

Minttu Siponen

# AUTOMAATION KÄYTTÖ VAATETEOL- LISUUDEN TUOTANNOSSA

Kandidaatintyö  
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta  
Tarkastaja: Hasse Nylund  
Toukokuu 2021

# TIIVISTELMÄ

Minttu Siponen: Automaation käyttö vaateteollisuuden tuotannossa  
Kandidaatintyö,  
Tampereen yliopisto  
Konetekniikka  
Toukokuu

---

Työn tavoitteena on selvittää kirjallisuustutkimuksena, kuinka automaatiota hyödynnetään vaateteollisuuden tuotannon eri vaiheissa. Lisäksi käsitellään automatisoinnin käyttöönottoa vaikeuttavia haasteita ja uuden teknologian tuomia hyötyjä, mahdollisuuksia sekä ongelmia. Lopuksi tarkastellaan, millaisia tulevaisuudennäkymiä automaattiselle vaatteiden valmistukselle on oletettavissa.

Automaatiota voidaan implementoida vaatteiden tuotannossa kankaan laadun varmistamiseen, kankaan levittämiseen ja leikkaamiseen, ompeluun sekä materiaalien käsittelyyn. Automaation taso vaihtelee riippuen valmistuksen vaiheesta ja vaatteesta. Kaavojen asettelu ja leikkaus on pystytty automatisoimaan täysin, kun taas tekstiilien käsittelyssä automaatio kehitty nopeaa tahtia, mutta kaikkia prosessiin liittyviä ongelmia ei ole vielä ratkaistu. Ompeluvaiheessa on päästy ainoastaan osittaiseen automaatioon, jossa yksittäisiä ompelukoneen ominaisuuksia sekä pieniä ompeluoperaatioita on automatisoitu. Nopeimmin automaattinen ompelu kehitty t-paitojen ja farkkujen osalta. Haasteita aiheuttavat operaation nopeus, kankaan ominaisuudet, käsittely ja ryppistyminen sekä ompelurobottien heikko laatu.

Jotta automatisoitua teknologiaa voidaan ottaa käyttöön, yrityksellä tulee olla tarpeeksi rahallisia resursseja ja suuri tuotantovolyymi, osaavaa työvoimaa sekä teknologiaan investointimyönteinen johto. Automaatio kasvattaa tuotannon tehokkuutta vähentämällä hukkaa, parantamalla laatua ja alentamalla tuotantokustannuksia, mitkä parantavat yrityksen kilpailukykyä ja voivat toimia etuna esimerkiksi kansainvälisillä markkinoilla. Automaattiset koneet suoriutuvat usean ihmisen tekemästä työstä, jolloin tuotannon työpaikat ovat vaarassa. On vielä epäselvää, korvaavatko automatisoinnin ja kasvavan tuottavuuden synnyttämät uudet työpaikat menetettyjen paikkojen määrän, mutta työnkuvien muutokset ja ammattisektorien sisäiset siirtymät ovat oletettavia.

Automaatio tarjoaa ratkaisuja vaateteollisuuden ekologisen ja eettisen kestävyysongelmiin. Uuden teknologian myötä tuotantokustannuksien laskiessa yritykset voivat siirtää tuotantoaan takaisin lähtömaahan, jolloin tuotantoketjut lyhenevät ja tuotteiden hiilijalanjälki pienenee. Lisäksi veden- ja kemikaalien kulutusta voidaan pienentää materiaalien käsittelyteknologian kehittyessä.

Vaatteiden valmistuksen kokonaisvaltaisesta automatisoinnista on eriäviä mielipiteitä. Osa arvioista ennustaa, että automatisaatio voidaan saavuttaa noin 10–15 vuoden päästä, mutta osan mukaan tuotannon haasteiden ja joustamattomuuden sekä vaatealan erityispiirteiden vuoksi koko valmistusprosessin laajuista automaatiota on mahdotonta saavuttaa. Automaatio on jatkuva prosessi, ja useita ideoita sekä prototyyppejä miehittämättömästä tuotannosta on kehitteillä. On kuitenkin vielä liian aikaista sanoa, millainen teknologia onnistuu yltämään laajoille kaupallisille markkinoille.

Avainsanat: Vaateteollisuus, automatisointi, vaateteollisuuden automatisointi, vaateteollisuuden tuotanto

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

# SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO .....	1
2. VAATEVALMISTUKSEN VAIHEET .....	3
2.1 Kankaan laadun varmistaminen .....	4
2.2 Kaavoitus .....	6
2.3 Leikkaus .....	7
2.4 Kankaan käsittely .....	11
2.5 Ompelu .....	12
3. AUTOMATISOINNIN HAASTEET JA MAHDOLLISUUDET .....	15
3.1 Automaattisen ompelun rajoitteet .....	15
3.2 Vaatteiden mallien muutokset .....	16
3.3 Vaatteiden laatu .....	17
3.4 Investoinnit uuteen teknologiaan .....	18
3.5 Tuotannon kestävyys .....	20
3.6 Työllisyys .....	21
4. TULEVAISUUDENNÄKYMÄT .....	23
4.1 Älykkäät tehtaat .....	24
4.2 Case-esimerkit .....	24
4.2.1 Sewbo .....	24
4.2.2 Softwear Automation .....	25
4.2.3 SINTEF Raufoss Manufacturing .....	26
5. REFLEKTOINTI .....	28
6. YHTEENVETO .....	30
LÄHTEET .....	33

# 1. JOHDANTO

Tekstiiliteollisuus oli aikanaan kehuukoneineen ensimmäisiä koneellistettuja teollisuudenaloja. Tästä huolimatta vaateteollisuus on jäänyt yhdeksi viimeisistä ja hitaimmin automatisoiduista aloista, jossa tuotannon työntekijät perinteisesti hoitavat kankaan leikkauksen, ompelun ja muut tuotantolinjan tehtävät. Vaateteollisuus on saavuttanut teknisiä edistysaskeleita, mutta niistä huolimatta ala on edelleen erittäin työntensiivinen. (Nayak et al. 2015; Lee et al. 2021) Esimerkiksi tehtaissa käytössä olevat ompelukoneet vaativat ihmisen tekemää työtä eivätkä ne ole muuttuneet merkittävästi niiden keksimisen ajalta, 1800-luvulta (Nayak & Padhye 2018, s. 7). Vaatteiden tuotannon vaiheista erityisesti ompelutekniikka onkin automaatioltaan jäljessä muita tuotannon aloja (Nayak et al. 2015).

Vaatteet ovat ihmisille välttämättömiä, ja niiden tarve kasvaa maapallon väestömäärän lisääntyessä. Vastatakseen kysyntään vaateteollisuus työllistää maailmanlaajuisesti noin 60 miljoonaa ihmistä. (Altenburg et al. 2020) Teknologiset edistykset ovat vaikuttaneet moderniin vaatetukseen ja muotiin, ja teollistuminen on tuonut uusia muutoksia tuotantoon. Useimmissa maissa käsintehdyt vaatteet on korvattu teollisuustuotetuilla versioilla, joiden variaatioiden määrä on hyvin suuri. (Nayak et al. 2015) Vaatteiden valmistus massatuotantona aiheuttaa kuitenkin sekä eettisiä että ympäristöön liittyviä ongelmia. Yritysten on saatava markkinoille nopeasti uusia tuotteita, sillä kasvava asiakastarve lisää kysyntää erilaisille vaatevariaatioille ja tyyliille. Rahallisista syistä useat yritykset päätyvät siirtämään tuotantoaan maihin, joissa tuotantokustannukset ovat alhaiset. (Lee et al. 2021; Nayak & Padhye 2018, s. 4)

Automaatiolla tuotannosta pyritään tekemään miehittämätön automaattisten koneiden suorittaessa määrätyt operaatiot, mikä auttaa minimoimaan rutiininomaisista töistä aiheutuvia kustannuksia. Automaatiota käytetään laajalti esimerkiksi lääke-, elintarvike-, jakelu- ja valmistavassa teollisuudessa. (Viswanadham 2002) Vaatteidenvalmistusprosessin automatisointiin käytettiin 1980-luvulla Euroopassa ja Yhdysvalloissa miljoonia dollareita. Vaikka laaja-alaista automaatiota ei tuolloin vielä saavutettu, yrityksellä onnistuttiin automatisoimaan osa vaatteiden tuotannon vaiheista. Tämän jälkeen vaateteollisuuden automatisoinnista on tehty paljon tutkimusta, mutta koko tuotannon laajuinen automaatio ei ole vielä realisoitunut. (U.S. Congress 1987; Nayak & Padhye 2018 s. 1,8, 80)

Vaateteollisuuden teknologiset edistykset voidaan luokitella ohjelmistoihin ja koneisiin sekä laitteisiin. Ohjelmistoihin kuuluvat muun muassa tietokoneavusteinen suunnittelu (*CAD, eng. computer-aided design*), tietokoneavusteinen valmistus (*CAM, eng. computer-aided manufacturing*), toiminnanohjausjärjestelmät (*ERP, eng. Enterprise Resource Planning*) ja tuotannosuunnitteluohjelmistot sekä datan hallinta. Laitteistoihin lukeutuvat automaattinen ompelu, automaattiset tunnistus- ja materiaalien käsittelysystemit sekä robotiikka. (Kumar et al. 1999) Edistysten pohjalta on voitu soveltaa uusia konsepteja vaatteiden valmistukseen muun muassa nopeissa ompelukoneissa, robotiikassa ja kankaan leikkaustekniikoissa.

Työn tavoitteena on selvittää kirjallisuustutkimuksena, millaisilla ratkaisuilla ja kuinka laajasti automaatiota hyödynnetään vaatteiden tuotannon eri vaiheissa. Lisäksi perehdytään seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

- Millaisia edellytyksiä ja haasteita automaation käyttöönottoon liittyy?
- Mitä hyötyjä ja mahdollisuuksia automaatiosta seuraa?
- Millaisia haittoja automaatio aiheuttaa?
- Millaisia tulevaisuudennäkymiä automaattiselle vaatteidenvalmistukselle on oletettavissa?

Työ on rajattu koko tekstiiliteollisuuden sijaan ainoastaan vaateen valmistukseen kankaan laadun varmistamisvaiheesta ompeluun, joten mahdollisia aikaisempia vaiheita, kuten kankaan kudontaa, ei käsitellä. Tutkimusaineiston valinnassa on pyritty ajankoh-taisuuteen sekä monipuolisuuteen, ja lähteiden tietoja on vertailtu toisiinsa.

Luvussa kaksi käydään läpi vaatteiden teolliseen valmistamiseen kuuluvat vaiheet ja miten sekä millaisella tasolla näitä on automatisoitu. Kun valmistusprosessin vaiheet on esitelty, seuraavassa luvussa pohditaan mitkä tekijät rajoittavat automaation käyttöönottoa ja laajuutta. Luvussa käsitellään myös automaation positiivisia ja negatiivisia vaikutuksia esimerkiksi yrityksen tuottavuuteen, tuotannon kestävyyyteen sekä työllisyyteen. Neljännessä luvussa pohditaan, kuinka vaateteollisuuden automaatio etenee tulevaisuudessa. Aihetta käsitellään kolmen case-esimerkin avulla. Esimerkkiprojektit ja -yritykset ovat onnistuneet kehittämään automatisoituja ratkaisuja tuotantoprosessin automatisoimiseksi, mutta ideat eivät ole vielä laajalti kaupallistettuja. Lisäksi luvussa käsitellään älykkäitä tehtaita, jollaisissa vaatteita voitaisiin tulevaisuudessa valmistaa. Reflektoinnissa pohditaan työn tavoitteen ja tutkimuskysymyksien käsittelyn onnistumista, ja yhteenvedossa tiivistetään aiempien lukujen tiedot ja päätelmät.

