

Eesti Kunstiakadeemia

Disainiteaduskond

Tekstiilidisaini osakond

Kadi Kibbermann

MÜRALE REAGEERIV KINEETILINE TEKSTIILPANEEL INTERJÖÖRIS

„MÄRKA MÜRA“

Magistritöö

Juhendaja: Kristi Kuusk, PhD

Kaasjuhendaja: Katrin Kabun, MA

Tallinn

2020



EESTI
KUNSTIAKADEEMIA

Autorideklaratsioon

Kinnitan, et:

1. käesolev magistritöö on minu isikliku töö tulemus, seda ei ole kellegi teise poolt varem (kaitsmisele) esitatud;
2. kõik magistritöö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd (teosed), olulised seisukohad ja mistahes muudest allikatest pärinevad andmed on magistritöös nõuetekohaselt viidatud;
3. luban Eesti Kunstiakadeemial avaldada oma magistritöö repositooriumis, kus see muutub üldsusele kättesaadavaks interneti vahendusel.

Ülaltoodust lähtudes selgitan, et:

- käesoleva magistritöö koostamise ja selle sisalduvate ja/või kirjeldatud teoste loomisega seotud isiklikud autoriõigused kuuluvad minule kui magistritöö autorile ja magistritööga varalisi õigusi käsutatakse vastavalt Eesti Kunstiakadeemias kehtivale korrale;
 - kuivõrd repositooriumis avaldatud magistritööga on võimalik tutvuda piiramatul isikute ringil, eeldan, et minu magistritööga tutvuja järgib seadusi, muid õigusakte ja häid tavaid heas usus, ausalt ja teiste isikute õigusi austavalt ning hoolivalt.
- Keelatud on käesoleva magistritöö ja selles sisalduvate ja/või kirjeldatud teoste kopeerimine, plagieerimine ning mistahes muu autoriõigusi rikkuv kasutamine.

3.august 2020

Kadi Kibbermann

/digitaalselt allkirjastatud/

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele:

03.08.2020

Juhendaja
Kristi Kuusk PhD

/digitaalselt allkirjastatud/

03.08.2020

Kaasjuhendaja
Katrín Kabun MA

/digitaalselt allkirjastatud/

Sisukord

Sissejuhatus.....	4
1. Tekstiil ja müra ruumis.....	9
1.1. Tekstiil ruumis.....	9
1.2. Müra ruumis	11
1.2.1. Heli ja akustika	11
1.2.2. Müra mõju	13
1.3. Tekstiil ruumi akustika mõjutajana	16
2. Kineetilised teosed.....	21
2.1. Kineetiline kunst kui liikuv skulptuur	21
2.2. Kineetiline arhitektuur.....	23
3. Mürale reageeriv kineetiline tekstiil ruumis „Märka müra”	25
3.1. Materjal	25
3.2. Vorm.....	26
3.3. Tehnoloogia.....	30
3.4. Prototüüp “Märka müra”	35
3.5. Testimine laboris.....	38
3.6. Elektroonika tekstiiliga sidumise keskkonnamõjud.....	41
Kokkuvõte.....	43
Kasutatud kirjandus	45
Summary	48
Lisa 1.....	50

Sissejuhatus

Tekstiil kui materjal ning tekstiilitehnikad on küll läbi ajaloo pidevalt arenenud, kuid viimastel aastakümnetel on tekstiili kasutusvaldkonnad kui ka tootmistehnoloogiad oluliselt laienenud. Üheks põhjuseks on kahtlemata tehnoloogia üldine kiire areng, mis on kaasa toonud selle tihedama seotuse erinevate teadusharudega bioloogiast inseneriteadusteni. Mis omakorda muudab aina olulisemaks tekstiilidisainerite valdkondade ülesed teadmised, et haarata tervikut ning näha aina laienevaid võimalusi sellel alal.

Üheks kasvavaks trendiks tekstiilidisainis on nutitekstiilid (ingl k *smart textile*). Nutitekstiiliks nimetatakse tekstiili ja elektroonika kooslust, millel on võime võtta sensorite abil vastu sisendeid, neid töödelda ning neid mingil viisil väljendada. Selleks seotakse tekstiiliga erinevaid materjale nii tekstiili valmimise faasis, näiteks kangasse kududes kui ka hiljem kangale kinnitades. Nutitekstiilid võivad reageerida näiteks värvimuutusega, vibreerimisega, hakata helendama või muuta läbi liikumise - kineetilise oma suurust või kuju. Selles töös ongi keskendutud just kineetilise tekstiili loomisele, mille sisendiks on olmemüra.

Enamasti integreeritakse erinevad materjalid sellistes nutitekstiilides sügavuti, st eseme elutsükli lõpus ei ole võimalik selles sisalduvaid komponente üksteisest ümbertöötlemise või uuesti ringlusesse võtmise eesmärgil enam eraldada. Seega kui ühest küljest annavad nutitekstiilid ühiskonnale lisaväärtust siis teisalt võivad need osutuda keskkonnale koormavaks. Sellest tulenevalt on vajalik teadvustada ja vähendada võimalikke keskkonnaniske neid hinnates ja võimalusel vältida disainiprotsessi algfaasis. Oluliseks osutub siinkohal disaineri vastutus, millel on suur roll tarbijate käitumis- ja tarbimismudelite kujundamisel ning keskkonnaga arvestamisel. 1990. aastatel võeti kasutusele termin *design for the environment* kus disainiprotsess sisaldab nii majanduslike kui ka keskkonnamõjudega arvestamist.¹ Siis nähti seda tärkava perspektiivina, kus disaineritel on võimalik oma otsuste läbi vähendada toodete negatiivset mõju inimeste tervisele ja keskkonnale. Tänapäevaks on see termin *design for the environment* jõudnud reaalsusesse, kus disainerite looming on tihedalt seotud keskkonna-alaste teadmistega. Suurenenud on ka tarbijate ja

¹ Sage Calamari, Karen H. Hyllegard, The process of designing interior textile products & the influence of Design for the Environment (DfE), https://www.researchgate.net/publication/277364169_The_process_of_designing_interior_textile_products_the_influence_of_Design_for_the_Environment_DfE (vaadatud 16. V 2020).

ettevõtete teadlikkus keskkonna ohtudest erinevate toodete ja teenuste tarbimise osas. Kahtlemata on sellele kaasa aidanud ka keskkonnareostuste ja kliimamuutuste alaste teemade üleskerkimine globaalselt riiklikel tasanditel. Näiteks UNEP (Ühinenud Rahvaste Organisatsiooni Keskkonna Programm)², ülesandeks on tegeleda säästliku tarbimise ja tootmise hariduse levitamisega.

Inspiratsioon

Tekstiilidisaini õpingute vältel on minu põhitähelepanu olnud suunatud eelkõige loodusele ja ümbritsevale rahulikule ning harmoonilisele keskkonnale, juhtides tähelepanu nende olulisusele tervema ühiskonna kujunemisel.

Tähtsamateks etappideks käesoleva töö kujunemisel on olnud kaks suuremat projekti. Esimene neist oli kursus Kristi Kuusk juhendamisel, kus väljendasin analoogseadet nutitekstiilis. Minu poolt valitud analoogseadmeks oli jalgratta dünamo, mis muundab ratta pöörlemisel tekkivat mehhaanilist (pöörlemisliikumise) energiat elektrienergiaks, et sõitjale teed valgustada. Masintikandi tehnikat kasutades integreerisin villasest kangast pontšo varrukaosa tikandimustrisse elektrit juhtiva niidi abil valgusdiodid, patarei ja liikumisanduri. Selle tulemusena vilkusid tulukesed varrukatel vastavalt kandja käte liikumisele (joonis 0-1). Visuaalne efekt pakkus turvalisust pimedas aastaaja liikluses, muutes pontšo kandja kaasliiklejatele nähtavamaks. Pontšo oli esitlemisel ka 2017 aasta Disainöö Festivali näitusel “Textile Futures Exhibition”.



*Joonis 0-1 Valgusdiodidega liikumisele reageeriv pontšo (Kibbermann 2017)
Modell: Liisa Voo
Foto: Andres Vare*

² United Nation Environment Program <https://www.unenvironment.org/> (vaadatud 10. VII 2020)

Teiseks oluliseks projektiks oli eksperimentaalprojekt Kristel Lauritsa juhendamisel, mis kutsus üles pöörama inimeste tähelepanu neid ümbritseva suhtes ning otsima võimalusi eemaldumiseks ja tunnetamiseks ning kuidas läbi materjali disaini parandada inimeste heaolu ruumis. Projekti sisendiks oli arhitekt Peter Zumpthori essee *Atmospheres* arhitektuurilisest keskkonnast ja meid ümbritsevatest objektidest. Minu loodud tulemuseks olid Himaalaja soolaga täidetud raskusteki ning tunnetusliku 3D tekstiili prototüübid (joonis 0-2 ja 0-3). Raskusteki sisuks oli kasutatud himaalaja soola kristalle, mis lisaks raskusele on ka õhu ioniseerija. Tunnetusliku 3d tekstiiliga otsiti võimalusi erinevate materjalide kombineerimise läbi luua uusi kangastruktuure. Prototüüpe esitleti 2017. aastal Stockholm Furniture and Light Fair messil.



Joonis 0-2 Projekti "Escape" raskusteki prototüüp (Kibbermann 2017)
Fotod: Andres Vare



Joonis 0-3 Projekti "Escape" 3D tekstiili prototüüp (Kibbermann 2017)
Fotod: Andres Vare

Nendest projektidest omandatud kogemused ja baasteadmised, ning paberikunstniku Paul Jacksoni juhendatud origami kursus suunasid mind ideele ühendada saadud teadmised kineetilises tekstiilis, mis reageeriks ruumis toimuvale ning aitaks seeläbi juhtida tähelepanu keskkonnale, milles viibitakse.

Üks peamisi keskkonnariske keskkonnamõjudest on müra, mis mõjutab nii inimeste füüsilist kui vaimset tervist.³ Näiteks on kasulik teada, et mürast tingitud kesknärvisüsteemi häired arenevad juba ka mürataseme juures, mis ei tundu kõrvale eriti häirivana.⁴ Tänapäevaks on müraga seotud norme ja ettekirjutusi olulisel määral täiendatud ning seda eelkõige suurenenud teadlikkusele ja erinevate uuringute tulemustele tuginedes. Kuid sellele vaatamata on endiselt müra õhusaaste järel tähtsusest teisel kohal olevaks

³ European Environment Agency EEA Report 22/2019, Environmental Noise in Europe - 2020
<https://www.eea.europa.eu/publications/environmental-noise-in-europe> (vaadatud 08. IV 2020).

⁴ Robert Reinpuu, Ehitusfüüsika õppematerjal, Tallinn: Tallinna Tehnikakõrgkool, 2003, lk 30.

keskkonnaprobleemiks. Seega on käesoleva magistritööga soov juhtida kineetilise tekstiili abil tähelepanu sellele üha kasvavale keskkonnaprobleemile ning panna ruumisviibijat märkama müra enda ümber.

Loomepõhine uurimus

Loomepõhine uurimus kui selline on Eesti kunsti- ja hariduspraktikas kasutusel alates 2000 aastate lõpust.⁵ Henk Borgdorff on nimetanud väljendit uurimus kunstide jaoks (*research for the arts*) kui „instrumentaalne perspektiiv“ mis on uurimus kunsti vahenditest ja tehnoloogiatest, mida kunsti tegemise jaoks hakatakse kasutama. Ta nimetab neid kui „laiendatud tehnoloogiad“ kunsti kasutuses.

Käesoleva loomepõhise uurimuse keskmes on prototüüp, mille valmimise käigus koondatakse ja analüüsitakse vajalikku informatsiooni erinevatelt aladelt: tekstiil, keskkond, elektroonika ja akustika. Valmiv teos on kunstiline disainiprojekt, mis viib kokku erinevaid valdkondi tekstiilidisaini rikastamiseks ja meid ümbritseva keskkonna parandamiseks.

Uurimuse eesmärgiks on leida kineetilise tekstiili abil lahendus müra taseme muutumise märkamiseks ja selle vähendamiseks ruumis.

Uurimisprobleemiks on ruumi mürataseme märkamine ja vähendamine kineetilise tekstiili abil.

Püstitatud on uurimisküsimus - kuidas luua interjööri kineetilist tekstiili, mis reageerib liikumisega müra impulsile, juhib ruumisviibija tähelepanu mürataseme muutusele ning samas suurendab müraneelduvust ruumis?

Töö esimene peatükk annab ülevaade müra olemusest ja selle seosest tekstiiliga ning kuidas nendest on kujunenud uudsed disainilahendused, mis summutavad ruumis liigseid helisid. Teine peatükk vaatleb kineetilisi objekte ning toob näited, mis oma kontseptsioonilt on andnud inspiratsiooni käesoleva magistritöö raames valmiva kineetilise tekstiilpaneeli loomiseks. Kolmas peatükk keskendub kineetilise tekstiilpaneeli „Märka müra“ valmimise protsessi etappidele puudutades materjalivalikut, vormi, elektroonilise süsteemi loomist ning testimist, mis näitab kas ja kui palju mõjutab kineetiline tekstiilpaneel ruumi mürataset. Lisaks on puudutatud keskkonnavalaseid aspekte, mis seostuvad tekstiili ja elektroonika kombineerimisega.

⁵ Raivo Kelomees, Loomeuurimuspalavik – Ajakiri Kunst 2018, nr 4 <http://ajakirikunst.ee> (vaadatud 06. IV 2020).

1. Tekstiil ja müra ruumis

1.1. Tekstiil ruumis

Tekstiili mõju interjöörile võib olla füüsiline, mõjutades ruumi helineelduvust, privaatsust, turvatunnet ning esteetilisust. Vaipkatted, polsterdatud seinad ning aknakatted summutavad helisid ja pakuvad turvalisust. Vastavast materjalist aknakatted loovad privaatsuse ruumis nii päeval kui öösel. Tekstiil ruumis on kui võimas emotsionaalne tööriist – võimaldades pakkuda rahu ja vaikust, kuid samas ka ergutada või tekitada põnevust.⁶

Esimesteks teadaolevateks seinakateteks olid loomanahad, mis aitasid ruumis sooja pidada ning seejärel hakati loomanahku kasutama ka põrandakatetena.⁷ Vanimaks tekstiilitehnikaks arvatakse olevat aga viltimist ning alles seejärel arenes lõnga ketramine.⁸

Vanim vaiba leid on villane sõlmtehnikas rüüvaip (joonis 1-1) Pazyryki hauakambrist mis avastati 1929 Siberist, Altai mäestikust. Selle vanuseks on pakutud 4. sajandi teist poolt ja 3. sajandi algust eKr. Samas paigas toimusid täiendavate leidude otsimised ka 1947–1949 kui leiti kootud villavaipadele lisaks ka vilditud villavaibad, millele olid kujutised peale kantud aplikatsioonidena.⁹



Joonis 1-1 Pazyryki sõlmtehnikas villavaip ja vilditud seinavaiba fragment
Allikas: <https://www.hermitagemuseum.org>

⁶ Karla J.Nielson, Interior Textiles. Fabrics, Application & Historic Style. John Wiley & Sons, Inc. 2007, lk ix

⁷ Karla J.Nielson, Interior Textiles, lk 47-48.

⁸ Encyclopaedia Britannica, Uses of Rugs and Carpets, <https://www.britannica.com/technology/rug-and-carpet/Uses-of-rugs-and-carpets#ref599486> (vaadatud 19. III 2020).

⁹ Karen S. Robinson, The Textiles from Pazyryk - Expedition Magazine volume 32, Issue 1 1990, Penn Museum <http://www.penn.museum/sites/expedition/?p=2921> (vaadatud 19. III 2020).

