli on tegur, mis paneb konstruktsiooni paneb vibreerima, mis edaspidi läheb läbi seinte ja põrandade. Selline vibratsioon tekitab väiksema intensiivsusega teisele poole seina uusi helilained. Müravõimude nimetatakse heliisolatsioonis näitajat, kus heli kandub ühest kohast teise [14].

Helisummutustegur (mille tähtsuseks on R, ühikuna detsibell dB), näitab kadu heli liikumisel, väljendab võimekust heli tõkestamist vastavalt barjääridele (milleks võivad olla nii põrand, uks, sein või aken). Heli liikumisel tekib kadu varieerub tuleb esile sagedustes ja tekib helikadu on tavaliselt suurem kõrgematel sagedustel. Mida suurem on seina heli kandumisel tekkinud kadu, seda parem on see heli liikumise ning soovimatu müraallika takistamisel [14].

Ehitistes on kahte erinevat tüüpi heliisolatsiooni, üks neist on õhumürasolatsioon ja teine dünaamiline heliisolatsioon. Õhumürasolatsiooni mõistet kasutatakse siis, kui soovitav isoleeritav heli tekib otse ümbritsevasse õhku ning seda määratletakse helisummutustegurit R kasutades. Dünaamilist heliisolatsiooni mõistet kasutatakse nii nimetatud hõljuvate põrandate puhul ning seda määratletakse helirõhu tasemega, mis kandub kõrvalruumist allapoole [14].



Joonis 4. Joonisel on kujutatud heli kandumist ruumis [14].

Joonisel (Joonis 4) tähistatud numbrid näitavad:

1. Otsest heli edastamist läbi vaheseina
2. Kaudne heli edasikandumine erinevatelt konstruktsiooni osadel
3. Vastavalt elamu barjääridest kaudne heli kohale kandumine

4. Helileke [14].

Õhumüraisolatsiooniks nimetatakse seda kui helidest tulev laine põrkub kahte ruumi eraldava vaheseina. Sellest osast helist peegeldub ja teine osa helist kandub edasi teise kõrval olevasse ruumi. Ühekihilistes struktuurides (ühtlane betoonsein) toimub edasikandumine teadaoleva gravitatsiooniseaduse tulemusena - kui struktuuri mass on suur, siis selle võrra vähem heli kandub edasi [14].

Kergete struktuuride puhul, mis koosnevad mitmest erinevast kihist (kipssein), hakkab toimuma vabavõnkumine. Kui kahekihilise seina vahel kasutatakse parema neelavusega materjali, milleks võib olla antud juhul kivivill, siis paraneb ka selle seina helisolatsioonivõime. Mida suurem on seina sees olev tühimik, seda parem on ka kivivilla või antud sarnase materjali kasutegur [14].

Dünaamiliseks isolatsiooniks nimetatakse heliallikaid, mis tekitavad erinevad vibratsioone elamute sees ümbritsevat õhku. See levib õhus laiali ning paneb jällegi vibreerima läheduses olevad seinu, põrandat ja muud konstruktsiooni. Dünaamiline heliallikas tekitab vibratsioone otse esemetes, mida see võib puudutada. Need vibratsioonid levivad kogu ruumi ulatuses ja sealt ka esemete peale laiali [14].

Väga elastse materjali kihti sisaldab aga hõljuv põrand. See on mõeldud isoleerima konstruktsioonis olevat kõndimispinda. Ta on mõeldud aitama nii õhus leviva kui ka dünaamilise heli vibratsioonide isoleerimisele:

- Mistõttu oleks tähtis oleks vaja kasutada konstruktsioonis selleks parimat kasutatavat materjali ning veenduda, et sellel materjali puhul ei oleks jäikasad helisildu (kinnitused ja torud);
- Tuleks vältida materjalide vahel olevaid õhuvahesid, ka neid, mis võivad tekkida hiljem materjali kokkutõmbumisest. Poorsed materjalid ja kindlasti nende vahel olevad tühimikud peaksid saama tihendatud;
- Vältima peab ka resonantsi ehk kaasavõnkumist- see võib tekkida siis, kui üks struktuuri osa (näiteks vooder) vibreerib tugevalt ühel pideval sagedusel (helikõrgusel) ning toodab sellel helikõrgusel rohkem energiat [14].

Dünaamiline jäikus on omadus, mida kasutatakse poorsete materjalide puhul. See on siis kui materjal on kinnitatud kahe tahke kihi vahele (nii nimetatud *sandwich* paneelid, ujuv põrand). Dünaamiline jäikus näitab, et kui palju jõudu tuleks rakendada, et suruda kokku valitud materjal ühe meetri paksuseks. Mineraalvilla puhul kasutatakse ühikut MN/m^{315} , sest sellisel materjalil katkematu jäikus [14].

Üheks selliseks materjaliks on PAROC¹⁶ kivivill, tema koostis on peamiselt tahke materjal (selle üks osa võib olla krohvitatav fasaadplaat) ja õhk. Kui seda materjali kasutatakse konstruktsioonis kaitsva kihina, siis peab seda tegema kahe erineva katse alusel. Üks nendest katsetest on dünaamiline jäikus (koormusel 200 N^{17}), mida väiksem väärtus, seda parem isolatsioon. Teine on mineraalkiudude õhu katsetus [14].

4.1 Akustilised materjalid

Akustilised omadused iseloomustavad erinevate materjalide helineelduvust või peegelduvust. Helilained, mis põrkuvad vastu mingit materjali jagunevad kolmeks - üks peegeldub materjalilt tagasi, teine neeldub materjali sees ja kolmas läbib materjali. Pehmed ja karedapinnalised materjalid neelavad heli, samal ajal kui kõvad ja siledad pinnad peegeldavad heli. Ehituses tuleb peamiselt tegeleda heli summutamisega, milleks kasutatakse pehmeid ja poorseid materjale. Mõningatel juhtudel tuleb ka organiseerida helipeegeldust vastavalt hoone vajadusele (teatrid, kontserdisaalid) [15].

Akustilisteks materjalideks nimetatakse neid materjale, mida kasutatakse heli leviku tõkestamiseks või teisel juhul ruumide akustiliste omaduste parandamiseks. Kasutamise eesmärgi järgi jagatakse akustilised materjalid kahte rühma: kõlaisoleer - vahekihid ja helisummutavad kattedkihid. Kõlaisoleer - vahekihid asuvad seintes, vahelagedes ja nendeks võivad olla enamik soojusisolatsioonimaterjale [15].

¹⁵ MN/m^3 - dünaamilise jäikuse ühik

¹⁶ PAROC - Rahvusvaheline isolatsioonimaterjalide tootja, mis tegeleb kivivilla tootmisega

¹⁷ N - läbipaindele vastav koormusehulk

Helisummutavateks katematerjalideks on erinevad poolpehmed plaadid, akustiline krohv, perforeeritud plaadid. Materjal summutab heli rohkem, kui selle pind on pehmem ja ebatasasem. Sellepärast ei olegi helisummutavate materjalide pealispind täiesti sile [15].

Akustilised materjalid on:

- kõlaisoleer vahekihis kasutatavad, mis vahelagedes ja muudes konstruktsioonides moodustavad löögikõla levikut tõkestava elastse kihi;
- Heli summutavad, mis ruumi sisepindadel ja seadmete pinnal annavad vajaliku helisummutuse [16].

Akustilised materjalid liigitatakse nagu ka soojusisolatsioonimaterjalidki orgaanilisteks ja mineraalseteks. Samuti ka mahumassi järgi (kg/m^3) ja samasugustesse markidesse (15...700). Niiskes keskkonnas kasutatakse mädanemisele vastupidavaid ja niiskusele vastupidavaid materjale. Materjali helienergia summutuskoefitsient peab olema vahetult piirdetarindil helisagedusel 1000 Hz vähemalt 0,4 [16].

"Kõlaisoleer vahekihis kasutatakse soojusisolatsioonimaterjalidest mineraal- või klaasvatist sünteetiliste vaikudega valmistatud matte ja pooljäiku plaate, klaasvatist õmmeldud matte, puitkiud- ning asbesttsementplaate. Spetsiaalne materjal on veetihedas paberümbrises asbestkartongist plaadid. Vabas olekus ei või lagede ja seinte kõlaisoleerkihi paksus ületada 5 cm, surutud olekus aga peab see olema vähemalt 1,2 cm. Heli summutavad materjalid peavad olema raskesti põlevad ja ühtlasi ka dekoratiivsed" [16].

Kasutatavad materjalid liigitatakse iseloomult jäikadeks - poorseteks, elastseteks - poorseteks, perforeerituiks ja membraanmaterjalideks. Jäikadeks poorseteks materjalideks nimetatakse materjale nagu kergete täitematerjalidega kergbetoonid, mullklaas, -sitall. Elastseteks poorseteks materjalideks nimetatakse materjale nagu mineraal- ja klaasvatist plaadid ning matid, puitkiudplaadid. Perforeeritud materjalidena kasutatakse põhiliselt mineraal- ja klaasvatist ning puitkiudmassist paneele ja plaate. Membraanmaterjalidena kasutatakse põhiliselt väga õhukesi vineerist, puitkiudmassist või tihedast papist paneele [16].

Poorsed täitematerjalid on kerged ja sõmerateralised, mis on saanud oma nimetuse nende suure kasutamisala kergbetoonide täitematerjalina. Kuigi nende põhilise otstarbe kõrval

kasutatakse neid ka soojustava puistena. Poorsed täitematerjalid on nii looduslikud kui ka tehiskivid. Neid liigitatakse tera suuruse järgi peen- ja jämetäitematerjaliks [16].

4.2 Erinevad heliisolatsioonmaterjalid

Järgnev tabel 2 kirjeldab heliisolatsioonide valimise tähtsust, kaalutlusi, materjalide valikuid ning nende põhiomadusi.

Tabel 2. Ülevaade Eestis kasutuses olevatest heliisolatsioonmaterjalidest

Jrk nr.	Materjal	Kirjeldus
Tehiskivid		
1	Betoontellised ja õõnesplokid	Oma küllalt suure massi tõttu on hea müraisolaator
2	Kerg(betoon)plokid ehk keramsiit	Heli- ja soojusisolatsiooniomadused tulevad esile krohvilt.
3	Mullbetoontooted	Soojapidav, soojust akumuleeriv, helipidav [12]
Puidust detailid		
4	Termo- ja presspuit	Isolatsiooniomadused on paremad [12].
Metallist detailid		
5	Termoroovid ja – paneelid	Hea soojusisolatsioon, head heliisolatsiooniomadused [12]

4.3 Heliisolatsioonimaterjalide standardid Eestis

Eestis kasutusel olevad standardid enam kasutatavatele heliisolatsioonimaterjalidele ning heliisolatsiooni võime määramiseks on:

1. EVS - EN ISO 11546 - Akustika standard, mis on mõõtmise laboritingimustes (osa 1)
Määratakse heliisolatsioonivõime materjali kestadel;
2. EVS - EN ISO 11546 - 2: 2009 - Akustika standard, mis on mõõtmised kohapeal (osa 2).
Määratakse heliisolatsioonivõime materjali kestadel;
3. EVS - EN 14496: 2005 - Heliisolatsiooni standard, mis käsitleb kipsil põhinevatel liimidel soojus- ja heliisolatsiooni komposiitidele ja kipsplaatidele. Selles on kirjas määratlused, nõuded ja katsemeetodid;
4. EVS - EN 16025 - 1: 2013 - Heliisolatsiooni standard, milles käsitletakse ehituslikke soojus- ja heliisolatsioonitooteid. Nõuded segule EPS - täitematerjaliga mört (Osa 1)

5. EVS - EN 20140 - 2: 1999 - Akustika standard, mis käsitleb heliisolatsiooni mõõtmist hoonetes ja hooneosadel (osa 2). Nende täpsete andmete määramine, kontrollimine ja kasutamine
6. EVS-EN 12354 - 3: 2005 - Ehitusakustika standard, mis käsitleb õhuheli isolatsioon välismüra vastu ja hoonete akustilise toimivuse hindamine elementide akustilise toime põhjal (osa 3) [17].

4.4 Müra normtasemed

Vastavalt ehitusregulatsiooni üldnõudele tuleb ehitise ehitada ja projekteerida selliselt, et elamu ruumides ja selle territooriumil tagatakse piisavad müratingimused vastavalt nende ehitise otstarbele. Müratasemed ehitistes ja nende läheduses peavad olema minimeeritud sellisel kujul, et see ei oleks inimese tervisele ohtlik ja tingimused oleksid rahuldavad uneks [18].

Euroopa Liidu ehitustoodete direktiivi 89/ 106 nõudetele peaksid hõlmama ehitiste mürakaitse üldjuhul:

1. kaitset õhumüra eest, mis kõlab väljastpoolt ehitist või ehitise muudest osadest (selle juurde kuulub inimtegevusest tekitatud õhumüra);
2. kaitset tehnoseadmetest, mille hulka kuulub muusika, tekitatud müra eest;
3. kaitset mingi tegevuse tagajärjel tekkinud järelkõla eest;
4. kaitset löögi- ja sammumüra eest;
5. kaitset ehitise enda sees tekkivatest või sellega seotud müra eest [18].

4.4.1 Normdokumendid

"Elukeskkonna kaitseks müra eest on kehtestatud müra normtasemed, need on kooskõlastatud sotsiaalministri 4. märtsi 2002.aasta määrusega number 42. Selle määrusega pannakse paika nõuded müra normtasemetele, mis puudutab elu- ja puhkeala, nii samuti ka elamuid ning ühiskasutusega hooned. Määruses on kirjas ka erinevad mürataseme mõõtmise meetodid" [18].

Vastavalt selles määruses (number 42) seatud nõuetele on Tervisekaitseinspeksioonil õigus kontrollida projektide ja ehitiste vastavust projekteerimismäärusele EPN 16.1. Kui elanikud esitavad vastavasse seadusorganisse kaebuse elamus kuuldava müra kohta, võidakse kontrollida olukorda heliisolatsiooni mõõtmise ja hindamise teel. Sotsiaalministri määrusest tulenevalt on heliisolatsiooninõuetest on kohustuslik kinnipidada ehitise projekteerimisel. Kaebuste esitamisel võidakse valmis ehitisele esitada sanktsioone, sest selle määruse vastu on astunud ja esitatud nõuded ei ole täidetud [18].

Projekteerimismääruse eelnõuga on standardisse sisse viidud olulised neli muudatust nagu:

1. Nõuded seina ja ukse ühisisolatsioonile (sisepiirete õhumüra isolatsiooni hindamine);
2. Ehitise kaitseks mõeldud liikluse müra lubatud tasemed ruumides. See on vastavuses sotsiaalministri määrusega;
3. Järelkõlkestusele on nõuded täiendatud, kui arvestatakse praktilisi kogemusi projekteerimises ja ehituses;
4. Nõuded, mis on esitatud tehnoseadmete mürale ehitiste ruumides ja selle väliterritooriumil ning see punkt on samuti viidud vastavusse sotsiaalministri määrusega number 42 [18].

4.4.2 Heliisolatsiooninõuded ehitise sisepiiretele

Õhu- ja löögimüra hinnangute andmisel fookuseeritakse standardite EN ISO 717 - 1 ja EN ISO 717 - 2 sisse viidud nõuetest. Need on põhistandardid, mis on rahvuslike standarditena võetud kasutusele Eestis, Lätis ja Leedus ja ka paljudes muudes riikides. Eestis on selle rahvusliku standardite staatuse põhjal välja töötatud Eeskiri, millega hinnatakse heliisolatsiooni [18].

Heliisolatsiooni hinnatakse ühearvuliste parameetritega, milleks on $R'w$ ja L'_{nw} . $R'w$ on indeks, mis näitab õhumüra isolatsiooni taset (väljendatakse detsibellides) ning L'_{nw} on indeks, mis näitab löögimüra taseme taset (väljendatakse detsibellides). *"Need ühearvulised parameetrid saadakse konstruktsioonis võrreldes normkõveratega õhumüra isolatsiooni või löögimüra taseme sageduskarakteristiku. Indeks on aga vaadeldava konstruktsiooni sageduskarakteristiku suhtes nihutatud normkõvera arvuline väärtus sagedusel 500 Hz. Seda on sel juhul kui ebasoodsate hälvete summa normkõverast on lubatud piirides"* [18].

Standardite EN ISO 717 - 1 ; - 2 nõuetele vastavalt võetakse kasutusele $R'w$ ja L'_{nw} hindamisel heliisolatsiooniindeksitele parandustegurid, mida nimetatakse spektrilähendajateks. Kuigi projekteerimismisnormi EPN 16.1 eelnõu 2. sõnastuses, ka standardis EVS 842:2003, on see nõue toodud välja soovitusliku näitajana. Spektrilähendajaks nimetatakse arvu, mis liidetakse heliisolatsiooniindeksitele müra tekitava allikale spektri omaduste saamiseks. Müraallikate spektrid (spekter number 1 on roosa müra ja number 2 on transpordimüra) ja nende liigitus vastavalt spektraalsetele omadustele on käsitletud standardis EN ISO 717 - 1. Number 1 spekter on inimeste elutegevusest tekitatud olmemüra, kuid suure võimsustasemega muusika mängimine kuulub spekter number 2 alla. Seda kutsutakse transpordimüraks, sest selle juurde kuulub madalatel sagedustel kõrgemad helirõhutasemed kui olmemüra spektril. Seetõttu tuleb ruumide heliisolatsioonile esitada karmimaid nõudeid [18].

Kuna heliisolatsiooninõudeid on võrreldes kahekümne aasta taguste normdokumendiga karmistatud, võib tekkida küsimus, kas nõuded eluruumide osas pole liiga ranged. Selle jaoks oleks vaja näha seoseid heliisolatsiooniindeksite arvuliste väärtuste ja erinevate inimeste subjektiivsete hinnangute vahel. Projekteerimismisnormi eelnõus EPN 16.1 ja ka standardis EVS 842: 2003, on nõutav miinimum heliisolatsioonitegur uute elamute korterite vahel $R'w \geq 55$ dB ja $L'_{nw} \leq 53$ dB. Praegu on juba paljudes riikides on kasutusele võetud akustiliste tingimustega hoonete liigitamine, see aitab heliisolatsiooni senisest teisiti hinnata [18].

