

**SAVONIA**

ammattikorkeakoulu

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
KULTTUURIALA

# DIGITAALINEN VAATETUSSUUNNITTELU JA TUOTEKEHITYS

TEKIJÄ    Taija Kokkonen

# Digitaalinen vaatetus suunnittelu ja tuotekehitys

Taija Kokkonen

Kuva 1. Kansikuva. Kuvituskuva (Weeman 2023)



# Tiivistelmä:

Koulutusala: Kulttuuriala

Tutkinto-ohjelma: Muotoilun tutkinto-ohjelma

Opinnäytetyön tekijä: Taija Kokkonen

Työn nimi: Digitaalinen vaatetussuunnittelu ja tuotekehitys

Päiväys: 2.4.2023

Sivumäärä: 77

Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani: Digital & Circular Fashion House -hanke, Savonia-ammattikorkeakoulu

Ohjaaja: Laura Pakarinen

Avainsanat: digitaalinen muoti, digitalisaatio, kestävä suunnittelu, mikrofaktori, monomateriaali, zero waste

Opinnäytetyön tavoitteena oli tarkastella vaatealan digitalisaatiota vaatealusteollisuuden näkökulmasta, sekä pohtia kuinka digitaaliset teknologiat kuten 2D-kaavoitus sekä 3D-suunnittelu vaikuttavat vaatesuunnittelu- ja tuotekehitysprosessiin. Lisäksi työssä tarkasteltiin digitalisaation vaikutusta kiertotalouden mukaiseen suunnitteluun, ja tutustuttiin kestäväen suunnittelun strategioihin: monomateriaalisuuteen, zero waste -suunnitteluun, tuotteen esteettiseen elinikään sekä kysyntään perustuvaan tuotantoon.

Digitaalisia teknologioita esiteltiin prosessinkuvauksen avulla esimerkkituotteen kautta, jonka suunnittelussa hyödynnettiin digitaalisia työvälineitä. Tuotekehityksessä tuotteesta muokattiin zero waste -versio. Suunnittelussa ja tuotekehityksessä otettiin huomioon myös työssä esitellyt kestäväen suunnittelun strategiat. Lisäksi verrattiin tavomaisen ja digitaalisia teknologioita hyödyntävien vaatesuunnittelu- ja tuotantoprosessien eroja, joita selkiytettiin kaavioin.

Lopputuloksena syntyi selkeä kuvaus siitä, kuinka digitaalisia työvälineitä hyödyntämällä voidaan edistää suunnitteluprosessia saavuttamaan kiertotalouden mukaisen suunnittelun tavoitteita. Opinnäytetyön pohjalta koottiin vaateen digitaalisen suunnittelun ideaaliprosessia kuvastava kaavio.

# Abstract:

Field of Study: Culture

Degree Programme: Degree Programme in Design

Author: Taija Kokkonen

Title of Thesis: Digital fashion design and product development

Date: 2.4.2023

Pages: 77

Client Organization/Partners: Digital & Circular Fashion House -project, Savonia UAS

Supervisor: Laura Pakarinen

Keywords: digital fashion, digitalization, micro-factory, mono-material, sustainable design, zero waste

The goal of the thesis was to examine the digitalization of the fashion industry from the fashion industry's point of view, and to reflect how digital technologies such as 2D pattern making and 3D design affect the product design and the product development process. The thesis also examined the impact of digitalization on circular design, and introduced sustainable design strategies: mono-materiality, zero waste design, the product's aesthetic lifetime, and production on demand.

Digital technologies were presented with a process description through an example product, and digital technologies were utilized in the design process. A zero-waste version of the product was modified in the product development section. The sustainable design strategies presented in the thesis were also considered in design and product development. In addition, differences between conventional and digital design and manufacturing processes were compared and visualized using diagrams.

The end result was a clear description of how digital technologies can support the design process to achieve the goals of circular economy. Finally a diagram depicting a garment's ideal design process was created based on the thesis.

# Sisällysluettelo:

<b>1. Johdanto</b>	<b>6</b>		
1.1. Työn tausta	6		
1.2. Työn tavoitteet	7		
1.3. Työn merkitys	8		
<b>2. Keskeiset käsitteet</b>	<b>9</b>		
<b>3. Digitalisaatio vaatetus suunnittelussa</b>	<b>11</b>		
3.1. Mitä vaatetusteollisuuden digitalisaatiolla tarkoitetaan?	11		
3.2. Digitalisaation hyödyt kiertotalouden mukaisessa suunnittelussa	12		
3.3. Digitalisaatio verkko-ostamisen helpottajana	13		
3.4. Production on Demand	15		
3.5. Mikrofaktori	16		
3.6. Digitalisaation ympäristövaikutukset	19		
<b>4. Kestävä suunnittelu ja sen strategiat</b>	<b>21</b>		
4.1. Kestävyys	21		
4.2. Kestävä suunnittelu	22		
4.3. Monomateriaalistrategia	23		
4.4. Tekstiilien kierrätys	25		
4.5. Materiaalin valinta	26		
4.6. Ompelulanka	27		
		4.7. Zero waste – Nollahukka	28
		4.8. Zero waste -menetelmät	29
		4.9. Zero waste -vaatteiden sarjonta	29
		4.10. Aesthetic Lifetime – Esteettinen elinikä	30
		<b>5. Digitaalinen suunnittelu: Case kimono</b>	<b>31</b>
		5.1. Prosessi ja prosessikaaviot	31
		5.2. Kimonon luonnostelu	37
		5.3. Tekstiilimateriaalien digitointi	40
		5.4. Digitaalinen 2D-kaava	42
		5.5. 3D-suunnittelu ja -mallinnus	44
		5.6. Digitaalinen sovitukset & avataret	46
		5.7. Fyysinen versio kimonosta	50
		<b>6. Tuotekehitys: Zero waste -kimono</b>	<b>53</b>
		<b>7. Pohdinta</b>	<b>62</b>
		<b>Lähteet</b>	<b>70</b>
		<b>Kuvaluettelo</b>	<b>74</b>

# 1. Johdanto

## 1.1. Työn tausta

Opinnäytetyöni on prosessinkuvaus digitaalisten työvälineiden hyödyntämisestä vaatealasuunnittelussa. Työssä tarkastelen vaatealan digitaalisuutta vaatealusteollisuuden näkökulmasta. Tärkeänä ajurina opinnäytetyölle on myös siirtyminen lineaarisen talouden mallista kiertotalouteen, sillä tuotteiden valmistamiseen, käyttämiseen ja pois heittämiseen perustuva lineaarinen talousmalli aiheuttaa luonnonvarojen ylikulutusta. Opinnäytetyössäni pohdin, millaisia hyötyjä digitaalinen suunnittelu voi tuotekehitysprosessiin tuoda, ja kuinka se voi osaltaan edistää kiertotaloutta. Arvioiden mukaan jopa 80 % tuotteen ympäristövaikutuksista määritellään jo suunnitteluvaiheessa (Halla-aho & Ruokamo 2021, Strategiat).

Pitkään käynnissä ollut digitalisaatio muuttaa maailmaa yhä nopeammin, ja tämä näkyy myös muotialalla. Vaatealasuunnittelun tueksi on vuosien saatossa kehitetty erilaisia ohjelmistoja, joiden tarkoituksena on helpottaa ja nopeuttaa tuotekehitystä. Digitaalinen suunnittelu onkin yritysten keskuudessa yleistynyt, ja erityi-

sesti suuret yritykset ovat jo ottaneet esimerkiksi digitaalisen kaavoituksen sekä 3D-suunnittelun osaksi tuotekehitysprosessiaan. Viime aikoina on herätty myös pohtimaan digitaalisuuden vaikutuksia muotialan aiheuttamiin maailmanlaajuisiin ympäristöongelmiin.

Suomen Tekstiili & Muoti Ry:n osaamiskartoituksessa vuonna 2022 tiedusteltiin tärkeimpiä henkilöstön osaamisen kehittämisen aiheita seuraavan viiden vuoden aikana. Yrityksistä 25 % arvioi digitaalisten työkalujen käyttötaidon yhdeksi kehityksen aiheeksi. (Suomen Tekstiili & Muoti 2022a.) Digitaalisia työvälineitä hyödyntävät suunnitteluprosessit ovat tulevaisuuden vaatealumuotoilua, ja muodin digitaalisten teknologioiden osaajia tarvitaan lisää Suomessakin.

Opinnäytetyön yhteistyökumppanina on Savonia-ammattikorkeakoulun Digital & Circular Fashion House -hanke, jossa suoritan opintoihini kuuluvaa työharjoittelua. Opinnäytetyö linkittyy hankkeen Digijami-konseptiin. Digijameissa tutkimme ja testaamme yhdessä tekstiili- ja vaatetusalan toimijoiden sekä opiskelijoiden kanssa digitalisaation tuomia mahdollisuuksia muotialalla. Samalla tavoitteena on kehittää alueen tekstiili- ja muotialan liiketoimintamahdollisuuksia, sekä luoda yhteistyöverkostoja.

## 1.2. Työn tavoitteet

Työssäni pohdin, kuinka esimerkiksi digitaalinen 2D-kaavoitus, 3D-suunnittelu ja -mallinnus sekä digitaalinen sovitus vaikuttavat tuotekehitysprosessiin. Työvaiheet ja niiden hyödyntämisen esittelen konkreettisesti esimerkkituotteen kautta. Kaavoitan, sarjon sekä 3D-mallinnan tuotteen Clo3D-ohjelmalla. Digitoin mallinnuksessa käytettävän fyysisen materiaalin visuaaliset ominaisuudet Vizoo xTex -materiaaliskannerilla, ja materiaalin fyysisten ominaisuuksien digitoinnin teen Browzwear Fab 2.0 -analysointitorilla. Opinnäytetyön tuotekehitysvaiheessa hyödynnän Clo3D-ohjelmistoa kehittäen vaatteesta zero waste -version sarjontoi-neen.

Työssä tutustun lisäksi kestäväen suunnittelun strategioihin: monomateriaalisuuteen, zero waste -suunnitteluun, tuotteen es-tteettiseen elinikään sekä kysyntään perustuvaan valmistamiseen. Kysyntään perustuvalle valmistukselle esittelen yhdeksi vaihtoehdoksi mikrofaktorin.

Kuluttajan näkökulman olen jättänyt työn ulkopuolelle, sillä tätä näkökulmaa on käsitelty muun muassa Sini Eskelisen opinnäytetyössä Digitaalisen muodin mahdollisuudet (Eskelinen 2022), sekä lida Pitkäsen työssä Tekstiilikuiduista pikseleiksi – Digitaaliset tekstiilimateriaalit osana muodin muutosta (Pitkänen 2022). Opinnäytetyön ei ole myöskään tarkoitus toimia käyttöohjeena digitaalisen vaatetusmuotoilun ohjelmistoille. Lopputuloksena syntyy selkeäpiirteinen kuvaus siitä, kuinka digitaaliset työvälineet voivat edesauttaa tuotekehitysprosessia saavuttamaan kiertotalouden mukaisen suunnittelun tavoitteita.

Henkilökohtaisina tavoitteina minulla on saada laajempi kuva kestäväen suunnittelun strategioista sekä niiden hyödyntämisestä vaatetusmuotoilun prosesseissa. Lisäksi tavoitteenani on perehtyä syvemmin erityisesti 3D-suunnitteluun sekä digitaalisten kaavojen kuositteluun Clo3D-ohjelmistolla.

### 1.3. Työn merkitys

Opinnäytetyö auttaa lisäämään ymmärrystä digitaalisen suunnittelun ja tuotekehityksen vaiheista niin Digital & Circular Fashion House -hankkeessa, alan yritysten kuin opiskelijoidenkin keskuudessa. Opinnäytetyö on tulevaisuuden näkökulma vaatetusmuotoiluun ja tuotekehitykseen, vaikkakin Suomessa vaatetusalan digitalisaatio on edennyt toistaiseksi hitaasti. Toivonkin, että opinnäytetyö lisää tietoutta ja kiinnostusta digitaalisten työkalujen haltuunottoon paitsi yritysten, erityisesti alan opiskelijoiden keskuudessa.

Zero waste -suunnittelu on yksi keino minimoida leikkuujäte sekä vähentää vaatetusteollisuudessa syntyviä tekstiilimateriaalien sivuvirtoja. Nollahukkasuunnittelu on kuitenkin perinteistä vaatetussuunnittelua työläämpää, ja erityisesti kaavojen sarjominen eri kokoihin vaatii poikkeamista perinteisestä sarjontatekniikasta. Keskittymällä leikkuujätteen minimointiin jo suunnitteluvaiheessa, sekä pohtimalla digitaalisuuden vaikutusta siihen otamme askelia kohti jätteettömämpää tulevaisuutta. Kannustaminen monomateriaalistrategian huomioimiseen varmistaa, että materiaalit saadaan pysymään kierrossa mahdollisimman pitkään senkin jälkeen, kun tuote on tullut elinkaarensa loppuun.

Kaiken pohjana on kuitenkin ylituotannon eliminointi. Tuotteiden valmistaminen vain tarpeeseen on tervetullut muutos, jonka avulla voidaan vähentää poistoon päätyvien tekstiilien määrää.

Vaatetusmuotoilun opinnoissani olen suuntautunut erityisesti digitaaliseen vaatetusmuotoiluun. Digitaalisessa muodissa minua kiehtoo uuden, digitaalisen työskentelytavan yhdistäminen perinteiseen vaatetusalan osaamiseen. Opinnäytetyössäni pääsen pohtimaan minua askarruttavia kysymyksiä: kuinka pitkälle suunnittelu voidaan hoitaa digitaalisesti, ja millaista osaamista digitaalisuudella voidaan täydentää?



## 2. Keskeiset käsitteet

**Kestävä suunnittelu** -termiä käytetään tässä opinnäytetyössä kattoterminä kuvaamaan suunnitteluprosessia, joka pyrkii minimoimaan ympäristölle aiheutuvaa kuormitusta sekä ottamaan huomioon kiertotalouden mukaisen suunnittelun periaatteita.

**Kiertotalouden mukaisella suunnittelulla** pyritään siihen, että tuotteen suunnittelussa huomioidaan tuotteen koko elinkaari aina materiaaleista sen kierrätykseen saakka. Kiertotalouden mukaisessa suunnittelussa tuotteeseen sidotut resurssit kiertävät mahdollisimman pitkään, ja myös tuotteeseen sidottujen raaka-aineiden arvo säilyy. (Halla-aho & Ruokamo 2021, Intro.) Kiertotalouden mukaisen suunnittelun perusteita en tässä opinnäytetyössä käy tarkemmin läpi, sillä nämä on käsitelty perusteellisesti Hanna Ahokkaan opinnäytetyössä ”Valmetin sivuvirtana syntyvän märkäviiran uusiokäyttö kiertotalouden mukaisen suunnittelun avulla” (Ahokas 2022). Omassa opinnäytetyössäni pyrin ottamaan kiertotalouden mukaisen suunnittelun huomioon työn suunnittelu- ja tuotekehitysosiossa, sekä pohtimaan digitaalisen suunnittelun vaikutusta kiertotalouteen.

**Digitaalinen suunnitteluprosessi** hyödyntää digitaalisia suunnittelun apuvälineitä, kuten digitaalista 2D-kaavoitusta, 3D-suunnittelua ja -mallinnusta sekä tuotteen digitaalista sovitusta avatarien avulla (Fab-lehti 11/2019). Tässä opinnäytetyössä digitaaliseen suunnitteluprosessiin kuuluu digitaalinen 2D-kaavoitus, 3D-mallinnus ja vaatteiden sovitus, tekstiilimateriaalien digitointi sekä zero waste -tuotekehitys Clo3D-ohjelmalla.

**Digitaalinen muoti** tarkoittaa vaatteita ja asusteita, jotka ovat olemassa vain digitaalisessa muodossa (Fab-lehti 6/2021). Tässä opinnäytetyössä digitaalista muotia tarkastellaan vaatetusteollisuuden ja tuotekehityksen näkökulmasta, ja digitaalinen muoti tässä tapauksessa tarkoittaa 3D-mallinnettuja vaatteita.

**Digitaaliset materiaalit** ovat materiaaleja, joita käytetään 3D-mallinnuksissa. Digitaaliset materiaalit tuovat mallinnuksiin realistisuutta ja niiden avulla voidaan tutkia esimerkiksi 3D-mallinnetun vaatteen istuvuutta. (Browzwear 2022.) Tässä opinnäytetyössä digitaalisilla materiaaleilla tarkoitetaan kankaita, joiden visuaaliset ja fyysiset ominaisuudet on digitoitu ja ne vastaavat tarkoin fyysisen kankaan ominaisuuksia. Tässä opinnäytetyössä en käsittele tekstiilimateriaalien digitointia kovinkaan syvällisesti, sillä Iida Pitkänen on tehnyt aiheesta kattavan opinnäytetyön ”Tekstiilikuiduista pikseleiksi – Digitaaliset tekstiilimateriaalit osana muodin muutosta” (Pitkänen 2022).

**Esteettinen elinikä** on kestävä suunnittelun strategia, joka varmistaa, ettei tuotteen ikääntyminen vaikuta sen esteettiseen arvoon negatiivisesti (Design School Kolding, 2017, 5).

**Monomateriaalisuus** on kestävä suunnittelun strategia, jossa tuote sisältää vain yhtä kuitumateriaalia. Monomateriaalituotteeksi voidaan kutsua myös tuotetta, jossa on eri materiaaleista koostuvia osia. Nämä osat tulee kuitenkin olla helposti irrotettavissa toisistaan. (Design School Kolding, 2017, 38.) Monomateriaalituote on helpompi kierrättää, sillä sekoitetekstiilien kierrätys on nykyisillä menetelmillä haastavaa (Kamppuri ym. 2019, 14, 18).

**Zero waste** eli nollahukkasuunnittelu on suunnittelutapa, jossa jätettä ei muodostu (Design School Kolding, 2017, 58). Vaatetusuunnittelussa tämä tarkoittaa sitä, että vaatteen kaavoitus suunnitellaan niin, ettei tuotteen leikkuuvaiheessa muodostu lainkaan leikkuujätettä. Tässä opinnäytetyössä jätteenettä koskee suunnittelun kaikkia vaiheita; prototypointia ei tehdä fyysisiä materiaaleja käyttäen. En perehdy tarkemmin nollahukkasuunnittelun historiaan tai hyödyntämiseen teollisuudessa, sillä näitä asioita on käsitelty Emilia Majanderin opinnäytetyössä ”Zero waste -suunnittelun hyödyntämismahdollisuudet teollisessa vaatetuotannossa” (Majander 2018).

**Mikrofaktori** on tiettyyn tarpeeseen suunniteltu, pieni ja tehdasmainen ympäristö, joka mahdollistaa tuotteiden nopean valmistuksen (FutureBridge 2020). Mikrofaktori kykenee mukautumaan kysynnän vaihteluihin, ja sen avulla tuotteita voidaan valmistaa tarkasti kysynnän mukaan. Tässä opinnäytetyössä mikrofaktori esitellään yhtenä vaihtoehtona kysynnän mukaiseen valmistukseen.

# 3. Digitalisaatio vaatetus suunnittelussa

## 3.1. Mitä vaatetusteollisuuden digitalisaatiolla tarkoitetaan?

Yleisellä tasolla digitalisaatio tarkoittaa toimintatapojen tai prosessien muuttamista ja kehittämistä tietotekniikkaa hyödyntäen (Tieke 2019). Digitalisaatio on vahvasti kytköksissä teollisen vallankumouksen neljänteen vaiheeseen (Industry 4.0), jonka keskiössä ovat yhdistettävyyden, automatisaation, koneoppimisen ja tekoäly sekä reaaliaikainen data (Mavropoulos & Nilsen 2020, 36).

Vaateteollisuuden digitalisoitumisella tarkoitetaan sitä, että digitaaliset teknologiat muokkaavat tapaa, jolla muotia suunnitellaan, valmistetaan, markkinoidaan ja kulutetaan. Tähän kuuluvat paitsi erilaiset digitaaliset suunnittelutyökalut, myös sosiaalinen media ja tietoverkkojen avulla toisiinsa yhdistyneet esineet. (Vänskä, Hokka & Särämäkari 2022, 74.) Tässä opinnäytetyössä käsitellään erityisesti digitaalisen 2D-kaavoituksen, 3D-suunnittelun ja mallinnuksen sekä digitaalisten materiaalien tuomia hyötyjä vaatetus suunnittelu- ja tuotekehitys prosessiin.

Suuret kansainväliset yritykset ovat jo pitkään hyödyntäneet digitaalista 2D-kaavoitusta osana tuotekehitys prosessiaan, sillä useita mallistoja vuodessa tuottava yritys tuottaa myös paljon kaavoja. Digitaalisia 2D-kaavatiedostoja on helppoa ja turvallista säilyttää, ja niitä voidaan jatkojalostaa uusiksi tuotteiksi nopeasti. 2D-kaavoitukseen löytyy useita ammattiohjelmia, kuten Grafis CAD, Lectra Modaris tai Optitex, joilla voidaan tehdä niin kuositte lu kuin sarjontakin (The Fashion Starter 2021; Grafis 2023a).

Kaavoja voi digitoida, luoda ja kuositella myös erilaisilla vektoripiirto-ohjelmilla, kuten Adobe Illustrator ja Affinity Designer. Vektoripiirto-ohjelma voi olla erityisesti pienemmille yrityksille riittävä työkalu kaavojen hallintaan. Digitaaliset kaavat mahdollistavat myös projektorin käytön leikkuuvaiheessa. Kaavoja ei tällöin tarvitse tulostaa lainkaan, vaan ne voidaan heijastaa suoraan kankaalle ja leikata ääriviivojen mukaisesti. Tapa sopii yrityksille, joiden tuotantomäärät ovat kohtuullisia.

Vaatetusala on hiljalleen ottamassa myös erityisesti 3D-suunnittelua osaksi tuotekehitystä. 3D-suunnittelua hyödyntävät jo esimerkiksi kansainväliset yritykset kuten Puma ja Nike (Browzwear 2023). 3D-suunnittelu mahdollistaa digitaalisen vaatteiden tarkastelun kolmiulotteisessa ympäristössä, jolloin vaatteiden istuvuutta ja kaavoituksen toimivuutta voidaan tutkia ilman fyysisten prototyyppien ompelua (Fab-lehti 11/2019). Samalla voidaan kokeilla, kuinka vaikkapa erilaiset väri vaihtoehdot tai painatukset sopivat vaatteiden visuaaliseen ilmeeseen (Kuva 2).

### 3.2. Digitalisaation hyödyt kiertotalouden mukaisessa suunnittelussa

Nykyinen lineaarinen talousjärjestelmä perustuu maapallon ylikulutukselle. Linearisessa talousmallissa tuotteita valmistetaan, käytetään ja lopulta hävitetään jätteenä, jolloin tuotteeseen sidottu resurssit menetetään. (Sitra 2020.) Luonnonvarojen ylikulutus on aiheuttanut ekologisen kestävyyskriisin: ilmasto lämpenee, luonnon monimuotoisuus katoaa ja luonnonvarat vähenevät. Tilaanne ei voi parantua, ellei luonnonvarojen ylikulutusta lopeteta ja siirrytä hyödyntämään jo käytössä olevia materiaaleja. (Sitra 2021a.) Pelkästään tekstiili- ja vaatetusalan arvellaan aiheuttavan globaaleista kasvihuonepäästöistä 2-10 % (Suomen Tekstiili & Muoti julkaisuaika tuntematon).



Kuva 2. Printtikokeilu VStitcher-ohjelmalla 3D-mallinnettuun kimonoon. (Kokkonen 2022)

Kiertotalouden mukaisella suunnittelulla tarkoitetaan sitä, että jo tuotteen suunnitteluvaiheessa sen koko elinkaari huomioidaan alusta loppuun saakka. Suunnittelussa huomioidaan raaka-aineisiin, tuotantoon ja valmistukseen, jakeluun ja logistiikkaan sekä myyntiin, käyttöön ja kierrätykseen liittyviä asioita. Tuotteeseen sidottujen materiaalien ja muiden resurssien tulisi kiertää yhteiskunnassa mahdollisimman pitkään, jolloin ympäristölle aiheutuva kuormitus pystytään minimoimaan. (Halla-aho & Ruokamo 2021, Intro.)

Kiertotalouden mukaisen suunnittelun kannalta digitaalisuus tarjoaa monia mahdollisuuksia. Digitaalisten kaavojen siirtäminen 3D-ohjelmaan ompelua varten nopeuttaa prosessia, sillä digitaalisen vaatteiden ompelu on nopeampaa kuin fyysisen vaatteiden ompelu. Kun vaatteiden sovitukset ja mahdolliset sovitukset tehdään digitaalisesti, fyysisten mallikappaleiden tarvekin vähenee (Casciani ym. 2022, 4). Usein tuotteiden suunnittelu tapahtuu eri paikassa kuin niiden tuotanto, jolloin tuotteiden fyysisiä mallikappaleita lähetellään edestakaisin suunnittelun ja tuotannon välillä jopa useita kertoja.