Idamaade vaibad, mis olid enamasti pärit Aasiamaadest, olid kuni 17. sajandini luksuskaup ning oma kallidusest ja ilust tulenevalt väga hästi hoitud ja kõrgelt hinnatud. Põrandal kasutati neid enamasti vaid pühade ajal ning muul ajal olid need riputatud seinale. 17. sajandist alates oli moes suurte sõlmvaipadega katta kogu põrand. Kuid 20. sajandi keskpaigast kui antiiksete vaipade hind tõusis kiirelt, hakati vaipu taas seinale riputama. Lisaks põranda katmisele olid vaibad kasutusel ka kardinate ja tekkidena, ukseavade katetena ning ka hauakatetena.¹⁰

Seinavaipade ajalugu Eestis ulatub tagasi 20. sajandi algusesse kui interjööri hakati kasutama kootud seinavaipu, mille eesmärgiks oli seinapinna kaunistamine ja soojustamine. Vaibad olid valmistatud lambavillasest lõngast ning kootud kangastelgedel. Enne 20. sajandit olid kasutusel villased kattevaibad, mida lisaks kehakatetele kasutati hobusaanidel ja –vankritel ning tubaselt voodikatetena. Tekstiilikunsti arenedes hakkasid Eesti tekstiilikunstnikud 1930-ndatel kujundama villaseid põranda- ja seinavaipu nii kodude tarbeks kui avalikku ruumi.¹¹

Euroopa ja Ameerika tööstuslikus vaiba- ja tekstiilitööstuses lisandusid 20. sajandi keskpaigas ka uued sünteetilised materjalid - nailon, polüpropüleen ja polüester ja akrüül, mille eelisteks peeti nende vastupidavust ja mitmekülsust.¹²

Poole sajandiga on toimunud areng, kus tekstiilile on antud võime kanda edasi nii valgust, lõhnu kui emotsioone, toimida antennina, juhtida voolu ning reageerida erinevatele impulssidele jm.

Vaadates veelkord tagasi ajalukku, siis tekstiili teaduslikult tõestatud olulisus interjööris kasvas Wallace Clement Sabine avastusega¹³ ruumi akustika ja tekstiili seosest. Tekstiil neelab heli, omades seeläbi võimet muuta ka ruumi akustilisi omadusi, sh mürataset.

Müra peetakse üheks enamlevinumaks probleemiks interjööris. Ka Maailma Tervishoiu Organisatsiooni poolt 2018. aastal välja antud raportis¹⁴ 2018 aastal on nimetatud keskkonnamüra üheks suurimaks keskkonnariskiks, mis mõjutab üldist inimeste tervist ja heaolu.

¹⁰ Encyclopaedia Britannica, Uses of Rugs and Carpets (vaadatud 19. III 2020).

¹¹ Eesti Rahva Muuseumi Vaibakogu <https://vaibad.erm.ee/et> (vaadatud 16. III 2020).

¹² Karla J. Nielson Interior Textiles, lk 433-444.

¹³ Tyler Adams, Sound materials, lk 235.

¹⁴ World Health Organisation, Environmental Noise Guidelines for the European Region 2018 <https://www.euro.who.int/en/publications/abstracts/environmental-noise-guidelines-for-the-european-region-2018> (vaadatud 13. III 2019).

1.2. Müra ruumis

Müra on selline heli liik, mis kujutab endast paljude erinevate, muutuvate sagedustega helide kombinatsiooni. Inimene tajub sellist heli enamasti ebameeldivana.¹⁵

Et mõista müra olemust, on vajalik teada müra tekkimise teoreetilisi aluseid ning eelkõige mõisteid heli ja akustika alalt.

1.2.1. Heli ja akustika

Heli on elastses keskkonnas leviv mehaaniline võnkumine ning heli intensiivsus on helienergia hulk mis langeb pinnaühikule sellega ristsuunas ajaühiku jooksul, mida mõõdetakse vattides ruutmeetri kohta ($\frac{W}{m^2}$). Heli nivoo on heli intensiivsuse või helirõhu tase detsibellides mingi kokkuleppelise taseme suhtes. Heli sagedus on aga helivõngete arv sekundis, mida mõõdetakse hertsides (Hz)¹⁶. Akustika uurib heliga seotud nähtusi: heli tekkimist, levimist, vastasmõju ainega ja muid omadusi.¹⁷

Seega tajub inimene heliintensiivsuse suhet, mitte absoluutarvu ning selle mõõtühikuks on dB. Sealjuures minimaalseks heliintensiivsuseks, mida inimkõrv kuuleb on kuulmislävi ning suur heliintensiivsus tekitab kõrvas valutunde ning seda nimetatakse valuläveks. Valuläve piiriks loetakse detsibellide skaalal 140 dB ning kuuldeläve alguspunktiks on sellel määratud 0 dB.¹⁸

Et parandada ruumi akustilisi omadusi ning vältida liigse müra tekkimist on olemas materjale mis suudavad mõjutada heli neeldumist ruumis. Sellised materjalid leiavad laialt kasutust paljudes avalikes ruumides nagu näiteks muuseumisaalid, erinevad ootesaalid, klassiruumid, kontorid, aulad, kontserdisaalid jpm. Materjalide helineelduvus sõltub materjali poorsusest, st kui palju heli materjal endasse laseb ning kui palju ta selles hajub. Lisaks materjalile mõjutab heli liikumise kiirust ka keskkond, milles ta levib. Heli kiirus õhus on erinevates allikates märgitud keskestlābi vahemikku 332 – 344 m/s, kuid sealjuures arvestatakse ka ruumi muid omadusi, mis võivad seda mõjutada. Näiteks ruumi temperatuur, õhuniiskus ja õhurõhk. Võrdlusena näiteks vees leviva heli kiirus on 1480m/s¹⁹ ning terases 5050 m/s²⁰.

¹⁵ Füüsikaleksikon <https://füüsikaleksikon.ee> (vaadatud 13. III 2019).

¹⁶ Avo–Rein Tereping, Kuulmispsühholoogia, Tallinn: Kirjastus Valgus 1988, lk 148.

¹⁷ Füüsikaleksikon <https://füüsikaleksikon.ee> (vaadatud 13. III 2019).

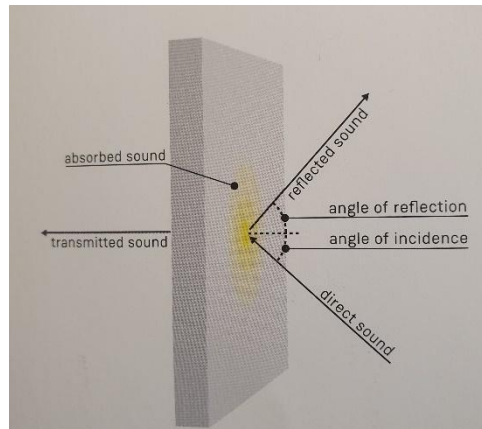
¹⁸ Avo–Rein Tereping, Kuulmispsühholoogia, lk 34.

¹⁹ Avo–Rein Tereping, Kuulmispsühholoogia, lk 7.

²⁰ Avo–Rein Tereping, Kuulmispsühholoogia, lk 7.

Interjööris leidub erinevaid materjale ja objekte, mille vastu helid põrkuvad ning olenevalt materjalist kas

- neelavad,
- peegeldavad või
- kannavad seda edasi (joonis 1-2)



Joonis 1-2 Helide põrkumine materjalil
Allikas: Tyler Adams 2016, *Sound Materials*

Heli neelavatest ehk absorbeerivatest materjalidest on kõige tõhusamad pehmed, karvased, poorsed materjalid nagu klaaskiud, vahtmaterjalid ning paksud tekstiilid²¹. Heli peegeldub kõige paremini just ruumi siledatelt pindadelt nagu katmata põrandad, seinad ja laed. Võimet vähendada heli edasikandumist läbi enda nimetatakse heliisolatsiooniks (heliisolatsioon on ehituskonstruksioonis rakendatav materjalipõhine lahendus, mille puhul kasutatakse erinevate ehituskihtide õhuvahedes materjale, mis parandavad ruumi heliisolatsiooni).²²

Teaduslikul tasandil on tekstiiliga seondult loetud kaasaegse arhitektuuri akustika ajaloo alguseks juba 1895. aastat, kui füüsik Wallace Clement Sabine hakkas uurima ja lahendama akustikaprobleemi *Harvard Fogg Art Museum* loengusaalis. Laenates loengute ajaks toolipatju kõrvalasuvast teatrist, märkas ta heli sumbumist vastavalt patjade arvule ruumis. ²³ Nõnda jõudis ta fundamentaalse valemi, Sabine'i võrrandini, mille kohaselt

$$RT = \frac{k * V}{A}$$

²¹ Tyler Adams, *Sound materials. A Compendium of Sound Absorbing Materials for Architecture and Design*, Amsterdam: Frame Publishers 2016, lk 30.

²² Akustikasõnastik, <https://www.ecophon.com/et/akustilised-lahendused/akustika-teadmistepank/akustikasonastik/> (vaadatud 17. III 2020).

²³ Tyler Adams, *Sound materials*, lk 235.

Sealjuures,

RT – ingl *k reverberation time*, mis on reverberatsioon ehk on järelkõla (sekundites). See on aeg, mis kulub heliimpulsi nõrgenemiseks 60 dB võrra alates hetkest, kui heliallikas on seiskunud.²⁴

k – koefitsient 0,161

V – ruumi ruumala m³

A – helineelava materjali hulk m²

See võrrand on siiani ruumi akustilise planeerimise aluseks. Seega helineelavate materjalide kasutamisel on oluline arvestada nii materjali omadusi ja selle hulka vastavalt ruumi suurusele. Sealjuures on vajalik summeerida eraldi kõikide ruumis olevate materjalide hulk ruutmeetrites mis on jagatud igale materjalile vastava helisumbuvuse koefitsiendiga. Lisaks materjali kogusele on oluline selle materjali asukoht. Sama materjal võib ruumis erineva paigutuse korral avaldada erinevat mõju ruumi müratasemele.

1.2.2. Müra mõju

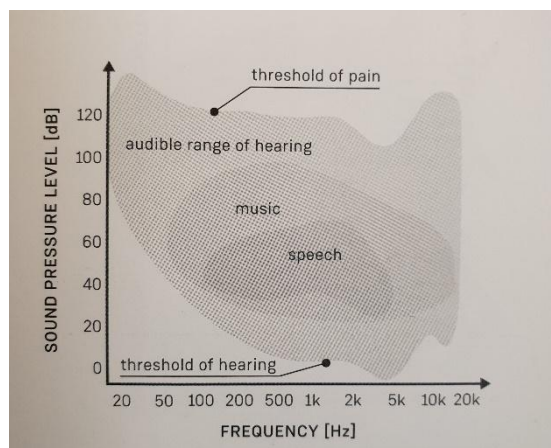
Rahvusvahelise Terviseorganisatsiooni defineeritud mürakahjustus on organismi morfoloogia ja psühholoogia muutus, mille tulemusena kahjustub kuulmisvõime, tekib stress või suureneb organismi vastuvõtlikkus kahjulikele müraefektidele. Definitsioon sisaldab pöörduvate ja pöördumatute füüsiliste, psühholoogiliste või sotsiaalsete funktsioonide kahjustumise võimalusi – mõju kuulmisele, kõnele, puhkusele ja magamise häirimisele, psühhofüsioloogiale, vaimsele tervisele, elanike käitumisele ja ärritavusele ja üldisele tegevusele. Müra suhtes on erinevad tundlikud grupid, kellele toimivad erinevad kombineeritud heliefektid erinevatest müraallikatest.²⁵

Heli sagedust mõõdetakse Hertsides. Inimkõrvale on tajutav helisagedus vahemikus 16–20 000 Hz. Sealjuures on kõrv kõige tundlikum helisageduste vahemikus 1000–3000 Hz. Allapoole 16 Hz jäävat helisagedust nimetatakse infraheliks ning seda ei taju inimene helina, küll aga võngetena, mis tegelikult võivad inimest väga tugevalt mõjutada, sellest ise aru saamata. Heli sagedust üle 20 000 Hz nimetatakse ultraheliks ning neid ultrahelivõnkumisi inimkõrv ei kuule, küll kuulevad seda loomad, nt nahkhiired ja koerad.²⁶ Joonisel 1-3 on kujutatud inimese kuulmisulatus kattuvalt kõne ja muusikaga.

²⁴ Tyler Adams. Sound materials, lk 20.

²⁵ Keskkonnaministeerium, Mis on keskkonnamüra ja kuidas seda ohajata? https://www.envir.ee/sites/default/files/mura-netti_1_2.pdf (vaadatud 20. III 2020).

²⁶ Avo–Rein Tereping, Kuulmispsühholoogia, lk 6-10.



Joonis 1-3 Kuulmislävi
Allikas: Tyler Adams 2016, Sound Materials

Võrdlusena siinkohal, et anda ülevaade olmemüra sagedustest, mis on põhjustatud inimese poolt, siis kõne põhitooni sagedusteks, mida tajutakse häälekõrgusena on:

- Meestel 60–180Hz, keskmiselt 120Hz
- Naistel 150–250Hz, keskmiselt 200Hz ning
- Lastel 300–1500Hz, suur variatiivsus, sõltuvalt east²⁷

Olmemüra on inimeste tegevusest põhjustatud müra hoonetes ning helirõhutase müraallikaga ruumis ei tohi ületada 80 dB. Helirõhutase on aga helirõhu ja kuuldeläve helirõhu suhte kahekümnekordne kümnendlogaritm $20 \lg(p/p_0)$, mida mõõdetakse detsibellides (dB).²⁸

Kui ruumis on rohkem inimesi, muutub inimeste hääl aina valjemaks, et teistele ennast paremini kuuldavaks teha. Seda on nimetatud ka „Lombard’i efektiks“, kus taustamüra suurenedes muutub automaatselt kõnelejate hääletugevus. Laskudes sügavamale inimese kuulmissüsteemi arhitektuuri, siis tegelikult on inimese kuulmisnärvidel seoseid ka teiste ajuosadega, kus reguleeritakse nii ajutegevuse aktiivsust, inimese liigutusi ning ka inimese emotsioone.

Lisaks inimeste endi poolt tekitatud mürale on ruumis veel üldine, nii ruumi sisene kui ka väline keskkonnamüra. Väliste müraallikatena loetakse auto ja lennuliiklus, ehitusmüra, spordirajatiste ja meelelahutusasutuste lähedus. Ruumi siseste müratekitajatena on tuntud aga enamasti ventilatsioonist ja

²⁷ Einar Meister, Kõne analüüs ja süntees, Foneetika ja kõnetehnoloogia labori loengumaterjal TTÜ Elektroonika Instituut, Tallinn: SSPLAB&TTÜ Küberneetika Instituut <https://phon.ioc.ee/dokuwiki/lib/exe/fetch.php?media=teaching:loeng2-11.pdf> (vaadatud 20. I 2020).

²⁸ Müra normtasemed elu- ja puhkealal, elamutes ning ühiskasutusega hoonetes ja mürataseme mõõtmise meetodid, 2002 – Riigi Teataja, <https://www.riigiteataja.ee/akt/108022017004> (vaadatud 20. I 2020).

küttesüsteemist tulenev müra ning ooterežiimile jäetud kodumasinad. Tabelis 1.1 on toodud erinevad kõrvaga tajutavad helid ning nede ligikaudsed väärtused detsibellides.

