

Kõrgem Kunstikool Pallas

Tekstiiliosakond

Villaste kudumite modifitseerimine 3D-printimise abil

Lõputöö

Brigitte Mihkelson

Juhendaja: Liisa Kanemägi, MA

Tartu 2025

SISUKORD

	2
SISSEJUHATUS	3
1. Tehnoloogiline taust	5
1.1 Silmuskudumine masinal	6
1.2 3D-printimine	9
2. 3D-printimine tekstiilis	11
2.1. Iris Van Herpen	11
2.2. Christien Meindertsma	13
2.3. 3D-printimine meriinovillasele kangale	14
3. Praktiline osa	17
3.1 Taastamine- esimene teos	21
Kudumine	22
3D-printimine	25
3.2 Venitamine viib lõpule- teine teos	30
Kudumine	32
3D-printimine	33
3.3 Väänlemine - kolmas teos	40
Kudumine	41
3D-printimine	42
KOKKUVÕTE	46
SUMMARY	47
KASUTATUD KIRJANDUS	49
LISAD	53

SISSEJUHATUS

Riided on inimeste elus läbi ajaloo olulisel kohal olnud, need annavad kaitset ning hoiavad sõltuvalt elukohast kas soojas või jahedas. Pikemat aega on rõivaste tootmine põhinenud taimset või loomset päritolu materjalidel, jõudes viimase sajandi vältel sünteetiliste kiududeni ning viimasel kümnendil printimise tehnoloogiani moemaailmas. Viimast on seni näha mõningatel *moeshow*'del ja õppetöö osana tehnoloogia või tekstiili kõrgkoolides, kaasa arvatud Kõrgem Kunstikool Pallas õppekavas.

Ise olen alati huvitatud olnud õhulistest ja materjalide kontrastsusel mängivatest disainidest. Sellist väljendust on leida siidi õrnuse ja raskust andvate klaaspärlite vahel või villa soojuse ja külma õhkavate metallist furnituuride vahel. Siit edasi liikudes jõudsin ideeni viia kokku meie kohalik ja kvaliteetne vill millegi drastiliselt erinevaga – 3D-printimisega. Kuigi antud tehnoloogia ei ole moedisainis enam kõige uuem, toimub selle ümber palju arenguid ning tekstiiliga seotud 3D-printimise teaduslikke võimalusi on uuritud mitmes väga edukas projektis. Vaatamata sellest piirab tõenäoliselt tehnoloogia laiemat kasutamist vajaliku masinapargi või programmide puudumine, kompromissid kandmismugavuse osas ning tekstiilsete omadustega materjalide puudumine (Davey 2022).

Käesoleva töö kirjalikus osas tutvustan põgusalt masinal silmuskudumise ja 3D-printimise tehnoloogia põhiteadmisi. Tutvustan olemasolevaid 3D-printimise võimalusi ja saavutusi moemaailmas ning jäädvustan iseenda katsetusi praktilise osa protsessis. Teosed ja disainiprotsess on inspireeritud kasvamise ideoloogiast, mida avan eraldiseisvalt iga teose peatükis.

Töö praktilise osa eesmärk on uurida, kas ja kuidas saaks villast kudumit kokku viia kodus kasutatava 3D-printimise tehnoloogiaga. Sean endale eesmärgi luua väikese kollektsiooni kootud rõivaid, mille kandmisvõimalusi saaks muuta 3D-prinditud detailide abil, jõudes moodulsüsteemil ümber tõstetavate lahendusteni. Materjalivalikus otsin sümbioosi kootud kanga pehmuse ja 3D-prinditud detailide range vormi vahel. 3D tehnoloogia lisamisega kudumite disainile on võimalik silmuskootud esemete potentsiaali suurendada, tagades tugevama struktuuri ja moodulsüsteemiga muudetava välimuse ehk parema isikupärastamise. Töös toimib kasvamise ideoloogia olulise taustamõjuna, peegeldudes

kihiliselt arenevates tehnikates ning loomeprotsessis, disainid on areneva iseloomuga, kus iga järgmine saab eelmisest idee.

Kõik töös kasutatud fotod on autori fotod, kui ei ole mainitud teisiti.

1. Tehnoloogiline taust

Praktilises töös olen kasutanud kahte erinevat tehnoloogiat: masin silmuskudumine ja 3D-printimine. Kudumismasina mudel on Silver Reed SK 280 (vt foto 1) ja 3D-printeri mudel on Bambu Lab X1-Carbon (vt foto 2).

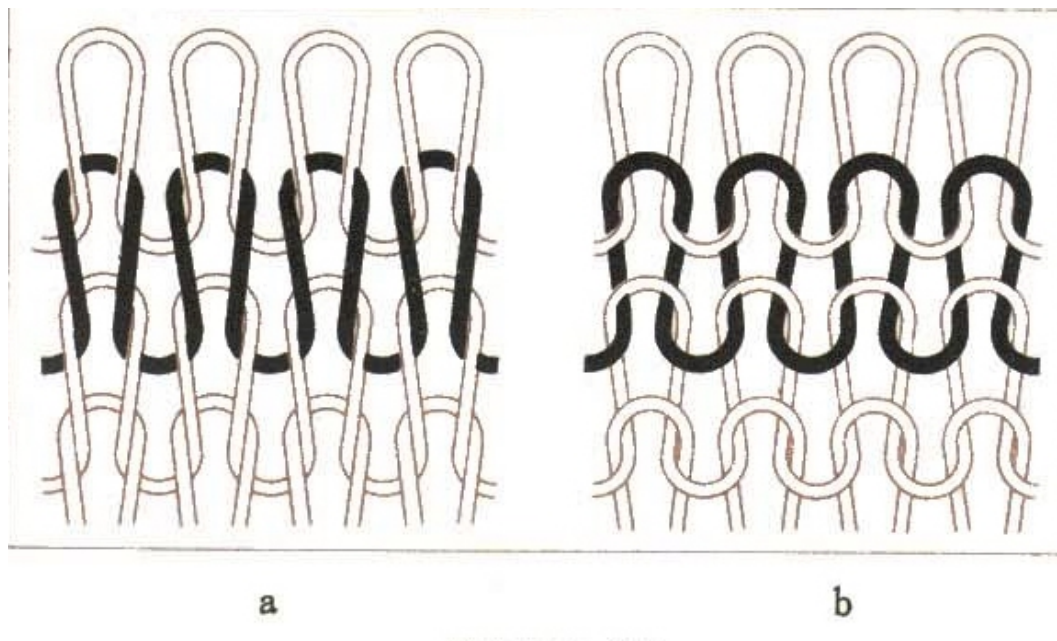
Kogu kudumites kasutatud lõng on tellitud Villavabrikust ning toodetud kohalike lammaste villast. 3D-printimises kasutan PLA ehk polüültomakshappe filamenti, mille valisin selle jätkusuutliku toodangu ja taaskasutamise võimaluse põhjal (Allen 2024). Mõlemad materjalid on tellitud Eesti ettevõtelt, kuid filament on toodetud välismaal.

Prinditavad failid on inspireeritud iga teose enda koest. Nende esmaseks töötlemiseks olen kasutanud Adobe Photoshop'i ning Illustratorit, failide 3D-printerile loetavaks muutmiseks kasutasin Autodesk Fusion'i ning printimise käskluse andmiseks printeri enda programmi Bambu Studio. Põhilised koduprinteri kasutamise piirangud on prinditava eseme suurus ning printimise aeg. Printeriga, mida selle töö valmimisel kasutan, saab printida esemeid kuni 250 x 250 x 250 mm, olenevalt eseme paigutusest ning kõrgusest on võimalik neid mõõtmeid veidi suuremaks venitada.

Minu varasem kogemus 3D-printimises ei ole väga suur. Õpingute kolmanda aasta sügisel võtsin erialast valikainet 3D tehnoloogiad, kust sain ülevaatlilikud baasteadmised vajalike programmide ja masinate kohta. Antud töö aitab mul arenedada ennast 3D-printimise vallas, luues vundamendi edaspidiseks loometööks.

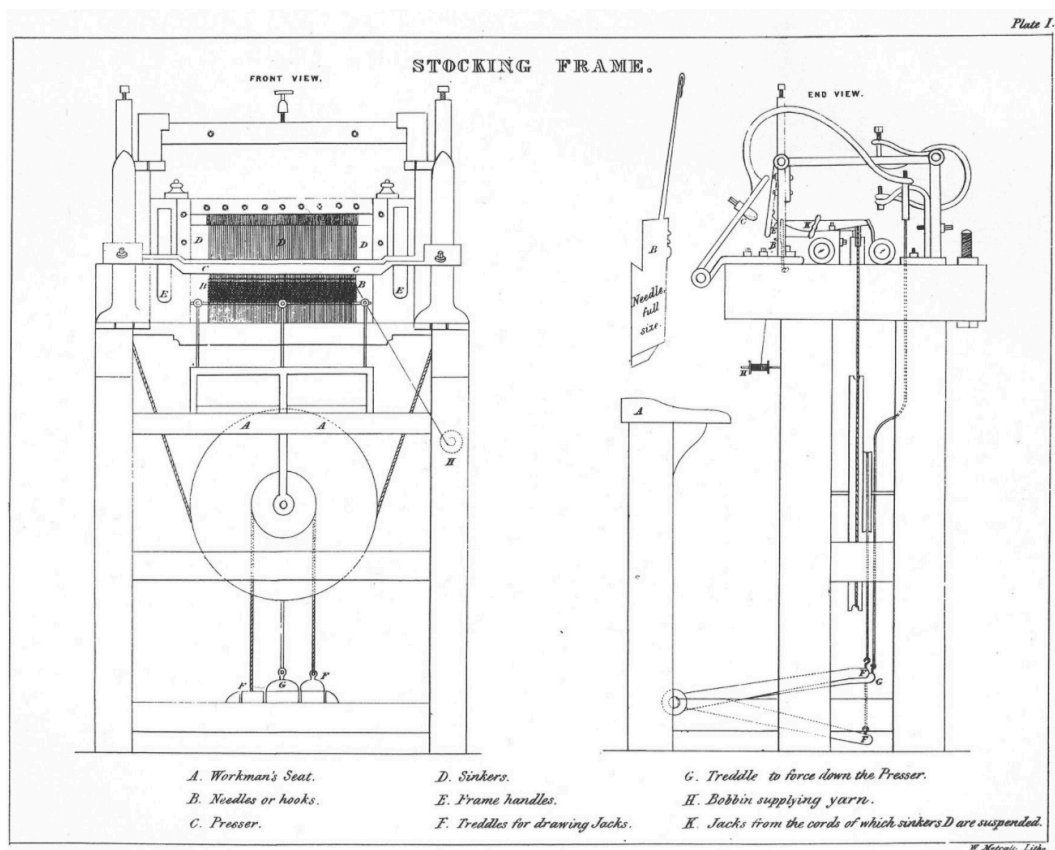
1.1 Silmuskudumine masinal

Silmuskudumine masinal on kudumistehnika, mille puhul toimub silmuste ridade kasvatamine liikudes kelguga rea kaupa üle nõelte, et moodustada omavahel ühendatud silmustega kangapindasid (vt joonis 1). Eristatakse tööstuslikke ja kodukasutuseks mõeldud seadmeid (Spurling 2021: 11).



Joonis 1. Silmused, parem pool ja pahem pool

Silmuskudumine masina abil on üks mitmetest viisidest lõngast kanga valmistamiseks ning põhineb traditsioonilise varrastel kudumise jäljendamisel. Esimesed katsed silmuskudumise mehaniseerimiseks tehti juba 16. sajandi lõpus kui loodi esimesed kudumisraamid, millega sai kodust töötades lisaraha teenida (vt joonis 2). Kudumine kui hobi ja kodus kasutatavate masinate laiem levik sai hoo sisse alles hiljem. Enamik hetkel kasutusel olevatest kodudes kasutatavatest kudumismasinatest on toodetud 1970. aastate lõpus või hiljem. Hetkel on Silver Reed ainuke tootja, kes veel valmistab kodus kasutatavaid masinaid (Knitting & Crochet Guild WWW).



Joonis 2. Esimene kudumismasin

Silmuskootud kangas on äärmiselt mitmekülgne materjal, mida kasutatakse mitmesuguste rõivaste tootmiseks, alates aluspesust kuni pealistrõivasteni. Selle peamiseks omaduseks on venivus, mis tuleb kanga struktuurist. Kasutades erinevaid lõngu on võimalik saavutada mitmekülgsete omadustega ning väljanägemisega kangaid. Masina kasutamise eelis käsitsi kudumise ees on eseme valmistamise kiirus, ühtlane koepinge ja silmuste korrapärasus (Gartshore 1983: 65).