Standardis INSTA 122/1998, on määratletud elamute tähti kaustades heliklassi liigitamist akustilistel tingimustel. Projekteerimismisnormi EPN 16.1 lisa 4 on kasutatud sama Põhjamaade standardi eelnõu, kus võeti kasutusse neli heliklassi, milleks on A, B, C ja D. D klassi nõuded on vanade ning renoveerimisel olevate elamute hinnanguklass. A ja B heliklasside nõuded on parendatud niivõrd, et nendele on võimalik rakendada paremaid akustilisi tingimusi. Kuid enamik uusi elamuid ehitatakse ja planeeritakse ikkagi vastavalt klass C akustilistele tingimustele. Elamu heliklassi tähistuseks tehakse kindlaks standardiseeritud akustiliste mõõtmiste teel. Akustilise heliklassi lisamine elamule annab uutele elanikele või korterit osta soovivatele elanikele võimaluse saada väärtuslikku informatsiooni korteri heliisolatsiooni tingimuste kohta. Tabelis 3 on toodud heliisolatsiooninõuded neljale heliklassile ning elanike subjektiivne hinnang akustilistele tingimustele [18].

Tabel 3. Elamute akustikaalane klassifikatsioon vastavalt Põhjamaade INSTA 122 standardi eelnõule [18]

Tähis	Heliklass A	Heliklass B	Heliklass C	Heliklass D
Õhumüra isolatsioon R'_{w} , dB	63	58	55	50
Löögimüratase L'_{nw} , dB	43	48	53	58

Tabel 3 seletus vastavalt heliklassidele:

1. Klass A: Arvatav võimalus, et rohkem kui 90 % elanikest hindab heliisolatsiooni heaks või väga heaks;
2. Klass B: Arvatav võimalus, et 70 kuni 85 % elanikest hindab heliisolatsiooni headeks või väga heaks. Vähem kui 10 % inimesi hindab heliisolatsiooni halvaks;
3. Klass C: Arvatav võimalus, et 50 kuni 65 % elanikest hindab heliisolatsiooni heaks või väga heaks. Vähem kui 30 % inimesi hindab heliisolatsiooni halvaks;
4. Klass D: Arvatav võimalus, et 30 kuni 45 % elanikest hindab heliisolatsiooni heaks või väga heaks. 25 kuni 50 % inimesi hindab heliisolatsiooni halvaks [18].

Ülaltoodud tabeli 3 seletusest võib järeldada, et klass C kohased heliisolatsiooninõuded ei ole eriti kõrged ning ainult 50 - 65 % elanikest on akustiliste tingimustega rahul, kuigi miinimumnõuete kohaselt on C heliklass enda nõudeid täitnud. Aina rohkem riike kasutab elamute liigitamist selliste tingimuste alusel. Leedu on üks neist esimestest Baltiriikidest, mis on hakanud kasutama seda põhimõtet. Eestis ei ole kahjuks sellise normdokumendi koostamine leidnud veel toetust, kuid loodetavasti on hakatakse sellist dokumenti toetama [18].

Ühepereelamus ei ole nagu korterelamutes sisepiirete heliisolatsiooniga tavapäraselt selliseid probleeme. Mõnedes riikides isegi ei esitata tavalisele eramule selle kohaseid nõudeid. Eesti projekteerimisnormi eelnõus EPN 16.1, nagu ka standardis EVS 842:2003, on peetud otstarbekaks määrata heliisolatsiooninõuded ikkagi ka ühepereelamule [18].

Puitvahelaed on sagedamini esilekutsuvam probleem mitmekorruselise elamu vahelae heliisolatsioonis. Puitvahelaed on hetkel ebapiisav isolatsioon nii õhumüra kui löögimüra osas. Sellisest materjalist (või kipsplaatidest karkassvahelagede) heliisolatsioonimäära parandamiseks tuleks laekonstruktsiooni paksust suurendada. Ka põrandakonstruktsioon

peaks olema teostatud ujuva põranda põhimõttel ja olema võimalikult raske, kus elastse kihina pannakse antud konstruktsiooni umbes 30 millimeetri paksune klaas- või kivivillakiht. Järgmine võimalus oleks kipsplaadist ripplae vahelae paigaldamine, mis suudaks parandada tunduvalt vahelae heliisolatsiooniomadusi, kui selle kinnitusel kasutatakse spetsiaalseid akustilisi detaile nagu elastne riputus [18].

Madalatel helisagetustel saab saatuslikuks õhumüra isolatsioon aga kergkonstruktsioonides. Nende tegelikku heliisolatsiooni oleks õige hinnata suurusega $R'w + C_{tr}$ (dB) nagu mõõdetakse akende puhul. C_{tr} parandus arvestab muusikast tulnud spektri omadusi. Kergkonstruktsioone arvestades on parandus C_{tr} alati negatiivne. Elamutes kasutatav helitehnika, mis kaasaegsuse tõttu on väga võimekas, toodab madalate sagedustega heli, mida on selliste tavaliste konstruktsioonidega väga keeruline summutada [18].

5 AS TOOM TEKSTIIL MATERJALIDE KATSETAMINE

Ettevõtte Toom Tekstiil AS oli ettepanek materjalide katsetamisel nelja erineva standardiseeritud katsemeetodi osas, milleks olid:

- Soojustakistuse määramine kasutades kaitsekehaga kuumutusplaadi ja soojusvoo meetodi- toodete kõrge ja keskmine soojustakistus EVS - EN 12667 : 2001;
- EN 12087 soojusmaterjalid ehituste rakendustes- pikaajalise veeimavuse määramine;
- Ehitustoodete ja- elementide tuleohustusala klassifikatsioon osa 1: Klassifikatsioon tuletundlikkuse katsete alusel EVS-EN 13501 - 1 : 2007 + A1 : 2009;
- ISO 354 Akustika. Helineeldumise mõõtmine reverberatsiooniruumis või ISO 11654 Akustika. Hoonete helineelurid. Helineeldumise hindamine [13].

Tallinna Tehnikaülikoolis oli autoril võimalus läbi viia katsetused EVS-EN 12667:2001 ja EN 12087 ettevõtte poolt antud materjalidele. Katsetused viidi läbi ehitusmaterjalide teadus- ja katselaboratooriumis ja energiatehnoloogia instituudi laboris. Antud standardiseeritud katsetused annavad võimaluse määrata materjalide soojusjuhtivustegurit ning pikaajalist veeimavust, et teada saada, kas heli- ja soojusisolatsioonimaterjalide tehnilised näitajad sobivad kasutamaks neid sihtotstarbeks.

Materjalide nimetused, mida katsetustes kasutatakse on:

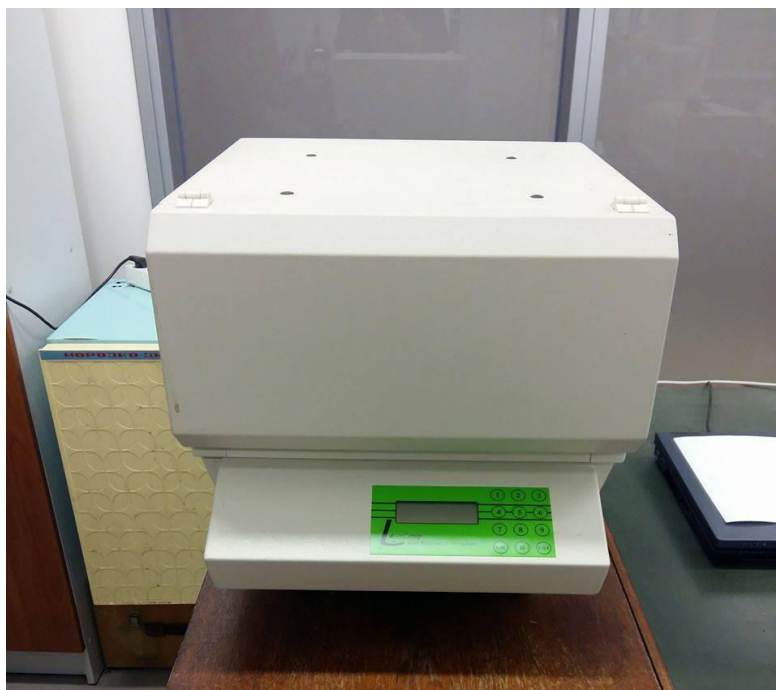
- Soojustusvill - 50 % lambavill (viimistlusvahend *Aflammit* 6%), 50 % polüester. Pindtihedusega 1500 - 3000 g/m², paksustega 80 - 150 mm;
- Heliisolatsioonipaneel valge - 100 % polüester. Pindtihedusega 1800 - 3000 g/m², paksustega 40 - 46 mm
- Soojustusvatiin 100 % polüester - valge. Pindtihedusega 500 - 2500 g/m², paksustega 50 - 100 mm
- Soojustusvatiin *Blue Sky Multicolor* - 60 % *Recofill Multicolor* 40 % polüester. Pindtihedusega 1500 - 3225 g/m², paksustega 20 - 100 mm

5.1 Soojusisolatsioonimaterjalide katsetamine

Järgmine peatükk antakse ülevaade järgmisest standardist - Soojustuse esinemine ehitusmaterjalides ja toodetes - soojustakistuse määramine kasutades kaitsekehaga kuumutusplaadi ja soojusvoo meetodi - toodete kõrge ja keskmine soojustakistus EVS - EN 12667:2001.

5.1.1 Aparatuur

Kaitsekehaga kuumplaatseadme soojustakistuse mõõtmise seadme (Joonis 6) eesmärk on sätestada homogeensete katsekehade lamedaid paralleelseid pindasid, pinna kuju, ühesuunalist muutumatut ja ühtlase kuumusega voolukiirust. See osa seadmest, kus test toimub peab olema piisava täpsusega ja testimine toimub seadme keskosas; seega aparaat jaguneb kaheks - keskne mõõteseade sektsioon, kus toimuvad mõõtmised ja ümbritsev kaitsekeha sektsioon [19].



Joonis 5. Tallinna Tehnikaülikooli soojustakistuse mõõtmise seade (autori foto)

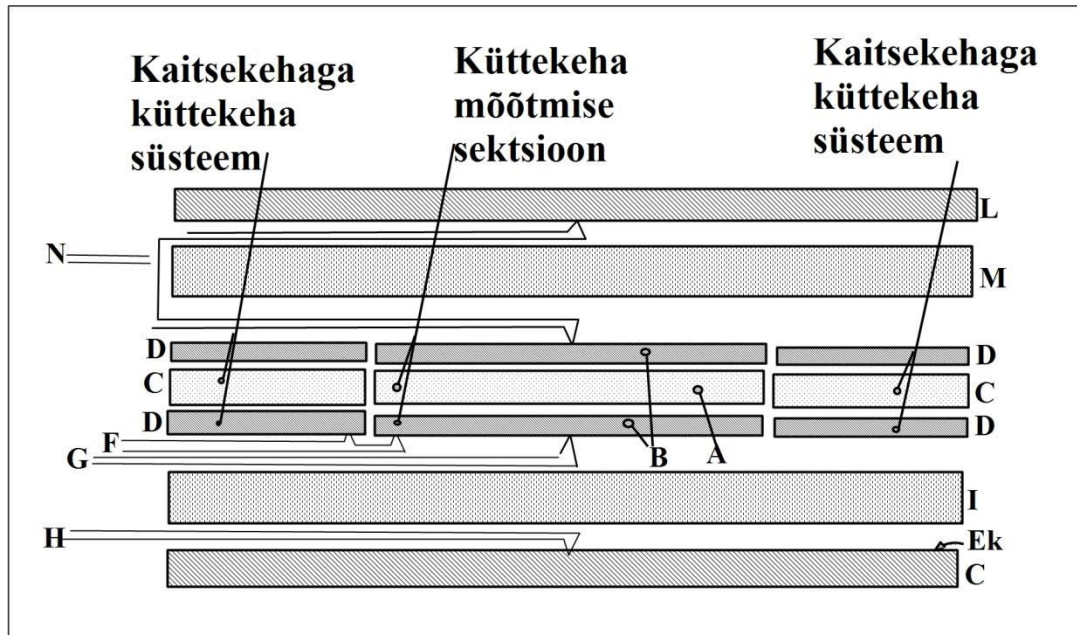
Soojuse voolukiiruse tiheduse mõõtmine toimub seadmes, kui mõõtmisalas on sätestatud püsiv seisund, siis soojuse voolukiiruse tihedus (q) määratakse (Φ) mõõdetud soojus voolukiirusest ja mõõdetud A -st, millega soojuse voolukiirus ristub [19].

Temperatuuride erinevust katsekehades (ΔT) mõõdetakse temperatuurianduritega, mis on kinnitatud aparadi pindadele ning on kontaktis katsekehaga ja/ või need, mis on katsekehas endas, olenevalt, mis on katse tegemiseks sobivam lahendus [19].

Keskmist soojusjuhtivust λ või soojustakistust λt , võib katsekeha puhul välja arvutada ka siis, kui on olemas asjakohased tingimused nende tuvastamiseks. Kui aga seda võimalust ei ole, siis seadmes on võimalik mõõta katsekeha pealt 5 erinevat punkti, mille tulemusena seade määrab 5 keskmist soojusjuhtivust [19].

5.1.2 Seadme ja katsekehade piirangud

Soojusjuhtivuse määr on saadud katsekehaga kuumplaatseadmest sisendvõimsuse kütte seadme mõõtmis sektsioonist. Aparadi üldisi funktsioone koos katsekehaga on näha all olevas joonisel (Joonis 6) [19].



Joonis 6. Seade, milles kasutatakse ainult ühte katsekeha [19]

Joonise seletus: A - küttekeha mõõtmise sektsioon; B - katteplaadi mõõtmise sektsioon; C - kaitsekehaga küttekeha sektsioon; D - kaitsekehaga katteplaadi sektsioon; E- jahutamise seadeldis; E_k - jahutusseadeldis katteplaadiga; F - erinevad termouhendid; G - kuumutamisseadme pind termouhenditega; H- jahutusseadeldise pind termouhenditega; I - katsekeha; L - põhjakaitse; M - põhjakaitse isolatsioon; N - põhjakaitse diferentsitud termouhenditega [19].

5.1.3 Soojusjuhtivusteguri määramise protseduur

Testimise protseduur on terviklik toimingukogum, et määrata soovitud soojusülekanne omadus läbi ettevalmistatud katsekeha. Neid toiminguid võib jagada konditsioneerimiseks ja ülejäänud meetmeteks, et saaks katset läbida seadmega, millel on kaitseadeldise jaoks sobiv plaat või soojuse voolumõõtja [20].

Pärast katsekeha massi määramist, hoitakse pidevalt ühtlast massi vastavalt toote standardile. Suhteline massikadu arvutatakse kindlaksmääratud massist enne ja pärast kuivamist. Et vähendada testimise aega, võib katsekeha konditsioneerida keskmisele temperatuurile koheselt vahetult enne seadmesse panekut [20].

Jälgima peab soojuse voolumõõtja keskmist temperatuuri ja elektromotoorjõu väljundit. Peab kontrollima keskmist temperatuuri ja temperatuuri langust tervel katsekehal, et näha millal temperatuur stabiliseerub. Peab veenduma, et soojus voolumõõtja pinna temperatuuri kõikumised ei tekitaks kõikumisi elektrilisele väljundvõimsusele, mis ei tohi olla rohkem kui 2 % testi jooksul [20].

Lõpetamisel tuleb olla tähelepanelik ja mõõta koheselt katsekeha massi. Paksuse mõõtmist tuleb korrata ja sellest teatama, kui muutus toimub ükskõik mistahes katsekeha mahus [20].

5.2 Soojisolatsioonimaterjalide soojusjuhtivus ja testide tulemused

5.2.1 Kiudude termilised omadused

Kiudude termilised omadused on:

- Soojusmahtuvus
- Soojusjuhtivus
- Sulamis- ja klaasistumistemperatuur
- Termilise lagunemise temperatuur
- Kiudude termostabiliseerimine
- Kiudude termiline paisumine [21].

5.2.2 Soojusmahtuvus

Kiudaine soojusmahtuvus konstantsel rõhul on soojushulk, mis kulub ühe massiühiku kiudaine temperatuuri tõstmiseks ühe kraadi võrra. Erisoojus on soojusmahtuvuse ja molekulmassi jagatis. Selle ühikuks on J/kgK (Tabel 4). Erisoojust käsitletakse kui kiudaine võimet salvestada energiat soojuse näol. Orgaaniliste ainete kõrged erisoojuse väärtused tulenevad palju energiat vajavate makromolekulides toimuvate kulgliikumiste tõttu, mida tekitab temperatuuri tõus [21].