Tabel 1-1 Heliintensiivsuse taseme skaala

0dB	(alumine) kuuldelävi
10dB	tasane sosin, lehtede nõrk sahin
20dB	kella tiksumine, väga vaikne korter
30dB	sosin, müra tase vaikes korteris
40dB	vaikne kõnelus 1m kaugusel, müra tase vaikel tänaval
50dB	tavaline kõnelus, vaikne raadiomusika
60dB	vali kõnelus
70dB	väga vali kõnelus, trammi müra
80dB	väga vali raadiomusika, müra liiklusmagistraalil
90dB	mootori müra (mootorratas)
100dB	mootorraata müra ilma summutita
110dB	<i>Fotissimo</i> ("väga valjusti" muusikaliselt)
120dB	reaktiivlennuk 100 m kõrgusel

Allikas: Robert Reinpuu 2003. *Ehitusfüüsika*

Ühes psühholoogia instituudis viidi läbi uuring ning vaadeldi, kuidas inimesed käituvad, kui neile esitatakse rütmilisi stiimuleid helivaljusega 110–120 detsibelli. Tulemusena leiti, et katsealustel esinesid tüüpilised stressireaktsioonid. Sealjuures toodi eriti välja nende käitumine peale katse lõppu, kus katsealused hüppasid kõrgendatud meeleolus kohtadelt püsti, žestikuleerisid elavalt ja rääkisid omavahel tavalisest valjema häälega. Väliselt oli tegemist tüüpilise eufooriaseisundiga. “Sellest võib aimata, mis toimub meie ajus suure müra keskel. Väidetavalt kutsub see saadud eufooria inimesi ikka uuesti selle allika ehk valju muusika juurde nagu narkootikum narkomaani. Siiski pidavat soov ülivajude helide järele vanusega vähenema, soovides rohkem vaikust, kuid selleks ajaks kõrvad võibolla enam ei kuulegi vaiksemaid helisid.”²⁹

David Hendy nimetab ka müra materiaalse maailma progressi vältimatuks kaassaaduseks.³⁰ Samuti toob ta välja, et lõppude lõpuks põhjustavad ärevust ja stressi alati teiste inimeste helid, mitte meie endi omad – ja seda põhjusel, et nende tekitatud helisid ei saa me oma soovi kohaselt sisse ja välja lülitada. See on see, mis teeb tavalisest helist müra.³¹

Erinevates seadustes on kehtestatud norme nii infrastruktuuride loomisel kui ka hoonete projekteerimisel ja ehitamisel mis vähendaksid inimekõrvale tajutavat mürataset. Eesti õigusruumis eristatakse müra, mis levib välisõhus ja müra, mis levib siseruumides. Hoonete sees leviv müra, mis on oluline käesoleva töö raames, on reguleeritud rahvatervise seaduse ja müra normtasemed on kehtestatud sotsiaalministri 4. märtsi 2002. a

²⁹ Avo–Rein Tereping, Kuulmispsühholoogia, lk 43–44.

³⁰ David Hendy, Müra, heli, hääled. Inimkonna ajalugu läbi helide ja kuulamise, AS Äripäev 2013, lk 309.

³¹ David Hendy, Müra, heli, hääled. Inimkonna ajalugu läbi helide ja kuulamise, lk 315.

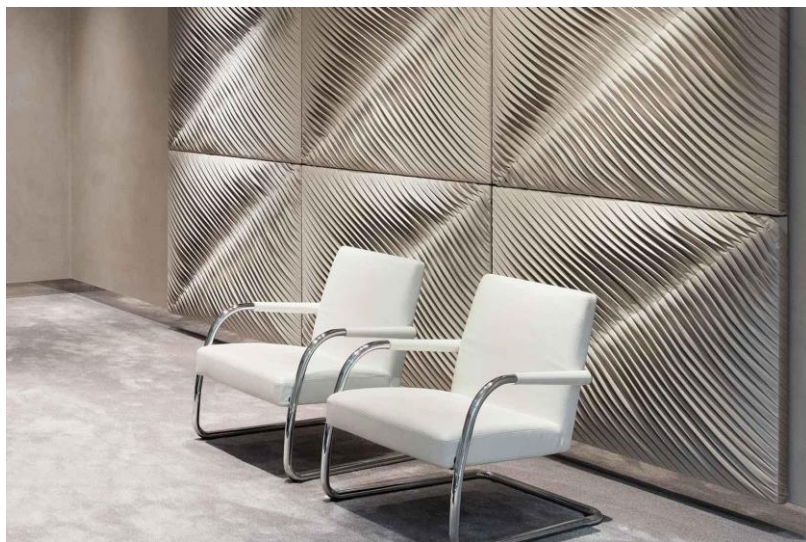
määrusega nr 42 „Müra normtasemed elu– ja puhkealal, elamutes ning ühiskasutusega hoonetes ja mürataseme mõõtmise meetodid”.³²

1.3. Tekstiil ruumi akustika mõjutajana

Juba 1913. aastal ilmus ajakirjas The Magazine of Business intervjuu Wallace Sabinega, kus oli tõstatatud küsimus müraprobleemist kontorites. Üsna varsti peale seda alustas Johns –Manville akustiliste materjalide tutvustamist.³³

Tänapäeval on helineelavate materjalidena välja töötatud erinevad metall– ja puiduvahud, aerogeelid ja aktiveeritud süsi³⁴. Samuti helisummutavad ja tulekindlad vaibad–kardinad, seinakatted, tekstiiliga kaetud seina– ja laepaneelid, mööbel (diivanid, vaheseinad).

Kui alajaotuses 1.1 oli välja toodud viltimine kui vanim tekstiili valmistamise tehnika, siis tänapäeval on naturaalsest materjalist vilt tunnistanud väga heade omadustega materjaliks interjööri lahendustes eelkõige just oma headest helineelavatest omadustest tulenevalt. Naturaalset vilti on kaasaegses disainis väga osavalt taasavastanud Anne Kyyro Quinn, kelle kolmemõõtmelised naturaalsest vildist seinapaneelid (joonis 1-4) on selle iidse materjali toonud tänase päeva moodsasse interjööri. Inspireerivaks siinkohal on asjaolu, et paneelide kolmemõõtmelisus on saavutatud käsitööna.



Joonis 1-4 Anne Kyyro Quinn seinapaneelid

Allikas: <http://www.annekyroquinn.com>

³² Terviseamet, Mis on müra?, <https://www.terviseamet.ee/et/keskkonnatervis/inimesele/fuusikalised-tegurid/mura> (vaadatud 20. I 2020).

³³ Emily Thompson, The Soundscape of Modernity. Architectural Acoustics and the Culture of listening in America 1900-1933, London: The MIT Press 2004, lk 196.

³⁴ Tyler Adams, Sound materials, lk 5.

Samas võib ka tehnoloogiat kasutades leida uudseid lahendusi. Näitena Ronan ja Erwan Bouroullec poolt loodud sari (joonis 1-5), kus vildist moodulid on lihtsalt omavahel ühendatavad ning mida saab kasutada ruumi eraldajana. Samas annab loodud pind ruumile ka müra summutavaid omadusi.



Joonis 1-5 Kvadrat Clouds
Allikas: www.scandinavia-design.fr

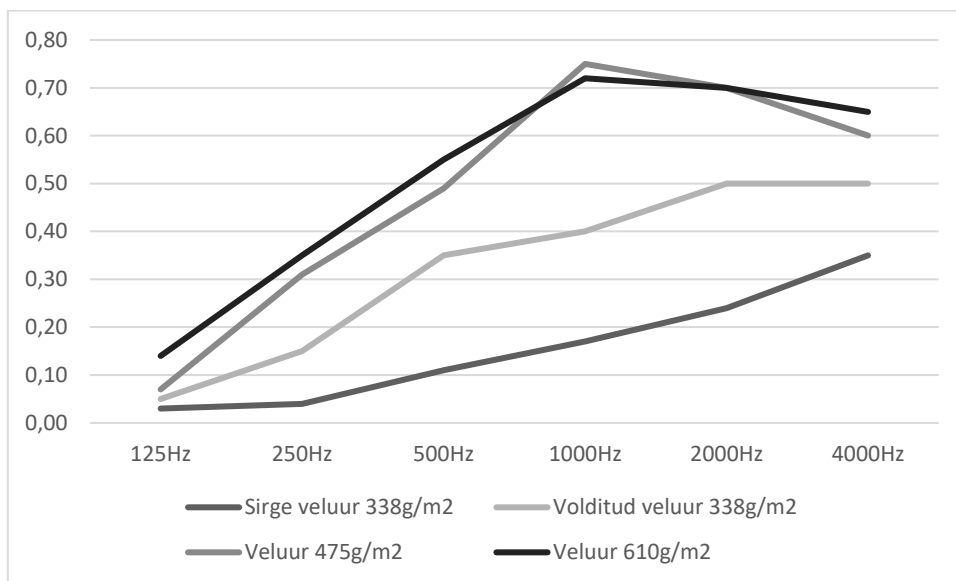
Kui enamasti on kõrge helineelduvuse koefitsendiga eelkõige need tekstiilmaterjalid mis on tihedad ja paksud, siis viimasel kümnendil on teadustöö tulemusena leidnud Creation Baumann võimaluse luua ka poolläbipaistev helineelav tekstiilmaterjal (joonis 1-6)³⁵. Kasutatud on polüesterkiudu Trevira, mis tihedast koest ja poorsusest suudetud muuta helineelavaks.

³⁵ Tyler Adams, Sound materials, lk 132.

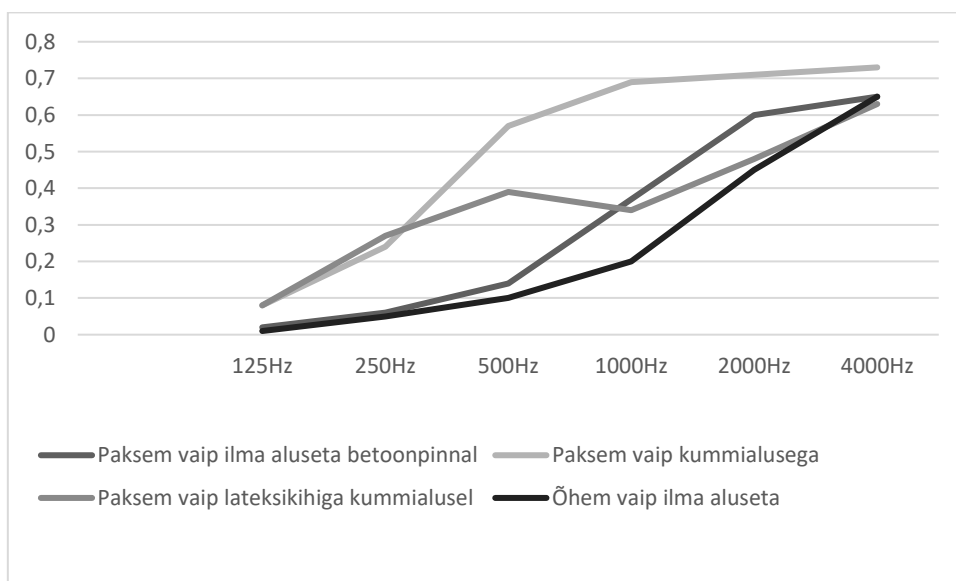


Joonis 1-6 Poolläbipaistev helineelav tekstiilkardin
Allikas: www.creationbaumann.com/

Tekstiili mõju ruumi müratasemele mõõdetakse helineelduvusteguriga (*Noise Reduction Coefficient* ehk NRC), mille aluseks on võetud neli helineelduvusteguri koefitsenti sageduste juures 250Hz, 500Hz, 1000Hz ja 2000Hz. NRC on üks enamlevinuid viise määrata kiiresti ligikaudne materjali helineeldumismäär. Näitlikustamaks enamlevinud materjalide mõju ruumi müratasemele on joonistel 1-7 ja 1-8 välja toodud veluurkanga kui paksema kardinakanga ning erienvate vaipkatete helineelduvustegurid.



Joonis 1-7 Veluurkanga helineelduvustegur
Allikas: Tyler Adams 2016, Sound materials



Joonis 1-8 Vaiba helineelduvustegur
Allikas: Tyler Adams 2016, Sound materials

Võttes aluseks eelpool toodud NRC valemi, saab selle alusel arvutada erinevate materjalide NRC väärtused, mis annavad ülevaate ligikaudsetest müravähendusteguritest tabelis 1-2.

Tabel 1-2 Materjalide NRC väärtused

Materjal	NRC
Sirge veluur 338g/m ²	0,15
Volditud veluur 338g/m ²	0,35
Veluur 475g/m ²	0,55
Veluur 610g/m ²	0,6
Paksem vaip ilma aluseta betoonpinnal	0,3
Paksem vaip kummialusega	0,55
Paksem vaip lateksikihiga kummialusel	0,35
Õhem vaip ilma aluseta	0,2

Allikas: Tyler Adams 2016, Sound materials

Kõrvutades saadud tulemusi spetsiaalsete akustiliste paneelidega Ecooustic, siis näiteks 8mm paksuse akustilise paneeli NRC väärtus³⁶ on sama, mis tabelis 1-2 toodud paksemal vaibal, ehk 0,3. 13,5 mm paksuse akustilise paneeli NRC on aga 0,5, samal ajal kui 475g/m² tihedusega veluurkanga NRC on 0,55. Seega tavatekstiilide roll ruumi müratasemele on suurem kui ehk arvatakse.

³⁶ Instyle, Encoustic Panel Specification <https://instyle.com.au/wp-content/uploads/2019/01/Ecoustic-Panel-Specification.pdf> (vaadatud 03. III 2020).

2. Kineetilised teosed

Magistritöö raames on inspiratsiooniks kineetiline kunst ja kineetiline arhitektuur. Kineetilise kunsti mõiste on väga lai, mille alla koonduvad erinevad kunstiteosed ühise nimetajaga liikumine, mis saavutatakse mehhaanilise–, elektroonilise– või õhuliikumisega. Kineetilise arhitektuuri lahendused on aga ennast tõestanud disainimaailmas luues säästvaid disainilahendusi, mis parandavad oma fassaadilahendustega nii ehitiste sisekliimat kui aitavad säästa energiakulusid. Seega nii kineetiline kunst kui ka kineetiline arhitektuur on oma olemusest ja tähenduslikkusest tingituna mõjutanud mürale reageeriva kineetilise tekstiilpaneeli välja töötamist.

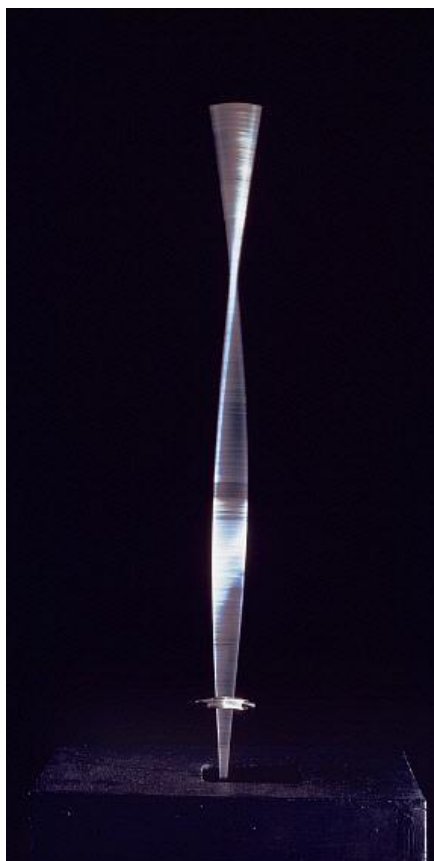
2.1. Kineetiline kunst kui liikuv skulptuur

Tegemist on noore kunstiiliigiga, mille algusajaks peetakse 20. sajandi algust.³⁷ See peegeldas ilmekalt masinate ja tehnoloogia olulisust ühiskonnas tööstusrevolutsiooni ajal. Sama võib väita ka tänase päeva kohta, kus tehnoloogia on ühiskonnas tähtsal kohal rohkem, kui kunagi varem. Võiks nimetada, et „kineetiline“ justkui peegeldab selle ajahetke ühiskonda.