## 2. VAATEVALMISTUKSEN VAIHEET

Koneellisen vaatteiden valmistuksen historia alkoi vuonna 1790, kun englantilainen Thomas Saint esitteli prototyypinsä ompelukoneesta. Neljän vuoden kuluttua ranskalainen räätäli Barthelemy Timmonier ja insinööri Auguste Ferrand onnistuivat keksimään tehokamman mallin, jolle he hankkivat patentin. (Puertas Novau 2018, s. 31) Keksinnöissä oli kuitenkin vielä ongelmia ja puutteita, kunnes vuonna 1845 Yhdysvalloissa Elias Howen yhdisteli menestyksekkäästi aiempia teknisiä oivalluksia ja esitteli ompelukoneensa, joka valmistui juuri oikeaan aikaan koneommeltujen vaatteiden yleistyessä laajalti saataville. Ompelukonemarkkinoiden kasvulla oli merkittäviä teollisia ja sosiaalisia vaikutuksia esimerkiksi vaatetehtaiden työmäärän pienentyessä huomattavasti. Aiemmin paidan ompelamiseen käsin oli kulunut 14 tuntia, mutta ompelukoneen avulla samasta tehtävästä suoriuduttiin tunnissa. (Henderson 2013, s. 86) Koneita kehitettiin sekä teollisuuden että kotien tarpeisiin (Puertas Novau 2018, s. 31).

Howenin ompelukoneessa oli kaareva, sivuttaissuunnassa liikkuva silmäneula, joka upposi kankaaseen tarkasti määritetylle syvyydelle. Kankaan ja langan välinen kitka sai nurjalle puolelle aikaan pienen lankalenkin, jonka toinen lanka, alalanka, läpäisi. Nykyajan ompelukoneista poiketen kangas kiinnitettiin koneen reunaan pystysuuntaisesti. Neula eteni kankaan pysyessä paikallaan, minkä vuoksi kangas oli kiinnitettävä koneeseen aina uudestaan. Perusperiaate vastasi kuitenkin nykyisiä ompelukoneita. (Henderson 2013, s.86)

Automaatiota on implementoitu vaatteiden valmistukseen eri asteilla riippuen valmistuksen vaiheesta ja itse vaatteesta. Leikkaus ja kaavojen asettelu on pystytty automatisoimaan täysin. Tekstiilien hallinnassa, muokkauksessa ja kuljetuksessa automaatio kehittyy nopeaa tahtia, mutta prosessiin sisältyy vielä teknisiä haasteita. Ompeluvaiheessa on päästy osittaiseen automaatioon, joka rajoittuu suurimmaksi osaksi 2D-saumojen tikkaamiseen ja taskujen, lappujen, napinläpien, hihansuiden ja kaulusten ompeluun. Näitä automatisoituja vaiheita ei kuitenkaan vielä ole integroitu onnistuneesti osaksi muuta prosessia. Vaatekappaleista T-paitojen ja farkkujen automaattinen tuottaminen on edennyt vauhdikkaasti. Muunlaisten vaatteiden, kuten takkien, housujen ja hameiden valmistamisen automatisointiin on oletettu kuluvan noin 10–15 vuotta. (Altenburg et al. 2020)

Vaatteen valmistaminen osallistaa useita operaatioita ja osastoja, ja sen automatisoinnissa on keskityttävä sekä koneisiin, valmistusmetodeihin että materiaaleihin. (Mekala

et. al. (2021) Valmistamisen vaiheet ovat kankaan laadun varmistaminen, kaavoitus, leikkaus, käsittely sekä ompelu.

## 2.1 Kankaan laadun varmistaminen

Kankaassa olevat virheet aiheuttavat melkein 85 % toisen laadun vaatteista. Harjaantunut tekstiiliasiantuntija kykenee manuaalisesti havaitsemaan korkeintaan 60 % kankaan virheistä silloin, kun kangas on leveämpi kuin 2 metriä ja sen liikkumisnopeus on suurempi kuin 30 metriä minuutissa. Automaattisessa kankaan laadun arvioimisessa kankaasta otetaan kuvia, joita käsitellään eri ohjelmistoilla ja mallinnustyökaluilla. Työkalut antavat informaatiota kankaan virheiden laadusta, ja viat eritellään vakavuuden ja dimensioiden mukaan. Mikäli kangaserä yrittää tietyn laadullisen kynnsarvon, se hylätään. (Cho et al. 2005; Nayak & Padhye 2018 s. 76)

Yleensä tavallisesta kudotusta kankaasta on erotettavissa kutomisprosessista aiheutuva tekstuuri, joka esiintyy jaksottaisesti erilaisina alikuviaina. Virheen ilmetessä kankaan paikallinen säännönmukaisuus häiriintyy, mikä näkyy vikana ja anomaliana muutoin homogeenisessä tekstuurissa. Jaksottainen, havaittavissa oleva tekstuurikuvio toimii lähtökohtana virheiden havaitsemisalgoritmeille ja -tekniikoille. Tekniikat jaetaan kolmeen kategoriaan, jotka ovat tilastollinen-, spektrinen- ja malleihin perustuva tekniikka. Vaikka muutamia kaupallistettuja laadunvarmistusmenetelmiä on saatavilla, tulevaisuudessa kankaan laadun varmistamismetodeista tarvitaan kuitenkin lisää tutkimusta, jotta voidaan kehittää laskennallisesti tehokkaita ja reaaliajassa toimivia menetelmiä. (Kumar 2008; Nayak & Padhye 2018, s. 78)

### Tilastollinen menetelmä

Tilastollisessa menetelmässä mitataan kankaasta otetun kuvan pikselien arvojen variaation jakautumista. Tavoitteena on erottaa kuva eri alueisiin pikselien tilastollisen käyttäytymisen perusteella. Jotta menetelmä toimisi, on oletettava, että virheettömistä alueista saatu data ja statistiikka on stationääristä, ja että nämä alueet ulottuvat huomattavasti yli tutkittavan kuva-alueen. Tilastolliset menetelmät luokitellaan ensimmäisen luokan (yhden pikselin), toisen luokan (kahden pikselin) ja korkeamman luokan (kolmen tai useamman pikselin) statistiikkaan perustuen siihen, kuinka monta pikseliä määrittää tarkasteltavan kohdan piirteet. (Mahajan et al. 2009)

Ensimmäisen luokan statistisessa arviossa tutkitaan yksittäisten pikselien arvojen keskiarvoa ja varianssia. Arviossa ei oteta huomioon pikselien välistä avaruudellista ja alueellista vuorovaikutusta. Toisen ja korkeamman luokan menetelmissä puolestaan arvioidaan kahden tai useamman pikseliarvon ominaisuuksia, jotka tapahtuvat tietyssä lokaaliossa toisiinsa verrattuna. Tilastollisissa menetelmissä tekstuurin ominaisuuksia määritellään esimerkiksi fraktaalidimensioiden, morfologisten operaatioiden ja paikallisten lineaarimuunnosten avulla. (Nayak & Padhye 2018, s. 78–79)

## **Spektrinen menetelmä**

Spektriset menetelmät ovat erittäin tarkkoja ja tehokkaita, sillä niissä käytetään kokenäköä virheiden etsimiseen. Kangas karakterisoidaan tekstuurin perusyksikköjen tai elementtien ja näiden avaruudellisen sijoittumisen mukaan. Ensin tekstuurin elementit tunnistetaan ja erotetaan, minkä jälkeen mallinnetaan tai yleisestään tilaa koskevat sijoittumissäännöt. Jotta menetelmä toimii, kankaan tekstuurin elementtien on oltava jaksottaisia. Spektriset menetelmät ovat laskennallisesti tehokkaita, mutta ne toimivat heikosti kuvissa, joissa tekstuuri on sattumanvarainen, eikä sitä voi kuvailla sijoittumissääntöjen ja perusyksikköjen avulla. Menetelmät on saatu johdettua Fourierin, Gaborin ja Waveletin muunnosten perusteella. (Mahajan et al. 2009; Nayak & Padhye 2018 s.87–86)

## **Malleihin perustuva menetelmä**

Malleihin perustuvat menetelmät pyrkivät tunnistamaan prosessin, jolla kankaan tekstuuri on saatu aikaiseksi. Menetelmät mallintavat tekstuuria vertaamalla sen parametrejä ennalta määrättyjen mallien parametreihin. Tapa toimii erityisen hyvin kankaisiin, joissa on sattumanvaraisia pintavariaatioita tai häiriöitä, joiden tekstuuri on satunnaista ja joihin tilastollinen ja spektrinen tapa eivät ole toimineet. Menetelmä vaatii usein sen, että kuvassa on eri tasoisia yksityiskohtia tai että yksityiskohdat täsmäävät yhteen useista mahdollisista malleista. Työ on laskennallisesti haastavaa, jos mallit ovat monimutkaisia tai harkittavana on useita malleja. (Malamas et al. 2003)



## 2.2 Kaavoitus

Kaavojen luomisessa käytetään CAD-ohjelmistoja, joita ovat esimerkiksi *Gerber*-, *Lectra*-, *Apparel Cad* - ja *Illustrator*-ohjelmistot. CAD:n avulla voidaan suunnitella kokonaisvaatteita, asusteita, yksittäisiä kuvioita tai virtuaalisia simulointeja, joissa mallinetaan esimerkiksi vaateen 3D-muotoa tai rasiuskohtia. Kaavojen jäljentämisessä ja sijoittelussa hyödynnetään puolestaan CAM-ohjelmistoja, joiden avulla jäljentäminen ja kaavojen asettelu voidaan toteuttaa automaattisesti ja erittäin nopeasti. CAD:n ja CAM:n käyttö tuotantoprosessissa parantaa tuottavuutta ja lisää tarkkuutta sekä tehokkuutta. Lisäksi ohjelmistot lyhentävät tuotannon kokonaisaikaa ja vähentävät syntyvän kangasjätteen määrää optimoimalla kaavojen sijainnit kankaalla. (Dumishllari & Guxho 2015; Kumar et al. 2018 s. 364; Nayak & Padhye 2018, s. 5, 33–36, 259)

Kun kaavojen asettelua kankaalle suunnitellaan, käyttäjä täyttää ohjelmistoon tarvittavat parametrit, kuten kaavojen määrän, jäljennystavan ja kankaan levityksen asetukset. Ohjelma käy läpi kaikki mahdolliset kaavojen asettelun kombinaatiot, vertaa tietoja datakirjastoonsa ja mallin tietoihin ja arvioi pituuden ja tehokkuuden jokaiselle asettelusuunnitelmalle, jota ei ole vielä tehty. Tekemättömät kaava-arkit luokitellaan tärkeyden perusteella riippuen niiden koosta, lukumäärästä sekä vaatekappaleista, joita kaavojen pohjalta on tarkoitus valmistaa. Ohjelma käyttää myös aikaa löytääkseen parhaan suunnitelman kankaan kulutuksen kannalta. Käytettävä aika voidaan määrittää joko automaattisesti, jolloin ohjelma jakaa ajan tasan jokaisen kaava-arkin muodostamiselle riippuen sen koosta tai puoliautomaattisesti, jolloin operaattori voi määrittellä ajat manuaalisesti. Tämän jälkeen ohjelma valitsee ja näyttää automaattisesti tehokkaimmat kaavojen sijoitteluvaihtoehdot. Lisäksi ohjelma laskee tarvittavan kangasmäärän. Kaavoitusdatan pohjalta voidaan määrittää myös esimerkiksi kankaan kulutus ja kustannukset yhtä vaatetta kohden. (Dumishllari & Guxho 2015; Nayak & Padhye 2018 s. 143–144)