Tabel 4. Materjalide termilised omadused [21]

Jrk nr.	Materjal	Tihedus g/cm ³	Erisoojus J/kgK	Soojusjuhtivus W/mK
1	Alumiinium	2,7	903	237
2	Vask	8,9	385	401
3	Teras	7,85	434	60,5
4	PET	1,37	1103	0,14
5	Vill	1,34	1340	-
6	Puuvill	1,52	1250	0,07
7	Vesi	1,0	4,8	0,6
8	Lumi	0,11	240	0,05
9	Õhk	1,16 x 10 ⁻³	1007	2,6 x 10 ⁻²

5.2.3 Soojusjuhtivus

Soojusjuhtivus on võrdetegur soojusvoo ja temperatuuri vahel (valem 5.1), mis tuleneb *Fourier'* seadusest.

$$q = k (dT/dx) \quad (5.1)$$

kus q - soojusvoog

k - soojusjuhtivus

dT/dx temperatuuri gradient [21]

Erinevate materjalide soojusjuhtivused, erisoojus ja tihedused on esitatud tabelis 3. *"Neid väärtusi võib siiski käsitleda kui lahendusi, sest kiu soojusjuhtivus sõltub suuresti tema makromolekulide orientatsioonist, seega isegi samatüübilistel kiududel võib nende soojusjuhtivus erineda. Üldjuhul on polümeerid ja seega ka tekstiilkiud head soojuse isolaatorid, mistõttu erinevatest kiududest villakuid kasutatakse magamiskottides, talverõivastes soojustusmaterjalina. Tuleb aga märkida, et tegeliku isolatsioonimaterjaline toimib nende toodete villakuid vahel olev õhk, mille soojusjuhtivus on väiksem kui mis tahes kiul. Kiud on vajalikud vaid selleks, et takistada õhu liikumist [21]."*

5.2.4 Soojusisolatsioonimaterjalide soojusfüüsikaliste mõõtmiste protokoll

Katsetused teostati vastavalt EV standardile EVS - EN 12667. Mõõtmistel kasutati USA Firma Laser Comp Fox - 304 seadet soojusjuhtivusteguri määramiseks, vastavalt Toom Tekstiil AS'i poolt ettenähtud metoodikale. Katsekeha asend oli seadmes horisontaalses asendis.

Proovikehad soojusisolatsioonimaterjal:

1. Soojustusvill E15 - 50 % lambavill (viimistlusvahend *Aflammit* 6%), 50 % polüester.
Pindtihedus 1500 g/m^2 , paksus 100 mm.
2. Soojustusvill E19 - 50 % lambavill (viimistlusvahend *Aflammit* 6 %), 50 % polüester
Pindtihedus 1500 g/m^2 , paksus 80 mm
3. Soojustusvill E25 - 50 % lambavill (viimistlusvahend *Aflammit* 6%), 50 % polüester.
Pindtihedus 2500 g/m^2 , paksus 100 mm

4. Soojustusvill E30 - 50 % lambavill (viimistlusvahend *Aflammit* 6 %), 50 % polüester. Pindtihedus 3000 g/m², paksus 150 mm pressitud 100 mm-le
5. Soojustusvill E33 - 50 % lambavill (viimistlusvahend *Aflammit* 6 %), 50 % polüester. Pindtihedus 3000 g/m², paksus 150 mm pressitud 90 mm-le
6. Heliisolatsioonipaneel E39 valge - 100 % polüester. Pindtihedus 1800 g/m², paksus 46 mm
7. Heliisolatsioonipaneel E75 valge - 100 % polüester. Pindtihedus 3000 g/m², paksus 40 mm
8. Heliisolatsioonipaneel E67 valge - 100 % polüester. Pindtihedus 3000 g/m², uus katse paksusega 45 mm
9. Soojustusvatiin E10 100 % polüester - valge. Pindtihedus 500 g/m², paksus 50 mm.
10. Soojustusvatiin E15 100 % polüester - valge. Pindtihedus 1500 g/m², paksus 100 mm.
11. Soojustusvatiin E20 100% polüester - valge. Pindtihedus 2000 g/m², paksus 100 mm.
12. Soojustusvatiin E25 100% polüester - valge. Pindtihedus 2500 g/m², paksus 100 mm
13. Soojustusvatiin E75 *Blue Sky Multicolor* - 60 % *Recofill Multicolor* 40 % polüester. Pindtihedus 1500 g/m², paksus 20 mm
14. Soojustusvatiin E31 *Blue Sky Multicolor* - 60 % *Recofill Multicolor* 40 % polüester. Pindtihedus 2500 g/m², paksus 80 mm.
15. Soojustusvatiin E75 *Blue Sky Multicolor* - 60 % *Recofill Multicolor* 40 % polüester. Pindtihedus 2250 g/m², paksus 30 mm
16. Soojustusvatiin E20 *Blue Sky Multicolor* - 60 % *Recofill Multicolor* 40 % polüester. Pindtihedus 2000 g/m², paksus 100 mm
17. Soojustusvatiin E75 *Blue Sky Multicolor* - 60 % *Recofill Multicolor* 40 % polüester. Pindtihedus 3225 g/m², paksus 43 mm
18. Soojustusvatiin E37 *Blue sky white QR* - 100 % polüester. Pindtihedus 2600 g/m², paksus 70 mm

Mõõtmised teostati proovikehadega keskmisel temperatuuril $10 \pm 0,3$ °C, mis on edaspidi tähistatud λ_{10} . Temperatuuri vahemik ΔT (- 10 °C + 30 °C). Mõõtmistulemuste laiendmääramatus U ($k = 2$) on tähistatud $\Delta\lambda_{10}$. Uuritud katsekehade iseloomulikud parameetrid ja katsete tulemused on toodud tabelis 5. Tabelis 5 on ka väljatoodud materjalide arvutatud U - arv, mis on soojatakistuse pöördarv, mille arvutuskäiku on võimalik näha Lisa 2.

Vastavalt energiatõhususe miinimumnõudele peab olema elamu sein U - arv 0,12...0,22 W/(m²·K) [22].

Tabel 5. *Multicolor* soojusisolatsioonipaneeli ja soojustusvatiini, soojustusvilla soojusfüüsikaliste mõõtmete tabel

	Proovikeha	T_{kesk}	ΔT	paksus	q	λ_{10}	$\Delta \lambda_{10}$	U-arv
Nr	Ühik	°C	K	m	W/m ²	W/(m·K)	W/(m·K)	W/(m ² K)
1	Soojustusvill E15	10,02	40,00	0,100	17,43	0,0435	±0,0005	0,435
2	Soojustusvill E19	10,02	32,00	0,080	14,82	0,0376	±0,0005	0,470
3	Soojustusvill E25	10,02	40,00	0,100	14,80	0,0378	±0,0004	0,378
4	Soojustusvill E30	10,02	40,00	0,100	14,24	0,0371	±0,0006	0,365
5	Soojustusvill E33	10,02	36,00	0,090	14,13	0,0365	±0,0001	0,406
6	Heliisolatsioonipaneel E39	10,02	18,00	0,046	14,64	0,0339	±0,00003	0,737
7	Heliisolatsioonipaneel E75	10,02	16,00	0,040	13,90	0,0349	±0,000008	0,873
8	Heliisolatsioonipaneel E67	10,02	18,00	0,045	14,16	0,0357	±0,00006	0,793
9	Soojustusvatiin E10	10,01	20,00	0,050	22,34	0,0558	±0,001	1,120
10	Soojustusvatiin E15	10,02	40,00	0,100	19,62	0,0490	±0,0005	0,490
11	Soojustusvatiin E20	10,02	40,00	0,100	15,65	0,0391	±0,00002	0,391
12	Soojustusvatiin E25	10,02	40,00	0,100	17,78	0,0444	±0,0005	0,444
13	Soojustusvatiin E75 <i>Blue Sky Multicolor</i>	10,02	8,00	0,020	12,83	0,0323	±0,00008	1,616
14	<i>Blue Sky Multicolor</i> E31 soojustusvatiin	10,02	36,00	0,080	15,86	0,0360	±0,0006	0,451
15	Soojustusvatiin E75 <i>Blue Sky Multicolor</i>	10,02	12,00	0,030	12,89	0,0324	±0,00004	1,080
16	<i>Blue Sky Multicolor</i> E20 soojustusvatiin	10,02	40,00	0,100	17,10	0,0427	±0,00004	0,427
17	Soojustusvatiin E75 <i>Blue Sky Multicolor</i>	10,02	18,00	0,043	11,92	0,0323	±0,00002	0,751
18	Soojustusvatiin E37 <i>Blue sky white QR</i>	10,02	28,00	0,070	14,03	0,0352	±0,0002	0,503

Keskonnatingimused ruumis- õhu temperatuur 23 ± 2 °C, õhuniiskus 40 ± 10 %. Katsetuste käigus katsekeha massi ja mõõtmete muutust ei täheldatud.

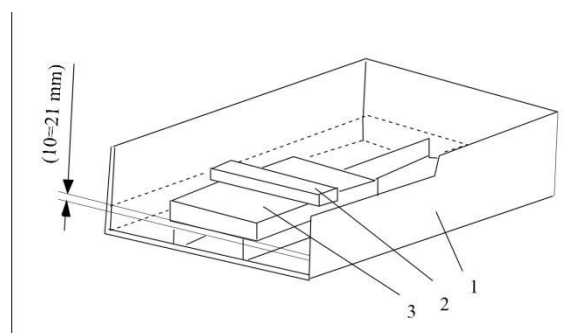
5.3 Pikaajalise veemavuse immersiooni määramine

Järgmine peatükk räägib standardist EN 12087 soojusmaterjalid ehituste rakendustes-pikaajalise veemavuse määramine.

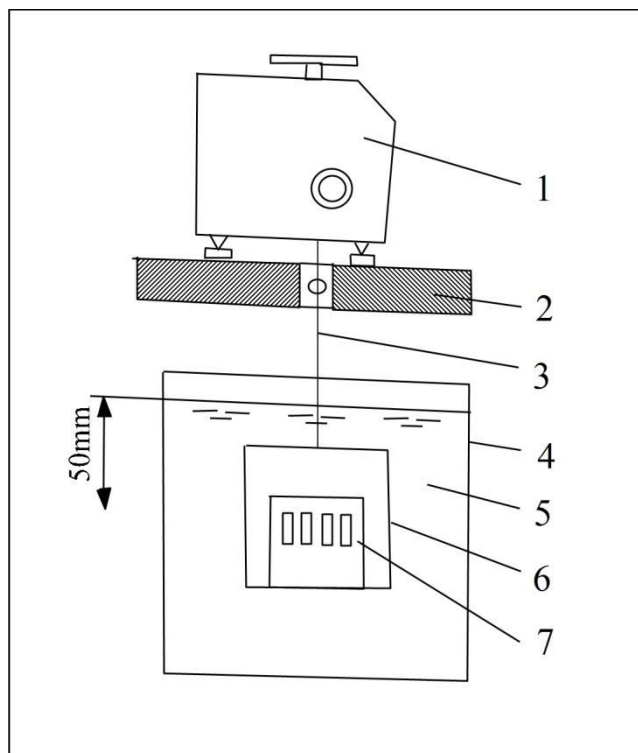
Euroopa standardid määratlevad kaks võimalust- 1) osaline katsekeha immersioon; 2) täielik katsekeha immersioon [23].

Pikaajalise veeimavuse meetodi eesmärk osaliseks katsekeha immersiooniks on imiteerida materjali omaduste muutumist põhjustatuna pikaajalise kokkupuutest veega. Pikaajalise veeimavuse meetodi eesmärk katsekeha täieliku immersiooniga ei ole otseselt seotud tingimustega paigutus asupaigas, kuid on tunnistatud, et vastav seisund võib tekkida mõnede toodete puhul erinevates rakendustes [23].

Pikaajalise veeimavuse täielikult vettekastmise määramiseks mõõdetakse massi muutust katsekehas, kui see on täielikult vees 28 päeva. Seadmeks on veepaak, mille peale on kinnitatud raskus, et hoida veetase konstantne $10 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ ja et see hoiaks katsekeha õiges asendis. Veetaset mõõdetakse katsealuse põhjast joonlaua abil. Näited katseseadeldisest on toodud joonistel 8, 9, 10. Seadeldis ei tohi katta katsekeha rohkem kui 15 % ristlõike pindalas, mis on kokkupuutes veega. Lisaks peab olema seadeldis nii, et katsekeha algkuju säiliks [23].



Joonis 7. Seadeldis, millega saab määrata osalist immersiooni. Joonise seletus - 1) veepaak; 2) raskus, mis hoiab katsekeha paigal; 3) katsekeha [23]



Joonis 8. Näide seadeldisest, millega saab määrata veemavust täielikul immersioonil. Joonise seletus - 1) tasakaal; 2) kaalutabel; 3) aheldus; 4) veenõu; 5) vesi; 6) hammastik puur roosteabast materjalist, kus on kinnitatud vardad või uputaja, piisavalt suure massiga, et hoida katsekeha paigal; 7) Katsekeha [23]



Joonis 9. Tallinna Tehnikaülikoolis tehtav osalise immersiooni test Toom Tekstiil AS materjalidega (autori foto)

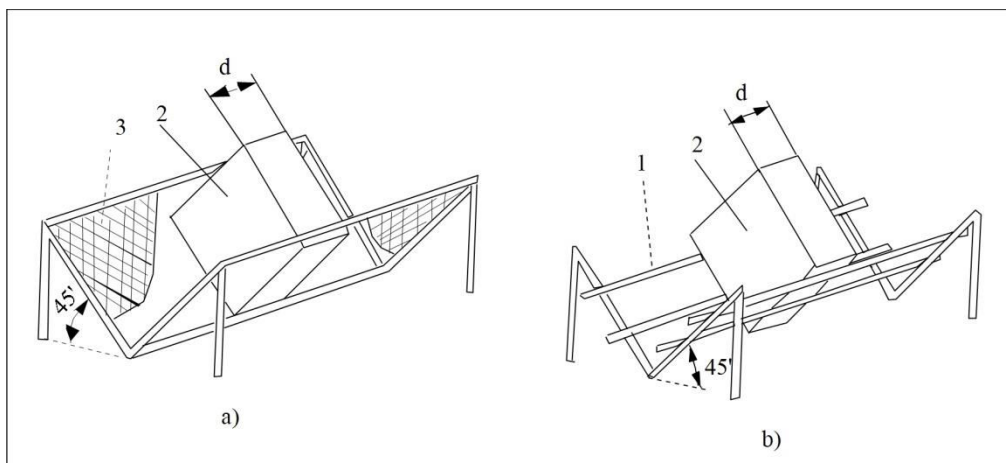
5.4 Veeimavuse testi protseduur

Enne kui katset alustada, tuleb katsekehi hoida vähemalt 6 tundi temperatuuril $23\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$. Võimalike lahkkelide korral, kus on antud vastavale tootele eri standardid, tuleb neid hoiustada temperatuuril $23\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ ja suhtelise õhuniiskuse $50\% \pm 5\%$ ajaks märgitud minimaalselt 6 tundi [23].

Pikaajaline veeimavus määratakse 28 päeva pärast katsekeha vette panemist. Soovi korral loendamist saab teha lühema aja perioodidel, näiteks pärast 7 ja 14 päeva pikkust immersiooni perioodi. Katsekeha mõõtmised mõõdetakse vastavalt standardile EN 12085 täpsusega 0,5 mm enne katset. Kui mingid muutused toimuvad pärast immersiooni perioodi, siis tuleb katsekehad uuesti üle mõõta [23].

Järgnevalt katsekeha kaalutakse täpsusega 0,1 grammi, et määrata selle esialgne mass. Pärast kaalumist tuleb katsekeha asetada tühja veepaaki ja panna peale piisav koormus, et hoida katsekeha täielikult vees. Vett tuleb lisada kuni anuma ülemise servani, et katsekeha on 10 ± 2 millimeetrit vees. Terve testi vältel tuleb tagada, et veetase jääb katse ajal sama piirini, mistõttu tuleb vajadusel vett lisada [23].

Pärast 28 päeva (lühiajalise katse puhul varem) tuleb eemaldada katsekeha veest. Katsematerjalil tuleb lasta kuivada $10 \pm 0,5$ minutit, pannes selle vertikaalselt võrele, 45 - kraadise nurga all, nagu näidatud joonisel 10. Viimane etapp on katsekeha kaalumine, et määrata selle mass m_{28} (lühemal perioodil m_7 ja m_{14}). Massi indeksid m_{28} , m_{14} , m_7 näitavad katsekeha massi pärast mitut päeva nad on vees hoitud [23].



Joonis 10. Seadeldis katsekeha kuivatamiseks. Joonise seletus- 1) võre, millele katsekeha kuivama pannakse (roostevabast terasest); 2) katsekeha; d) katsekeha paksus ja asetus võrel [23]

5.5 Soojusisolatsioonivatiin *Blue Sky Multicolor* katsetulemused

Katse käigus määrati soojustusvatiini veeimavuse. Eelnevalt lõigati soojustusvatiinist (tähistusega Soojustusvatiin *Blue Sky Multicolor*) 4 katsekeha mõõtmetega 200 x 200 x 80 mm, 4 tükki. Täielik katseprotokoll on toodud välja Lisas 3.

Katsetus toimus EVS-EN 12087 meetod 1 A (osaline sukeldamine) nõuete kohaselt. Katsekehad stabiliseeriti normaaltingimustel, kaaluti ja asetati koos täiendava raskusega vannidesse restidele. Seejärel valati vanni vesi temperatuuriga $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ nii, et veetase ulatus katsekeha alumisest pinnast (10 ± 2) mm kõrguseni. 28 ja 7 päeva möödudes katsekehad nõrutati vertikaalasendis 45 - kraadise kaldega restil $(10 \pm 0,5)$ min jooksul ja kaaluti. Veeimavus W_{ip} arvutati massina pinnaühiku kohta. Katsetulemused on esitatud tabelis 6.