Esimesteks kineetilise kunstiobjekti loojateks peetakse Marchel Duchampi ja Naum Gabot. Naum Gabo teos „*Standing Waves*“ ingl k seisev laine (joonis 2-1) ei olnud algselt loodud kunstiteosena vaid oli mõeldud tema õpilastele selgitamiseks kineetika põhimõtteid – kuidas liikumine loob illusiooni ruumalast.³⁸ Skulptuur koosneb terasvardast mis kinnitub alusele, mille sees on mootor. Mootori käivitudes hakkab metallvarras kiirelt võnkuma ning loob pildi nn seisvast lainest.

³⁷ Kaarel Kurismaa, Kollase valguse orkester, Tallinn: Eesti Kunstimuuseum 2018, lk 11.

³⁸ Tate Muuseum <https://www.tate.org.uk/art/artworks/gabo-kinetic-construction-standing-wave-t00827> (vaadatud 29. III 2020).



Joonis 2-1 Kinetic Construction (Standing Wave) 1919–1920 Naum Gabo

Allikas: <https://www.tate.org.uk/>

Kuid „Kineetiline ei tähenda ainult, et midagi liikuvat on kuhugi ruumi asetatud ja seda on eksponeeritud kui kineetilist kunsti. Liikuv kunst tähendab ka teda ümbritseva ruumi organiseerimist ja häälestamist. See ei ole ainult näitusekunst, see on keskkonnakunst. Ja see ei ole ainult liikumise kunst, vaid ka näitamise ehk eksponeerimise kunst. Viimane tähendab ka valgustamise kunsti.“³⁹ Just need tähendused tabavad väga täpselt ka käesoleva magistritöö autori poolt püstitatud eesmärgi.

Just väljend „midagi liikuvat“ on see, mis määrab nii kineetilise objekti iseloomu kui ka materjalikasutuse. Suuremate objektide puhul on ülekaalus metall, mis annab võimaluse mängida nii suuremate vormide, valgusefektidega kui ka heliga. Kaasaja kinetistidest on autori ideedele ja põhimõtetele väga lähedane tuuleskulptuuride looja Anthony Howe. Tema ise on öelnud oma loomingu kohta: „Ma soovin et inimesed peataksid mõtte oma peas, mis iganes neil hetkel pooleli ka ei oleks ning tajuksid kasvõi hetkeks veidi teistmoodi reaalsust, võibolla veidi mediteerivat.“⁴⁰ Siinkohal saab Anton Howe’iga tuua paralleeli just mürale liikumisega reageeriva tekstiilpaneeliga, mille ülesandeks on panna ruumisviibijat märkama müra enda ümber.

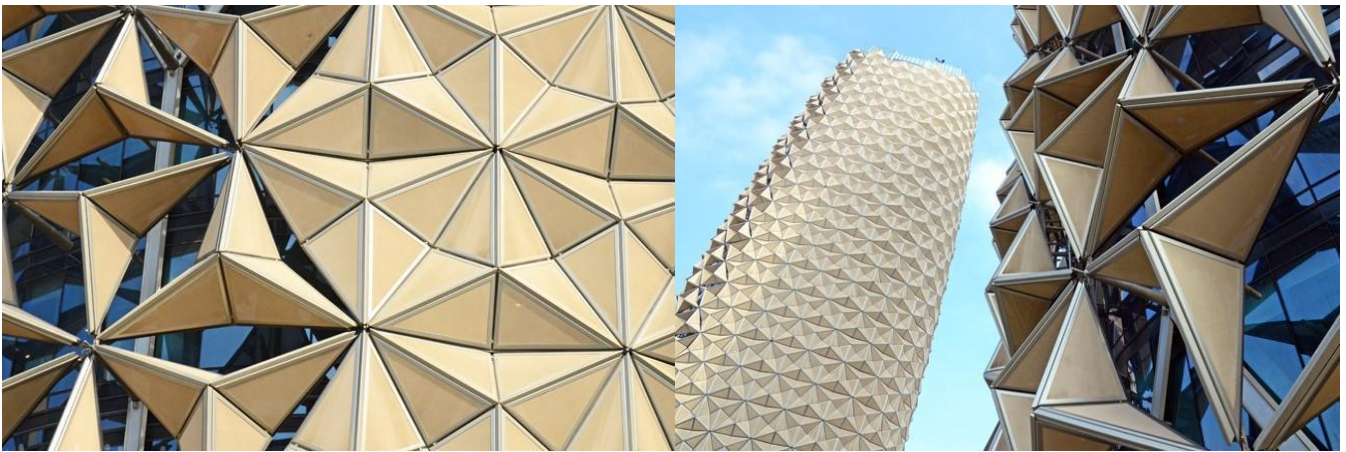
³⁹Raivo Kelomees „Kineetika ja poeetika“, Kineetiline kunst, Tallinn: E-Meedia keskus, 1999, lk 19.

⁴⁰ Anthony Howe, Bio Video: These Kinetic Sculptures Hypnotize You, <https://www.howeart.net/new-page-2> (vaadatud 14. III 2020).

Kui kineetilise kunsti näited annavad visuaalselt edasi mingit sõnumit, siis kineetiline arhitektuur tegeleb järgnevate näidete põhjal juba otseselt keskkonna parandamisega.

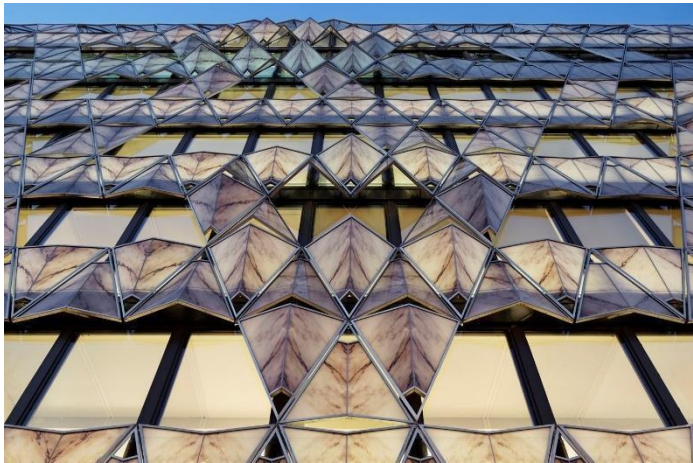
2.2. Kineetiline arhitektuur

Kineetilise arhitektuuri näidetele tuginedes on tähelepanu all hoonete fassaadid, mis reageerivad päikesekiirgusele ja valguse liikumise suunale. Näitena Abu Dhabi Investment Council (ADIC) hoone (joonis 2-2), kus fassaadi moodulid avanevad ja sulguvad vastavalt päikese intensiivsusele. See võimaldab parandada ühest küljest hoonete sisekliimat ning samas vähendada ka olulisel määral energiatarbimist hoone siseõhu jahutamiseks.



Joonis 2-2 Abu Dhabi Investment Council
Allikas: www.inhabitat.com

Teise näitena arhitekt Manuelle Gautrand'i büroohoone Pariisis (joonis 2-3) põhineb origami kujundil „avatud raamat“ (*open-book* ingl. keeles). Topeltsein fassaadil tagab privaatsuse ning filtreerib päevavalgust, millega luuakse pehme sisemine atmosfäär.



Joonis 2-3 Manuelle Gautrand'i büroohoone Pariisis
Allikas: www.archdaily.com

Seega aitavad kineetilises arhitektuuris kasutatavad origami tehnikal põhinevad struktuurid oma liikumisest tuleneva pinna suurenemise ja vähenemisega just ehitise siseatmosfääri parandamisele. Sellest lähtuvalt on välja kasvanud idee rakendada käesolevas magistritöös origami tehnikat ja moodulite liikumist interjöörü suunatud kineetilise seinapaneeli loomisel.

Kui kineetilise kunsti kui uue kunstiiligi algusaastatel oldi vaimustuses staatilise skulptuuri liikumapanemisest, siis käesolevas töös on keskendutud staatilise mürapaneeli edasiarendamisele pannes tekstiili mootorite abil liikuma, saades inspiratsiooni kineetilisest arhitektuurist, tuginedes näidetele, kus liikumisel on sisekliimat parandav ülesanne.

3. Mürale reageeriv kineetiline tekstiil ruumis „Märka müra”

Kõik eelnev – nii teoreetiline taust mürast ja kineetilistest objektidest on aluseks valmiva kineetilise tekstiilpaneeli loomisel. Inspireerivad autoriteosed koos neis sisalduvate sõnumitega on oluliseks osaks selle loomeuurimusliku projekti idee arenemisel.

Kui interjöörides kasutatavad mürapaneelid ja helisummutavad materjalid on oma funktsionaalsusest loodud automaatselt müra ja heli reguleerima ilma, et inimene seda ise tähele paneks, siis autori eesmärk on panna inimest eelkõige just märkama ruumi müra.

3.1. Materjal

Kui varasemalt olid tekstiilid naturaalsest kiududest, siis tööstusrevolutsioon tõi endaga muudatused kaasa ka interjööritekstiilidesse, kus domineerisid sünteetilised materjalid. Seevastu viimasel kümnendil on märgata taas olulist naturaalse materjalide esilekerkimist ka interjööris.

Materjali valikul on lähtutud eelkõige põhimõttest, et tegemist oleks keskkonna seisukohalt loodusliku ning taastuva monomaterjaliga. Monomaterjaliks nimetatakse materjali, mis koosneb vaid ühte tüüpi materjalikiust⁴¹. Monomaterjali eeliseks on eelkõige juba kasutatud materjalid ümber töödeldes uuesti ringlusesse suunata ning kasutusele võtta. Kineetilise teose loomisel on valiku tegemiseks olulised näitajad ka selle materjali tihedus, volditavus, vastupidavus ning kuna teos on varustatud ka elektroonikakomponentide ja vooluga, siis ei tohi materjal olla kergesti süttiv. Akustilistest omadustest lähtudes on naturaalsest kiududest materjalidel ka võrrelduna teiste poorsete materjalidega hea helineeldumise koefitsient keskmistel ja kõrgetel sagedustel.⁴² (Keskmise sageduse ehk kesksagedusheliks on vahemik 500–2000Hz ning kõrgsagedusheli vahemikuks 2000Hz ja sellest suurem sagedus)

Tööstuslik villane vilt, kui tööstuslikult villakiust nõelviltimise teel saadud tihe materjal, on poorse pinnaga ning seetõttu on hästi sobiv helineelavaks pinnaks interjööris. Lisaks on villal ka muid füüsikalisi-keemilisi omadusi, mis väärindavad seda materjali, muutes selle interjööris soositavaks.

⁴¹ Designskolen Kolding / Design School, Mono-Material, <https://sustainabledesigncards.dk/mono-material/> (vaadatud 19. V 2020).

⁴² U. Berardi, G. Iannace, Acoustic characterization of natural fibers for sound absorption applications, Building and Environment 2015, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S036013231530007X?via%3Dihub> (vaadatud 19. V 2020).

Villane vilt

Villane vilt on jätkusuutlik ja naturaalne materjal, täielikult biolagunev, looduslikult tulekindel ning isekustuv.⁴³ Vilt on omadustelt ka hingav ja õhuniiskust reguleeriv, ning hea soojus ja heliisolaator.⁴⁴

Neid villasele vildi omadused on koondanud oma 2017. aasta magistritöösse põhjalikult ka Katrin Kabun, kus on põhjendatud need kasutlikud omadused villakiu keerukast rakulisest struktuurist tulenevalt⁴⁵.

Olles mittehargneva lõikeservaga ei vaja materjal 3D kujundite loomiseks ka täiendavat viimistlust. Kvaliteetse vildi puhul on kalibreeritud⁴⁶ ka vildi paksus ja tihedus, tagades seeläbi materjali kõrge kvaliteedi. Mürasummutavat omadust mõjutab eelkõige vildi paksus ja selle tihedus.

Prototüübis on kasutatud Saksa ettevõtte Moll & Kühnsche Filzfabrik vilti, mille tehniline kirjeldus on kajastatud magistritöö lisas 1.

3.2. Vorm

Vormi otsingutel on käesoleva töö raames eelistatud füüsilist mudeldamist. Origami kui tehnikat on nimetatud käe ja meele kööstöö viljaks. Origami ise tuleneb jaapanikeelsetest sõnadest *ori* (voltima, murdma) ja *gami* (*kami*–paber) ning pärineb juba üle 400 aasta tagusest ajast. Algselt oli see paberikunst. Esimene origamiõpetustega raamat ilmus juba 1797.

Kui enamikele seostub origami paberist lindude ja loomade voltimisega, siis tänapäeval kasutatakse origamil põhinevat konstrueerimist väga mitmetel aladel. Nii arhitektuuris (joonised 2-2 ja 2-3), kosmosetehnoloogias kui ka meditsiinis. Inseneriteaduses leiab origami palju kasutust, kuna annab võimaluse vormida siledapinnalisest materjalist voltimist kasutades 3D pindu. Samuti loob see võimaluse vähendada või suurendada objekti mõõtmeid, võttes arvesse ka materjali paindlikkust konkreetsete liikumiste loomiseks. Seega eeldab keerukamate kineetiliste tekstiilide loomine teadmisi nii matemaatikast, füüsikast kui ka modelleerimisest.

Origami mille aluseks on vaid tühi valge leht ning millest on võimalik vormida erinevaid kujundeid vaid sõrmi kasutades võimaldab seda kõike luua jääkideta. Kasutades origami tekstiilidisainis, annab ka see luua võimaluse liikuda seda tehnikat praktiseerides jääkideta tootmise suunal.

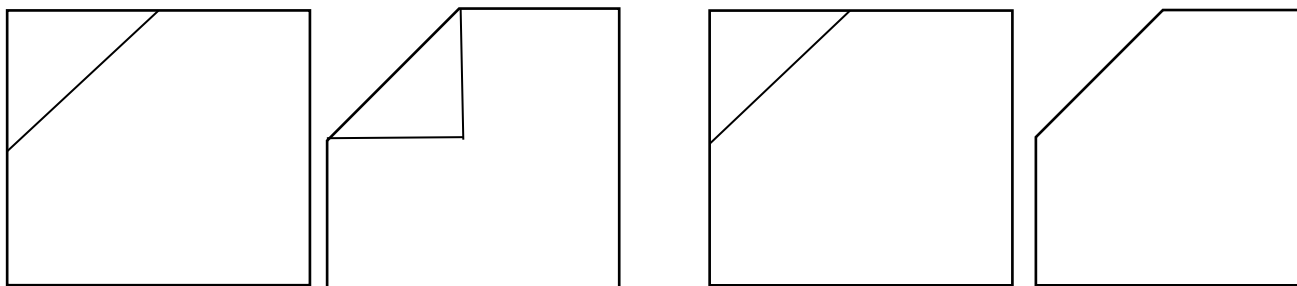
⁴³ Tyler Adams. Sound materials, lk 64.

⁴⁴ Tuul ja kodu OÜ <https://www.tuuljakodu.ee/> (vaadatud 13. I 2020).

⁴⁵ Katrin Kabun, Jääkvill. Kasutamata ressursist interjööri lahenduseni, Tallinn: Eesti Kunstiakadeemia 2017.

⁴⁶ Tuul ja kodu OÜ <https://www.tuuljakodu.ee/> (vaadatud 13. I 2020).