Mittojen mukaan tehdyissä vaatteissa ja niiden kaavoissa voidaan käyttää mittojen ottamiseen tavallisten metodien sijaan 3D-vartalokannausta. Skannauslaite mittaa ihmiskehoa x-, y-, ja z-koordinaattien avulla, ja luo datan pohjalta täsmälliset mitat ja dimensiot kehon eri osista. Mittaus tapahtuu täysin kontaktittomasti valkoisen valon tai laserin avulla. (Nayak & Padhye 2018 s. 11). Vaatekappaleiden kaavat luodaan skannauksesta saadun datan perusteella. Automaattisen systeemin on havaittava kolmiulotteisen piste-pilven datasta referenssipisteet käyttäen malleihin perustuvia algoritmeja. (Kim & Kang 2003) Skannattu data voi myös toimia virtuaalisena mallina, jolloin vaatteet voidaan esitellä jälleenmyyjille tai suoraan asiakkaille, jolloin he näkevät vaatekappaleen kokonaisuudessaan ja kolmiulotteisena. Virtuaaliset mallit vähentävät aikaa ja kustannuksia,

joita fyysisen mallin tekemiseen liittyy. Esimerkiksi *Ebay* käyttää tällaista virtuaalimallia. (Liu et al. 2017; Nayak & Padhye 2018 s. 11)

## 2.3 Leikkaus

Automaattisia metodeja on käytetty prosessissa 1970-luvulta saakka, ja nykypäivänä leikkausprosessista on tullut uusien ohjelmistojen ja teknisten laitteiden ansiosta vaatteiden valmistuksen edistynein osa-alue. Prosessilla tarkoitetaan vaatteen eri kappaleiden leikkausta irti kankaasta kaavojen mukaan. Leikkausprosessi vaatii aluksi kankaan levittämistä tasolle, mikä manuaalisesti toteutettuna on aikaa vievää ja työlästä. Massatuotannon lisääntyessä syntyi tarve koneellistaa kankaan levittäminen, jotta tarvittava tuotavuus voitaisiin saavuttaa. Nykyisen automaattisen levitysprosessin pääperiaatteet ovat kuitenkin edelleen samat, kuin manuaalisessa prosessissa. (Vilumsone-Nemes 2012, s. 60; Kumar et al. 2018, s. 369–370; Nayak & Padhye 2018 s. 140–144)

Automaattiset leikkaukoneet voivat leikata kankaista useita tai yksittäisiä kerroksia kerrallaan. Toisin kuin ompelussa, jossa liukkaat ja ohuet kankaat tuottavat ongelmia, leikkaukoneet soveltuvat monenlaisille kankaille kevyistä vaatekankaista paksuihin teollisuuskankaisiin. Automaattisen leikkauksen etuja ovat tarkkuus ja täsmällisyys, ja menetelmän avulla on helppo leikata sekä yksin- että monikertaista kangasta. Leikkaus onnistuu jokaisella yrittämällä, sillä ihmisen inhimillinen virhe on poistettu. Automaattisia levityskoneita tarjoavat useat yritykset, kuten Lectra, Gerber ja *Kuris*. (Karthik et al. 2016, s. 75–96; Nayak & Padhye 2018 s. 11, 142)

Kangas levitetään usein useassa kerroksessa. Prosessi tapahtuu koneella, joka kontrolloi kankaan syöttöä ja kuljetusta sekä varmistaa, ettei kankaaseen pääse syntymään jännitystä. Koneen tärkeimmät osat ovat kankaan syöttöjärjestelmä, kuljetin, automaattinen leikkauslaite, kankaan pään kiinnitin, työtaso, operaattorin korokepaneeli, ohjauspaneeli ja koko prosessia ajava enkooderi. Syöttöjärjestelmän tehtävänä on rullata kangasta auki ja siirtää sen pöydän päälle. Kankaan kuljetin puolestaan varmistaa kangasrullan liikkumisen pöydän yli pitkittäis- ja poikittaissuunnissa. Se koostuu kahdesta osasta: rungosta, joka mahdollistaa pitkittäissuuntaisen liikkeen ja palkista, joka kuljettaa kangasta poikittaissuunnassa ja säätelee kankaan kerrosten määrää. Kuljettimeen kiinnitetty leikkauslaite liikkuu servomoottorien avulla säädettävällä nopeudella, ja sen terä voidaan teroittaa automaattisesti. Leikkaus toteutetaan staattisella tai liukuhihnapöydällä, joka mahdollistaa jatkuvan leikkauksen. Pöytiin on yhdistetty imusysteemi, joka auttaa pitämään kankaan kerrokset paikoillaan. Koneeseen sisältyvä koroke sallii operaattorin liikkeen pöydän reunalla prosessin aikana. (Vilumsone-Nemes 2012, s. 60–69; Karthik et al. 2016, 75–96; Nayak & Padhye 2018, s. 144–151)

Prosessi ohjelmoidaan syöttämällä halutut parametrit, kuten kankaan pituus, leveys, kerrosten määrä, levitysnopeus ja jännitys, leikkauskoneen kontrollipaneeliin. Edistyneissä koneissa kontrollipaneeliin voidaan lisätä materiaalin ominaisuudet, jolloin prosessin parametrit lasketaan automaattisesti ja leikkauspolku näkyy koneen näytöllä. Tämän jälkeen kone leikkaa kankaan jokaisen kerroksen, laskee kerrokset ja lopettaa kun tarvittava määrä kangasta on leikattu. Kone voi myös hidastaa tarvittaessa, kun se saavuttaa kankaan reunat ja tarkistaa, että kankaat ovat oikeassa linjassa. Prosessi voi olla osittain tai kokonaan automatisoitu. Osittain automatisoidussa prosessissa operaattori liikkuu pöydän vieressä joko kävellen tai istuen ja seuraa prosessin kulkua. Operaattori tasoittaa kankaan ja havaitsee mahdolliset prosessin aikana ilmaantuvat virheet. Täysin automaattista prosessia, jossa operaattori ainoastaan ohjelmoi leikkauksen, käytetään korkealaatuisille ja helposti levittyville kankailla. Kun kaikki leikatut vaateen kangaskomponentit on leikattu ja asetettu säilytysalueelle, operaattori lastaa ja ryhmittelee ne. (Vilumsone-Nemes 2012, s. 70–71; Kumar et al. 2018, s. 369–371; Nayak & Padhye 2018, s. 12, 146)

Leikkauksessa käytettävä suunnitteluohjelmisto yhdistää tehtaan toiminnanohjausjärjestelmän, kankaan käsittelyjärjestelmän, CAD:n ja CAM:n ja välittää informaatiota näiden välillä. Suunnitteluohjelmistoja kehittävät esimerkiksi Lectra (*Optiplan*), AMS (*Cut plan*) ja Option Systems (*Cutting Room Planning*). Ohjelmistot käyvät läpi erilaisia kaava-arkkien leikkaussuunnitelmaskaarioita nähdäkseen niiden vaikutuksen kankaan kulutukseen, leikkausaikaan ja tuottavuuteen. Leikkausohjelmisto on siis yhteydessä myös kaavojen asetteluun suunnitteluun. Järjestelmä on suunniteltu ensin käyttämään jo olemassa olevia suunnitelmia datakirjastosta, ja vasta sen jälkeen lähettämään pyynnön CAD-ohjelmalle uusien kaava-arkkien tarpeesta. Ohjelma luo optimaalisen leikkaussuunnitelman, jossa se ottaa huomioon kankaan laadun ja levittämässä käytettävän teknologian. Suorittaakseen luodun leikkaussuunnitelman järjestelmä valitsee varastodatan avulla ensimmäisenä sellaiset kangasrullat, jotka voidaan käyttää täysin. Sen jälkeen ohjelmisto valitsee rullat, jotka johtavat mahdollisimman pieniin hukkapaloihin. Jos käytävissä on aikaisempia kangasjäätteitä, myös niitä voidaan käyttää huomioiden ensin kaikista pienimmät palat. Järjestelmä voi määrittää kuinka se asettelee ja leikkaa valitun kankaan, jotta kangasta käytettäisiin mahdollisimman tehokkaasti. Tämän jälkeen järjestelmä generoi optimoidun leikkausaikataulun, joka on synkronoitu ompelusuunnitelman kanssa, tulostaa tuotantoraportit ja lähettää käskyn leikkauskoneelle. Kankaan levitystä ja leikkausta monitoroidaan jokaisessa prosessin vaiheessa viivakoodiskannereiden avulla. Monitoroinnista saatavan datan avulla tuotetaan raportteja, joiden avulla voidaan

valvoa tuotannon suoritustehoa. Kankaan kulutusraportteja voidaan lisäksi käyttää materiaalitarpeen suunnittelussa tai tulevissa tuotantoprosessissa. (Nayak & Padhye 2018 s. 141–142)

Mikäli kankaan kuviot halutaan kohdistaa valmiissa vaatteessa, on tämä otettava huomioon kaavojen asettelussa ja leikkauksessa. Tällöin käytetään apuna automaattisia sovelluksia. Kehittyneimpiä ohjelmistoja ovat esimerkiksi Gerberin *Auto Machining* ja Lectran *Mosaic*. Ohjelmat luovat korkearesoluutioisen digikameran avulla kaavasta kuvan, kun kangasrulla on levitetty leikkauspöydälle. Ohjelmisto analysoi reaaliajassa kaavan muuttuvaa kuvaa, sen tarkkaa positiota ja vääristymiä ja uudelleenlaskee kaavojen geometriaa. Ohjelma myös muokkaa tarvittaessa kankaalle asetettua kaava-arkkia ja aloittaa leikkausprosessin automaattisesti. Kaavojen muutokset toteutetaan asteittain; kun yhtä osaa leikataan, toista osaa kankaasta skannataan ja sen kaavoitusta muokataan. Automaattisen menetelmän etu on se, että alkuperäisten kaavojen geometriaa voidaan muokata rotaatioilla ja siirtymillä reaaliajassa, kun kangas levitetään leikkaustasolle. Menetelmää voidaan kuitenkin käyttää vain yksikerroksiseen kankaaseen. (Nayak & Padhye 2018 s. 147)

Automaattisen järjestelmän leikkauslaite voi suorittaa prosessin käyttäen erilaisia menetelmiä. Kaupallisia menetelmiä ovat leikkaus veitsen laserin tai vesisuihkun avulla.