Rahdin kuljetus vie oman aikansa, ja logistiikasta aiheutuu ympäristön kuormitusta. 3D-mallinnetut vaatteet taas voidaan jakaa tarkasteltavaksi eri tahojen kesken reaaliajassa, ja niiden ajatellaan olevan ympäristön kuormituksen suhteen parempi vaihtoehto. Täytyy kuitenkin muistaa, että myös digitaalisella tuotteella on oma ympäristövaikutuksensa (ks. sivu 18).

### **3.3. Digitalisaatio verkko-ostamisen helpottajana**

Digitalisaatio on muovannut suuresti myös ihmisten ostokäyttäytymistä. Verkko-ostaminen on viimeisen kolmen vuosikymmenen aikana yleistynyt, ja siitä on tullut suurelle osalle kuluttajista arkipäivää. Euroopan alueella verkosta ostetaankin eniten juuri vaatteita, kenkiä ja asusteita, ja Postin verkkokauppatutkimuksen perusteella ilmiö on samansuuntainen myös Suomessa (Eurostat 2022; Posti 2022, 8). Vaatteiden verkko-ostamiseen sisältyy kuitenkin haasteita, sillä kuluttaja ei voi aina olla varma vaatteiden sopivuudesta. Verkkokaupat tarjoavatkin usein kuluttajille mahdollisuuden palauttaa tuotteita ilman lisäkustannuksia, jolloin kuluttajat saattavat tilata tuotteesta useita kokoja, joista osa palautetaan.

Erityisesti tuotepalautukset lisäävätkin kansainvälisen verkko-ostamisen päästöjä, sillä palautukset voidaan ohjata käsiteltäväksi vielä kolmanteen maahan halvempien työkustannusten vuoksi (Telaketju 2020.) Palautettujen tuotteiden kohtalo ei ole aivan selvä, sillä joidenkin lähteiden mukaan osa palautetuista tuotteista ei mene enää uudelleen myyntiin, vaan ne päätyvät poltettavaksi (Eetti 2021).

Uudenlaiset kehon skannaukseen perustuvat sovituspalvelut tuovat helpotusta verkko-ostamiseen. Tätä varten on kehitetty erilaisia kehon skannaamiseen suunniteltuja puhelinsovelluksia, kuten My Sizey. Kuluttaja voi skannata kehonsa sovellusta käyttäen, ja verkkokauppaan linkitetty sovellus neuvoo kuluttajalle tämän jälkeen vaatteesta sopivimman koon (Sizey 2022). Lisäksi jotkin brändit ovat ottaneet 3D-skannauksen osaksi liiketoimintaansa. Esimerkiksi Unspun valmistaa farkkuja asiakkaiden mittojen mukaan. Asiakas skannaa kehonsa omalla puhelimellaan Unspun-sovellusta käyttäen, jonka jälkeen yritys valmistaa asiakkaan keholle räätälöidyt farkut. Yritys valmistaa tuotteita vain tilauksesta. (Unspun 2022.)



Kuva 3. Neulepaita. Kuvituskuva. (Thirdman 2020)

### 3.4. Production on Demand

Production on Demand on tuotantotapa, jossa tuotteita valmistetaan vain kysynnän mukaan. Kysyntään perustuva tuotanto käynnistyy vasta myyntitapahtuman jälkeen. Tämä auttaa vähentämään ylituotantoa sekä jätteen määrää, sillä tuotteita ei jää myymättä. Myös varastointikulut voidaan minimoida, kun suuria määriä ennakoon tuotettuja tuotteita ei tarvitse varastoida. Kysyntään perustuvan tuotannon haasteeksi muodostuvat etenkin vaateteollisuudessa pitkät toimitusajat. Tuotetilauksia joudutaan keräämään valmistajan vaatima minimi-tilausmäärä, ennen kuin ne voidaan lähettää edelleen tuotantoon. (Techpacker 2021.) Kysynnän mukaisen tuotannon tehostamiseen ja toimitusaikojen lyhentämiseen yksi vaihtoehto on mikrofaktori.



Kuva 4. Farkut. Kuvituskuva. (Jarmoluk 2014)

### 3.5. Mikrofaktori

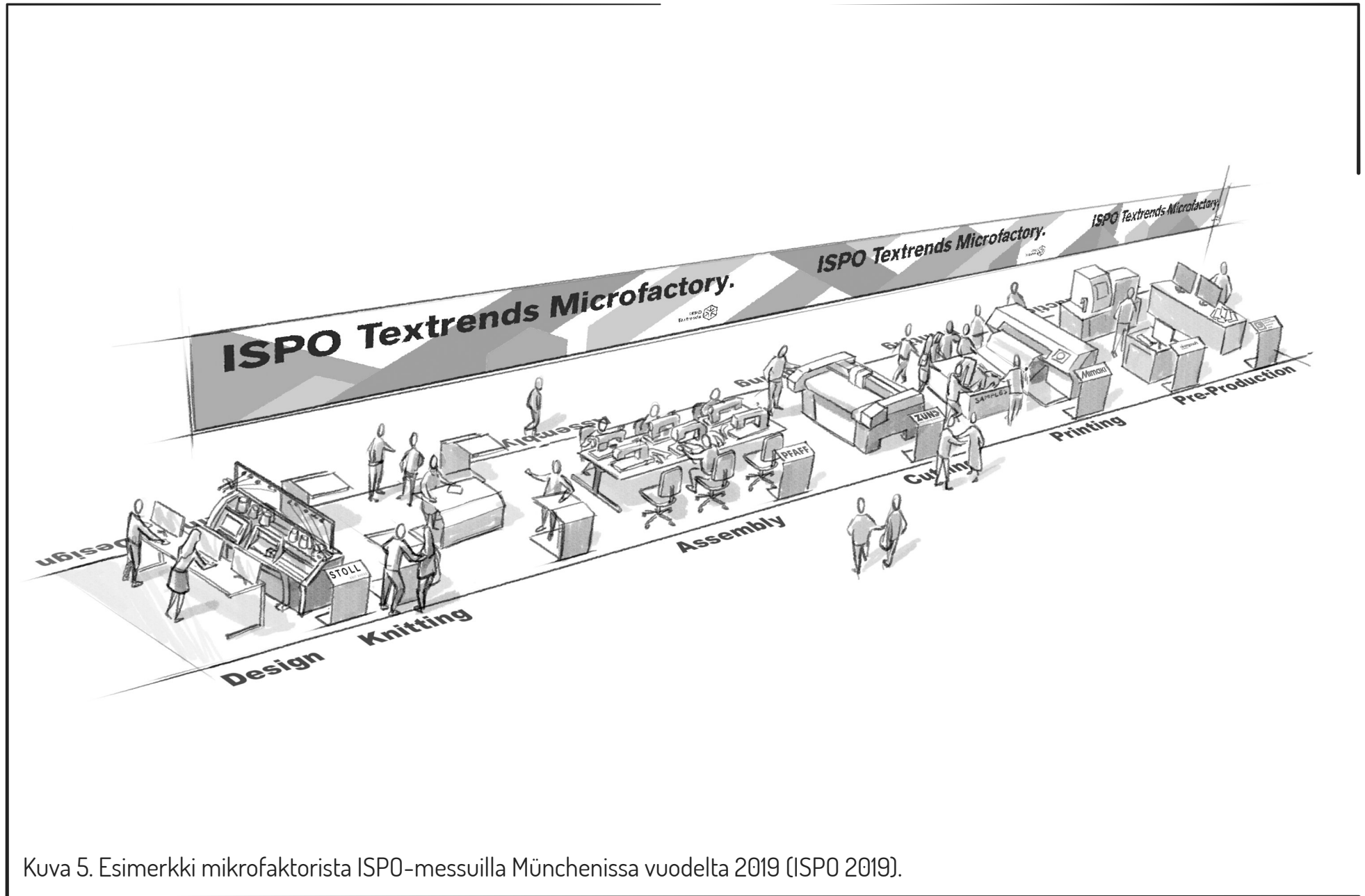
Mikrofaktoreilla tarkoitetaan tässä opinnäytetyössä pieniä ja tehokkaita tehtaita, joiden tuotantolinjat voidaan räätälöidä tuotantotarpeisiin sopivaksi (FutureBridge 2020; kuva 5). Nämä tehtaat kykenevät tuottamaan kohtuullisia tuotantomääriä vastaten nopeasti kysynnän vaihteluihin, ja mikrofaktorit nojaavatkin tavallisesti digitaalisiin teknologioihin. Vaatetusteollisuudessa tiettyjä vaiheita ei kuitenkaan ole vielä automatisoitu, ja esimerkiksi leikkuu-, ompelu- ja viimeistelyvaiheet vaativatkin vielä työntekijöiden osallisuutta tuotantoprosessissa. (Winands ym. 2022, 3.)

Mikrofaktorien myötä tuotanto voi olla lähellä, ja tämä auttaa minimoimaan logistiikasta aiheutuvia päästöjä. Vaatetusteollisuuden tuotantoketjut ovat perinteisesti moniulotteisia, ja tuotannon läheisyys auttaa samalla minimoimaan pitkiin tuotantoketjuihin liittyviä häiriöitä. Yleisiä tuotantoketjujen riskejä ovat resurssipula, tuotantokatkokset sekä nopeasti kasvavat rahtikustannukset. Tuotannon sijoittaminen lähemmäs mahdollistaa kysynnän mukaisen valmistuksen, jolloin tuotteiden varastointiin ei ole tarvetta. Lyhyemmillä tuotantoketjuilla toimitusaika saadaan kuitenkin pysymään kohtuullisena samalla kun jätteen määrä vähenee. (Winands ym. 2022, 1–2.)

Mikrofaktori tuo tuotantoon joustavuutta, ja pienet tuotantoerät mahdollistavat keskittymisen tuotteiden laatuun. Tuotannon käynnistyminen vasta tilauksen jälkeen mahdollistaa myös tuotteiden kustomoinnin. Kustomoinnilla tarkoitetaan sitä, että kuluttaja saa valita tuotteeseen tiettyjä ominaisuuksia rajattujen vaihtoehtojen joukosta. Tuotteet voivat olla osittain tai jopa täysin kustomoitavissa. Osittain kustomoitavissa vaatteissa muokattavia ominaisuuksia voivat olla esimerkiksi vaatteessa käytetyt materiaalit tai värit. Täysin kustomoituun vaatteeseen voidaan valita esimerkiksi haluttu hihan tai helman pituus, tai vaikkapa lisätä taskut. Kuluttajalla on eniten mahdollisuuksia vaikuttaa tuotteeseen sen suunnitteluvaiheessa, ja tuotantoprosessin edetessä vaikutusmahdollisuudet vähenevät. (Winands ym. 2022, 6–7.)

Digitaaliset teknologiat, kuten kehon 3D-skannaus puhelinsovelluksella voivat mahdollistaa vieläkin yksilöllisemmän mittatilaustuotteen valmistamisen mikrofaktoreissa. Haasteeksi tässä vielä muodostuu puhelimella tehdyn skannauksen mittojen luotettavuus, sillä aivan kaikkia mittoja ei tällä tavoin voi mitata. Esimerkiksi aiemmin mainittu Unspunkin tekee maksutta tarvittavia istuvuusmuutoksia heiltä tilattuihin farkkuihin.





Kuva 5. Esimerkki mikrofaktorista ISPO-messuilla Münchenissa vuodelta 2019 (ISPO 2019).

Mikrofaktorit soveltuvat monenlaisten tuotteiden valmistukseen, ja niitä voidaankin räätälöidä tarpeen mukaan. Kuvassa 5 on esitelty ISPO-messujen esimerkki mikrofaktorista. Mikrofaktorin alueet voisivat olla jaoteltu myös vaikkapa seuraavasti: 3D-suunnittelu & kustomointi, leikkuu, ompelu, viimeistely, pakkaus & jakelu.

Vaatetusteollisuuden kohdalla mikrofaktoreissa hyödynnettävät digitaaliset työvälineet painottuvat tuotteen suunnittelu- ja tuotekehitysvaiheeseen, kuten digitaaliseen 2D-kaavotukseen yhdistettynä 3D-suunnitteluun ja digitaalisiin materiaaleihin. Tuotteen valmistusvaiheessa digitaalisuutta voidaan hyödyntää esimerkiksi käyttämällä projektoria kaavojen leikkuvaiheessa.

3D-mallinnuksia toisaalta voidaan käyttää markkinoinnin välineenä, jolloin fyysisiä näytetuotteita ei välttämättä tarvitse valmistaa lainkaan. Tämä edellyttää, että tuotteet on mallinnettu taidokkaasti ja renderöity mahdollisimman realistisiksi, jotta ne voivat toimia apuna ostopäätöksen teossa. (Kuva 6.)



Kuva 6. Renderöidyt kimonot eri väreissä (Kokkonen 2023)

### 3.6. Digitalisaation ympäristövaikutukset

Maailmanlaajuisesti ICT-alan (information and communication technology, suom. tieto- ja viestintätekniikka) energiankulutus on kasvanut hurjaa tahtia, ja kasvun ennustetaan jatkuvan myös tulevaisuudessa (Eerola ym. 2021, 14). Digitalisaatiolta odotetaan paljon erityisesti kiertotalouteen siirtymisessä ja päästöjen vähentämisessä. Hyvistä puolistaan huolimatta digitalisaatiokin aiheuttaa ympäristön kuormitusta, sillä se kuluttaa paljon energiaa. ICT-alalla on panostettu uusiutuvan sähkön käyttöön, mutta energiankulutuksen kasvaessa tarvittavan sähkön tuottaminen päästöttömästi on haasteellista.

Energiankulutuksen lisäksi digitalisaatio edellyttää materiaaleja, sillä datan siirtoon, tallentamiseen ja käsittelyyn vaaditaan aina fyysisiä laitteita. (Sitra 2021b.) ICT-laitteiden käsite on laaja: ICT-laitteilla tarkoitetaan niin tietokoneita, kuin niihin liittyvien fyysisten laitteiden osia. Tällaisia laitteita ovat erilaiset päätelaitteet kuten tietokoneet, älypuhelimet ja tabletit. Lisäksi mukaan laskeetaan muun muassa viihde- ja medialaitteet, liityntäverkot sekä yritysverkot ja datakeskukset. (Eerola ym. 2021, 17.)

Elektroniikan tuotantoon liittyy niin ympäristökysymyksiä kuin eettisiäkin kysymyksiä. Elektroniikassa tarvitaan muun muassa metalleja, joiden louhinnalla on aina vaikutus ympäristöön. Kaivosteollisuutta esiintyy usein maissa, joissa ympäristölainsäädäntö on heikkoa. Tämän takia kaivoksista päätyy vesistöön vaarallisia kemikaaleja, jotka ovat haitallisia niin ihmisille kuin ympäristöllekin. Kaivostyö on myös hyvin vaarallista, eivätkä kaivostyöläiset usein saa työstään elämiseen riittävää palkkaa. (Eetti julkaisuaika tuntematon.)

Elektroniikkatuotteiden elinkaaren lopussa esiintyy myös haasteita. Sähkö- ja elektroniikkaromun (SER) kierrätys on maailmanlaajuisesti heikolla tasolla, sillä ainoastaan noin 17 % elektroniikkajätteen kierrätetään asianmukaisesti. Sähkö- ja elektroniikkaromu sisältää myös haitallisia kemikaaleja, jotka käsittelemättöminä pääsevät saastuttamaan ympäristöä. ICT-laitteissa käytettäviä arvokkaita metalleja ei useinkaan saada uudelleen käyttöön alhaisen kierrätysprosentin vuoksi. (Eerola ym. 2021, 15.) Elektroniikkajätteen määrä kasvaa koko ajan, ja siihen on monia syitä. Erityisesti ICT-laitteiden käyttöikä on lyhyt, ja niiden korjattavuutta ei suunnitteluvaiheessa yleensä korosteta. Tekniikka myös vanhenee nopeasti, ja tämä voi aiheuttaa painetta uusia laitteistoa ennenaikaisesti. (Eerola ym. 2021, 22.)

Lisäksi tuotteet voidaan suunnitella niin, että korjattavuuden puutteen lisäksi tuotteen osat hajoavat suunnitellusti. Tällöin uuden tuotteen hankkiminen koetaan pakolliseksi. Teknologian vanhenemisen myötä laitteeseen tai sen ohjelmistoon voi tulla yhteensopivuusongelmia, joka osaltaan pakottaa uuden tuotteen hankkimiseen. (Eerola ym. 2021, 60.) Euroopan komissio onkin ehdottanut sopimattomia kaupallisia menettelyjä koskevaan direktiiviin muutoksia, jotka kieltäisivät muun muassa tuotteiden suunnitellun vanhenemisen (Euroopan komissio 2022).

Digitalisaation hiilijalanjälkeä on haastavaa laskea, sillä kaikkea arviointiin tarvittavaa tietoa ei usein ole saatavilla. Digitaalisten tuotteiden ja palveluiden hiilijalanjäljen laskennassa tulisi ottaa huomioon päätelaitteiden energiankulutus, sekä tiedonsiirtoon ja datan prosessointiin liittyvä kulutus. (Sitra 2021b.) Digitaalisen muodin yritys DRESSX raportoi, että digitaalisen vaateen hiilijalanjälki on 97 % pienempi kuin fyysisen vaateen. Laskelmassa ei kuitenkaan otettu huomioon energiankulutusta, joka aiheutuu datan tallentamisesta. Myöskään ei huomioitu kulutusta vaateen digitaaliseen ostoprosessiin liittyen. Lisäksi DRESSX:n vertailutuotteena käyttämä t-paita ei vastaa sitä, millaisia digitaaliset vaatteet keskimäärin ovat. (Casciani ym. 2022, 12.)



Kuva 7. Rikkinäinen puhelin. Kuvituskuva. (Barbhuiya 2022)

# 4. Kestävä suunnittelu ja sen strategiat

## 4.1. Kestävyys

Kestävyys (engl. sustainability) viittaa ekologisten systeemien tasapainoon. Tämä tarkoittaa sitä, että ympäristön kulutus ja sen uusiutuminen ovat tasapainossa. Kestävyys on kuitenkin terminä tulkinnanvarainen, eikä sillä olekaan virallista määritelmää. Vaateollisuudessa kestävyydellä usein tarkoitetaan sitä, tuotteen elinkaaren aikaiset vaikutukset niin ympäristölle kuin ihmisillekin pyritään ottamaan huomioon jo suunnitteluvaiheessa. (Farley & Hill 2015, Introduction.)

Termien tulkinnanvaraisuus mahdollistaa valitettavasti myös viherpesun. Viherpesulla tarkoitetaan erilaisia "viherväitteitä", joilla saadaan yrityksen toiminta tai tuote vaikuttamaan todellista ympäristöystävällisemmältä. Tällaisina väitteinä käytetään yleensä termejä kuten "eko", "luonnollinen" tai "vihreä". Väittämällä ei välttämättä ole totuuspohjaa lainkaan, tai väite voi olla muuten liioiteltu. Väite voi myös koskea vain osaa tuotteesta, kuten sen tuotepakkausta. (Kuluttajaliitto 2022.)

Harhaanjohtavaan markkinointiin on kuitenkin tulossa muutos, sillä Euroopan komission esittämät muutokset kuluttajansuojasääntöihin puuttuvat myös viherpesuun. Jatkossa tuotteista ei saa esittää ympäristöväitteitä, joita ei pystytä objektiivisesti todistamaan. Tuotteissa ei myöskään saa käyttää kestävyysmerkintöjä, jotka eivät ole viranomaisten myöntämiä tai perustu kolmannen osapuolen todentamisjärjestelmään. (Euroopan komissio 2022.)

## 4.2. Kestävä suunnittelu

Kestävän suunnittelun apuna voidaan käyttää erilaisia strategioita, jotka tähtäävät esimerkiksi jätteen vähentämiseen, tuotteiden pitkäikäisyyteen ja parempaan käytettävyyteen, sekä tuotteeseen valittujen materiaalien kierrätettävyyteen (Gwilt 2018, 40). Euroopan unionissa valmisteilla oleva uusi tekstiilistrategia edellyttää, että jatkossa vaatteista suunnitellaan pitkäikäisiä, korjattavia, uudelleen käytettäviä ja kierrätettäviä (Suomen Tekstiili & Muoti 2022b). Jo suunnitteluvaiheessa onkin tärkeää tunnistaa tuotteen elinkaaren vaiheet, ja pohtia millaisia kestävyysaasteita niihin liittyy ja kuinka niitä voidaan ratkaista.

Tässä opinnäytetyössä käsiteltävät kestävän suunnittelun strategiat on valittu Design School Koldingin Sustainable Design Cards -korttien pohjalta. Sustainable Design Cards on työkalu, jonka avulla voidaan ideoida, tutkia ja arvioida suunnitteluprosessin kestävyysvaikutuksia. Korttien teemat on jaoteltu kolmeen eri aihealueeseen, joita kuvastaa visuaalinen Sustainable Design Compass. Aihealueissa käsitellään tuotteen teknistä, funktionaalista ja emotionaalista elinikää. Eri teemat ovat myös värikoodattuja, ja kussakin kortissa näytetään, mihin aihealueeseen se kuuluu.

Tämän lisäksi korteissa määritellään kuusi erilaista kategoriaa tuotteen elinkaaren vaiheista: design and concept, material, production, transport and retail, user and practice, sekä disposal and recovery. Jokaiseen korttiin on valittu 1–3 kategoriaa, joihin kyseisen kortin teemalla voidaan vaikuttaa. (Design School Kolding 2019.)

Tässä opinnäytetyössä ”kestävä suunnittelu” toimii kattoterminä kuvaamaan suunnitteluprosessia, joka pyrkii minimoimaan ympäristölle aiheutuvaa kuormitusta sekä ottamaan huomioon kiertotalouden mukaisen suunnittelun periaatteita. Kestävän suunnittelun strategioiksi on valittu monomateriaalisuus, zero waste -suunnittelu, esteettinen elinikä sekä kysynnän mukainen valmistus.

### 4.3. Monomateriaalistrategia

Monomateriaalistrategia on suunnittelutapa, jonka lopputuloksena on yhdestä materiaalista koostuva tuote. Tuotteessa voi olla myös muista materiaaleista koostuvia osia, mutta osien tulee olla toisistaan helposti irrotettavissa. (Design School Kolding 2017, 38.) Monomateriaalituotteiden etuna on, että ne voidaan kierrättää tehokkaasti. Vaatesuunnittelussa monomateriaalisuus toteutuukin niin, että vaatteiden ja asusteiden suunnittelussa käytetään vain yhtä kuituraaka-ainetta sisältäviä tekstiilejä. Tällöin tuotteen suunnittelussa on tärkeää pohtia myös ompelulankojen, mahdollisten tukikankaiden tai erilaisten kiinnittimien, kuten vetoketjujen ja nappien materiaaleja sekä irrotettavuutta.

Sekoitetekstiilien valmistuksen taustalla on niiden mukanaan tuomat hyödyt, kuten lisääntynyt hankauksenkesto tai joustavuus. Keinokuitu sekoitettuna luonnonkuituun lisää tekstiilin kestävyttä, samalla kun luonnonkuidut hyvät ominaisuudet säilyvät kankaassa. Tekstiilikuituja sekoittamalla voidaan myös vaikuttaa kankaan ominaisuuksiin, kuten sen laskeutuvuuteen tai tuntuun. Lisäämällä edullisempaa keinokuitua luonnonkuituun saadaan tekstiilin hintaa tuotua alemmas, ja polyesteripuuvillasekoite onkin sekoitteena varsin tavallinen. (Kiron 2013.)



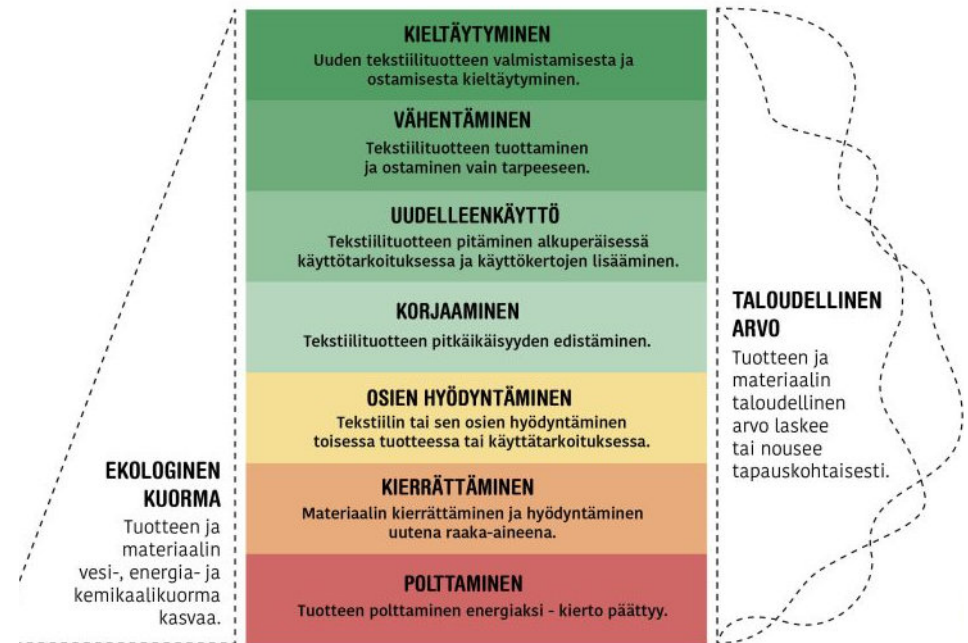
Kuva 8. Digitoitu vaaleanpunainen pellavakangas. Kuvituskuva. (Kokkonen 2023)

Useita erityyppisiä kuituraaka-aineita sisältävät tekstiilit voivat kuitenkin olla kierrätyksen kannalta ongelmallisia, sillä nykyisillä kierrätysmenetelmillä erilaisten kuitujen erottelu toisistaan ei onnistu. Materiaali vaikuttaakin suuresti siihen, kuinka vaate voidaan kierrättää.