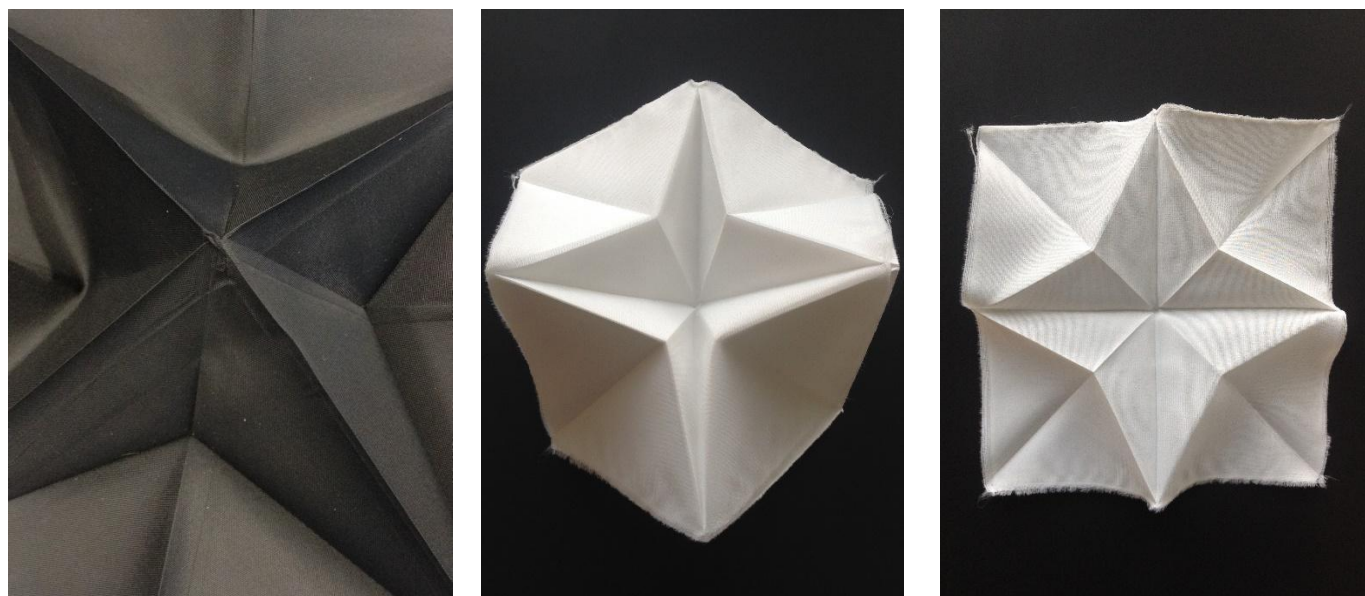
Origamist kasutatakse voltmise juures kahte voltimisjoont “org” ja “mägi”, kus mägi on tipuga ülespoole olev ning org allapoole suunatud volt (joonis 3-1).



Joonis 3-1 “Org” ja “mägi” voltimisjooned

Allikas: Paul Jackson 2014 *Cut and Fold Techniques for Pop-Up Designs*

Keerukamate origami kujundite loomisel on tihti vajalik ühte murdejoont murda üle mitmeid kordi. Kui seda teha paberil, voltides joont kord “mägi” ning kord “org” asendisse, siis paberi täpsel voltimisel jääb joon endiselt konkreetseks. Kui aga praktiseerida seda tekstiilmaterjalil, kasutades selleks kuum või aurutöötlust, siis muutub joon kohati mitmekordseks. Esimeste katsetuste käigus valminud polüesterkangast origami tehnikas loodud kujundi (joonis 3-2) põhjal võib järeldada, et tekstiilse vormi voltimisjoonte konkreetse eelduseks on materjali ühekordne kokkupressimine ilma korduvate voltimisteta. See on saavutatav vaid juhul, kui kujutis on kokkuvolditavana kahemõõtmeline ning voltimine saab toimuda vaid ühekordselt kujundit muutmata selleks, et tagada vormimisel murdejoonte konkreetsus.



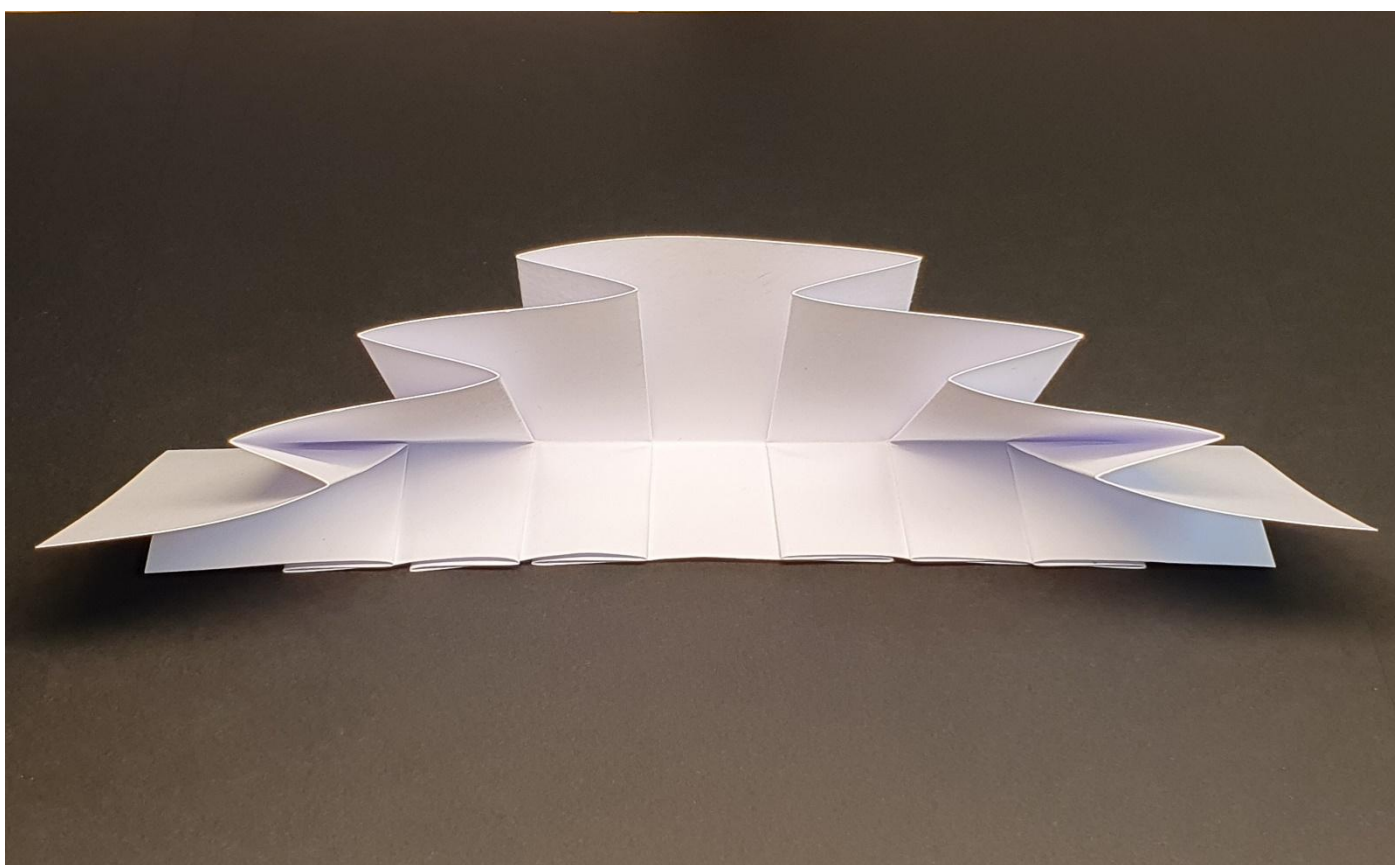
Joonis 3-2 Polüesterkangast vormikatsetused origami tehnikas

Allikas: Kibbermann 2018

Paberil on vorm voltimise murdesammu ja voldi pikkuse õige suhte korral kergesti saavutatav, kuid sama tekstiilmaterjalil katsetades on see raskendatud. Mõjutajaks eelkõige materjali paksus ning sellest tulenev

tugeva murdejoone tekitamise keerulisus. Rõivatekstiilis kasutatakse priseerimistehnika puhul paberlõigete tehnikat ⁴⁷, mille abil saavutatakse plisseeritud pind. Samas ei kasutata rõivatekstiilis paksu kangast ning mitmekorseid voltimisi. Rõivatekstiilis moodustab plisseritud pinna enamasti lihtne lõõtsana kokku volditud pind. Kui volditav pind on tihedate sammudega, siis paksemal materjalil on paberlõike vahele materjali voltimine, siis viltmaterjali puhul tema paksusest ja tihedusest seda tehnikat kasutada ei saa.

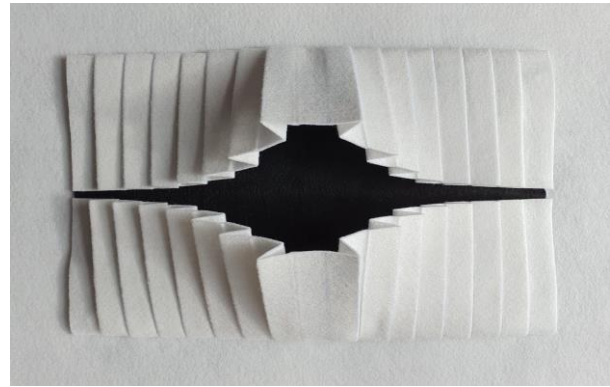
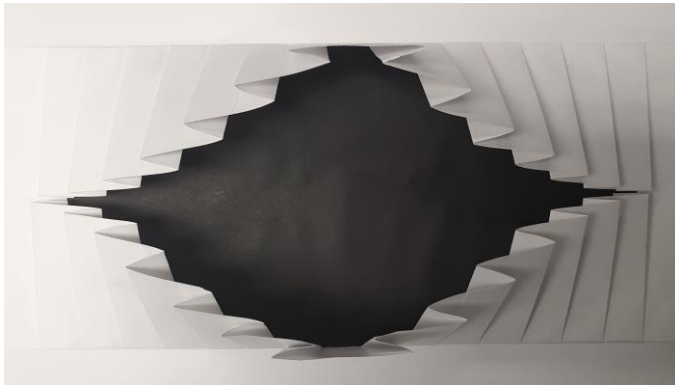
Vormiotsingutel sai määravaks elementide liikumisest tulenevate eripäradega arvestamine nagu volditavus, vormi säilitamine, korduvate voltimiste vältimine kujundi saavutamiseks. Origami motiiv nimega „*Knife Pleat*“ (joonis 3-3) võimaldab oma volditud kujust tulenevalt lihtsalt avatud–suletud positsiooni liikuda ning moodustab kokkuvoldituna kahedimensionaalse pinna.



Joonis 3-3 Origami kujund "Knife Pleat" paberil
Allikas: Kibbermann 2020

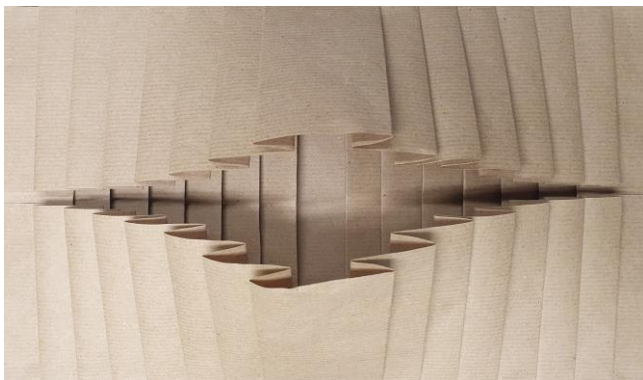
Esimeste prototüübi katsetustega (joonis 3-4) oli kasutusel 2mm paksune sünteetiline vilt. Moodul koosnes kolmest osast – kaks volditud moodulit, mis olid kinnitatud mooduli põhjas asuva 5mm paksuse vildi alla.

⁴⁷ Tallinna Tehnikakõrgkooli varamu. Digitaalsete õppimist ja õpetamist toetavate ressursside kogum. Kangaste ettevalmistavad ja esteetilised viimistlused. <http://eprints.tktk.ee/264/2/oo1/plisseerimine.html> (vaadatud 12. VI 2020).



Joonis 3-4 Kolmeosalise mooduliga prototüüp

Võttes arvesse vajadust luua moodulite abil võimalikult soodne pind parema suuremaks heli neeldumiseks, kujunes välja lahendus, millega volditi moodul ühes tükis, moodustades pinna sisemusse mitmekihilise tekstuurse pinna (joonis 3-5).



Joonis 3-5 Suurema struktuurse pinnaga prototüübi lahendus

Et võimaldada käsitsi materjali täpne vormitavus, on kasutatud moodulite loomisel kõige õhemat 1mm paksust villast dekoorvilti (joonis 3-6).



Joonis 3-6 Lõpliku materjalivaliku katsetus

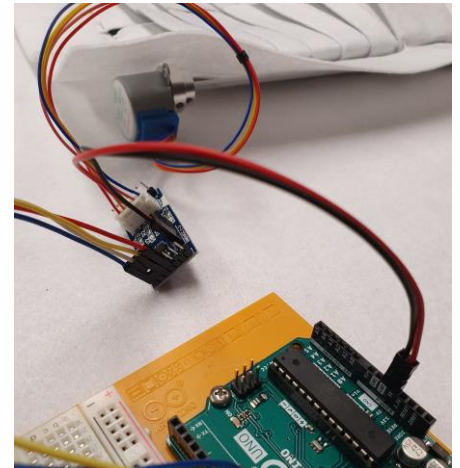
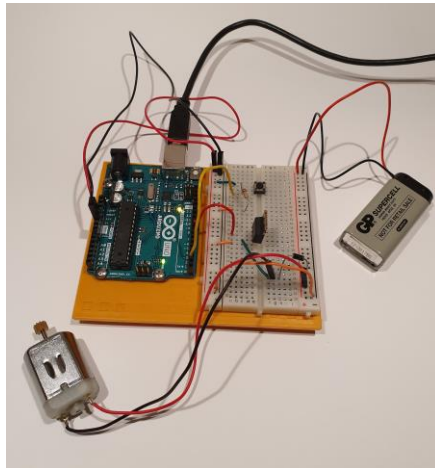
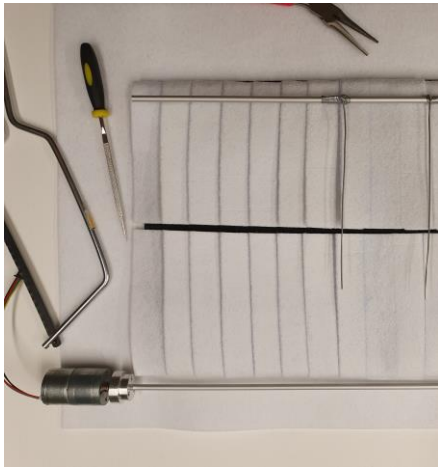
Saadud kogemusele tuginedes on arengusuunana võimalik liikuda ka paksemate materjalide viltide juurde ning katsetada materjali murdekohtade tekitamiseks edaspidi laserlõikuse tehnikat.

3.3. Tehnoloogia

Tekstiilile liikuvuse andmiseks on esimene valik Arduino arenduskeskkond, mida peetakse oma lihtsusest ja kasutajasõbralikkusest tulenevalt sobivaks nii algajatele kui ka edasijõudnutele elektroonika prototüüpimiseks. Selleks on 2005. aastast alates arendatud avatud lähtekoodiga platvormi Arduino, mis on oma olemuselt mikrokontroller platvorm. Selle eeliseks on hästi toimiv kasutajatugi ning hulgaliselt näidisprojekte. Samas edasijõudnutel on võimalus muuta ja kombineerida erinevaid valmis programmikode. Lisaks on Arduinol suures valikus sellega ühilduvaid erinevaid arendusplaate, sensoreid ja muid lisakomponente. Antud juhul on magistritöö oluliseimateks elektroonikakomponentideks mootor ja müra sensor.

