

Kõrgem Kunstikool Pallas

Tekstiil

3D-printimise rakendamine tekstiili disainiprotsessi

Lõputöö

Brigita Kasemets

Juhendajad: Liisi Tamm MA

Rasmus Eist

Tartu

2023

SISUKORD

| | |
|---|-----------|
| SISSEJUHATUS | 3 |
| TERMINOLOOGIA | 4 |
| 1. 3D-PRINTIMINE | 7 |
| 1.1 FDM-TEHNOLOOGIA..... | 7 |
| 1.2 FILAMENDID | 9 |
| 1.3 KASUTUS MOEVALDKONNAS | 10 |
| 2. MATERJALIKATSETUSED | 13 |
| 2.1 STRUKTUURIDE MODELLEERIMINE..... | 13 |
| 2.2 PRINTIMINE ALUSKANGALE | 15 |
| 2.2.1 Struktuuride arendus | 17 |
| 2.2.2 Kangale printimise analüüs | 18 |
| 2.3 KANGALAADSETE STRUKTUURIDE 3D-PRINTIMINE..... | 18 |
| 3. ESEME DISAINIPROTSESS | 21 |
| 3.1 3D-PRINDITUD VEST | 22 |
| 3.2 3D-PRINDITUD RINNAHOIDJA | 24 |
| 3.3 ANALÜÜS JA EDASIARENDUSE VÕIMALUSED..... | 27 |
| KOKKUVÕTE | 29 |
| SUMMARY | 30 |
| KASUTATUD KIRJANDUS | 32 |
| LISAD | 34 |
| LISA 1 VALIK GEOMEETRILISI STRUKTUURE ALUSKANGAL..... | 34 |
| LISA 2 ORGAANILISED STRUKTUURID KANGAL..... | 37 |
| LISA 3 EBAÕNNESTUNUD KATSED KANGAL | 40 |
| LISA 4 ESIMESED ALUSKANGATA KATSED | 41 |
| LISA 5 VALIK 3D-PRINDITUD KANGAID | 42 |
| LISA 6 LOODUD PROTOTÜÜPIDE DETAILIFOTOD..... | 45 |

SISSEJUHATUS

Tekstiiliõpingute jooksul on mind huvitanud erinevate materjalide tavapärad ja isegi ootamatud kooslused. Mind paeluvad uued tehnoloogiad, mis lihtsustavad või arendavad olemasolevaid võtteid, samas on minu jaoks oluline kasutatavate materjalide mõju keskkonnale ja mis saab minu loodud toodetest nende eluea lõpus.

Huvi 3D-printimise ja selle tehnoloogia võimekuse vastu tekstiili valdkonnas tekkis mul Rasmus Eisti juhendatud erialases valikaines „3D tehnoloogiad“, kus õppisime kasutama erinevaid 3D-programme ja printereid. Üsna kiiresti sai minu jaoks selgeks, et sellised tööriistad pakuvad nii palju uusi võimalusi, mida oma disainiprotsessi arendamiseks rakendada. Eriti paelus mind Eisti välja pakutud idee T-särkidele tavapärase trükkimise asemel kasutada hoopis 3D-printimist. Mis saaks, kui liikuda aplikatsioonidest edasi ja proovida printeri abil hoopis kanga omadusi muuta?

Minu lõputöö on tehnoloogiline uurimus 3D-printimise võimalustest tekstiilivaldkonnas. Uurin tehnika potentsiaali kodustes tingimustes 3D-prinditud rõivaste loomise näitel. Katsetan FDM-printeri võimekust, analüüsin tulemusi ja rakendan õpitud oskusi oma disainiprotsessis.

Lõputöö on jagatud kolme peatükki. Praktilise osa sissejuhatuses ja sisu mõistmiseks keskendun esimeses peatükis 3D-printimise tehnoloogia tutvustamisele. Annan ülevaate praktilises osas kasutatava tehnoloogia tööpõhimõtetest ja materjalidest, mida oma edasistes praktilistes katsetustes kasutan. Lisaks kirjutan kahest moedisainerist, kes kasutavad 3D-prinditud rõivaste loomiseks erinevaid meetodeid.

Teine peatükk keskendub materjalikatsetustele. Esmalt kirjeldan katsetusi, kus printimine toimus aluskangale. Analüüsin saadud tulemusi ja tõstatan hüpoteesi, et väiksema nn kodukasutusliku printeri abil on võimalik luua kantavaid riideesemeid.

Kolmandas peatükis kirjeldan disainiprotsessi, milles rakendan materjalikatsetuste kaudu leitud võtteid 3D-prinditud rõivaste loomise protsessis.

TERMINOLOOGIA

Et hõlbustada lugemist ning selgitada erialaspetsiifilisi mõisteid, annan ülevaate terminitest mida kasutan lõputöös.

2D – kahemõõtmeline

3D – kolmemõõtmeline

3D-printer – printer, mille abil on toormaterjali lisamise meetodil võimalik luua kolmemõõtmelisi mudeleid. Mudelite loomise eelduseks on digitaalse faili olemasolu.¹

CAD (*Computer Aided Design*) – tootedisaini protsessi osa. Ülidetailsete kahe- ja kolmemõõtmeliste mudelite loomine.

Ekstruuder – selle kaudu surutakse üles sulatatud materjali mass läbi soovitud ristlõikega ava ning saadakse ühtlane, pikk filament.

FDM (*Fused deposition modeling*) ehk välja pressiv tehnoloogia – printer surub materjali kuumutamise abil läbi printeri pea printimisalusele kihtide kaupa.² See on kõige odavam ja levinuim 3D-printimise meetod.

FFF (*Fused filament fabrication*) – ehk kuumutatud filamendi välja pressimine

Filament – printimise toormaterjal

Filamendi pool – alus, millele filament on keritud ja mille pealt see printides jookseb

G-kood – programmeerimise keel, mida printer kasutab. *Slicer* konverteerib 3D mudeli faili käsklusteks G-koodis, mis kirjeldab printerile tema tegevust. Lisaks vektorjoontele on koodis kirjas düüsi ja aluse temperatuur, printeri pea liikumise kiirus jne.³

¹ What is 3D Printing? [WWW] <https://3dprinting.com/what-is-3d-printing> 30.03.23

² Bitonti F. (2019). 3D Printing Design. Additive Manufacturing and the Materials Revolution. Suurbritannia: Bloomsbury Publishing. Lk 18-19

³ Bitonti F. (Viide 2), lk 6

Kihtlisandustehnoloogia – kolmemõõtmelise mudeli loomiseks lisatakse sulatatud materjali vastavalt digitaalselt loodud mudelile.

PLA – enim kasutatav filament printimisel. Filament on valmistatud maisitärklisest või suhkruroost ja vajab töötlemiseks suhteliselt madalat temperatuuri. Materjal on üsna tugev, talub mõõdukat UV-kiirgust ja seda toodetakse pea kõikides värvitoonides.⁴

Slicer – arvutiprogramm, mis teisendab kolmemõõtmelise mudeli instruktsioonideks ehk G-koodiks, mida 3D-printer järgib tööprotsessi käigus.⁵ Antud töös kasutan selleks Ultimaker Cura programmi.

STL (STereoLitography) – faili formaat 3D-printimiseks ja mudeldamiseks. Fail koosneb punktikestest, mis on omakorda ühendatud kolmnurkade abil, mis tekitavad mudeli pinna.⁶

Struktuur – antud lõputöö kontekstis viitan struktuurile kui enda loodud tekstiili sarnasele mustripinnale.

SVG (Scalable Vector Graphics) – vektorgraafikal põhinev faili formaat, mis lubab kujutist järgmistes programmides skaleerida, resolutsioonis kaotamata.

Termoplastne – materjali omadus, temperatuuri tõustes muutub venivaks ja vormitavaks ning temperatuuri langedes tahkestub ja võtab kindla kuju.⁷

TPC – TPE tüüp, mis on väga elastne ja tugev, kasutusel pigem tööstuslikul, mitte hobitasandil oma printimise keerukuse tõttu.⁸

TPE – termoplastne elastomeer, painduv ja elastne materjal, mis on väga vastupidav⁹

⁴ 3D printimine – printimise materjalid. [WWW] <https://www.metshein.com/unit/3d-printimine-printimise-materjalid> 30.03.23

⁵ Bitonti F. (Viide 2), lk 6

⁶ STL Files. [WWW] <https://www.adobe.com/creativecloud/file-types/image/vector/stl-file.html> 03.04.23

⁷ Eesti keele seletav sõnaraamat. [WWW] <http://eki.ee/dict/ekss/index.cgi?Q=termoplastne> 31.03.23

⁸ Best 3D Printer Filament: The Main Types in 2023 [WWW] <https://3dprinting.com/what-is-3d-printing> 01.05.23

⁹ Best 3D Printer Filament: The Main Types in 2023 (Viide 8) 01.05.23

TPU – termoplastne poliüuretaan, veidi jäigemad tüüpi TPE ¹⁰

Vektor – matemaatilisel määratletud punkt. Punktide liitmisel loodud kujutise suurust saab hiljem muuta nii, et pildi kvaliteet sellest ei halvene.

¹⁰ Best 3D Printer Filament: The Main Types in 2023 (Viide 8) 01.05.23

1. 3D-PRINTIMINE

3D-printimine on tänapäeval väga laialdaselt levinud tehnoloogia, mille abil on võimalik kiiresti toota prototüüpe ja ka viimistletud tooteid. Kolmemõõtmelise printimise tehnoloogiaid, mida erinevates olukordades rakendada, on mitmeid. Selles lõputöös keskendun FDM-printimise tehnoloogiale ja selle võimekusele tekstiili disainivaldkonnas. FDM-printer on suunatud kodukasutajale, see on kättesaadav ja sellega printimine on võrreldes teiste tehnoloogiatega võrdlemisi lihtne ja odav. Kodukasutajale suunatud FDM-printeri hind paigutub korraliku tindiprinteriga samasse hinnaklassis.

Antud peatükis kirjeldan 3D-printimise tehnoloogia tööd, materjale ja kasutusvõimalusi tekstiilivaldkonnas.

1.1 FDM-tehnoloogia

FDM-printimise ehk välja pressiva tehnoloogia leiutas Scott Crump juba 1980-ndatel ja patenteeris selle 1989. aastal firma alt Stratasys.¹¹ Sellel ajal olid 3D-printerid ja nendega printimine väga kallis ja seda tehti üldiselt vaid tööstustes. 2009. aastal, kui Stratasys'i patent aegus, hakati üle maailma kiiresti arendama sarnasel tehnoloogial põhinevaid printereid, mida nüüd kutsutakse FFF-printeriteks, seda põhjusel, et mitte seostada ennast Stratasys'i brändiga.¹² Tänu FFF-tehnoloogia levikule muutusid printerid võrdlemisi odavaks ja tänaseks on need jõudnud ka kodukasutajateni.

Nii FDM- kui ka FFF-printeri tehnoloogia puhul toimub kolmemõõtmeliste objektide printimine toormaterjali kihtide lisamisega vastavalt eelnevalt koostatud koodile.¹³ Eestikeelne ametlik tööstuslik termin sellise töö iseloomustamiseks on kihtlisandustehnoloogia.¹⁴ Printimise protsess algab 3D mudeli loomisega programmis, peale seda tuleb mudel spetsiaalses programmis genereerida G-koodiks. G-koodi käskluste

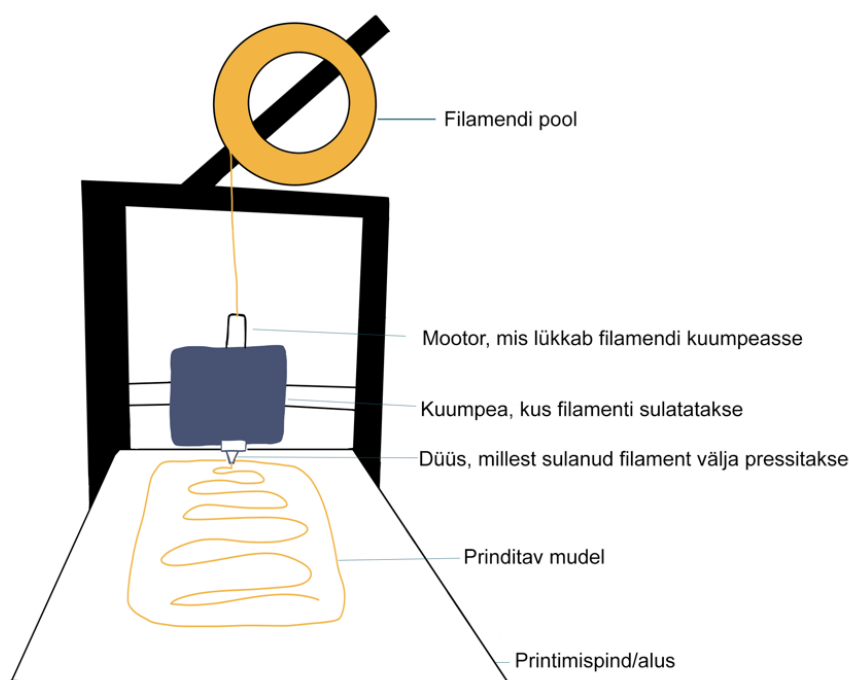
¹¹ Lipson H., Kurman M. (2013). Fabricated: The New World of 3D Printing. Kanada: John Wiley & Sons, Inc. Lk 6

¹² What is FFF 3D printing? An introduction to 'fused filament fabrication' technology. [WWW] <https://ultimaker.com/learn/what-is-fff-fused-filament-fabrication-technology-for-3d-printing> 30.03.23

¹³ Lipson H., Kurman M. (Viide 4) Lk 68

¹⁴ Lipson H., Kurman M. (Viide 4) Lk 70

abil juhitakse printeri tegevust. Printer sulatab termoplastset toormaterjali ehk filamenti kihtidena printimispinnale ja valmib soovitud mudel (vt Joonis 1). Selline printimise tehnoloogia on küll väga võimekas, kuid mitte väga täpne ja detailne. Samuti on tegemist küllaltki palju aega nõudva tehnoloogiaga, mudeli printimine võib olenevalt selle keerukusest kesta isegi päevi. Samas leian, et FDM-printer on tekstiilivaldkonnas katsetamiseks väga hea ja odav võimalus, millest vajadusel edasi tööstusliku printeri poole vaadata.