Selle töö valmimisel kasutasin Silver Reed masinat SK 280, mis kategoriseeritakse viienda klassi masinaks (vt foto 1). Nõelte arv kudumisplaadil on 200 ja nõelte omavaheline kaugus 4,5 mm, masinal on võimalik määrata kudumistihedust vahemikus null kuni kümme, kus null on kõige tihedam ja kümme kõige hõredam (Veimex OÜ). Töös loodud mustrid on nõeltel käsitsi üles loodud.

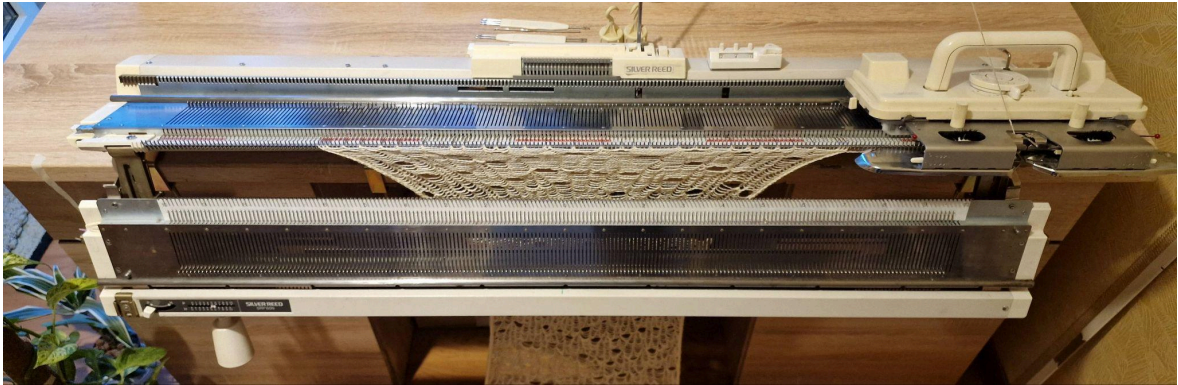


Foto 1. Kudumismasin Silver Reed SK 280 ja abiplaat SRP 6

1.2 3D-printimine

Kolmemõõtmeline printimine ehk 3D-printimine on tehnoloogia, mida kasutatakse arvutis ruumiliselt modelleeritud esemete printimiseks. 3D-printimise mõiste sai ametlikuks 1981. aastal, mil Hideo Kodama patenteeris esimese UV valgusel töötava tehnoloogia. Mõned aastad hiljem arendati välja järgmine sarnasel põhimõttel töötav ning seni levinud stereolithograafilise (SLA) printimise meetod (Craftech OÜ WWW). SLA printerid kasutavad toorainena vedelat fotoaktiivset vaiku, mis kiht haaval UV valguse abil tahkeks kehaks muudetakse (Protolabs Network WWW). Tänu elektroonika ja mikrokiipide arengule on tänaseks välja arendatud mitmeid teisigi 3D tootmistehnoloogiaid nagu SLS, DMLS, DLP, MJF, EBM, PJM, FDM (Brown 2023). SLA, SLS, DMLS, EBM tüüpi 3D-printerid kasutavad toorainena metalli või metallipuru, mis paagutatakse või sulatatakse vastavalt võimsa laseri või elektronjoa abil. Seda tüüpi printerid on valdavalt kallid ning kasutusel kõrgtehnoloogiliste detailide prototüüpimises motosporadis, lennunduses, kosmosetehnoloogias (Xometry WWW). Koduseks kasutuseks on enim levinud FDM ja SLA printerid. Nende eeliseks on printeri ja toormaterjali odav hind ning kasutajasõbralikkus.

Olenevalt printerist ja kasutatavast tehnoloogiast on võimalik printida nii plastikut, metalli, keraamikat, betooni, vaiku jne. 3D-printimine on võimaldanud arenguhüpet toodete prototüüpimises ja edasiarenduste läbitöötamises, võimaldades kiirelt materialiseerida ideid ning visualiseerida keerukamaid kontseptsioone katsutaval kujul. (Ahart 2019)

Isiklik 3D-printer, mida selles töös kasutan, töötab FDM (Fused Deposition Modelling) ehk sulamodelleerimise tehnoloogial. Tegu on ühe taskukohasema ning populaarsema 3D-printimise variandiga. FDM töötab plastfilamenti sulatades ning lükates seda kõrgel kuumusel läbi ekstruuder, ehk printeri pea. Ekstruuder liigub mikroskoopilise täpsusega mööda alusplaati, jättes maha ühtlase plastfilamendi kihi. Kergelt kuumutatud alusplaadil filament vaikselt jahtub ning uuel ringil lisandub järgmine kiht (Craftech OÜ WWW). Olenevalt masinast on kihtide kõrgused varieeruvad, kuid masinal, mida siin olen kasutanud, on kihi kõrguseks määratud 0.2mm. Sellest tulenevalt tuleb detaili kõrgus määrata alati 0.2 jagatavaks.



Foto 2. 3D-printer Bambu Lab X1-Carbon

2. 3D-printimine tekstiilis

3D-printimise ja tekstiili kokkuviiamise idee on juba üle 10 aasta vana, kuid on siiski üpris vähe uuritud ning moetoodetes vähe kasutatud. Massachusettsi Tehnoloogiainstituudis jõuti pehme 3D-prinditud kangani kasutades kollageeni struktuuri omadusi – sellisel materjalil oleks tulevikku nii rõivadisainis kui ka meditsiinis (vt lisa 1). Saavutatud on veel 3D-prinditud kudumine (vt lisa 2-3), temperatuuri reguleerivad kangad ning kontrollitult elektrit juhtiv kangas. Vaatamata teaduslikest edusammudest on 3D-printimise kasutamine tavalises rõivadisainis aeglase arenguga (Davey 2022).

Peamised kaks varianti tekstiili ja 3D-printimise sidumises on kas tekstiilile printimine või filamendist täiesti uue kanga moodustamine. Uue tekstiili või olemasolevale tekstiilile 3D-printimises on ära kasutatud nii sulamodelleerimist (FDM) kui ka stereolihtograafiat (SLA), kuid see nõuab tekstiili üleni vaiku paigutamist, mis tõenäoliselt ei ole hea kangale ega printimisele (võib lõhkuda kangast ning eritada ebavajalikke kiude vaiguvanni). Kahe eelneva tehnoloogia eeskujul on uuringu eesmärgil ära proovitud ka PolyJet ehk PJM printimine (Kozior ja Ehrmann 2023). Uue tekstiilsete omadustega elemendi printimine nõuab olenevalt tehnoloogiast tugevat matemaatilist ja geomeetrilist lähenemist. Enamik kodus kasutatavatest sulamodelleerimisel töötavatest printeritest kasutavad jäigemal filamenti, kahandades märkimisväärselt harjumuspärase tekstiili omadusi ja suurendades geomeetriselt painduvate lahendustega töötamist. Järgnevalt annan lühikese ülevaate minu tööd inspireerinud 3D-printimise kasutusest tekstiilis. Toon välja kaks disainerit ning ühe kangale printimise tehnoloogia projekti.

2.1. Iris Van Herpen

Moemaaailma üks esimesi ja tuntumaid kolmemõõtmelise printimise moelavale toojaid on Iris Van Herpen. Tema teostest sain inspiratsiooni ka antud töö teostamiseks. Iris Van Herpen alustas printimise teekonnaga juba 2009. aastal, proovides kätt kleitide printimisel. Esimest korda üleni 3D-prinditud esemega moelavale tuli Hollandi disainer 2010. aastal. Olles alustanud sellise teekonnaga väga vara, on Iris Van Herpen töötanud esimeste aeglase ja jäikade tekstiilile printimise võimalustega ning jõudnud läbi aastate areneda

voolitavalt pehme printimise tehnoloogiani. Prinditava materjali kõrval on suure arengu läbi teinud ka masinad ise. Disaineri esimese 3D-prinditud teose valmimiseks kulus seitse päeva, printides 24 tundi päevas (Holgate 2016).



Fotod 3-5. Iris Van Herpen teoste fotod disaineri kodulehelt, fotod: Iris Van Herpen

Iris Van Herpeni disainis püüavad tähelepanu detailsus ja tugev kasutatud materjalide vaheline kontrastsus. Meisterlikult on mängitud jäiga skulptuurilise vormi, vonklevate pinnamustritega ning õhust õrnema kanga delikaatsusega. Vaatamata esilduvatest grandioossetest disainidest on kõik teosed tasakaalustatud ja feminiinsed, olles eraldiseisev ood kandja seljas (vt fotod 3-5).

Disaineri loomeprotsess on materjalipõhine, intervjuus Vogue'ile kirjeldab moekunstnik, kuidas ta peale 3D-prinditud elementide muud ei visanda, vaid läheneb materjalile drapeerides ning seda jooksvalt läbi katsumise tundma õppides (Holgate 2016). Iris Van Herpeni jaoks on moekunstil palju seost matemaatika, inseneeria ning muude teadusvaldkondadega (Iris Van Herpen WWW). Selliselt lähenedes on disainer loonud koostöös erinevate teadlastega mitmeid ennenägematu arhitektuurilise maiguga teoseid.

Iris Van Herpen'i teoseid nähes sain inspiratsiooni sukelduda 3D-printimise maailma tekstiilikunstis. Enda töös kasutan Herpen'i töid inspiratsioonina näha ja luua õrnust igas detailis ning võimaldades materjalidel ise disaini suunda määrata.

2.2. Christien Meindertsma

Hollandi kunstnik Meindertsma on materjaliuuringutega tegelenud juba 20 aastat, uurides materjalide omadusi ja nende tootmist. Disaineri eesmärk on keskenduda jätkusuutlikkusele ja materjali elutsüklile. Erinevalt enamusest turul leiduvatest 3D-printimise tehnoloogiatest otsustas Christien liikuda täiesti uues suunas, alustades hoopis lähtematerjalist – lambavillast (Houseley 2024). Nii valmis disaineril nõelviltimisel töötav villa 3D-printer FLOCKS Wobot, mis ei vaja toimimiseks ühtegi villa lisatöötlust (vt foto 6).



Foto 6. Christien Meindertsma ja FLOCKS Wobot, foto: Amy Frearson 2023

Masin prindib ehk nõelvildib villast heiet kiht-kihilt samamoodi nagu 3D printerid, liigutades prinditavat materjali mööda valmivat eset ning kinnitades seda samal ajal nõelviltiva peaga. FLOCKS Wobot ei ole materjali osas valiv ning töötab ideaalselt vähe töödeldud karedama Euroopa villaga (Frearson 2023). Kuna masin on üles ehitatud robotkäele, lubavad lai tööraadius ja liikumisvabadus luua massiivseid esemeid. Sellise tehnoloogia turule tulek võimaldaks ära kasutada vähem väärtustatud ja äraviskamisele

määratud karmi villa, tootes ainulaadseid disainesemeid sisekujunduses või moemaailmas (Houseley 2024).



Fotod 7-8. Christien Meindertsma jääkvillast hiiglaslik lambatall ja tugitool disaineri kodulehelt, fotod: Eugene Hyland 2024

Lugedes Meindertsma innovaativisusest kasutada nõelviltivat villa 3D-printerit, et ära kasutada igasugune villajääk, seadsin ka enda töö eesmärgiks väärtustada villase lõnga uuesti kasutatavust igal kujul. Olgu selleks disaini lahti harutamine uueks lõngaks või vilditavaks massiks muutmine. Sellised võimalused saab tagada ainult disaini protsessi jooksul tehtud otsuste põhjal. Enda töös koon kudumid otse lõikesse ning ei vanuta valmis tükke.

2.3. 3D-printimine meriinovillasele kangale

3D-printimine kangale on läbi käinud nii mitmeski kohas, kuid enim köitis minu tähelepanu ettevõtte D-house, Urban Laboratory by Dylan projekt 3D-printida otse meriinovillasele kudumile (vt foto 9). Projekti oli kaasatud kolm rahvusvahelist disainerit ning neli *Royal College of Art* tudengit. Projekti koostööpartnerid olid 3D printerite tootja Stratasys ning meriinovillase lõnga tootja The Woolmark Company (Woolmark WWW). Projektis on kasutatud tehnoloogiat PolyJet (Knitting Industry WWW), mis on mõeldud pinnapealsete detailide printimiseks, kasutades selleks termoaktiivset vaigupolümeeri (Karri 2024).



Foto 9. Lähivaade meriinovillasele 3D-prinditud detailist, foto: D-House Laboratorio Urbano

Projekti eesmärk oli demonstreerida, mida on võimalik saavutada kudumile 3D-printimisega, näidates 3D tehnoloogia kasutusvõimalusi traditsioonilise villase kangaga kooskõlas olevate disainilahenduste loomisel. Projekti jooksul anti disaineritele ja tudengitele vabad käed luua midagi, mida tavapäraste tekstiilsete tehnikatega oleks raske kui mitte võimatu saavutada (Woolmark WWW). Projekti käigus tehti mitmeid tehnikaid katsetavaid proove, mille tulemusel valmis kollektsioon kaheksast rõivakomplektist - kaks meestele ja kuus naistele (D-House WWW).