## **Kankaan leikkaus veitsellä**

Kankaan leikkaus veitsellä on automaattisista leikkausmetodeista yleisin. Prosessi suoritetaan monitoimileikkuripäällä, joka voi toteuttaa monenlaisia operaatioita. Työkalun valinta riippuu leikattavan kankaan materiaalista, leikkausoperaatiosta ja vaadittujen leikkausviivojen asennoista. Kangaskomponenttien profiilit voidaan leikata pyöriväteräisellä, vedettävällä tai värähtelevällä veitsellä. Ensimmäisenä kankaaseen tehdään mahdolliset tarvittavat reiät ja lovet, minkä jälkeen kappaleen ääriviivat leikataan irti. Jokaisen kangaskappaleen voi leikata useilla eri työkaluilla. (Vilumsone-Nemes 2012, s. 108–110; Nayak & Padhye 2018 s. 152)

Pyöriväteräinen veitsi rullaa materiaalin yli, ja sitä käytetään, kun leikataan komponenttien ääriviivoja. Terän halkaisija riippuu materiaalin ominaisuuksista ja leikattavasta muodosta. Vedettävän veitsen terä on terävä, ja siinä on kulma. Kulman suuruus riippuu materiaalin ominaisuuksista. Veistä käytetään yksityiskohtaisten ääriviivojen, terävien kulmien, pienten ympyröiden ja lovien leikkaamiseen. Prosessin aikana veistä vedetään

leikattavan komponentin profiilin mukaisesti. Värähtelevä veitsi suorittaa vertikaalisia liikkeitä ylös ja alas säännöllisessä rytmissä. Veistä käytetään useiden kangaskerrosten, paksujen materiaalien ja monimutkaisten kuvioiden leikkaamiseen. Pyöreitä reikiä voidaan luoda myös rei'ittimen avulla niissä tapauksissa, kun reikiä ei voida toteuttaa helposti tai nopeasti muilla leikkaustyökaluilla. Rei'ittimen halkaisijan koko määrittää reiän koon. (Vilumsone-Nemes 2012, s. 108–110; Nayak & Padhye 2018 s. 152–153)

## **Kankaan leikkaus laserilla**

Laserleikkauksesta on tullut toiseksi yleisin automaattinen leikkausmenetelmä sen korkean tarkkuuden, nopean prosessointinopeuden, joustavuuden ja yksinkertaisuuden vuoksi. Laserleikkaus on kontaktiton eikä siihen tarvita erillisiä teriä. Työkalut eivät siis kulu, eikä niitä tarvitse teroittaa tai vaihtaa. Lisäksi käsiteltävä kangas ei veny tai vääristy leikkauksen aikana. Useat yritykset, kuten *Jeanologia*, *Macsa ID*, *Iberlaser*, *Sei Laser* ja *Puntoart* tuottavat laserleikkureita vaateteollisuuden tarpeisiin. (Karthik et al. 2016, s. 93; Nayak & Padhye 2018 s. 155)

Leikkausprosessissa laserlähteen valo tarkennetaan, vahvistetaan ja kohdistetaan linsin avulla, jotta säde saadaan leikkauspinnalle. Kun lasersäde osuu materiaaliin, kangas absorboi suuren määrän energiaa ja kuumenee välittömästi. Säde suunnataan materiaalia kohti ohjelmoitua leikkauspolkua seuraavalla leikkauspäällä. Laserpää koostuu tarkentavasta linssistä ja leikkaussuuttimesta, joka ohjaa paineilmaa leikkaurakoon. Paineilma poistaa sulaneen materiaalin ja mahdollisen kangasjätteen ja estää höyryjen ja kangaspartikkelien pääsyn optisiin linssihin. Ilma myös viilentää kuumentunutta materiaalia ja siten lisää leikkauksen laatua. Prosessin aikana kangas on kiinnitettynä tasaisesti leikkauspinnalle. Koska leikkauspinnan tulee toimia myös poistojärjestelmänä syntyville savu- ja muille partikkeleille, on metalliverkko yleinen pintamateriaali. Leikkauspinnan alla on imulaite, joka paitsi pitää materiaalia paikallaan, myös kerää leikkauksen aikana syntyviä päästöjä. (Karthik et al. 2016, s. 92; Nayak & Padhye 2018 s. 156)

Laserilla saadaan aikaan erilaisia leikkauspintoja kuten läpileikkausta, hienoleikkausta ja kaiverrusta. Läpileikkauksessa lasersäde sulattaa tai polttaa materiaalin täysin. Hienoleikkauksessa materiaalin päältä leikataan päällimmäinen kerros niin, että muu materiaali jää leikkaamatta. Tekniikalla voidaan toteuttaa esimerkiksi kirjailuja, applikoiteja ja leimoja. Kaiverruksessa lasersäde poistaa vain yhden osan materiaalin pinnasta, jol-

loin kankaan ominaisuudet tai ulkonäkö muuttuvat. Esimerkiksi fleecemateriaaleihin voidaan tehdä kaiverruksia tällä tekniikalla. Menetelmää käytetään myös farkuissa, joissa kangas saadaan muuttamaan väriä. (Nayak & Padhye 2018 s. 157)

## **Kankaan leikkaus vesisuihkulla**

Vesisuihkun avulla tapahtuva leikkaus on universaali erotusmetodi, jota käytetään yhä enenevässä määrin myös vaateteollisuudessa. Tekstiilit ovat pehmeitä materiaaleja, joten niiden leikkauksessa käytetään puhdasta vettä. Leikkausta varten tavallinen hana-vesi paineistetaan ja pakotetaan suuttimen läpi, jotta saadaan aikaiseksi voimakas leikkausvirta. Vesisuihkun nopeus on jopa kaksi ja puolikertainen äänen nopeuteen verrattuna. (Karthik et al. 2016, s. 93–94; Nayak & Padhye 2018 s. 158)

Menetelmä on hyvä, sillä se ei kuumenna kangasta eikä siten aiheuta vaurioita tekstiilikuiduille. Vesisuihkulla on mahdollista toteuttaa hyvin kapeita ja teräviä kulmia, sekä vaikeita muotoja. Kankaaseen ei pääse syntymään epämuodostumia, sillä leikkausvoimat ovat hyvin pienet. Koska vain vesi on kosketuksissa leikattavan kankaan kanssa, erillisiä leikkausvälineitä ei tarvitse huoltaa, teroittaa, vaihtaa tai viilentää, joten ylläpitokustannukset ovat alhaiset. Lisäksi vesisuihku on niin ohut, ettei se pääse kastelemaan kangasta. Myös vedenkulutus on alhainen. Toisaalta menetelmää käytettäessä kankaan reunat voivat joskus tarttua toisiinsa, jolloin kerroksia on vaikea erottaa toisistaan. (Nayak & Padhye 2018, s. 159)

## **2.4 Kankaan käsittely**

Vaatteiden automaattisessa valmistuksessa kankaita on käsiteltävä useassa tuotannon vaiheessa ja niitä on esimerkiksi liikuteltava, pidettävä kiinni, taiteltava ja kohdistettava. Käsittelyyn vaikuttavat materiaalin jäykkyys, kitka ja pitkäikäisyysvenymä. Mitä alhaisemmat materiaalin arvot ovat, sitä vaikeammaksi käsittely muuttuu. Kankaiden käsittelyyn on kehitetty erilaisia tekniikoita, jotka perustuvat esimerkiksi puristimiin, imuun, jäädyttämiseen tai liimaamiseen. (Nayak & Padhye 2018 s. 17–18)

Vaateteollisuuteen soveltuvat puristimet ja pidikkeet eroavat yleisistä robottipuristimista, sillä niiden on sovelluttava käsittelemään kangasta. On tärkeää, että kangaspala pysyy paikoillaan, eikä rypisty tai muulla tavalla muuta muotoaan. Tällaisia kankaan joustavuuden ja ilmanläpäisevyyden huomioonottavia puristimia on esimerkiksi pneumaattiset ja kankaan lävistävät puristimet. Pneumaattiset puristimet voivat pitää kankaan paikallaan ilman, että ne aiheuttavat vahinkoa kankaalle. Niillä on kuitenkin hankala tarttua vain

yhteen kankaaseen kerrallaan, koska pneumatiikan hienosäätö ja kontrollointi on vaikeaa. Kankaat lävistävissä kiinnikkeissä, esimerkiksi neuloissa, on puolestaan kankaan vaurioitumisen riski. Säätelämällä lävistyksen syvyyttä kiinnikkeet kuitenkin kykenevät tarttumaan juuri haluttuun määrään kangasta. Optimaalisin puristin voidaan määrittää konenäköön ja sen kuvankäsittelyyn perustuvilla tekniikoilla. Konenäkömoduuli tunnistaa sekä kankaan muodon, että kaavamerkinnot. Käsittelyssä kankaaseen tartutaan, sitä siirretään ja se vapautetaan, minkä jälkeen verrataan reaaliaikaisesti kankaan muodon CAM-kuvia ennalta suunniteltuihin CAD-kuviin. (Lee et al. 2021)

Erilaisiin käsittelymenetelmiin sisältyy sekä hyviä että huonoja puolia. Kitkaan perustuvissa menetelmissä kankaan dimensioiden on oltava stabiileja, minkä lisäksi menetelmän soveltuvuuteen vaikuttaa kankaan jäykkyys. Imuun perustuvissa menetelmissä on hankala käsitellä huokoisia kankaita, kuten verkkoja. Liimakiinnitysmenetelmissä taas liitosaine on poistettava jälkeensä. Jäädäyttäminen voidaan toteuttaa kaikenlaisille kankailla, mutta tällöin tarvitaan lisäaikaa materiaalin jäädäyttämiseen ja lämmittämiseen. Kaupallisia kankaankäsittelylaitteita ovat esimerkiksi *Clupicker* ja *Polytex*, joista *Polytexin* menetelmä perustuu yhden kangaskappaleen nappaamiseen kerrallaan neulojen avulla ja *Clupicker* toimii ihmisen sormia muistuttavalla nipistysmenetelmällä. Kun *Clupicker* on ohjelmoitu tarttumaan yhteen komponenttiin, sen on kuitenkin vaikea tarttua kaikkiin vaatteiden kangaskappaleisiin. Kaupallisten laitteiden kehittyminen on hidasta, sillä alkuperäiset laitteiden tuottajat eivät tuota tutkimusta laitteiden ongelmien parantamiseksi ja kvantitatiivista dataa on vähän. (Nayak & Padhye 2018 s. 16–17, 169)

## 2.5 Ompelu

Ompelu on tärkein tekstiilejä yhdistävä teknologia, ja se kattaa 85 % kaikista kankaiden yhteenliittomenetelmistä. Sen tekniikka ei ole muuttunut radikaalisti satoihin vuosiin, ja suuri osa nykypäivinä käytetyistä metodeista vaatiikin melkein yhtä paljon työtä kuin 1900-luvun alussa. (Lee et al. 2021) Ompelutekniikan kehittämisessä on kuitenkin havaittavissa kolme vaihetta: koneistuminen, automaatio ja robotiikan käyttö (Glock & Kunz 2000). Automaattisen ompelun tarve syntyi 1980-luvulla, kun Yhdysvalloissa yritettiin etsiä menetelmää, jolla voitaisiin valmistaa armeijan vaatteita nopeasti ja tehokkaasti. The Defense Logistics Agency käyttikin yhdessä Yhdysvaltojen yliopistojen kanssa vuosina 1986–1987 3,2 miljoonaa dollaria projektiin, jossa kehitettiin vaatteiden valmistusta ja lisättiin teknologian käyttöä. (Casten 1987, Nayak & Padhye 2018 mukaan)

Ompeluoperaatio voidaan jakaa lastaamiseen, ompeluun ja vaatteiden poistamiseen ompelupisteeltä. Lastaaminen sisältää kangaspalojen poimimisen, kohdistamisen, mahdol-

lisen taittamisen ja asettamisen paininjalan alle. Operaatiota ei ole automatisoitu kaupallisilla työpisteillä. Automatisoinnin toteuttaminen vaatisi visuaalisia- tai kosketussensoreita, jotka kykenisivät identifioimaan kankaan oikean ja nurjan puolen, erottamaan kangaskerrokset ja tarttumaan yksittäiseen kankaaseen kangaspinossa. Ompelu sisältää neulan liikkeen ja satunnaiset pysähdyksen ohjauksen, mittauksen tai käännöksen kohdalla, kunnes sykli on valmis. Riippuen ommeltavien vaatekappaleiden koosta, poislas-taamismekanismi voi nostaa, ripustaa, liu'uttaa tai viikata vaatteet ompelun jälkeen. Vaatteiden vastaanottolokerot sijaitsevat koosta riippuen joko ompelukoneen takana tai työpisteen sivulla tai alla. (Nayak & Padhye s. 200–217)

## Ompelukonetyypit

Teollisia ompelukoneita on kahdenlaisia, jatkuvia ja sylisiä. Molempien konetyyppien kinematiikka koostuu neljästä synkronoidusta mekanismista: langannostin-, neulan lävistys-, kankaan syöttö- ja alalangan koukun pyörismekanismista. Jatkuvassa ompelukoneessa kankaan syöttömekanismi on lineaarinen ja syklisessä epälineaarinen. (Nayak & Padhye 2018, s. 200)