Tabel 6. Soojustusvillast, tähistusega soojustusvatiin *Blue Sky Multicolor* katsekehade veeimavus pärast 28 - päevast ja 7 - päevast osalist vettesukeldamist (EVS - EN 12087 meetod 1 A)

Katsematerjal	Veeimavus W_{ip} , kg/m ² keskmine katsetulemus
Soojustusvatiin E75 <i>Blue Sky Multicolor</i> - 60 % <i>Recofill Multicolor</i> 40% polüester. Pindtihedus 1500 g/m ² , paksus 20 mm	4,47
Soojustusvatiin E31 <i>Blue Sky Multicolor</i> - 60 % <i>Recofill Multicolor</i> 40% polüester. Pindtihedus 2500 g/m ² , paksus 80 mm	3,86

Katsematerjal	Veeimavus W_{ip} , kg/m ² keskmine katsetulemus
Soojustusvatiin E75 <i>Blue Sky Multicolor</i> - 60 % <i>Recofill Multicolor</i> 40 % polüester. Pindtihedus 2250 g/m ² , paksus 30 mm	5,22
Soojustusvatiin E75 <i>Blue Sky Multicolor</i> - 60 % <i>Recofill Multicolor</i> 40 % polüester. Pindtihedus 3225 g/m ² , paksus 43 mm	6,72
Soojustusvatiin E37 <i>Blue sky white QR</i> - 100 % polüester. Pindtihedus 2600 g/m ² , paksus 70 mm	3,74

5.6 Soojustusvill vill + polüester + *Aflammit* 6 % katsetulemused

Katse käigus määrati soojustusvilla veeimavuse. Eelnevalt lõigati soojustusvillast (tähistusega soojustusvill vill + polüester + *Aflammit* 6 %) 4 katsekeha mõõtmetega 200 x 200 x 100 mm. Täielik katseprotokoll asub Lisas 3.

Katsetamine toimub EVS-EN 12087 meetod 1 A (osaline sukeldamine) nõuete kohaselt. Katsekehad stabiliseeriti normaaltingimustel, kaaluti ja asetati koos täiendava raskusega vannidesse restidele. Seejärel valati vanni vesi temperatuuriga (23 ± 2) °C nii, et veetase ulatus katsekeha alumisest pinnast (10 ± 2) mm kõrguseni. 28 ja 7 päeva möödudes katsekehad nõrutati vertikaalasendis 45 - kraadise kaldega restil (10 ± 0,5) min jooksul ja kaaluti. Veeimavus W_{ip} arvutati massina pinnauhiku kohta. Katsetulemused on esitatud tabelis 7.

Tabel 7. Soojustusvillast, tähistusega soojustusvill vill + polüester + *Aflammit* 6 % katsekehade veeimavus pärast 28 - ja 7 - päevast osalist vettesukeldamist (EVS - EN 12087 meetod 1 A)

Katsematerjal	Veeimavus W_{ip} , kg/m ² keskmine katsetulemus
Soojustusvill E15 - 50 % lambavill (viimistlusvahend <i>Aflammit</i> 6%), 50 % polüester. Pindtihedus 1500 g/m ² , paksus 100 mm	1,41
Soojustusvill E19 - 50 % lambavill (viimistlusvahend <i>Aflammit</i> 6 %), 50 % polüester Pindtihedus 1500 g/m ² , paksus 80 mm	1,14
Soojustusvill E25 - 50 % lambavill (viimistlusvahend <i>Aflammit</i> 6%), 50 % polüester. Pindtihedus 2500 g/m ² , paksus 100 mm	1,23
Soojustusvill E30 - 50 % lambavill (viimistlusvahend <i>Aflammit</i> 6 %), 50 % polüester. Pindtihedus 3000 g/m ² , paksus 150 mm	1,22

5.7 Soojustusvatiin 100% polüester katsetulemused

Katse käigus määrati soojustusvilla veeimavuse. Eelnevalt lõigati soojustusvillast (tähistusega soojustusvatiin 100% polüester) 4 katsekeha mõõtmetega 200 x 200 x 50 mm. Täielik katseprotokoll asub Lisas 3.

Katsetamine toimub EVS - EN 12087 meetod 1 A (osaline sukeldamine) nõuete kohaselt. Katsekehad stabiliseeriti normaaltingimustel, kaaluti ja asetati koos täiendava raskusega vannidesse restidele. Seejärel valati vanni vesi temperatuuriga (23±2) °C nii, et veetase ulatus katsekeha alumisest pinnast (10 ± 2) mm kõrguseni. 28 ja 7 päeva möödudes katsekehad nõrutati vertikaalasendis 45 - kraadise kaldega restil (10 ± 0,5) min jooksul ja kaaluti. Veeimavus W_{ip} arvutati massina pinnaühiku kohta. Katsetulemused on esitatud tabelis 8.

Tabel 8. Soojustusvatiin, tähistusega soojustusvatiin 100% polüester, katsekehade veeimavus pärast 28 - ja 7 - päevast osalist vettesukeldamist (EVS - EN 12087 meetod 1 A)

Katsematerjal	Veeimavus W_{ip} , kg/m ² keskmine katsetulemus
Heliisolatsioonipaneel E39 valge - 100 % polüester. Pindtihedus 1800 g/m ² , paksus 46mm	1,96
Heliisolatsioonipaneel E75 valge - 100 % polüester. Pindtihedus 3000 g/m ² , paksus 40 mm	2,76
Soojustusvatiin E20 100 % polüester - valge. Pindtihedus 2000 g/m ² , paksus 100 mm	1,35

5.8 Tulekindluse klassi määramine

Antud peatükis on välja toodud ettevõtte Toom Tekstiil AS poolt tellitud kolme katsematerjaliga tehtud tulemused. Katsetused on tehtud TUV Eesti OÜ laboris.

Temperatuuri tõus põhjustab tekstiilmaterjalides muutusi. Ühed kiud sulavad (näiteks polüpropeenkiud), teised on töödeldavad soojuse abil (näiteks triatsetaat, polüeamiid), mõned kiud muutuvad teataval temperatuuril vedelaks (sünteeskiud), osa kiude lagunevad ilma sulamata (näiteks looduslikud kiud). Kiudude käitumine kuumendamisel seletub kiu molkekulide ehitusega [24].

Tabel 9. Tulekindluse klassi määramine katsetulemused

Testi tulemused	<i>Blue Sky Multicolor</i> Toom Tekstiil AS	Soojustuvill ja polüester Toom Tekstiil AS	Polüester Toom Tekstiil AS
Leegi katse			
Süttis	e	k	e
Põlevate tilkade eraldumine	o	e	o
Järelpõlemine	o	e	e
Tulekindlusklass	E	E	C

Antud tabelis 9 on kirjeldatud mitmete katsekehade standardiseeritud testimiste tulemused. Süttivustundlikkuse osas on pandud tähised, kuidas soojusisolatsioonimaterjal leegile reageeris: e = ei reageerinud; o = reageeris osadel katsetükkidel; k = reageeris kõigil katsetükkidel.

Kiu käitumine põlemisel on üks tähtsamatest kiuomadustest. Nii mõnelgi kasutusosal vajatakse tulekindlaid või isegi täielikult mittepõlevaid kiude. Täiesti põlematu kiude ei ole aga välja töötatud, küll aga on olemas eriti kõrgetele temperatuuridele vastupidavaid ja/või raskepõlevaid kiude. Neid kiude nimetataksegi kuumuskindlateks kiududeks [24].

Kiudude põlemistundlikkust kirjeldatakse niinimetatud LOI- arvuga, mis näitab hapniku osatähtsust, mida peaks sisaldama gaasisegu, et kiud põleks edasi ka pärast leegi eemaldamist materjalilt. Kuna õhu hapnikusisaldus on umbes 21 %, siis võib seda protsenti pidada teatavaks tulekindluse piiriks. Mida suurem on kiu LOI- arv, seda tulekindlam on kiud ise. Materjalid, mis ületavad LOI- arvu 25, on õhus põlemisel selle tõttu isekustuvad. Polüestri LOI- arv on 22 ehk polüester süttib halvasti ja põledes pigem sulab. Lambavilla LOI-arv on 25 ehk vill on suhteliselt tulekindel kiud ja põleb õhu käes vaid kindlatel tingimustel. Vill ei ole eriti tuleohtlik materjal, millest võib järeldada, et ta sobib hästi soojusisolatsioonimaterjaliks [24], [25].

6 HELIISOLATSOONIMATERJALIDE KATSETAMINE

Materjalil on erinevatel sagedustel mitu erinevat näitajat ja üks võime materjalil heli summutada on selgitatud summutuskoefitsientidega. Helisummutuskoefitsiendi R 'i arvutuskäik põhineb tehtud erinevate sagedustega testitulemustel. Kui vajalikud standardiseeritud mõõtmised tehakse kohapeal (see tähendab elamus, mille tulemustest soovitakse teada), siis väärtused on tähistatud R 'iga [26].

Laboris ja kohapeal toimuvate mõõtmiste tulemuste detsibellilised suurused võivad erineda väga suures ulatuses, kuna see sõltub väga palju ehitise kvaliteedist ja konstruktsioonist. Kui konstruktsioonis või siseviimistluses on lõikeid/ auke ning neis on heli neelav materjal, siis on helisummutustegur kohe suurem. Näiteks vaheseinte puhul on tegur sedavõrd erinev, kuna sellel võivad olla aknad ja uksed või muud elemendid ning vaheseinale arvestatakse hoopis teistsugust akustilist taset. Sellisel juhul tuleb kalkuleerida üldine helisummutuskoefitsient [26].

6.1 Heliisolatsiooni teststendi ja mõõtemetodi lühikirjeldus

Määrati heliisolatsioonimaterjali akustilised omadused, kasutades TTÜ akustikalaboris U06-101 olevat katsestendi ning mõõtemetoodikat. Katsetuses kasutati kolme sama kiulise koostisega katsekeha soojustusvatiin *E75 Blue Sky Multicolor* 3225 g/m². Materjali mõõtmed olid diameeter 94 mm ja paksus 44 mm.

Stend koosnes akrüülitorust sisediameetiga 94 mm ning seinapaksusega 3 mm. Mõõtepiirkond antud stendi parameetrite korral 100 - 2100 Hz. Helilaine tekitati kõlariga ning valge müra generaatoriga. Eeldusel, et heli levib torus nii öelda tasalainena on võimalik eristada x -telje positiivses ja negatiivses suunas liikuvat helilainet ($p+$, $p-$), kasutades kahe mikrofoni meetodit. Ühtlasi saame leida ka peegeldusteguri vastavalt:

$$R = \frac{p -}{p +} \quad (6.1)$$

Kus R - peegeldustegur

$p -$ - negatiivses suunas liikuv helilaine

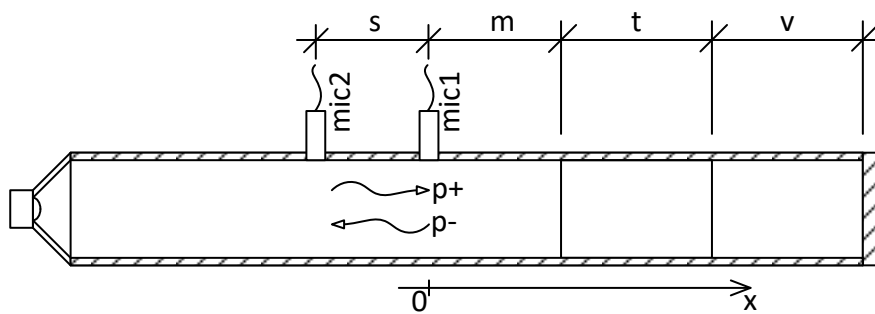
$p +$ - positiivses suunas liikuv helilaine

Teades heli peegeldustegurit, on võimalik arvutada materjali heli neelduvusteguri:

$$\alpha = 1 - R^2 \quad (6.2)$$

Kus α - akustiline neelduvustegur

R^2 - peegeldusteguri ruut



Joonis 11. Akustikastend

Katseobjekt:

- Tehniline kangas, isolatsioonimaterjal 3225 g/m^2
- Testeksemplar: 3 tükki; $28,3 \text{ g/tükk}$; diameeter 94 mm , paksus 44 mm
- Temperatuur: toatemperatuur, $22 \text{ }^\circ\text{C}$

6.2 Eksperimendi lühikirjeldus

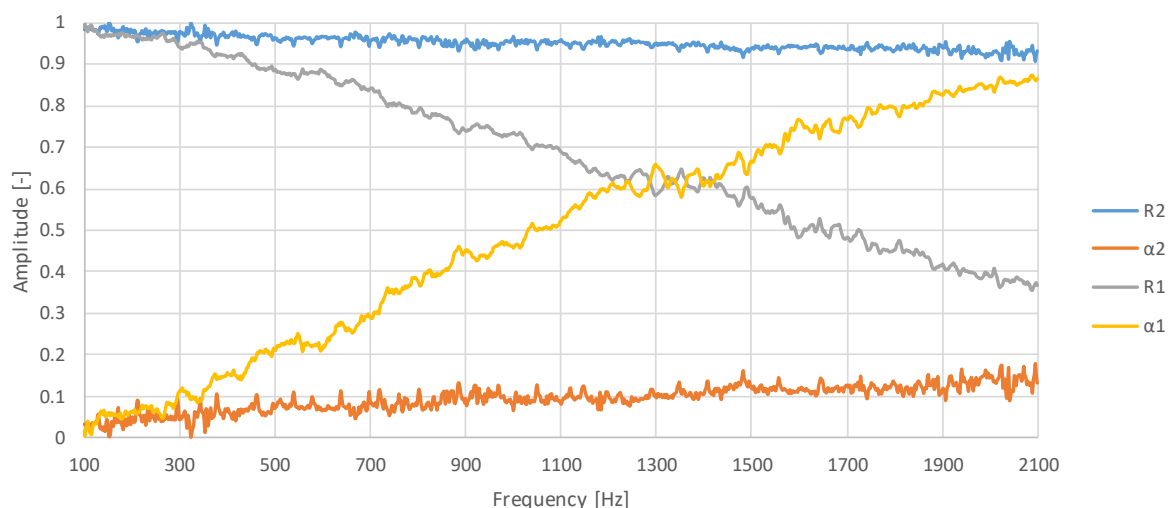
Materjali akustilised omadused mõõdeti avatud ja suletud toruotsa korral. Lisaks mõõdeti akustilised omadused juhul, kui oli kasutatud topelt (kaks kihti) materjali ning kui materjal oli asetatud toru otsast vastavalt 100 ja 300 mm kaugusele (Tabel 10).

Tabel 10. Katseseeria

No:	t [mm]	v [mm]	Ots
1	0	0	Avatud
2	0	0	Suletud
3	44	0	Avatud
4	44	0	Suletud
5	88	0	Avatud
6	88	0	Suletud
7	44	100	Avatud
8	44	100	Suletud
9	44	300	Avatud
10	44	300	Suletud
11	88	100	Avatud
12	88	100	Suletud
13	88	300	Avatud
14	88	300	Suletud

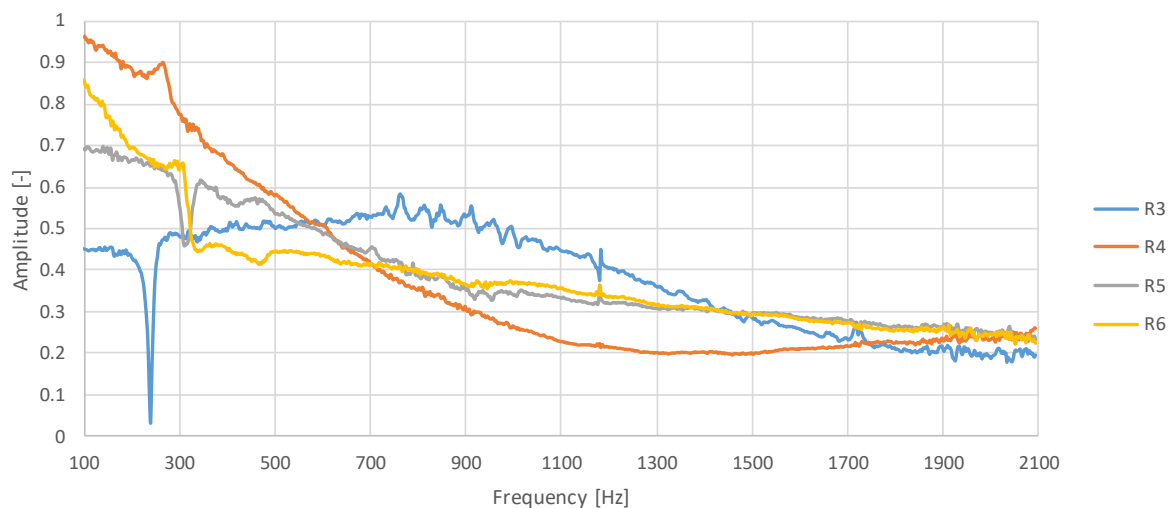
6.3 Tulemused

Joonisel 12 on mõõtetulemused (vaata tabel 10, katse 1 ja 2) ilma akustilise materjalita, kus R on peegeldustegur (valem 6.1) ja α akustiline neelduvustegur (valem 6.2). Tegemist nii öelda standardkatsega enne mõõtmist stendi mõõtetäpsuse hindamiseks.

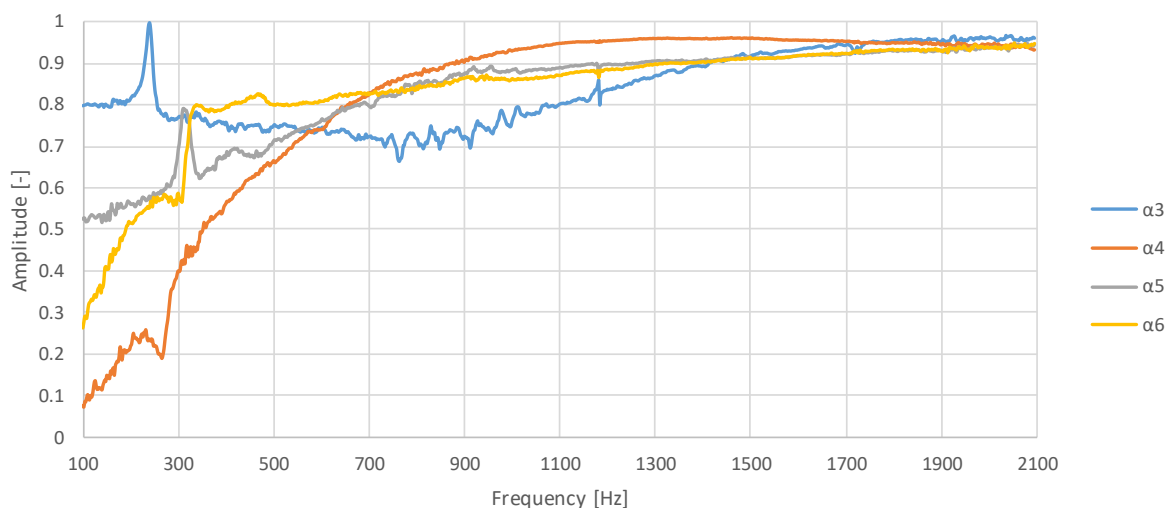


Joonis 12. Stendi mõõtmistulemused akustilise materjalita

Joonisel 13 ja 14 on materjali peegeldustegur ja neelduvustegur erinevate materjalipaksuste ja otsatingimuste korral (Tabel 10 katse 3 - 6). Kõrgematel sagedustel alates 1500 Hz on tulemused sarnased. 44 mm materjal summutab madalaid sagedusi (kuni 700 Hz) avatud otsa korral, samas suletud otsa korral on tulemus parem keskmistel sagedustel 600 – 1500 Hz. Avatud otsa korral on ka peegeldusteguri miinimum $R = 0$ umbes 250 Hz juures. 88 mm materjali paksuse korral on akustilised näitajad sarnased kogu sagedusvahemikus.