Joonis 1. FDM-printeri osad ja selle töö

3D-printerite levik kodukasutajateni on andnud inimestele võimaluse ise luua ja parandada vajalikke esemeid. Tänu sellise tehnoloogia valdamisele teevad inimesed tihti kaalutletumaid otsuseid asjade ostmise osas ja viskavad vähem asju ära. Näiteks on loodud veebiplatvorm nimega Thingiverse¹⁵, kus inimesed saavad jagada enda loodud mudeleid teistele kasutamiseks. Platvormil on saadaval mitmeid mudeleid, mille abil on võimalik parandada või parendada igapäevases kasutuses olevaid esemeid.

¹⁵ Thingiverse [WWW] <https://www.thingiverse.com> 03.05.23

1.2 Filamendid

FDM-printerid kasutavad printimiseks termoplastseid filamente. Järgnevalt tutvustan filamente, mida oma praktilises töös kasutan.

Enim kasutatud materjal FDM-printerite puhul on PLA. PLA on odav ja kergesti printitav materjal, mille omadused sarnanevad plastikule. Materjali printimisel ei eraldu ebameeldivat lõhna ega mürgiseid aure. Materjali miinuseks on tema vastuvõtlikkus tugevale UV-kiirgusele ja niiskusele, mille kombinatsioon muudab materjali rabedaks ja kergesti purunevaks. Kui poolil olev materjal muutub rabedaks, siis materjali tulemuslikult printida ei saa, mistõttu tuleb toormaterjali säilitada kindlate keskkonnatingimuste juures. PLA-plast on tehniliselt komposteeritav, biolagunemise eelduseks on aga kindel niiskustase ja temperatuur, mida on võimalik saavutada vaid tööstuslikes tingimustes, seega koduses kompostihunnikus see materjal siiski ei lagune.¹⁶

TPE on üldisem nimetus erineva koostisega painduvatele filamentidele, selle grupi levinuim filamenti tüüp on TPU.¹⁷ Selles töös kasutan põhiliselt TPU filamenti, sest see on kergesti printitav elastne ja vastupidav materjal, mis oma omadustelt sarnaneb ka tekstiilile. Ka TPU filamente on erinevaid, oma töös kasutan PrimaCreator EasyPrint filamenti, mille kõvaduse näitaja on 95A. Kõvadust mõõdetakse Shore'i süsteemis, mida suurem on numbriline näitaja, seda kõvem printitav materjal jääb.¹⁸ USA turule on jõudnud ka filamente, mille kõvadusnäitaja on 70A ja isegi 60A, selliste filamentide printimine on tunduvalt keerulisem, kuid tulemus on kergem ja elastsem. TPU on UV-kiirguse kindel ja väga vastupidav materjal, seega on see ideaalne materjal näiteks jalanõu taldade printimiseks, mis peavad olema väga vastupidavad. Filament on ümbertöödeldav.

¹⁶ Bioplastid ja bioplasttooted [WWW] <https://keskkonnatehnika.ee/bioplastid-ja-bioplasttooted> 31.03.23

¹⁷ TPE vs TPU flexible filament: The main Differences [WWW] <https://all3dp.com/2/tpe-vs-tpu-flexible-filament-the-differences> 31.03.23

¹⁸ TPE vs TPU flexible filament: The main Differences (Viide 12) 31.03.23

1.3 Kasutus moevaldkonnas

Disainereid, kes kasutavad oma töös 3D-printimist osaliselt või terviklahendusena, on palju. Suurem osa disainereid töötavad aga tööstuslike masinatega, mille tehniline võimekus erineb suures ulatuses tavalise FDM-printeri omast. Järgnevalt tutvustan kahte disainerit, kes mõlemad kasutavad oma töös 3D-printimist, kuid kelle kasutatavad tehnoloogiad erinevad üksteisest märkimisväärselt ja kirjeldavad printimise võimekuse avarust üsna hästi.

Disainer, kelle loodud 3D-prinditud rõivad on aastate jooksul kogunud üldtuntuse, on Iris van Herpen. Tema esimene 3D-prinditud rõivaese valmis 2009. aastal koostöös arhitekti Daniel Widrigiga, ühtlasi oli see ka esimene 3D-prinditud rõivaese maailmas (vt Foto 1).¹⁹ Kuna sellel ajal polnud materjalide valik suur, siis oli ese prinditud tugevast, plastikulaadsest materjalist, mis ei lubanud modellil väga palju liigutada. Kuigi 3D-printimine on protsessina väga konkreetne ja käsklusi järgiv, üritab Herpen oma loomingus saavutada orgaanilisi ja käsitöölisi tulemusi, mis oleksid justkui pärit loodusest.²⁰



Foto 1. Vasakul Iris van Herpeni loodud „Crystallization“ 2009 Foto: Michel Zoeter ²¹, paremal kleit Herpeni 2022 aasta kollektsioonist „Meta Morphism“ ²².

¹⁹ Merrel R. (2020) A Deep Dive With Transformative Fashion Designer Iris van Herpen. *The September Issue #4: Futurism* [WWW] <https://www.theseptemberissues.com/iris-van-herpen> 21.04.23

²⁰ Merrel R. (viide 15) 21.04.23

²¹ Iris van Herpen Spring 2011. Look 12 [WWW] <https://www.vogue.com/fashion-shows/spring-2011-ready-to-wear/iris-van-herpen/slideshow/collection#12> 25.04.23

²² Collection Meta Morphism. Look 8 [WWW] <https://www.irisvanherpen.com/collections/metamorphism/collection-1#img-12175> 25.04.23

Herpen on algusest peale oma disainide loomisel teinud koostööd arhitektidega, kes aitavad tal 3D-struktuure luua. Tema printitud struktuurid pole kunagi lihtsad ja FDM-printeriga kergesti jäljendatavad. Ta kasutab oma disainide loomisel 3D-printitud struktuure, mida kombineerib käsitöölise võtetega, seega pole ükski tema loodud ese 100% 3D-printitud (vt Foto 1). Ta võtab oma *couture*'i kui laboratooriumi, kus on võimalik eksperimenteerida erinevate tehnikate ja tehnoloogiatega, et arendada välja veelgi paremaid ja loodussäästlikumaid viise, kuidas tänapäeval mõistlikult moodi luua.²³ See tähendab, et rõivaid luuakse vaid vastavalt tellimustele ja võimalikult vähese jääkmaterjaliga, mida 3D-printimine ka võimaldab. Herpeni eesmärk on tulevikus luua jääkmaterjalide vabalt ja vaid taaskasutatud materjalidest.

Danit Peleg oli esimene disainer, kes 2015. aastal printis tavaliste, nn kodukasutuslike FDM-printeritega tervikliku moekollektsiooni oma lõputöö raames (Shenkar College of Engineering, Design and Art) (vt Foto 2).²⁴ Riiete printimine FDM-printeriga võtab väga kaua aega, printerid ise pole veel kiired ja lisaks sellele on printimispind üldjuhul väga väike, seega tuleb ese osade kaupa printida ja hiljem need osad omavahel liita. Pelegi sõnul võttis iga umbes A4 suuruse tüki printimine aega 20h ja iga komplekti peale kulus umbes 400h.²⁵



Foto 2. Danit Pelegi 2015 kollektsoon „Liberty Leading the People“²⁶

²³ Merrel R. (viide 15) 21.04.23

²⁴ Leichman A.K. (2015) World's First Fashion Collection Printed at Home [WWW] <https://www.israel21c.org/worlds-first-fashion-collection-printed-at-home> 20.04.23

²⁵ Leichman A.K. (viide 20) 20.04.23

²⁶ Danit Peleg „Liberty Leading the People“ [WWW] <https://danitpeleg.com/the-process> 20.04.23

Tänaseks on Pelegi taha koondunud suurem tiim, nende eesmärk on muuta 3D-prinditava mood kättesaadavaks kõigile. Ideaalis saab klient tulevikus soetada tema loodud disainiga faile ja need esemed ise endale kodus valmis printida. Hetkel on Pelegi kodulehel olemas üks tema loodud pluusi fail, mida on võimalik soetada 79 USD dollari eest, lisaks pakub koduleht 3D-prinditava moe kursust 289 USD dollari eest.²⁷ Tema tiim töötab moetööstuse täieliku muutmise nimel, nad usuvad, et 3D-printimine on võimalus vähendada tööstusega kaasnevat saasteid ja jääkmaterjale.

FDM-printerid ja isetegemine käivad käsikäes. Tunnen, et failide jagamine teiste printerit omavate inimestega on just midagi sellist, milleni tahaksin ühel hetkel jõuda. Võimalus ise kodus rõivaese või aksessuaar valmis printida on hea võimalus oma garderoobi värskendamiseks.

²⁷ [WWW] <https://courses.danitpeleg.com> 21.04.23

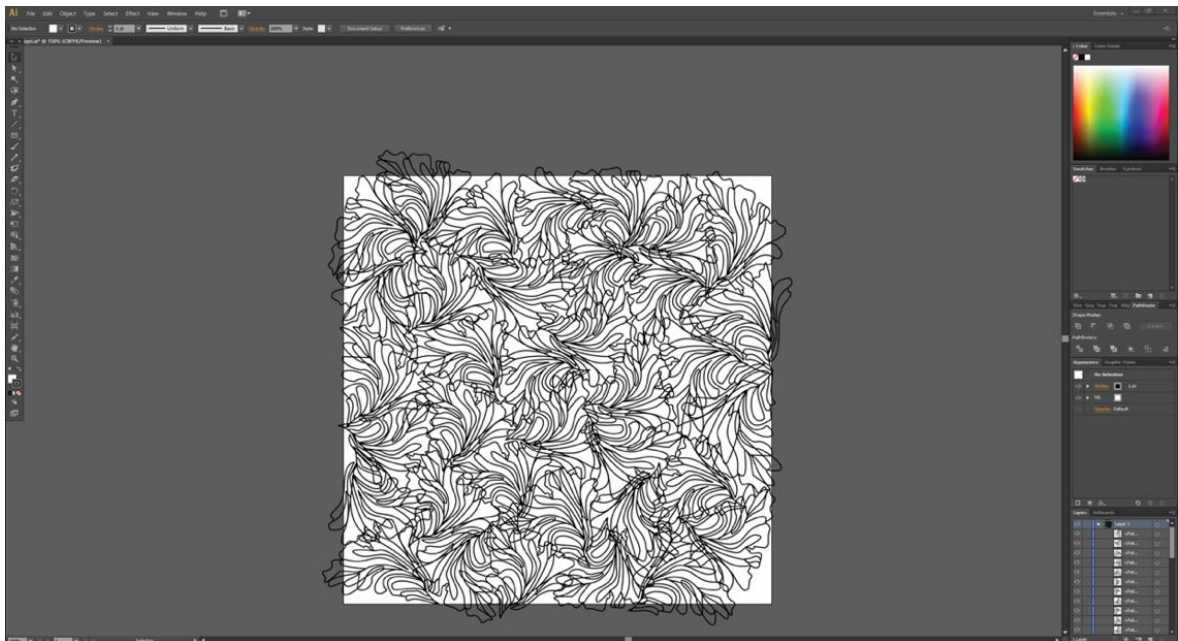
2. MATERJALIKATSETUSED

Minu materjalikatsetused algasid huvist printida struktuure otse kangale, eesmärgiga muuta valitud aluskanga omadusi. Soovisin leida viisi, kuidas pehmet kangast vormida ja õmblusi kasutamata kuju hoidvaks muuta.

Selles peatükis kirjeldan, kuidas oma prinditud 3D mudelid lõin ja annan ülevaate materjalikatsetustest. Minu eesmärk oli katsetuste jooksul jõuda tehnikateni, mida edaspidi oma disainiprotsessis rakendada. Töö käigus dokumenteerin tööproove, võrdlen ja analüüsin tulemusi.