Mootor

Käesoleva töö raames on katsetatud kõiki kolme tüüpi Arduino prototüüpimisel kasutatavat mootorit: alalisvoolumootor ehk DC, servomootor ehk RC ning samm-mootor (joonis 3-7):



*Joonis 3-7 DC, RC ja samm-mootori katsetused
Allikas: Kibbermann 2019*

Olulisteks kriteeriumiteks teosele sobiva mootori valiku tegemisel on mootori vaikne liikumine, täpne liikumise kontrollitavus, reageerimiskiirus, pikk tööiga, vähene voolutarbimine ning minimaalne mootori kuumenemine. Kuna paneeli ülesanne on reageerida mürale ning seda vähendada, siis on tingimuseks mootorite enda vaikne töötamine. Tulenevalt kineetilise tekstiilpaneeli moodulite võimalikest liikumissuundadest on vajalik mootorite liikumise täpne kontrollitavus, et tagada nende ühtlane liikumine ning vältida vales asendist tulenevaid võimalikke kõrvalekaldeid, mis võivad põhjustada moodulite purunemist või mootorite ülepinget.

Alalisvoolumootori ehk DC eelisteks (nimetatakse ka harjasteta mootoriks) on tema väikesed mõõtmed, suur võimsus ja madal hind. Selle ühesuunaliseks liikumiseks on vaja vaid lülitust. Kuid kui mootoril tuleb liikuda mõlemas suunas, siis tuleb lisakomponendina kasutusele võtta H-silla nimeline elektriskeem (koos sinna juurde kuuluva elektroonikaga nimetatakse seda mootorikontrolleriks või mootorite juhtmooduliks mille abil saab muuta ka harjadeta mootori pöörlemiskiirust.⁴⁸ DC mootor on küll vaikne, neil on lihtne ehitus ja juhtimine, kuid pöörlemiskiirus ei ole nii täpne ja juhtsignaaliga kontrollitav.

Servomootor ehk RC servo on erinevate pöördekraadidega mootor, mis tähendab, et mootor saab liikuda mõlemas suunas. Servomootori tööpõhimõte seisneb edasi-tagasi liikumisel, kus peale signaali saamist liigub see kindlasse asendisse ning kui signaal katkeb, läheb ta tagasi oma algasendisse. Servo mootori eeliseks on see, et ta ei kasuta voolu ootepositsioonil kuid tema liikumine ei ole nii vaikne ning servomootor kui kiirus on üle 2000 rpm.

Samm-mootor nagu selle nimigi ütleb, pöörleb sammude kaupa. Erinevalt servomootorist, puudub samm-mootoril algasend (tasakaalupositsioon), kuid kuna samm-mootor võimaldab määrata kiirust ning distantssi, siis on kindlaks määratud asukohta liikumine märgatavalt täpsem. Võrreldes servomootoriga on nad

⁴⁸ Raivo Sell, Kaupo Raid, Arduino projektid alustajale, Tallinn: Robolabor.ee kirjastus, 2017, lk 45.

suurema voolutarbimisega ning raskemini juhitavad.⁴⁹ Samm-mootoreid kasutatakse eelkõige täpsust nõudvates rakendustes, näiteks 3d printerites. Kui aga samm-mootor ei pöörle, tekib mehaaniline ülekoormus kuna rootor ei pöörle, liikumise sammud on häiritud ning liikumine muutub ebatäpseks.⁵⁰ Võrreldes samm-mootorit ja servomootorit, siis samm-mootor on sobilik projektidele, mille kiirus jääb madalamale kui 2000rpm, Kui käivitada mootor nn 0 positsioonil ning katkestada selle tegevus suvalisel hetkel ning seejärel käivitada see uuesti, ei alusta mootor 0 positsioonilt vaid sealt, kus liikumine katkestati. Võttes aluseks käesoleva töö raames valmiva tekstiilpaneeli suurust, on vaja igale moodulile 2 mootorit, mis 12 mooduli kohta teeb 24 mootorit.

Lõpliku mootorite valiku osas toimus ka konsultatsioon Aleksandr Albaga (Dormikor OÜ, Robotika ja 3D printimise projektijuht), mille käigus tutvustati projekti ning kaaluti võimalikke lahendusi. Võttes arvesse nende kolme mootori eripärasid, tööks vajaminevat mootorite arvu ja töö iseloomu, jõuti otsuseni kasutada antud projektis samm-mootoreid.

Käesolevas töös on kineetilise tekstiili avanevate paneelide liikumine kujust ja paneeli disainist tingituna võimaline liikuma kuni 90°. Kuna signaali või voolu katkedes ei liigu elemendid algpositsiooni tagasi ning taaskäivitudes jätkab mootor liikumist poolelijäänud asendist, eeldab see hoobade algpositsioonile seadmist käsitsi. Positiivseks on selle mootori puhul pikk eluiga kuna mootor arendab ise hoidemomenti ning puudub mehaanilise piduri vajadus.⁵¹ Samm-mootorit peetakse üheks lihtsamaks. Ohuna on nimetatud, et tulenevalt positsiooni hoidmisest mingil ooterežiimil kui liikumine peatub, võib mootori temperatuur tõusta.

Lisaks mootoritele on mürale reageeriva paneeli üheks olulisemaks osaks moodul, mis mõõdaks ruumi mürataset.

Mürataseme mõõtur

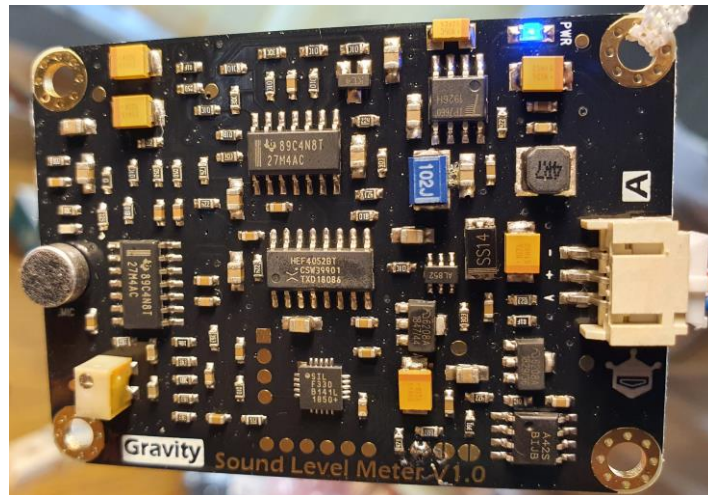
Arduinoga ühilduvaid komponente, millega oleks võimalik mõõta mürataset ruumis, on mitmeid. Lähemal vaatlusel selgus, et enamus sensoreid mõõdavad mürataset ning väljendavad neid Arduino programmis arvudena, mis vajavad detsibellidesse konverteerimist. Erinevaid komponente võrreldes leiti lahendus *Analog Sound Level Meter SKU:SEN0232* (joonis 3-8) toote näol, mis väljastab mõõtmistulemused programmi juba detsibellides. Toote spetsifikatsioonis⁵² on märges tehasepoolse kalibreerimise kohta, mis tagab mõõtmiste täpsed tulemused ning seda vahemikus 30dB-130dB.

⁴⁹ Alo Peets, Arduino roboti ehitamine <https://docplayer.net/60977332-Arduino-roboti-ehitamine.html>, lk 26 (vaadatud 24. I 2020).

⁵⁰ Robolabor, Samm-mootor, <https://home.roboticlab.eu/et/examples/motor/stepper> (vaadatud 24. I 2020).

⁵¹ Samm-mootoriga ajamid http://www.ene.ttu.ee/elektrijamid/oppeinfo/materjal/AAV0040/Samm-mootoriga_ajamid.pdf (vaadatud 24. I 2020).

⁵² DF Robot Drive the Future <https://wiki.dfrobot.com> (Vaadatud 06. I 2020).

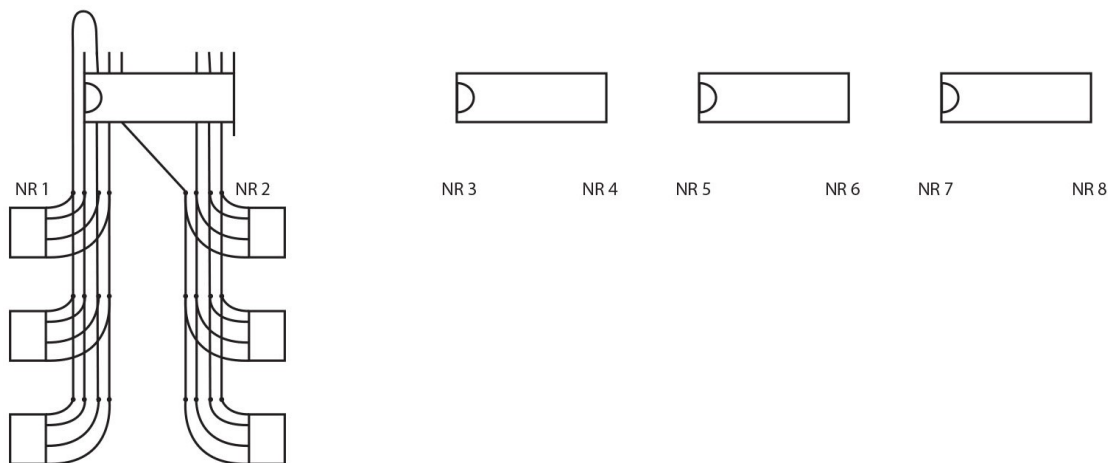


*Joonis 3-8 Müramõõtur
Allikas: Kibbermann 2020*

Mootorite juhtimine

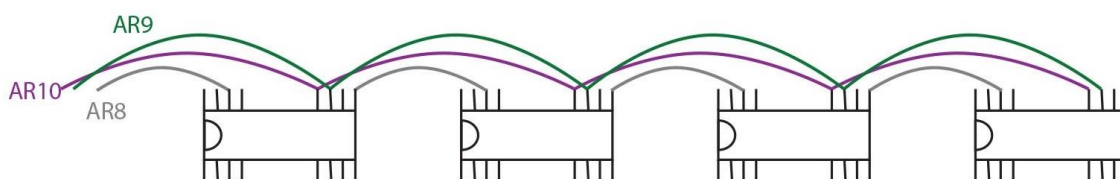
Elektroonika ja tekstiili ühendamisel on oluline osa voolul ja selle ühendamisel, mis projekti alustades tundusid olevat teostatavad, kui kasutada Arduino avatud platvormi näiteid ja koodiramatukogu. Tulenevalt soovist viia läbi ka akustikalaboris vajalikud mõõtmised, tehti ettekirjutus testitava objekti suuruse osas, mis osutus oluliselt suuremaks algselt planeeritust. Sellega kaasnes aga ka oluliselt vajaminevate elektroonikakomponentide hulk, mis omakorda tõi kaasa programmikoodi keerukuse ning vajaduse kasutada ka kõrvalist abi (Anna Jõgi, EKA külalisõppejõud) programmeerimisel ja elektroonika lahenduse väljatöötamisel.

Mootorite arvust tulenevalt on kasutatud süsteemi üles ehitamiseks Arduino Uno mikrokontrollerit ning 24 samm-mootorit, kus iga samm-mootor on ühendatud mootori draiveriga. Sellise arvu mootorite juures on lahenduseks nihkeregistrite kasutamine, kus mootorid on jaotatud 4 nihkeregistri vahel. Igale nihkeregistrile on kinnitatud 6 mootori draiverist tulevat ühendusjuhet (joonis 3-9).

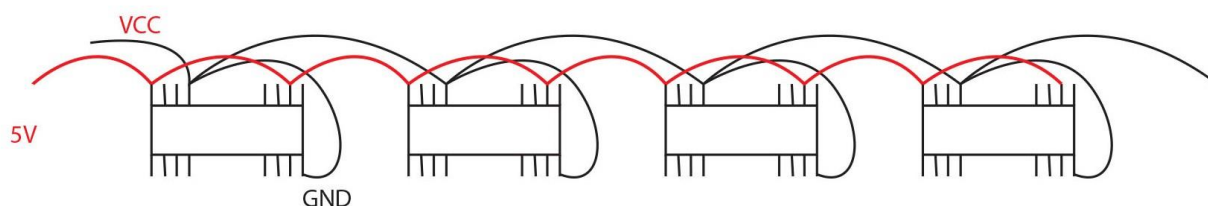


Joonis 3-9 Mootori kontrollrite ühendamine nihkeregistriga (Kibbermann 2020)

Nihkeregistrid koos draiveritest tulevate juhtmetega on omakorda viidud kokku makettplaadile, mille külge tulevad ühendused ka Arduino mikrokontrollerist (joonised 3-10 ja 3-11).



Joonis 3-10 Ühendused Arduinoga ja nihkeregistrite vahel (Kibbermann 2020)



Joonis 3-11 Toitepinge juhtmete ühendamine (Kibbermann 2020)

Lisaks on ühendatud relee moodul, mille ülesandeks on reguleerida süsteemi käivitamist selliselt, et esmalt käivitatakse Arduino ning alles seejärel, kui Arduino on koodi süsteemile edastanud, käivituvad ka mootorid. Kogu süsteemi voolutarve on lahendatud adapteriga, mille võimsuseks on 7,5V.

Kineetilise tekstiilpaneeli moodulite liikumiseks on välja töötatud süsteem, kus müratasemel kuni 80dB liiguvad moodulite tiivad aeglaselt lainelises rütmis 8 erinevas grupis, et luua visuaalselt lainetav pinnastruktuur mis imiteerib helilainete liikumist (joonis 3-12).



Joonis 3-12 Moodulite liikumise süsteem
Allikas: Kibbermann 2020

Mürataseme tõustes sulgevad moodulid oma tiivad, et fikseerida kõigil moodulitel ühine positsioon ning alustavad seejärel üheaegselt avamist ja sulgumist sünkroonis, moodustades pulseeriva pinna.

Tulenevalt EV seadusest „Müra normtasemed elu- ja puhkealal, elamutes ning ühiskasutusega hoonetes ja mürataseme mõõtmise meetodid”⁵³ on kehtestatud siseruumi mürataseme piirnormiks 80dB. Sellest tulenevalt on seadistatud paneel reageerima pulseeriva pinnana, kui müratase ruumis ületab lubatud suuruse.

3.4. Prototüüp “Märka müra”

Raamistiku kandekonstruktsiooniks (joonis 3-13) on valitud naturaalne puit, mille elemendid on omavahel ühendatud metallkinnitustega. Esimese villakihina on kinnitatud raamile 5 mm paksune villane vilt ning seejärel on kogu raam väliselt vooderdatud 1 mm paksuse vildiga. Tulenevalt mooritega ühendatud varrastele kinnitatud hoobade üleschitusest ja funktsioonist on eemaldatud paksema vildi pinnalt see osa vildist, mis jääb mootorit ühendavate hoobade alla, et tagada tekstiili liigutavate hoobade parem liikumine. Täiendavalt on samast paksemast materjalist konstruktsioonile lisatud ka paneeli tagust kattev nõ kaas, mille

⁵³ E Müra normtasemed elu- ja puhkealal, elamutes ning ühiskasutusega hoonetes ja mürataseme mõõtmise meetodid, 2002 – Riigi Teataja, <https://www.riigiteataja.ee/akt/108022017004> (vaadatud 20. I 2020).

eesmärgiks on suurendada paneeli kihilisust saavutamaks paremaid helisummutamise tulemusi ning teisalt aitab see vaigistada ka paneelile kinnitatud mootorite tööst tulenevaid helisid.



Joonis 3-13 Prototüübi konstruktsioon
Allikas: Kibbermann 2020

Mootorite ning nendest väljuvate varraste kinnitamiseks raamile puudus valmislahendus ning vajalike komponentide saamiseks kasutati 3D printeri abil prinditud detaile. Prinditavad elemendid (joonis 3-14) olid:

- paneeli äärmiste üksiseisvate mootorite kinnitused;
- keskmiste paarismootorite kinnitused;
- mootorist väljuva hoova ja sellele kinnituva varda ühenduselement;
- teiselpool mootorit olev varrast ja konstruktsioonipaneeli ühendav lüli.