Jo materiaalin valintavaiheessa suunnittelijan täytyykin pohtia, mitä tuotteelle tapahtuu sen elinkaaren loppuvaiheessa. Kierrätys on kuitenkin viimesijainen keino materiaalin pitämiseksi kierrossa. Ennen kierrätystä tulee pohtia tuotteen uudelleenkäyttöä, korjaamista sekä sen osien hyödyntämistä. Finixin kaavio kuvaa tekstiilien kiertotalouden tasoja sekä sitä, kuinka tuotteen ja materiaalin ekologinen kuorma ja taloudellinen arvo muuttuvat sen mukaan, mitä enemmän materiaalia käsitellään (kuva 9). Uuden tekstiilituotteen valmistamisesta ja ostamisesta kieltäytymisen ajattelen tarkoittavan tarpeettomia ja kestävästi valmistettuja tuotteita.

## TEKSTIILIEN KIERTOTALOUDEN TASOT

### TUOTTEEN JA MATERIAALIN EKOLOGISEN JA TALOUDELLISEN ARVON MUUTOS



Kuva 9. Tekstiilien kiertotalouden tasot (Finix julkaisuaika tunte-maton)



#### 4.4. Tekstiilien kierrätys

**Mekaanisessa kierrätyksessä** tekstiilimateriaali avataan ja siitä valmistetaan uutta kuitua. Se sopii kaikille kuiduille, ja mekaaninen kierrätys varmistaa kuidun pysymisen täysin samana materiaalina. Luonnonkuitujen mekaaninen kierrätys kuitenkin lyhentää kuitupituutta, joka voi vaikuttaa kuidun jatkokäyttöön. (Kamppuri ym. 2019, 7–8.) Mekaanisessa kierrätyksessä kuitu leikataan giljotiinileikkurilla silpuksi, josta voidaan puhaltimien ja painovoiman avulla erotella kovia osia, kuten nappeja ja vetoketjuja. Tämän jälkeen kuitu revitään repijäkoneella kuitutasolle. Mekaaniseen kierrätykseen soveltuvat parhaiten tekstiilit, jotka ovat 100 % samaa raaka-ainetta. (Kamppuri ym. 2019, 14.)

**Kemiallinen kierrätys** soveltuu hyvin selluloosakuiduille, kuten puuvillalle. Kemiallisessa kierrätyksessä selluloosa liuotetaan ja regeneroidaan uudeksi selluloosamuuntokuiduksi. Synteettiset materiaalit kuten polyesteri voidaan kierrättää monomeeritasolle, jolloin lopputuloksena on neitseellistä kuitua vastaava kuitu. (Kamppuri ym. 2019, 5, 7.) Selluloosakuidun kemiallisessa kierrätyksessä saa mukana olla synteettisiä keinokuituja noin 2 %, sillä pienet määrät keinokuitua voidaan suodattaa pois. (Kamppuri ym. 2019, 18.)

**Terminen kierrätys** sopii synteettisille tekokuiduille, kuten polyesterille, polyamidille ja polypropeenille. Termisessä kierrätyksessä materiaali rouhitaan ja siitä tehdään granulaatteja. Granulaatit voidaan sulakehrätä uudeksi kuiduksi. Suurin osa kaupallisesti saatavilla olevasta polyesterikuidusta on valmistettu PET-muovipulloista. (Kamppuri ym. 2019, 19.)



Kuva 10. Kangassilppua. Kuvituskuva. (Zembruski 2019)

#### 4.5. Materiaalin valinta

Tekstiilimateriaalien tuotannolla on aina jonkinlainen vaikutus ympäristöön ja tuottajayhteisöihin, sillä tekstiilien valmistus aina kuidun tuotannosta valmiiksi kankaaksi kuluttaa vettä, energiaa ja kemikaaleja. (Fletcher 2012, 13.) Tavallisesti materiaalin valinnassa kiinnitetään huomiota sen visuaalisiin ominaisuuksiin, kuten väriin, kuosiin, paksuuteen ja laskeutuvuuteen (Gwilt 2018, 60). Materiaalin valinta vaikuttaa kuitenkin suoraan vaatteiden toimivuuteen ja käyttöikänsä. Tuotteeseen sopimaton materiaali voi hajota käytössä tai pesuissa nopeasti, tai olla päällä epämukava. Tämä voi johtaa vaatteiden ennenaikaiseen käytöstä poistamiseen.

Materiaalin valinnassa täytyy miettiä myös huollettavuutta; kuinka paljon pesua tuote vaatii, ja kuinka materiaalia voidaan pestä? Mikäli materiaalin huoltaminen koetaan haastavaksi, saatetaan vaate heittää pois vain muutaman käytön jälkeen. Toisaalta esteettisyytäkään ei voi materiaalin valinnassa unohtaa. Tuotteen esteettisyys vaikuttaa omalta osaltaan siihen, kuinka käyttäjä tuotteen valitsee ja kuinka paljon sitä käytetään. Oikean materiaalin valinta onkin tasapainoilua niin materiaalituotannon kestävyys, tuotteen käyttötarkoituksen kuin esteettisyydenkin välillä. Vaate on ekologisin silloin, kun se on käytössä mahdollisimman pitkään.



Kuva 11. Tekstiilimateriaalit. Kuvituskuva. (Cottonbro Studio 2020)

#### 4.6. Ompelulanka

Usein yhdeksi monomateriaalistrategian haasteeksi muodostuu ompelulangan valinta. Yleisiä ompelulankojen materiaaleja ovat polyesteri ja puuvilla. Monomateriaalisuus huomioiden selluloosapohjaisten tekstiilien, kuten puuvillan kanssa täytyisi käyttää laadukasta puuvillaista ompelulankaa. Polyesterilanka tarjoaa kuitenkin monia etuja puuvillalankaan nähden. Polyesterilanka on puuvillalankaa lujempaa, ja kestää hyvin käytössä. Sileän pintansa ansiosta se myös soveltuu erinomaisesti monien eri materiaalien ompeluun. Kierrätyksen kannalta vähäinen määrä polyesterilankaa esimerkiksi puuvillakuidun seassa ei välttämättä ole ongelma, sillä puuvillan kemiallisessa kierrätysprosessissa polyesteriä tai muita synteettisiä kuituja voi olla mukana noin 2 % (Kamppuri ym. 2019, 18). Joskus onkin syytä käyttää eri materiaalista koostuvaa ompelulankaa, sillä oikein valittu ompelulanka lisää vaatteiden käyttöikää. Eri materiaalia olevaa ompelulankaa käytettäessä saumarakenteisiin täytyy kiinnittää erityistä huomiota, jotta ompelulangan määrä vaatteessa voidaan minimoida. Saumurointiin kuluu paljon lankaa, joten saumurointia pitäisi käyttää huolitteluun vain silloin, jos muita vaihtoehtoja ei ole.



Kuva 12. Ompelulangat. Kuvituskuva. (Danilyuk 2020)

#### 4.7. Zero waste – Nollahukka

Zero waste eli nollahukkasuunnittelu tarkoittaa jätteenöntä suunnittelutapaa. Termiä käytetään vaatteesta, jonka kaavoitus on suunniteltu niin, ettei siitä jää yli yhtään leikkuujätettä. (Design School Kolding 2017, 58.) Nollahukkasuunnittelussa vaateen kaavoitus pyritään usein suunnittelemaan niin, että kankaan käyttöleveys saadaan hyödynnettyä kokonaisuudessaan.

Perinteisin tavoin kaavoittaessa kaavanosat pyritään asettelemaan leikkuusuunnitelmassa mahdollisimman tehokkaasti kankaan käyttöleveyden mukaisesti. Siitä huolimatta leikkuusta syntyy jopa 15 % kangasjätettä. (Gwilt 2018, 77.) Mikäli leikkuujätte päättyy lopulta poltettavaksi, menetetään samalla tekstiilin tuotantoon käytetyt resurssit.

Tammikuussa 2023 Suomessa astui voimaan uusi jäteasetus, jonka tavoitteena on tehostaa tekstiilien keräystä ja kierrätystä. Jäteasetus velvoittaa myös tekstiili- ja muotialan yrityksiä järjestämään tekstiilijätteen erilliskeräyksen, mikäli tekstiilijätettä syntyy toiminnasta huomattavia määriä. (Suomen Tekstiili & Muoti, 2022c.) Vaikka leikkuujätteen kierrätys uudeksi kuiduksi on kestävyyskannalta tärkeää, täytyy suunnittelussa kuitenkin ensisijaisesti keskittyä leikkuujätteen minimointiin.



Kuva 13. Kauluksen muotoilu. Kuvituskuva. (Burrows 2021)

#### **4.8. Zero waste -menetelmät**

Nollahukkasuunnittelua ja -kaavoitusta voi toteuttaa monin tavoin. Pääsuuntauksina pidetään niin kutsuttua palapelimenetelmää sekä draping-menetelmää. Palapelimenetelmässä kaavanosat ovat toisistaan irrallisia ja muodostavat tiiviin ”palapelin”, jolloin leikkuujätettä ei jää. Draping-menetelmässä kangasta asetellaan, neulataan ja mahdollisesti leikataan suoraan mallinuket tai ihmisen päällä, kunnes haluttu lopputulos on saavutettu. Menetelmiä on myös mahdollista yhdistellä, ja käytetty menetelmä kannattaakin valita sen mukaan millaista vaatetta suunnitellaan.

#### **4.9. Zero waste -vaatteiden sarjonta**

Nollahukkasuunnittelun vaateen sarjonta voi tuntua haasteelliselta, sillä tavanomaiset sarjomissäännöt eivät päde. Perinteisin keinoin kaavoittaessa vaate sarjotaan vasta sitten, kun kuosittelu on valmis. Nollahukkasuunnittelussa sarjonta täytyy kuitenkin ottaa huomioon jo suunnitteluvaiheessa. Rissasen ja McQuillanin (2018, 160-167) teoksessa esitellään useita keinoja sarjontaan:

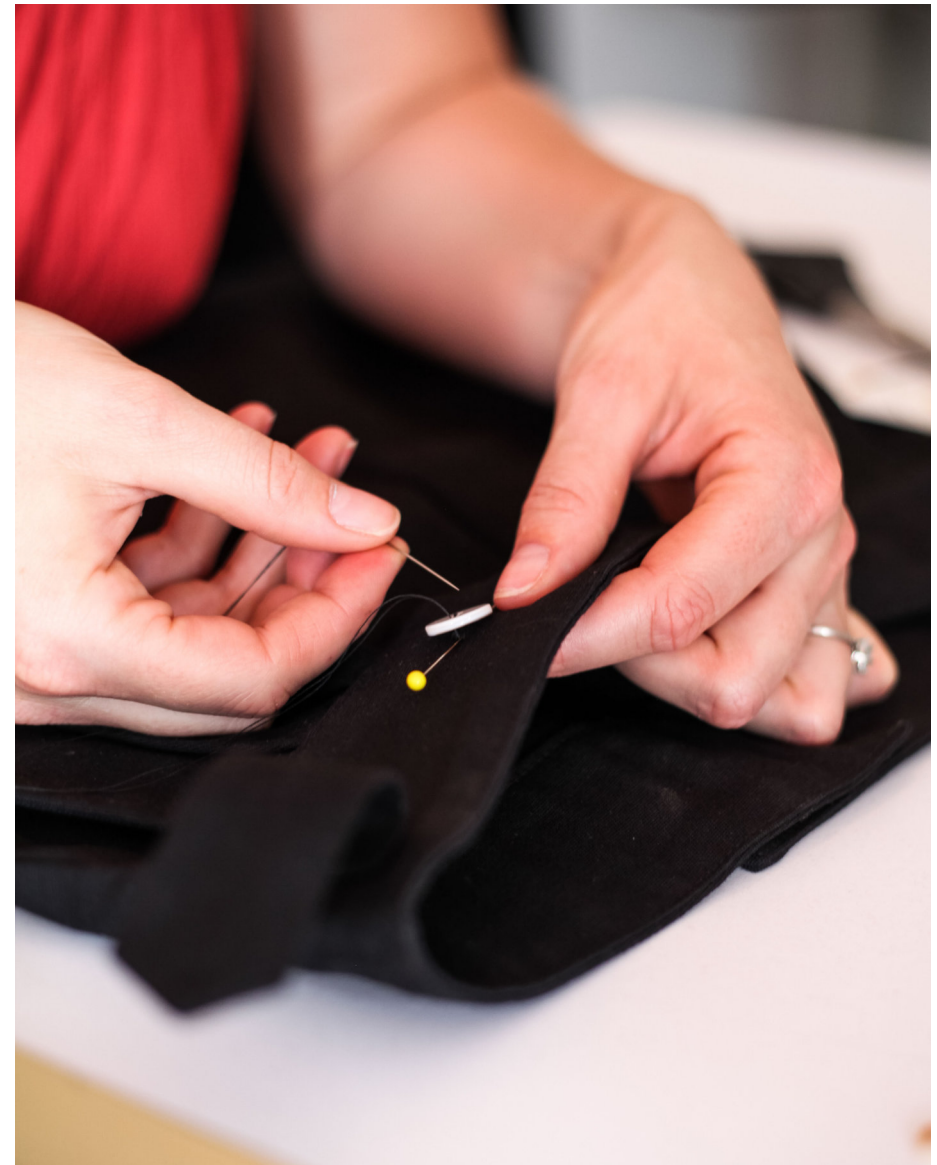
Jokaisen koon voi suunnitella erikseen, jolloin eri koot saattavat malliltaan hieman poiketa mallikoosta. Tällöin sarjonnassa määritellään ne kaavanosat, joiden tulee sarjoutua. Muut kaavanosat suunnitellaan uudestaan näiden kaavanosien mukaan, jolloin malliin voi tulla muutoksia. Joissain malleissa sarjonnan apuna voi käyttää myös eri levyisiä muotolaskoksia tai poimutuksia. Tapa sopii malleille, joista tehdään vain muutamia kokoja. Tiettyissä tapauksissa yksinkertaisten mallien sarjonnan voi ratkaista käyttämällä eri kankaanleveyksiä eri kokoihin. Tämä sopii erityisesti putkineuloksille, joita on saatavissa eri leveyksillä.

Mallista riippuen vaate voi olla myös niin kutsuttu yhden koon vaate. Tämä sopii vaatteille, jotka ovat istuvuudeltaan väljiä tai muuten säädeltävissä esimerkiksi kietaisuominaisuudella. Sarjonnassa voi myös yhdistellä edellä mainittuja menetelmiä, ja lopullinen käytettävä sarjontatekniikka riippuukin muun muassa vaateen mallista ja materiaalista.

#### 4.10. Aesthetic Lifetime – Esteettinen elinikä

Tuotteen estetiikka voi omalta osaltaan pidentää tuotteen elinikää. Sustainable Design Cards listaa kolme lähestymistapaa: tuotteen suunnitellun eliniän tulisi tukea tuotteen estetiikkaa, tuote ei saisi menettää esteettistä arvoaan ikääntyessään, ja tuotteen suunnittelussa eliniässä huomioidaan myös kiertotalousajattelu (Design School Kolding 2017, 5). Käytännössä tämä tarkoittaa muun muassa sitä, että vaate suunnitellaan tyyliältään ajattomaksi, jolloin jatkuvasti vaihtuvat trendit eivät vaikuta vaatteeseen ja se pysyy käytössä pitkään. Kiertotalousajattelun mukaisesti vaatteen materiaalit on valittu niin, että ne saadaan pysymään suljetussa kierrossa. Vaate voi muuttua ja ”patinoitua” käytön myötä, joka osaltaan lisää tuotteen esteettistä arvoa.

Suunnitteluvaiheessa onkin tärkeää ymmärtää, kuinka vaate tai sen ominaisuudet voivat vaikuttaa käyttäjään emotionaalisella tasolla. Vaatteen ajattomuus ja käytön myötä syntyvä uniikkisuus voivat olla käyttäjälle tärkeitä tekijöitä, jolloin käyttäjälle syntyy tuotteeseen todennäköisimmin emotionaalinen suhde. Tärkeäksi koettua vaatetta huolletaan, korjataan ja käytetään mahdollisimman pitkään. (Gwilt 2018, 56.)



Kuva 14. Napin ompelu. Kuvituskuva. (Los Muertos Crew 2021)

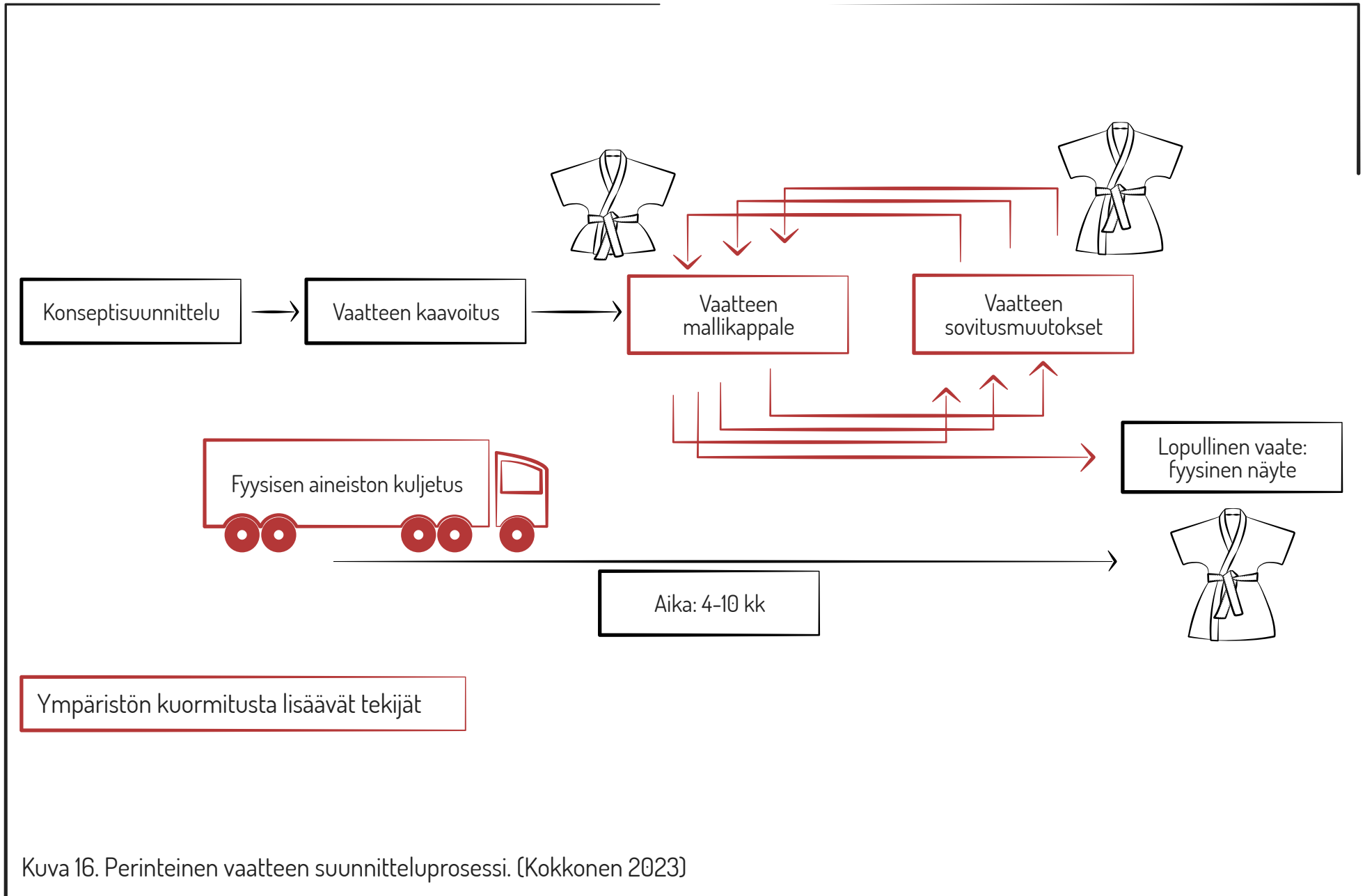
# 5. Digitaalinen suunnittelu: Case kimono

## 5.1. Prosessi ja prosessikaaviot

Kimonopaidan tarina alkoi Digital & Circular Fashion House –hankkeen ensimmäisistä Digijameista. Digijamit oli yhteisöllinen tapahtuma, jossa kävimme yhdessä alan toimijoiden sekä opiskelijoiden kanssa läpi digitaalisen suunnittelun eri vaiheita. Sain tehtäväkseni suunnitella yksinkertaisen yläosan, joka kulkisi esimerkkinä mukana Digijameissa alusta loppuun saakka, aina vain muuttuen ja kehittyen. Päädyin suunnittelemaan kietaisumallisen kimonopaidan, josta käytän tässä opinnäytetyössä lyhennettä kimono (kuva 15). Vaatteen suunnitteluun käytin mahdollisimman paljon digitaalisia työvälineitä. Seuraavilla sivuilla kuvaan tavanomaista, oletettua vaatteen suunnitteluprosessia, sekä digitaalisia työvälineitä hyödyntävää suunnitteluprosessia (kuvat 16 & 17).

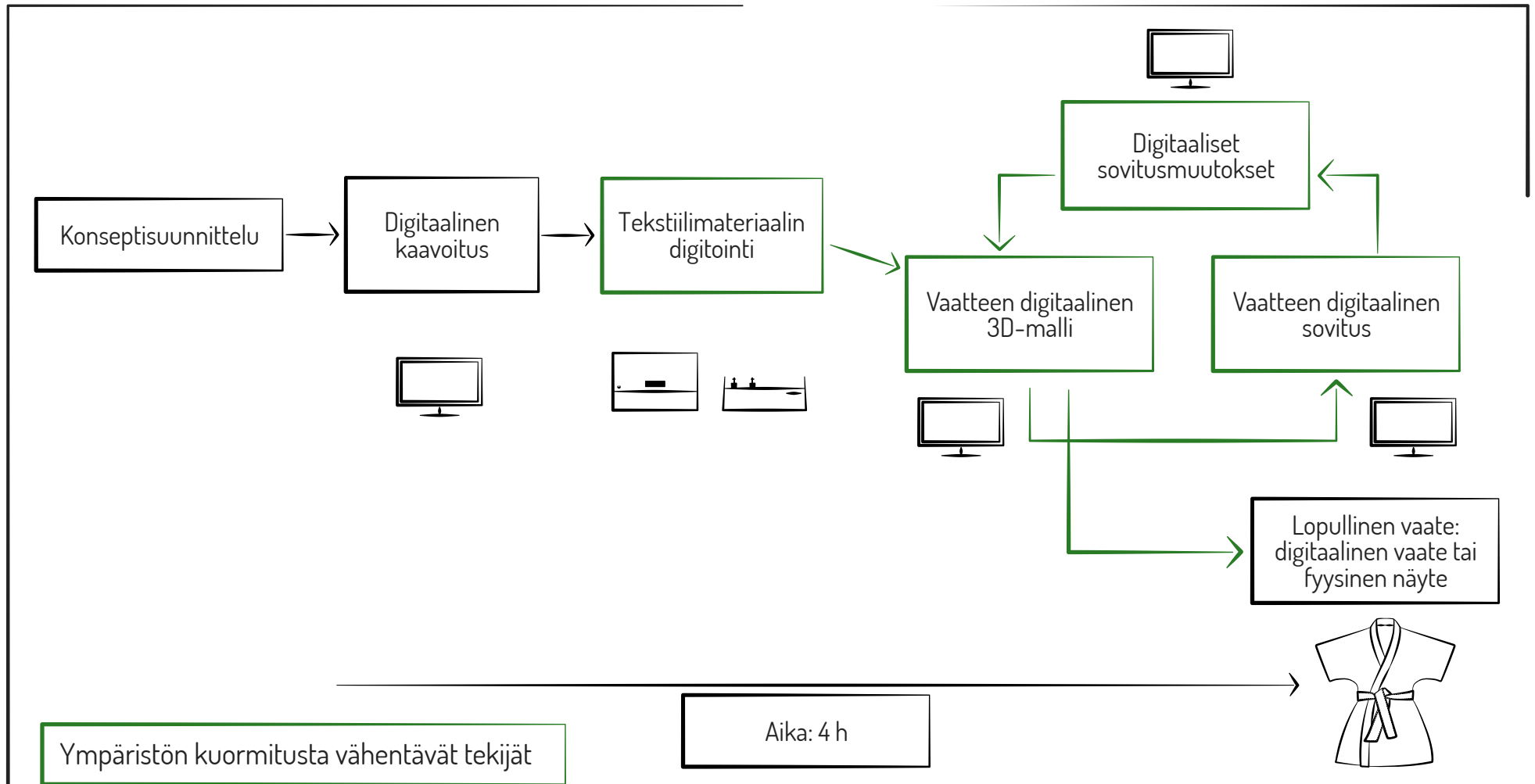


Kuva 15. Kimonon ensimmäinen versio. (Tynkkynen 2023)



Kuva 16. Perinteinen vaateen suunnitteluprosessi. (Kokkonen 2023)





Kuva 17. Vaatteen digitaalisen suunnittelun prosessi. (Kokkonen 2023)

Vaatteen perinteisessä suunnitteluprosessissa (kuva 16) pitkin matkaa esiintyy ympäristön kuormitusta lisääviä seikkoja, jotka on korostettu kaaviossa punaisella värillä. Fyysistä aineistoa kuljetetaan maa- meri- ja ilmateitse tilanteesta riippuen jopa tuhansia kilometrejä. Myös vaatteen mallikappaleiden ompelu voi viedä paljon materiaaleja. Lisäksi prosessi voi olla hyvinkin pitkä, ja siihen kuluu aikaa yleensä kuukausia.