Jatkuvan ompelukoneen kaikki neljä mekanismia on synkronoitu pääakseliin, joka kulkee koneen läpi vasemmalla sijaitsevasta käsipyörästä koneen oikeaan päähän. Akselia pyöritetään joko manuaalisesti käsipyörällä tai käyttäen hihnaa, joka saa voimansiirtonsa polkimen kampiakselista tai sähkömoottorista. Kaikissa teollisissa ompelukoneissa on sähkömoottori, joka on sijoitettu ompelukoneen alarunkoon. Jatkuvalla ompelukoneella ompelu suoritetaan manuaalisesti lukuun ottamatta yksittäisiä automaattisia prosesseja, joita on selvennetty myöhemmin tässä luvussa. (Nayak & Padhye 2018, s. 200–203)

Sykliset ompelukoneet suorittavat ompelutyön nimensä mukaisesti lyhyissä, automaattisissa sykleissä, joiden ompeleiden määrä on ennalta ohjelmoitu. Koneet ovat puoliautomaattisia, sillä operaattoria tarvitaan vaatteiden sijoittamiseen paininjalan alle ja koneen aktivoimiseen. Ompelun aikana kangasta pidellään kiinni kontrolloiduilla puristimilla tai sapluunoilla. Syklisiä ompelukoneita käytetään yleensä yksittäisten operaatioiden suorittamiseen, esimerkiksi nappien, napinläpien ja langalla kirjottujen kuvioiden ompeluun. Riippuen suoritettavasta operaatiosta, ompelukoneen päällisosan muoto vaihtelee. (Carr & Latham 2000; Nayak & Padhye 2018 s. 204–205)



## Kaupallisten ompelukoneiden automaattiset ominaisuudet

Kaupallisissa ompelukoneissa voi olla automaattisia, ohjattavia ominaisuuksia, kuten neulan asetus, peruutusompelu, ompeleiden laskeminen, alalangan seuraaminen ja langan pään leikkuri. Neulan asetusominaisuus nostaa tai laskee neulan automaattisesti, kun kone on pysäytetty ilman, että operaattorin on manuaalisesti pyöritettävä käsipyörää. Peruutusominaisuuden avulla voidaan toteuttaa ennalta ohjelmoitu määrä peruutusompeleita sauman alkuun tai loppuun niin, että operaattorin ei tarvitse käyttää peruutusvipua. Manuaalisessa ompelussa operaattori usein hidastaa suorittaessaan tarkkaa kohtaa, kuten käännöstä tai kulmaa. Koneen voi kuitenkin ohjelmoida pysähtymään automaattisesti, kun ennalta määrätty määrä ompeleita on suoritettu. Näin voidaan säästää aikaa, ja operaattorilla on mahdollisuus pysähtyä tarkkuutta vaativissa kohdissa. Kone myös leikkaa automaattisesti ompelun päätyttyä sekä ylä- että alalangan niin, että päät jäävät hyvin lyhyiksi, eikä niitä tarvitse manuaalisesti lyhentää. (Kumar et al. 2018 s. 370–379; Nayak & Padhye 2018 s. 219)

Ompelukone, jossa on automaattinen puolan vaihtaja tarkastaa, kuinka paljon lankaa ompelukoneessa on jäljellä ja kun lankaa on kulunut ennalta ohjelmoitu määrä, puola vaihdetaan uuteen robotin avulla. Automaattinen puolanvaihtaja esitettiin ensimmäisen kerran vuonna 1995, jolloin käytettiin vain kahta puolaa. Tällöin toisen puolan ollessa käytössä toista puolattiin täyteen lankaa. Philippe Mall Saksasta ja *Kinoshita* Japanista esittelivät samanaikaisesti automaattisen puolanvaihtajan, jossa täytetyt puolat ladataan ensin ompelukoneeseen kiinnitettyyn lokerikkoon. Yleensä puolalokerikossa on kahdeksan paikkaa, joista seitsemään on sovitettu täysi puolakotelo ja yksi paikka on vapaana vaihtoa varten. Ompelua varten jäljellä oleva lanka, langan paksuus ja pistojen pituus asetetaan automaattisen puolantarkastajan kontrollipaneeliin. Automaattinen tunnistin tarkistaa jäljellä olevan langan määrän säännöllisin väliajoin ompelun aikana. Kun jäljellä oleva lanka saavuttaa alhaisimman sallitun pisteen, alalanka katkaistaan ja kone pysähtyy. Pysähdyksen aikana robottikäsi vaihtaa tyhjän puolan uuteen, ja kone on taas toimintakuntoinen. Kahdeksan puolan lokerikko voi kestää jopa 2 ja puoli tuntia jatkuvaa ompelua. Menetelmä on tehokas paksun langan ompelemisessä ja työssä, jossa alalanka on vaihdettava usein. Lisäksi automaattinen puolanvaihtaja ehkäisee ompelun viikoja ja vähentää työntekijän henkistä rasitusta. (Kumar et al. 2018 s. 181; Nayak & Padhye 2018 s. 220–221)

## 3. AUTOMATISOINNIN HAASTEET JA MAHDOLLI-SUUDET

Vaatteiden valmistuksen koko tuotantoprosessin automatisoiminen ei ole ongelmattonta ja siihen liittyy useita haasteita. Parschau & Hauge (2020) toteaa, että paikoin automatisoinnin ennusteet ovat optimistisia ja niissä aliarvioidaan esimerkiksi ompelutyön haastavuutta. Myös Nayakin & Padhye (2018, s. 8) mukaan vaateteollisuuden koko tuotannon automatisointiin kuluu vielä aikaa. Automaatio tuo kuitenkin mukanaan monia hyötyjä sekä mahdollisuuksia. Uudet teknologiat voivat tuoda kilpailuetua, parantaa tuotettujen vaatteiden laatua sekä lisätä tehokkuutta. Lisäksi automaatiolla voi olla positiivisia vaikutuksia ympäristöön ja työllisyyteen.

### 3.1 Automaattisen ompelun rajoitteet

Automaation rajoitukset tulevat vaatteiden tuotannossa vastaan kankaan leikkauksen jälkeen. Vielä kehitteillä oleva robottiompelu, jossa kankaat on jaettava erilaisiin osiin ja useita palaosioita on käsiteltävä kerralla, on jäänyt automatisoinnissa jälkeen muita tekstiilikäsittelyn vaiheita. (Altenburg et al. 2020) Haastetta tuovat erityisesti kankaan käsittely ja ompeluoperaation nopeus. Ompelukone tikkaa noin 5000 tikkiä minuutissa, joten kangasta tai ompelukonetta käsittelevien laitteiden on oltava liikkeessään nopeita. (Lee et al. 2021) Kankaan käsittely on vaikeaa, sillä kangas muuttua helposti muotoaan, mikäli sitä ei ole pingotettu tai kiinnitetty tarpeeksi hyvin. Koska kankaan vetoa ja luistoa ei voida vielä kontrolloida täysin tarkasti automaattisilla laitteilla, saumat voivat rypistyä ompelun aikana. Lisäksi automaattisen ompelun korkea nopeus kuumentaa ompeluneulaa, mikä voi johtaa virheisiin ompelussa ja vaatteissa. (Nayak & Padhye 2018, s. 18)

Kaikenlaiset tyyli- ja suunnitteluratkaisut eivät ole mahdollisia ainakaan nykyisellä teknikalla, joten tuotettavien vaatteiden tyyli on pidettävä suhteellisen yksinkertaisena (Lee et al. 2021). Kohtalaisen nopeaa edistystä voidaan olettaa yksinkertaisimmissa vaatteissa, kuten farkuissa ja t-paidoissa. Vaatteita, jotka sisältävät hankalampia ompeluoperaatioita, kuten drapeerausta ja esimerkiksi pukuompelussa tarvittavaa useiden kerrosten ompelua, ei voida vielä valmistaa automatisoidusti. Näiden operaatioiden laatu ei vielä täytä tyydyttäviä vaatimuksia. Pienikin materiaalin muutos, kuten elastaanisen langan lisääminen tuo eksponentiaalisen vaikutuksen ompelun suorittamisen vaikeuteen. Tämä puolestaan voi johtaa kulujen kasvuun ja laadun heikkenemiseen. Vaatteen tyyli ja suunnittelu vaikuttavat myös automatisoinnin edellytyksiin. Esimerkiksi yritys, joka tuottaa

kauluspaitoja, voi ottaa käyttöönsä jo olemassa olevia laitteita, jotka automatisoivat esimerkiksi kauluksen yhdistämisen muuhun paitaan. Näitä laitteita on jo saatavilla kilpailukykyisin hinnoin. (Nayak & Padhye 2018, s.8) Mikäli vaate on suunniteltu niin, ettei kyseiselle mallille ole olemassa olevaa teknologiaa, on automatisoitujen ratkaisujen implementointi kalliimpaa.

Vaikeiden ompeluoperaatioiden ja materiaalimuutosten lisäksi materiaalien ominaisuudet voivat aiheuttaa ongelmia, sillä ne muuttuvat riippuen lämpötilasta ja kosteudesta, eivätkä tehtaiden olosuhteet usein ole täsmällisesti kontrolloituja (Nayak & Padhye, 2018 s. 18). Haasteellista on myös erilaisten materiaalien yhdistäminen. Kahden ominaisuuksiltaan erilaisen kankaan yhdistäminen vaatii päivityksiä ohjelmistoissa ja koneiden järjestelmissä, mikä tuo lisäkuluja. Konevalmistajien on investoitava sekä uusiin ja tarpeeksi kyvykkäisiin digitaalisiin järjestelmiin, että fyysiseen laitteistoon ja koneistoon. (Altenburg et al. 2020) Kaikki kangastyypit huomioon ottavan laitteen suunnittelu on hyvin vaikeaa (Nayak & Padhye 2018 s. 18).

Olemassa olevat manuaalista operointia vaativat ompelukoneet ovat mukautuvia ja kyvykkäitä joustaviin säätöihin. Koneiden hinta on noin 3–5 tuhatta euroa kappaleelta. (Altenburg et al. 2020) Teknologian kehittymistä hidastaakin se, että tavanomaiset ompelukoneet ovat yhä markkinoilla kilpailukykyisiä, toimivia ja kysytyjä. Lisäksi yritykset voivat yhä tehdä suurta voittoa myymällä tavallisia koneita tavanomaisille vaatteiden masatuottajille.

### **3.2 Vaatteiden mallien muutokset**

Vaatteissa on suhteellisen vähän osia verrattuna moneen muuhun teollisuustuotteeseen. Vaatteiden tyyli ja ulkomuoto muuttuvat kuitenkin usein, ja lisäksi on huomioitava, että jokaisesta mallista on yleensä useampi koko. (Lee et al. 2021) Muodilla on vuodessa neljä kautta, jonka aikana vaatemallistot vaihtuvat. Esimerkiksi vaatemerkki *Zara* tuottaa noin 20 000 uutta tyyliä vuoden aikana (CB Insights 2020). Vaatevalmistajien on siis suoriuduttava erittäin useasta mallin muutoksesta lyhyiden aikavälien sisällä. Altenburgin et al (2020) mukaan pikamuoti ja robottiautomaatio voisivat kuitenkin täydentää toisiaan, sillä erilaiset tuotteet voivat nojata samoihin teknisiin seikkoihin tuotannossa, esimerkiksi ompelussa.