2.1 Struktuuride modelleerimine

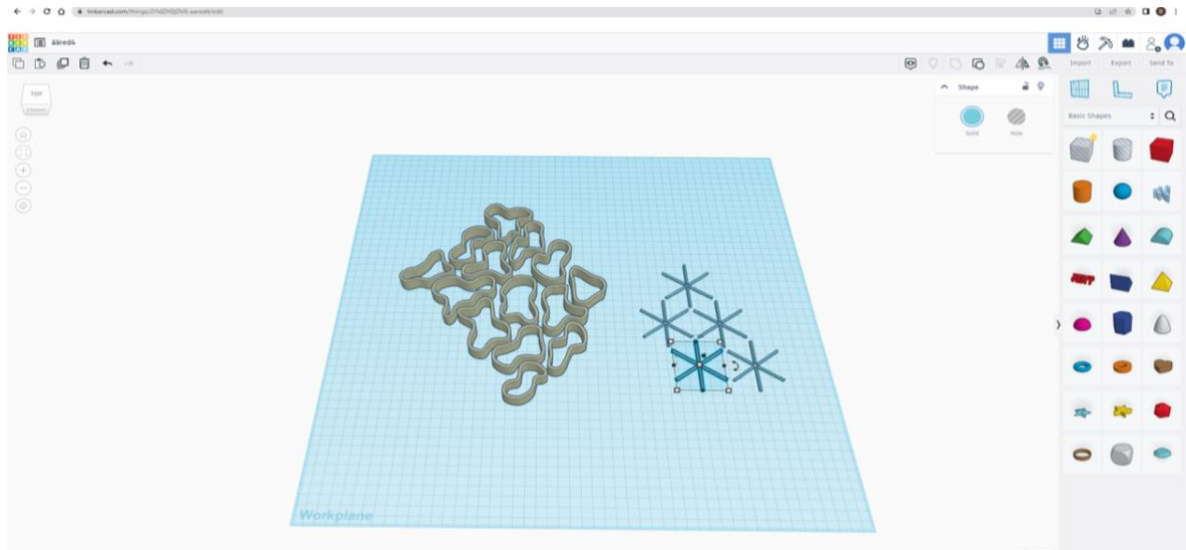
Oma struktuurid kujundasid vektorgraafika programmis Illustrator (vt kuvatõmmis 1). Oluline oli kasutada vektorjooni ja muuta viimase sammuna kõik jooned ühendatud alaks, et järgmisena kasutatav programm suudaks mudelist õigesti aru saada. Salvestasin faili .svg formaadis.



Kuvatõmmis 1. Illustratoris kujundatud kahemõõtmeline struktuur

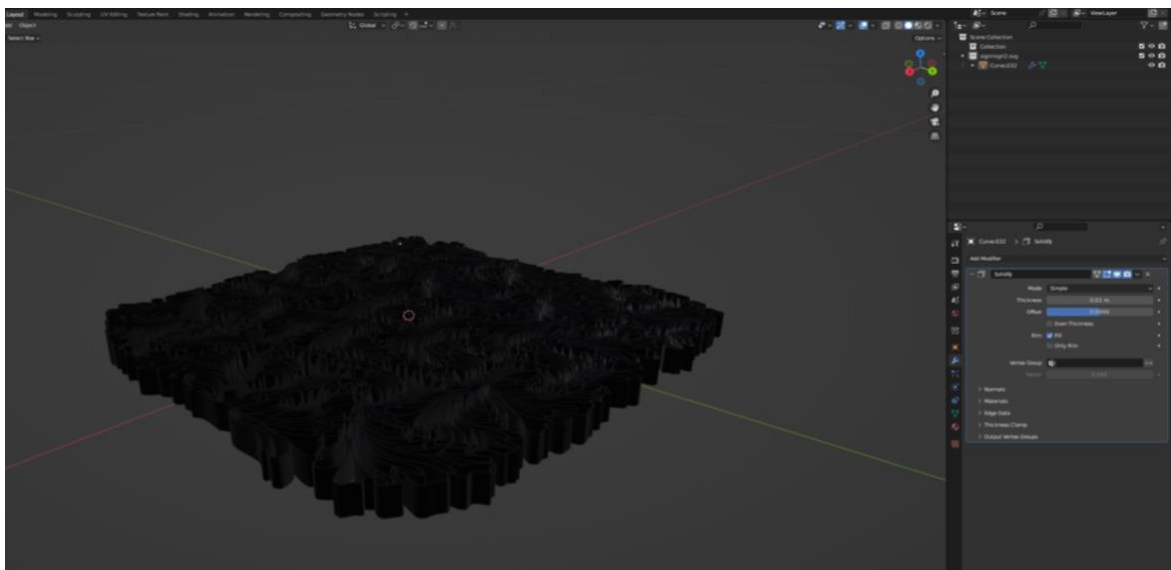
Seejärel viisin salvestatud struktuuri faili programmi, mis konverteerib 2D kujutise 3D'ks. Selleks kasutasin väiksema failisuuruse puhul Tinkercadi (vt Kuvatõmmis 2), mis on veebipõhine programm, mis saab hakkama lihtsamate mudelitega. Programmis saab

mudeleid modelleerida ette antud kujundite abil või sisse importida SVG faile, mis on loodud näiteks Illustratoris.



Kuvatõmmis 2. Tinkercad programm lihtsamate 3D mudelite loomiseks

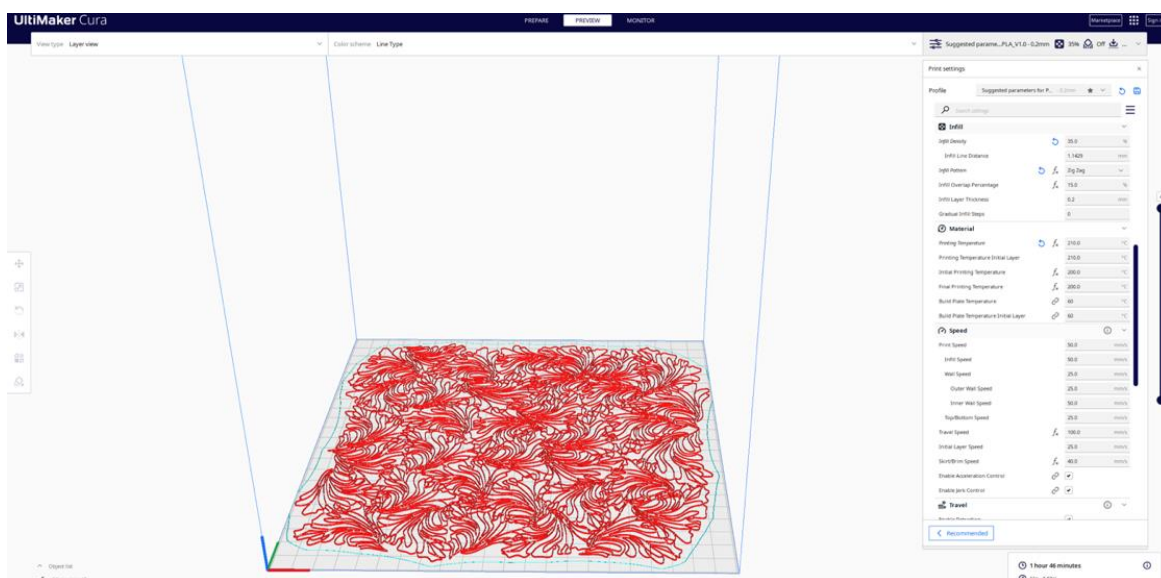
Suuremate failide puhul kasutasin juba keerulisemat vabavaralist programmi Blender (vt Kuvatõmmis 3). Mõlemates programmides salvestasin saadud mudeli .stl formaadis. Oluline on selle sammu juures saada kätte korrektne 3D kujutis. Mudelite loomise juures oli see kõige keerulisem etapp, sest tihti ei suutnud programmid mudeleid korrektselt konverteerida, sest Illustratori failis oli mingisugune silmale nähtamatu viga või fail ise lihtsalt liiga keeruline SVG formaadi jaoks.



Kuvatõmmis 3. Blenderis konverteerisin kahemõõtmelised struktuurid kolmemõõtmelisteks

Lõputöö praktilise osa jooksul tekkis paar sellist olukorda, kus Blender ei suutnud SVG faili lugeda, neil puhkudel viisime Rasmus Eisti abiga faili hoopis programmi Fusion360, milles faili konverteerimine õnnestus. Fusion on CADi põhine professionaalsel tootmisel kasutatav programm.

Viimase sammuna kasutasin Programmi UltiMaker Cura, mis on Ultimaker firma loodud tarkvara, mis sisuliselt teostab *slice*-käsklust (vt Kuvatõmmis 4). Selles programmis saan määrata kõiki printimisega seotud detaile, näiteks printeri pea kuumust, filamendi kihi paksust jne. Programmist saadud G-koodi laadis in mälukaardile, millelt 3D-printer loeb mudeli loomiseks käsklusi.



Kuvatõmmis 4. Ultimaker Cura koostab printimiseks vajaliku G-koodi

2.2 Printimine aluskangale

Katsetuste jaoks aluskangale kasutasin Wanhao Duplicator 12 Double Extruder 3D-printerit (Foto 3). Printeri eeliseks oli printimispinna suurus 50x50x50 cm, see võimaldas printida suuremaid struktuure ja printimispinna ligipääsetavus võimaldas kangast mõningal määral üle printimispinna venitada ja kinnitada. Samas pole selline printer tavakasutajale nii kättesaadav ja ratsionaalne valik oma hinna ja ka suuruse tõttu.

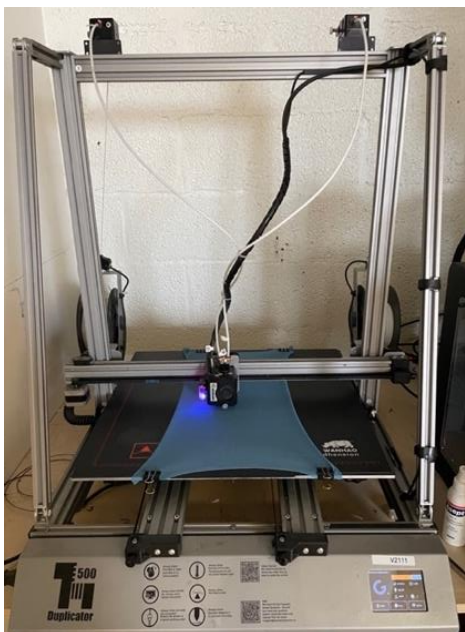


Foto 3. Wanhao Duplicator 12 3D-printer, mille printimispinnale on kangas venitatud

Aluskangaste valikul lähtusin sooritatud eelkatsetest, mille puhul kasutasin erinevaid kätte juhtuvaid materjale, et aru saada, mis printimise ajal tegelikult kangaga toimub ja millised on kriteeriumid katse õnnestumiseks. Katsete käigus selgus, et kuna printeri pea on printimise ajal printimispinnale väga lähedal, peab ka aluskangas olema õhuke, et printeri pea seda sikutama ja kärساتama ei hakkaks. Lisaks selgus, et eelistada tuleks hõredamat kangast, sest siis sulab filament printimise ajal kanga avadest läbi ja kinnitub seetõttu tugevamini kanga külge. Printides kõrgemate temperatuuridega toimib paremini ka sünteetiline kangas, mis kuumuse tõttu sulab filamendiga mõningal määral kokku.

Selle töö jaoks valisin aluskangasteks kolm erinevate omadustega kangast – Helesinine õhuke puuvillane kangas, õhuke heleroheline lükra ja tumesinine võrklükra (Foto 4).

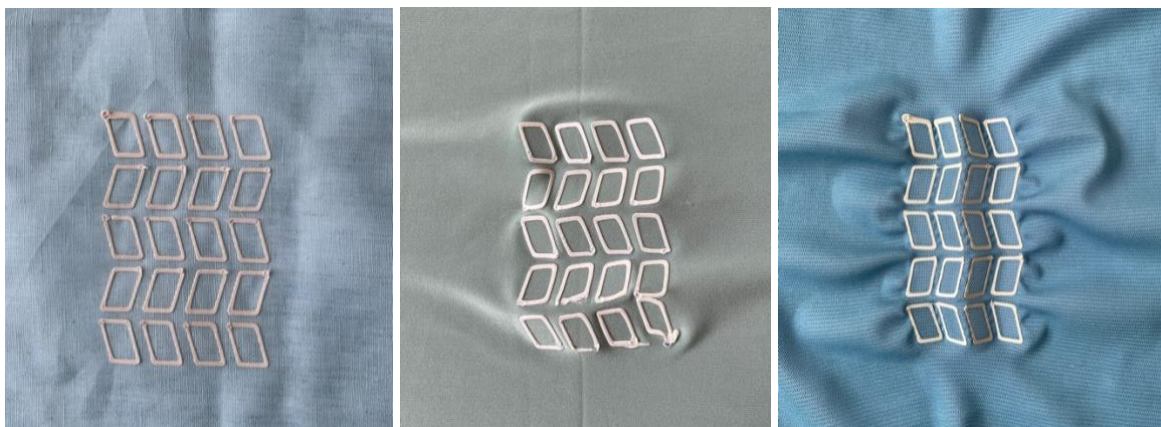


Foto 4. Valitud aluskangad

2.2.1 Struktuuride arendus

Katsetused algasid geomeetristest struktuuridest, mis sarnanesid erinevatele voltimistehnikatele (vt Lisa 1). Soovisin prinditud struktuuride abil tekitada kolmemõõtmelisi vorme, mis vastanduksid omaduste poolest valitud pehmetele ja õhukestele aluskangastele. Et prinditud struktuur kanga külge tugevamini kinnituks, printisin esialgu ühe kihi alla, siis lisasin kanga ja seejärel printisin 2-3 kihti peale. Kuna olin printimispinna temperatuuriks seadnud 60°C, siis hoidis soojus alumise kihi piisavalt elastsena, et see peale asetatud kanga külge kinnituks, lisaks kinnitus läbi kanga sulanud filament alumise kihi külge väga tugevalt.