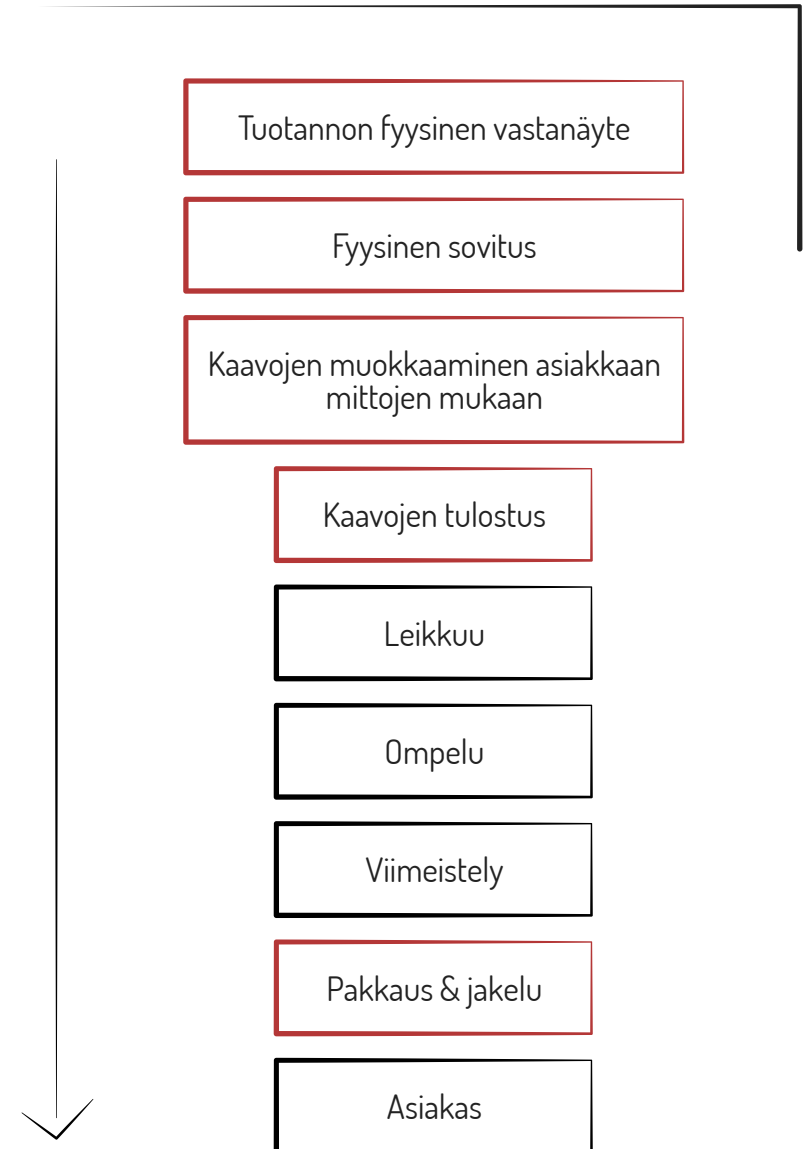
Vaatteen digitaalisen suunnittelun prosessissa (kuva 17) ympäristön kuormitus on vähentynyt, ja ympäristön kuormitusta vähentävät tekijät kaaviossa on korostettu vihreällä värillä. Digitaalisuus auttaa vähentämään ympäristön kuormitusta, sillä 3D-mallinnetut vaatteet yhdessä digitaalisten materiaalien kanssa mahdollistavat digitaalisen sovituksen. Sovitusmuutokset on mahdollista tehdä ilman fyysisten mallikappaleiden ompelua. Lopullinen tuote voi tilanteen mukaan jäädä vain digitaalisiksi vaatteiksi, jolloin säästyy materiaaleja. Prosessiin kuluva aika voi olla hyvinkin lyhyt, sillä koko prosessi voidaan tehdä yhdessä huoneessa.



Kuva 18. Lentokone. Kuvituskuva. (Piacquadio julkaisuaika tuntematon)

Kuvassa 19 kuvaan tuotantoprosessia, jossa esitetään kimmon tuotanto perinteiseen tapaan piensarjana tai räätälöitynä tuotteena. Prosessissa ei tässä tapauksessa hyödynnetä minkäänlaisia digitaalisia työvälineitä. Tuotantoprosessi alkaa valmiiksi suunnitellusta tuotteesta, joka on perinteisessä prosessissa fyysinen näyte. Mikäli ajatellaan, että perinteisen tuotantoprosessin vaate tehdään räätälöidysti asiakkaalle, fyysinen mallikappale sovitetaan, ja kaavoihin tehdään tarvittavat muutokset. Perinteisessä tuotantoprosessissa ajatellaan tässä tapauksessa käytettävän vielä paperisia kaavoja, jotka tulostetaan lopulta leikkuuta varten.

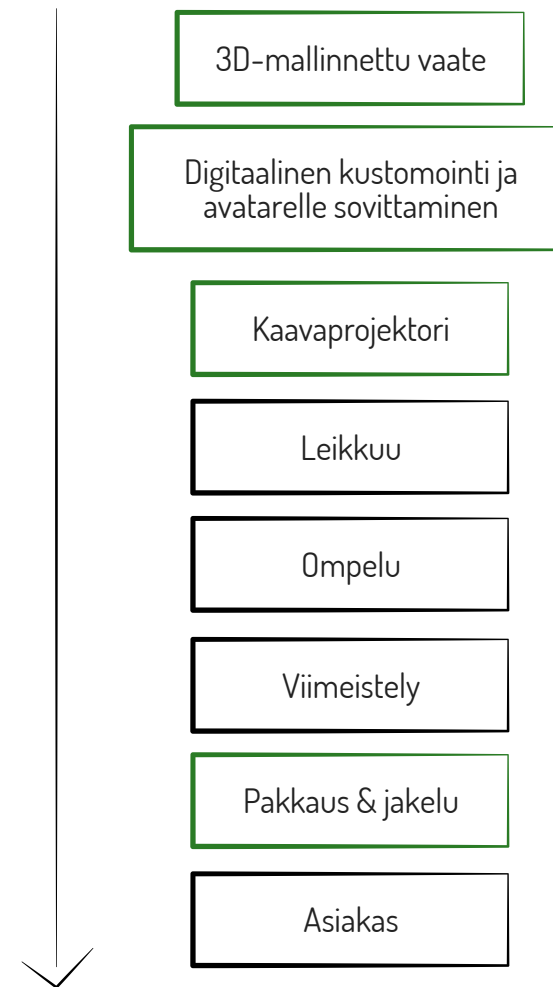
Prosessin ympäristöä kuormittavat vaikutukset on korostettu punaisella värillä, ja perinteisen tuotantoprosessin ympäristövaikutukset muodostuvat mahdollisista mallikappaleiden ompelusta. Lisäksi kaavojen leikkuulla voi olla ympäristöä kuormittava vaikutus, mikäli käytössä on kierrätykseen soveltumaton liimapintainen kaavapaperi. Lisäksi ympäristöä voi kuormittaa tuotteen pakkausvaiheessa käytetyt materiaalit sekä tuotteen jakelun logistiikka.



Kuva 19. Kimmon tuotanto perinteisen (piensarja tai räätälöity) prosessin mukaan. (Kokkonen 2023)

Kuvassa 20 kuvaan kimonon tuotantoprosessia, joka tapahtuu digitaalisuutta hyödyntävässä mikrofaktorissa. Digitaalisuutta hyödyntävässä prosessissa tuote on vielä prosessin alussa digitaalisessa muodossa. Digitaalisessa sovituksessa asiakkaan keho on skannattu digitaaliseen muotoon, ja vaate voidaan sovittaa asiakkaan avataren päälle digitaalisesti. 3D-mallinnettu tuote kustomoidaan tarpeen mukaan, ja kaavoihin tehdään mahdolliset sovitusmuutokset. Digitaalisessa tuotantoprosessissa leikkuu tehdään heijastamalla kaavat kankaalle, eikä kaavojen tulostusta tarvita.

Tähän kaavioon ympäristön kuormitusta vähentävät vaikutukset on merkattu vihreällä värillä. Digitaalisen tuotantoprosessin ympäristön kuormitusta vähentävät vaikutukset muodostuvat digitaalisen sovituksen mahdollistamasta materiaalisäästöistä sekä siitä, ettei kaavoja tarvitse tulostaa. Myös pakkaus- ja jake-  
lunvaiheen voisi ajatella vähentävän ympäristön kuormitusta, sillä mikrofaktorituotannon välimatkat ovat lyhyet.



Kuva 20. Kimonon tuotanto mikrofaktoriperiaatteen mukaan. (Kokkonen 2023)

## 5.2. Kimonon luonnostelu

Luonnostelin kimonoa ensin käsin piirtämällä. Luonnostelun olisi voinut hoitaa myös digitaalisesti, mutta koin käsin piirtämisen helpommaksi. Halusin, että kimono olisi istuvuudeltaan väljä ja helmasta runsas. Runsaan helman avulla erilaisten digitaalisten materiaalien esittely olisi helppoa, sillä materiaalien ominaisuudet näkyisivät erilaisena laskeutuvuutena ja taipuvuutena.

Kimonotyylinen kietaisupaita on myös tyyliiltään ajaton, jolloin sen voisi ajatella pysyvän käytössä pitkään. Lisäksi yksinkertainen malli mahdollistaisi tuotekehityksen myöhemmin, sillä jo tässä vaiheessa suunnitelmissani oli muokata kimonosta vielä zero waste -versio.

Kimonon materiaaliksi valikoitui monomateriaalisuus huomioiden kivipesty 100 % pellavakangas, sidokseltaan palttina. Kankaan valintaan vaikuttivat myös sen ominaisuudet: kaunis kiilto, laskeutuvuus ja keveys. Toisaalta pellavakangas oli tarpeeksi jämääkää, jotta minun oli mahdollista jättää liimakiinnitteiset tukikankaat vaatteesta pois. Tukikankaat ovat monomateriaalituotteessa haasteellisia, sillä ne valmistetaan usein muovipohjaisista kuiduista. Puuvillapohjaisiakin tukikankaita on olemassa, mutta pellavatukikankaita ei löydy. Jäin myös miettimään, vaikuttaako tukikankaiden liima kierrätysprosessiin jotenkin. Tähän en kuitenkaan löytänyt varmaa vastausta.

Kankaan valintaan olisi pitänyt kuitenkin kiinnittää vieläkin tarkempaa huomiota, sillä kankaan kivipesukäsittelyä ei voi pitää ympäristöystävällisenä. Kivipesussa kangasta pestään huokoisten hohkakivien kanssa, jotta kankaasta saadaan pehmeämpi ja helpommin siliävä. Kankaan kivipesu kuluttaa valtavasti vettä, ja kivien hankaus kuluttaa tekstiilin pintaa. Tämä lyhentää kankaan käyttöikää huomattavasti. Nykyään kivipesun ympäristövaikutukset tunnetaan paremmin, ja sitä käytetään enää harvoin. (Räisänen ym. 2017, 214.)

Pellavan luonteeseen kuuluu sen pehmeneminen ja muokkautuminen käytön ja pesujen myötä. Onkin aiheellista pohtia, onko pellavan viimeistyskäsittelyille aina edes tarvetta. Tässä tapauksessa käsittelemätön, käytön myötä muokkautuva ja pehmenävä pellava olisi hyvinkin voinut olla tuotteen esteettistä ja emotionaalista arvoa lisäävä tekijä.

Tilasin pellavakankaan suomalaisesta verkkokaupasta, jonka sivuilla mainostettiin pellavakankaan olevan valmistettu ekologisesti kasvaneesta kuidusta. Pellavaa voidaankin yleisesti ottaen pitää ekologisena tekstiilikuituna, sillä sen kasvuolosuhteet ovat vaatimattomat eikä sen viljely vaadi suuria määriä vettä. Pellavalla on myös luonnostaan hyvä vastustuskyky tuhohyönteisille, joten sen viljelyssä ei ole tarpeen käyttää torjunta-aineita. Toisaalta erityisesti pellavan liotusvaihe lisää ympäristön kuormitusta, sillä luonnonvesissä tehtävä liotus voi aiheuttaa vesistöjen rehevöitymistä. Liotus voidaan tehdä myös kemiallisesti, ja siinä käytettävillä emäksisillä liuottimilla voi olla ympäristölle haitallisia vaikutuksia. (Suomen Tekstiili & Muoti 2022d.)



Kuva 21. Digitoitu ruskea pellavakangas kimonon selkäpuolella. Kuvituskuva. (Kokkonen 2023)

Verkkokaupan sivuilla ei suoraan kerrottu tekstiilien alkuperästä tarkemmin. Kankaiden alkuperäisyystodistusta pyydettyäni minulle kerrottiin, että verkkokaupan valikoiman tekstiileissä käytetty pellava on kasvatettu pääosin Valko-Venäjällä, ja joskus pellavaa hankitaan myös Belgiasta. Kankaat kudotaan Valko-Venäjällä, ja niiden pehmennyskäsittely sekä värjäys tehdään Latviassa ja Valko-Venäjällä. Lisäksi kerrottiin, ettei kankaiden valmistusprosessissa käytetä formaldehydiä tai muita vastaavia aineita. Kaikki valikoimassa olevat 100 % pellavakankaat ovat Öko-Tex-sertifioituja. (Hannolainen 2023.) Tälle yhdestä materiaalista valmistetulle kimonolle kierrätysmenetelmäksi sopii mekaaninen tai kemiallinen kierrätys.



Kuva 22. Digitoitu ruskea pellavakangas. Kuvituskuva. (Kokkonen 2023)

### 5.3. Tekstiilimateriaalien digitointi

Digitoin pellavakankaan 3D-mallinnuksessa käytettäväksi Vizoo xTex -materiaaliskannerilla sekä Browzwear Fab 2.0-materiaalinalysointilaitteella. Laitteisto on liisattu Savonian Digital & Circular Fashion House -hankkeelle, ja hankkeen päättymisen jälkeen laitteisto jää Savonian käyttöön.

Vizoo xTex-skannerilla saadaan taltioitua tekstiilimateriaalin visuaaliset ominaisuudet digitaaliseen muotoon. Tällaisia ominaisuuksia ovat esimerkiksi kankaan tekstuuri, väri ja kuvio, läpinäkyvyys ja kiilto. xTex:n ohjelmistolla luodaan tekstiilin visuaalisista ominaisuuksista ”mappeja”, joita voidaan käyttää erilaisissa 3D-mallinnusohjelmistoissa (kuvat 23–28). Tällaisia vaatealan 3D-ohjelmistoja ovat esimerkiksi Clo3D ja VStitcher. Skannerilla voidaan digitoida myös muita kuin tekstiilimateriaaleja, esimerkiksi puuta, metallia, tai kiveä. Näitäkin materiaaleja voidaan käyttää myös vaatteiden mallinnuksessa halutun vaikutuksen aikaansäämiseksi, sillä mapit vaikuttavat vain tekstiilimateriaalin ulkonäköön. Ohjelmisto tekee mapeista joka suuntaan toistuvia raportteja, jolloin materiaali toistuu saumattomasti 3D-mallinnuksessa.

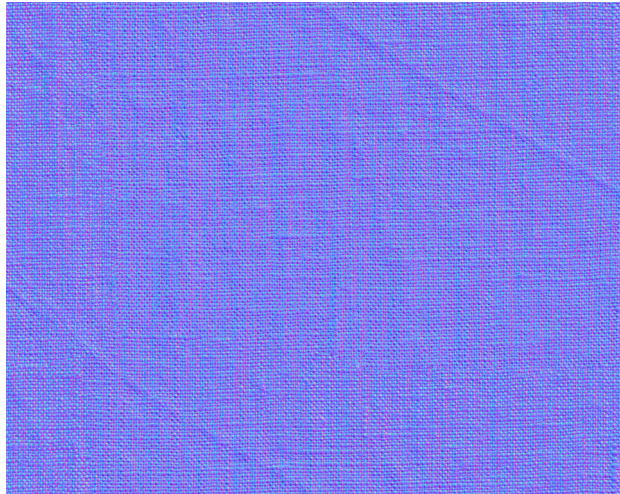
Tekstiilimateriaalin fyysisiä ominaisuuksia mitataan puolestaan Browzwearin Fab 2.0 -analysointilaitteella. Laite mittaa kankaasta sen paksuutta, venyvyyttä ja taipuisuutta. Prosessin lopputuloksena on U3M-tiedosto, joka on myös yhteensopiva useiden 3D-mallinnusohjelmien kanssa. Opinnäytetyön kirjoitushetkellä U3M-tiedosto ei kuitenkaan ole käytettävissä Clo3D-ohjelmassa, jolla olen opinnäytetyön aiheita työstänyt. Fab 2.0 -analysointilaitteesta saatavia tuloksia ei myöskään voi suoraan vertailla Clo3D:n materiaalien ominaisuuksien kanssa. Jouduinkin säätämään kankaan fyysisiä ominaisuuksia Clo3D:n puolella silmämääräisesti, jotta ne vastaisivat mahdollisimman tarkasti oikeaa kangasta.

Lida Pitkänen on tehnyt tekstiilimateriaalien digitoinnista opinnäytetyön Tekstiilikuiduista pikseleiksi – Digitaaliset tekstiilimateriaalit osana muodin muutosta, jossa esitellään tarkemmin tekstiilien digitointiprosessi. Lisäksi työssä perehdytään digitaalisen materiaalien hyödyntämiseen 3D-suunnittelussa. (Pitkänen 2022.)

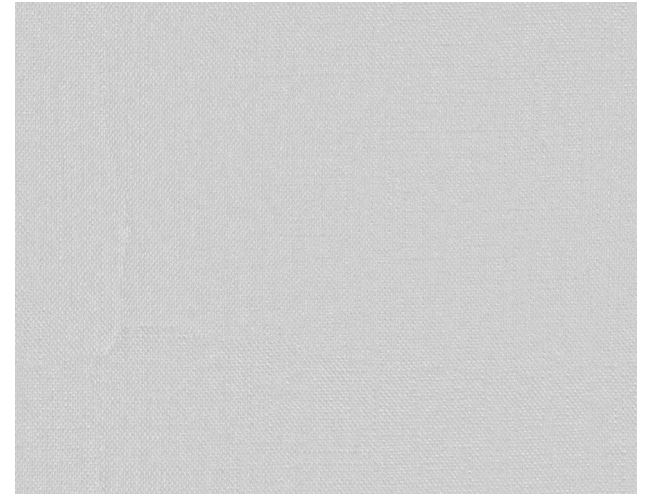




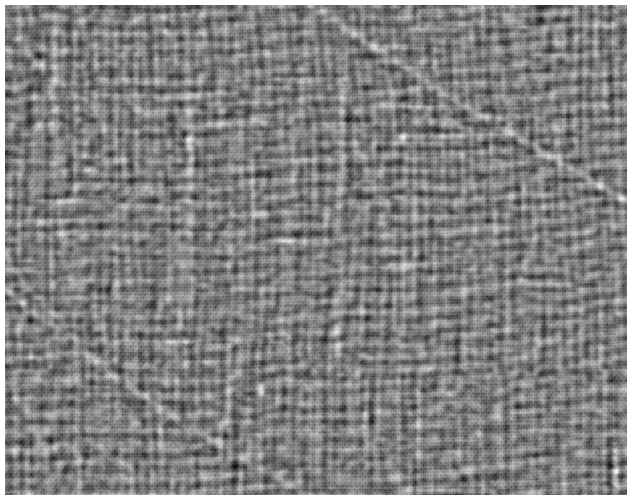
Kuva 23: Base map (Kokkonen 2022)



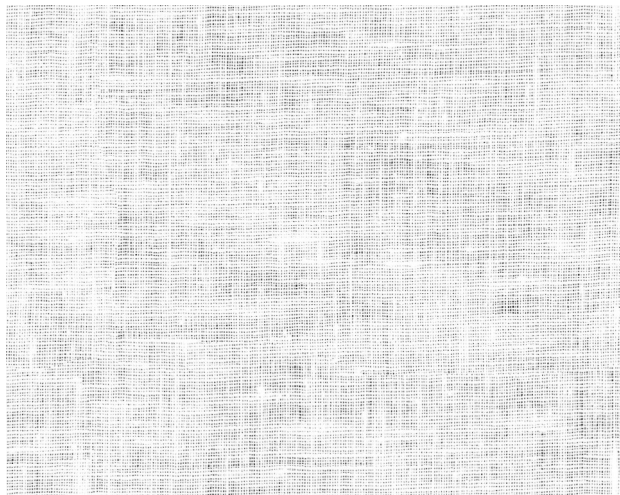
Kuva 24: Normal map (Kokkonen 2022)



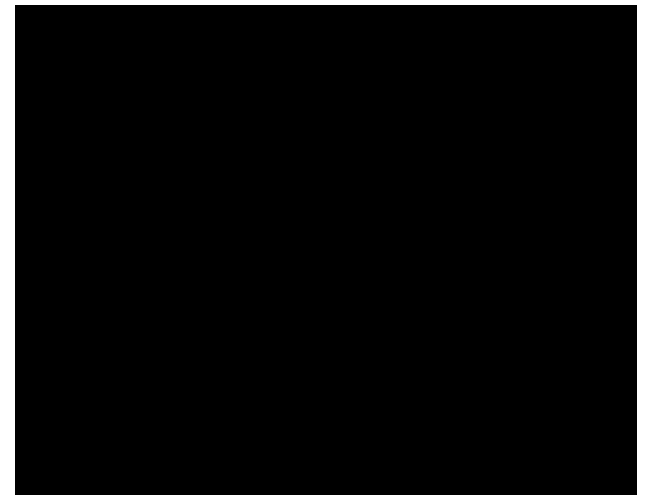
Kuva 25: Roughness map (Kokkonen 2022)



Kuva 26: Displacement map (Kokkonen 2022)



Kuva 27: Alpha map (Kokkonen 2022)



Kuva 28: Metalness map (Kokkonen 2022)