Muotisykliä käydessä lyhyemmiksi tuotannon on oltava joustavaa ja mukautuvaa, jotta se kykenee tuottamaan lukuisia erilaisia vaatekappaleita ja vastaamaan markkinoiden kysyntään. Tehokkaat kommunikaatiojärjestelmät, jotka esimerkiksi linkittävät tehtaan

reaaliajassa myyntipaikkaan, ovat näin ollen välttämättömiä. Vaikka digitaalisen elektronikan käyttö on auttanut saavuttamaan enemmän joustavuutta tuotannossa, eivät automaattiset laitteet vielä kykene joustavaan prosessiin, joka ilman suurta vaivaa kykenisi sallimaan tuotantolinjan muutokset. (Bhardwaj & Fairhurst 2009; Nayak & Padhye 2018 s. 20)

### 3.3 Vaatteiden laatu

Automatisoiduilla prosesseilla tuotettujen vaatteiden on saavutettava vähintään sama markkinoiden vaatima laatu, kuin ihmisten tekemänä. Erityisesti ompeluprosessi nojaa yhä osittain vahvasti ihmisen tekemään työhön, ja ompelurobottien tuottama laatu on heikkoa. Tämä estää automaattisten ratkaisujen kaupallistamista. Kehitteillä on kuitenkin prototyyppejä, jotka kykenevät valmistamaan laadukkaita tuotteita. (Lee et al. 2021)

Tulevaisuudessa pyritään yhä pienempään hukkaan, ja Altenburgin et al. (2020) mukaan automaattisen teknologian avulla virheellisten tuotteiden määrä putoaakin hyvin pieneksi. Altenburg et al. (2020) ennustaa, että valinnassa automaation ja ihmisen tekemän työn välillä laatuksymys nousee kustannuskysymyksen edelle. Vaikka laatu aiheuttaa haasteita, sen parantuessa tuotannossa syntyy vähemmän hukkaa, tuottavuus paranee ja läpimenoaika pienenee. Nayakin & Padhyen (2018 s. 19) mukaan on selvää, että automaatio alentaa tuotannon kokonaiskustannuksia lisäämällä tuotannon tehokkuutta ja alentamalla virheiden määrää. Ihmisen tekemässä työssä inhimillisiltä virheiltilä ei täysin voida välttyä, vaikka työntekijä olisi ammattitaitoinen. Esimerkiksi manuaalisella teollisella ompelukoneella tehtävä työ vaatii ompelijalta suurta tarkkuutta. Robotti kykenee toistamaan työvaiheen täsmälleen samalla tavalla, mihin ihminen ei kykene. Onkin oletettavaa, että kehitys kaavoituksessa, ompelutekniikassa ja automaatiojärjestelmissä voi tuottaa lähitulevaisuudessa nykyistä parempaa ja tasaista laatua. (Lee et al. 2021)

Esimerkiksi kankaan laadun varmistamisessa automaatio lisää prosessin tarkkuutta ja tehokkuutta. Manuaalisessa arviointiprosessissa arvio on subjektiivinen ja siihen vaikuttavat psykologiset tekijät, kuten väsymys ja tarkastajan muu fyysinen olo. Inhimilliset virheet puolestaan voivat johtaa viallisiin vaatteisiin. (Nayak & Padhye 2018 s. 19)

Digitaaliset teknologiat mahdollistavat jatkuvan laadun tarkkailun sekä monitoroinnin ja jäljittämisen tuotantoprosessin jokaisessa vaiheessa. Tällöin mahdollisiin virheisiin voidaan tarvittaessa puuttua nopeasti ja minimoida virheen aiheuttamat vahingot. Jatkuva monitorointi myös pienentää tuotannon riskejä. (Altenburg et al. 2020) Manuaalisen työn vähentäminen pienentää lisäksi tuotteiden epätoivottua variaatiota. Kun vaatteita tekevät

eri ihmiset, eroavaisuuksia ilmenee saman tuotteen sekä tuotteen eri erien välillä. (Nayak & Padhye 2018 s. 19)

### 3.4 Investoinnit uuteen teknologiaan

Vuonna 2017 vaate- ja tekstiiliteollisuuteen myytiin globaalisti 443 kappaletta robotteja, mikä oli vain 0,35 prosenttia autoteollisuuden vastaavasta luvusta (Altenburg et al. 2020). Globaalin digitalisaatiota koskevan kyselytutkimuksen mukaan useimmat yritysten tekemät investoinnit kohdistuvat data-analytiikkaan, ERP-järjestelmiin, materiaalin ja tuotteiden jäljittämiseen ja älykkäisiin sensoreihin robottien ja automatisoitujen koneiden sijaan. (WTIN 2018) Vaatealan automaatio tarvitseekin lisää tutkimusta ja uusien teknologioiden kehittämistä. Osittaista automaatiota toteutetaan asteittain. (Lee et al. 2021)

Automaation implementoinnilla on useita edellytyksiä. Esimerkiksi teollisuudenalan tai toimialan koolla on merkittävä vaikutus siihen, miten laajalti automaatiota otetaan käyttöön. Pienien alojen etuja ovat joustavuus, kyky nopeisiin muutoksiin, ja sopeutuvuus. Tuotteiden volyyymi voi kuitenkin olla esteenä pienemmällä markkinoilla, sillä sen on oltava tarpeeksi suuri, jotta automaatio olisi kannattavaa. Suuremmilla aloilla automaatio voidaan ottaa käyttöön nopeammin, sillä tuotantovolyyymi kompensoi automaatioon investointiin tarvittavia kuluja. Suuret alat voivat lisäksi laittaa resursseja tutkimukseen ja kehitystyöhön. (Nayak & Padhye 2018 s. 7)

Yrityksen resurssit ja teknologian investointiin varattu budjetti vaikuttavat suoraan teknologian tasoon. Tuottavalla ja kannattavalla yrityksellä on hyvät edellytykset implementoida automaatiota tuotantoonsa, sillä tällöin yrityksellä on käytössään esimerkiksi rahallisia resursseja, joilla investoida uuteen teknologiaan. (Nayak & Padhye 2018, s.8). Useimmat edistyneet teknologiat ovat kalliita, joten pienien yritysten hankala saavuttaa teknologista kilpailuetua. Lisäksi yritykset voivat kokea, ettei automatisointiin panostaminen ole välttämätöntä, sillä halpaa työvoimaa on vielä saatavilla osassa kehittyvistä maista. (Lee et al. 2021; Parchau & Hauge, 2020)

Teknologiaan investoimisen lisäksi käytössä olevat koulutus-, asennus- ja huoltoresurssit ovat tärkeitä. Automaatiota ei voida hyödyntää, mikäli työntekijöillä ei ole tarvittavaa tietotaitoa ja ymmärrystä teknologiasta eikä heitä ole koulutettu laitteiden käyttöön, huoltoon ja korjaamiseen. Nykypäivän teollisuusyritykset vaativat työntekijöiltään ja operaatoreiltaan monipuolisia taitoja. Osaavan työvoiman saatavuus auttaa uusien teknologioiden adaptoimisessa. Uutta teknologiaa on vaikea implementoida, mikäli yrityksellä ei ole osaajia, joilla on tarvittava tietotaito ja ymmärrys teknologiasta. Toisaalta automaattiset

työvälineet ja koneet voivat myös auttaa tuotannon työvoimapulassa. (Nayak & Padhye, 2018, s.8)

Automaation implementointiin kuuluvat myös usein suuret tutkimuksen ja kehityksen kustannukset, joten voi kestää kauan, ennen kuin automaatiosta aiheutuvat säästöt reaalisoituvat. Lisäksi automaattisten laitteiden huoltokustannukset ovat korkeat. Laitteet tarvitsevat varaosia ja osaavia ihmisiä korjaus- ja huoltotehtäviin, sillä tuotanto voi viivästyä automaattisen laitteen rikkoutuessa tai toimiessa ei-toivotulla tavalla. Automaattisen koneen tai laitteen korjaamisen voi kulua paljon aikaa, ja koko linja kärsii toimimattomasta tai väärin toimivasta laitteesta. (Nayak & Padhye 2018 s. 20)

Yrityksen johto päättää yrityksen toimintatavoista ja hallinnoi yrityksen ulkosuhteita. Johto tekee strategisia päätöksiä ja suunnitelmia yrityksen kehityksestä ja tutkimuksesta sekä viennistä ja innovaatioista. Yrityksen automaation taso riippuu siis osittain siitä, millaisella asenteella johto siihen suhtautuu. Mikäli johto on sitoutunut ja kiinnostunut kehittämään teknologiaa, näkyy tämä myös tuotannon puolella. (Nayak & Padhye, 2018 s. 7)

Investoinnit vaikuttavat yrityksen tuottavuuteen ja sitä kautta kilpailukykyyn. Kansainvälisillä markkinoilla kilpailukyky määräytyy osaltaan sen mukaan, miten kehittyneitä teknologiaa ja automatisoituja työvälineitä käytetään projektien suunnittelussa, tuotannossa, toimitusketjussa ja jälleenmyynnissä. Yritykset voivat näin ollen uusien automaattisten ratkaisujen avulla ylittää globaalien markkinoiden vaatimuksiin korkeasta laadusta ja alhaisista kustannuksista. Yritys, joka toimii vain kotimaisilla markkinoilla voi hyvinkin pärjätä ilman automaattisia koneita, kun taas vientiyritykselle on tärkeämpää käyttää edistynyttä teknologiaa. Vaateteollisuuden globalisoitumisen myötä kilpailu on kovaa ja kilpailullinen ilmapiiri voi jopa antaa sysäyksen uusien teknologioiden käyttöönotolle. (Nayak & Padhye, 2018 s. 7)

Palaniswamy Rajan, Softwear Automationin puheen- ja toimitusjohtaja on esittänyt, että robotisoidun ompelun etuihin kuuluvat kustannusten pienenemisen ja globaalien kilpailuedun lisäksi tuotannon joustavuus. Robotisoidujen järjestelmien avulla voidaan tehdä yksittäisiä vaatekappaleita kerrallaan, mikä lisää joustavuutta ja mukautuvuutta. Tavantavallisessa tuotannossa tuotantoerillä on jokaiselle vaatekoolle ja -mallille minimikappalemäärät, jotta tuotantokustannukset pysyisivät halutulla tasolla. Vaatteiden tuottamisessa yksi kerrallaan etuna on se, ettei kustannustehokkuus kärsi, vaikka vaatteesta tehtäisiinkin variaatioita. Robotille ei ole ongelma, jos jokainen vaatekappale on esimerkiksi eri kokoa. (Luce 2018) Tämä tosin vaatii sen, että automaattinen valmistuslinja ja robotit ovat sillä tasolla, että ne kykenevät mukautumaan esimerkiksi tekstiilin koko- ja muotoeroihin.