Foto 10. Projektis valminud jakk The Illusion, foto: Knitting Industry

Selline lähenemine 3D-printimisele moemaailmas on väga huvitav, kuid ei ole jätkusuutlik ning toodab ühekordse elutsükliga disaine, võttes turult korraliku meriinovillase kudumi ning kahandades sellise rõivaeseme taaskasutamise potentsiaali drastiliselt. Sellest lähtudes olen käesolevas töös võtnud eesmärgiks 3D-prinditud detailid teha eraldiseisvate moodulitena, võimaldades nii villase lõnga kui filamendi uuel ringil kasutamist.

3. Praktiline osa

Töö praktilises osas teen kolm teost, mis valmivad 3D-printimise tehnoloogia liitmisel silmuskudumiga. Protsessi eesmärgiks on katsetada villase kudumi ja 3D-prinditud detailide võimalikke kombinatsioone, mis võimaldaksid struktuurilist tuge, visuaalset isikupära ning täielikku valikuvabadust kandjale. Teosed on ideepõhised ning visualiseerivad võimalikke 3D-prinditud mooduldisaini variante. Valmis kollektsiooniga osalen Mood Performance Tants moeshow'l Tartus 2025.

Pidades tähtsaks disaini jätkusuutlikkust, prindin kõik detailid 100% taaskasutatavast filamendist ning ei kinnita prinditud detaile jäädavalt kudumi külge. Nii lähtudes püsivad kudumi algmaterjal ja 3D-prinditud detailid monomaterjalidena, tagades võimaluse disaine lõngaks harutada või uuesti filamendiks toota. Teoste kudumiseks kasutan isiklikku kaheplaadilist masinat Silver Reed SK 280 silmuskudumismasinat (vt foto 1) ja 3D-printimiseks Bambu Lab X1-Carbon 3D-printimise masinat (vt foto 2). Kõik teosed valmivad kodumaist päritolu villasest lõngast ning jätkusuutlikust PLA filamendist.

Alustuseks kудusin paraja koguse varieeruvate tekstuuridega proovitükke, et tundma õppida töös kasutatavat villast lõnga ning leida ideid eesoleva loomeprotsessi jaoks. Villase lõngaga õhulise koe saavutamiseks kудusin kõik tükid kõige madalamal pingel ehk nr 10 peal.



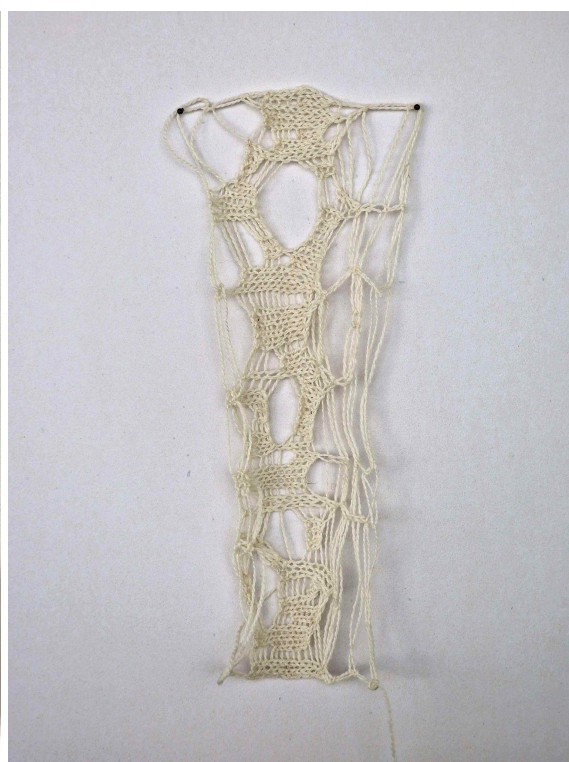
Fotod 11-12. Autorikoed puukoor ja meekärg



Foto 13-14. Parempoolses koes sammaste kudumine, osalise kudumise muster



Fotod 15-16. Ebavõrdsed voldid, huupi kudumine



Fotod 17-18. Väga pikad lõngajooksud, ülevõimendatud huupi kudumine

Järgmise etapina uurisin olemasolevate proovitükkide visuaali ja omadusi. Katsetasin proovitükkide erinevate paigutustega mannekeenil ning enda kehal, visualiseerides nii võimalikke kudumistehnikate kasutusviise. Sellest meetodist lähtuvalt visandasin esimesed moejoonised.



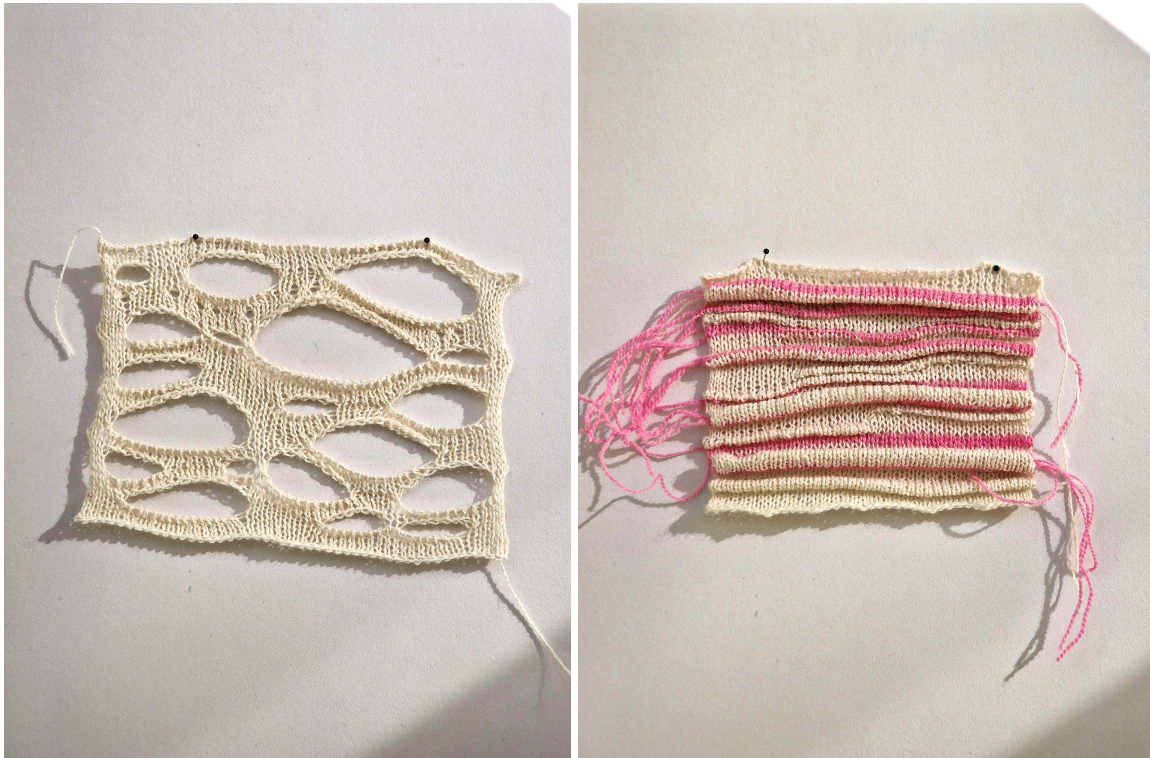
Fotod 19-20. Proovitükkide paigutamine

Jätkates olemasoleva visuaaliga on plaan töö käigus lasta disainil loomulikult areneda ehk protsessi jooksul uute ideedega kaasa minna. Briti antropoloog Tim Ingold toob esile, et materjalide võimalused on kooskõlas eelkõige kätega tegemisega. Materjalile ei suruta vormi peale, vaid see ilmneb materjali enda omaduste põhjal. Nii toimimine eeldab disainipraktikat, mis on avatud ja kergesti kohanev ning disainerit, kes oskab reageerida materjali käitumisele (Ingold 2010: 91). Seetõttu ei saa lähtuda ainult must-valgest joonistatud kavandist.

Minu jaoks on kasvamine igasugune areng millegi uue suunas, mille tulemust ei määra kindlad reeglid. Kasvamine on kiht-kihilt kõrgemaks roniv kudum, hämarusest põgeneva taime sihvakus, talu õunapuuga üheks sulandunud unustatud raudkett. Kasvamine on aja paratamatu tagajärg, muutes väikseid jälgi jättes kõike meie ümber.

3.1 Taastamine- esimene teos

Esimese teose inspiratsiooni võtsin pragunemisest ja sellega kaasnevast visuaalset. Pragunemine on üks paratamatu osa kasvamisest – asfalt mõraneb, tekib pragu ning lõpuks ilmub üks suur kollane võilill. Inimkond on pidevas võitluses näiliselt igasuguse kasvamise vastu. Olgu relvaks taimemürk või botuliin. Seega esimesele teosele lähenen mõttega, et seda on vaja samuti parandada ehk taastada.



Fotod 21-22. Esimese teose proovitükid

Proovitükke võrreldes hakkas mulle silma rohkete aukudega kude, millel väikesed avaused meenutasid koide näritud auke ning suuremad justkui kukkudes rebitud sálke. Vähese katvuse tasakaaluks valisin juurde rohkelt voldilise proovitüki. Kootud tükke vaadeldes ja mannekeenile sättides proovisin nende iseloomust aru saada, millises tegumoes tuleks mõlema iseärasused kõige paremini välja. Parima valikuna tundus jääda millegi liibuva juurde, et silmuskoe auguline sidus oleks rohkem toetatud. Viimaks visandasin neid märksõnu meeles pidades potentsiaalsest valmisteosest moejoonise (vt joonis 3).



Joonis 3. Esimese kleidi moejoonis

Kudumine

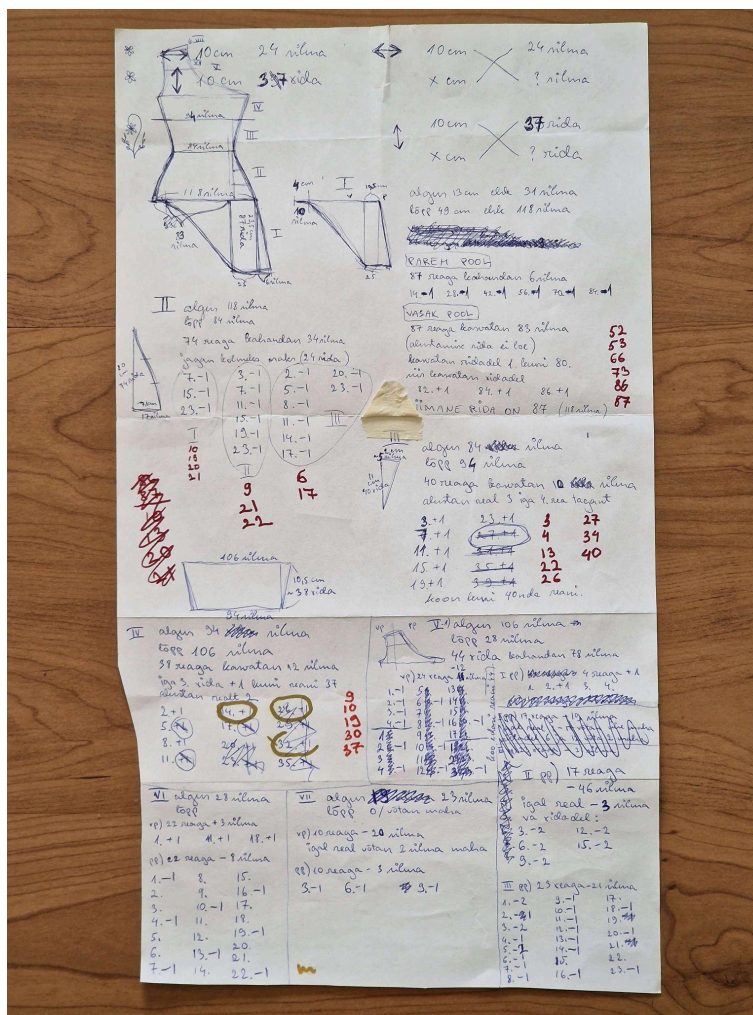
Kleidi lõike konstrueerimisel kasutan isiklikke mõõtmeid, et saaksin teost vajadusel endale selga proovida ja vastavalt muudatusi teha. Võrreldes kleidi tegumoodi moejoonisel ning reaalses suuruses valmis lõikel jäi konstrueeritud joonisel kleidi ülemine osa tühjavõitu. Dünaamilisuse lisamiseks otsustasin seeliku nurgast diagonaalis teisele õlale viia lõiget edasi (vt foto 23). Lõike muutmisega sattus küsimuse alla teise proovitüki osatähtsus. Mannekeenil paigutust uuesti võrreldes jäi mulje, et niivõrd paksem kude tooks liiga palju raskust kleidi ülaossa.