#### 5.4. Digitaalinen 2D-kaava

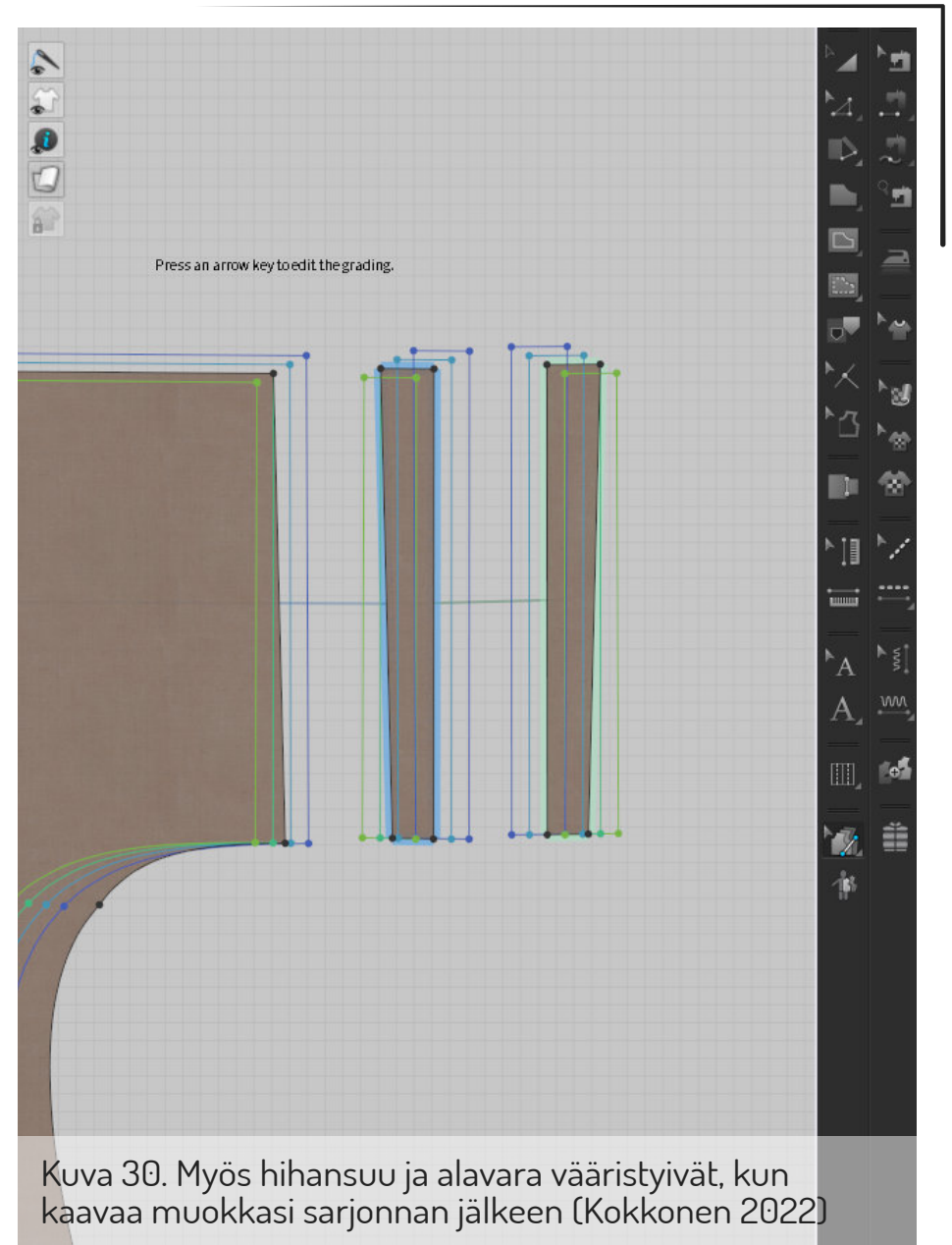
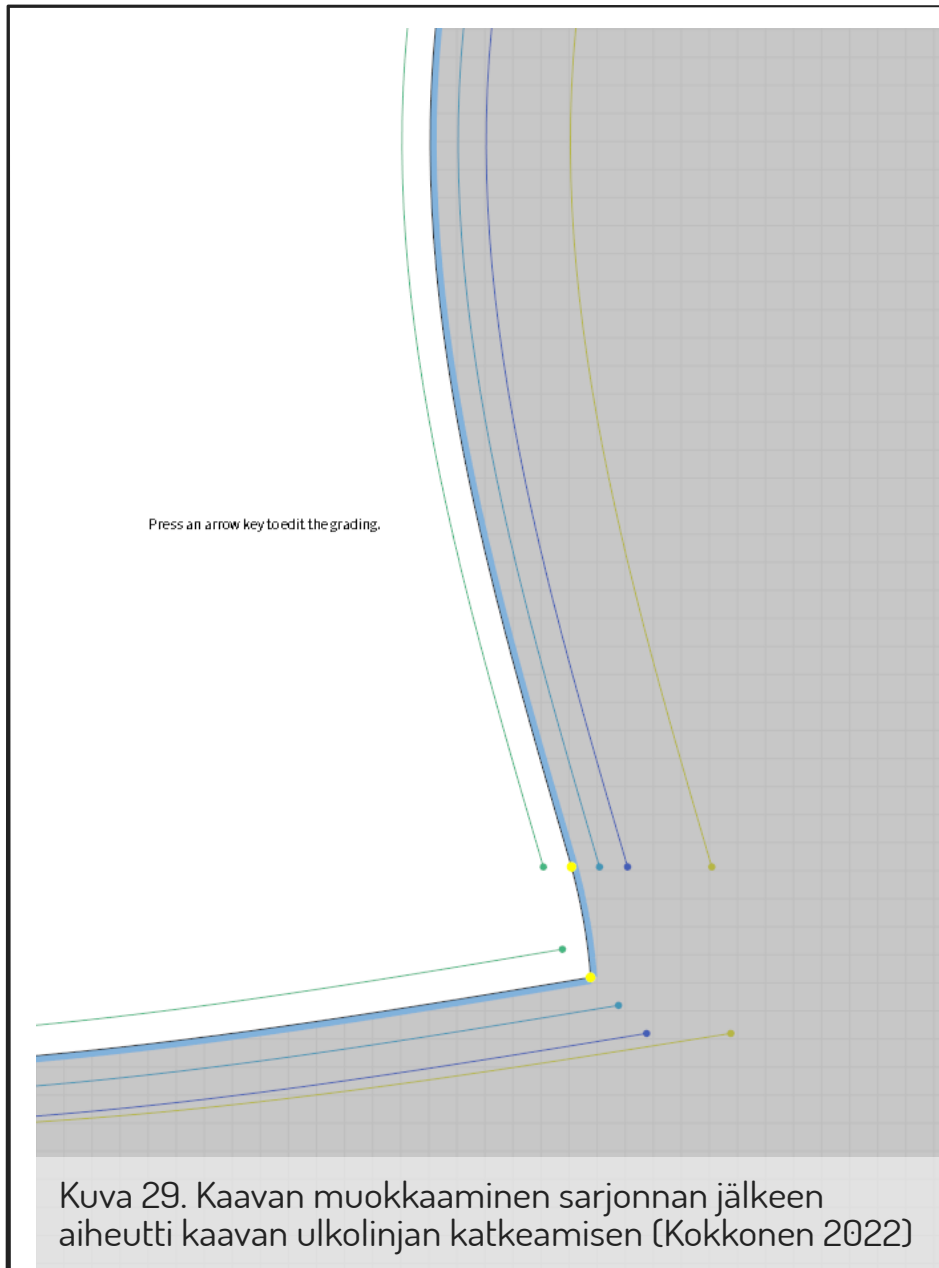
Kaavoituksen tein alusta loppuun Clo3D-ohjelmalla, sillä se oli itselleni alan 3D-ohjelmistoista tutuin. Kaavoituksen ja sarjonnan olisi voinut tehdä myös esimerkiksi Grafis CAD -ohjelmalla, mutta kimonon ollessa malliltaan yksinkertainen, koin helpoksi lähteä piirtämään kaavaa suoraan avataren siluetin päälle ohjelman 2D-ikkunassa. Mallikooksi määrittelin koon 38, ja valitsin Clo3D:n valmiista avatarista mallinnusta ja sovitusta varten mallin EU-kokoa 38.

Kaavojen valmistuttua sarjoin kaavat pienempään kokoon 36, sekä isompiin kokoihin 40, 42, ja 48. Päädyin sarjomaan kaavat manuaalisesti, sillä Clo3D-ohjelman automaattista sarjontaa en saanut toimimaan kunnolla. Arvelen automaattisen sarjonnan ongelmien johtuvan sarjontapisteiden määrittämisestä sekä sarjotavan vaatteiden mallista. Kimonohihainen paita vaatisi jonkinlaisen sarjontapohjan käyttöä, jotta sarjontapisteet voitaisiin määrittää oikein. Ymmärtääkseni sarjontapohjien käyttö ei kuitenkaan ole Clo3D-ohjelmassa mahdollista.

Pitääkseni asiat yksinkertaisina lisäsin kimonoon kokoa kohden leveyttä noin 4 senttimetriä, sekä 1 senttimetrin pituutta hihaan ja helmaan. Myös hihaan lisäsin sentin verran väljyyttä kokojen välille. Kokoon 48 en enää pituutta lisännyt, vaan ainoastaan leveyttä. Sarjonnassa käyttämäni mitat pohjautuivat löyhästi N-2001 Naisten vaatetuksen mittataulukkoon.

Sarjonnan koin manuaalisestikin helpoksi, mutta kiinnitin huomiota siihen, että kaavaan ei kannattanut tehdä muutoksia enää sarjonnan jälkeen. Mikäli kaavaa muokkaa sarjonnan valmistuttua, muutokset eivät välttämättä siirry sarjottuihin kokoihin kuten olettaisi. Jotkin muutokset jäivät siirtymättä kokonaan, ja ne jotka siirtyivät saattoivat näyttäytyä kaavassa erikoisesti. Esimerkiksi kimonohihan muokkaus väärästi hihansuun sekä hihan alavarojen mittoja. (Kuvat 29 & 30.)

Sarjonnassa kohtaamani haasteet vahvistivatkin käsitystäni siitä, että Clo3D:n tarjoamat suppeat sarjontatyökalut ovat olemassa lähinnä sarjonnan testaamista varten. Tuotantoa varten kaavoitus ja sarjonta kannattaakin tehdä 2D-kaavoitukseen suunnitellulla ohjelmistolla.

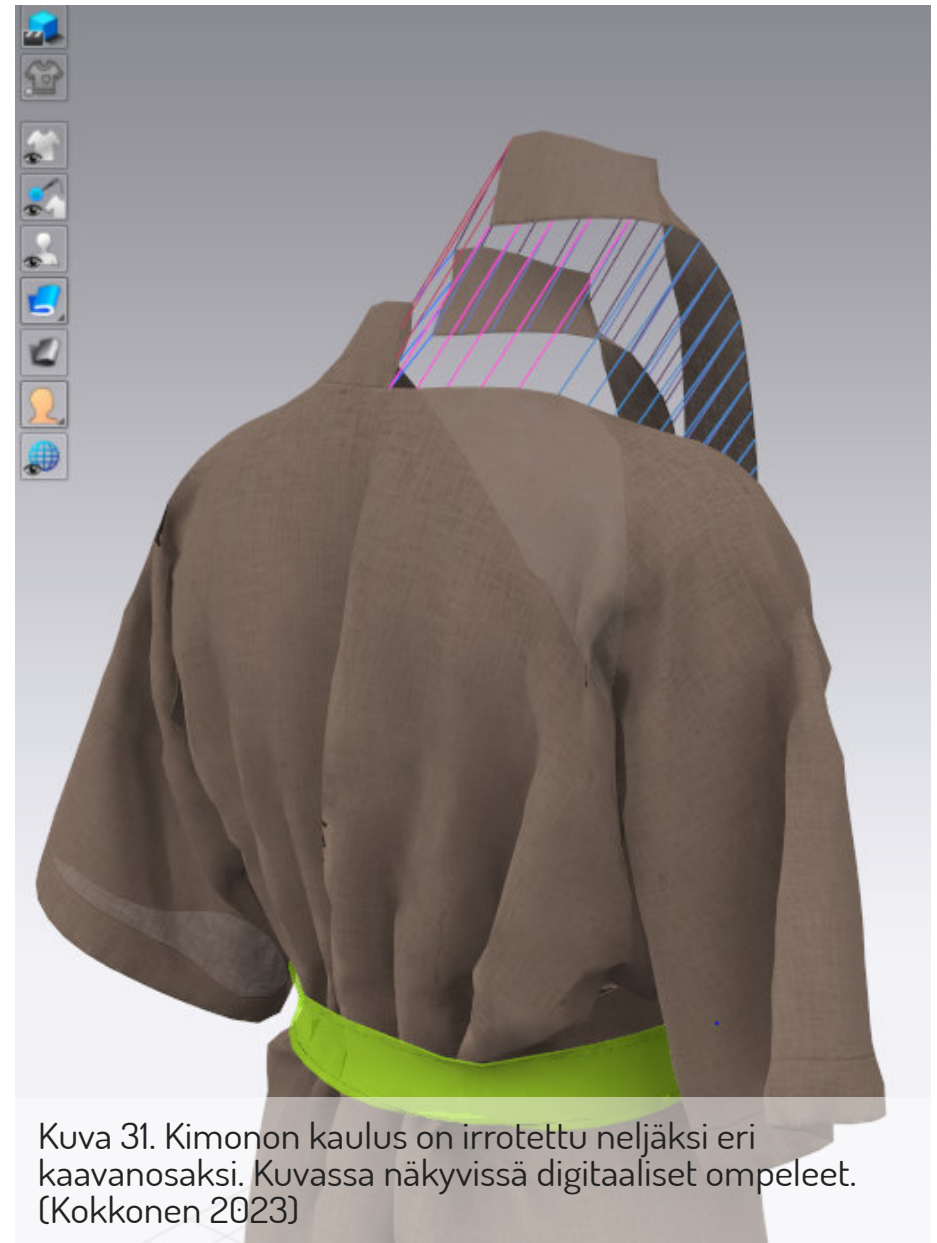


## 5.5. 3D-suunnittelu ja -mallinnus

Tyypillisesti vaate mallinnetaan avataren päälle. Clo3D-ohjelman avataret ovat digitaalisia, kolmiulotteisia malleja ihmisestä. Avataria on mahdollista muokata monipuolisesti, sillä niiden kehon mitat, asento sekä asusteet ovat muunneltavissa.

3D-mallintaessa huomioin, että tekemäni kaavat eivät sellaisenaan toimineet vaatteen mallinnuksessa ja simuloinnissa. Kaavoja täytyikin hieman muokata, jotta vaate olisi simuloidessa mahdollisimman stabiili. Haasteena esimerkiksi taitetuissa kappaleissa on, ettei ohjelma aina välttämättä ymmärrä miten päin kappaleiden tulisi olla. Simuloidessa taitettu kappale saattaakin pyörähtää niin, että kankaan nurja puoli tulee esille.

Päädyin halkaisemaan kauluksen kaavan keskeltä pituus- ja leveys suunnassa, jotta pystyin määrittämään kappaleiden järjestyksen (kuva 31). Tällä tavoin simulaation aikana esiintyi vähiten häiriötä, ja vaatetta pystyi asettelemaan avataren päälle ilman ongelmia. Hyödynsin samaa keinoa myös kimonon hihojen käänteissä. Mallinnukseen muodostuvat ylimääräiset saumat sai asetuksia muuttamalla häivytettyä, jolloin saumarakenteet pysyivät yhtenäisinä alkuperäisen suunnitelman kanssa.



Kuva 31. Kimonon kaulus on irrotettu neljäksi eri kaavanosaksi. Kuvassa näkyvissä digitaaliset ompeleet. (Kokkonen 2023)

Kieltämättä kaavojen muokkailu mallinnusta varten aiheutti hieman lisätyötä. Olisi toki ollut mahdollista rakentaa kaulus ja käänteet yksinkertaisena ja lisätä kankaalle paksuutta, jotta vaikuttaisi että kangas olisi kaksinkertainen. Omassa mallinnusprosessissani olen kuitenkin tottunut useiden kerrosten käyttämiseen, joten käytin itselleni tuttua mallinnustapaa tässäkin.

Tuotekehitysprosessin kannalta vaatteiden täytyisi myös näyttää mahdollisimman realistiselta. Mikäli kankaassa on esimerkiksi läpinäkyvyyttä, kankaan kerrokset näkyvät kankaan läpi. Tämä tuo 3D-mallinnuksiin lisää realismia visuaalisuuden näkökulmasta. Digitaalisen kankaan käyttäytymisen realismi jäi kuitenkin itseäni vielä mietityttämään. En esimerkiksi huomannut eroa kankaan käyttäytymisessä ilman alavaroja tai niiden kanssa. Jäin myös pohtimaan käänteiden mallintamista. Kuinka käänteet saisi mallinnettua niin, että niillä olisi vaikutus kankaan fyysisiin ominaisuuksiin?



Kuva 32. Yksinkertaisesta kankaasta ei käy ilmi, että hiha on käänte (Kokkonen 2022)



Kuva 33. Hiha näyttää realistisemmalta kankaan kerrostamisen jälkeen (Kokkonen 2022)

## 5.6. Digitaalinen sovitus & avataret

Kuten vaatteen mallinnuksessa, vaatteen digitaalisessa sovituksessakin käytetään avatarta. Avataren mittoja pystyy muokkaamaan Clo3D:n avatar editorin avulla. Avataren muokkaaminen on tärkeää erityisesti silloin, kun mallinnetaan uniikkia vaatetta asiakkaan omien mittojen mukaan. Vaatetusalan yrityksillä voi olla myös omia mitoituksiaan, joten avataria on tällöinkin tärkeää muokata vastaamaan näitä mittoja.

Clo3D-ohjelman omat algoritmit laskeskelevat mittoja niitä muokattaessa, ja tekevät pieniä säätöjä tarpeen mukaan (Clo3D 2020). Avataren lopulliset mitat saattavatkin poiketa syötetyistä mitoista joitakin millijä, ja mittojen erotus on nähtävissä avatar editorissa. Heitot saattavat kuitenkin joskus olla useitakin senttejä, mikäli mitatulla henkilöllä on algoritmeihin verrattuna poikkeavia vartalon mittoja. Tällaisessa tilanteessa herääkin kysymys, kuinka todellista vastaava tällä tavoin tehty digitaalinen avatar lopulta voi olla.

Kimmonon mallinnusvaiheessa käytin Clo3D-ohjelmasta löytyviä valmiita avataria, sillä vaate itsessään on istuvuudeltaan väljä. En ollut myöskään suunnitellut kimonoa millekään tietylle vartalotyyppille, joten tästäkään syystä en nähnyt syytä lähteä avataria muokkaamaan.

Clo3D-ohjelmassa on erilaisia työkaluja, joilla vaatteen istuvuutta voidaan tarkastella (kuvat 34–37). Näiden tulkinta vaatii kuitenkin harjoitusta sekä tietoutta tekstiilimateriaalien ominaisuuksista. Ennen kuin istuvuutta voidaan tarkastella, täytyy mallinnukseen valita oikea materiaali, ja vaate simuloidaan Hi-Res-tilassa. Myös avataren kokoon ja asentoon tulee kiinnittää huomiota. Avataren asentoa muuttamalla voidaan jonkin verran tarkastella vaatteen funktionaalisuutta, esimerkiksi kuinka käsien asennon muuttaminen vaikuttaa vaatteen istuvuuteen. Tällöin saadaan käsitys siitä, toimiiko kaavoitus kyseisellä materiaalilla.



Kuva 34. Stress map kuvaa materiaalille aiheutuvaa ulkoista rasitusta. Rasitusta mitataan kilopascalina (kPa). Sininen tarkoittaa, ettei materiaaliin kohdistu ulkoista rasitusta (0 kPa). Punainen tarkoittaa suurinta mahdollista rasitusta ennen kuin kangas repeää (100 kPa). Luvut tällä välillä esitetään väriliukuman avulla. (Clo3D 2021.)



Kuva 35. Strain map kuvaa ulkoisen rasituksen aiheuttamaa kankaan venymistä. Venyminen kuvataan prosentteina, sekä väriliukuman avulla. Sininen tarkoittaa, ettei materiaali veny lainkaan (100 %), ja punainen tarkoittaa materiaalin venymistä äärimmilleen (120 %). (Clo3D 2021.)



Kuva 36. Fit map mittaa materiaalin äärimmäistä vääristymää, joka määritetään materiaalin venyvyyden, vinouman ja taipuisuuden perusteella. Valkoinen väri (0 %) tarkoittaa, ettei materiaali ole venynyt lainkaan. Keltainen (yli 80 %) näyttää mistä kohdin vaate on tiukka. Punainen (yli 100 %) ilmoittaa vaatteen olevan niin tiukka, ettei sitä voi käyttää. Lukemia näytetään kohdista, joissa vaate on suoraan kosketuksissa avataren kanssa. (Clo3D 2021.)

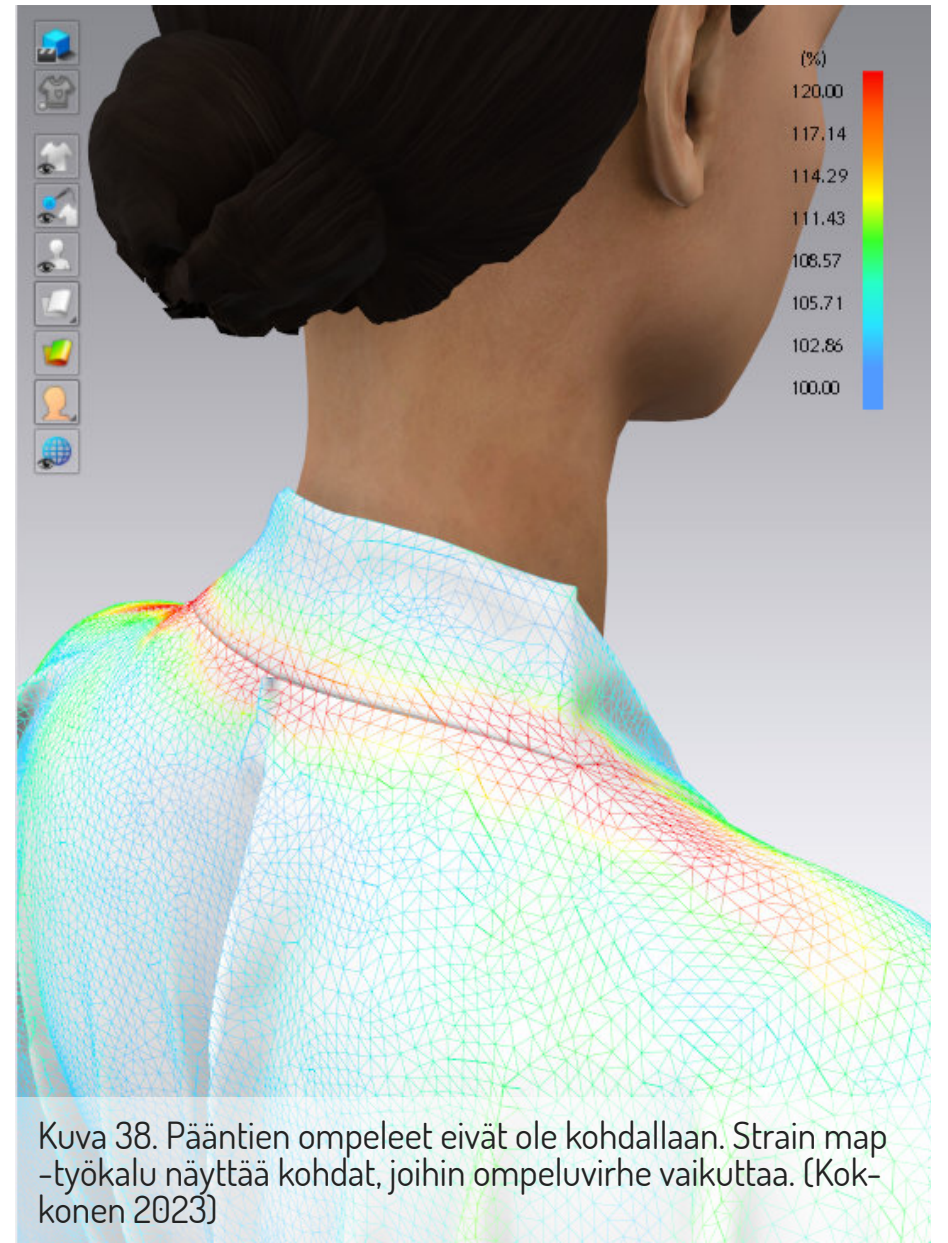


Kuva 37. Pressure points näyttää kohdat, joissa vaate ja avatar ovat toisiinsa kosketuksissa. Tämä ilmoitetaan sinisellä värillä. (Clo3D 2021.)



Sovitustyökalut sopivat myös mahdollisten ompeluvirheiden etsimiseen (kuva 38). Niillä voidaan tarkastella, ovatko saumat samanmittaiset tai onko jokin kohta jäänyt ompelematta. Työkaluilla voidaan etsiä myös kaavoitukseen jääneitä virheitä, kuten kaarevien linjojen yhtymäkohtiin jääneitä kulmia.

Sovitustyökalut mittaavat vääristymää, jonka avatar materiaalille aiheuttaa. Digitaaliset avataret eroavat kuitenkin ihmiskehosta huomattavasti. Avataret ovat ohjelmistoon tuotuja objekteja, jotka ovat pinnaltaan kovia. Niille puettut digitaaliset vaatteet eivät vaikuta avatariin millään tavalla. Ihmiskeho taas on pehmeä ja muokkautuva, ja siinä missä keho aiheuttaa puettujen vaatteiden materiaaleille vääristymää, muokkautuu keho myös vaatteiden ja materiaalien vaikutuksesta. Tämän vuoksi uskon, että digitaalisten sovitustyökalujen tulokset eivät aina ole luotettavia.