Kun tuotannon tuottavuus nousee, myös varaston kiertonopeus kasvaa. Manuaalisissa operaatioissa raakamateriaalit, leikatut komponentit ja keskeneräiset vaatteet joutuvat odottamaan pidempään ennen kuin ne jalostetaan valmiiksi tuotteeksi. Näin ollen automaation avulla voidaan lisätä varaston vaihtuvuutta ja sitä kautta myös liikevaihtoa. (Nayak & Padhye 2018, s. 19)

### 3.5 Tuotannon kestävyys

Vaateteollisuuteen liittyy useita ympäristöön ja tuotannon ekologiseen ja eettiseen kestävyteen liittyviä ongelmia. Esimerkiksi ympäristöressurssien käytöstä, saastuttamisesta ja osallisuudesta ilmastonmuutokseen ollaan huolissaan. Vaateteollisuus on vastuussa yli miljardin tonnin vuosittaisista kasvihuonekaasupäästöistä, suuresta veden kulutuksesta ja mikromuovien kulkeutumisesta veteen. Huoli on vaikuttanut koko teollisuudenalaan, ja erityisesti pikamuotiin. (Altenburg et al. 2020)

Automaatio voi olla osa ratkaisua vaateteollisuuden kestävyysongelmassa, uusien teknologioiden korvatesa vanhoja menetelmiä. Suuri ekologinen jalanjälki syntyy muun muassa vintage-farkkujen kankaan käsittelystä, jossa kankaan pinnasta pyritään tekemään kuluneen näköinen. Digitalisoidut materiaalien prosessointiteknologiat voivat vähentää vaatteiden tuotannossa syntyvää jätettä ja parantaa resurssien käyttötehokkuutta. Esimerkiksi farkkujen kulunut pinta voitaisiin saada aikaan digitaalisella laserteknologialla. Espanjalainen yritys *Jeanologia* onkin suunnitellut automaattisen prosessin, jolla onnistutaan vähentämään veden kulutusta ja välttämään haitallisia kemikaaleja. (Altenburg et al. 2020)

Positiivisia ympäristövaikutuksia voidaan saada aikaan siirtämällä tuotantoa takaisin lähömaahansa tai lähemmäs valmistuksessa tarvittavia resursseja (Luce 2018). Automaation avulla voidaan saavuttaa läpinäkyvyyttä lyhentämällä tuotantoketjuja, joiden pituus on useiden globaalien yritysten ongelma (Nayak & Padhye 2018 s. 14). Yhdysvalloissa suurin osa tuotannosta on ulkoistettu ulkomaisille toimijoille, missä tuotantokustannukset ovat alhaisemmat muun muassa työntekijöiden huonon palkkatason vuoksi. Lucen (2018) mukaan osa maista, jotka aiemmin tuottivat korkealaatuista ja halpaa työvoimaa ovat vähitellen kasvamassa muistuttamaan taloudellisesti länsimaita. Tällainen maa on esimerkiksi Kiina. Yhdysvaltojen ja halpaa työvoimaa tarjonneiden maiden palkkakuilu pienenee ja samalla halu tehdä pitkäveteistä ja kuluttavaa työtä pienellä palkalla vähennee. Yhdysvallat on maailman kolmanneksi suurin puuvillan tuottaja, mutta silti suurin osa maan puuvillavaatteista on tuotu ulkomailta. Tyypillisesti raakapuuvilla lähetetään jalostettavaksi ulkomaille, jossa siitä tehdään kangasta ja vaatteita. Tämä on kustannustehokkain vaihtoehto, mutta sen kielteiset ympäristövaikutukset ovat suuret. Vaatteiden

tuotanto Yhdysvalloissa on laskenut viimeisen 50 vuoden aikana merkittävästi, eikä maa voi kilpailla hinnassa tai volyymissä nykyisellä työvoimalla. Robotisoitu automaatio tarjoaa kuitenkin keinon, jolla voidaan pienentää työkuukustannuksia ja lisätä suoritustehoa tuottamalla samalla paikallisesti. (Luce, 2018) Automaatio voikin kannustaa yritystä tuottamaan vaatteet paikallisesti sen sijaan, että siirtäisi tehtaan maahan, jossa työvoima on halpaa. Valmiiden vaatteiden kuljetus tehtailta kuluttajille lisää tuotteen hiilijalanjälkeä, joten markkinoiden ja tehtaan läheisyys kestävä valinta. (Altenburg et al. 2020)

### 3.6 Työllisyys

Automatisoinnin vaikutukset vaateteollisuuden työllisyyteen ovat vielä epäselviä. Automaatio voi korvata tuotannossa toistuvan ja yksitoikkoisen ihmisen tekemän työn. Suurin osa yrityksistä käyttää tuotannossaan järjestelmiä, jossa yksittäinen työntekijä suorittaa hänelle määrätyn työn, ja työn valmistuttua toistaa toimenpiteen uudestaan seuraavalle tuotteelle. Työstä tulee monotonista ja toistuvaa, mikä voi johtaa työntekijän väsymiseen keskittymisen herpaantumiseen ja laskevaan tehokkuuteen. (Nayak & Padhye s. 19)

Automaattiset koneet voivat suorittaa usean työntekijän tehtävät, joten ihmisen työhön tekemät kustannukset pienenevät. Tämä voi paitsi auttaa mahdollisessa tuotannon työvoimapulassa, myös johtaa siihen, että monet työntekijät menettävät työnsä. International Labour Organisationin vuonna 2016 teettämän tutkimuksen mukaan on arvioitu, että noin 64 % indonesian ja 88 % Kambodzhan työntekijöistä tekstiili-, vaate- ja kenkäteollisuudessa on riski menettää työnsä automaation vuoksi. (Chang et al. 2016) Ompelessa ja kankaan leikkauksessa automaatio vähentää ihmisoperaattoreiden tarvetta kaikkein eniten. Muutkin tuotannon vaiheet, joihin edistyneet teknologiat, kuten CAD, 3D-vartaloskannaus ja robotiikan sovellukset ovat tulleet avuksi, ovat potentiaalisia alueita, jotka tarvitsevat yhä vähemmän ihmisiä. Yritykset, joilla on tehtaita Euroopassa, Yhdysvalloissa ja Kiinassa, tulevat myös kohtaamaan ongelman, joskin kehittyviä maita pienemmällä tasolla. (Nayak & Padhye 2018 s. 20)

Toisaalta lisääntyneen automaation on ennustettu myös nostavan työllisyyttä, sillä se lisää yrityksen tuottavuutta. Automaatio luo uudenlaisia työnkuvia esimerkiksi automaattisten laitteiden suunnittelussa, asennuksessa ja korjauksessa, mitkä ovat tähän mennessä ylittäneet menetettyjen työpaikkojen määrän. Joidenkin tutkimusten mukaan on kuitenkin mahdollista, että automaatio voi johtaa ammattisektorien sisäisiin siirtymiin ja joidenkin ammattien katoamiseen. Tähän on Parchaun & Haugen mielestä syynä myös yleisesti kasvanut kansainvälinen kilpailu. Toisten tutkimusten ennustaessa työpaikkojen menetyksiä, toiset tutkimukset puolestaan ennustavat ja keskittyvät työvoimaan rakennemuutoksiin ja työntekijöiden uudelleen kouluttamiseen.



Esimerkiksi Etelä-Afrikassa automaatio ei ole tehtyjen tutkimusten valossa johtamassa työpaikkojen menetyksiin. Maa on yksi harvoista kehittyvistä maista, joka on ottanut automaatiota ja uutta teknologiaa käyttöönsä. Työpaikkojen lisääntyminen johtuu kasvanneesta tuottavuudesta, mikä puolestaan lisää kysyntää jälleenmyynnissä, mikä edelleen lisää tuottavuutta. (Parchau & Hauge, 2020) Loppujen lopuksi ei kuitenkaan voida täysin varmuudella sanoa, miten työpaikoille käy (Altenburg et al. 2020).

## 4. TULEVAISUUDENNÄKYMÄT

Automaatio on epäilemättä tekijä, joka tulee muuttamaan globaalia vaateteollisuutta (Altenburg et al. 2020), sillä tulevaisuudessa automaatio ja robottien käyttö tulevat kasvamaan entisestään (Nayak & Padhye 2018, s. 24). Uuden teknologian omaksuminen ja implementoiminen on pitkä sekä jatkuva prosessi, ja uusia ratkaisuja ja lähestymistapoja automaattiseen ompeluun ja vaatteiden tuotantoon kehitetään ja parannetaan jatkuvasti. Altenburgin et al (2020) mukaan ratkaisut vaativat vielä parantamista ennen kuin ne ovat valmiita kaupallisille markkinoille. Asiantuntijoiden mukaan on vielä liian aikaista sanoa, mikä testausvaiheessa olevista vaihtoehtoista osoittautuu parhaaksi, tulevaisuuden vaateteollisuuden määrittäväksi, teknologiaksi.

Vaateteollisuuden kaikkien tuotannon vaiheiden automatisoinnista on eriäviä mielipiteitä. Asiantuntijat ennustavat, että vaateteollisuus saavuttaa aikaisen koko valmistusprosessin laajuisen automaation vuosikymmenen kuluessa. Ennusteiden mukaan Yhdysvaltojen vaateteollisuudessa vuonna 2030 automaation on arvioitu kattavan noin 10–70 prosenttia. Marginaali on kuitenkin suuri, eivätkä ennusteet ole ehdottoman varmoja. (Andersson et al. 2018) Lee et al. (2021) olettaa kaikkien tuotannon vaiheiden kattavan automaation toteutuvan todeksi lähitulevaisuudessa, kun tutkimus erilaisten kankaiden teknologiasta lisääntyy. Toisaalta Nayakin & Padhyen (2018, s. 24) mielestä kokonaan automatisoitu vaatteiden valmistus ei välttämättä tule olemaan mahdollista tuotannon haastavien ominaispiirteiden ja kustannussyiden vuoksi. Vaateteollisuudessa tuotantokustannukset ovat painava tekijä, joten yrityksillä on korkeampi kynnyks investoida kalliisiin automaattisiin koneisiin, mikäli kustannukset pysyvät manuaalisella työlläkin alhaisina. Jos tuotantokustannukset kasvavat perinteisiä menetelmiä käyttäen, tuottajat keskittyisivät automaatioon siirtymiseen kustannusten pienentämiseksi. Myös Leen et al. (2021) mukaan riippuen siitä, kuinka paljon teknologia kehittyy, yli 95 prosentin automaatio vaikuttaa mahdottomalta, sillä vaatetyylit muuttuvat erittäin nopeasti, ja tyylejä ja malleja on lukuisia. Toisaalta kehitteillä on jo tuotantojärjestelmiä, joilla pyritään saavuttamaan sellainen tuotannon taso, jossa ihmisen tekemää työtä ei tarvittaisi lainkaan.

Luvussa käsitetään älykkäitä tehtaita, joissa vaatteita voitaisiin tulevaisuudessa valmistaa. Lisäksi esitellään uusia automaattisia tuotantoratkaisuja kehittäneitä tahoja, jotka voivat olla automaattisen vaatteiden valmistuksen edelläkävijöitä.

## 4.1 Älykkäät tehtaot

Lee et. alin (2021) mukaan älykkäiden tehtaoiden (*eng. Smart Factories*) oletetaan olevan tulevaisuuden vaatevalmistuksen tehdasmuoto. Älykkäissä tehtaissa annetaan funktio jokaiselle tuotantoon liittyvälle objektille, kuten tietokoneille ja roboteille, jotka kommunikoivat toistensa kanssa esineiden ja asioiden internetin (*IoT, eng. Internet of Things*) -laitteiden avulla. Esineiden ja asioiden internet tarkoittaa internetin kautta automaattista tiedonsiirtoa, ohjausta ja etäseurantaa suorittavia järjestelmiä. IoT-laitteet voivat yhdistyä autonomisesti sekä kerätä ja analysoida dataa. Älykkäiden vaateitehtaoiden suunnittelu ja rakennus on jo edistynyt akateemisissa tutkimuksissa. (Patel et al. 2016; Lee et al. 2021)

Älykkäät tehtaot ja niihin yhdistetyt automaattiset järjestelmät voivat auttaa saavuttamaan tasapainon vaatealan kysynnän ja tarjonnan välillä. Vaateiteollisuuden automaation tutkimus on vahvasti keskittynyt vaatteisiin, jotka ovat yksinkertaisia ja joita on helppo valmistaa. Älykkäiden tehtaoiden avulla vaateiteollisuus voisi kuitenkin kehittyä niin, että asiakastarpeet pystyttäisiin täyttämään yhä paremmin esimerkiksi yksilöllisen kustomoinnin avulla, ja tuotteen koko elinkaaren läpinäkyvyys voitaisiin taata. Tulevaisuudessa muoti- ja vaateiteollisuuden oletetaan siirtyvän pikamuodista ja välittömästä tuotannosta malliin, jossa asiakas itse suunnittelee ja tilaa tuotteen, joka on tällöin täysin asiakkaan tarpeiden mukainen. Myös paikalliselle, kustomointiin kykenevälle, tuotannolle ennustetaan olevan kysyntää. (Lee et al. 2021) Älykkäät tehtaot voisivat olla ratkaisu kustomoitujen vaatteiden tuotannolle.