Fotod 23-24. Esimese kleidi lõige ja silmuste arvutamine

Esimene asi enne kudumiseni jõudmist on soovitud tulemusega proovitükil märkida 10 cm laiust ja 10 cm kõrgust, kasutades selleks maalriteipi, on võimalik arvud otse proovitükile kirja panna. Mööda teibi serva liikudes tuleb ära loendada mitu silmust (horisontaalselt) ning mitu rida (vertikaalselt) on kümne sentimeetri peal (vt foto 24). Neid teades, saab arvutama hakata kootava detaili niinimetatud kudumise juhendit. Juhendi abil on teada, mitmendal real peaks silmuseid juurde lisama või vähemaks võtma. Tehes kõik avaused käsitsi, on oluline hoida sarnast rütmi, tagades nii suure eseme korrektne suurus (vt foto 26).

Antud tegumoega kleidi kudumisjuhendi arvutamine on võrdlemisi keerukas (vt foto 25). Arvestada tuleb ebasümmeetriaga ja mitme kaarekujulise servaga. Oluline tähelepanek on ebaregulaarselt esinevate roosade silmuste jooksud. Nende asukohad märkisin jooksvalt kleidi esimest poolt kududes. Teist poolt kududes tegin täpselt sama, mis enne kuid peegelpildis ning lisasin nüüdseks etteantud roosasid ridu. Valmis detailid aurutasin, õmblesin omavahel kokku, pesin õrnalt läbi ning jätsin horisontaalselt kuivama.



3D-printimine

Moejoonise järgi oli plaan esimese kleidi alumisele servale teha suured, kergelt õõtsuvad ornamendid. Sellistel ainult dekoratsiooni pakkuvatel detailidel poleks aga kudumi moodulsüsteemiliseks tegevast eesmärki, seega liikusin kohe edasi muude võimaluste katsetamisega. Järgmine idee tuli mõeldes modellile, kes seda kleiti kanda saab: kuidas tekitada veidi rohkem katvuse võimalust, ühtlasi säilitades paigutuse ümbertõstetavust? Kuna eesmärk on lasta kandjal kleidil olevaid auke oma soovi järgi sulgeda, tuleks kasutada midagi lihtsalt kasutatavat kuid efektiivset. Midagi sellist võiks olla väikese avausega ovaalsed rõngad (vt foto 27). Valmis printitud detaili kudumi rindmikul asuval augul läbi proovides tundub, et juba niigi väike rõngas ei saavuta piisavalt katvust (vt foto 28). Ühtlasi tundus, et selline lahendus on eemalt vaadeldes väga vähe märgatav ning materjali 3D-printitud olemus jääb tahaplaanile.



Fotod 27-28. Esimene kinnituse katsetus

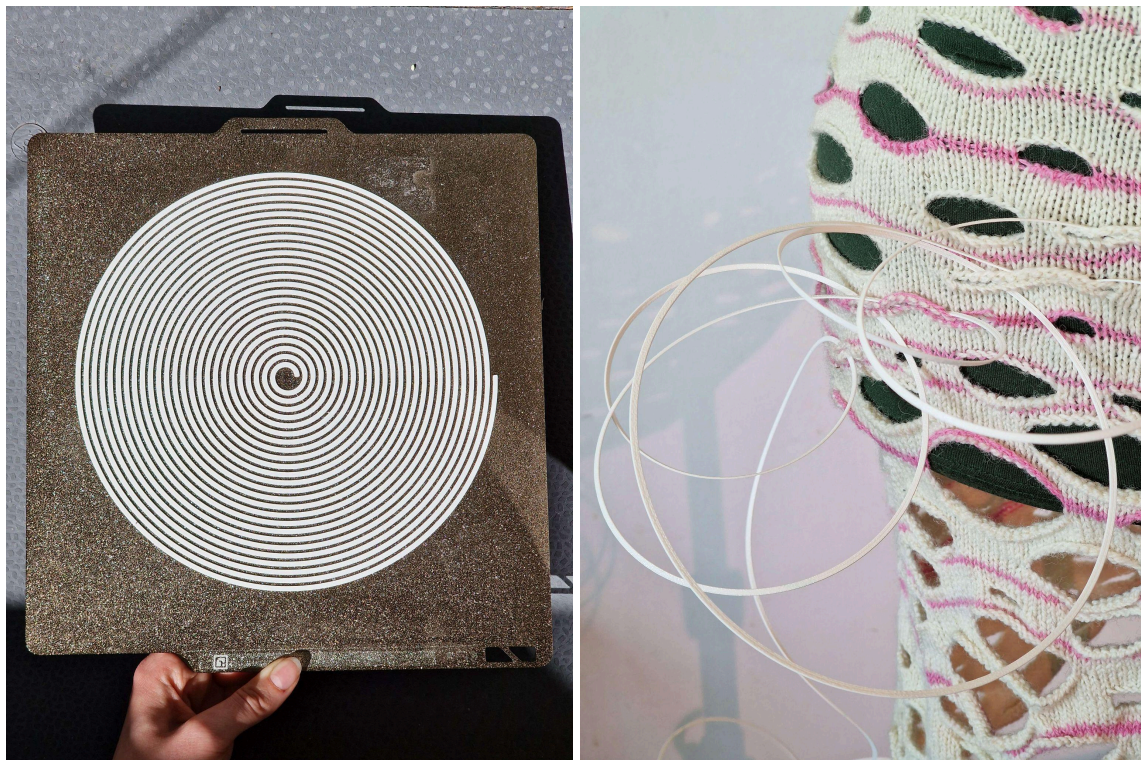
Otsides taga midagi suuremat ja struktuuri rohkem mõjutavat, jõudsin suure kaare variandini. Kasutades ära pikema detaili suuremat põimitavat pinda saaksin augud pikkupidi üleni sulgeda.



Foto 29. Pikad kaared aukude sulgemiseks

Proovides läbi uute kaarte paigutust näen, et aukude sulgemise osas need töötavad, kuid visuaalselt palju paremad ei ole. Kleit ise on endiselt suure osakaaluga ning 3D-prinditud kaared mõjuvad kanga külge kinni jäänud plastikuna (vt foto 29).

Viimaks otsustasin valmis printida ühe suure spiraali, millega saaks erineva looga ja asendiga kaare asetusi läbi proovida. Spiraali otsapidi kleidile sobitama hakates avastasin, et polegi vaja vahepeal katkestada, terve rulliga töötades muutus efekt kohevamaks ning julgemaks. Pikk spiraal töötab justkui üleelusuuruse niidina, millega saab auke omavahel ühendada, sulgeda või kleiti ennast teistmoodi kokku õmmelda (vt foto 31).



Fotod 30-31. Spiraal prinditult ja kleidil

Esimene spiraal üksi täitis küll vajalikud mooduli kriteeriumid, kuid jäi visuaalselt veidi nõrgaks. Tugevama ja laiema spiraali lisades tekib parem dialoog kudumi ja 3D-prinditud tehnikate vahel, mis toob esile kontrasti pehme ja augulise kudumi ning jäiga kuid vetruva filamendi vahel. Spiraalide 3D-printimine annab võimaluse valida detaili laiuse, pikkuse, paksuse või isegi pinnatekstuuri (vt foto 32).

Alustades üpris teistsuguse moejoonise ja kujutlemaga, olen edukalt jõudnud lõpptulemuseni, kus kudumi ja 3D-prinditud detailide kokkumäng annavad üksteisele ülesandeid. Kandjale on võimaldatud ideevabadus luua just talle sobiv kombinatsioon kudumi ja spiraalse filamendi võimaluste vahel.



Foto 32. Kolleksiooni „Kasvades Kihiliselt“ esimene komplekt, foto: Kadriann Kukk 2025

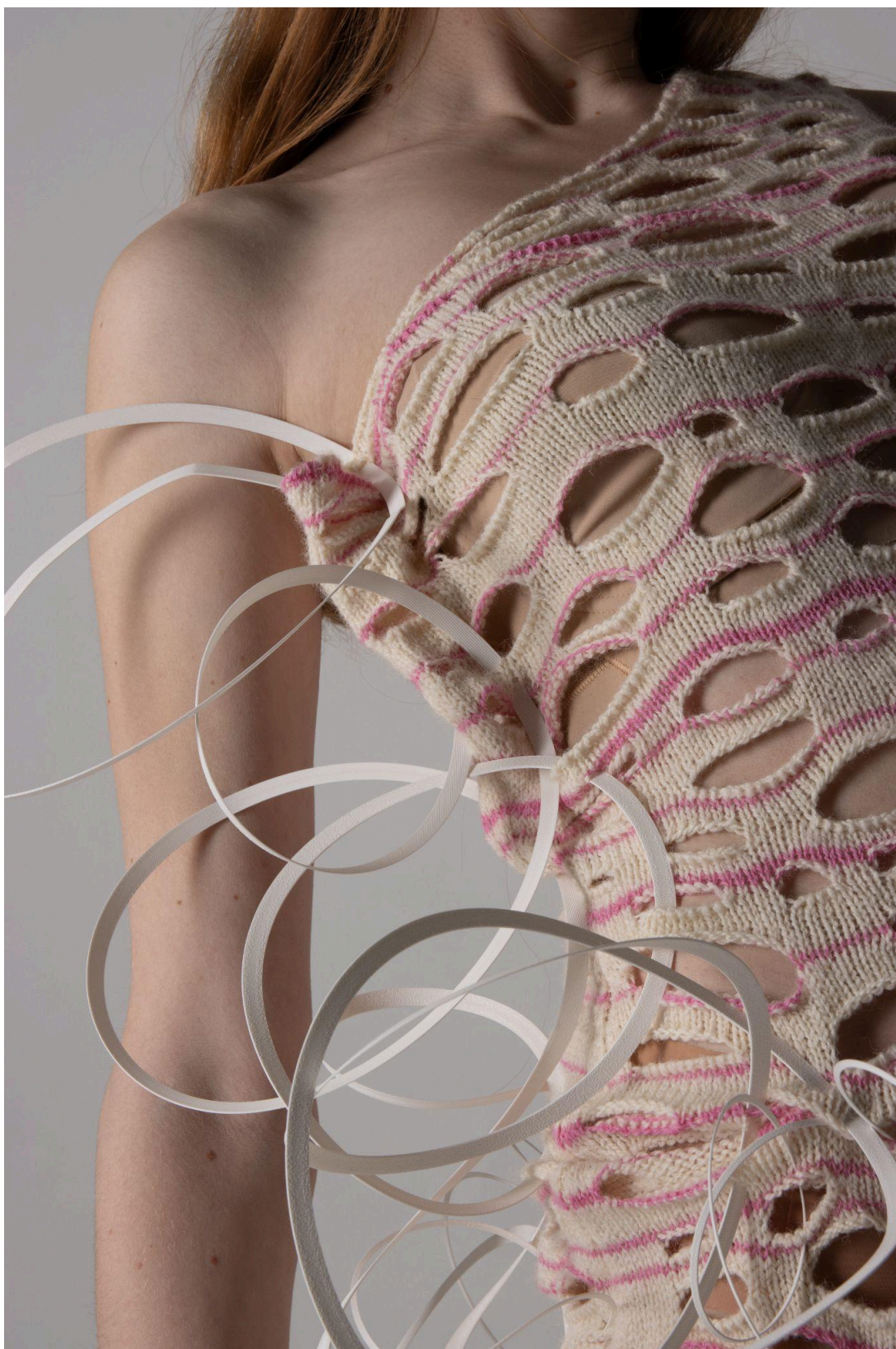


Foto 33. Kollektiooni „Kasvades Kihiliselt“ esimese komplekti lähivaade, foto: Kadriann Kukk
2025