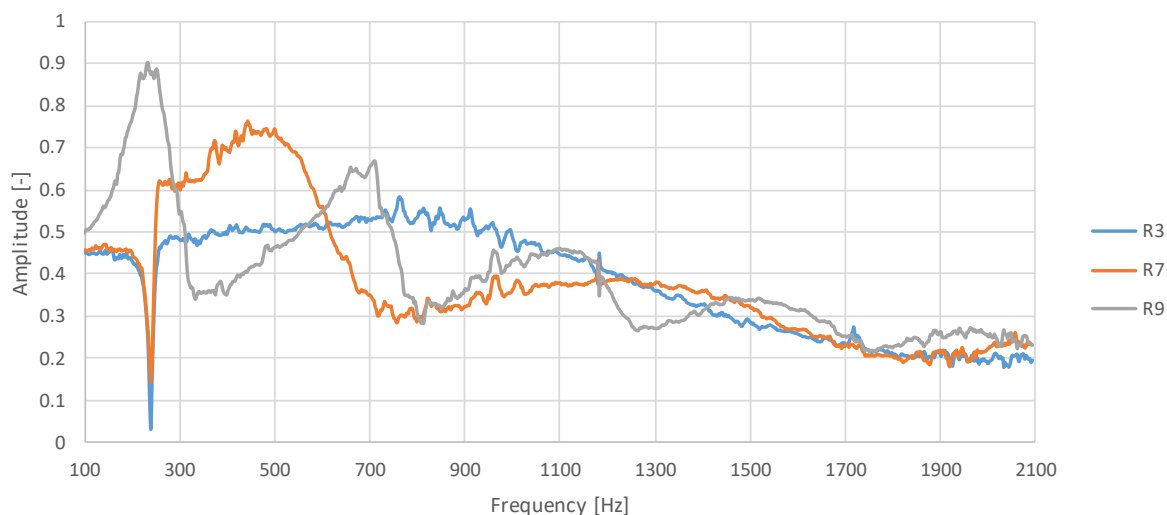


Joonis 13. Peegeldustegur 44 mm ja 88 mm paksuse materjali korral

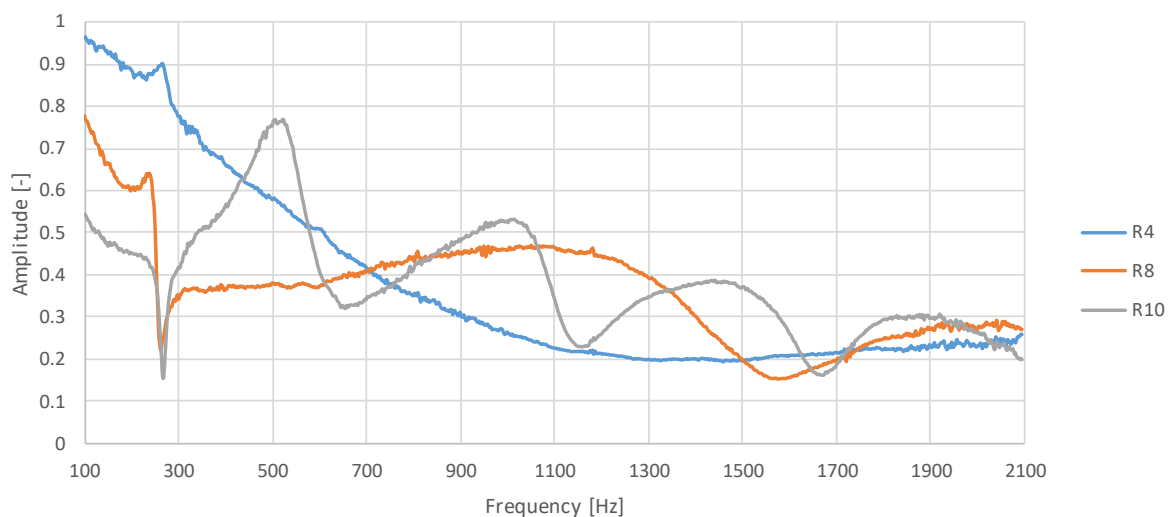


Joonis 14. Neelduvustegur 44 mm ja 88 mm paksuse materjali korral

Joonisel 16 ja 17 on peegeldustegur 44 mm materjali erinevate v väärtuste (Tabel 10) korral. Joonisel 15 on avatud otsa tingimus ning joonisel 16 tulemused suletud otsa korral. Mõlemalt jooniselt on näha, et kui testobjekt on otsast eemale viidud, hakkab tulemus sageduskaalal ossilleerima. See on oodatav tulemus. Mida õhem on materjal seda suurem on ossillatsiooni amplituut. Teades, et helikiirus on 343 m/s ning $v = 0,3$ m (R10 korral) on ossillermise sagedus arvutatav vastavalt $343 / 0,3 / 2 = 571$ Hz.

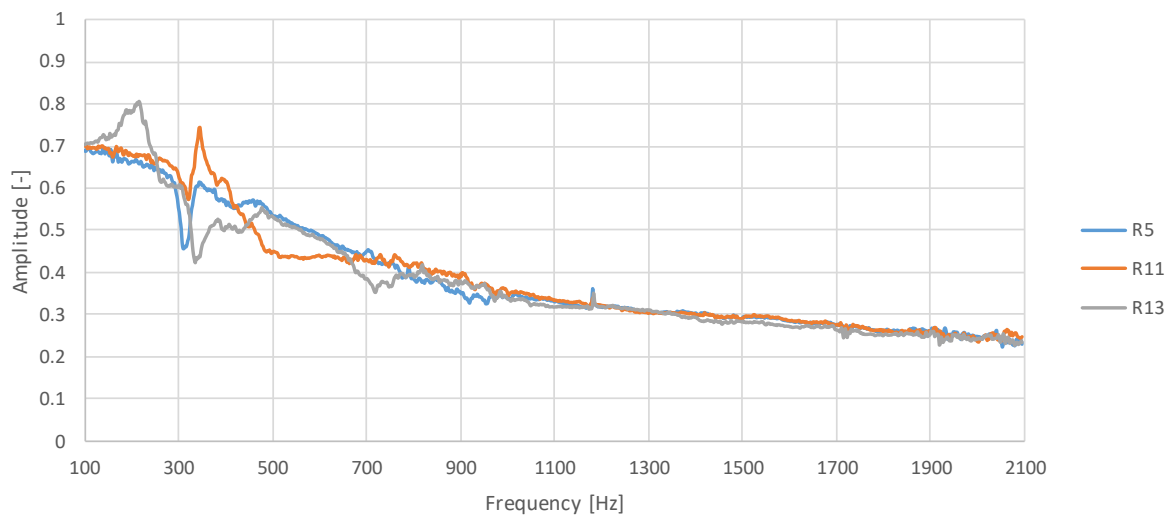


Joonis 15. Peegeldustegur (44 mm materjal ja avatud ots) erinevate v väärtuse korral

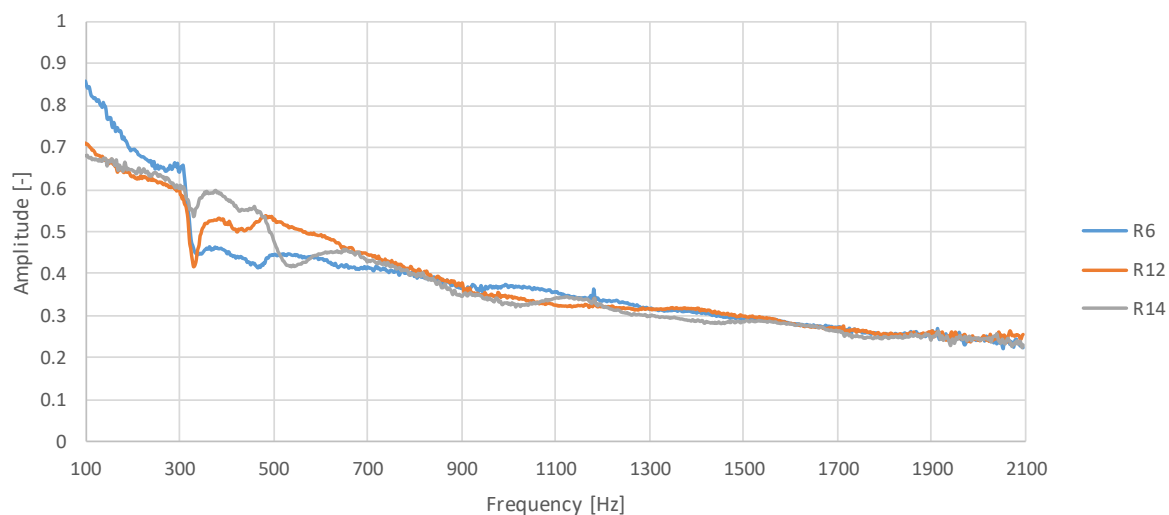


Joonis 16. Peegeldustegur (44 mm materjal ja suletud ots) erinevate v väärtuse korral

Joonisel 17 ja 18 on tulemused sarnaselt joonisele 15-16, kuid on kasutatud 88 mm paksust materjali. Tulemustest on näha, et tänu materjali paksusele materjali taga olev ava enam tulemusele mõju ei avalda. Kuna materjali lisamine tulemust oluliselt ei muuda, tuleks hoopis materjali vähendada ning leida optimum.



Joonis 17. Peegeldustegur (88 mm materjal ja avatud ots) erinevate v väärtuse korral



Joonis 18. Peegeldustegur (88 mm materjal ja suletud ots) erinevate v väärtuse korral

6.4 Järeldused

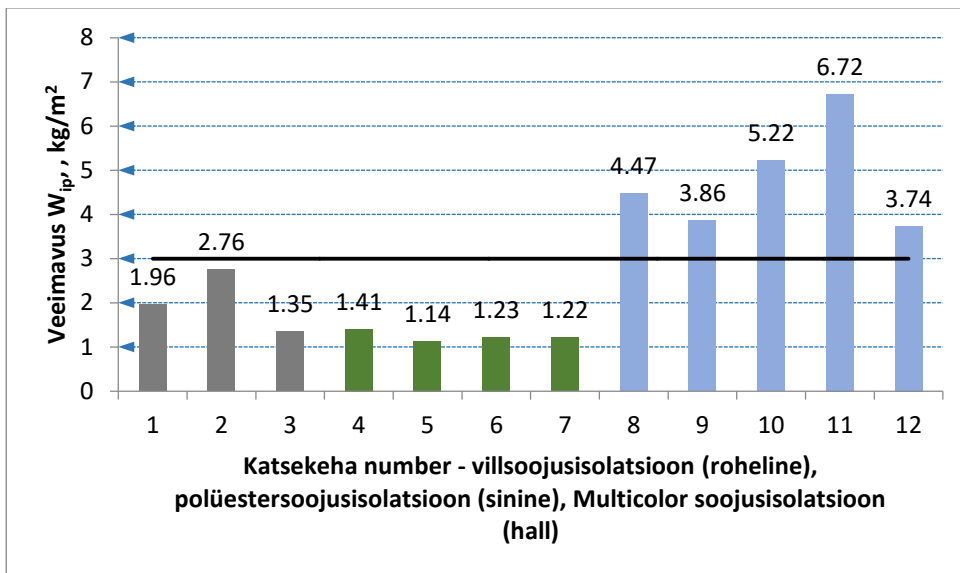
Teostati esialgsed katsed, kus leiti, et tegemist on akustiliselt nii öelda hea materjaliga. See tähendab, et materjal mõjutab akustikat kogu määratud sagedusvahemiku ulatuses. Praktilistes rakendustes kasutamisel tuleks leida materjali optimaalne paksus ja paigutus.

Edaspidisteks sarnasteks uuringuteks peaks teostama 2 - ava katse või tegema standardiseeritud mõõtmised akustikalaboris. Teststendi puhul peaks uurima, kuidas materjal käitub kui heli levib kindla nurga alt. Lisaks tuleks leida materjali paigutamise erinevad konfiguratsioonid.

7 KATSETULEMUSTE KOKKUVÕTE JA ANALÜÜS

Pikaajalise veeimavuse katsetuses kasutati kahteist erinevat katsekeha (Joonis 19). Graafikult on näha, et miinimumnõudele ($< 3 \text{ kg/m}^2$) vastavad kaks erinevat tüüpi materjali, soojustuvill ja *Multicolor* soojusisolatsioonimaterjal. Polüestrist valmistatud soojusvatiin ületab mõningate katsekehadega peaaegu kahekordselt lubatud piiri. Kõige paremate tulemustega on siiski soojustusvill koostisega vill (50 %) ja polüester (50 %).

Teostatud katsetuste põhjal saab väita, et standardist EVS - EN 12087 tulnud tulemuste on veeimavus väheinformatiivne parameeter. Eesti kliimatingimustes on soojus- ja heliisolatsioonimaterjal väga harukorral täielikult (või poolenisti) vees. Testimise periood (7, 14 või 28 päeva) ei ole selleks piisav, et hinnata soojusisolatsioonimaterjali tehniliste omaduste muutumist elamu terve elutsükli ajal [27].



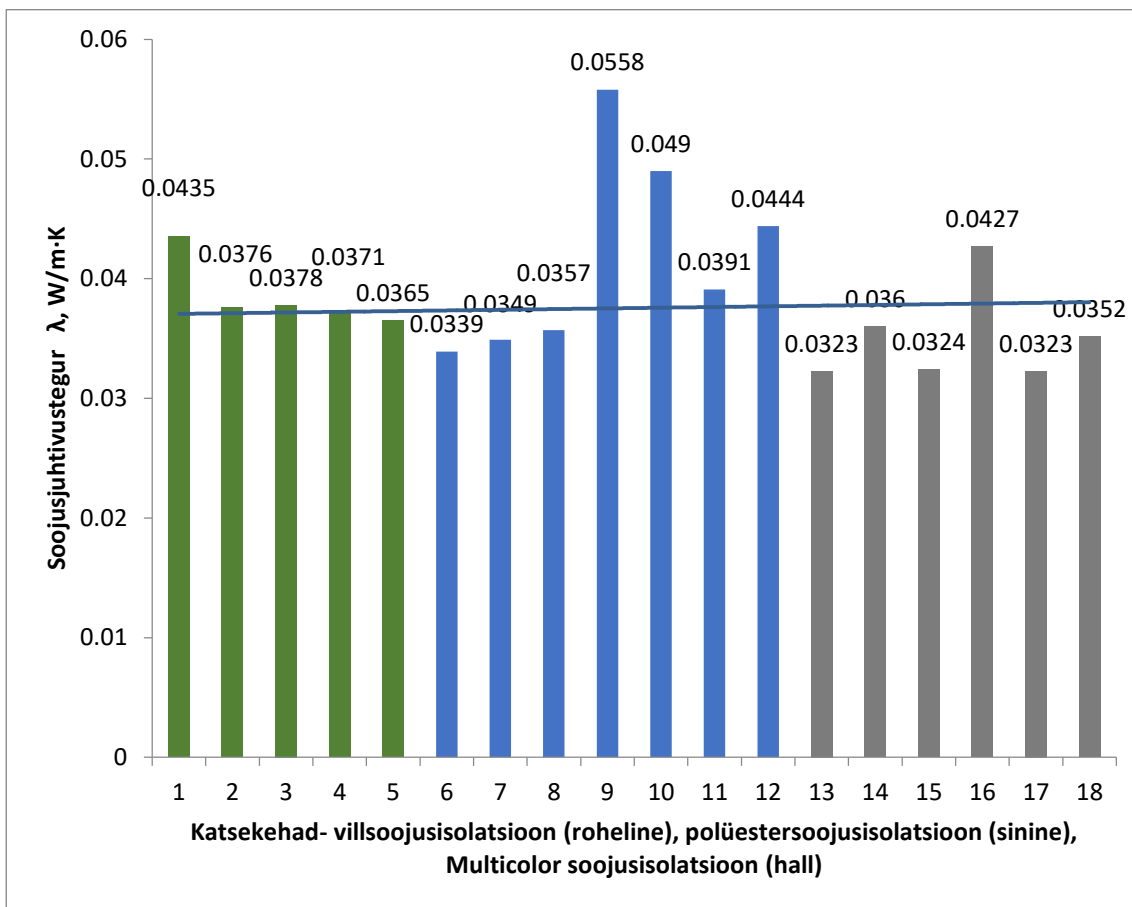
Joonis 19. Pikaajalise veeimavuse katsetulemused

50% villa ja 50 % polüestri koostisega soojustusvatiini kohta on aga lisamärkus. Materjalis on kasutatud tulekindlamaks muutumat viimistlusvahendit *Aflammit* ning ning seetõttu hakkas materjal juba teisel päeval eritama vette õlilaike (L3 Joonis 32), mis kõigi eelduste kohaselt võib olla väga suur mõjutegur. Kuigi vill on ise oma tehniliste näitajate ja LOI- arvu (25) poolest raskesti süttiv ja polüester (LOI-arv 22) süttib halvasti, siis edaspidiselt oleks vajalik teada saada, kas see muudab materjali omadusi.