Joonis 3-14 3D prinditud mootorite kinnituselemendid (Kibbermann 2020)

Käesoleva protsessi tulemusena valminud tekstiilpaneelid moodustuvad kahest eraldiseisvast 1m2s suurusest paneelist (joonised 3-15 ja 3-16)



*Joonis 3-15 Paneeli lähivaade
Foto: Kadi Kibbermann*



*Joonis 3-16 Paneel "Märka müra"
Foto: Kadi Kibbermann*

3.5. Testimine laboris

Heli neeldumise koefitsiendi mõõtmise eesmärgiks on saada vastus küsimusele, kas ja kui palju mõjutavad prototüübi disainist tulenevalt selle positsiooni muutvad tekstiilmoodulid ruumi mürataset. Testi läbiviimiseks viiakse läbi mõõtmised akustikalabori kajaruumis, võrreldes selleks objekti kahte asendit - moodulite suletud ja avatud olekut.

Helineelduvuse taset on võimalik laboritingimustes mõõta nii kajaruumis kui torukatse meetodil. Torukatse põhjal saab tulemused, mis arvestavad vaid risti suunas materjalile, mitte erinevate nurkade alt langeva heli neeldumist. Selleks, et saada tulemused heli neeldumise osas erinevate nurkade alt, ei piisa vaid materjalipõhisest torukatsest. Seda enam, et antud projekti puhul on tegemist volditud paneeliga, mida on keeruline üle kanda toru mõtmetele vastava 10x10 cm suurusele testmaterjali tükile volditud miniatuurse kujundina.

Katse ettevalmistavas faasis toimus prototüübi tutvustamine ja konsultatsioon Tallinna Tehnikaülikoolis akustikalabori teaduri Fabio Auriemmaga. Selleks, et mõõtmistulemused oleksid võimalikult täpsed, seati tingimuseks valmistada mõõdetavad paneelid minimaalse suurusega 2m².

Mõõtmine on läbi viidud Tallinna Tehnikaülikooli Mehhaanika ja tööstustehnika instituudi akustikalaboris prof. Jüri Lavrentjevi poolt. Testimise faasis olid tekstiilpaneelid ilma elektroonikata.

Mõõtmise läbiviimiseks on vajalik paneelide asetus põrandale selliselt, et nad ei oleks paralleelsed ega täpselt diagonaalis ruumi seinte suhtes. Kajaruumi meetodile läbiviidud mõõtmised on viidud läbi vahemikus 100–5000Hz. Protsessi käigus toimusid mõõtmised kolmes etapis:

- Objekt ruumis suletud moodulitega (joonis 3-17)
- Objekt ruumis avatud moodulitega (joonis 3-18)
- Ruumi enda müratase ilma objektideta

Vaatamata sellele, et tegemist on spetsiaalse ruumiga, on vajalik iga katse puhul täiendavalt mõõta ruumi müratset ka ilma testobjektideta, mida mõjutavad lisaks ruumi enda müratasemele veel ka nii õhuniiskus kui temperatuur, mis lõpptulemustes arvestamata jätmise korral võivad avaldada mõju täpsete mõõtmistulemuste saamiseks.

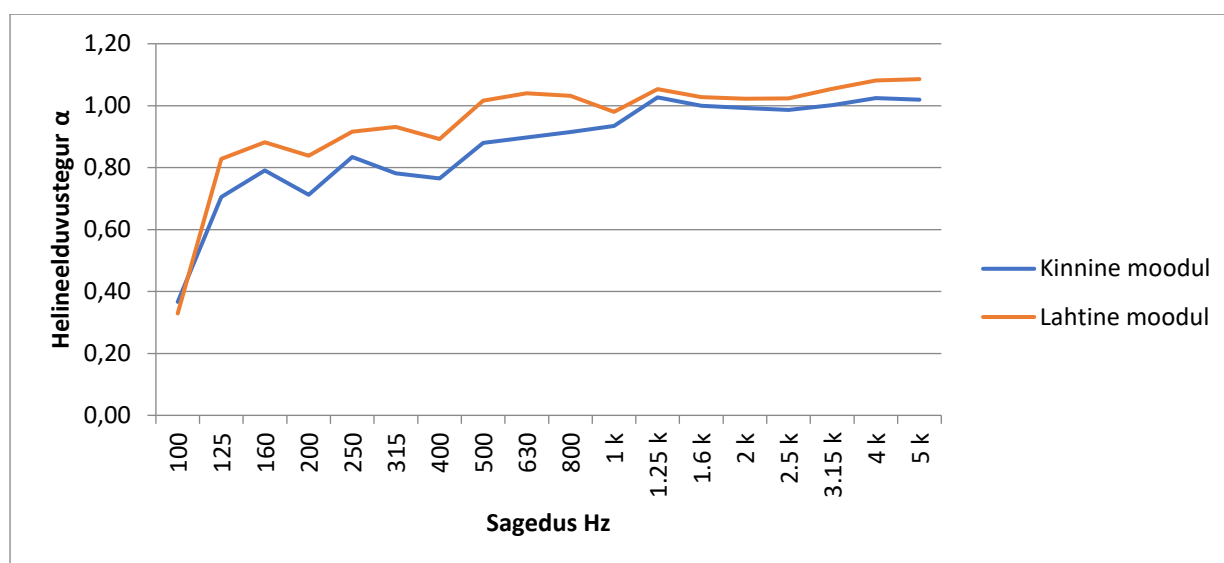


Joonis 3-17 Mõõtmise akustikalaboris suletud moodulitega
Allikas: Kibbermann 2020



Joonis 3-18 Mõõtmise akustikalaboris avatud moodulitega
Allikas: Kibbermann 2020

Kui esimesed mõõtmised 100Hz juures näitasid avatud moodulitega madalamat helineelduvust, vastavalt suletuna 0,37Hz ja avatuna 0,33Hz, siis juba 125Hz juures registreeriti kõrgem koefitsient kui suletud asendis. Kõige paremini tuleb erinevus esile just sageduse vahemikus 125–800Hz (joonis 3-19).



Joonis 3-19 Kineetilise tekstiilpaneeli helineelduvustegur
Allikas: Kibbermann 2020

Kui võtta aluseks ka alajaotuses 1.3 esitatud NRC, kui helineelduvusteguri arvutamise alused siis kineetilise tekstiilpaneeli NRC väärtusteks on vastavalt suletud moodulitega 2,9 ning avatud moodulitega 3,17 (Tabel 3-1)

Tabel 3-1 Kineetilise teose NRC väärtused

	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	NRP
Kinnine moodul	0,83	0,88	0,93	0,99	2,90
Avatud moodul	0,92	1,02	0,98	1,02	3,17

Mõõtmistulemustes on näha, et teatud sagedustel on helineelduvuse koefitsiendi väärtus suurem kui 1. Väärtus 1 tähendab, et materjal neelab heli 100%. Üldjuhul on mõõtmistulemustes suurem kui 1 väärtuse põhjuseks materjali/paneeli pindala arvutusvalemite. Selle suuruse arvutamiseks kasutatakse standardit EVS-EN ISO 354:2003. Selleks, et mõõtmistulemused oleksid võimalikult täpsed, peab mõõdetava objekti külgede suhe olema 7:10. See tähendab, et kui paneeli ühe külje pikkus on 1m, siis teise külje pikkuseks peaks olema 0,7m (Prof Jüri Lavrentjev 18.06.2020). Seega oleks pidanud käesoleva paneeli mõõtmed olema 2x1,4m, mille sisse oleks arvestatud ka paneeli sügavus. Kuna mõõtmiseks oli ette valmistatud paneel mõõtmetega 2x1m, millele lisandus veel paneeli kõrgus, siis ei ole paneel standardses mõõdus. See põhjendab ka tulemustes väärtused üle 1.

See kinnitab ka uurimisprobleemi lahendamist vähendades ruumi mürataset kineetilise tekstiili abil.

Tulenevalt alajaotuses 3.4 välja toodud vajadusest eemaldada paneeli sisemusest osaliselt viltmaterjali, on soov sooritada edaspidi ka mõõtmistulemused, mis näitaksid selle tegevuse mõju paneeli mürasummutavatele omadustele.

3.6. Elektroonika tekstiiliga sidumise keskkonnamõjud

Tänapäeval keskkonnast rääkides esikohal jätkusuutlikkus ja keskkonnasõbralikkus. Need terminid ei ole vaid viimaste aastakümnete märksõnaks. Selle suunaga tegi algust juba eelmise sajandi 1920-ndatel Richard Buckminster Fuller, kes oli juba sellel ajal pühendunud jätkusuutliku ühiskonna loomisele.

Keskkonnaaktivistina oli ta siis juba teadlik Maa piiratud ressurssidest ning nimetas seda „ephemeralizatioin“ mida defineeriti kui „teeme rohkem vähemaga“.

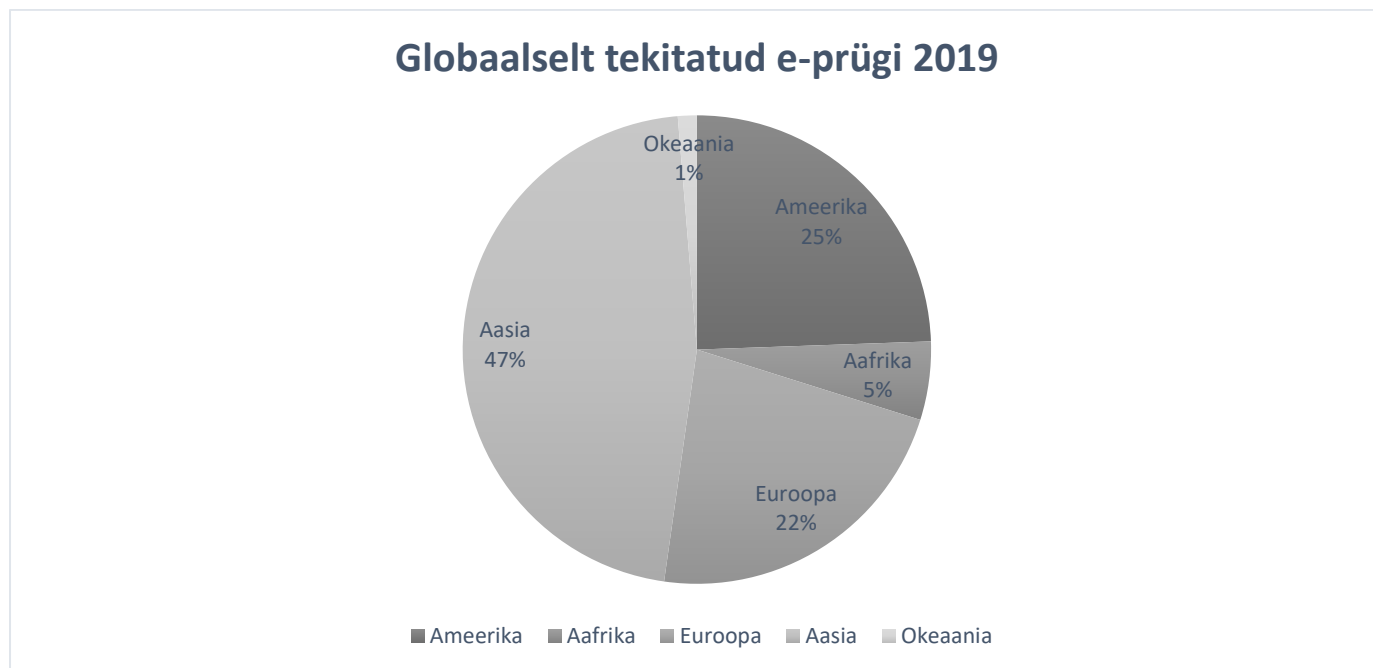
Keskkonnavalaselt on tekstiilimaailmas tänasel päeval põhiprobleemiks kujunenud tekstiiliprügi selle ümbertöötlemine kuna siiani ei ole leitud lahendust materjalide ümbertöötlemiseks, mille koostises on erinevat liiki kiud, pinnatöötled (kui materjali pinnale on keemiliselt lisatud aineid, mis muudavad selle veekindlaks, tulekindlaks, mustust hülgavaks, antibakteriaalseks) ja muud lisakomponendid. Nutitekstiilide loomisel toimub üldjuhul erinevate materjalide sidumine jäädavalt, st toote eluea lõppedes ei ole võimalik selles sisalduvaid komponente üksteisest eraldada ning jäägiti ümbertöötlemise eesmärgil koguda. Ka nutitekstiilide osas puuduvad hetkel regulatsioonid, mis aitaksid kaasa selles sisalduvate komponentide eraldamise ja ringlusesse suunamise kohustamisele. Sellest tulenevalt on oluline võtta seda teadmist arvesse iga uue nutitekstiili loomisel.

Ühinenud Rahvaste Organisatsioon (edaspidi ÜRO) avaldas käesoleval aastal raporti, kus toodi välja elektrooniliste jäätmete pidev kasvutrend. Elektri- ja elektrooniliste seadmete prügi (*Waste Electrical and Electronic Equipment*, tuntud lühendina WEEE) ehk e-prügi alla kuuluvad lisaks igapäevasele majapidamises ja tööstuses kasutatavatele seadmetele ka transpordis, tervishoius ja turvasüsteemides, aga ka rõivastes ja mööblis sisalduvad komponendid, mis annavad üha enam oma panuse ka e-prügi tekkeks. Samuti IoT (*Internet of Things*), ehk asjade interneti valdkonnas, mille alla kuuluvad erinevate andurite ja sensoritega seadmed, mida kasutatakse nutikodudes. Sinna alla liigituvad ka kineetilises tekstiilis sisalduvad elektroonikaseadmed.

Nimetatud e-prügi maht oli 2019. aastal kogu maailmas 53,6 miljonit tonni ning uuesti ringlusesse suunati vaid 17,4%⁵⁴. Võrreldes eelmiste aastatega on olnud kasv ligi 20%. Vaadates raportis sisalduvat e-prügi

⁵⁴ Forti V., Baldé C.P., Kuehr R., Bel G, The Global E-waste Monitor 2020: Quantities, flows and the circular economy potential. United Nations University (UNU)/United Nations Institute for Training and Research (UNITAR) – co-hosted SCYCLE programme, International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA), Bonn/Geneva/Rotterdam <https://globalewaste.org> (vaadatud 03. IV 2020).

jaotust globaalselt (joonis 3-20) , siis juhtival positsioonil on Aasia piirkond, mis on ka mõistetav, arvestades aasia riikide elektroonikatööstuste arvu ning elektroonika tarbimist.



Joonis 3-20 Globaalne e-prügi maailmajagude lõikes 2019
Allikas: <http://ewastemonitor.info>

E-prügi kogumise ja ringlusesse võtmise näitaja on Aasias vaid 11,7%. Kui vaadata Euroopa näitajaid, siis on see protsent aga 42,5%. Oluline on kindlasti juhtida tähelepanu e-prügi kokku kogumisele ja ringlusesse võtmisele, sest Raporti prognoosi kohaselt nähakse ette 2030.aastaks juba 74,7Mt e-prügi. Positiivne on raportis näha Eesti suutlikkust probleemiga tegeleda, kus 2019 aastal oli e-prügi maht 17kt ja dokumenteeritud kogumist ja ringlusesse võtmist oli 13kt ulatuses, mis on veidi üle 76%.