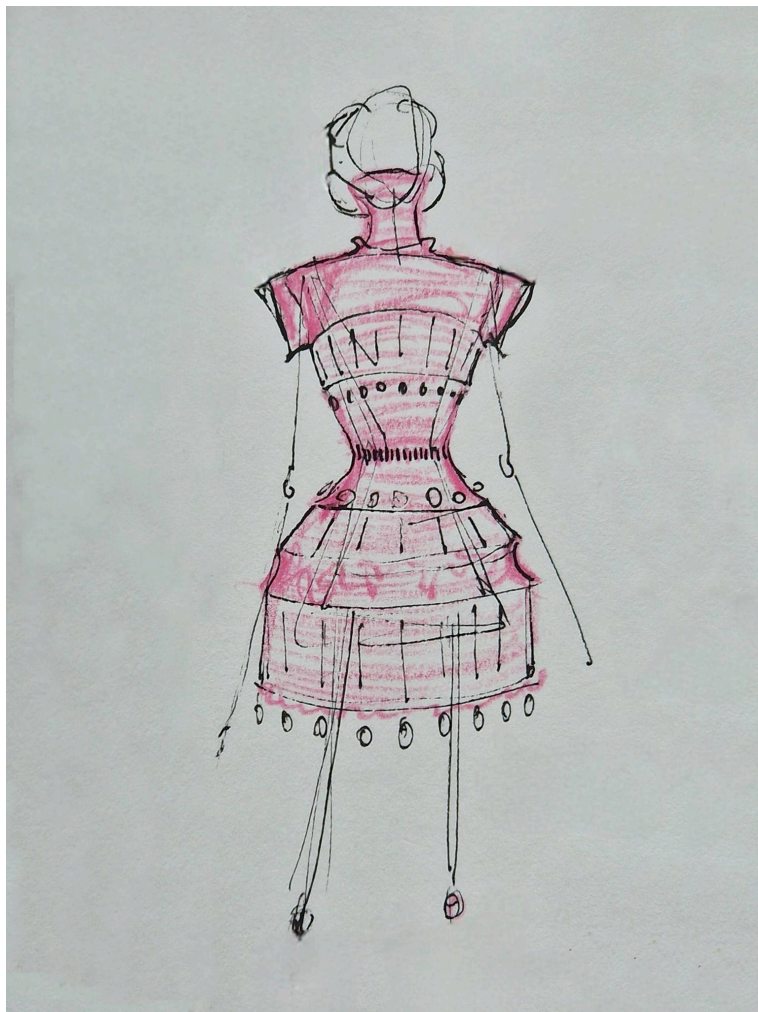
3.2 Venitamine viib lõpule- teine teos

Teise teose inspiratsiooni võtsin paisumisest ja sellest tulenevast struktuuri manipulatsioonist. Visuaalse inspiratsiooni märksõnad on pundumine ning deformeerumine. Teose idee lähtub millegi üleliigsest kasvamisest või niiskuse tagajärjel tekkivast paisumisest – kasvumügarikud nakatunud puudel, märjast rätikust pitsitav uksepealne. Paisumist võib käsitleda ka keha vastusena pidevale puudutusele, paksendades paljajalu jooksvate laste päkkasid ning paistetades hõõrdunud naha turskemaks.



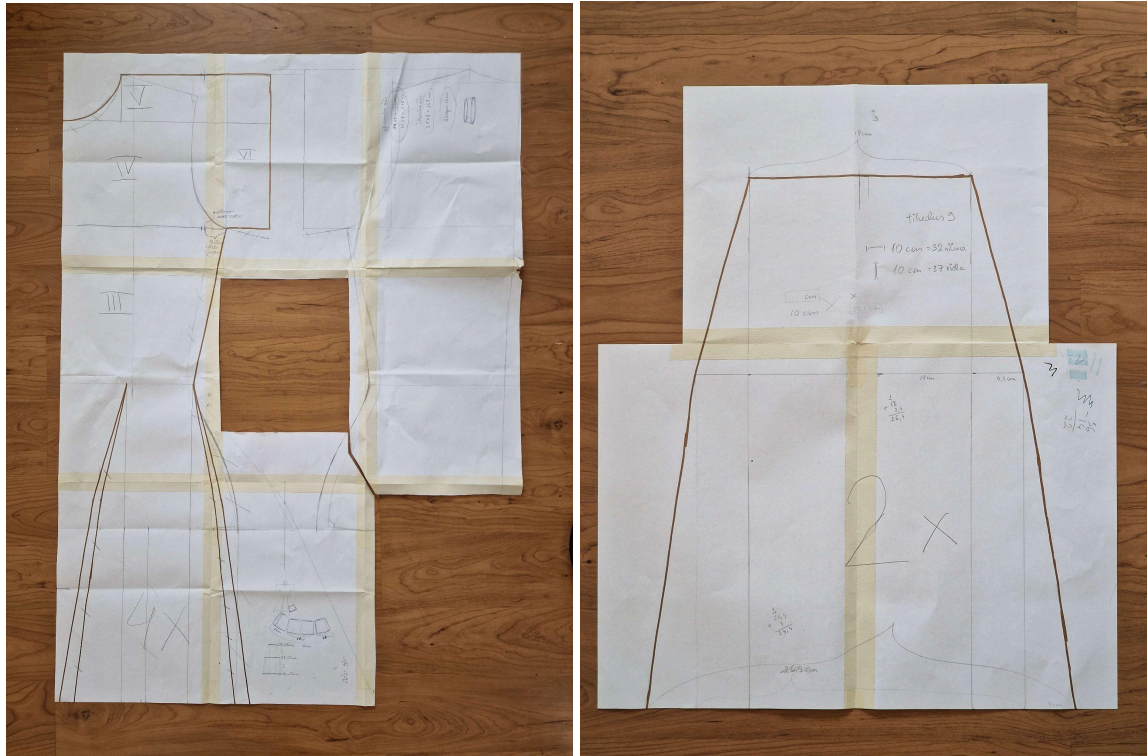
Fotod 34-35. Autorikude „puukoor“ valges ja roosas

Silmuskudum on oma struktuurilt väga elastne kangas, mis võimaldab palju venitamise ja kokku tõmbamise võimalusi. Proovitükke tehes avastasin, et üks rombidest koosneva mustri tükk tekitas nahal hoides huvitava „hingamise“ efekti, liikudes keha enda rütmiga väga naturaalselt kaasa (vt fotod 34-35). Sealt liikusin edasi siluettide juurde, nende kallal töötades kaalutlesin liibuvate ning vabalt langevate variantide vahel. Moejoonist visandades kujutlesin ette võimalikke 3D-prinditavaid silmuseid venitavaid lahendusi (vt joonis 4).



Joonis 4. Teise kleidi moejoonis

Kudumine



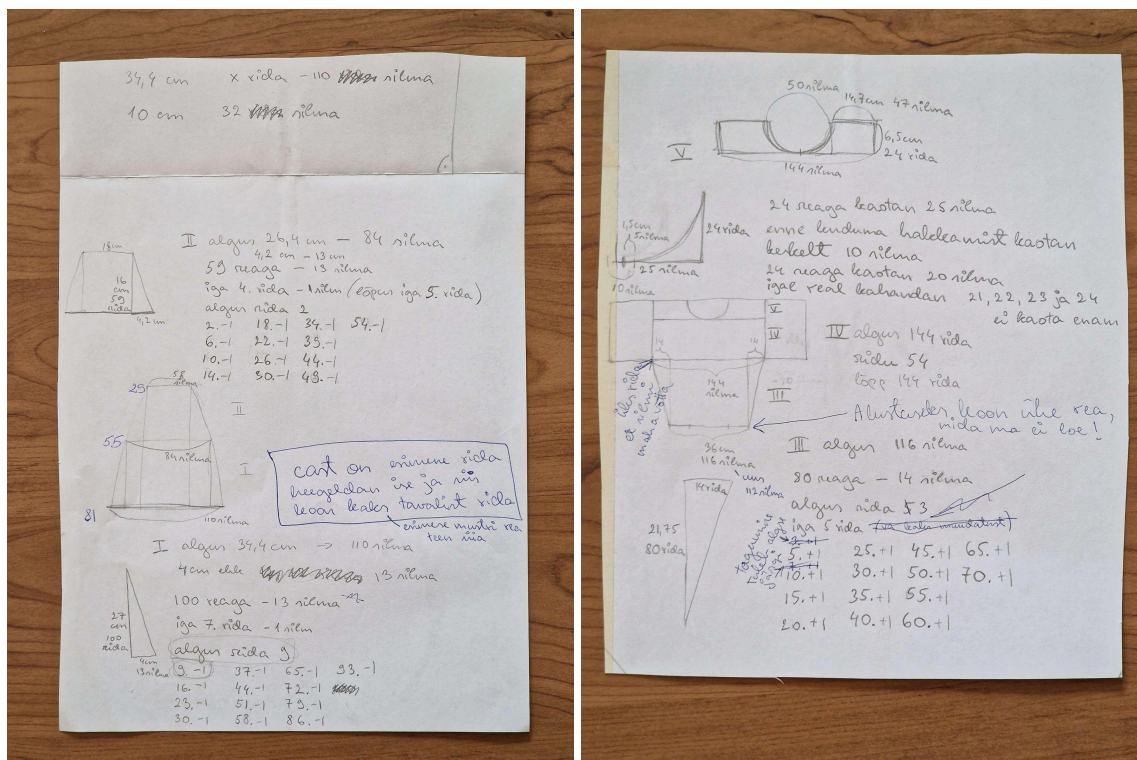
Fotod 36-37. Teise kleidi lõige

Sarnaselt esimesele teosele tegin ka teise kleidi lõike enda kehamõõtude järgi, nii saan kogu protsessi vältel kleiti selga proovida ja vajadusel muudatusi teha.

Kudumist alustasin seeliku külgmistes detailidest, mida tuli kokku neli. Peale esimese küljedetaili kudumist arvutasin järgnevate detailide mustri paigutuse esimese põhjal, et vöökohta ei tekiks mustri ristumisi. Mustrit sobitades tuli maha arvestada ka edaspidi vajalik detailide kokku õmblemise varu.

Seeliku küljepaneelid valmis, lõin üles keskmise seeliku detaili. Vöökohta jõudes lisasin olemasolevale detailile sellele vastavad küljepaneelid. Kehaosa kudumise ainuke erinevus oli kaelaaugu kaar kleidi eesmisel detailil. Kudumisprotsessi kõige aeganõudvam osa oli autorimustri käsitsi tõstmine igal real, mis nõudis keskendumist ning pikemat aega masina taga töötamist. Selline aeglane kudumine on suur osa kasvamise protsessist – luues iga rea silmuste aeglase moodustumisega uue, algmaterjalist täielikult erineva eseme. Aeganõudva protsessi lõpptulemus on märkimisväärselt kiiresti kerkinul.

Kootud detailid jätsin natukeseks seisma, lastes masinal kudumisest tingitud venimisest taastuda. Peale aurutamist õmblesin kõik detailid mustrit jälgides omavahel kokku. Valmis kleidi pesin õrnalt läbi ning jätsin kuivama.



Fotod 38-39. Teise kleidi kudumise juhend

3D-printimine

Viimaks asetasin kudumi mannekeenile, et katsetada 3D-prinditud ideid. Eesmärk on manipuleerida koe venivusega, tõmmates või lükates silmuste gruppe üksteisest eemale. Eelnevalt tehtud moejoonisest lähtudes proovisin liikuda kolme horisontaalselt välja venitatud sektori suunas (vt joonis 4). 3D faili valmistasin koefoto abil, muutes värvilise foto Adobe Illustratoris must-valgeks vektoriks, seejärel muutsin natuke mustri servi, et iga detail sobituks eelneva kõrvale. Illustratoris salvestasin selle SVG ehk Scalable Vector Graphics failina, mille võtsin uuesti lahti avatud 3D modelleerimistarkvaras Autodesk Fusion 360. Fusionis muutsin kahemõõtmelise vektorfaili kolmemõõtmeliseks ning määrasin detaili kõrguseks 0.6mm.