Märkasin, et suuremad muutused toimusid, kui aluskangas oli printimise ajal printimispinna pingutatud, seega sobivad paremini venivad kangad. Kangad muutusid prinditud struktuuride abil küll vormitavamaks, kuid paljude katsete puhul on neid vorme vaja veel eraldi fikseerida, sest iseseisvalt need enamasti püsima ei jäänud (vt Foto 5).

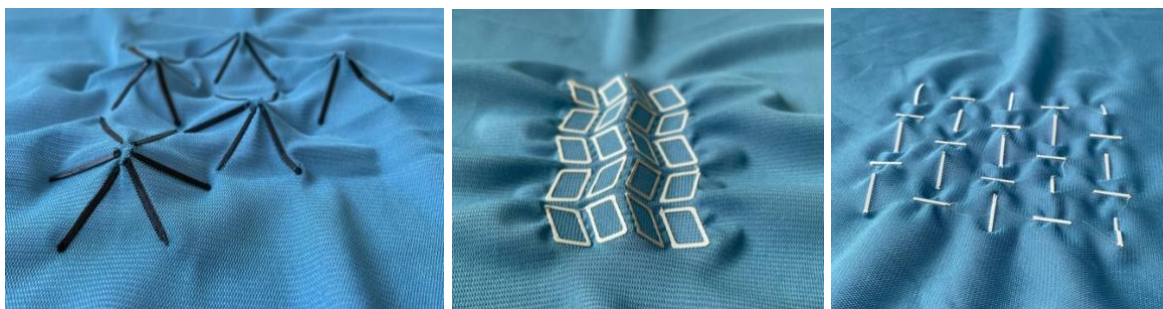


Foto 5. Valik aluskangale prinditud geomeetrisi struktuure

Otsustasin edasi katsetada orgaanilisemate struktuuridega, mis lisaks kanga omaduste muutmisele lubaksid mul ka loominguliselt ennast vabamalt väljendada. Orgaaniliste struktuuridega katsetamine oli põnev, sest visuaalselt pakkus prinditud pind rohkem, kuid kahjuks jäid need katsetused pigem aplikatsioonideks (vt Lisa 2).

Üllatuslikult ei toiminud heleroheleline lükra tulemuslikult ühegi prinditud struktuuriga. Filament ei kinnitunud kangale üldse, hakkas kiiresti maha kooruma või sulas ebaühtlaselt laiali (vt Lisa 3). Põhjuseks võib olla nii kanga libedus kui ka tihedus, millest filament läbi ei sulanud.

2.2.2 Kangale printimise analüüs

Üsna kiiresti sai minu jaoks selgeks, et sellise tehnoloogiaga ma selle töö kontekstis soovitud tulemusi ei saavuta. Kui esialgu kujutasin ette, et suudan selle tehnika abil ülerõivaid luua, siis õhukese aluskanga kriteerium muutis selle idee realiseerimise keerukaks. Samuti ei toimunud prinditud struktuuride tagajärjel minu jaoks piisavalt suuri muutusi kanga omadustes, et sellise tehnoloogia kasutamine põhjendatud oleks. Lisaks mõistsin, et printimise pind on siiski liiga väike ja kangast ei saa suures koguses üle printimispinna äärte venitada, ilma et see printimist takistaks. See aga tähendab, et prinditud struktuuridega kangatükid on rõiva loomise kontekstis üsna väiksed ja need tuleb hiljem mitmete õmblustega omavahel kinnitada.

Selle töö puhul oli kõige suurem murekoht jätkusuutlikkus, seda just materjalide käitlemise suhtes nende eluea lõpus, kui need on omavahel segunenud. Kui töö alguses otsisin ja ka leidsin mitmeid erinevaid lahendusi sellele probleemile, siis katsetuste käigus saadud tulemuste põhjal leidsin, et valitud põhjendused selles kontekstis enam ei päde ja rõivaste loomine sellise tehnika abil selles kontekstis oleks ebaeetiline. Edasi tekkis huvi, mis saaks, kui printimisel aluskangas ära jätta ja proovida ise kangast printida. Esimesed aluskangata katsed sooritasin Wanhao printeriga (vt Lisa 4) ja nende tulemuste põhjal otsustasin edasised katsed teha väiksema, nõ kodukasutusliku 3D-printeriga.

2.3 Kangalaadsete struktuuride 3D-printimine

Otsustasin hakata väiksema 3D-printeriga katsetama, sest soovisin tõestada hüpoteesi, et kodukasutusliku printeriga on võimalik endale riideese printida.

Katsetusteks, kus aluskangas puudus, kasutasin Anycubic Kobra mudelit (vt Foto 6), mille printimispiind 22x22x25 cm on tunduvalt väiksem, kuid printer ise on oluliselt levinum kodukasutajate hulgas.



Foto 6. Printimiseks kasutatud Anycubic Kobra 3D-printer

Katsetused algasid orgaanilistest struktuuridest – soovisin jäljendada seeni ja seene struktuure. Lõin neli erinevat seene motiivi (Foto 7), mida hakkasin katsetama nii iseseisvatena kui ka käsitsi kujundatud taustadega, mis struktuuri koos hoiaksid. Alguses lõin kõik pinnad täies mahus Illustrator programmis, mis oli ootamatult ajamahukas ülesanne. Katsetused olid põnevad ja kangana toimivad, kuid muret tekitas nende failide koostamisel ja ka printimisel tekkiv ajakulu, mida soovisin vähendada.



Foto 7. Neli erinevat seeneteemalist motiivi, mis olid edasiste katsetuste aluseks

Alternatiivina katsetasin, mis juhtub siis, kui enda loodud struktuurile lisada käsitsi kujundatud tausta asemel hoopis Cura programmi poolt pakutavaid *fill*'e. *Fill* käsklust kasutatakse enamasti prinditavate mudelite sees, see on struktuur mudeli toetamiseks ja vormi hoidmiseks seestpoolt. *Fill*'i tihedust saab ise määrata, tavaliselt on see 15%, seega pole mudel kunagi seest tihedalt täis prinditud, see tekitaks ebavajalikku aja- ja materjalikulu. Minu katsetustes mängis *fill* siduvat rolli, muutsin struktuuri seadetelt tihedamaks 20–60% (vt Foto 8). Kaotasin mudelilt alumise ja pealmise kihi ning jätsin sisu struktuuri nähtavale. Selle võtte kasutamine kiirendas tunduvalt nii faili modelleerimise kui ka printimise protsessi. Taust on korrapärane ja toob tänu sellele käsitsi loodud motiivid paremini esile (vt Foto 9).

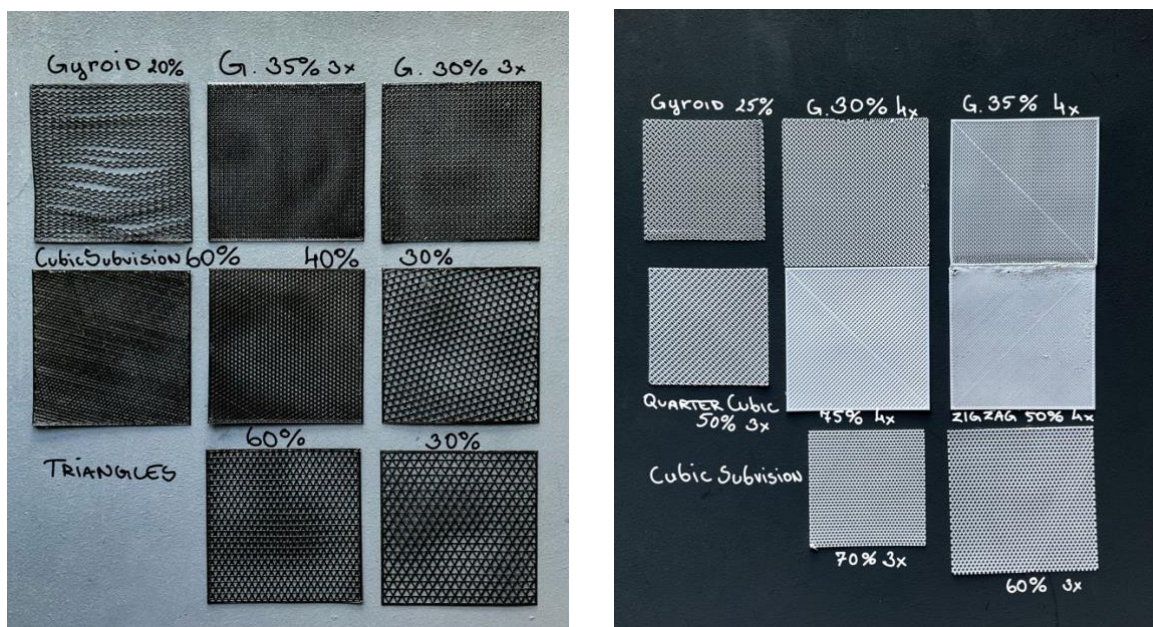


Foto 8. Katsed *fill* tihedusega

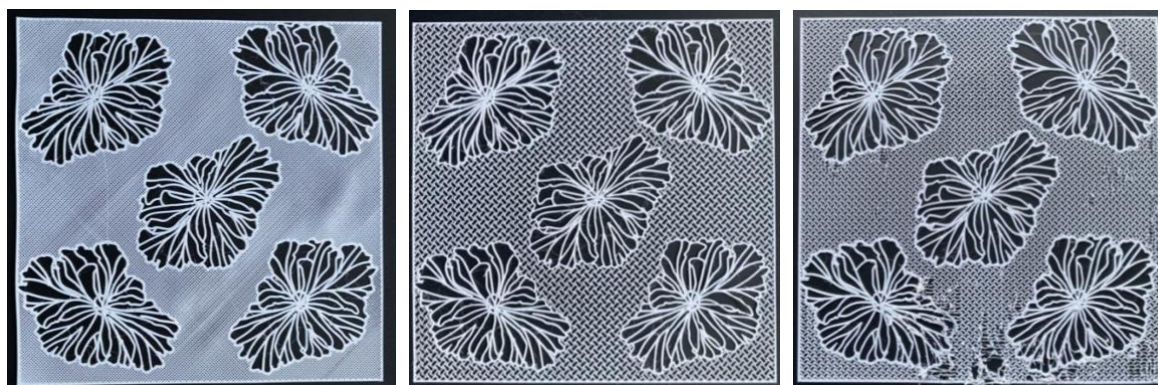


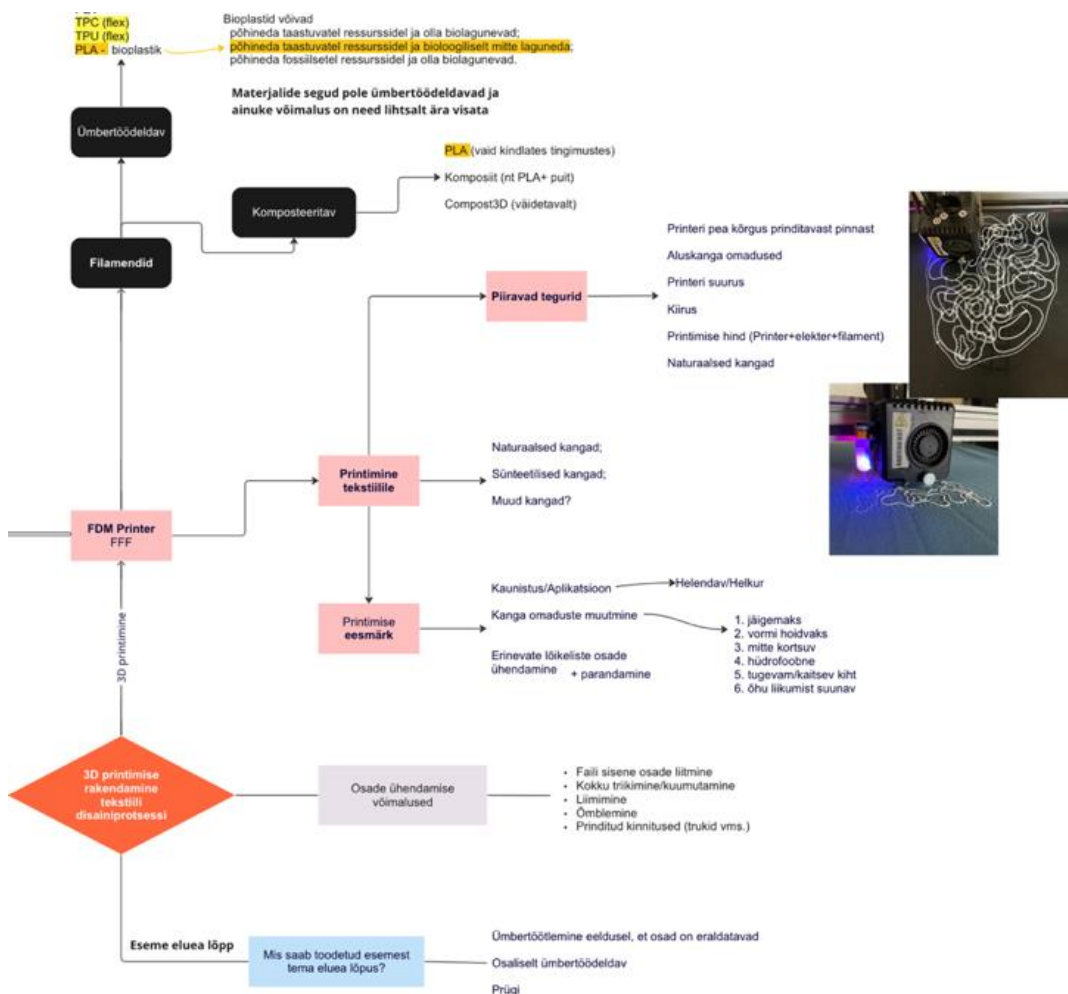
Foto 9. Näited katsetustest *fill* käsklusega

Valik materjalikatseid koos nende analüüsiga on nähtavad Lisa 5.