Polüester soojustusvatiin on küll halbade tulemustega, kuid kuna polüestri konditsiooniline niiskus on väike (0,5%), siis üldiselt ei muuda see materjali omadusi ning polüester on ilmastikutingimustele, bioloogilistele teguritele ja erinevatele keskkonnamõjudele vägagi vastupidav [24].

Magistritöö käigus uuriti ka, milline materjal kõige rohkem vett peale nõrutamist kaotab ning selleks sai soojustusvill E30, kust nõrgus 455,89 grammi vett kümne minuti jooksul. Sellest võib järeldada, et materjali pooridesse ei jää vesi kinni ning ei muuda materjali omadusi pikemas perspektiivis.

Soojusjuhtivusteguri katsetuses oli keskmiselt kõige paremate tulemustega jällegi villa (50 %) ja polüestri (50 %) soojustusvill ning *Multicolor* katsekehad. Vastavalt Euroopa keskmisele on miinimumnõue soojusjuhtivusteguril 0,037 W/mK. Kuna soojustusvill E30 oli paksem (150 mm) kui FOX 304 seadmesse mahtus, siis sooritati katse 100 mm paksusega. Isegi kui materjal oli pressitud 100 mm paksusele, oli soojustusvilla soojusjuhtivustegur miinimumnõude piires.



Joonis 20. Soojusjuhtivusteguri lambda katsetulemused graafikuna

Üldiselt olid kõikide soojusisolatsioonimaterjalide soojusjuhtivustegurite keskmised väga lähedale või alla miinimumnõude (mida väiksem näitaja seda parem omadus), mis näitab, et materjalid on sobivad kasutamaks neid ehituskonstruktsioonides.

Toom Tekstiil AS poolt antud materjalidele ei olnud võimalik määrata Tallinna Tehnikaülikooli laborites tulekindlusklassi vastavate seadmete puudumise tõttu. Mistõttu võib vaid järeldada ettevõtte enda poolt tellitud kolme erineva materjali seni saadud tulemustest (Tabel 9), et 100 % koostisega polüestri ja ümbertöödeldud *Multicolor* (60 % *Recofill*, 40 % polüester) soojusisolatsioonimaterjal sobivad kasutamaks neid sihtotstarbeks.

Kokkuvõtteks kõige paremate soojusjuhtivusteguri näitajate poolt on Blue Sky Multicolor paneelid, mille keskmine soojusjuhtivustegur on 0,0352 W/mK. Katseliselt määrati kindlaks, et kõige halvemad soojusjuhtivusteguri väärtused saadi materjali 100 % polüestri soojustusvatiin, milleks on 0,0418W/mK. Soojustusvilla soojusjuhtivusteguri näitajad on 0,0385 W/mK, mis tähendab, et ka need materjalid ületavad pisut miinimumnõude. Veeimavuse katse puhul oli kõige halvema näitajaga Blue Sky Multicolor paneelid ja kõige paremate tulemustega 100% polüestripaneelid. Tulekindluskatsetes oli parimate omadustega 100% polüestripaneelid, kuid samuti on sarnaste tulemustega ka villapaneelid.

Toom Tekstiil AS poolt toodetavatel soojusisolatsioonimaterjalidel on üsna keskmised tulemused võrreldes teiste ettevõtete poolt pakutavate materjalide tehniliste näitajatega (Tabel 11). Soojusjuhtivuse ja veeimavuse puhul tähendab väiksem arv paremaid omadusi. Miinimumnõudes on kirjas, et materjali soojusjuhtivustegur peaks olema kuni 0,037 W/mK ja veeimavus kuni 3 kg/m².

Soojusjuhtivuse poolest on Blue Sky Multicolor soojusisolatsioonivatiin väga hea tulemusega võrreldes Isoveri soojustusmaterjaliga, mis on Eesti turul eriti hinnatud. Soojusjuhtivuse näit villa ja polüestri seguga materjalil ja 100% polüestriseguga materjalil on liiga kõrge. Nagu öeldud, siis mida väiksem on soojusjuhtivustegur, seda paremate soojusjuhtivusomadustega on materjal.

Tulekindluse mõttes on kõige paremate omadustega villa soojustusmaterjal. Kuna vill on iseenesest tulekindluse puhul hea materjal on seda ka töödeldud eelnevalt *Aflammit* vahendiga, mis teeb materjali tulekindlamaks.

Veeimavuse poolest on 100% polüestrist valmistatud isolatsioonimaterjal kõige paremate tulemustega, kuid üldiselt soojustusmaterjalide puhul oleks vaja eelnev vetthülgav viimistlus. Kõikide materjalide, eriti *Blue Sky Multicolor* materjali, näidud on liiga kõrged. Mistõttu oleks viimistlus tingimata vajalik, et tooted püsiksid Eesti turul konkrentsis. Selleks on võimalused tooteid viimistleda kindlate reaktiividega nagu alumiinium- ja tsirkooniumseebid, vahad ja vahataolised

ained, metallkompleksid, püridiiniühendid, polüsiloksaanid ja fluorokemikaalid. Kuid siinkohal jällegi viimistlusvahendite kasutamine on keskkonnaaenulik.

Tekstiiljätmetest valmistatud soojus- ja heliisolatsioonimaterjalid on keskkonnasõbralikumad ning neid saab uuesti ja uuesti kasutusele võtta, ka ümbertöödelda. Isolatsioonimaterjale, mis on valmistatud muudest koostisest võib olla kindlasti odavam toota, kuid hiljem on neid raskem taaskasutada.

Toom Tekstiil AS poolt toodetavatel materjalidel on hinnaks € /kg + käibemaks, kuid teiste ettevõtete materjali hinnad on €/m², mistõttu on vajalik hindade ümberarvutus. Teiste ettevõtete tootehinnad võivad varieeruda olenevalt toote tüübist, tihedusest ja paksusest. Tabelis on toodud soojusisolatsioonimaterjalide keskmised hinnad.

Toom Tekstiil AS materjalide hinnad jagunevad - soojustusvill 3,50€/kg, *Multicolor* soojustusvatiin 2,5€/kg ja soojustusvatiin 3,00 €/kg. Materjalide ümberarvutuse tulemusena jagunevad hinnad keskmiselt - soojustusvill 8,05€/m², *Multicolor* soojustusvatiin 5,87€/m² ja soojustusvatiin 6,13€/m². Hindade arvutusi on võimalik näha Lisas 4.

Tabel 11. Erinevate firmade soojustusmaterjalide katsete tulemused [28]

Testi tulemused	Ekovilla	Ewona- wool	Hunton	Isolina	Isover	Knauf	Konto	Paroc	Rockwool	Ursa	Blue Sky Multicolor E31	Soojustus- vill E19	Soojustus- vatiin E39
Soojusjuhtivustegur (W/mK)	0,038	0,041	0,038	0,047	0,33	0,035	0,037	0,035	0,035	0,035	0,0360	0,0376	0,0339
Leegi katse													
Süttis	k	o	K	k	e	e	k	e	e	e	e	k	e
Põlevate tilkade eraldumine	e	e	E	e	e	e	e	e	e	e	o	e	o
Järelpõlemine	k	e	O	k	o	e	k	e	e	o	o	e	e
Veeimavus (kg/m ²)	8,19	0,7	2,22	0,43	1,12	2,13	0,74	0,08	0,08	0,09	3,86	1,14	1,96
Tihedus (kg/m ³)	38,6	19,2	62,2	25,1	21,8	23,1	54,2	31,1	34,5	18,3	31,25	18,75	39,13
Hinnaklass	5,07€/m ²	9,41€/m ²	5,01€/m ²	6,54€/m ²	5,88€/m ²	3,37€/m ²	14,41€/m ²	4,01€/m ²	3,52€/m ²	2,01€/m ²	6,25€/m ²	5,25€/m ²	5,40€/m ²

Tabelis 11 on kirjeldatud mitmete katsekehade standardiseeritud testimiste tulemused. Süttivustundlikkuse osas tehti kolmeastmeline jaotus vastavalt sellele, kuidas materjal leegile reageeris: e = ei reageerinud; o = reageeris osadel katsetükkidel; k = reageeris kõigil katsetükkidel. Toom Tekstiil AS materjalide katsetulemustest on toodud tabelisse parimad tulemused, arvestades veeimavuse ja soojusjuhtivusteguri määramise katset [28].

Olenevalt materjalide paksusest ja pindtihedusest on Toom Tekstiil AS'is toodetud materjalide omadused miinimumnõuetele ligilähedased. Antud materjalide puhul võiks kaaluda edasist tootearendust, näitks optimeerida materjali paksust, tihedust, kiulist koostist ning kaaluda materjalidele keskkonnasõbralikuma viimistluse lisamist.

Hindade võrdlusel on näha, et Toom Tekstiil AS on täiesti mõistlikus hinnaklassis vaadeldes teiste turul olevate materjalidega. Nähtavasti on teiste ettevõtete toodetel madalam hinnaklass, sellepärast, et neid on kergem ja odavam toota. Kindlasti hinna ja kvaliteedi suhtes on Toom Tekstiil AS materjalid heal tasemel võrreldavate materjalidega. Näiteks soojustusvatiin E39 on sama soojusjuhtivusteguriga (0,0339 W/mK) kui palju ehituses nõudluses olev Isover (0,33 W/mK) ja hinnalt samal tasemel.

Paroc ja Rockwool soojustusmaterjalide soojusjuhtivustegur ja veeimavus on küllaltki paremate näitajatega kui Toom Tekstiil AS materjalid, kuid tekstiilikiududest valmistatud materjalid on see-eest keskkonnasõbralikumad ja neid on kergem utiliseerida.

Küllaltki palju paremate tulemustega on Toom Tekstiil AS materjalid nii Ekovilla, Ewonawooli ja Isolina materjalidega. Hinnaklassi puhul on Toom Tekstiil AS materjalid (soojustusvill 5,25€/m², soojustusvatiin 5,40€/m², *Multicolor* 6,25€/m²) odavamad kui Isolina (6,54€/m²) ja Ewonawooli (9,41€/m²) soojustusmaterjalid.

Tabel 11 näitab, et Toom Tekstiil AS materjalid on turul olevate materjalidega üldiselt samal tasemel ja heade näitajatega. Selliseid tekstiilmaterjalidest tooteid oleks väga mõistlik turule tuua, kui materjalide tehnilised omadused on saavutatud miinimumnõuete piires.

8 KOKKUVÕTE

Ülemaailmne tekstiiljätmete kasvav probleem paneb tööstust ja eraisikuid mõtlema uutele lahendustele, kuidas kasutada ära jäätmeid, mis tavaolukorras satuksid prügimäele. Keskkonna säästmise huvi ning ettevõtete jäätmete sorteerimine muutub iga aastaga aina läbipaistvamaks. Selle tõttu on koostööettevõtte AS Toom Tekstiil võtnud uuesti kasutusele tööstuses tekivatest jäätmetest ümbertöödeldud materjalid.

Magistritöös uuriti kolme erineva kiulise koostisega soojus- ja heliisolatsioonimaterjali - soojustusvill (koostisega 50 % vill, 50 % polüester), soojustusvatiin (koostisega 100 % polüester), soojustusvatiin *Multicolor* (koostisega 60 % ümbertöödeldud *Recofill*, 40 % polüester). Nende materjalide katsetamiseks uuriti Eestis kehtivaid soojus- ja heliisolatsioonimaterjalidele kehtestatud miinimumnõudeid ning standardeid. Lõputöö katsekehad saadeti mõõtu lõigatuna Toom Tekstiil AS'ilt standardite (EN 12087 ja EVS - EN 12667:2001) katsetusteks.

Lõputöö eesmärkide kohaselt sai tehtud kindlaks läbi standardiseeritud katsetuste ja analüüsi, kas ettevõtte Toom Tekstiil AS poolt toodetavad tekstiiljätmetest- ning kiududest ümbertöödeldud heli- ja soojusisolatsioonimaterjalid vastavad neile esitatud kehtivatele miinimumnõuetele. Analüüsi käigus tuli ilmsiks, et olenevalt materjalide paksusele ja pindtihedusele on siiski materjalid üsnagi miinimumnõuete piires. Ettevõtte poolt välja toodetavatele materjalidele kindlasti turgu on ja materjalide täielikul väljatöötamisel, mis hõlmab optimaalset paksust ja tihedust, kiulist koostist, puhul kindlasti rohkemgi.

Kokkuvõtteks kõige paremate soojusjuhtivusteguri näitajate poolest on *Blue Sky Multicolor* paneelid, mille keskmine soojusjuhtivustegur on 0,0352 W/mK. Kõige kehvemate soojusjuhtivusteguri näitajate poolest on 100% polüestrikoostisega soojus- ja heliisolatsioonipaneelid, milleks on 0,0418 W/mK. Villapaneelide soojusjuhtivusteguri näitajad on 0,0385 W/mK, mis tähendab, et ka need materjalid ületavad pisut miinimumnõude. Veeimavuse katse puhul oli kõige halvema näitajaga *Blue Sky Multicolor* paneelid ja kõige paremate tulemustega 100% polüestripaneelid. Tulekindluskatsetes oli parimate omadustega 100% polüestripaneelid, kuid samuti on sarnaste tulemustega ka villapaneelid. Antud materjalid sobivad hästi kasutamaks neid ehituskonstruktsioonides.

Magistritöö teema oli autorile äärmiselt intrigeeriv ja uus, kohati isegi valdkonniti, mistõttu iga detail töös vajas süvitsi keskendumist ning õppimist. Edaspidiselt oleks kindlasti vajalik kõikidele soojusisolatsioonimaterjalidele teha tulekindluse klassifikatsioon ning heliisolatsioonimaterjalidele helineeldumise mõõtmine ja hindamine.

SUMMARY

The growing problem of global textile waste is causing industries and individuals to think about new ways of using waste that would normally go into the landfill. The interest in saving the environment and the sorting of corporate waste is becoming increasingly transparent every year. As a result, the company AS Toom Tekstiil has introduced the way to make industrial waste into new materials.

The author of the thesis was investigating next materials-the thermal and acoustic insulation material made from 50% wool and 50% polyester thermal insulation material, 100% polyester sound and thermal insulation material, 60% recycled *Recofill* and 40% polyester sound and thermal insulation materials. In order to test these materials, the minimum requirements and standards for heat and sound insulation materials in Estonia were studied. The samples with the right measurements were given from Toom Tekstiil AS for making tests according to required standards (EN 12087 , EVS - EN 12667: 2001).

According to the objectives of the graduation thesis, standardized tests and analysis of the sound and thermal insulation materials from textile waste and fiber produced by Toom Tekstiil AS have been studied in accordance with the applicable minimum requirements.

In the analysis, it turned out that, depending on the thickness and weight of the materials, the materials are, to a very limited extent, within the minimum requirements. Certainly there is market for the materials produced by the company, and definitely will be more market in this case, when the materials are fully developed. The requirement is to find optimal thickness and density.

To sum up, the best thermal conductivity factors has *Blue Sky Multicolor* panels with an average thermal conductivity of 0.0352 W/mK. The lowest thermal conductivity factors has 100 % polyester heat and sound insulation panels, which is 0.0418 W/mK. The thermal conductivity factor of the wool and polyester panels is 0,0385 W/mK, which means that these materials also exceed the minimum requirements. In the waterproof test, *Blue Sky Multicolor* panels were the inferior indicator and 100% polyester panels with the best results. In the fire resistance tests, the best features were 100 % polyester panels, but also wool panels were with similar results.

The topic of the Master's thesis was highly intriguing and new to the author, sometimes it was even in the field of construction, so every detail needed to be focused and learn in depth. Subsequently, it would definitely be necessary to make a fire classification for all thermal insulation materials and to measure and assess the sound absorption of soundproofing materials.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] Dictionary. [WWW] <http://dictionary.reference.com/browse/fiberfill> (07.10.2015)
- [2] Textile Glossary. [WWW] <http://www.textileglossary.com/terms/high-loft.html> (07.10.2015)
- [3] Toom Tekstiil AS firma kokkuvõte. [WWW]
http://www.koda.ee/public/Failid/07_Toom_Tekstiil.pdf. (09.10.2015)
- [4] M. Mutli, Lõputöö "Eestis tekkinud tekstiilijäätmete taaskasutamise võimalused isolatsioonimaterjalina," Tartu Ülikool Dspace. (2017). [WWW]
<https://dspace.ut.ee/bitstream/handle/10062/57750/Mutli.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
(15.04.2018)
- [5] Textile Exchange. [WWW] <http://www.teonline.com/knowledge-centre/textile-recycling.html>
(12.02.2015)
- [6] Tekstiili ringlus program. [WWW] <http://www.circle-economy.com/projects/sector/circular-textiles-program-2/?gclid=Cj0KEQjwqNiwBRDnq93MioaqtKQBEiQAb7Ezn5L5uzJEB1r15I-lqCErRy4Xm9EX1RsFtq0pXtFQpTQaAkkx8P8HAQ> (08.10.2015)
- [7] Y. Wang, Recycling in Textiles, Cambridge england: Woodhead publishing Ltd and CRC Press LLC, 2006
- [8] Toom Tekstiil AS firma kirjeldus. [WWW] <http://www.toomtekstiil.ee/firmast/> (08.10.2015)
- [9] Toom Tekstiil AS ümbertöödeldud materjalid. [WWW]
<http://www.toomtekstiil.ee/collections/recycling/insulation-materials/> (06.10.2015)
- [10] Green Spec. [WWW] <http://www.greenspec.co.uk/building-design/insulation-materials-thermal-properties/>(23.03.2018)
- [11] Ehituskeskus. [WWW]
http://www.ehituskeskus.ee/files/arts/1/417/Soojustamine_E_Soekov_2011_05_05_1.pdf .
(10.03.2016)
- [12] Kolk J. , Tammelo E., Ehitusmaterjalide käsiraamat, Tallinn: Ehitaja.