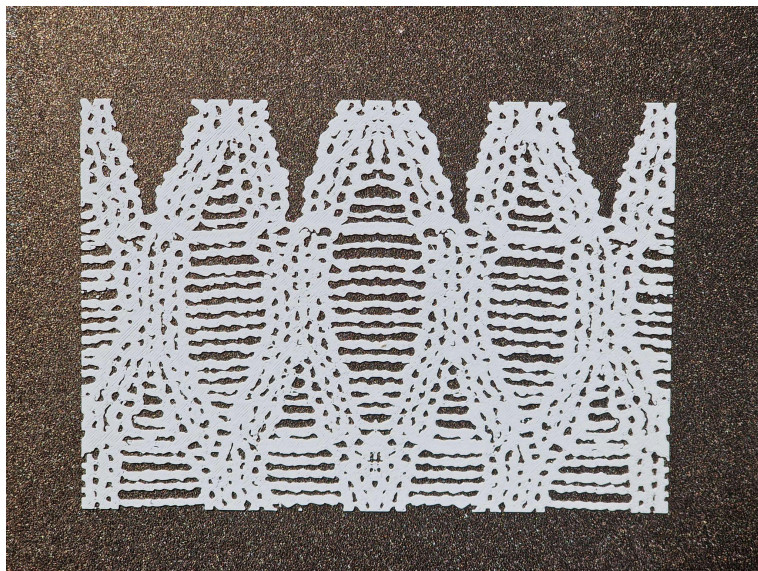
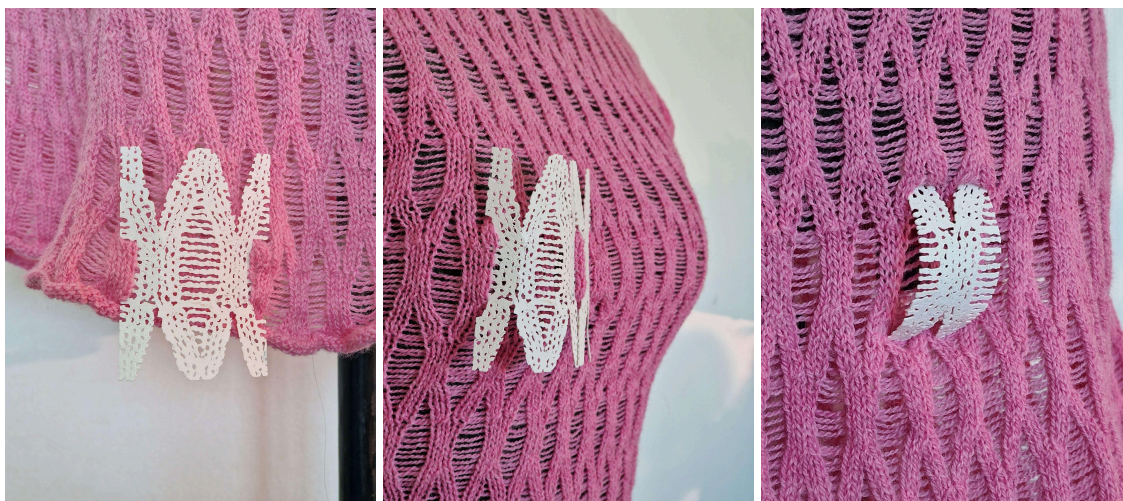
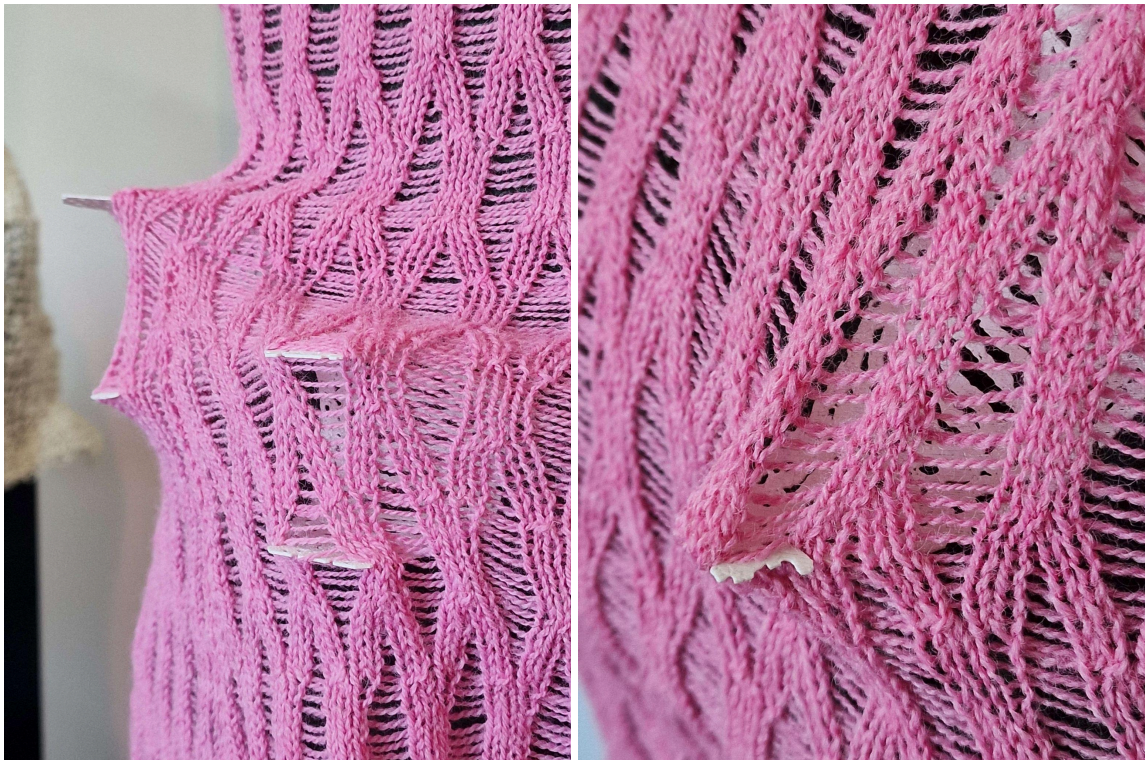


Foto 40. Esimene prinditud mustri detail

Printisin valmis 4 väikest ja 6 suurt mustri detaili, et erinevaid kasutuse ja paigutuse variante läbi proovida (vt foto 40). Esimene katse oli detailidega kudumi pinda pealt poolt moonutada, paigutades haralised servad otse mustri vahele. Idee toimis minimaalselt ning ei andnud oodatult tugevat efekti (vt foto 41-43). Detailid osutusid palju pehmemaks kui oleks oodanud ja vajusid kudumi tugevuse all looka. Kaalusin varianti lisada detailid lõngaga kuid sellisel juhul kaoks kahe eraldiseisva detaili idee. Sellega leppides hakkasin samu detaile lõikama erinevateks kujudeks ning kompama uusi variante. Avastasin, et mustri tükke kleidi alla asetades tekiks niisamuti huvitav efekt, meenutades puukoorde tekkivaid mügarikke (vt fotod 44-45).



Fotod 41-43. Moejoonisest inspireeritud katsetused kleidi venitamises



Fotod 44-45. Venitamisele lähenemine kleidi alt

Detailide kleidi alla paigutamisega tekib aga probleem nende nähtavuse ja üleval püsimisega, tekitades väikse efekti nimel rohkem probleemkohti.

Tööd eemalt vaadeldes jäi mulje, et suureks takistuseks hetkelises loomeprotsessis osutuks justkui korralikus seisus kudum ise. Pole ühtegi veidrat nurka ega auku, mida venitada, on ainult korrektne roosa siluett. Nii otsustasin enamus õmbluseid lahti võtta ning hoopis uue nurga alt moodulite eesmärgile läheneda – otsus, mis on näide ettekavatsetud disainiprotsessist lahti laskmisest ning materjali nii-öelda kuulamisest (vt foto 47). Olles inspireeritud esimesest teosest otsustasin edasi liikuda teise kleidi üle kasvamisega ehk katki venimisega. Kleit on oma originaal õmblustest lõhenenud ning vajab uuesti kokku lappimist. Millegi olulise või oodatu lõhki minemisel on inimlik reageerida emotsionaalselt, mis vallandab vastavalt ebaratsionaalse vastuhaku. Üritades kiirelt ning iga hinna eest seda midagi parandama hakata, mis omakorda toob kaasa defektseid või ebatraditsioonilisi probleemi lahendusi.

Läbi teise teose visualiseerin korrektse lõikega kuid kasvust purunenud kleidi emotsionaalsusest tingitult veidi valesti kokku lappimist. 3D-prinditud ühenduste

inspiratsiooniks on erinevad jõuliselt üle võimendatud õmblusmasina pisted, väljendades kiiret ning näiliselt lohakat tööd.



Fotod 46-47. Siksakilise detaili katsetus ja uus kleidi paigutus mannekeenil

Nii lähenedes tõuseb printitud detailide olulisus terve teose suhtes, muutudes ainsateks abivahenditeks, mis võimaldavad kleidi uuesti kandmist.

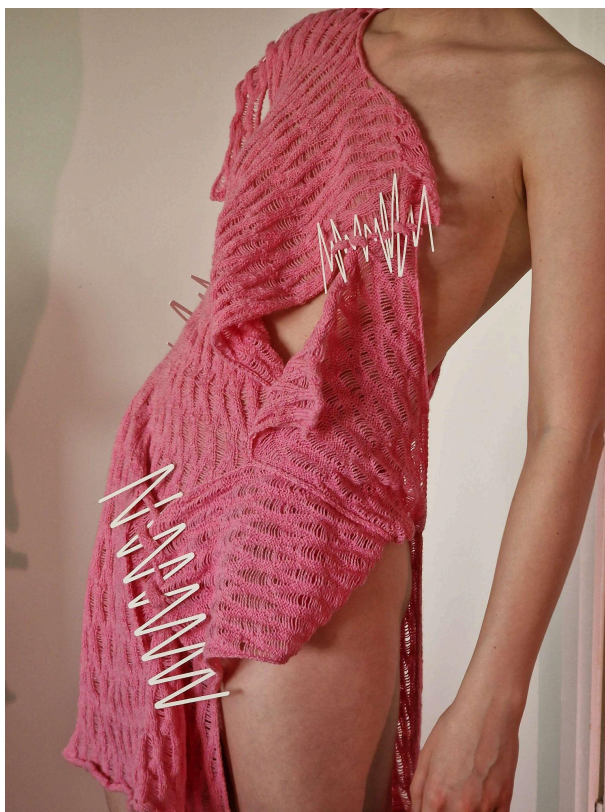
Võrreldes esialgse moejoonisega on nii kudumi kui ka moodulite ideed liikunud palju kaugemale kui algselt kujutatud. Vaatamata 3D-prinditud detailide väga lihtsale disainile on nende visuaalil emotsionaalse tähendusega osakaal, tasakaalustades väga ühtlast ja korralikku silmuskudet millegi terava ning justkui närvilisega (vt foto 48). Eesmärk luua moodul detailide toel töötav ja kasvamisest tingitud üle piiri venimist väljendav teos sai edukalt saavutatud.



Foto 48. Kollektiooni „Kasvades Kihiliselt“ teine komplekt



Foto 49. Kolleksiooni „Kasvades Kihiliselt“ teine komplekt tagant



Fotod 50-51. Kolleksiooni „Kasvades Kihiliselt“ teise komplekti lähivaated

3.3 Väänlemine - kolmas teos

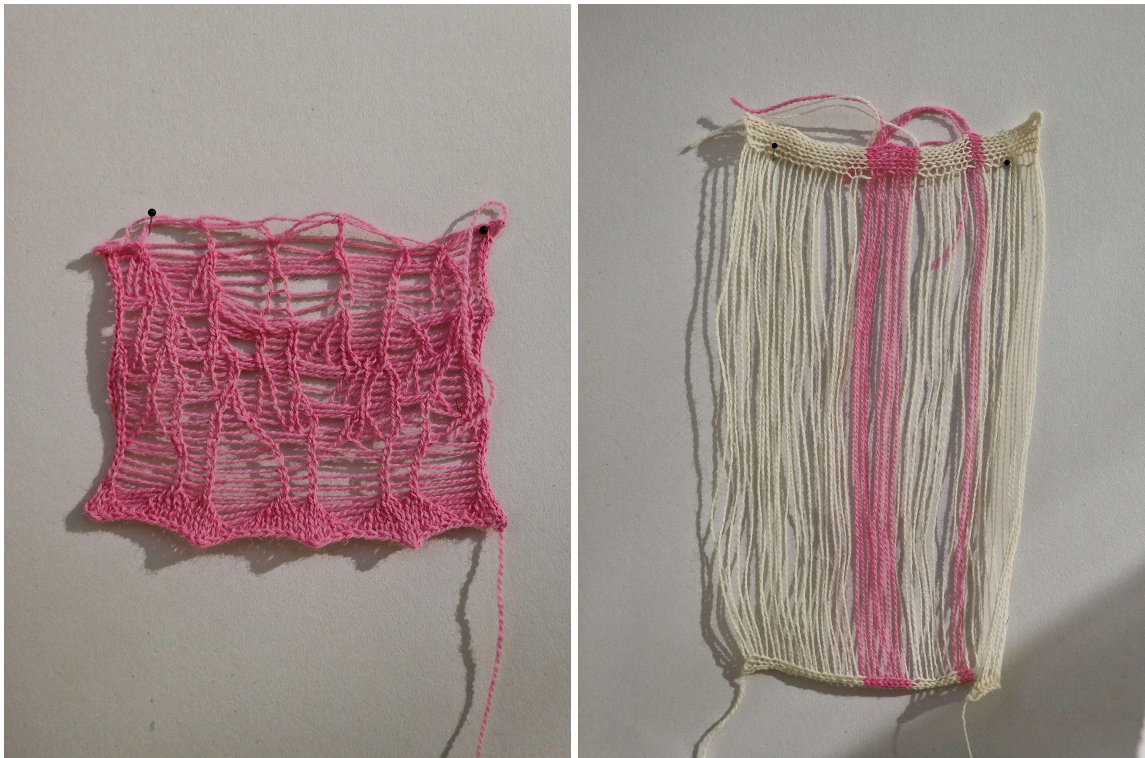
Kolmanda teose inspiratsioon tuleb kasvamise väänlevast loomusest. Väätide ja juurte rägastiku ebakorrapäraselt vohavast kasvust. Lähedalt uurides näib korrapärane rütm struktuuris puuduvat, kuid eemale astudes avaneb naturaalsena näiv muster, hõlmates enda alla iga juure, väädi, lõngajooksu ja pilu. Viimase teosega soovisin vähem rõivaeset meenutavat ning rohkem manipuleerimisvõimalusi soosivat kanga ja moodulite kombinatsiooni luua. Sellest lähtuvalt analüüsisin lihtsamate geomeetrilise kujuga kangaste kantavust, mis tõi mind ruudu või ristülikuni. Ristküliku ideega läksin moejoonises edasi ja jõudsin väga pikkadest jooksudest koosneva ribani, mis toetub 3D-prinditud moodulitest alumisele kihile (vt joonis 5).