3. ESEME DISAINIPROTSESS

Järgnevas peatükis annan ülevaate praktilise osa disainiprotsessist ning kirjeldan kahe prototüübi valmimisprotsessi.

Kestlike materjalide õppeaine raames kaardistasin kogu lõputöö teema ideest kuni toote eluea lõpuni (vt Joonis 2). Printimise eesmärgi kaardistamisel jõudsin printitud osade liitmise võimaluste juurde, mis mängib rõiva loomise juures väga suurt rolli. Mõningase katsetamise järel leidsin, et parim viis printitud osi omavahel liita on nende kuumutamine – erinevad lõikelised osad saab läbi küpsetuspaberi kokku triikida ja detailsemate lahenduste korral on võimalik kasutada jootekolbi. Võrreldes materjali õmblemise või liimimisega on selline meetod tunduvalt vastupidavam.



Joonis 2. Lõputöö teema kaardistus. Terviklikku joonist saab vaadata siit: <https://miro.com/app/board/uXjVMf2eIco=/>

Lisaks arutlesin selle üle, mis saab minu loodud tootest tema eluea lõpus. Otsus loobuda aluskangast ja õmblustest tagab teoorias võimaluse kogu printitud eset ümber töödelda. Selleks on vaja ekstruuderit, mille levinuim mudel on Filabot. Filabot kasutab plastiku sulatamiseks kuumuse ja surve kombinatsiooni, selle protsessi tagajärjel pressitakse välja 1.75 või 3 mm diameetriga filament, mille saab otse poolile suunata.²⁸ Filamendi loomiseks sobivad nii 3D-printitud jäägid, ebaõnnestunud katsed kui ka erinevad plastikud nagu näiteks pudelikorgid. Seega oleks tehnika olemasolul minu loodav toode võimalik ümber töödelda uuesti kasutatavaks filamendiks.

3.1 3D-printitud vest

Esimese tootena disainisin üle pea käiva lühikese vesti. Otsustasin vesti lõike kasuks selle suuruse tõttu – korraga saab printida kuni 22x22cm suuruse tüki, see tähendab et riideese tuleb eraldi printitud osadest kokku panna. Minu disainitud vest, mis on loodud suurusele S, koosneb kaheksast printitud osast, mille printimisaeg oli kokku umbes kaheksa tundi. Iga osa on printitud eraldi loodud failist ja vest on kujundatud nii, et terviklik muster oleks orgaaniline (vt Foto 9).

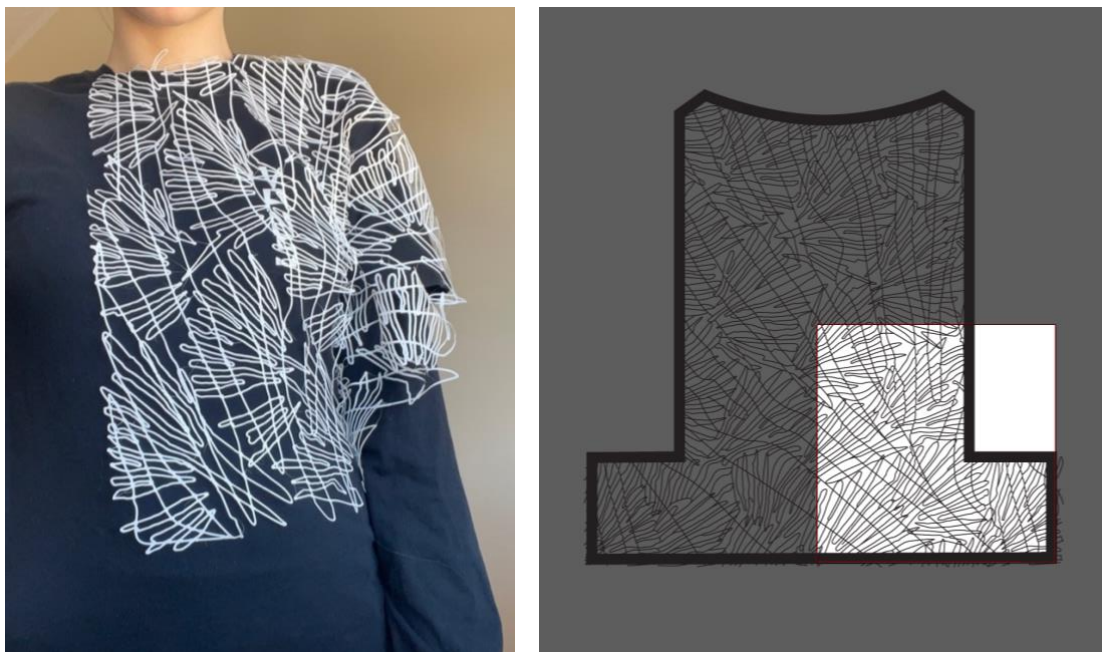


Foto 9. Lõikeliste lahenduste katsetamine ja osade modelleerimine Illustratoris

²⁸ Extrusion Hardware [WWW] <https://www.filabot.com/pages/our-hardware> 28.04.23

Kõik tükid on loodud nii, et need oleks kuni 1cm ulatuses omavahel kattuvad (vt Foto 10). See oli oluline, sest plaanisin tükid omavahel kokku liita triikimise meetodil küpsetuspaberi vahel. Kattuvad alad sulavad triikimise tagajärjel omavahel kokku ja liitmiskoht jääb tänu sellele vähem nähtav. Samas on oluline jälgida triikraua kuumust ning triikimise aega, et filament liialt ei sulaks ja laiuli valguks.

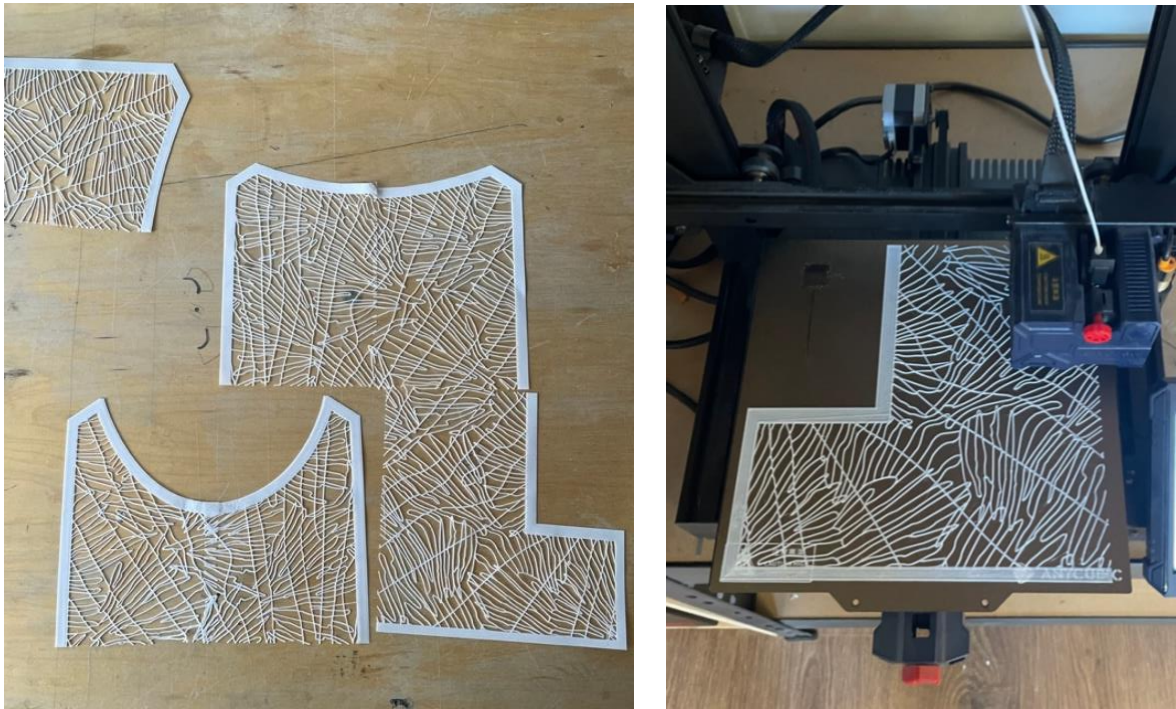


Foto 10. Lõikeliste osade printimine

Edaspidistel disainidel tuleks töömahu vähendamise eesmärgil iga osa peegeldatavaks muuta st vasak ja parem pool oleksid prinditavad ühest failist. Lisaks selgus, et selle disaini puhul olid kattuvad alad nii peenikesed, et neid oli äärmiselt keeruline kokku ajada. Seega tuleks jälgida, milline on struktuur kattumatel aladel ja katsetada veel erinevaid osade liitmise võtteid. Fotol 11 on näha valminud vesti modelli seljas.



Foto 11. 3D-prinditud vest ja tööproov. Foto autor on Elis Liik, fototöötlus Kertu Kasemets ja modell Johanna Vaiksoo.

3.2 3D-prinditud rinnahoidja

Disainitud vesti puhul katsetasin osade kokku liitmist triikimise meetodil ja tõestasin, et see on toimiv ja vastupidav meetod. Soovisin teha katseid, kus osade liitmine toimub detailsemalt ja mitte tasapinnaliselt.

Valisin järgmiseks katsetatavaks lõikeks rinnahoidja, mille rinnakorvi kolmemõõtmelise kuju ja suuruse tõttu pole materjalile võimalik triikrauaga läheneda. Otsustasin katsetada osade liitmist jootekolbi abil.

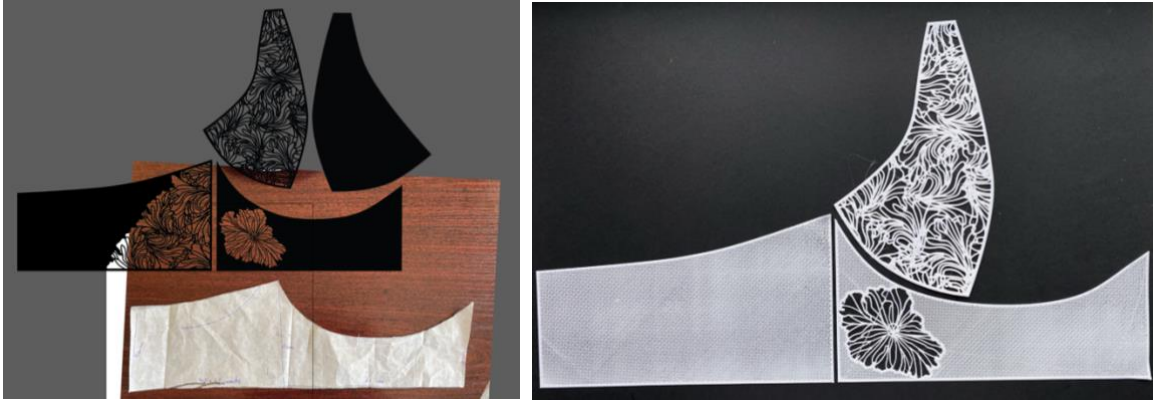


Foto 12. Lõikeliste osade modelleerimine Illustratoris ja printitud osad enne liitmist

Rinnahoidja lõike modelleerisin esialgu kalkapaberile ning seejärel modelleerisin lõike Illustratoris (vt Foto 12). Lõige koosnes esialgu viiest peegeldatavast osast, seega tuli terviklik ese printida kokku kümnest tükist. Selle disaini puhul kasutasin suures osas *fill'*iga täidetud alasid, mis tasakaalustavad minu enda loodud tihedaid ja detailseid struktuure. Esimese prototüübi printisin valgest filamendist, selle tugeva läbipaistvuse tõttu lisasin printitud lõikelistele osadele siserinna alal enda loodud struktuuri eraldi juurde (vt Foto 13).



Foto 13. Rinnahoidja esimene prototüüp ja tööproovid. Foto autor on Elis Liik, fototöötlus Kertu Kasemets ja modell Johanna Vaiksoo.

Liitsin osasid kokku jootekolbi abil, mis osutus ootamatult keeruliseks ülesandeks, sest filament sulab väga kiiresti ning seetõttu tekivad materjali väga lihtsasti põletusaugud ning valge materjal muutub helepruuniks. Katsetuste käigus selgus, et selle ülesande jaoks on parim lapiku otsaga jootekolb, mille temperatuur on 250-300°C.