Oluliseks mõjutajaks nimetatakse e-prügi kasvu juures tarbimise kasvu aga ka toodete lühikest eluiga ja vähest parandamise võimalust. Seega eelpool toodud andmed annavad veelkord kinnitust, kui oluline on elektroonikaga seotud tekstiilide puhul disainida toodet selliselt, et toote eluea lõppedes oleks võimalik elektroonikakomponendid tekstiilmaterjalist eraldada, võimaldamaks nende jõudmist kogumise ja ümbertöötlemise abil mujale kui prügimäele.

Võttes aluseks eelpool välja toodud keskkonnavalused probleemkohad, mis puudutavad ka käesoleva magistr töö käigus valminud teost, siis on oluline selle teose edasi arendamisel nendega arvestada selliselt, et keskkonnale tekkiv kahju oleks võimalikult väike.

Kokkuvõte

Loomepõhise magistritöö raames on valminud kineetiline tekstiilpaneel interjööri, mille eesmärgiks on panna ruumisviibijaid märkama müra, kui erinevate helide paljusust enda ümber. Juba aastakümneid on kasutatud erinevaid ruumi mürataseta mõjutavaid materjale ja lahendusi, mis küll aitavad kaasa ruumi vaigistamisele, kuid vaatamata sellele täheldatakse Maailma Tervishoiuorganisatsiooni andmetel pidevat müra taseme tõusu, millel on negatiivsed mõjud nii inimeste käitumisele kui tervisele.

Käesolev töö uuris müra seoseid tekstiiliga ning kuidas rakendada nutitekstiili võimalusi interjööris kineetilise tekstiili loomiseks müra vähendamise eesmärgil.

Magistritöö eesmärgiks oli disainobjekti loomine kineetilise tekstiilpaneelina uute teadmiste sünteesimise läbi. Valminud teos reageerib ruumi mürataseme muutusele, aitab seda märgata ning müra vähendada. Akustikalaboris teostatud mõõtmiste käigus sooviti teada saada, kas ja kui palju mõjutab tekstiili vormi muutumine müra taset ruumis. Selle tulemusena leiti, et materjali enda helineelduvaid omadusi aitab võimendada ka materjali vormi muutumine läbi liikumise.

Lisaks müraga seotud keskkonnaprobleemide esile tõstmisele on töös võetud arvesse ka materjali valiku olulisust disainiprotsessis. Sellest lähtuvalt on tekstiilmaterjaliks valitud naturaalne täisvillane vilt ning seda eelkõige villa mitmekülgsedest positiivsetest omadustest tulenevalt nii ruumile kui ka selles viibijale.

Samuti on töös uuritud elektroonika jäätmete mõju keskkonnale, millest selgus, et niinimetatud e-prügi (mille alla liigitub ka kineetiline tekstiil kui nutitekstiil) kasv liigub paratamatult tehnoloogia arenguga tõusvas joones, mille üheks põhjuseks on globaalse e-prügi raportis⁵⁵ välja toodud ka esemete lühike kasutusiga ja vähene võimalus nende parandamiseks ning ringlusesse võtmiseks. Sellest tulenevalt on käesolevas projektis valitud ka komponendid ja neid kandev konstruktsioon selliselt, et need oleksid vastupidavad ning vajadusel asendatavad. Kui nutitekstiili miinuseks on nimetatud erinevate komponentide sidumine tekstiiliga jäädavalt, siis antud töös on arvestatud võimalusega eraldada vajadusel tekstiil ülejäänud komponentidest ning see kas uuesti ringlusesse saata või kompostida kuna villane vilt on 100% biolagunev materjal.

Kui ühest küljest on villase vildi mürasummutavad omadused seotud materjali paksusega, kus paksema materjali helineelduvustegur on kõrgem kui õhemal vildil, siis kineetilise teose loomisel osutus origami tehnika iseloomust tulenevalt sobivaks just õhuke vilt, mis annab edaspidiseks suuna leida võimalusi, kuidas vormida sarnaselt ka paksemat materjali.

⁵⁵ Forti V., Baldé C.P., Kuehr R., Bel G. The Global E-waste Monitor 2020

Käesolevas töös tekkis vajadus kasutada ka tekstiilidisainerile mitteomaseid tehnikaid ja tööriistu ning kaasata ka teiste erialade esindajaid. See kõik andis täiendavaid kogemusi ja oskuseid järgmiste kineetiliste objektide planeerimiseks ja teostamiseks. Mis omakorda tõestab ka vajadust osata tänapäeva kiiresti arenevas ja muutuv ühiskonnas orienteeruda ka teistel erialadel.

Elektroonika ja tekstiili sidumisel näen ma vabadust mis annab suuremad võimalused improviseerimiseks tekstiilidisainis ja tekstiilikunstis, kui seda teha kaalutletult ja põhjendatult. Nutitekstiilide areng ning selle rakendamisvõimalustega seotud uurimustööd annavad alust prognoosida selle valdkonna kasvu veelgi. Sellega kaasnevalt on väga oluline suunata tähelepanu nutitekstiili loomisel nii selle eesmärgile kui materjalikasutusele ning selle elementide uuesti ringlusesse suunamisele toote eluea lõppedes.

Mida enam tekstiilivaldkond areneb, seda suuremaid nõudmisi sellele valdkonnale ka esitatakse. Oluline on märgata üldiseid arengusuundi, siduda erinevate valdkondade teadmiseid ning aimata ette tarbijate soove ja vajadusi. Kuid samas tuleb säilitada uudsete lahenduste tulekuga ka kriitiline meel vaadata sügavamale detailidesse, et tagada looduskeskkonna säilimine.

Kasutatud kirjandus

Akustikasõnastik, <https://www.ecophon.com/et/akustilised-lahendused/akustika-teadmistepank/akustikasonastik/> (vaadatud 17. III 2020).

Alo Peets, Arduino roboti ehitamine <https://docplayer.net/60977332-Arduino-roboti-ehitamine.html>, lk 26 (vaadatud 24. I 2020).

Anthony Howe, Bio Video: These Kinetic Sculptures Hypnotize You, <https://www.howeart.net/new-page-2> (vaadatud 14. III 2020).

Avo–Rein Tereping, Kuulmispsühholoogia, Tallinn: Kirjastus Valgus 1988, lk 148.

David Hendy, Müra, heli, hääled. Inimkonna ajalugu läbi helide ja kuulamise, AS Äripäev 2013

Designskolen Kolding / Design School, Mono-Material, <https://sustainabledesigncards.dk/mono-material/> (vaadatud 19. V 2020).

DF Robot Drive the Future <https://wiki.dfrobot.com> (vaadatud 06. I 2020).

Eesti Rahva Muuseumi Vaibakogu <https://vaibad.erm.ee/et> (vaadatud 16. III 2020).

Einar Meister, Kõne analüüs ja süntees, Foneetika ja kõnetehnoloogia labori loengumaterjal TTÜ Elektroonika Instituut, Tallinn: SSPLAB&TTÜ Küberneetika Instituut <https://phon.ioc.ee/dokuwiki/lib/exe/fetch.php?media=teaching:loeng2-11.pdf> (vaadatud 20. I 2020).

Emily Thompson, The Soundscape of Modernity, lk 196.

Encyclopaedia Britannica, Uses of Rugs and Carpets, <https://www.britannica.com/technology/rug-and-carpet/Uses-of-rugs-and-carpets#ref599486> (vaadatud 19. III 2020).

European Environment Agency EEA Report 22/2019, Environmental Noise in Europe - 2020 <https://www.eea.europa.eu/publications/environmental-noise-in-europe> (vaadatud 08. IV 2020).

Füüsikaleksikon <https://füüsikaleksikon.ee> (vaadatud 13. III 2019).

Instyle, Encoustic Panel Specification <https://instyle.com.au/wp-content/uploads/2019/01/Ecoustic-Panel-Specification.pdf> (vaadatud 03. III 2020).

Kaarel Kurismaa, Kollase valguse orkester, Tallinn: Eesti Kunstimuuseum 2018

Karen S. Robinson, The Textiles from Pazyryk - Expedition Magazine volume 32, Issue 1 1990, Penn Museum <http://www.penn.museum/sites/expedition/?p=2921> (vaadatud 19. III 2020).

Karla J.Nielson, Interior Textiles. Fabrics, Application & Historic Style. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. 2007

Katrin Kabun, Jääkvill. Kasutamata ressursist interjööri lahenduseni, Tallinn: Eesti Kunstiakadeemia 2017.

Keskkonnaministeerium, Mis on keskkonnamüra ja kuidas seda ohajata?

https://www.envir.ee/sites/default/files/mura-netti_1_2.pdf (vaadatud 20. III 2020).

Müra normtasemed elu- ja puhkealal, elamutes ning ühiskasutusega hoonetes ja mürataseme mõõtmise meetodid, 2002 – Riigi Teataja, <https://www.riigiteataja.ee/akt/108022017004> (vaadatud 20. I 2020).

Raivo Kelomees „Kineetika ja poeetika“, Kineetiline kunst, Tallinn: E-Meedia keskus, 1999

Raivo Kelomees, Loomuurimuspalavik – Ajakiri Kunst 2018, nr 4 <http://ajakirikunst.ee> (vaadatud 06. IV 2020).

Raivo Sell, Kaupo Raid, Arduino projektid alustajale, Tallinn: Robolabor.ee kirjastus, 2017

Robert Reinpuu, Ehitusfüüsika õppematerjal, Tallinn: Tallinna Tehnikakõrgkool, 2003, lk 30.

Robolabor, Samm-mootor, <https://home.roboticlab.eu/et/examples/motor/stepper> (vaadatud 24. I 2020).

Sage Calamari, Karen H. Hyllegard, The process of designing interior textile products & the influence of Design for the Environment (DfE),

https://www.researchgate.net/publication/277364169_The_process_of_designing_interior_textile_products_the_influence_of_Design_for_the_Environment_DfE (vaadatud 16. V 2020).

Samm-mootoriga ajamid http://www.ene.ttu.ee/elektriajamid/oppeinfo/materjal/AAV0040/Samm-mootoriga_ajamid.pdf (vaadatud 24.01.2020).

Tallinna Tehnikakõrgkooli varamu. Digitaalsete õppimist ja õpetamist toetavate ressursside kogum.

Kangaste ettevalmistavad ja esteetilised viimistlused. <http://eprints.ttk.ee/264/2/oo1/plisseerimine.html> (vaadatud 12. VI 2020).

Tate Muuseum <https://www.tate.org.uk/art/artworks/gabo-kinetic-construction-standing-wave-t00827> (vaadatud 29. III 2020).

Terviseamet, Mis on müra?, <https://www.terviseamet.ee/et/keskkonnatervis/inimesele/fuusikalised-tegurid/mura> (vaadatud 20. I 2020).

Tuul ja kodu OÜ <https://www.tuuljakodu.ee/> (vaadatud 13. I 2020).

Tyler Adams, Sound materials. A Compendium of Sound Absorbing Materials for Architecture and Design, Amsterdam: Frame Publishers 2016

U. Berardi, G. Iannace, Acoustic characterization of natural fibers for sound absorption applications, Building and Environment 2015,
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S036013231530007X?via%3Dihub> (vaadatud 19. V 2020).

United Nation Environment Program <https://www.unenvironment.org/> (vaadatud 10. VII 2020)

World Health Organisation, Environmental Noise Guidelines for the European Region 2018
<https://www.euro.who.int/en/publications/abstracts/environmental-noise-guidelines-for-the-european-region-2018> (vaadatud 13. III 2019).

Summary

The aim of this master's thesis is to find a solution to how to notice a change in a noise level and how to reduce its level in the interior via the use of kinetic textile.

Textile as a material and textile techniques have constantly evolved throughout the history, but in recent decades both textile applications and its production technologies have remarkably expanded. One of the reasons is undoubtedly the overall rapid technological development which has led to its closer links to various disciplines from biology to engineering. This in turn makes it increasingly important for textile designers have cross-disciplinary knowledge to grasp the whole and to see the ever-expanding opportunities in this area.

One of the growing trends in textiles design is smart textiles, which have the ability to receive inputs using sensors, process them and then express them in some way.

React to, for example, discoloration, vibration, glow, or change in size or shape through motion - kinetics. This thesis has focused on the creation of kinetic textiles.

At the heart of this artistic research is a prototype of smart textiles, during the completion of which the necessary information is gathered and analysed from different fields: textiles, environment, electronics and acoustics. The completed work is an artistic design project which brings together various areas to enrich textile design and improve the environment around us.

The research problem of this master's thesis was to notice the noise level in the interior and its reduction when using kinetic textiles. The main question was how to create a kinetic textile interior which responds to the impulse of noise with movement, draws the occupant's attention to the increase in noise level and at the same time increases the noise absorption in the room.

Consequently, the research dealt with the nature of noise and its connection to textiles and brought out examples of how they have developed into designs that muffle excessive sounds in the room. Kinetic objects were also observed, and their kinetic architecture solutions were approached, which from their concept have inspired the creation of a kinetic textile panel completed within the framework of this master's thesis.

The practical creative process covers the choice of the work material, the creation of the form, the construction of the panel and its mobility system and its connection to electronics.

Additionally, the research examined environmental aspects which are related to the combination of textiles and electronics. As a result, it was considered important to focus on the purpose as well as on the use of the materials and the recycling of the products elements once it reached the end of its life.

Through the synthesis of this knowledge, a textile panel responsive to the interior noise level was made using the origami technique. The movement of it was solved by motors which open and close the textile shapes on the panel. According to the indoor noise limits (80dB) established in the EV Act, the movement of the elements occurs in two different rhythms and patterns which are regulated according to the permissible noise level. When the value is below the set limit then the panels move quietly in a wavy rhythm pattern. When the noise level in the interior rises above the allowed limit, then the movement of the modules intensifies, during which the modules synchronously open and close. In addition to directing attention they also silence the noise level in the room by increasing the textile surface.

Using natural wool felt as a material, which in itself has very good sound-absorbing properties, the panels were tested in an acoustic laboratory to determine the sound absorption coefficient. As a result, an answer to the problem posed at the beginning of the thesis regarding noticing and reducing the noise was found. It was confirmed that the sound-absorbing properties can also be enhanced when experimenting with the shape of the form. When the motors opened the surface of the textile modules in a way that 3D images formed then as a result an increase in the sound absorption coefficient was recorded.

Thus, this thesis helps to solve the problem of noticing and reducing the noise level in the interior with the help of kinetic textiles.

Lisa 1

Dekoorevildi tehniline kirjeldus

Thickness 1mm; Weight 250g/m²

GENERAL INFORMATION

Woolfelt made of Pure New Wool in 1,2,3,4 and 5 mm thick and 90 colours on rolls with a width of 183cm and a length of +/- 20m.

TECHNICAL DATA

- PURE NEW WOOL conform “international wool secretariat”
- NON TOXIC conform Öko-Tex Test no. 990585
- Made in EC
- NON-FLAMMABLE conform UNE 23735 Class M1, NEN-EN-13501 Class B1
- SOUND ABSORPTION according to UNE-EN ISO 354:2004 up to 0,82s (5mm) and 0,56s (3mm)
- MARTINDALE TEST 15000 CONFORM UNE-EN-ISO 12947/14465
- PILLING RESISTANCE Degree 3 conform UNE-EN-ISO 12945-2-2001
- TEAR RESISTANCE conform UNE-EN-ISO 13936-2 in length 2,3 in width 1,8
- CHANGE in dry cleaning in length -1,0% in width 0,0%
- CHANGE in hand wash (first time) in length max. -8,0% in width max. -9,5%
- 100% RECYCLABLE

MAINTENANCE

- dry stains and dust → vacuum occasionally
- wet spills → directly blot with dry cloth or paper towel. If necessary, rinse with cold water and blot again until dry
- grease stains → clean with K2r
- Iron lukewarm

ADDITIONAL TREATMENTS ON REQUEST

With a minimum order of 20m we can add one of the treatments listed below

- Your own colour
- Anti-moth
- Extra dirt repellent
- Extra colour fast
- Shrink free