Joonis 5. Kolmanda kleidi moejoonis

Kudumine

Kolmanda teose kudumiseks ma lõiget ei konstrueerinud, eesmärk oli kududa umbes poole masina laiuseline ja mahuka pikkusega ristkülik. Silmuseid üles luues sai tüki laiuseks 130 silmust ning kudumise ajal jooksvalt kanga pikkust jälgides jõudis ridade arv kasvada 500ni. Ristküliku keskpaika sai sisse kootud mõned suuremad augud, et suurendada võimalike kasutusvõimaluste kogust. Sarnaselt esimesele ja teisele kudumile, tõstsin ka kolmanda teose mustrit käsitsi (vt foto 54). Kuid mil eelnevalt kududes olid olemas kindlad mustri või aukude moodustamise süsteemid, siis viimasel teosel see puudub. Mustri loomisele vabalt lähenedes proovisin silmuste jadadega rohkelt ringi liikuda, moodustada üksteisele eemal ja lähedal asuvaid auke ning alustada uusi silmuse sambaid. Valmis teosel on huvitav vaadelda, kuidas suvaliselt loodud muster omab siiski väga kindlat korrapära.



Fotod 52-53. Kolmanda teose inspiratsiooni proovitükid

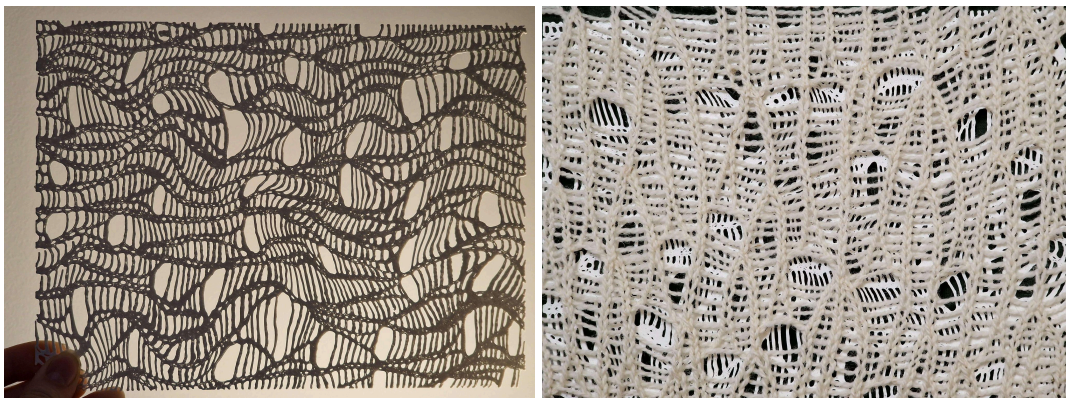
Erinevalt esimesest kahest kudumist on kolmas kootud ning viimistletud ühest kestvast lõnga jooksust, mis teeb selle teose kollektsiooni kõige jätkusuutlikumaks kudumiks. Võimaldades kudumise kasutatud lõnga terves koguses ilma sõlmedeta lõngakeraks kerida ja uuesti kasutada.



Foto 54. Loomingulise kudumise protsess

3D-printimine

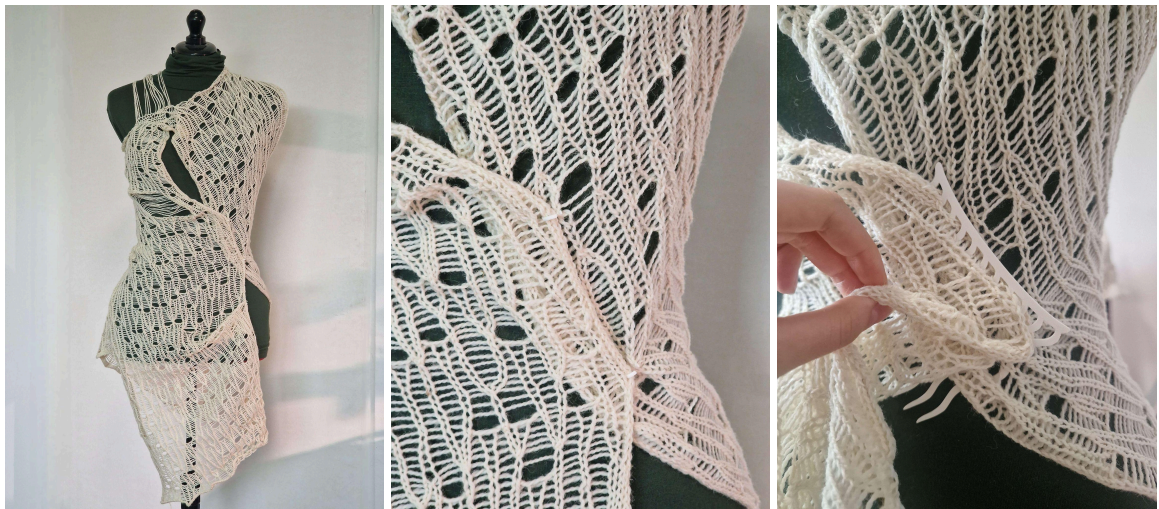
Kolmanda teose algne idee oli kasutada 3D-prinditud detaile moodulitest kokku pandava karkassina kudumi all. Kanga langevust ja paigutusi mannekeenil visualiseerides jäi mulje, et eraldi aluskarkassi kasutades hakkaksid kootud kangas ja 3D-prinditud moodulid omavahel liigselt võistleva (vt foto 56). Samuti piiraks moodulitest karkass kudumi täielikku potentsiaali, muutes figuuri ebavajalikult jäigaks. Läbi katsetamise nimel tegin siiski kanga koemustrist tehtud foto põhjal 3D-prinditava pitsi ja analüüsisin algselt üles seatud ideed.



Fotod 55-56. Kudumist tehtud muster üksi ja kudumi taga

Kootud kangast mannekeeni peal ringi tõstes avastasin, et esimese teose peal proovitud c-kujuliste kinnitustega saab käesolevast kangast väga mõjusaid disaine luua. Tuues välja mustri väänleva ja roniva iseloomu koos kudumi lendleva õhulisuse ja kergusega.

Veidi parema kinnituse saamiseks disainisin ühe kõverate hammastega kammi, kõveruse ideeni jõudsin hästi töötavatele juukseklambritele mõeldes. Eeldusega, et kui kammi hambad on kõverad, kinnitub kootud kangas sinna vahele paremini, võimaldades nii kammi õigetpidist kui ka tagurpidist kasutust.



Fotod 57-58. Kootud kanga paigutamine mannekeenile ja esimene kamm

Kammi kinnitus töötas vonkleva figuuri loomisel väga hästi, võimaldades kudumi ristkülikukujulisel visuaalil transformeeruda keha kallistavalt paeluvaks lõngajooksudest kaardiks. Kammiga edasi liikudes soovisin funktsionaalselt hästi töötavat ideed kudumi endaga rohkem sümbioosi viia, selleks kasutasin eelnevalt valminud kudumi mustrit. 3D programmis sobitasin kammi ülemisele servale mustri faili, mille servad lõikasin vastavalt mustri loomulikule jooksule veidi voolavamaks. Arvestades mitme kammi vajadusega, tegin sarnase metoodikaga veel kahes suuruses ning erineva mustri paigutusega kammi faili. Mustri lisasin kõigile kammidele väljapaistvalt suurena, tekitades visuaali murdva erinevuse keha järgi kudumi ja 3D-prinditud moodulite vahel. Värskest prinditult kammide hammastel esines mõningaid ebaühtlusi, kuhu taha lõnga kiud võisid takerduda ning selle vältimiseks lihvisin kergelt iga kammi külge liivapaberiga.

Valmis teosel tulevad välja nii struktuur kui õhulisus, kasutades ära villase kudumi õrnust ning filamendi tugevat vastandlikkust. Kudumi ja moodulite vahel eksisteerib sümbioos, mille kaudu saab kandja vastavalt soovile määrata kasvava ja põimleva visuaali rohkust.



Foto 59. Kolleksiooni „Kasvades Kihiliselt“ kolmas komplekt



Foto 60. Kolleksiooni „Kasvades Kihiliselt“ kolmanda komplekti lähivaade

KOKKUVÕTE

Lõputöös uurisin 3D-printimise ja silmuskudumise võimalikku sümbioosi moedisainis, keskendudes kohaliku villa ja 3D-printimise tehnoloogia ühendamisele. Töö teoreetilises osas kirjutasin lähemalt masinal kudumisest ja 3D-printimise tehnoloogiast, andes ülevaate nende ajaloost ja kasutusvõimalustest. Tutvustasin teaduslike tekstiilide 3D-printimise saavutusi ning hetkelist moemaailma seisukohta 3D tehnoloogia suhtes. Täpsemalt tutvustasin minu tööd inspireerinud kahte disainerit Iris Van Herpen ja Christien Meindertsma ning 3D-printimist kootud kangal kasutanud D-House Laboratorio Urbano projekti.

Praktilises osas valmis väike kollektsioon masinal kootud villaseid rõivaid, mille koe ja lõike manipuleerimiseks disainisin läbi katsetusliku materjaliga töötamise 3D-prinditud mooduldetailid. Teosed on jaotatud kolme, minu jaoks kasvamisega seotud omaduse alla, mille seost disainiga kirjeldasin iga tööprotsessi alguses. Antud omadused väljendavad nii teoste visuaali kui ka disainiprotsessi mõtteviisi. Kollektiooni loomes kasutasin eestimaist villast lõnga ning jätkusuutlikku PLA ehk Polüülmakshappe filamenti.

Praktiline töö näitas, et hoolika planeerimise ja katsetamise abil on võimalik edukalt ühendada kootud pindadega 3D-prinditud mooduleid nii, et säiliks kandmismugavus ja kandja poolne disainivabadus. Samas tõi töö esile mõningaid tehnilisi piiranguid nagu kodus kasutatava printeri prinditava ala suurus ning PLA vähene elastsus. Sarnase tööga edasi liikudes prooviksin läbi teisi filamente ning uusi 3D disainiks suunatud programme.

Kogu tööd läbib kasvamise ideoloogia peegeldudes nii kontseptuaalses kui tehnilises praktikas. Ideede kihiline areng, katsetusprotsessis eelnevale toetumine ning disainide vormiline edasiarendus moodustasid filosoofilise seose kasvamise ja disaini vahel. Töö tulemusena sain väärtusliku praktilise kogemuse kudumi ja 3D-printimise kokku sulandamises, luues vundamendi analoogseteks projektideks tulevikus. Käesolev töö näitab, et materjali ja tehnoloogia sümbioosis peitub potentsiaal nii innovatsiooniks kui ka eetiliseks ja keskkonnateadlikuks moeloominguks.

SUMMARY

Modification of Wool Knitwear Using 3D Printing

In my project, I explored the possible symbiosis of 3D printing and knitting in fashion design, focusing on the integration of local wool and 3D printing technology. In the theoretical part of the work, I discussed machine knitting and 3D printing technology in more detail, providing an overview of their history and potential applications. I introduced achievements in 3D-printed scientific textiles and the current position of the fashion world toward 3D technology. I also presented two designers who inspired my work—Iris Van Herpen and Christien Meindertsma—as well as the D-House Laboratorio Urbano project, which used 3D printing on knitted fabric.

In the practical part, I created a small collection of machine-knitted wool garments. To manipulate the structure and form, I designed 3D-printed modular details through experimental material work. The works are divided into three qualities related to the notion of growth, which I described at the beginning of each design process. These qualities reflect both the visual expression of the pieces and the mindset behind the design process. For the collection, I used Estonian wool yarn and sustainable PLA (polylactic acid) filament.