Antud prototüübi põhjal tegin lõikelised muudatused failides ja otsustasin katsetada valge ja musta filamenti kooslust kihtidena, et suurendada rinnahoidja katvust ja tugevust (vt Foto 14). Uus prototüüp koosnes kaheksast peegeldatavast osast (18 tükki), mille liitsin kokku jootekolbi ja triikraua kombinatsiooni meetodil. Printimisaeg oli selle prototüübi puhul umbes üheksa tundi.



Foto 14. Mustvalge rinnahoidja prototüüp. Foto autor on Elis Liik, fototöötlus Kertu Kasemets ja modell Johanna Vaiksoo.

Katsetuste käigus tekkis jääkmaterjali vaid juhul, kui osade liitmise protsessi käigus sai mõni osa kuumakahjustusi nii suurel määral, et pidin need välja vahetama. Kuna G-koodid olid loodud osade printimiseks kahe kaupa jäi mul lõpuks hulk rinnahoidja tükke üle ning otsustasin neist luua asümmeetrilise rinnahoidja prototüübi, mida on näha fotol 15.



Foto 15. Asümmeetriline rinnahoidja ja loodud tööproovid. Foto autor on Elis Liik, fototöötlus Kertu Kasemets ja modell Johanna Vaiksoo.

3.3 Analüüs ja edasiarenduse võimalused

3D-modelleerimise ja -printimise tehnoloogiad arenevad tohutul kiirusel. Sooritatud katsetuste põhjal saan kinnitada, et väiksemate kodukasutuslike printeritega on võimalik kantavaid riidesemeid luua. Vastupidiselt eelarvamustele on prinditud struktuurid naha vastas üllatavalt pehmed ja mugavad. Materjal ei aja higistama ja hoiab pigem jahedust.

Näen, et sellel tehnoloogial on palju potentsiaali, millega edasi töötada. Edasiarenduse võimalustena näen järgmisi võimalusi:

- Sooritada laborikatseid materjali venivuse ja UV-kiirguse vastupanuvõime määramiseks
- Prinditavad struktuurid, mis on kangale triigitavad, võiksid olla parandamiseks, plekkide katmiseks või riiete kaunistamiseks
- Helendavate filamentidega saab luua helkureid, mis on riitele triigitavad
- Osade liitmismeetodite edasine katsetamine on oluline, et saavutada veelgi puhtamat viimistlust – sooviksin katsetada liitmist 3D-pliiaatsiga
- Kinnitusmeetodite katsetamine – trukid, lukud, nõöbid, haagid jne. Peamine eesmärk oleks kogu toote loomine ühest materjalist, et see hiljem ümbertöödeldav oleks.
- Katsetada TPU ümbertöötlemist ja taasloodud filamendi kvaliteeti
- Luua disainid nii, et need oleksid soovija suurusele lihtsasti kohandatavad
- Lisaks valmis toodete loomisele, soovin laadida oma disaine üles platvormidele, kust need teistele kättesaadavad oleks

KOKKUVÕTE

Tekstiilitudengina olen olnud huvitatud uutest materjalidest ja nende omadustest. Tekstiili mõiste on kaasajal avardunud ning materjali kui sellise mõiste kohati hägustunud. Selles töös eksperimenteerisin 3D-printimise võimalustega, et luua kodustes tingimustes tekstiili ja kantavaid rõivaesemeid.

Alustasin materjalikatsetusi 3D-printimisega otse kangale, et muuta aluskanga omadusi ja anda sellele tugevdatud vormi. Katsetused arendasid mu tehnilisi oskusi ja tekitasid arusaama tekstiilse materjali mõjutamisest 3D-prinditud struktuuridega. Katsetuste analüüsi tulemusel otsustasin aluskangastest loobuda ja luua ise kangast. Enda loodud kangaste loomiseks kasutasin TPU-filamenti, mis jäi printimise järel elastne ja võimalikult klassikalise kanga omadustega.

Selle lõputöö rõhk polnud valmis toote loomisel, oluliseks pidasin materjali ja loodud struktuuride katsetamist ning selle kättesaadava tehnoloogia potentsiaali tõestamist tekstiili kontekstis. Töö protsess koosnes mitmetest etappidest, nagu 3D-mudelite modelleerimine, aluskangaste valimine, prinditavate struktuuride katsetamine, struktuuride edasiarendused ja rõiva prototüüpide loomine. Praktilise töö tulemuste kajastamiseks olen kokku pannud mapid tööproovidest.

Katsetuste käigus avastasin erinevaid võtteid, mida enda disainiprotsessis rakendada. Protsessi tulemusel valmisid vesti ja rinnahoidja prototüübid, mida soovin edasi arendada sellisteks, et need oleksid lihtsasti erinevatele suurustele kohandatavad.

Selles töös jõudsin uurida vaid väikest osa kogu 3D-printimisega seotud tehnoloogia võimekusest, kuid sooritatud katsete põhjal olen kindel, et 3D-prinditud tekstiil on uudse väljanägemisega, pilkupüüdev ja eriliste tehnoloogiliste omadustega. Lisaks on sellel tehnoloogial just kodukasutajatele suunatud harus veel edasiarendamise potentsiaal.

Lõputöö katsetuste käigus printisin kokku umbes pool kilo ehk 150 meetrit filamenti.

SUMMARY

Applying 3D Printing in the Process of Textile Design

3D printing is a technology used to create three-dimensional objects. What if the structures are printed directly on to the fabric? In my final project, I experiment with different base fabrics, filaments and printable structures to find out the best printing technique to apply in my design process.

I started my thesis with terminology pages to facilitate the understanding of the reading process. The starting point for the research was studying 3D technology and how it is being used in textile and fashion context. I found out that most of the fashion designers who use 3D printing in their design process are doing it with industrial machines due to the lack of printing space and detailing with FDM printers. Another thing is that FDM printers that are being used at home are still rather slow. Despite that, I decided to work with FDM printers. My aim was to show the potential of home use 3D printers.

The first stage of the practical work was about printing structures directly on to the fabric. For that purpose, I used a bigger 3D printer which is not very common among home users, but which allowed me to stretch fabrics over the print bed. I wanted to give added value to the fabric with printed structures. The process was interesting and, in some ways, very eye-opening and challenging but the outcome of the process in question didn't offer me the effect I was hoping for. Some structures did work and made the fabric hold its three-dimensional form, but I couldn't find a way to justify the need of mixing different materials with each other in this project. For that reason, I decided to start experimenting with the smaller printer to create 3D printed textiles and garments that anyone can print at home.

The second stage of the practical work was designing garments that can be made with FDM printers and assembled with ironing. Firstly, I created printable structures and then added them into the pattern. The structures were inspired by fungi mycelium and its structures. I created different files, printed, and analysed them on the go. As the created structures were not that strong and it took very long to model the files and print them, I decided to use the fill command in the printing program. This made the modelling process and printing so much

faster, furthermore structures created with fill command made my own made structures more visible.

To demonstrate the outcome of the practical work, I have put together maps of 3D printed fabric samples. During the process a vest and bra prototypes were made that can be printed at home.

KASUTATUD KIRJANDUS

Raamatud ja trükised

Bitonti F. (2019). 3D Printing Design. Additive Manufacturing and the Materials Revolution. Suurbritannia: Bloomsbury Publishing.

Lipson H., Kurman M. (2013). Fabricated: The New World of 3D Printing. Kanada: John Wiley & Sons, Inc.

Veebilehed

3D printimine – printimise materjalid. [WWW] <https://www.metshein.com/unit/3d-printimine-printimise-materjalid> 30.03.23

Best 3D Printer Filament: The Main Types in 2023 [WWW] <https://3dprinting.com/what-is-3d-printing> 01.05.23

Bioplastid ja bioplasttooted [WWW] <https://keskkonnatehnika.ee/bioplastid-ja-bioplasttooted> 31.03.23

Eesti keele seletav sõnaraamat. [WWW] <http://eki.ee/dict/ekss/index.cgi?Q=termoplastne> 31.03.23

Extrusion Hardware [WWW] <https://www.filabot.com/pages/our-hardware> 28.04.23

FDM vs. FFF: Differences and Comparison. [WWW] <https://www.xometry.com/resources/3d-printing/fdm-vs-fff-3d-printing> 30.03.23

Leichman A.K. (2015) World's First Fashion Collection Printed at Home [WWW] <https://www.israel21c.org/worlds-first-fashion-collection-printed-at-home> 20.04.23

Merrel R. (2020) A Deep Dive With Transformative Fashion Designer Iris van Herpen. *The September Issue #4: Futurism* [WWW] <https://www.theseptemberissues.com/iris-van-herpen> 21.04.23

STL Files. [WWW] <https://www.adobe.com/creativecloud/file-types/image/vector/stl-file.html> 03.04.23

Thingiverse [WWW] <https://www.thingiverse.com> 03.05.23

TPE vs TPU flexible filament: The main Differences [WWW] <https://all3dp.com/2/tpe-vs-tpu-flexible-filament-the-differences> 31.03.23

What is 3D Printing? [WWW] <https://3dprinting.com/what-is-3d-printing> 30.03.23

What is FFF 3D printing? An introduction to 'fused filament fabrication' technology. [WWW] <https://ultimaker.com/learn/what-is-fff-fused-filament-fabrication-technology-for-3d-printing> 30.03.23

Pildimaterjal

Foto 1. Iris van Herpen Spring 2011. Look 12 [WWW] <https://www.vogue.com/fashion-shows/spring-2011-ready-to-wear/iris-van-herpen/slideshow/collection#12> 25.04.23

Foto 1. Collection Meta Morphism. Look 8 [WWW] <https://www.irisvanherpen.com/collections/metamorphism/collection-1#img-12175> 25.04.23

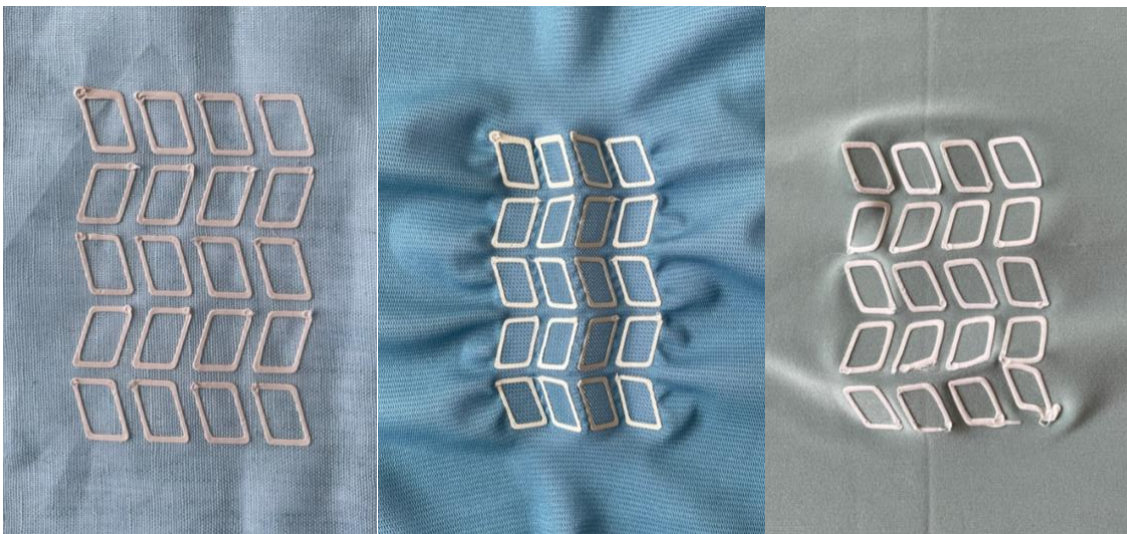
Foto 2. Danit Peleg „Liberty Leading the People“ [WWW] <https://danitpeleg.com/the-process> 20.04.2

LISAD

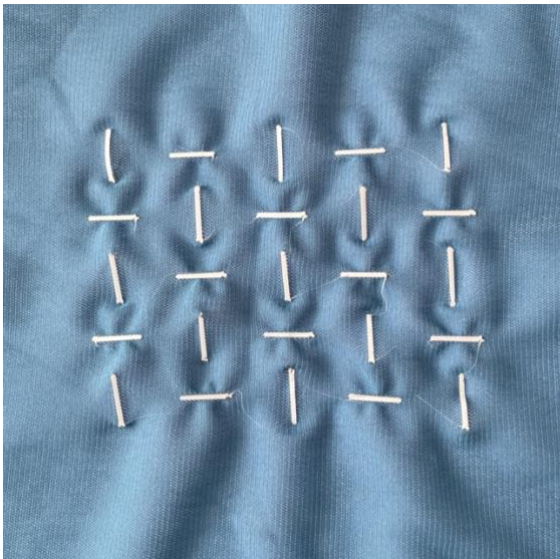
Lisa 1 Valik geomeetrilisi struktuure aluskangal