Kuva 38. Päätien ompeleet eivät ole kohdallaan. Strain map -työkalu näyttää kohdat, joihin ompeluvirhe vaikuttaa. (Kokkonen 2023)

## 5.7. Fyysinen versio kimonosta

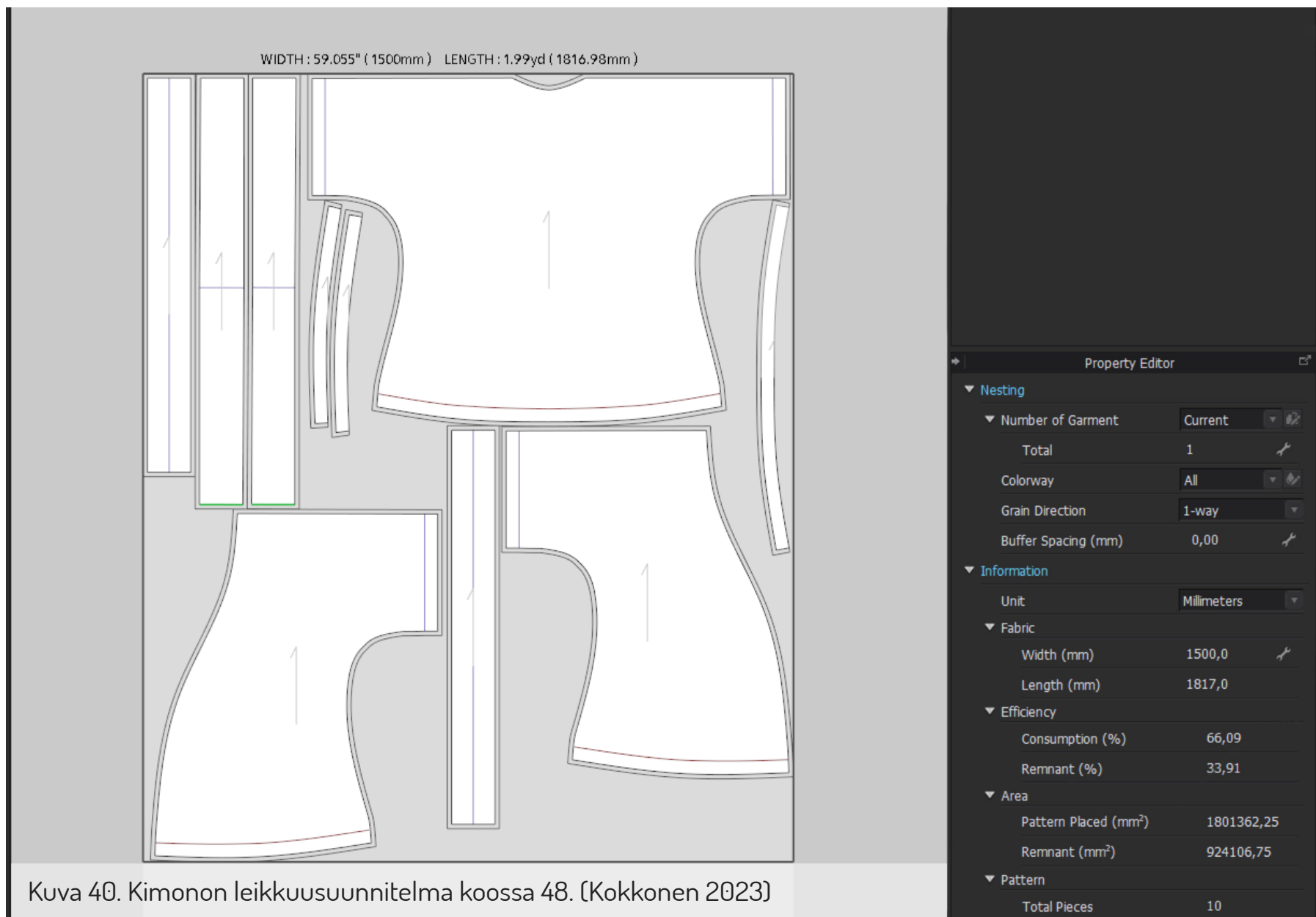
Valmistin kimonosta ensimmäisen version SuomiAreena-tapahtumaa varten. SuomiAreena on Porissa vuosittain järjestettävä yhteiskunnallinen festivaali, jossa kävimme esittelemässä Digital & Circular Fashion House -hanketta sekä digitaalisen vaatesuunnittelun teknologioita. Valmis kimono matkasikin lopulta ryhmän mukana Poriin, jossa kävijöille esiteltiin vaatteen digitaalista ja fyysistä versiota.

Kaavojen tulostusta valmistellessani havaitsin, ettei kimonon leikkuusuunnitelmaa saanut kovin tehokkaaksi. Valitulla 150 senttimetrin kankaanleveydellä leikkuujätettä jäi runsaasti. Clo3D-ohjelman asettelulla parhaimman tuloksen sain, kun katkaisin sekä vyön että kauluksen keskeltä. Tällöinkin 150 senttimetriä leveän kankaan menekki oli noin 166 senttiä koolle 38, josta leikkuujätettä olisi huomattavasti 36,25 %.

Päädyin valmistamaan kimonosta koon 48, jolle kangasmenekki oli Clo3D-ohjelmalla asetellessa 182 senttimetriä. Leikkuujätteen osuus oli 33,91 %. (Kuva 40.) Kimonoa valmistaessani päädyin kuitenkin lopulta leikkaamaan sekä vyön että kauluksen yhtenäisinä kappaleina, sillä kaavoja käsin asetellessa tämän vaikutus kankaan menekkiin vaikutti hyvin pieneltä.



Kuva 39. Ensimmäinen versio kimonosta. (Tynkkynen 2023)



Kuva 40. Kimonon leikkuusuunnitelma koossa 48. (Kokkonen 2023)

Tulostettuani kimmonon kaavat huomasin, että minulla oli jäänyt kaavaan virhe. Etu- ja takakappaleen yhtymäkohtaan pääntielle jäänyt kulma olisi sellaisenaan aiheuttanut vetoa, joka olisi näkynyt ryppyinä joko etu- tai takakappaleen puolella. Kimmonon valmistumisella oli hieman kiire, joten päädyin korjaamaan kaavoitusvirheen tulostettuihin kaavoihin. Myöhemmin 3D-mallinnusta tarkastellessa havaitsin, että virhe olisi näkynyt myös mallinnuksessa strain map -työkalua käyttäessä (kuva 41). Kimmonoa kaavoittaessa minun olisi myös kannattanut käyttää ohjelmiston asianmukaisia työkaluja, joiden avulla on mahdollista tarkastaa kaavanosien yhteensopivuus.

Ensimmäistä kimmonoa valmistaessani en vielä juurikaan pohtinut sen saumarakenteiden vaikutusta monomateriaalisuuteen, vaan huolittelin olka- sekä sivusaumat saumuroimalla. Lisäksi huolittelin helman alavaralla, jonka yläreunassa oli myös saumurihuolittelu. En halunnut kimnoon näkyviä tikkauksia, joten ompelin hihojen päärmeet sekä helman alavaran piilo-ompelein. Ompelu- ja saumurointilankana käytin polyesterilankaa. Puuvillalanka olisi voinut olla kierrätettävyyttä ajatellen parempi vaihtoehto, mutta laadukkaan ja kestävä puuvillalangan löytäminen on osoittautunut haastavaksi.



Kuva 41. Kaavavirhe näkyvissä strain map -työkalun avulla. (Kokkonen 2023)

# 6. Tuotekehitys: Zero waste -kimono

Tuotekehitysosiossa halusin käsitellä syvemmin valitsemiani kestävän suunnittelun strategioita, ja esitellä erityisesti digitaalisuuden vaikutusta zero waste -suunnitteluun. Autenttiset kimonot perinteisesti valmistetaan nollahukkana, sillä ne koostuvat pitkistä suorakaiteen muotoisista kangaspaloista. Oma kimononi on kuitenkin enemmänkin kaarevalinjainen kietaisupaita, ja nämä kaarevat linjat halusin myös nollahukkakimonoissa säilyttää. Tuotekehityksessä hyödynsin jälleen Clo3D-ohjelmistoa.

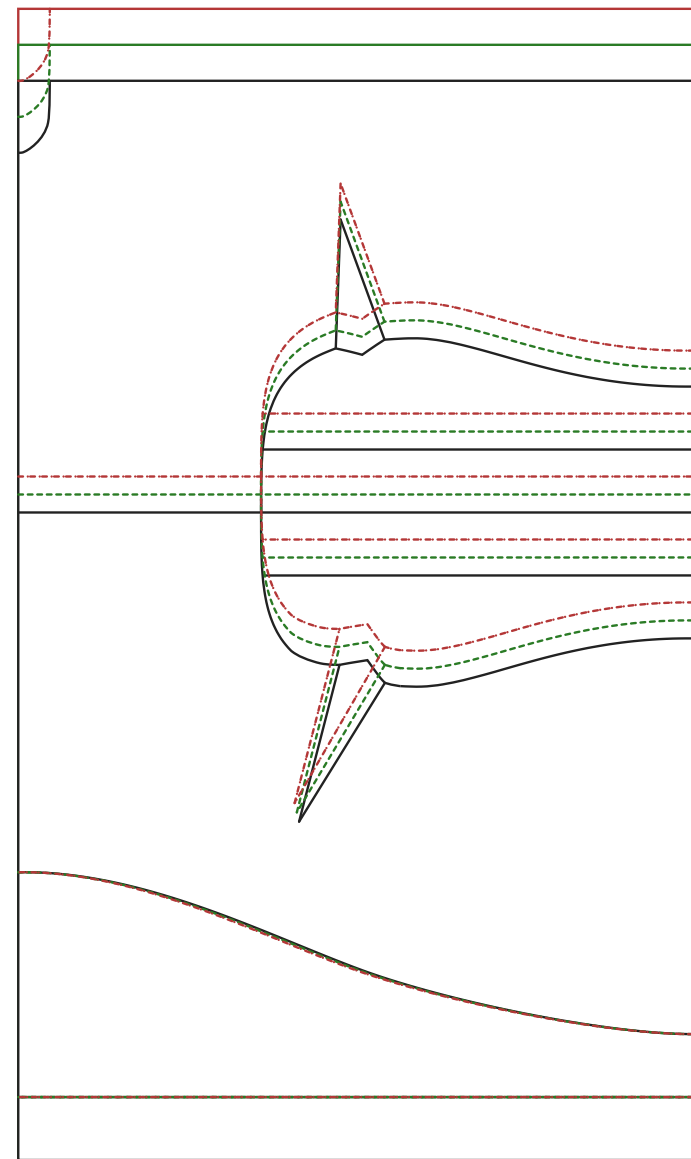
Hyödynsin alkuperäisessä kimonoissa käyttämäni kangaslaatuja, sillä pellavakangas ja sen ominaisuudet olivat minulle jo tuttuja. Kankaan leveyksissä oli kuitenkin eroja värien välillä, ja kankaiden saapuessa totesin käyttöleveyden olevan 148 senttimetriä. Valitsemani kangas oli palttinakangas, jossa sekä kudeettä loimilangat olivat samaa laatua. Päädyinkin asettelemaan kaavat kankaalle kudelangon suuntaisesti, jotta sain kankaan hulpiot upotettua kimonoon helmaan. Kimonoon pituutta olisi myös mahdollista säädellä kankaan leveyttä muuttamalla.



Kuva 42. Zero waste -kimonoissa käyttämäni pellavat. (Kokkonen 2023)

Pohdin myös kimonon valmistuksessa käytettäviä saumarakenteita monomateriaalisuuden näkökulmasta. Arvelin, että pussisaumat sopisivat valitsemalleni pellavalle hyvin. Kangas oli suhteellisen ohutta, joten pussisaumat eivät tekisi saumoista liian paksuja. Pussisaumassa kappaleet ommellaan ensin yhteen nurjat puolet vastakkain muutaman millin päästä reunasta, jonka jälkeen ommeltu sauma silitetään ja tarvittaessa siistitään. Tämän jälkeen kappaleet ommellaan yhteen oikeat puolet vastakkain, jolloin kankaan reunat jäävät sauman sisään. Pussisauvoja hyödyntämällä välttäisin saumuroinnin, ja pussisaumat saavat vaateen näyttämään erityisen siistiltä myös nurjalta puolelta.

Mietiskelin myös vaateen sarjontaa. Kaavojen ollessa kudelangon suuntaisesti, mallin sarjonnan voisi hoitaa yksinkertaisesti lisäämällä etu- ja takakappaleen kaavaan leveyttä. Näin sarjonta vaikuttaisi ainoastaan kankaan menekkiin, mutta ei vaatisi muutoksia muihin kaavoihin. Päätin myös, että mallin ollessa istuvuudeltaan väljä rajaisin sarjotut koot kolmeen. Tekisin kuitenkin ko'oista niin sanotusti tuplakokoja, eli kunkin kolmen koon välillä väljyysero olisi 8 senttimetriä. Väljyyden mitta perustui taas löyhästi N-2001 Naisten vaatetuksen mittataulukoon. Koot nimesin yksinkertaisesti kirjaimin S, M ja L.



Kuva 43. Taskuttoman zero waste -kimonon kaavat sarjottuna. Menekki 120 cm koossa S, 124 cm koossa M ja 128 cm koossa L.

Kaavoituksen tein taas Clo3D-ohjelmalla. Valitsin alkuperäisen kimonon etu- ja takakappaleen kaavat koossa 42, sillä tästä tulisi uuden kimonomallin mallikoko M. Asettelin kaavoja eri tavoin kankaan levyisellä alueella. Tällä tavoin hahmotin paremmin, minkä muotoisia hukkapaloja kaavojen asettelusta aiheutui. Samalla pystyin pohtimaan, mihin näitä palasia voisi käyttää. Mittailin myös kaulukseen sekä vyöhön tarvittavaa kankaan määrää, ja pohdin paljonko nämä vaikuttivat kankaan menekkiin. Takakappaleen pääntien viereen jäi pieni kangaskaitale, josta tein kimonoon ripustuslenkin.

Heti kun minulla oli jonkinlainen kaavoitussuunnitelma, aloitin myös 3D-mallintamisen. Avatareksi valitsin tällä kertaa EU-kokoa 42 vastaavan naisavataren. Digitaalisista kaavoista oli helppoa poistella tarvittavia saumavaroja, ja tarkastella samalla kaavoituksen toimivuutta. Alkuperäisen kimonon kaavassa sekä etu- että takakappaleen helma on kaareva. Nollahukkaversiossa helma on hulpion suuntaisesti ja täysin suora. Tämä ei näyttänyt mallinnuksessa hyvältä, joten annoin helmalle kaarevuutta käyttämällä sekä etu- että takakappaleiden sivuilla muotolaskoksia.



Kuva 44. Kuosikokeilu. Käsien maalattu kuvio on skannattu ja kuositettu Vizoo xTex:n avulla. (Kokkonen 2023)

Päädyin suunnittelemaan nollahukkakimonoon myös taskut, sillä hihojen viereen jäi sopivan muotoiset hukkapalat. 3D-mallinnuksesta en kuitenkaan hahmottanut, että taskupussit jäisivät todella pieniksi. Liian pienet taskut eivät tarjoa vaatteiden toimivuuteen mitään lisää, eikä materiaalia kannata uhrata toimimattomaan ratkaisuun. Ompeluvaiheessa teinkin kaavoihin muutoksen, jossa sain taskuihin lisää tilaa. Muutos lisäsi kankaan menekkiä 7 senttimetriä kokoa kohden, ja loput lisäkankaasta käytin vyön pidentämiseen. Valmistin kimonosta vielä taskuttoman version, jossa kankaan menekki pysyi alkuperäisenä.

Nollahukkakimonon leikkuuvaiheessa projektorista ja pyöreäleikkurista olisi ollut paljon apua. Kankaan leikkaaminen tulostettujen kaavojen avulla oli haastavaa, sillä saksien vieminen tiiviisti vierekkäin asettuvien kaavanosien väliin sai kaavat liikkumaan kaavapainoista huolimatta (kuva 47). Kangas oli lisäksi leikattu pakalta vinoon, ja tämäkin piti ottaa huomioon kaavojen asettelussa (kuva 46). Onnistuin kuitenkin käyttämään vinoon leikatun kohdan kaulukseen, jolloin kaulus jäi takaa alkuperäistä matalammaksi.

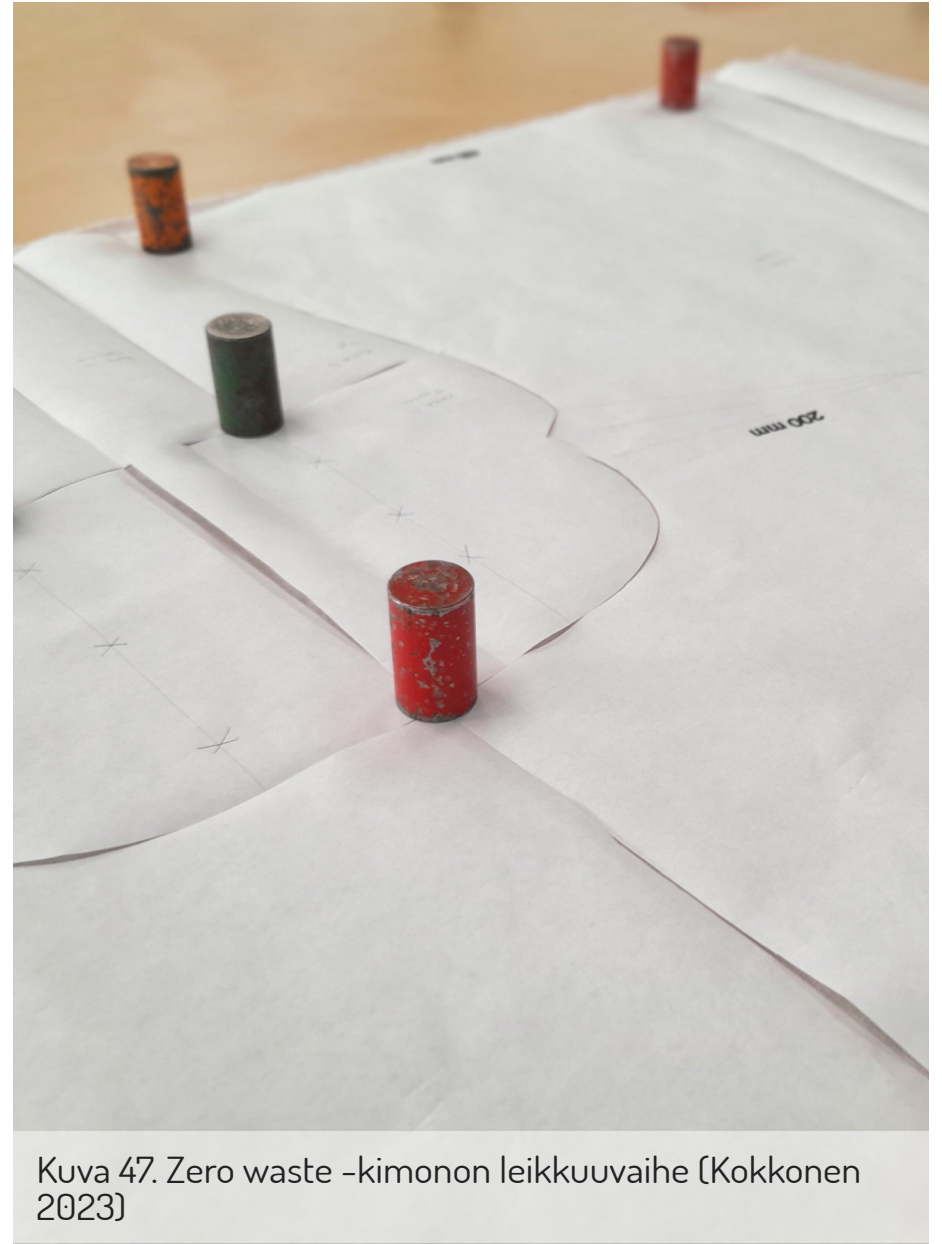


Kuva 45. Kuosikokeilu 2 on myös työstetty Vizoo xTex:llä (Kokkonen 2023)

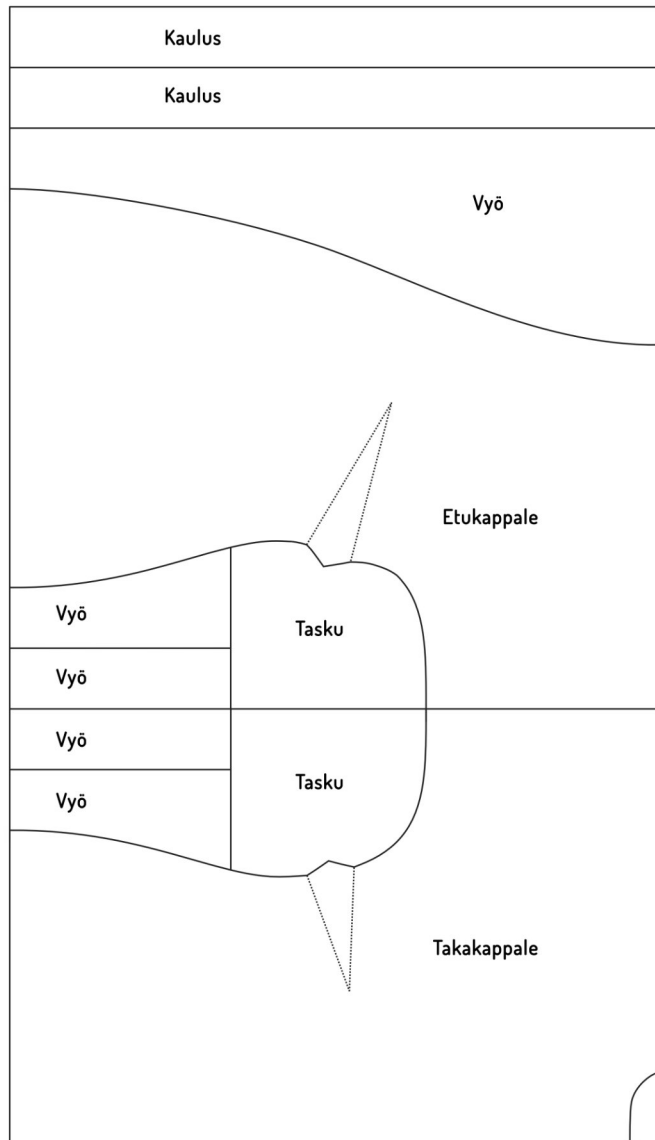




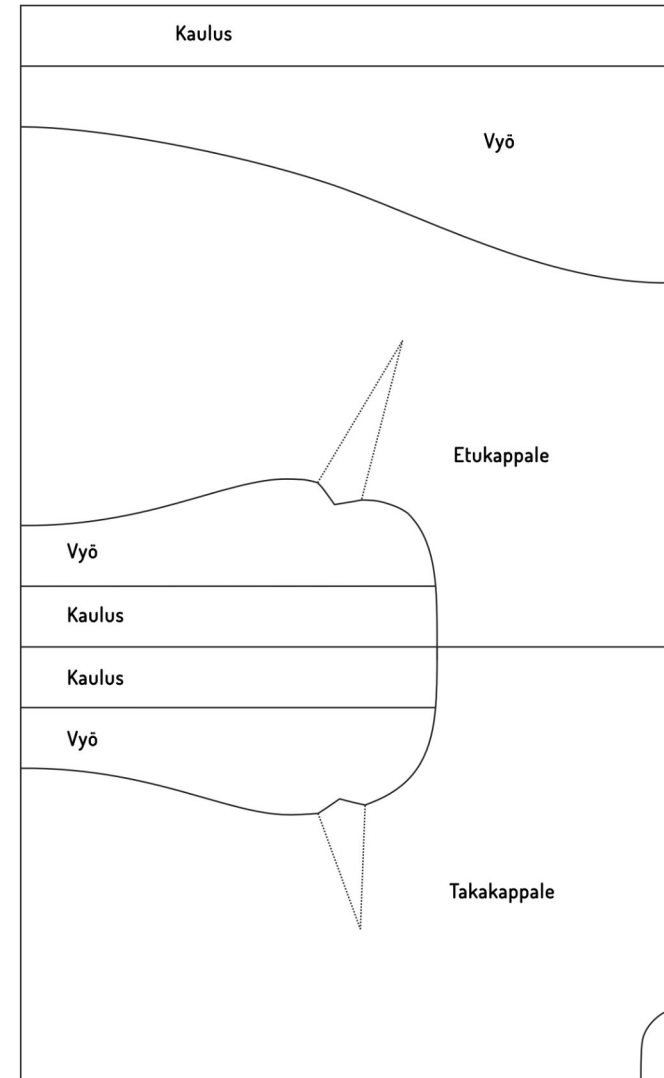
Kuva 46. Pellava saapui vinoon leikattuna. (Kokkonen 2023)



Kuva 47. Zero waste -kimonon leikkuuvaihe (Kokkonen 2023)



Kuva 48. Taskullisen zero waste -kimonon kaavat. (Kokkonen 2023)



Kuva 49. Taskuttoman zero waste -kimonon kaavat. (Kokkonen 2023)



Kuva 50. Taskuton zero waste -kimono koossa S.  
(Weeman 2023)



Kuva 51. Taskuton zero waste -kimono takaa. (Weeman  
2023)



Kuva 52. Taskullinen zero waste -kimono koossa L.  
[Tynkkynen 2023]



Kuva 53. Taskullinen zero waste -kimono ilman vyötä.  
[Tynkkynen 2023]



Kuva 54. Taskuton zero waste -kimono 3D-mallinnettuna. Mallinnukseen lisätty digitoidut materiaalit. (Kokkonen 2023)



Kuva 55. Taskuton zero waste -kimono 3D-mallinnettuna, mallinnuksessa käytetty alkuperäisen kimono ruskeaa pellavaa (Kokkonen 2023)

# 7. Pohdinta

Opinnäytetyössäni käsittelin vaatetusalan perinteisen vaatesuunnitteluprosessin digitalisoitumista ja pohdin sen vaikutusta kiertotalouden mukaiseen suunnitteluun. Halusin myös selvittää, kuinka pitkälle suunnittelua voidaan digitaalisesti tehdä, ja millaista pohjaosaamista suunnittelijalla tulee olla ennen digitaalisten työvälineiden haltuunottoa. Esittelin digitaalisten työvälineiden hyödyntämistä esimerkkikimonon kautta, ja myöhemmin kehitin kimonosta vielä zero waste -version.