The practical work demonstrated that, with careful planning and experimentation, it is possible to successfully combine 3D-printed modules with knitted surfaces in a way that preserves both comfort and design flexibility for the wearer. At the same time, the work revealed certain technical limitations, such as the printing area size of a home printer and the limited elasticity of PLA. If continuing with similar work, I would experiment with different filaments and new programs specifically intended for 3D design.

The entire project is permeated by the ideology of growth, reflected in both the conceptual and technical practice. The layered development of ideas, reliance on previous experiments during the process, and the formal evolution of the designs created a philosophical connection between growth and design. As a result of the project, I gained valuable practical experience in merging knitwear and 3D printing, laying the foundation for similar

projects in the future. This project demonstrates the potential of material and technology symbiosis for innovation as well as ethical and environmentally conscious fashion creation.

KASUTATUD KIRJANDUS

Veebilehed

Allen. Mis on PLA plastik? Ülevaade. [WWW]

<https://diyecobox.com/et/what-is-pla-plastic-an-overview/> 20.05.2025

Amy Frearson. Christien Meindertsma invents technique for 3D printing with wool. [WWW]

<https://www.dezeen.com/2023/11/17/christien-meindertsma-3d-printing-wool/> 14.04.2025

Craftech OÜ. Ülevaade kaasaegsetest 3D-printimise tehnoloogiatest. [WWW]

<https://craftech.ee/blogs/news/ulevaade-kaasaegsetest-3d-printimise-tehnoloogiatest>
18.05.2025

D-House Laboratorio Urbano. Knitting the future 3D printing meets merino wool. [WWW]

<https://www.d-house.org/blog-posts/en-knitting-the-future-3d-printing-meets-merino-wool>
16.04.2025

Iris Van Herpen. MAISON IRIS VAN HERPEN. [WWW]

<https://www.irisvanherpen.com/about/the-maison> 13.04.2025

Karry. PolyJeti 3D-printimise tehnoloogia potentsiaali vabastamine: põhjalik juhend. [WWW]

<https://kingsunmachining.com/et/blog/polyjet-3d-printing/#> 16.04.2025

Knitting & Crochet Guild. History of Machine Knitting. [WWW]

<https://kcguild.org.uk/learn/machine-knitting/about-knitting-machines/history-machine-knitting/> 17.05.2025

Knitting Industry. 3D printing meets Merino Wool. [WWW]

<https://www.knittingindustry.com/3d-printing-meets-merino-wool/> 16.04.2025

Laura Houseley. FLOCKS Wobot. [WWW]

<https://christienmeindertsma.com/FLOCKS-Wobot-1> 14.04.2025

MacKenzie Brown. A Brief History of 3D Printing. [WWW]

<https://www.cadcrowd.com/blog/a-brief-history-of-3d-printing/> 18.05.2025

Mark Holgate. Meet Iris van Herpen, the Dutch Designer Boldly Going Into the Future. [WWW]

<https://www.vogue.com/article/iris-van-herpen-dutch-designer-interview-3d-printing>
13.04.2025

Matt Ahart. Types of 3D Printing Technology. [WWW]

<https://www.protolabs.com/resources/blog/types-of-3d-printing/> 18.05.2025

Protolabs Network. What is SLA printing? The original resin 3D print method. [WWW]

<https://www.hubs.com/knowledge-base/what-is-sla-3d-printing/> 23.05.2025

Reginald Davey. How is 3D Printing Changing the Textile Industry?. [WWW]

<https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=21953> 20.05.2025

Tomasz Kozior ja Andrea Ehrmann. First Proof-of-Principle of PolyJet 3D Printing on Textile Fabrics. [WWW]

<https://www.mdpi.com/2073-4360/15/17/3536> 23.05.2025

Woolmark. 3D printing on Merino wool. [WWW]

<https://www.woolmark.com/industry/product-development/processing-innovations/3d-printing-on-merino-wool/> 16.04.2025

Xometry. Direct Metal Laser Sintering (DMLS) 3D printing: Technology overview. [WWW]

<https://xometry.pro/en/articles/3d-printing-dmls-overview/> 23.05.2025

Raamatud

Gartshore, L. (1983). The Machine Knitter's Dictionary. Suurbritannia: B T Batsford Ltd.

Ingold, T. (2010). Cambridge Journal of Economics. Suurbritannia: Oxford University Press.

Spurling, F. (2021). Designing Knitted Textiles. Machine Knitting for Fashion. Suurbritannia: Laurence King Publishing.

Veimex OÜ. (2011). Kudumismasina kasutusjuhend. Silver Reed SK 280

Pildimaterjal

Joonis 1. <http://www.buen-knit.com/knitted-loop-structure/> [WWW] 15.04.25

Joonis 2. <https://www.historyofinformation.com/detail.php?entryid=3634> [WWW] 15.04.25

Fotod 3-5 <https://www.irisvanherpen.com/> [WWW] 13.04.2025

Foto 6.

<https://www.voxelmatters.com/christien-meindertsma-creates-novel-3d-printing-wool-technique/> [WWW] 14.04.2025

Fotod 7-8 <https://christienmeindertsma.com/FLOCKS-Wobot-1> [WWW] 14.04.2025

Foto 9.

<https://www.d-house.org/blog-posts/en-knitting-the-future-3d-printing-meets-merino-wool>
[WWW] 16.04.2025

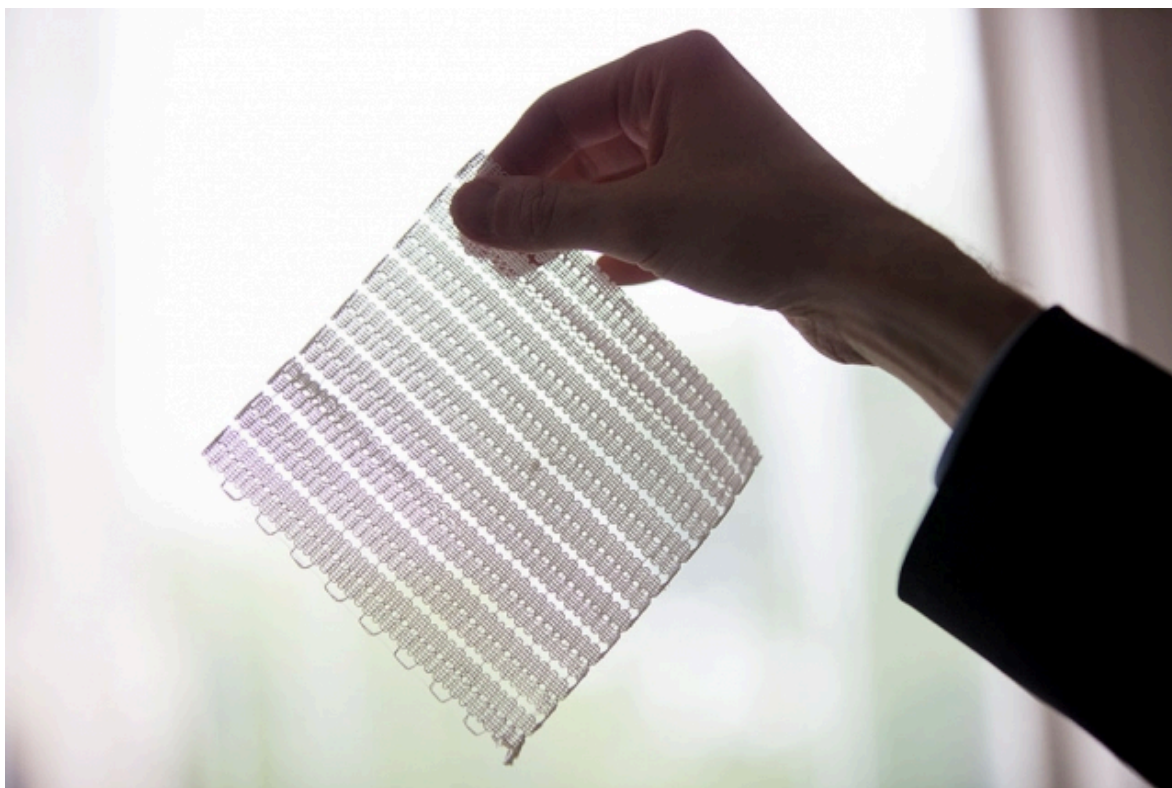
Foto 10. <https://www.knittingindustry.com/3d-printing-meets-merino-wool/> [WWW]
16.04.2025

Lisa 1.

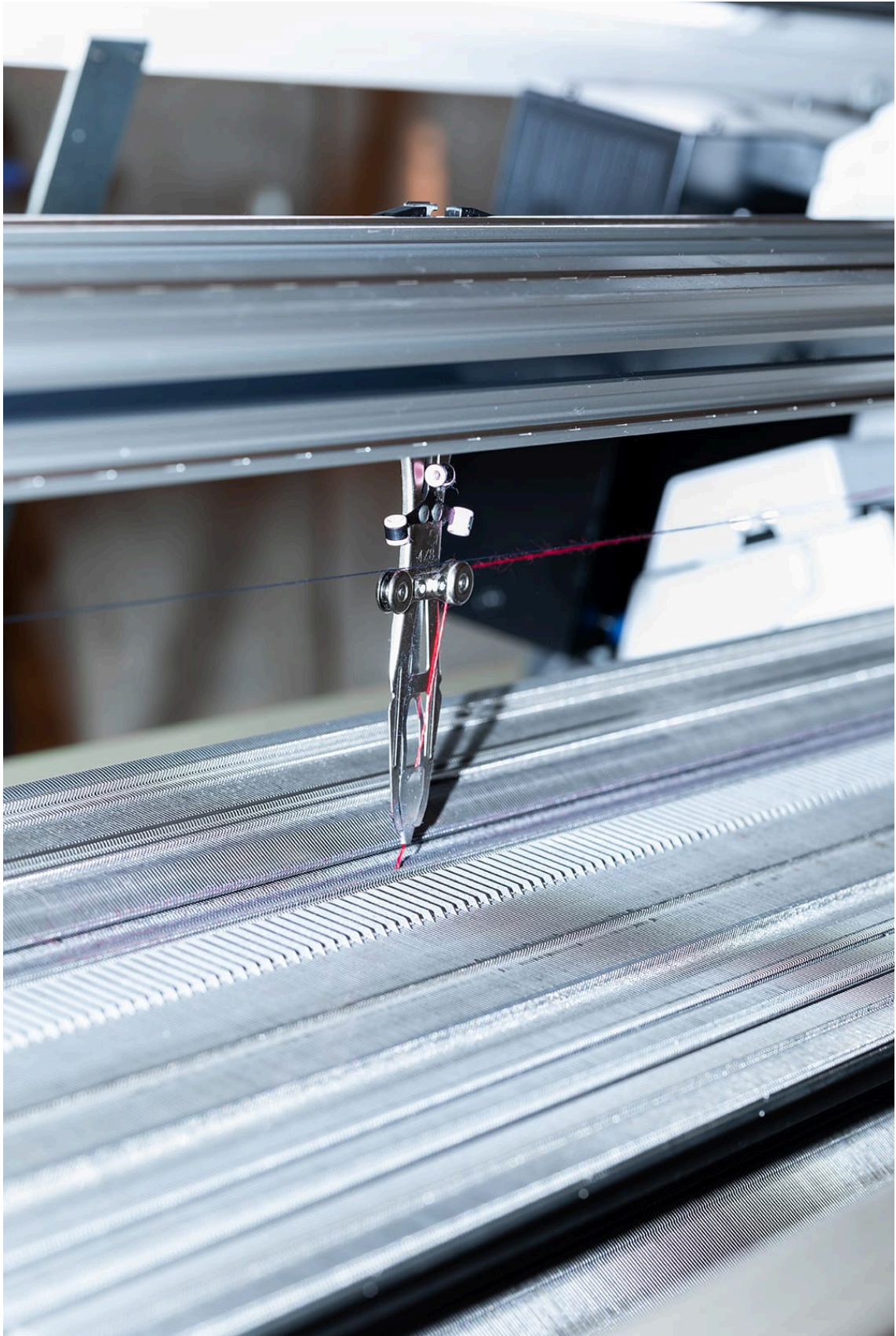
<https://3dprintingindustry.com/news/the-mit-scientists-making-3d-printed-fabrics-as-soft-as-skin-157609/> [WWW] 12.04.25

Lisa 2-3 <https://alphatauri.com/en-int/s/3d-knit/alphatauri-3d-knit-technology/> [WWW]
15.04.25

LISAD



Lisa 1. Kollageeni struktuurist inspireeritud pehme võrk, foto M. Scott Brauer/MIT



Lisa 2. AlphaTauri 3D kudumismasin, foto: AlphaTauri



Lisa 3. AlphaTauri 3D kudumismasin, foto: AplhaTauri