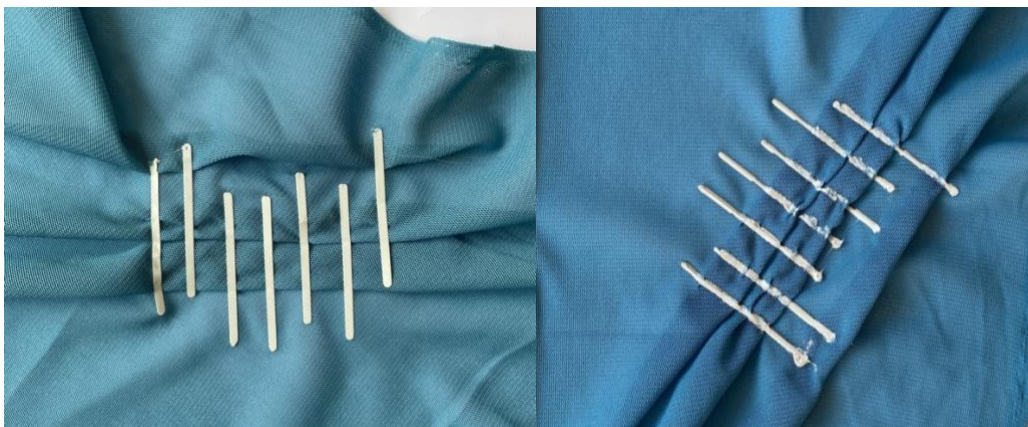
| Filament | Prinditud struktuuri kõrgus | Printimisaeg | Omadus | Edasiarendus |
|----------|-----------------------------|--------------|---|--|
| Must PLA | 2 kihti (0.6) 1.2 mm | 15 min | Volditav, kuid vajab eraldi kinnitusi, et volt püsiks | Kaared horisontaalselt ühendada, et ei murduks vertikaalselt läbi. Mis juhtub kanga venitamisel printimispinnale? |



| Filament | Prinditud struktuuri kõrgus | Printimisaeg | Omadus | Edasiarendus |
|-----------|-----------------------------|--------------|--|--|
| Valge PLA | 1.2 mm | | Volditav, kuid vajab eraldi kinnitusi, et volt püsiks. Visuaalselt kenam kui kaared. Võrkstruktuuril on kasutatud kanga venitamist, mis tekitab kroogitud efekti. Rohelisel lükril alumine kiht ei kinnitunud ja filament sulas printimise käigus laiali ja jäi ebahütlane | Katsetada struktuuri kasvatamist kõrgemaks ja kas struktuur toimib ka TPU-ga |



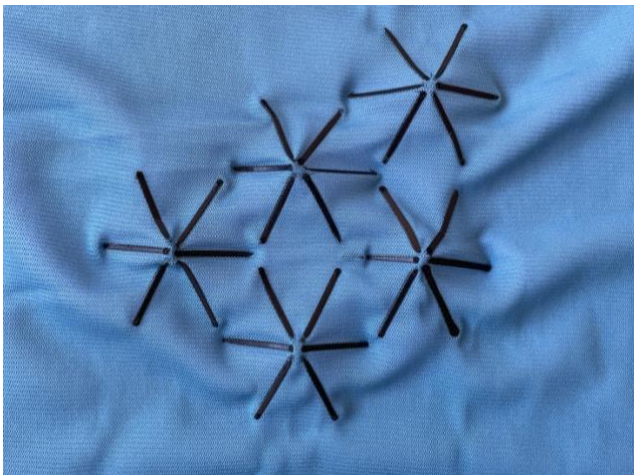
| Filament | Prinditud struktuuri kõrgus | Printimisaeg | Omadus | Edasiarendus |
|-----------|-----------------------------|--------------|--|---|
| Valge PLA | 1.2 mm | 10 min | Kangas alusele venitatud, tänu sellele tekib õrnalt mügarlik tekstuur. Visuaalselt põnev pind | Pulgad laiemaks ja kangast veelgi tugevamalt venitada, et efekt oleks suurem. |



| Filament | Prinditud struktuuri kõrgus | Printimisaeg | Omadus | Analüüs |
|-----------|-----------------------------|--------------|---|--|
| Valge PLA | 2.4 mm 0.6mm + 3 x 0.6mm | 7 min | Alumine kiht kinnitusena kena, kuid kanga voltide tõttu on düüsil liiga vähe tööruumi ja see kahjustab kangast ja prinditud pinda (näha parempoolsel fotol) | Paksu materjali surumine printeri pea alla suurendab võimalust, et düüs ummistub, seega pole soovituslik kui just masinat eraldi ei selle jaoks ei seadistata. |



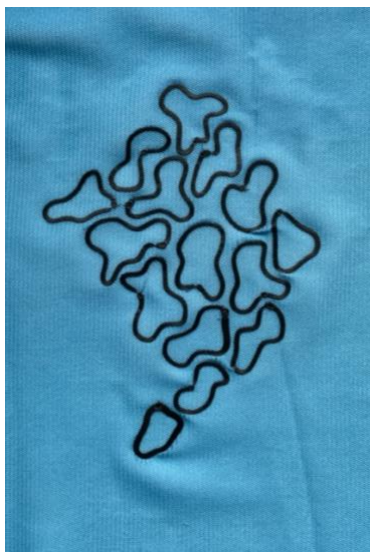
| Filament | Prinditud struktuuri kõrgus | Printimisaeg | Omadus | Analüüs |
|-----------|-----------------------------|--------------|--|---------|
| Valge PLA | 2.4 mm 0.6mm + 3 x 0.6mm | 7 min | Alumine kiht voldi kinnitusena kena, kuid kanga voltide tõttu on düüsil liiga vähe tööruumi ja kahjustab seetõttu kangast ja prinditud pinda (kahjustatud pind nähtav parempoolisel fotol) | |



| Filament | Prinditud struktuuri kõrgus | Printimisaeg | Omadus | Edasiarendus |
|----------|-----------------------------|--------------|---|---|
| Must PLA | 1.2 mm (0.6 + 0.6) | 8 min | Kergelt mügarlik pind tänu kanga venitamisele lisab õhulisele kangale vormi | Jooned laiemaks ja omavahel ühendatuks. Kangast proovida veelgi rohkem venitada |

Täpsemad seaded printerile ja tulemused aluskangastel on nähtavad siin: https://artcol-my.sharepoint.com/:x:/g/personal/brigita_kasemets_pallasart_ee/EQF4_WW_3k1GlanmHiXUYABNj78XXH7aZZWuVCElm-xwA?e=IHdV5c

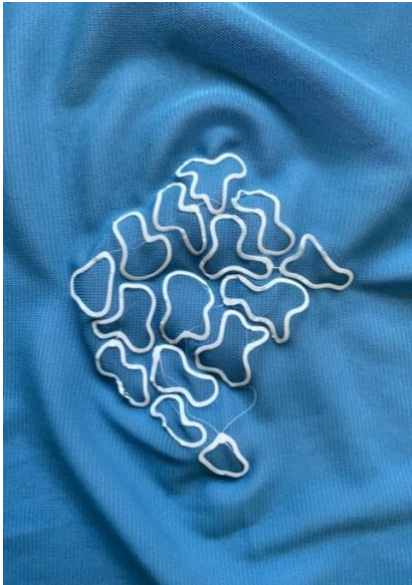
Lisa 2 Orgaanilised struktuurid kangal



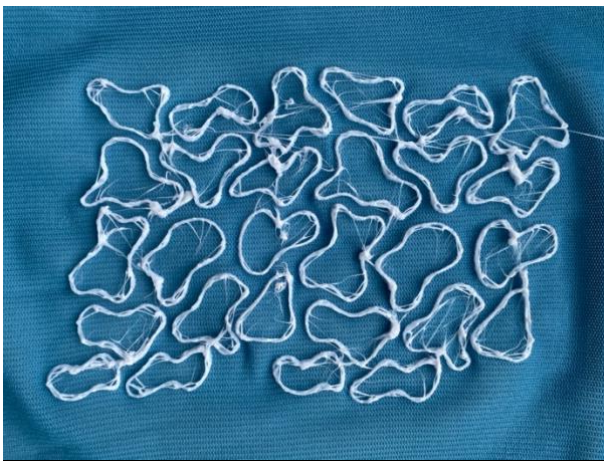
| Filament | Prinditud struktuuri kõrgus | Printimisaeg | Omadus | Edasiarendus |
|----------|-----------------------------|--------------|---|--------------|
| Must PLA | 1.2 mm (0.6+0.6) | 9 min | Toestatus, tugevdus kangale, pigem visuaalne aplikatsioon | Täidetud ala |



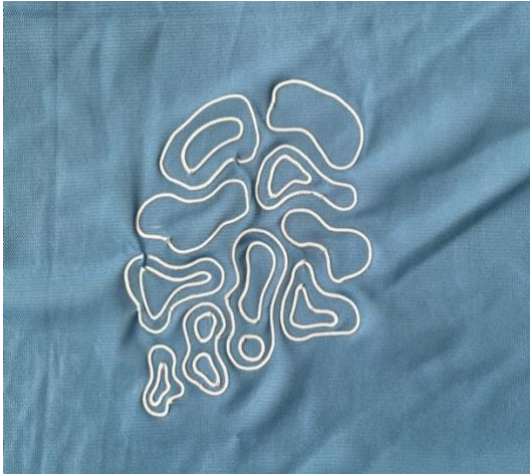
| Filament | Prinditud struktuuri kõrgus | Printimisaeg | Omadus | Edasiarendus |
|----------|-----------------------------|--------------|---|---------------|
| Must PLA | 1.2 mm | 15 min | Tugevdus kangale, samas ka visuaalne kaunistus. Liiga jäik, terav ja raske. Äärtena toimib paremini. | Katsed TPC-ga |



| Filament ja suurus | Prinditud struktuuri kõrgus | Printimisaeg | Omadus | Edasiarendus |
|---------------------|-----------------------------|--------------|--|--|
| TPC 10.2 x 12 cm | 1.2 mm | 12 min | Annab kangale tuge ja raskust, samas tõmbas struktuuri kuju järgi natukene kokku ja tekkis kausjas kuju. Vastu nahka pigem terav. | Täita suurem ala ja struktuuri kõrgusesse kasvatada. |

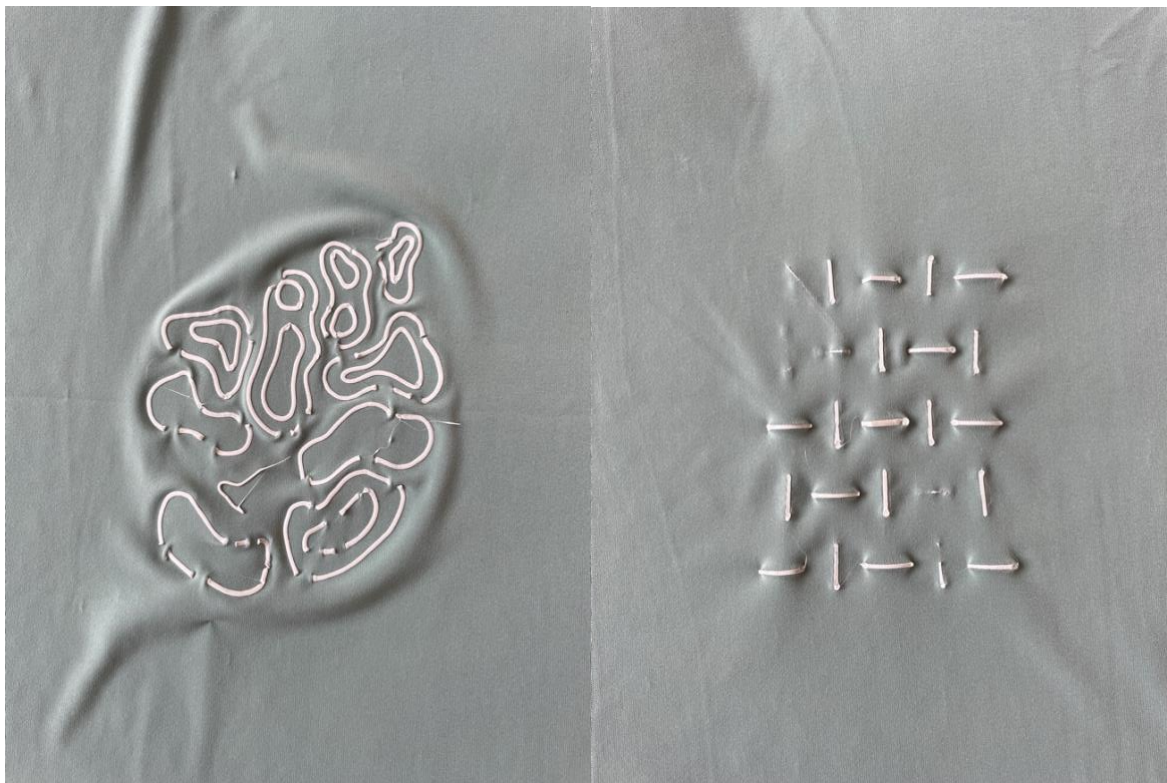


| Filament | Prinditud struktuuri kõrgus | Printimisaeg | Omadus | Analüüs |
|----------|-----------------------------|--------------|--|--|
| TPU | 3.6 mm 0.6mm + 5 x 6mm | 25 min | Visuaalselt põnev, samas lisab oodatud tugevust. Alumine kiht kinnitus osaliselt ja pealmisel osal kihid lahtised. TPU ei sobi Wanhao printerile. | Ebakorrapärane printimistulemus tekitab käsitööliku tulemuse. Selle tahtlik saavutamine võiks olla miski, mille poole püüelda. |



| Filament | Prinditud struktuuri kõrgus | Printimisaeg | Omadus |
|----------|-----------------------------|--------------|---|
| PLA | 1.2 mm (0.6+0.6 mm) | 12 min | Äär-ääre sees võimaldab kõige sisemise osa kangast ära lõigata ja nii kihilisust juurde tekitada. Struktuur lisab tuge ja suuremad struktuuride vahelised alad lisavad põnevat liikuvust |