Tärkeänä osiona opinnäytetyössä oli myös kestävän suunnittelun strategioihin tutustuminen. Hyödyntämällä erilaisia kestävän suunnittelun strategioita pyrin minimoimaan jo suunnitteluvaiheessa esimerkkituotteen valmistuksesta aiheutuvan jätteen, tekemään tuotteesta mahdollisimman pitkäikäisen sekä lopulta täysin kierrätettävän. Esimerkkituotteeni sopiikin kierrätettäväksi mekaanisessa tai kemiallisessa kierrätysprosessissa.

Työn tavoitteena oli pohtia, millainen vaikutus digitaalisella 2D-kaavoituksella, 3D-suunnittelulla ja digitaalisilla materiaaleilla on vaatteiden suunnitteluun, ja millaisia vaikutuksia tällä on kiertota-

louden mukaisen suunnittelun näkökulmasta. Vaatetuslalle digitalisaatiolla onkin paljon annettavaa erityisesti suunnittelu- ja tuotekehitysvaiheessa. 2D-kaavoituksen ja 3D-suunnittelun avulla on helppoa ja nopeaa tehdä vaikkapa erilaisia kuosittelu-, väri- ja printtikokeiluja, sekä tutkia vaatteiden toimivuutta kolmiulotteisessa ympäristössä. Kaavoitus ja sarjonta on kuitenkin mielestäni järkevää hoitaa 2D-kaavoitukseen suunnitellulla ohjelmistolla, sillä kaavoitus ja sarjonta 3D-ohjelmistolla ei vaikuta saavutettavan riittävää tarkkuutta tuotannon tarkoituksiin.

Toinen selkeä etu digitaalisuuden hyödyntämisessä on mahdollisuus fyysisten mallikappaleiden vähentämiseen, sillä digitaaliset materiaalit auttavat tuomaan mallinnuksiin lisää realismia ja mahdollistavat vaatteiden sovittamisen digitaalisesti. Tässä kuitenkin kysymykseksi muodostuu digitaalisen sovittamisen luotettavuus. Digitaalisen avataren ja ihmisen kehot voivat vastata toisiinsa mitoitettavasti, mutta digitaaliset avataret eivät kuitenkaan ole samalla tavalla vuorovaikutuksessa digitaalisten materiaalien kanssa kuin ihmiskeho on.

Nykyiset yleisesti saatavilla olevat kehonskannaussovellukset eivät myöskään ole vielä riittävän tarkkoja, jotta 3D-mallinnetun kehon voitaisiin luottaa olevan tarpeeksi lähellä alkuperäistä 3D-skannattua ihmiskehoa. Etenkin monimutkaisten ja istuvaksi suunniteltujen vaatteiden kohdalla näenkin 3D-suunnittelun ja digitaalisen sovittamisen saralla vielä haasteita. Kehonskannauksen täytyy kehittyä, jotta esimerkiksi tuotteiden valmistus asiakkaan mittojen mukaan onnistuisi luotettavasti digitaalisen avataren avulla. Vaatteen istuvuuden ja kaavoituksen toimivuuden tarkastelu 3D-ympäristössä vaatii kaavoitusosaamista, sekä ymmärrystä niin fyysisten tekstiilimateriaalien ominaisuuksista kuin ihmiskehostakin. Digitaalisenkin sovituksen taustalla on ihminen, joka tulkitsee sovitus tuloksia käyttäen pohjana omaa tietämystään. Tämä voikin johtaa epä johdonmukaisiin sovitus tuloksiin.

Digitalisuutta hyödyntämällä voidaan säästää myös aikaa, sillä tavanomainen vaatteiden suunnitteluprosessi voi viedä useita kuukausia. Tavanomaisessa suunnitteluprosessissa fyysistä aineistoa kuljetetaan maameri- ja ilmateitse, ja tämä vie aikaa aiheuttaen samalla ympäristön kuormitusta (kuva 16). Ideaalitalanteessa vaatteiden digitaalinen suunnitteluprosessi voidaan tehdä yhdessä huoneessa, jolloin ajankäytöllisesti puhutaan tunneista kuukausien sijaan.

Digitaalisuuden ansiosta myös fyysisen aineiston kuljetus jää minimiin, ja tämä puolestaan vähentää ympäristön kuormitusta. (Kuva 17.)

3D-suunnittelusta oli paljon apua tuotekehitysprosessissani. Koin, että kimmonon zero waste -kaavojen luominen ja sovittaminen oli helppoa ja nopeaa digitaalisesti. Mikäli olisin tehnyt tuotekehityssosiota hahmottelemalla kaavoitusta käsin, olisi siihen kulunut huomattavasti enemmän aikaa. Myös materiaalihukkaa olisi syntynyt, sillä kimmonosta olisi ollut pakko tehdä ainakin yksi fyysinen mallikappale ennen lopullisen version ompelua. Kaavoituksen toimivuuden tarkastelu digitaalisesti olikin suhteellisen vaivatonta, joskaan ei täysin luotettavaa. Esimerkiksi kimmonon taskut tuottivat päänvaivaa, sillä ensin ne olivat aivan liian pienet ja tämä jäi minulta mallinnuksessa huomaamatta.

Huomioitavaa on sekin, että mallinnuksia on järkevää luoda niiden käyttötarkoituksen mukaisesti. Mikäli tarkoitus on tarkastella kaavoituksen toimivuutta, on mallinnuksessa käytettävä kaavoja mahdollisimman muokkaamattomina. Animaatioita tai muuta esittelyä varten kaavat vaativat muokkaamista ja mallinnuksen tulee olla mahdollisimman riisuttu, jottei simuloinnissa esiintyisi häiriöitä.

Tämän pohjalta jäinkin pohtimaan 2D-kaavojen ja 3D-mallinnettujen tuotteiden hyödyntämistä teollisuuden näkökulmasta. Clo3D-ohjelmalla mallintaessa kaavoja voi joutua muokkaamaan simuloinnin toimivuutta silmällä pitäen paljonkin, esimerkiksi haluaisemalla jokin kaavanosa kahteen tai useampaan osaan. Mikäli näitä kaavoja haluaa hyödyntää teollisuuden tarkoituksiin, joutuu kaavanosat yhdistelemään takaisin alkuperäisiksi kokonaisuuksiksi ennen niiden vientiä haluttuun tiedostomuotoon. Tämä vie tietenkin ylimääräistä aikaa, ja monessa osassa olevien kaavanosien muokkaamisessa voi syntyä kaavoitukseen virheitä. Kaavoituksen virheen voivat johtaa esimerkiksi materiaalihukkaan, mikäli virheet huomataan vasta leikkuuvaiheessa.

Opinnäytetyön tekemisen ohella opettelin Browzwearin VStitcher-ohjelmiston käyttöä. Oman kokemukseni mukaan VStitcher-ohjelman simulaatio toimii Clo3D-ohjelmaa paremmin, eikä VStitcherissä kaavoja tarvitse yleensä samalla tavalla muokata vain simulaation toimivuuden vuoksi. VStitcherin sekä Grafis CAD:n välille on myös saatavilla plug-in, joka mahdollistaa vaatteiden ompelun jo Grafiksen puolella. Kaavoituksen toimivuutta voidaan tarkastella VStitcherin puolella, ja kun tarvittavat kaavamuutokset tehdään Grafiksessa, päivittyvät ne VStitcher-mallinnukseen. (Grafis 2023b.)

3D-mallinnusprosessissa minua mietitytti myös tekstiilimateriaalien fyysisten ominaisuuksien realistisuus, erityisesti kimmon helman ja hihojen huolittelujen kohdalla. Hihan ja helman pääremeiden kolminkertainen kangaspaksuus vaikuttaa kankaan laskeutuvuuteen, mutta tätä ei Clo3D-ohjelmisto automaattisesti jäljitellyt. Tässä 3D-ompelu eroaakin tavallisesta ompelusta. Realistisen 3D-lopputuloksen saamiseksi täytyy ymmärtää, kuinka materiaalit käyttäytyisivät fyysisessä muodossaan. Näitä ominaisuuksia jäljitellään 3D-mallinuksissa erilaisia työkaluja käyttämällä.

Käsitykseni mukaan VStitcherissä onkin monipuolisemmat työkalut, joilla kankaan fyysisiä ominaisuuksia ja kankaan käyttäytymistä voidaan muokata realistisemmaksi. Myös Fab 2.0 -analysointitulokset olisivat olleet VStitcherissä suoraan hyödynnettävissä. Eri ohjelmistot käyttävät eri tiedostomuotoja, ja tästä aiheutuvat yhteensopivuusongelmat hankaloittavat eri laitteistojen ja järjestelmien yhteiskäyttöä.



Opinnäytetyössäni halusin myös selvittää, kuinka pitkälle suunnittelua ja tuotekehitystä voidaan digitaalisesti tehdä, ja millaista osaamista digitaalisuudella voidaan täydentää. Opinnäytetyö vahvisti näkemystäni siitä, että digitaaliset teknologiat ovat nimenomaan perinteistä vaatetusalan osaamista täydentäviä työvälineitä. Digitaalisten teknologioiden hyödyntämiseksi on kuitenkin edelleen hallittava muun muassa kaavoitus- ja materiaalioppi, sekä ymmärrettävä kehollisuus. 3D-suunnittelu voi toisaalta olla apuna vaatetusalan opiskelijoille esimerkiksi kaavoituksen opiskelussa. 2D- ja 3D -ympäristöjen yhdistäminen auttaa hahmottamaan, kuinka kaksiulotteiset kaavanosat käyttäytyvät kokoon ommeltuina kolmiulotteisessa ympäristössä. Opiskelijan näkökulma onkin tärkeää ottaa huomioon, sillä digitaalisten teknologioiden hyödyntäminen vaikuttaa siirtyvän vaatetusteollisuuden tulevaisuuden vaatetusalan ammattilaisten mukana.

Digitaalisuus ja 3D-suunnittelu on tärkeässä asemassa myös siinä, kuinka vaatteita tulevaisuudessa tuotetaan. Massatuotannon sijaan tuotteita voitaisiin tulevaisuudessa valmistaa vain kysynnän mukaan lähellä sijaitsevilla mikrofaktoreilla, jolloin tuotanto on joustavaa ja toimitusajat pysyvät kohtuullisina. Lisäksi lyhyet välimatkat auttavat vähentämään logistiikasta aiheutuvia päästöjä sekä minimoimaan pitkiin tuotantoketjuihin liittyviä ris-

kejä. Mikrofaktorien tuotannon joustavuus mahdollistaa myös kustomoitujen tuotteiden valmistuksen, ja kehon 3D-skannaus voi kehittyessään viedä kustomoinnin aivan uudelle tasolle. Kustomoidut tuotteet taas ovat todennäköisesti käyttäjälleen tärkeitä, ja niitä käytetään pitkään. Mikrofaktorit toimivatkin kiertotalouden mukaisen suunnittelun tukena, sillä niiden avulla voidaan keskittyä laadukkaiden ja pitkäikäisten tuotteiden valmistukseen. Samalla mikrofaktorit auttavat eliminoimaan ylituotantoa ja näin vähentämään jätteen määrää. Mikrofaktorituotanto mahdollistaa myös yhteistyön alan eri toimijoiden välillä, vahvistaen alueellisia verkostoja.

Digital & Circular Fashion House -hankkeen toisessa työpaketissa tutkittiin ja opittiin digitaalisten teknologioiden hyödyntämistä suunnittelussa, tuotekehityksessä ja valmistuksessa. Työpaketin toimenpiteillä rakennettiin perustaa mikrofaktorin rakentamiseksi Itä-Suomeen, osaksi Savonian TKI- ja palveluympäristöjä. (Digital & Circular Fashion House 2020, 12.) Mikrofaktorituotannon käynnistäminen ja hyödyntäminen vaatii kuitenkin vielä lisää tutkimista, eikä opinnäytetyöni suoraan vastaa tähän tarpeeseen.

Digitaalisuudella on annettavaa myös vaatteen ostoprosessiin liittyen, sillä ostoprosessit ovat nykypäivänäkin hyvin usein digitaalisia verkko-ostamisen johdosta. Markkinoinnissa voidaan käyttää 3D-mallinnettuja vaatteita, jolloin fyysisiä näytekappaleitakaan ei tarvitse valmistaa. Digitaalisten vaatteiden avulla markkinointi kuitenkin edellyttää, että tuotteet on mallinnettu taidokkaasti ja renderöity mahdollisimman realistisiksi. Laadukkaiden ja tarkkojen kuvien renderöinti vie kuitenkin paljon aikaa, ja vaatii tehokasta laitteistoa.

Vaatetusalan digitalisaation kehittymiseen Suomen mittakaavassa liittyy myös haasteita. Tällaisia haasteita ovat esimerkiksi kustannuskysymykset, sillä 2D- ja 3D-ohjelmistojen lisenssit sekä niiden pyörittämiseen tarvittavat laitteistot ovat monille yrityksille suuria investointeja. Lisäksi uudet työskentelytavat vaativat henkilöstön kouluttamista tai uuden henkilökunnan rekrytoimista. Osaajien puutteeseen on kuitenkin tulossa muutos, sillä digitaalisen työskentelyn hallitsevia uusia ammattilaisia valmistuu koko ajan työmarkkinoille oppilaitosten sisällyttäessä digitaalisen muodin osaamista vaatetusalan opintoihin.

Globaalina haasteena vaatetusalan digitalisaatiossa näen sen aiheuttaman ympäristön kuormituksen. Digitalisaation vaatima energiankulutus kasvaa jatkuvasti, eikä uusiutuvan energian tuotanto pysy kasvun mukana. Elektroniikkatuotteiden koko elinkaaren aikana esiintyy lisäksi ympäristöön ja eettisyyteen liittyviä haasteita aina metallien ja mineraalien louhinnasta tuotteiden kierrätykseen saakka. Nämä ovatkin seikkoja, joiden ratkaisuun täytyisi panostaa. Lisäksi digitalisaation vaikutus kiertotalouden mukaiseen suunnitteluun vaatii vielä lisää tutkimista. Digitaalisten tuotteiden ja palveluiden ympäristövaikutusten laskeminen tarkasti on haastavaa, sillä kaikkea laskelmiin tarvittavaa dataa ei usein ole saatavilla. Mikäli digitalisaation ympäristövaikutuksia ei voida luotettavasti laskea, on haastavaa vertailla myöskään digitalisaation tuomia ympäristöhyötyjä.

Opinnäytetyötä tehdessä erityisen selväksi tuli, että suunnittelu- vaiheessa tehtävät päätökset kestävyteen liittyen eivät ole helpoja eivätkä välttämättä kovin yksiselitteisiääkään. Kesken opinnäytetyön tekemisen aloin pohtia, olisiko minun kannattanut valita esimerkkituotteeksi ammatillisesti haastavampi vaate. Yksinkertainen kimono kuitenkin toimi lopulta mielestäni hyvänä esimerkkinä tuotteesta, jonka kaavoituksen muokkaaminen nolalahukkaperiaatteen mukaiseksi oli vielä kohtuullisessa ajassa mahdollista.

Jälkikäteen ajateltuna myös kangasvalintaa olisi pitänyt miettiä tarkemmin, sillä valitsemani pellavan kivipesukäsittelyyn ei olisi ollut lainkaan tarvetta. Mielenkiintoisia vaihtoehtoja olisi löytynyt esimerkiksi kotimaisen Knokkonin valmistamista kankaista, jotka kudotaan Suomessa. Knokkon käyttää kankaidensa materiaalina nokkosta, puuvillaa ja hamppua.

Henkilökohtaisina tavoitteina minulla oli saada laajempi kuva kestävästä suunnittelun strategioista, sekä perehtyä syvemmin 3D-suunnitteluun ja digitaalisten kaavojen kuosittelemiseen. Opinnäytetyötä tehdessä opinkin paljon niin kestävästä suunnittelusta, kuin 3D-suunnittelustakin. Erityisesti digitaalisten materiaalien hyödyntämisestä löytyi paljon uutta opittavaa, mutta esiin nousi myös kysymyksiä joihin en vielä löytänyt vastausta: kuinka realistisesti digitaaliset materiaalit lopulta käyttäytyvät esimerkiksi kerrostettuina, ja kuinka digitaalisen sovituksen tulokset voisivat olla mahdollisimman luotettavia ja tasalaatuisia? Mielestäni saavutin kuitenkin asettamani tavoitteet hyvin, ja uskon oppimani palvelevan minua hyvin myös työelämässä.

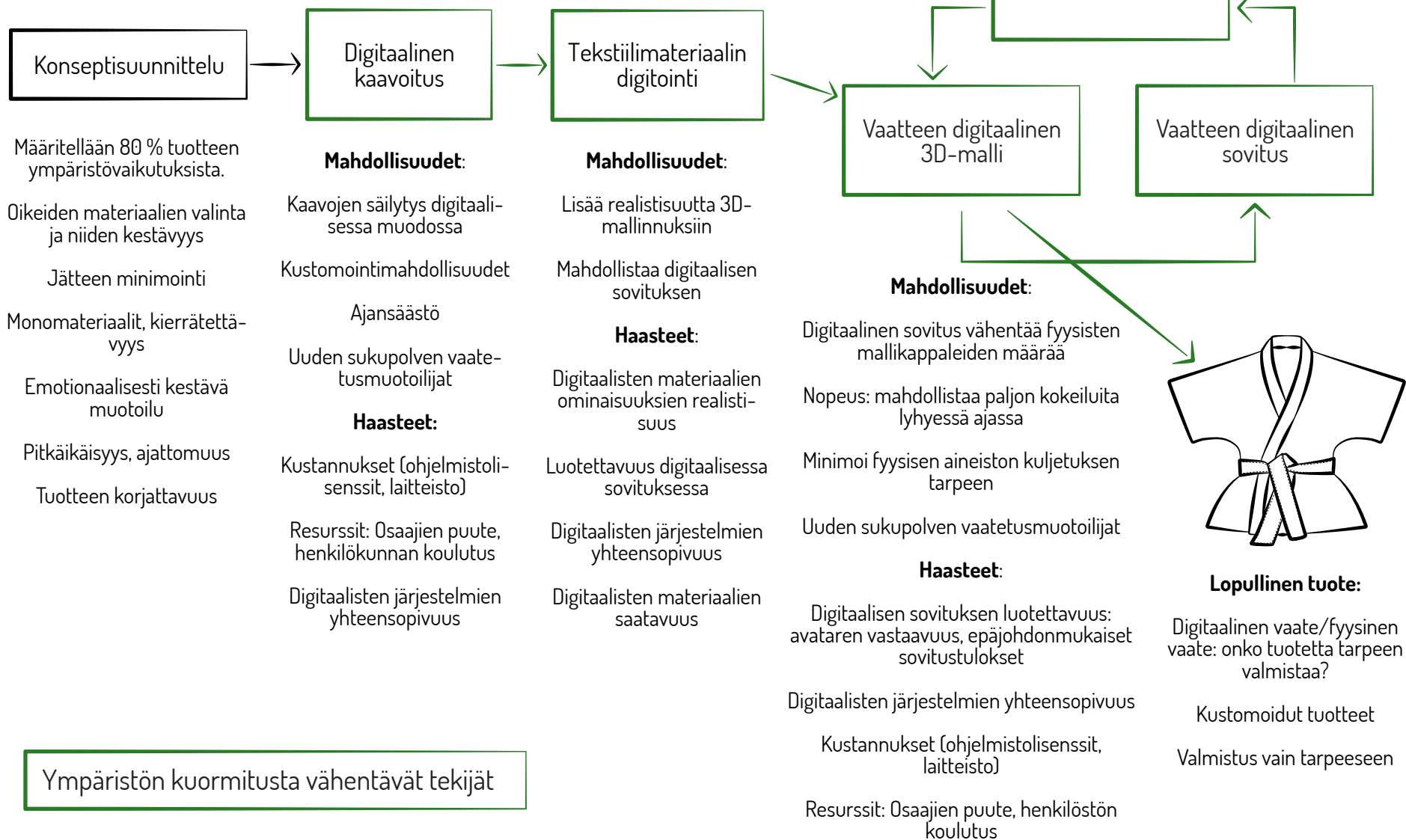
Opinnäytetyössäni halusin selkiyttää digitaalisen suunnittelun etuja kiertotalouden mukaisessa suunnittelussa. Selkeän kuvauksen luomiseksi loin kaavion vaateen digitaalisen suunnittelun ideaaliprosessista (kuva 57). Kaaviossa kertaan konseptisuunnittelun aikana huomioitavia kestävästä suunnitteluun liittyviä asioita, sekä digitaalisuuden tuomia mahdollisuuksia ja haasteita. Uskonkin opinnäytetyön olevan hyödyksi niin alan toimijoille, opiskelijoille kuin Digital & Circular Fashion House -hankkeellekin.

Suorittaessani työharjoittelua Digital & Circular Fashion House -hankkeessa olin mukana järjestämässä Digijameja, joissa tutkimme ja testasimme yhdessä tekstiili- ja vaatetusalan toimijoiden sekä opiskelijoiden kanssa digitalisaation tuomia mahdollisuuksia muotialalla. Digijamien kautta sain tarkemman kuvan siitä, millaista digitaalista osaamista tulevaisuuden työelämässä tarvitaan. Valmistumisen jälkeen toivoin pääseväni jatkamaan työskentelyä digitaalisen muodin parissa, ja hankkeessa suorittamani työharjoittelun jälkeen sainkin työpaikan. Työllistyin opintojeni loppupuolella Digital & Circular Fashion House -hankkeessa mukana olevaan yritykseen. Uudessa työssäni pääsen hiomaan erityisesti digitaaliseen 2D-kaavoitukseen ja sarjontaan liittyvää osaamistani. Uskon, että niin opintojen kuin opinnäytetyönkin myötä hankitusta osaamisestani on hyötyä myös tällä saralla.



Kuva 56. Taskuton zero waste -kimono. Kuvituskuva. (Weeman 2023)

Kuva 57. Vaatteen digitaalisen suunnittelun ideaaliprosessi. (Kokkonen 2023)



# Lähteet

Ahokas, Hanna 2022. Valmetin sivuvirtana syntyvän märkäviiran uusiokäyttö: kiertotalouden mukaisen suunnittelun avulla. Opinnäytetyö. <https://www.theseus.fi/handle/10024/748773>. Viitattu 5.4.2023.

Browzwear 2022. Fab by Browzwear. Verkkojulkaisu. <https://browzwear.com/products/fabric-analyzer/>. Viitattu 25.11.2022

Browzwear 2023. Browzwear for Brands. Verkkojulkaisu. <https://browzwear.com/solutions/brands-solutions/>. Viitattu 18.1.2023.

Casciani, Daria, Chkanikova, Olga & Pal, Rudrajeet 2022. Exploring the nature of digital transformation in the fashion industry: opportunities for supply chains, business models, and sustainability-oriented innovations. Sustainability: Science, Practice and Policy. Tutkimusraportti 18:1, 773-795, DOI: 10.1080/15487733.2022.2125640. Viitattu 18.1.2023.

Clo3D 2020. Avatar Editor. PDF-tiedosto. [https://support.clo3d.com/hc/en-us/article\\_attachments/360102576413/Guide\\_CLO\\_Avatar\\_Editor\\_6.0.pdf](https://support.clo3d.com/hc/en-us/article_attachments/360102576413/Guide_CLO_Avatar_Editor_6.0.pdf). Viitattu 14.12.2022.

Clo3D 2021. How to Read Garment Fit Maps in CLO. Video. Youtube-video-palvelu, julkaistu 17.8.2021. <https://www.youtube.com/watch?v=Z6EiCcuoYzY>. Viitattu 27.2.2023.

Design School Kolding 2017. Aesthetic Lifetime. PDF-tiedosto. [https://www.researchgate.net/publication/346107609\\_Sustainable\\_Design\\_Cards\\_tool](https://www.researchgate.net/publication/346107609_Sustainable_Design_Cards_tool). Viitattu 20.3.2023.

Design School Kolding 2017. Monomaterial. PDF-tiedosto. [https://www.researchgate.net/publication/346107609\\_Sustainable\\_Design\\_Cards\\_tool](https://www.researchgate.net/publication/346107609_Sustainable_Design_Cards_tool). Viitattu 25.11.2022.

Design School Kolding 2017. Zero Waste. PDF-tiedosto. [https://www.researchgate.net/publication/346107609\\_Sustainable\\_Design\\_Cards\\_tool](https://www.researchgate.net/publication/346107609_Sustainable_Design_Cards_tool). Viitattu 25.11.2022.