- [13] Eesti Standardikeskus. [WWW] <https://www.evs.ee/pood?SearchTerm=soojusisolatsioon> . (08.03.2016)
- [14] PAROC. [WWW] <http://www.paroc.ee/oskusteave/heli/heliisolatsioon> (12.03.2016)
- [15] H. Pärnamägi, Ehitusmaterjalid, Tallinn: Tallinna Tehnikakõrgkool, 2002.
- [16] R. Otsman, Ehitusmaterjalid, Tallinn: Valgus, 1976.
- [17] Eesti Standardikeskus. [WWW] <https://www.evs.ee/pood?SearchTerm=heliisolatsioon> (08.03.2016)
- [18] L. Madalik, EHITUSKAAR, 2004 . [WWW] http://www.consultion.ee/lugemisvara/soojustus_ehituskaar104.pdf (13.11.2016)
- [19] Thermal performance of building materials and products - Determination of thermal resistance by means of guarded hot plate and heat flow meter methods - Products of high and medium thermal resistance EVS-EN 12667: 2001. [WWW] (07.04.2016)
- [20] Thermal performance of building materials and products, „ Determination of thermal resistance by means of guarded hot plate and heat flow meter methods- Products of high and medium thermal resistance EVS-EN 12667: 2001,“ (07.04.2016)
- [21] A. Viikna, Kiuteadus, Tallinn: TTÜ Kirjastus , 2005.
- [22] A. Kaur, Vuuk Ehitus OÜ. [WWW] <http://www.vuuk.ee/u-arv.php> (03.05.2018)
- [23] Thermal insulation products for building applications, „ Determination of long term water absorption by immersion EN 12087:1997,“ (07.04.2016)
- [24] I. Boncamper, Tekstiilkiud käsiraamat, Tallinn: Eesti Rõiva- ja Tekstiililiit, 2000.
- [25] A. Viikna, Tekstiilikeemia III, Tallinn: TTÜ Kirjastus, 2005.
- [26] Rock Wool. [WWW] <http://www.rockwool.ee/miks+rockwool/akustiline+mugavus> (04.04.2018)
- [27] Paroc. [WWW] <http://www.paroc.ee/oskusteave/heli/helisummutusmaterjalide-klassifikatsioon>

(04.04.2018)

- [28] Finnfoam. [WWW] <https://www.finnfoam.ee/tooted/finnfoam/finnfoam-plaatide-omadused/niiskuskindlus/> (16.04.2018)
- [29] TM Kodu ja Ehitus, ISOVER (2012). [WWW] https://www.isover.ee/sites/isover.ee/files/assets/documents/test_tmke.pdf (11.02.2016)
- [30] L. S. Sterling, The Art of Agent-Oriented Modeling, London: The MIT Press, 2009
- [31] Grasim Industries Limited. [WWW] http://www.grasim.com/products/birla_viscose.htm . (08.10.2015)
- [32] Curious Expedition. [WWW] <http://steven007.sell.curiousexpeditions.org/iz5262b60-1-4d-32mm-recycled-hcs-pes-fiber-similar-as-virgin-fiber-images> (08.10.2015)
- [33] M. Linda, Ehituskaar. [WWW] http://www.consultion.ee/lugemisvara/soojustus_ehituskaar104.pdf (05.11.2017)

LISAD

Lisa 1 Toom Tekstiil AS ümbertöötlemistööstuse tootmisliin

Järgnevatel joonistel (21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30) on ära näidatud Toom Tekstiil AS ümbertöötlemise tootmisliini.



Joonis 21. Tekstiiljätmete ümbertöötlemine- I aste [2]



Joonis 22. Tekstiiljätmete ümbertöötlemine- I aste [2]



Joonis 23. Tekstiiljätmete ümbertöötlemine-II aste [2]



Joonis 24. Tekstiiljätmete ümbertöötlemine- III aste [2]



Joonis 25. Tekstiiljätmete ümbertöötlemine- III aste [2]



Joonis 26. Materjali tootmine- Aste I- segu ettevalmistus [2]



Joonis 27. Materjali tootmine- Aste II-Kraasimine [2]



Joonis 28. Materjali tootmine- Aste II- Kraasimine [2]



Joonis 29. Materjali tootmine- Aste III- Termiline töötlemine [2]



Joonis 30. Materjali tootmine- Aste III- Termiline töötlemine [2]

Lisa 2 Soojusjuhtivuse U-arvu arutamiskäik heli- ja soojusisolatsioonimaterjalidele

Selles Lias 2 on näidatud soojusjuhtivuse (U-arvu) arutamine (valem Lisa 2.1, 2.2) heli- ja soojusisolatsioonimaterjalidele.

$$R = d / \lambda \quad (\text{Lisa 2.1})$$

kus R - materjalikihi soojatakistus, $\text{m}^2\text{C}/\text{W}$;

d - materjalikihi paksus

λ - soojusjuhtivustegur (W/mK)

$$U = 1 / R \quad (\text{Lisa 2.2})$$

Kus R- soojusjuhtivus,

U arv - soojatakistuse pöördarv

1. Soojustusvill E15 - $R = 0,1 / 0,0435 = 2,299 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$; $U = 1 / 2,299 = 0,435 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
2. Soojustusvill E15 - $R = 0,08 / 0,0376 = 2,128 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$; $U = 1 / 2,128 = 0,470 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
3. Soojustusvill E25 - $R = 0,1 / 0,0378 = 2,646 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$; $U = 1 / 2,646 = 0,378 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
4. Soojustusvill E30 - $R = 0,1 / 0,0365 = 2,740 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$; $U = 1 / 2,740 = 0,365 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
5. Soojustusvill E33 - $R = 0,09 / 0,0365 = 2,466 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$; $U = 1 / 2,466 = 0,406 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
6. Heliisolatsioonpaneel E39 - $R = 0,046 / 0,0339 = 1,357 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$; $U = 1 / 1,357 = 0,737 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
7. Heliisolatsioonpaneel E75 - $R = 0,04 / 0,0349 = 1,146 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$; $U = 1 / 1,146 = 0,873 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
8. Heliisolatsioonpaneel E69 - $R = 0,045 / 0,0357 = 1,261 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$; $U = 1 / 1,261 = 0,793 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
9. Soojustusvatiin E10 - $R = 0,05 / 0,0558 = 0,896 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$; $U = 1 / 0,896 = 1,120 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
10. Soojustusvatiin E15 - $R = 0,1 / 0,0490 = 2,041 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$; $U = 1 / 2,041 = 0,490 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
11. Soojustusvatiin E20 - $R = 0,1 / 0,0391 = 2,558 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$; $U = 1 / 2,558 = 0,391 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
12. Soojustusvatiin E25 - $R = 0,1 / 0,0444 = 2,252 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$; $U = 1 / 2,252 = 0,444 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
13. Soojustusvatiin E75 Blue Sky Multicolor - $R = 0,02 / 0,0323 = 0,619 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$; $U = 1 / 0,619 = 1,616 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
14. Multicolor E31 - $R = 0,08 / 0,036 = 2,22 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$; $U = 1 / 2,22 = 0,451 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
15. Soojustusvatiin E75 Blue Sky Multicolor - $R = 0,03 / 0,0324 = 0,926 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$; $U = 1 / 0,926 = 1,080 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
16. Multicolor E20 - $R = 0,1 / 0,0427 = 2,341 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$; $U = 1 / 2,341 = 0,427 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

17. Soojustusvatiin E75 Blue Sky Multicolor - $R = 0,043 / 0,0323 = 1,331 \text{ m}^2\text{K/W}$; $U = 1 / 1,331 = 0,751 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

18. Soojustusvatiin E37 Blue sky white QR - $R = 0,07 / 0,0352 = 1,989 \text{ m}^2\text{K/W}$; $U = 1 / 1,989 = 0,503 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Lisa 3 Pikaajalise veeimavuse EVS - EN 12087 katseprotokollid

Selles Lisas 3 on näidatud Toom Tekstiil AS poolt tellitud katseprotokollid, mille puhul olid nõutud kopeerimine täies mahus. Ka on välja toodud autori enda poolt arvatud ja mõõdetud tulemused.

Tellijaja:

Toom Tekstiil AS

Leola 49

71018 VILJANDI

.....2016

Katseprotokoll N° 355/16

Tööülesanne: Soojustusvilla veeimavuse määramine.

Proovi kirjeldus: Soojustusvillast, tähistusega **Soojustusvatiin E20 100% Polüester - valge** katsekehad mõõtmetega 200 x 200 x 50 mm, 4 tükki.

Toodud laborisse 17.03.2016 tellija poolt.

EVS - EN 12087 meetod 1 A (osaline sukeldamine) nõuete kohaselt.

Katsetamine:

Katsekehad stabiliseeriti normaaltingimustel, kaaluti ja asetati koos täiendava raskusega vannidesse restidele. Seejärel valati vanni vesi temperatuuriga (23 ± 2) °C nii, et veetase ulatus katsekeha alumisest pinnast (10 ± 2) mm kõrguseni. 28 päeva möödudes katsekehad nõrutati vertikaalasendis 45° kaldega restil ($10 \pm 0,5$) min jooksul ja kaaluti. Veeimavus W_{ip} arvutati massina pinnaühiku kohta. Katsetulemused on esitatud tabelites 1 ja 2.

Katsetulemused:

Tabel 12 . Soojustusvillast, tähistusega **Soojustusvatiin E20 100% Polüester - valge**

katsekehade mõõtmed

Katsekeha tähistus ja jrk.nr.	Katsekeha alumise pinna mõõtmed, mm						Katsekeha alumine pindala A_p, m^2	
	a_1	a_2	a_{keskm}	b_1	b_2	b_{keskm}		
Soojustusvatiin E20 100% Polüester valge	1	210,0	209,0	209,5	207,0	204,0	205,5	0,043
	2	205,0	206,0	205,5	207,0	209,0	208,0	0,043
	3	209,0	211,0	210,0	210,0	207,0	208,5	0,044
	4	205,0	206,0	205,5	202,0	206,0	204,0	0,042

Katseprotokoll N° 355/16

Tabel 13. Soojustusvillast, tähistusega Soojustusvatiin E20 100 % Polüester - valge katsekehade veeimavus pärast 28-päevast osalist vettesukeldamist (EVS - EN 12087 meetod 1 A)

Katsekeha tähistus ja jrk.nr.	Katsekeha mass, g		Veeimavus, g	Veeimavus W_{ip} , kg/m ²		
	enne vette sukeldamist m_0	28 päeva osaliselt vette sukeldatult m_{28}		üksik	keskm	
Soojustusvatiin E20 100% Polüester valge	1	49,6	97,0	47,4	1,10	1,35
	2	47,0	104,3	57,3	1,33	
	3	47,0	109,0	62,0	1,41	
	4	43,6	109,0	65,4	1,56	

Saadud tulemused kehtivad ainult kirjeldatud soojustusmaterjali kohta.

Margit Rosenberg

Jüri Hmelnitski

Laboratooriumi juhataja kt.

Ehitusinsener

Tellija:

Toom Tekstiil AS

Leola 49

71018 VILJANDI

.....2016

Katseprotokoll N° 354/16

Tööülesanne: Soojustusvilla veeimavuse määramine.

Proovi kirjeldus: Soojustusvillast, tähistusega **Soojustusvill E15 Vill + Aflammit 6 %** katsekehad mõõtmetega 200 x 200 x 100 mm, 4 tükki.

Toodud laborisse 17.03.2016 tellija poolt.

EVS - EN 12087 meetod 1 A (osaline sukeldamine) nõuete kohaselt.

Katsetamine:

Katsekehad stabiliseeriti normaaltingimustel, kaaluti ja asetati koos täiendava raskusega vannidesse restidele. Seejärel valati vanni vesi temperatuuriga $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ nii, et veetase ulatus katsekeha alumisest pinnast (10 ± 2) mm kõrguseni. 28 päeva möödudes katsekehad nõrutati vertikaalasendis 45° kaldega restil $(10 \pm 0,5)$ min jooksul ja kaaluti. Veeimavus W_{ip} arvutati massina pinnaühiku kohta.

Katsetulemused on esitatud tabelites 1 ja 2.

Katsetulemused:

Tabel 14. Soojustusvillast, tähistusega Soojustusvill E15 Vill + Aflammit 6 % katsekehade mõõtmised

Katsekeha tähistus ja jrk.nr.	Katsekeha alumise pinna mõõtmised, mm						Katsekeha alumine pindala A_p, m^2	
	a_1	a_2	a_{keskm}	b_1	b_2	b_{keskm}		
Soojustusvill E15 Vill + Aflammit6%	1	205,0	206,0	205,5	209,0	206,0	207,5	0,043
	2	192,0	200,0	196,0	200,0	208,0	204,0	0,040
	3	208,0	210,0	209,0	209,0	206,0	207,5	0,043
	4	202,0	201,0	201,5	201,0	201,0	201,0	0,041

Katseprotokoll N° 354/16

Tabel 15. Soojustusvillast, tähistusega Soojustusvill E15 Vill + *Aflammit* 6 % katsekehade veeimavus pärast 28-päevast osalist vettesukeldamist (EVS - EN 12087 meetod 1 A)

Katsekeha tähistus ja jrk.nr.	Katsekeha mass, g		Veeimavus, g	Veeimavus W_{ip} , kg/m ²		
	enne vette sukeldamist m_0	28 päeva osaliselt vette sukeldatult m_{28}		üksik	keskm	
Soojustusvill E15 Vill + <i>Aflammit</i> 6%	1	71,8	127,8	56,0	1,30	1,41
	2	66,4	115,5	49,1	1,23	
	3	72,3	138,6	66,3	1,54	
	4	72,8	137,3	64,5	1,57	

Saadud tulemused kehtivad ainult kirjeldatud soojustusmaterjali kohta.

Margit Rosenberg

Laboratooriumi juhataja kt.

Jüri Hmelnitski

Ehitusinsener

Tellija:

Toom Tekstiil AS

Leola 49

71018 VILJANDI

.....2016

Katseprotokoll N° 356/16

Tööülesanne: Soojustusvilla veeimavuse määramine.

Proovi kirjeldus: Soojustusvillast, tähistusega **Soojustusvatiin E32 Blue Sky Multicolor** katsekehad mõõtmetega 200 x 200 x 80 mm, 4 tükki.

Toodud laborisse 17.03.2016 tellija poolt.

Katsetamine: EVS - EN 12087 meetod 1 A (osaline sukeldamine) nõuete kohaselt.

Katsekehad stabiliseeriti normaaltingimustel, kaaluti ja asetati koos täiendava raskusega vannidesse restidele. Seejärel valati vanni vesi temperatuuriga (23 ± 2) °C nii, et veetase ulatus katsekeha alumisest pinnast (10 ± 2) mm kõrguseni. 28 päeva möödudes katsekehad nõrutati vertikaalasendis 45° kaldega restil $(10 \pm 0,5)$ min jooksul ja kaaluti. Veeimavus W_{ip} arvutati massina pinnaühiku kohta. Katsetulemused on esitatud tabelites 1 ja 2.

Katsetulemused:

Tabel 16. Soojustusvillast, tähistusega Soojustusvatiin E32 *Blue Sky Multicolor* katsekehade mõõtmed

Katsekeha tähistus ja jrk.nr.	Katsekeha alumise pinna mõõtmed, mm						Katsekeha alumine pindala A_p, m^2	
	a_1	a_2	a_{keskm}	b_1	b_2	b_{keskm}		
Soojustusvatiin E32 Blue Sky Multicolor	1	209,0	203,0	206,0	224,0	215,0	219,5	0,045
	2	204,0	203,0	203,5	208,0	210,0	209,0	0,043
	3	220,0	215,0	217,5	200,0	205,0	202,5	0,044
	4	205,0	202,0	203,5	205,0	209,0	207,0	0,042

Katseprotokoll N° 356/16

Tabel 17. Soojustusvillast, tähistusega Soojustusvatiin E32 *Blue Sky Multicolor* katsekehade veeimavus pärast 28-päevast osalist vettesukeldamist (EVS - EN 12087 meetod 1 A)

Katsekeha tähistus ja jrk.nr.	Katsekeha mass, g		Veeimavus, g	Veeimavus W_{ip} , kg/m ²		
	enne vette sukeldamist m_0	28 päeva osaliselt vette sukeldatult m_{28}		üksik	keskm	
Soojustusvatiin E32 <i>Blue Sky Multicolor</i>	1	120,9	312,9	192,0	4,27	3,86
	2	115,9	276,9	161,0	3,74	
	3	119,9	286,3	166,4	3,78	
	4	106,5	258,8	152,3	3,63	

Saadud tulemused kehtivad ainult kirjeldatud soojustusmaterjali kohta.

Margit Rosenberg

Laboratooriumi juhataja kt.

Jüri Hmelnitski

Ehitusinsener

Veetaset mõõdetud katsealuses 250 mm 1801006 Suki kalibreeritud nurkjoonlauaga. Katsekehad pandi katsealusesse 03.05.2018 ja võeti välja kaalumiseks ja nõrutamiseks 10.05.2018.