Lisa 3 Ebaõnnestunud katsed kangal

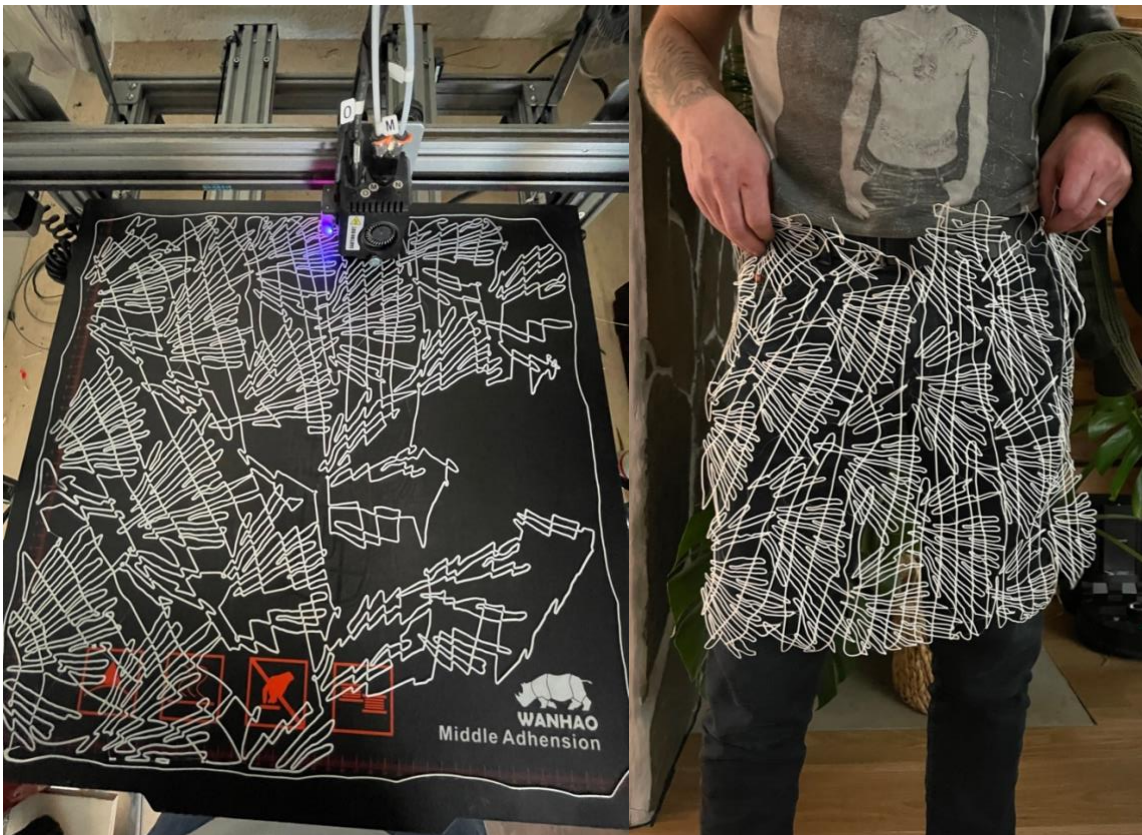
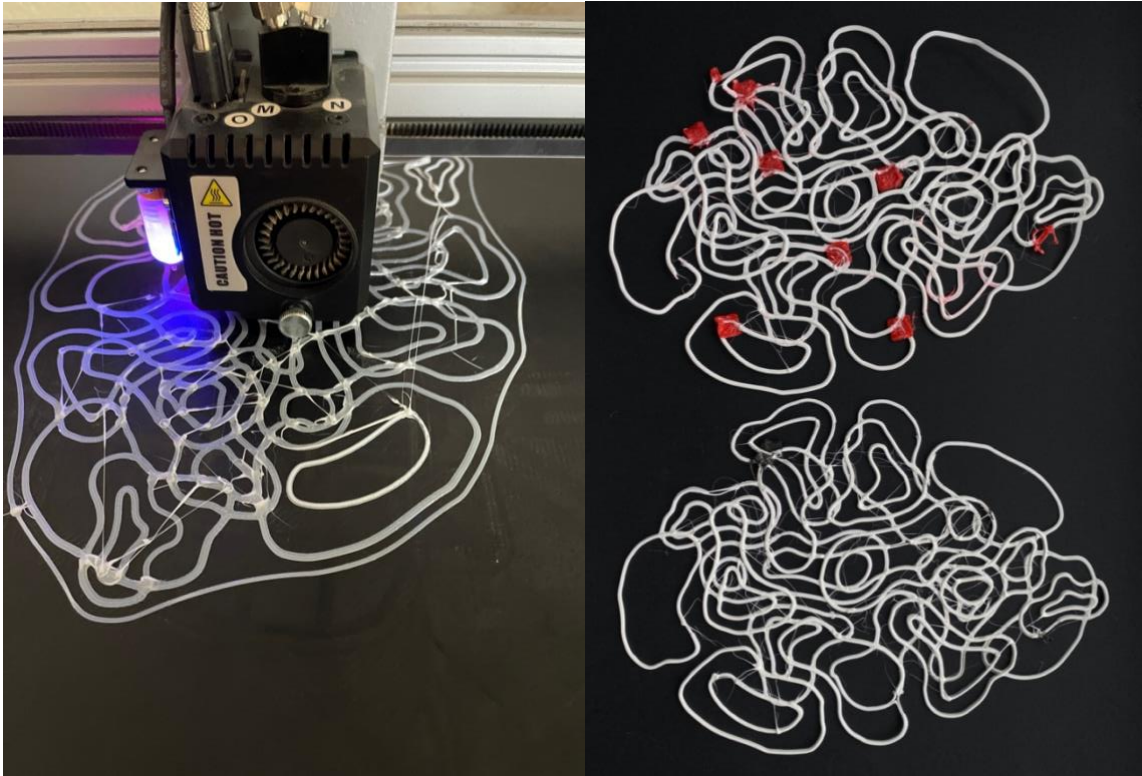


Filament ei kinnitunud kangale selle libeduse ja tiheduse tõttu

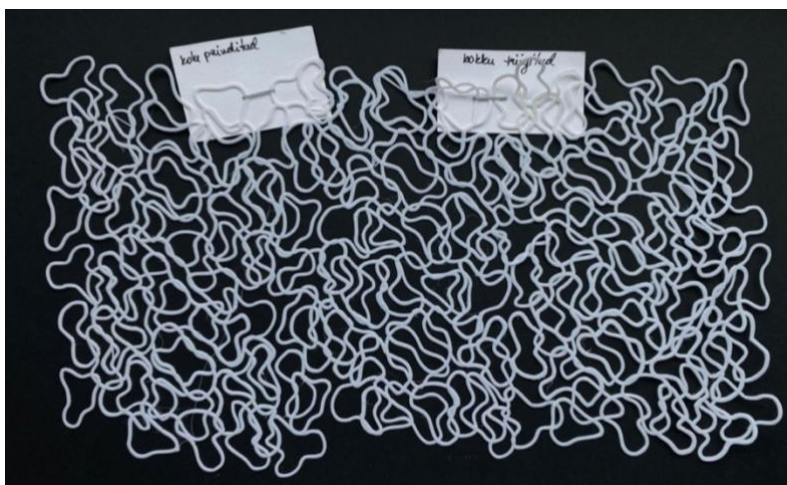


Kangas polnud printimiselusele korralikult kinnitatud

Lisa 4 Esimesed aluskangata katsed



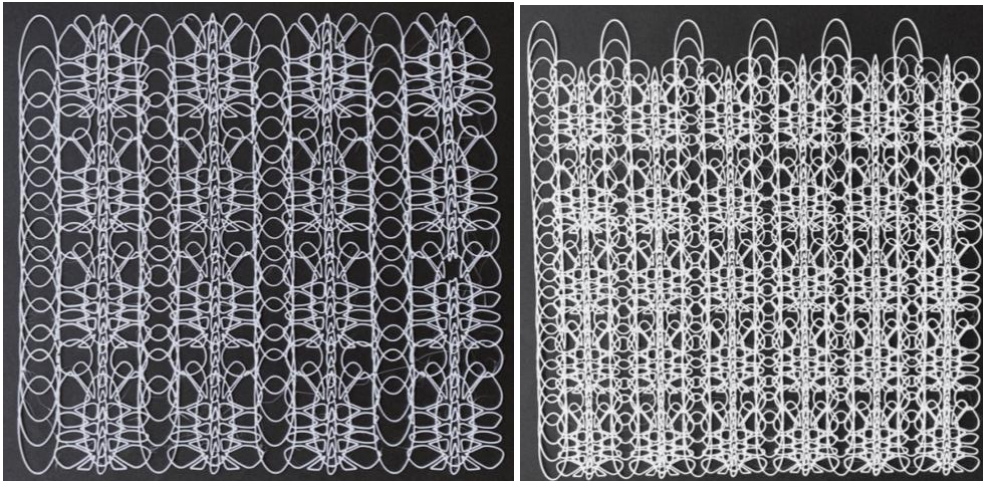
Lisa 5 Valik 3D-prinditud kangaid



| Filament | Omadus | Analiütis | Edasiarendus |
|----------|--|---|--|
| TPU | Struktuuri kihilisus tekitatud vasakul faili sees ühe struktuuri korrutamisel ja nihkesse tõstmisel. Paremal on aga kihid omavahel kokku triigitud. | 28 x 16 cm kogu printimisaeg umbes 2h Väga lihtne struktuur, mis visuaalselt on siiski põnev ja mitte liiga kaunistuslik | Et suurendada rõiva puhul kantavust, tuleks tekitada alumine katvust tagav kiht. |



| Filament | | Omadus | Analiütis | Edasiarendus |
|------------------------------------|--|---|--|---|
| TPU (Ka kõigil järgnevatel) | Joone paksus 0.5 mm Kõrgus 0.8 mm | Väga veniv, kuid samas ka kergesti purunev. | 19 x 19 cm printimisaeg 1 h 33 min Visuaalselt väga kena, kerge ja naiselik | Joone paksus peaks olema suurem ja ühendused laiemad. Struktuur kasutusel rinnahoidja disainis |



| Katsed | Omadus | Analüüs | Edasiarendus |
|---|---|--|---|
| 21.5 x 20.5 cm 1. Kõrgus 0.6mm 1h 17 min 2. Kõrgus 1mm 1h 55min 3. Kõrgus 0.8mm 2h 30 min | Geomeetriline ja väga korrapärane struktuur Venivus peaaegu puudub | Parim kõrgus 0.6 mm – pole liiga jäik Struktuuri esimene tihedus on liiga hõre – puruneb venitamisel kergesti ja on liiga tuim. | Kattuvad alad peaksid olema laiemad, et need struktuuri venitamisel ei katkeks. Struktuuri tihedus võiks jääda fotodel nähtavate tiheduste vahepealseks. |



| | Omadus | Analüüs | Edasiarendus |
|---|---|---|---|
| 21.5 x 21.5 cm 1h 40 min Kogu faili loomine võtab liiga kaua aega | Umbes 0.6 mm – Fail tehtud 1mm, kuid katkestasin printimise 51% peal printeri probleemi tõttu | Struktuur liiga õrn, pallikesed (1mm) kannatavad venitamist, kuid muu (0.5 mm) liiga õrn Liiga palju lahtiseid otsi, mis omakorda ei aita struktuuri koospüsimisele kaasa. | Loobuda väiksematest „vahe seeneketest“, sest need ei anna midagi juurde. Muuta joonepaksus ühtlaselt 1mm peale ja ühendada kõik lahtised otsad. |



| Katse | Fill | Omadus | Analüüs |
|---|---------------------------------------|---|---|
| 1. 20 x 20 cm Kõrgus 0.6 mm 1h 30 min | 1. Zig-zag 35% Wall thickness 1 mm | <i>Fill</i> on tugevam, kui enda loodud taust-struktuur. Samuti on faili loomine ja printimise protsess sellega kiirem. | Enda loodud struktuurid tulevad visuaalselt palju paremini esile väga ühtlase ja korrapärase <i>fill</i> ’iga. Seda võtet rakendan ka enda disainiprotsessis. |
| 2. 21 x 21 cm Kõrgus 0.8 mm 2h 40 min | 2. Gyroid 25% wall thickness 1.2 mm | Rõiva loomise juures pakub tihe <i>fill</i> katvust | |
| 3. 21 x 21 cm Kõrgus 0.8 mm 2h 17 min | 3. Gyroid 25% wall thickness 1mm | | |

Kõikide tööproovide ja prototüüpide printimise seaded nähtavad siin: https://artcol-my.sharepoint.com/:x:/g/personal/brigita_kasemets_pallasart_ee/EW-Edau1kTFJi5HqzYxCdpgBroU-xbijFcsY0dzP0fbZ2Q?e=4OJIUI

Lisa 6 Loodud prototüüpide detailifotod

Lõputöös valminud prototüüpide detailifotod. Fotode autor on Elis Liik, fototöötlus Kertu Kasemets ja modell Johanna Vaiksoo.