Design School Kolding 2019. Sustainable Design Cards. Esite. Viitattu 13.2.2023.

Digital & Circular Fashion House 2020. ESR-hakemus. PDF-tiedosto. Viitattu 24.2.2023.

Eerola, T. (toim.), Eilu, P. (toim.), Hanski, J., Horn, S., Judl, J., Karhu, M., Kivikytö-Reponen, P., Lintinen, P. & Långbacka, B. 2021. Digitalisaatio ja luonnonvarat. Espoo: Geologian tutkimuskeskus. Tutkimustyöraportti 53/2021. [https://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/53\\_2021.pdf](https://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/53_2021.pdf). Viitattu 13.2.2023.

Eetti julkaisuaika tuntematon. Elektroniikka. Verkkojulkaisu. <https://eetti.fi/toiminta/teemat/elektroniikka-3/>. Viitattu 13.2.2023.

Eetti 2021. Verkkokauppojen kestävä palautuskulttuuri. Verkkolähde. <https://eetti.fi/2021/03/09/verkkokauppojen-kestamaton-palautuskulttuuri/>. Viitattu 7.2.2023.

Eskelinen, Sini 2022. Digitaalisen muodin mahdollisuudet. Opinnäytetyö. <https://www.theseus.fi/handle/10024/755759>. Viitattu 5.4.2023.

Euroopan komissio 2022. Kiertotalous: Komissio ehdottaa uusia kuluttajien oikeuksia ja viherpesun kieltämistä. Verkkolähde. [https://finland.representation.ec.europa.eu/uutiset/kiertotalous-komissio-ehdottaa-uusia-kuluttajien-oikeuksia-ja-viherpesun-kieltamista-2022-03-30\\_fi](https://finland.representation.ec.europa.eu/uutiset/kiertotalous-komissio-ehdottaa-uusia-kuluttajien-oikeuksia-ja-viherpesun-kieltamista-2022-03-30_fi). Viitattu 22.2.2023.

Eurostat 2022. E-commerce statistics for individuals. Verkkojulkaisu. [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=E-commerce\\_statistics\\_for\\_individuals#Most\\_popular\\_online\\_purchases](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=E-commerce_statistics_for_individuals#Most_popular_online_purchases). Viitattu 25.1.2023.

Fab-lehti 11/2019. Äly oi! Näin tekoäly mullistaa tekstiilibisneksen. Verkkojulkaisu. <https://www.stjm.fi/fablehti/raha/aly-oi-nain-tekoaly-mullistaa-tekstiilibisneksen/>. Viitattu 25.11.2022

Fab-lehti 6/2021. Suomalainen Kerry Murphy pyörittää maailman ensimmäistä digitaalista muotitaloa – ja kysyntää riittää. Verkkojulkaisu. <https://www.stjm.fi/fablehti/tulevaisuus/suomalainen-kerry-murphy-pyorittaa-maailman-ensimmaista-digitaalista-muotitaloa-ja-kysyntaa-riittaa/>. Viitattu 25.11.2022.

Farley, Jennifer & Hill, Colleen 2015. Sustainable Fashion: Past, Present and Future. E-kirja. London: Bloomsbury Publishing Plc. Viitattu 11.1.2023.

Fletcher 2012. Fletcher, Kate & Grose, Lynda. Fashion & Sustainability – Design for Change. London: Laurence King Publishing Ltd. Viitattu 27.2.2023.

FutureBridge 2020. Microfactories – The Next Big Thing in Manufacturing. Verkkolähde. <https://www.futurebridge.com/blog/microfactories-the-next-big-thing-in-manufacturing/>. Viitattu 24.2.2023.

Grafis 2023a. Grafis CAD Software. Verkkojulkaisu. <https://www.grafis.com/clothing>. Viitattu 25.1.2023.

Grafis 2023b. 3D-Visualisation with VStitcher. Verkkojulkaisu. <https://www.grafis.com/3D>. Viitattu 9.4.2023.

Gwilt, Alison 2014. A Practical Guide to Sustainable Fashion. London: Bloomsbury Publishing Plc. Viitattu 11.1.2023.

Halla-aho, Henri & Ruokamo, Annariina 2021. KISU – Muotoilijan opas. Verkkojulkaisu. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-951-827-358-8>. Viitattu 25.11.2022 & 25.1.2023.

Hannolainen, Konstantin 2023. Yksityinen sähköpostiviesti 20.2.2023. Viestin saaja Taija Kokkonen. Viitattu 20.2.2023.

Kamppuri, T., Heikkilä, P., Pitkänen, M., Saarimäki, E., Cura, K., Zitting, J., Knuutila, H., & Mäkiö, I. 2019. Tekstiilimateriaalien soveltuvuus kierrätykseen. Tampere: VTT Technical Research Centre of Finland. VTT Tutkimusraportti No. VTT-R-0091-19. [https://cris.vtt.fi/ws/portalfiles/portal/24225719/VTT\\_R\\_00091\\_19.pdf](https://cris.vtt.fi/ws/portalfiles/portal/24225719/VTT_R_00091_19.pdf). Viitattu 11.1.2023.

Kiron, Mazharul I. 2013. Purposes, Systems and Reasons for Blending Fibres. Verkkojulkaisu. <https://textilelearner.net/fiber-blending-purposes-reasons/>. Viitattu 6.3.2023.

Kuluttajaliitto 2022. Viherväitteet kuntoon – Suositukset kuluttajille, yrityksille ja päättäjille. Verkkojulkaisu. <https://www.kuluttajaliitto.fi/viherpesuvii-sari/>. Viitattu 7.2.2023.

Majander, Emilia 2018. Zero waste -suunnittelun hyödyntämismahdollisuudet teollisessa vaatetuotannossa : Case Nokian Neulomo Oy. Opinnäytetyö. Viitattu 5.4.2023.

Mavropoulos, Antonis & Nilsen, Anders W. 2020. Industry 4. 0 and Circular Economy : Towards a Wasteless Future or a Wasteful Planet? E-kirja. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons Ltd. Viitattu. 24.2.2023.

Pitkänen, Iida 2022. Tekstiilikuiduista pikseleiksi – Digitaaliset tekstiilimateriaalit osana muodin muutosta. Opinnäytetyö. <https://www.theseus.fi/handle/10024/744769>. Viitattu 5.4.2023.

Posti 2022. Suuri verkkokauppatutkimus 2022. PDF-tiedosto. <https://www.posti.fi/fi/yrityksille/vinkit-ja-caset/verkkokauppa/lataa-tutkimus-2000-kuluttajaa-ja-300-verkkokauppiasta-kertovat>. Viitattu 25.1.2023.

Rissanen, Timo & McQuillan, Holly 2018. Zero Waste Fashion Design. London: Bloomsbury Publishing Plc. Viitattu 16.1.2023.

Räisänen, Riikka, Rissanen, Marja, Parviainen, Erja, Suonsilta, Helena 2017. Tekstiilien materiaalit. Keuruu: Otava kirjapaino. Viitattu 23.2.2023.

Sitra 2020. Kuusi faktaa kiertotaloudesta. Verkkojulkaisu. <https://www.sitra.fi/artikkelit/kuusi-faktaa-kiertotaloudesta/>. Viitattu 25.1.2023.

Sitra 2021a. Luonnonvarojen käytön irtikytkentä talouskasvusta – onko se mahdollista? Verkkojulkaisu. <https://www.sitra.fi/artikkelit/luonnonvarojen-kayton-irtikytkenta-talouskasvusta-onko-se-mahdollista/>. Viitattu 25.1.2023.

Sitra 2021b. Viisi tärkeää kysymystä digitalisaation ympäristövaikutuksista. Verkkojulkaisu. <https://www.sitra.fi/artikkelit/viisi-tarkeaa-kysymysta-digitalisaation-ymparistovaikutuksista/>. Viitattu 13.2.2023.

Sizey 2022. My Sizey measuring video. Video. YouTube-videopalvelu, julkaistu 28.1.2022. <https://www.youtube.com/watch?v=sffBV4m-jwI&t=28s>. Viitattu 12.2.2023.

Suomen Tekstiili & Muoti Ry julkaisuaika tuntematon. Ympäristö & Ilmasto. Verkkolähde. <https://www.stjm.fi/palvelut-ja-tietoa-yrityksille/vastuullisuuspalvelut/ymparistovastuu/>. Viitattu 10.3.2023.

Suomen Tekstiili & Muoti Ry 2022a. Tekstiili- ja muotialan osaamiskartoitus 2022. Verkkojulkaisu. [https://www.stjm.fi/wp-content/uploads/2022/03/Tekstiili-ja-muotialan-osaamiskartoitus-2022-tulokset\\_web.pdf](https://www.stjm.fi/wp-content/uploads/2022/03/Tekstiili-ja-muotialan-osaamiskartoitus-2022-tulokset_web.pdf). Viitattu 25.11.2022.

Suomen Tekstiili & Muoti Ry 2022b. EU:n kiertotalouspaketin sisältämä uusi tekstiilistrategia pyrkii tekemään tuotteista kestävämpiä. Verkkojulkaisu. <https://www.stjm.fi/uutiset/eun-kiertotalouspaketin-sisaltama-uusi-tekstiilistrategia-pyrkii-tekemaan-tuotteista-kestavampia/>. Viitattu 11.1.2023.



Suomen Tekstiili & Muoti Ry 2022c. Tekstiilijätteen erilliskeräys velvoittaa myös alan yrityksiä huolehtimaan jätehuoltonsa ajantasaisuudesta. Verkkojulkaisu. <https://www.stjm.fi/uutiset/tekstiilijätteen-erilliskeräys-velvoittaa-myös-alan-yrityksia-huolehtimaan-jätehuoltonsa-ajantasaisuudesta/>. Viitattu 16.1.2023.

Suomen Tekstiili & Muoti Ry 2022d. Tekstiilikuituopas. Verkkojulkaisu. [https://www.stjm.fi/wp-content/uploads/2022/02/Tekstiilikuituopas\\_korjattu.pdf](https://www.stjm.fi/wp-content/uploads/2022/02/Tekstiilikuituopas_korjattu.pdf). Viitattu 9.12.2022.

Techpacker 2021. How does on-demand manufacturing work for fashion brands? Verkkojulkaisu. <https://techpacker.com/blog/design/fashion-on-demand-manufacturing/>. Viitattu 24.2.2023.

Telaketju 2020. Ilmaisen palautuksen Kallis hinta. Verkkojulkaisu. <https://telaketju.turkuamk.fi/uutiset/ilmaisen-palautuksen-kallis-hinta/>. Viitattu 7.2.2023.

The Fashion Starter 2021. Best Pattern Making Software for Fashion Designers. Verkkojulkaisu. <https://thefashionstarter.com/2021/09/02/best-pattern-making-software-for-fashion-designers/>. Viitattu 25.1.2023.

Tieke 2019. Digi digi digi. Verkkojulkaisu. <https://tieke.fi/digi-digi-digi/>. Viitattu 23.1.2023.

Unspun 2022. What the FAQ? Verkkojulkaisu. <https://www.unspun.io/blog/post/what-the-faq>. Viitattu 13.2.2023.

Vänskä, Annamari, Hokka, Jenni & Särmäkari, Natalia 2022. Intiimin kosketus: Kehon tieto, luova työ ja digitalisaatio suomalaisessa nykymuodissa. Espoo: Aalto Arts Books. Viitattu 23.1.2023.

Winands, Katarina, Müller, Kai, Kollera, Carlotta, Gries, Thomas 2022. A New Textile Production Type – Urban Apparel Production in Microfactories. Institut fuer Textiltechnik (ITA) of RWTH Aachen University. PDF-tiedosto. <https://www.repo.uni-hannover.de/handle/123456789/12211>. Viitattu 24.2.2023.

# Kuvaluettelo

Kuva 1. Weeman, Katariina 2023. Kansikuva. Kuvituskuva. Valokuva, 2023 Kuopio: Meri Tynkkysen & Katariina Weemanin kokoelmat. Viitattu 2.4.2023.

Kuva 2. Kokkonen, Taija 2022. Printtikokeilu Vstitcher-ohjelmalla 3D-mallinnettuun kimoonon. Valokuva, 2022 Kuopio: Tekijän kokoelmat. Viitattu 1.4.2023.

Kuva 3. Thirdman 2020. Neulepaita. Kuvituskuva. Valokuva, Pexels. <https://www.pexels.com/fi-fi/kuva/henkilo-naine-rannekoru-istuminen-6238584/>. Viitattu 1.4.2023.

Kuva 4. Jarmoluk, Michael 2014. Farkut. Kuvituskuva. Valokuva, Pixabay. <https://pixabay.com/photos/jeans-pants-denim-denim-pants-blue-428614/>. Viitattu 1.4.2023.

Kuva 5. ISPO 2019. Esimerkki mikrofaktorista Ispo-messuilla Münchenissa vuodelta 2019. Valokuva, ISPO. <https://www.ispo.com/en/awards-ispo-text-trends/ispo-textrends-extends-ispo-munich-2019>. Viitattu 1.4.2023.

Kuva 6. Kokkonen, Taija 2023. Renderöidyt kimonot eri väreissä. Valokuva, 2023 Kuopio: Tekijän kokoelmat. Viitattu 1.4.2023.

Kuva 7. Barbhuiya, Towfiq 2022. Rikkinäinen puhelin. Kuvituskuva. Valokuva, Pexels. <https://www.pexels.com/fi-fi/kuva/teknologia-lompakko-korkea-kulma-rikki-naytto-11591913/>. Viitattu 1.4.2023.

Kuva 8. Kokkonen, Taija 2023. Digitoitu vaaleanpunainen pellavakangas. Kuvituskuva. Valokuva, 2023 Kuopio: Tekijän kokoelmat. Viitattu 18.3.2023.

Kuva 9. Finix julkaisuaika tuntematon. Tekstiilien kiertotalouden tasot. Kuvankaappaus verkkosivulta. <https://finix.aalto.fi/tekstiilien-kiertotalouden-tasot/>. Viitattu 18.3.2023.

Kuva 10. Zembruski, Paulo Sergio 2019. Kangassilppua. Kuvituskuva. Valokuva, Pexels. <https://www.pexels.com/fi-fi/kuva/varikas-varit-kirkas-keskityminen-3778061/>. Viitattu 1.4.2023.

Kuva 11. Cottonbro Studio 2020. Tekstiilimateriaalit. Kuvituskuva. Valokuva, Pexels. <https://www.pexels.com/fi-fi/kuva/vaatteet-askartelu-kangas-sisalla-4614120/>. Viitattu 2.4.2023.

Kuva 12. Danilyuk, Patel 2020. Ompelulangat. Kuvituskuva. Valokuva, Pexels. <https://www.pexels.com/fi-fi/kuva/pino-tyokalut-kela-nappulat-6461136/>. Viitattu 1.4.2023.

Kuva 13. Burrows, Michael 2021. Kauluksen muotoilu. Kuvituskuva. Valokuva, Pexels. <https://www.pexels.com/fi-fi/kuva/henkilo-naine-kangas-pystysuuntainen-7147601/>. Viitattu 2.4.2023.

Kuva 14. Los Muertos Crew 2021. Napin ompelu. Kuvituskuva. Valokuva, Pexels. <https://www.pexels.com/fi-fi/kuva/kadet-pitely-piikki-ompelu-8030157/>. Viitattu 1.4.2023.

Kuva 15. Tynkkynen, Meri 2023. Kimonon ensimmäinen versio. Valokuva, 2023 Kuopio: Meri Tynkkysen & Katariina Weemanin kokoelmat. Viitattu 31.3.2023.

Kuva 16. Kokkonen, Taija 2023. Perinteinen vaatteen suunnitteluprosessi. Kuva, 2023 Kuopio: Tekijän kokoelmat. Viitattu 18.3.2023.

Kuva 17. Kokkonen, Taija 2023. Vaatteen digitaalisen suunnittelun prosessi. Kuva, 2023 Kuopio: Tekijän kokoelmat. Viitattu 18.3.2023.

Kuva 18. Piacquadio, Andrea julkaisuaika tuntematon. Lentokone. Kuvituskuva. Valokuva, Pexels. <https://www.pexels.com/fi-fi/kuva/lento-henkilo-loma-kasi-3769138/>. Viitattu 10.4.2023.

Kuva 19. Kokkonen, Taija 2023. Kimonon tuotanto perinteisen (piensarja tai räätälöity) prosessin mukaan. Kuva, 2023 Kuopio: Tekijän kokoelmat. Viitattu 21.3.2023.

Kuva 20. Kokkonen, Taija 2023. Kimonon tuotanto mikrofaktoriperiaatteen mukaan. Kuva, 2023 Kuopio: Tekijän kokoelmat. Viitattu 21.3.2023.

Kuva 21. Kokkonen, Taija 2023. Digitoitu ruskea pellavakangas kimonon selkäpuolella. Kuvituskuva. Valokuva, 2023 Kuopio: Tekijän kokoelmat. Viitattu 1.4.2023.

Kuva 22. Kokkonen, Taija 2023. Digitoitu ruskea pellavakangas. Valokuva, 2023 Kuopio: Tekijän kokoelmat. Viitattu 1.4.2023.

Kuva 23. Kokkonen, Taija 2022. Base map. Valokuva, 2022 Kuopio: Tekijän kokoelmat. Viitattu 19.3.2023.

Kuva 24. Kokkonen, Taija 2022. Normal map. Valokuva, 2022 Kuopio: Tekijän kokoelmat. Viitattu 19.3.2023.

Kuva 25. Kokkonen, Taija 2022. Roughness map. Valokuva, 2022 Kuopio: Tekijän kokoelmat. Viitattu 19.3.2023.

Kuva 26. Kokkonen, Taija 2022. Displacement map. Valokuva, 2022 Kuopio: Tekijän kokoelmat. Viitattu 19.3.2023.

Kuva 27. Kokkonen, Taija 2022. Alpha map. Valokuva, 2022 Kuopio: Tekijän kokoelmat. Viitattu 19.3.2023.

Kuva 28. Kokkonen, Taija 2022. Metalness map. Valokuva, 2022 Kuopio: Tekijän kokoelmat. Viitattu 19.3.2023.

Kuva 29. Kokkonen, Taija 2022. Kaavan muokkaaminen sarjannon jälkeen aiheutti kaavan ulkolinjan katkeamisen. Kuvakaappaus Clo3D-ohjelmasta, 2022 Kuopio: Tekijän kokoelmat. Viitattu 18.3.2023.

Kuva 30. Kokkonen, Taija 2022. Myös hihansuu ja alavara vääristyivät, kun kaavaa muokkasi sarjannon jälkeen. Kuvakaappaus Clo3D-ohjelmasta, 2022 Kuopio: Tekijän kokoelmat. Viitattu 18.3.2023.

Kuva 31. Kokkonen, Taija 2023. Kimonon kaulus on irrotetu neljäksi eri kaavanosaksi. Kuvassa näkyvissä digitaaliset ompeleet. Kuvakaappaus Clo3D-ohjelmasta, 2023 Kuopio: Tekijän kokoelmat. Viitattu 1.4.2023.

Kuva 32. Kokkonen, Taija 2022. Yksinkertaisesta kankaasta ei käy ilmi, että hihassa on käänne. Valokuva, 2022 Kuopio: Tekijän kokoelmat. Viitattu 19.3.2023.

Kuva 33. Kokkonen, Taija 2022. Hiha näyttää realistisemmalta kankaan kerrostamisen jälkeen. Valokuva, 2022 Kuopio: Tekijän kokoelmat. Viitattu 19.3.2023.

Kuva 34. Kokkonen, Taija 2023. Stress map. Kuvakaappaus Clo3D-ohjelmasta, 2023 Kuopio: Tekijän kokoelmat. Viitattu 26.3.2023.

Kuva 35. Kokkonen, Taija 2023. Strain map. Kuvakaappaus Clo3D-ohjelmasta, 2023 Kuopio: Tekijän kokoelmat. Viitattu 26.3.2023.

Kuva 36. Kokkonen, Taija 2023. Fit map. Kuvakaappaus Clo3D-ohjelmasta, 2023 Kuopio: Tekijän kokoelmat. Viitattu 26.3.2023.

Kuva 37. Kokkonen, Taija 2023. Pressure points. Kuvakaappaus Clo3D-ohjelmasta, 2023 Kuopio: Tekijän kokoelmat. Viitattu 26.3.2023.

Kuva 38. Kokkonen, Taija 2023. Päätien ompeleet eivät ole kohdallaan. Strain map -työkalu näyttää kohdat, joihin ompeluvirhe vaikuttaa. Kuvakaappaus Clo3D-ohjelmasta, 2023 Kuopio: Tekijän kokoelmat. Viitattu 26.3.2023.

Kuva 39. Tynkkynen, Meri 2023. Ensimmäinen versio kimonosta. Valokuva, 2023 Kuopio: Meri Tynkkynen & Katariina Weemanin kokoelmat. Viitattu 31.3.2023.

Kuva 40. Kokkonen, Taija 2023. Kimonon leikkuusuunnitelma koossa 48. Kuvakaappaus Clo3D-ohjelmasta, 2023 Kuopio: Tekijän kokoelmat. Viitattu 26.3.2023.

Kuva 41. Kokkonen, Taija 2023. Kaavavirhe näkyvissä strain map -työkalun avulla. Kuvakaappaus Clo3D-ohjelmasta. 2023 Kuopio: Tekijän kokoelmat. Viitattu 26.3.2023.

Kuva 42. Kokkonen, Taija 2023. Zero waste -kimonoissa käyttämäni pellavat. Valokuva, 2023 Kuopio: Tekijän kokoelmat. Viitattu 30.3.2023.

Kuva 43. Kokkonen, Taija 2023. Taskuttoman zero waste -kimonon kaavat sarjottuna. Menekki 120 cm koossa S, 124 cm koossa M ja 128 cm koossa L. Valokuva, 2023 Kuopio: Tekijän kokoelmat. Viitattu 1.4.2023.

Kuva 44. Kokkonen, Taija 2023. Kuosikokeilu. Käsin maalattu kuvio on skannattu ja kuositettu Vizoo xTex:n avulla. Valokuva, 2023 Kuopio: Tekijän kokoelmat. Viitattu 2.4.2023.

Kuva 45. Kokkonen, Taija 2023. Kuosikokeilu 2 on myös työstetty Vizoo xTex:llä. Valokuva, 2023 Kuopio: Tekijän kokoelmat. Viitattu 2.4.2023.

Kuva 46. Kokkonen, Taija 2023. Pellava saapui vinoon leikattuna. Valokuva, 2023 Kuopio: Tekijän kokoelmat. Viitattu 30.3.2023.

Kuva 47. Kokkonen, Taija 2023. Zero waste -kimonon leikkuuvaihe. Valokuva, 2023 Kuopio: Tekijän kokoelmat. Viitattu 30.3.2023.

Kuva 48. Kokkonen, Taija 2023. Taskullisen zero waste -kimonon kaavat. Valokuva, 2023 Kuopio: Tekijän kokoelmat. Viitattu 18.3.2023.

Kuva 49. Kokkonen, Taija 2023. Taskuttoman zero waste -kimonon kaavat. Valokuva, 2023 Kuopio: Tekijän kokoelmat. Viitattu 18.3.2023.

Kuva 50. Weeman, Katariina 2023. Taskuton zero waste -kimono koossa S. Valokuva, 2023 Kuopio: Meri Tynkkysen & Katariina Weemanin kokoelmat. Viitattu 2.4.2023.

Kuva 51. Weeman, Katariina 2023. Taskuton zero waste -kimono takaa. Valokuva, 2023 Kuopio: Meri Tynkkysen & Katariina Weemanin kokoelmat. Viitattu 2.4.2023.

Kuva 52. Tynkkynen, Meri 2023. Taskullinen zero waste -kimono koossa L. Valokuva, 2023 Kuopio: Meri Tynkkysen & Katariina Weemanin kokoelmat. Viitattu 2.4.2023.

Kuva 53. Tynkkynen, Meri 2023. Taskullinen zero waste -kimono ilman vyötä. Valokuva, 2023 Kuopio: Meri Tynkkysen & Katariina Weemanin kokoelmat. Viitattu 2.4.2023.

Kuva 54. Kokkonen, Taija 2023. Taskuton zero waste -kimono 3D-mallinnettuna. Mallinnukseen lisätty digitoidut materiaalit. Valokuva, 2023 Kuopio: Tekijän kokoelmat. Viitattu 2.4.2023.

Kuva 55. Kokkonen, Taija 2023. Taskuton zero waste -kimono 3D-mallinnettuna, mallinnuksessa käytetty alkuperäisen kimono ruskeaa pellavaa. Valokuva, 2023 Kuopio: Tekijän kokoelmat. Viitattu 2.4.2023.

Kuva 56. Weeman, Katariina 2023, Taskuton zero waste -kimono. Kuvituskuva. Valokuva, 2023 Kuopio: Meri Tynkkysen ja Katariina Weemanin kokoelmat. Viitattu 23.4.2023.

Kuva 57. Kokkonen, Taija 2023. Vaatteen digitaalisen suunnittelun ideaaliprosessi. Kuva, 2023 Kuopio: Tekijän kokoelmat. Viitattu 2.4.2023.