Tabel 18. Soojustusvill E15 - 50% lambavill, Aflammit 6%, 50 % polüester. Pindtihedus 1500 g/m², paksus 80 mm katsekehade mõõtmed

Katsekeha tähistus ja jrk.nr.	Katsekeha alumise pinna mõõtmed, mm						Katsekeha alumine pindala A _p , m ²	
	a ₁	a ₂	a _{keskm}	b ₁	b ₂	b _{keskm}		
Soojustusvill E15 - 50% lambavill, Aflammit 6 %, 50 % polüester. Pindtihedus 1500 g/m ² , paksus 80mm	1	186	203	194,5	194	205	199,5	0,039
	2	200	204	202	196	204	200	0,040

Tabel 19. Soojustusvill E15 - 50% lambavill, Aflammit 6%, 50 % polüester. Pindtihedus 1500 g/m², paksus 80 mm katsekehade veeimavus pärast 7 - päevast osalist vettesukeldamist (EVS - EN 12087 meetod 1 A)

Katsekeha tähistus ja jrk.nr.	Katsekeha mass, g		Veeimavus, g	Veeimavus W _{ip} , kg/m ²		
	enne vette sukeldamist m ₀	7 päeva osaliselt vette sukeldatult m ₇		üksik	keskm	
	Soojustusvill E15 - 50 % lambavill, Aflammit 6 %, 50 % polüester. Pindtihedus 1500 g/m ² , paksus 80 mm	1	67,26	112,46	45,2	1,16
	2	70,45	114,94	44,49	1,11	

Tabel 20. Soojustusvill E25 - 50% lambavill, Aflammit 6%, 50 % polüester. Pindtihedus 2500 g/m², paksus 100 mm katsekehade mõõtmed

Katsekeha tähistus ja jrk.nr.	Katsekeha alumise pinna mõõtmed, mm						Katsekeha alumine pindala A _p , m ²	
	a ₁	a ₂	a _{keskm}	b ₁	b ₂	b _{keskm}		
Soojustusvill E25 - 50 % lambavill, Aflammit 6%, 50 % polüester. Pindtihedus 2500 g/m ² , paksus 100 mm	1	193	189	191	193	191	192	0,037
	2	202	202	202	201	200	200,5	0,041

Tabel 21. Soojustusvill E25 - 50 % lambavill, *Aflammit* 6 %, 50 % polüester. Pindtihedus 2500 g/m², katsekehade veeimavus pärast 7 - päevast osalist vettesukeldamist (EVS - EN 12087 meetod 1 A)

Katsekeha tähistus ja jrk.nr.	Katsekeha mass, g		Veeimavus, g	Veeimavus W_{ip} , kg/m ²		
	enne vette sukeldamist m_0	7 päeva osaliselt vette sukeldatult m_7		üksik	keskm	
Soojustusvill E25 - 50 % lambavill, <i>Aflammit</i> 6 %, 50 % polüester. Pindtihedus 2500 g/m ² , paksus 100 mm	1	89,27	141,35	52,08	1,41	1,23
	2	96,29	139,18	42,89	1,05	

Tabel 22. Soojustusvill E30 - 50 % lambavill, *Aflammit* 6 %, 50 % polüester. Pindtihedus 3000 g/m², paksus 150 mm katsekehade mõõtmed

Katsekeha tähistus ja jrk.nr.	Katsekeha alumise pinna mõõtmed, mm						Katsekeha alumine pindala A_p , m ²	
	a_1	a_2	a_{keskm}	b_1	b_2	b_{keskm}		
Soojustusvill E30 - 50% lambavill, <i>Aflammit</i> 6%, 50 % polüester. Pindtihedus 3000 g/m ² , paksus 150 mm	1	195	206	200,5	197	201	199	0,040
	2	195	197	196	200	191	195,5	0,038

Tabel 23. Soojustusvill E30 - 50% lambavill, (*Aflammit* 6%), 50 % polüester. Pindtihedus 3000 g/m², paksus 150 mm katsekehade veeimavus pärast 7 - päevast osalist vettesukeldamist (EVS - EN 12087 meetod 1 A)

Katsekeha tähistus ja jrk.nr.	Katsekeha mass, g		Veeimavus, g	Veeimavus W_{ip} , kg/m ²		
	enne vette sukeldamist m_0	7 päeva osaliselt vette sukeldatult m_7		üksik	keskm	
Soojustusvill E30 - 50% lambavill, <i>Aflammit</i> 6%, 50 % polüester. Pindtihedus 3000 g/m ² , paksus 150 mm	1	130,30	175,63	45,33	1,13	1,22
	2	137,33	187,23	49,9	1,31	

Tabel 24. Heliisolatsioonipaneel E40 valge - 100% polüester. Pindtihedus 1800 g/m², paksus 46 mm katsekehade mõõtmed

Katsekeha tähistus ja jrk.nr.	Katsekeha alumise pinna mõõtmed, mm						Katsekeha alumine pindala A_p , m ²	
	a_1	a_2	a_{keskm}	b_1	b_2	b_{keskm}		
Heliisolatsioonipaneel E40 valge - 100% polüester. Pindtihedus 1800 g/m ² , paksus 46 mm	1	200	202	201	203	201	202	0,041
	2	198	200	199	200	200	200	0,040
	3	197	200	198,5	200	199	199,5	0,040
	4	200	200	200	200	204	202	0,040

Tabel 25. Heliisolatsioonipaneel E40 valge - 100% polüester. Pindtihedus 1800 g/m², paksus 46 mm. katsekehade veeimavus pärast 7 - päevast osalist vettesukeldamist (EVS - EN 12087 meetod 1 A)

Katsekeha tähistus ja jrk.nr.	Katsekeha mass, g		Veeimavus, g	Veeimavus W _{ip} , kg/m ²		
	enne vette sukeldamist m ₀	7 päeva osaliselt vette sukeldatult m ₇		üksik	keskm	
Heliisolatsioonipaneel E40 valge - 100 % polüester. Pindtihedus 1800 g/m ² , paksus 46 mm	1	77,56	159,08	81,52	1,99	1,96
	2	74,97	156,61	81,64	2,04	
	3	78,36	156,37	78,01	1,95	
	4	78,92	153,21	74,29	1,86	

Tabel 26. Heliisolatsioonipaneel E75 valge - 100% polüester. Pindtihedus 3000 g/m², paksus 40 mm. Katsekehade mõõtmed

Katsekeha tähistus ja jrk.nr.	Katsekeha alumise pinna mõõtmed, mm						Katsekeha alumine pindala A _p , m ²	
	a ₁	a ₂	a _{keskm}	b ₁	b ₂	b _{keskm}		
Heliisolatsioonipaneel E75 valge - 100 % polüester. Pindtihedus 3000 g/m ² , paksus 40 mm (45mm)	1	202	200	201	204	201	202,5	0,041
	2	201	199	200	203	200	201,5	0,040
	3	197	201	199	200	203	201,5	0,040
	4	196	203	199,5	197	201	199	0,040

Tabel 27. Heliisolatsioonipaneel E75 valge - 100% polüester. Pindtihedus 3000 g/m², paksus 40 mm. Katsekehade veeimavus pärast 7 - päevast osalist vettesukeldamist (EVS - EN 12087 meetod 1 A)

Katsekeha tähistus ja jrk.nr.	Katsekeha mass, g		Veeimavus, g	Veeimavus W _{ip} , kg/m ²		
	enne vette sukeldamist m ₀	7 päeva osaliselt vette sukeldatult m ₇		üksik	keskm	
Heliisolatsioonipaneel E75 valge-100 % polüester. Pindtihedus 3000 g/m ² , paksus 40(45) mm	1	116,34	229,67	113,33	2,76	2,76
	2	116,27	222,23	105,96	2,65	
	3	116,24	222,26	106,02	2,65	
	4	114,31	232,9	118,59	2,96	

Tabel 28. Soojustusvatiin E75 Blue Sky Multicolor - 60 % Recofill Multicolor, 40 % polüester. Pindtihedus 1500 g/m², paksus 20 mm katsekehade mõõtmed

Katsekeha tähistus ja jrk.nr.	Katsekeha alumise pinna mõõtmed, mm						Katsekeha alumine pindala A _p , m ²	
	a ₁	a ₂	a _{keskm}	b ₁	b ₂	b _{keskm}		
Soojustusvatiin E75 Blue Sky Multicolor - 60 % Recofill Multicolor, 40% polüester. Pindtihedus 1500 g/m ² , paksus 20 mm	1	197	197	197	197	200	198,5	0,039
	2	197	201	199	196	202	199	0,040
	3	200	200	200	202	197	199,5	0,040
	4	198	200	199	198	200	199	0,040

Tabel 29. Soojustusvatiin E75 *Blue Sky Multicolor* - 60% *Recofill Multicolor* , 40 % polüester. Pindtihedus 1500 g/m², paksus 20 mm. katsekehade veeimavus pärast 7 - päevast osalist vettesukeldamist (EVS - EN 12087 meetod 1 A)

Katsekeha tähistus ja jrk.nr.	Katsekeha mass, g		Veeimavus, g	Veeimavus W_{ip} , kg/m ²		
	enne vette sukeldamist m_0	7 päeva osaliselt vette sukeldatult m_7		üksik	keskm	
Soojustusvatiin E75 <i>Blue Sky Multicolor</i> - 60% <i>Recofill Multicolor</i> 40% polüester. Pindtihedus 1500 g/m ² , paksus 20 mm	1	51,85	228,63	176,78	4,53	4,47
	2	52,57	230,96	178,39	4,46	
	3	52,23	232,99	180,76	4,52	
	4	52,48	227,12	174,64	4,37	

Tabel 30. Soojustusvatiin E75 *Blue Sky Multicolor* - 60 % *Recofill Multicolor*, 40 % polüester. Pindtihedus 2250 g/m², paksus 30 mm katsekehade mõõtmed

Katsekeha tähistus ja jrk.nr.	Katsekeha alumise pinna mõõtmed, mm						Katsekeha alumine pindala A_p , m ²	
	a_1	a_2	a_{keskm}	b_1	b_2	b_{keskm}		
Soojustusvatiin E75 <i>Blue Sky Multicolor</i> - 60 % <i>Recofill Multicolor</i> , 40% polüester. Pindtihedus 2250 g/m ² , paksus 30 mm	1	205	200	202,5	205	204	204,5	0,041
	2	202	201	201,5	200	201	200,5	0,040
	3	199	203	201	202	205	203,5	0,041
	4	200	201	200,5	202	200	201	0,040

Tabel 31. Soojustusvatiin E75 *Blue Sky Multicolor* - 60 % *Recofill Multicolor*, 40 % polüester. Pindtihedus 2250 g/m², paksus 30 mm. katsekehade veeimavus pärast 7 - päevast osalist vettesukeldamist (EVS - EN 12087 meetod 1 A)

Katsekeha tähistus ja jrk.nr.	Katsekeha mass, g		Veeimavus, g	Veeimavus W_{ip} , kg/m ²		
	enne vette sukeldamist m_0	7 päeva osaliselt vette sukeldatult m_7		üksik	keskm	
Soojustusvatiin E75 <i>Blue Sky Multicolor</i> - 60 % <i>Recofill Multicolor</i> , 40 % polüester. Pindtihedus 2250 g/m ² , paksus 30 mm	1	85,37	251,97	166,6	4,06	5,22
	2	95,01	320,89	225,88	5,65	
	3	97,52	328,04	230,52	5,62	
	4	88,20	310,02	221,82	5,55	

Tabel 32. Soojustusvatiin E75 *Blue Sky Multicolor* - 60 % *Recofill Multicolor*, 40 % polüester. Pindtihedus 3225 g/m², paksus 43 mm katsekehade mõõtmed

Katsekeha tähistus ja jrk.nr.	Katsekeha alumise pinna mõõtmed, mm						Katsekeha alumine pindala A _p , m ²	
	a ₁	a ₂	a _{keskm}	b ₁	b ₂	b _{keskm}		
Soojustusvatiin E75 <i>Blue Sky Multicolor</i> - 60 % <i>Recofill Multicolor</i> , 40 % polüester. Pindtihedus 3225 g/m ² , paksus 43 mm	1	200	200	200	198	200	199	0,040
	2	200	205	202,5	200	208	204	0,041
	3	198	200	199,5	202	200	201	0,040
	4	200	204	202	201	205	203	0,041

Tabel 33. Soojustusvatiin E75 *Blue Sky Multicolor* - 60 % *Recofill Multicolor*, 40 % polüester. Pindtihedus 3225 g/m², paksus 43 mm. katsekehade veeimavus pärast 7 - päevast osalist vettesukeldamist (EVS - EN 12087 meetod 1 A)

Katsekeha tähistus ja jrk.nr.	Katsekeha mass, g		Veeimavus, g	Veeimavus W _{ip} , kg/m ²		
	enne vette sukeldamist m ₀	7 päeva osaliselt vette sukeldatult m ₇		üksik	keskm	
Soojustusvatiin E75 <i>Blue Sky Multicolor</i> - 60 % <i>Recofill Multicolor</i> , 40 % polüester. Pindtihedus 3225 g/m ² , paksus 43 mm	1	138,04	410,15	272,11	6,80	6,72
	2	140,06	385,05	244,99	5,98	
	3	139,02	422,55	283,53	7,09	
	4	140,28	428,14	287,86	7,02	

Tabel 34. Soojustusvatiin E37 *Blue sky white QR* - 100% polüester. Pindtihedus 2600 g/m², paksus 70 mm katsekehade mõõtmed

Katsekeha tähistus ja jrk.nr.	Katsekeha alumise pinna mõõtmed, mm						Katsekeha alumine pindala A _p , m ²	
	a ₁	a ₂	a _{keskm}	b ₁	b ₂	b _{keskm}		
Soojustusvatiin E37 <i>Blue sky white QR</i> - 100% polüester. Pindtihedus 2600 g/m ² , paksus 70 mm	1	200	200	200	200	201	200,5	0,040
	2	205	200	202,5	200	203	201,5	0,040
	3	195	200	197,5	200	205	202,5	0,041
	4	200	199	199,5	200	196	198	0,039

Tabel 35. Soojustusvatiin E37 *Blue sky white QR* - 100% polüester. Pindtihedus 2600 g/m², paksus 70 mm. katsekehade veeimavus pärast 7 - päevast osalist vettesukeldamist (EVS - EN 12087 meetod 1 A)

Katsekeha tähistus ja jrk.nr.	Katsekeha mass, g		Veeimavus, g	Veeimavus W _{ip} , kg/m ²		
	enne vette sukeldamist m ₀	7 päeva osaliselt vette sukeldatult m ₇		üksik	keskm	
Soojustusvatiin E37 <i>Blue sky white QR</i> - 100% polüester. Pindtihedus 2600 g/m ² , paksus 70 mm	1	93,58	225,55	131,97	3,30	3,74
	2	92,94	239,32	146,38	3,66	
	3	92,65	255,35	162,7	3,97	
	4	90,59	246,90	156,31	4,01	



Joonis 31. Heliisolatsiooniplaat E75 katsetükid 10 millimeetris ves TTÜ ehitusmaterjalide teadus- ja katselaboratoriumi kliimalaboris



Joonis 32. Villsoojusisolatsioonimaterjalist katse käigus väljunud aine
Joonistel 31, 32 on näidatud pikaajalise veemavuse vees olevaid katsekehi.

Lisa 4 Toom Tekstiil AS soojusisolatsioonimaterjalide hindade ümberarvutus

$$x = \frac{G}{1000} \cdot y \quad (\text{Lisa 4.1})$$

Kus x - Materjali ruutmeetri hind (EUR - i/m²)

y - Materjali kilo hind (EUR - i/kg)

G - pindtihedus (g/m²)

Toom Tekstiil AS materjalide hinnad jagunevad - soojustusvill 3,50€/kg, *Multicolor* soojustusvatiin 2,5€/kg ja soojustusvatiin 3,00€/kg. Materjalide ümberarvutuse tulemusena jagunevad hinnad keskmiselt - soojustusvill 8,05€/m², *Multicolor* soojustusvatiin 5,87€/m² ja soojustusvatiin 6,13€/ m².

Soojusisolatsioonimaterjalide arvutus:

1. Soojustusvill E15 - $(1500/1000) \cdot 3,5 = 5,25\text{€/m}^2$
2. Soojustusvill E19 - $(1500/1000) \cdot 3,5 = 5,25\text{€/m}^2$
3. Soojustusvill E25 - $(2500/1000) \cdot 3,5 = 8,75\text{€/m}^2$
4. Soojustusvill E30 - $(3000/1000) \cdot 3,5 = 10,5\text{€/m}^2$
5. Soojustusvill E33 - $(3000/1000) \cdot 3,5 = 10,5\text{€/m}^2$
6. Heliisolatsioonipaneel E39 valge - $(1800/1000) \cdot 3,0 = 5,4\text{€/m}^2$
7. Heliisolatsioonipaneel E75 valge - $(3000/1000) \cdot 3,0 = 9,0\text{€/m}^2$
8. Heliisolatsioonipaneel E67 valge - $(3000/1000) \cdot 3,0 = 9,0\text{€/m}^2$
9. Soojustusvatiin E10 - $(500/1000) \cdot 3,0 = 1,5\text{€/m}^2$
10. Soojustusvatiin E15 - $(1500/1000) \cdot 3,0 = 4,5\text{€/m}^2$
11. Soojustusvatiin E20 - $(2000/1000) \cdot 3,0 = 6,0\text{€/m}^2$
12. Soojustusvatiin E25 - $(2500/1000) \cdot 3,0 = 7,5\text{€/m}^2$
13. Soojustusvatiin E75 *Blue Sky Multicolor* - $(1500/1000) \cdot 2,5 = 3,75\text{€/m}^2$
14. Soojustusvatiin E31 *Blue Sky Multicolor* - $(2500/1000) \cdot 2,5 = 6,25\text{€/m}^2$
15. Soojustusvatiin E75 *Blue Sky Multicolor* - $(2250/1000) \cdot 2,5 = 5,63\text{€/m}^2$
16. Soojustusvatiin E20 *Blue Sky Multicolor* - $(2000/1000) \cdot 2,5 = 5,0\text{€/m}^2$
17. Soojustusvatiin E75 *Blue Sky Multicolor* - $(3225/1000) \cdot 2,5 = 8,06\text{€/m}^2$
18. Soojustusvatiin E37 *Blue sky white QR* - $(2600/1000) \cdot 2,5 = 6,5\text{€/m}^2$