## 4.2 Case-esimerkit

Automaatioon kykeneviä vaateidenvalmistusratkaisuja on kehitteillä, vaikka ne eivät vielä ole kaupallisessa käytössä. Näitä ratkaisuja ovat esimerkiksi *SEWBO*-ompelurobotti, *Softwear Automationin* tuotantolinja sekä *SEWBOT* ja *SINTEF Raufoss Manufacturingin* prototyyppi.

### 4.2.1 Sewbo

Vuonna 2015 yhdysvaltalaisen Sewbo-yrityksen kehittämä SEWBO-ompelurobotti, joka kykenee ompelemaan t-paidan automatisoidusti alusta loppuun saakka, oli virstanpylväs onnistuneessa automaattisessa vaatekappaleen ompelussa (Nayak & Padhye 2018 s. 19). Sewbo on startup-yritys, jolla ei kuitenkaan ole vielä varmistettua kysyntää markkinoilla (Altenburg et al. 2020).

Sewbon vaatteen valmistusoperaatiossa automaattinen kone leikkaa aluksi kaavakappaleet kankaasta, minkä jälkeen kangaspalat kastellaan ja jäykistetään levittämällä kankaalle vesiliukoista ja myrkytöntä polymeeriä. Jäykistäminen tekee kankaan ompelusta helpompaa. Seuraavaksi kankaat asetetaan tasaiselle pinnalle, josta robottikäsi nostaa ne imukuppien avulla ja asettaa ompelukoneelle. Robotti voidaan ohjelmoida tarttumaan tietyn kokoiseen kankaaseen ja asettamaan sen ompelukoneelle toistuvasti. Kun vaatteen tyyliä tai kokoa muutetaan, tarvittavien kangaskappaleiden koko ja ompelu muuttuu, jolloin robotti on uudelleenohjelmoitava. Ompelun jälkeen polymeerijäykiste poistetaan kankaasta ja langasta kuumen veden avulla. Kangas ei kärsi käsittelystä ja säilyttää alkuperäisen pehmeytensä pesun jälkeenkin. Sewbon avulla ei voi työstää kankaita, joiden viimeistely on vettä hylkivää tai esimerkiksi nahkaa, johon on vaikea lisätä polymeeriä jäykisteeksi. (Nayak & Padhye 2018, s. 13; Lee et al. (2021)

Sewbon jäykistämismenetelmää on kritisoitu liian monimutkaisena prosessina, joka lisää sekä kustannuksia että virheiden mahdollisuutta. Lisäksi jäykistettyjen kankaiden suoran ja kaarevan sauman yhdistäminen on erittäin haastavaa, minkä vuoksi menetelmä ei sovellu kaikenlaisille vaatemaleille. (Altenburg et al. 2020)

## 4.2.2 Softwear Automation

Steve Dickensonin perustama Softwear Automation on ompelutekniikkaan ja sen robotisoimiseen keskittynyt Atlantasta kotoisin oleva yritys, joka esitteli vuonna 2017 täysin automatisoidun T-paitalinjan. Yrityksellä on kaupallisia yhteistyökumppaneita ja se on tekemässä sisääntuloa markkinoille. (Altenburg et al. 2020; Lee et al. 2021)

Softwear Automationin tuotantolinjalla vakuumpallo kuljettaa jokaisen kangaskappaleen valmistuksen vaiheesta toiseen. Vakuumpallot voivat liikkua kumpaankin suuntaan, ja kangas liikkuu vapaasti pallon liikkeiden mukana. Kuljettimiin on yhdistetty konenäköjärjestelmä, joka havaitsee vakuumpallon piirteet, ja liikuttaa sitä erittäin tarkasti. (Lee et al. 2021) Konenäköä on implementoitu myös muihin järjestelmän osiin, kuten ompelukoneeseen, joten kone pystyy ompelemaan monimutkaisia ja komplekseja muotoja (Luce 2018). Linjan neljän akselin robottikäteen kiinnitetty kamera kykenee paikantamaan ja seuraamaan yksittäistä lankaa tai kuitua kankaassa 0,5 mm:n tarkkuudella ottamalla kohteesta yli 1000 kuvaa sekunnissa. Kameran kuvat prosessoidaan ohjelmistojen algoritmien avulla. (Altenburg et al. 2020) Kangaskappaleet on levitetty pöydille tasaisesti, millä pyritään vähentämään kankaan rypistymistä ja epämuodostumia. Linjalla käytetään siltanostureita muistuttavia karteesirobotteja, jotka voivat liikkua ainoastaan x-, y- ja z-

suunnissa. Robotit voivat käsitellä ja siirtää kerrallaan jopa neljä kerrosta kangasta riip-puen kankaan painosta ja siitä, millainen kangaspino on. (Luce, 2018)

Ompelussa Softwear automation käyttää Steve Dickensonin julkaisemaa, automatisoi-tua ompelujärjestelmää, SEWBOT:ia. Järjestelmä koostuu automaattisesta ompeluko-neesta, robotista, joka kuljettaa ja liikuttaa kankaita sekä kiinnittimiä, jotka varmistavat kankaan ommeltavuuden. Automaattinen ompelukone voi suorittaa useita erilaisia ompeluu-n liittyviä tehtäviä, kuten kankaan laskostamista ja järjestelyä, kankaiden kiinnittä-mistä toisiinsa sekä tavanomaista ompelua. Robottikuljetin käyttää imua siirtääkseen kankaat nopeasti ompelukoneelle ilman, että kankaat pääsevät rypistymään (Lee et al. 2021)

Linjan metodi poikkeaa aikaisemmista automatisoiduista ratkaisuista siten, ettei se yritä imitoida ihmiskäsiä. Linjalla ei myöskään ole erillisiä pidikkeitä ja kiinnittimiä, joilla kan-gasta käsiteltäisiin ja pidettäisiin paikallaan. (Lee et al. 2021) Lisäksi, esimerkiksi SEWBO:on verrattuna yrityksen käyttämien robottien seurantaominaisuudet visuaalisen tunnistuksen kyvyt ovat erittäin kehittyneitä (Altenburg et al. 2018)

Softwear Automationin tuotantolinja ei tarvitse tuotantoonsa ihmisen avustusta. Järjes-telmällä kestää neljä minuuttia kankaan leikkaamisesta ompeluun ja valmiiseen tuotteeseen, millä voidaan tuottaa 800 000 paitaa vuosittain. Linjan kaupallistamisessa on kui-tenkin muutamia ongelmia. Koska koko prosessi on yhdistetty yhteen kuljetuslinjaan, se tarvitsee paljon yhtenäistä tilaa. Lisäksi robotit voivat käsitellä ainoastaan jäykkiä mate-riaaleja, kuten puuvillaa. (Lee et al. 2021) Softwear Automationin teknologia on vielä toistaiseksi kallista. Yksittäinen robottijärjestelmä maksaa noin 50–100 tuhatta Yhdys-valtain dollaria. Teknologiaa hyödyntää kuitenkin kiinalainen yritys Tinyuan Garments, jonka tehdas sijaitsee Yhdysvalloissa Arkansasin osavaltiossa Little Rockissa. Yrityksen on suunniteltu tuottavan t-paitoja Adidakselle niin, että uusi paita valmistuisi joka 22. se-kunti. Automaatio vähentää työntekijöiden tarvetta ja työmäärää noin 60 %, ja linjalle on kaavailtu kolmesta neljään työntekijää. Tuotannon on arvioitu kasvavan 70 %. Softwear Automation tarjoaa robotisoitua linjaansa myös leasingilla, ja lupaa linjan pystyvän mo-nenlaisiin tekstiilituotteisiin pyyhkeistä mattoihin ja lääketieteellisiin tekstiileihin. (Alten-burg et al. 2018)

### **4.2.3 SINTEF Raufoss Manufacturing**

Norjalainen yritys, SINTEF Raufoss Manufacturing AS kehittää robottiohjattuja ompelu-ratkaisuja automaattisen ompelun tutkimuslaboratoriossaan. SINTEFin julkaisema pro-totyypin koostuu teollisesta C-frame-ompelukoneesta, kahdesta kangasta käsittelevästä

robottikädestä, yhdestä ommeltavia tekstiilejä ohjaavasta ja liikuttelevasta robottikädestä sekä ompelusolusta. Ompelusolussa on kameroita ja sensoreita, jotka havainnoivat jokaisen ommeltavan tekstiilin reunat ja ohjaavat sen avulla kappaleen liikesuuntaa. Kangasta käsittelevät kaksi robottikättä tarttuvat työstettävän palan ylä- ja alareunoihin mekaanisilla kiinnitinpihdeillä, jotka valvovat kankaan jännitystä ja säätävät sitä jatkuvasti tarpeen mukaan. Ompelurobotin liikettä kontrolloidaan reaaliajassa Linus-tietokoneella, robotin operointijärjestelmillä sekä useilla tietokoneohjelmistoilla. (Lee et al. 2021)

SINTEF on onnistunut tuomaan uuden lähestymistavan automatisoituun ompeluun, jossa robottikädet ohjaavat leikattuja materiaaleja ompelukoneen kärjen ja neulan sijaan. Järjestelmän haittana on kuitenkin se, että sekä ompeleen säteen, että koko työtilan suuruus on rajoitettu. Työtilaa rajaavat ommeltavaa vaatetta ohjaavat robotit. Tähän mennessä SINTEF on kehittänyt toimivan prototyypin nojatuolinpäällysteille sekä offshore-turvapuuvuille. Menetelmän kaupallistamista tutkitaan. (Lee et al. 2018)

## 5. REFLEKTOINTI

Työn tavoitteena oli selvittää kirjallisuuden avulla, millaisilla ratkaisuilla ja kuinka laajasti automaatiota hyödynnetään vaatteiden tuotannon eri vaiheissa. Tutkimuskysymyksissä pohdittiin mitkä ovat automaation käyttöönoton edellytykset ja esteet, mitä hyötyjä sekä haittoja uusi teknologia aiheuttaa ja millaisia tulevaisuudennäkymiä automaattiselle vaatteenvalmistukselle on oletettavissa.

Luvussa kaksi käytiin läpi vaatevalmistuksen vaiheet sekä menetelmät, joilla vaiheet on automatisoitu. Samalla selvitettiin, millaisella laajuudella automaatiota pystytään nykypäivänä hyödyntämään. Vaikka kankaan valmistaminen rajattiin aiheen ulkopuolelle, kirjoitusprosessin aikana kävi ilmi, kuinka laaja aihe silti oli. Tästä syystä tuotannon automaattiset ratkaisut on selitetty suhteellisen yleisellä tasolla, mutta kuitenkin niin, että menetelmien peruseriaatteet on pyritty selventämään ymmärrettävästi.

Luvussa kolme vastattiin tutkimuskysymyksiin automaation haasteista ja edellytyksistä sekä hyödyistä ja haitoista. Luku jaettiin alalukuihin tutkimuskysymysten sijaan aiheittain, sillä osa tekijöistä, kuten muun muassa laatu ja uuteen teknologiaan investointi, voitiin lukea sekä haasteiksi että hyödyiksi. Haasteet toimivat myös usein edellytyksinä automaation käyttöönotolle. Esimerkiksi, teknologiaan investoiminen on kallista, mutta välttämätöntä, jotta tuotantoa voidaan automatisoida. Uuden teknologian tapauksessa haaste ja edellytys kääntyvät lopulta myös mahdollisuudeksi parantuneen tuottavuuden ja kilpailuedun myötä. Automaation vaikutus työllisyyteen oli puolestaan lähteiden perusteella luettava sekä hyödyksi että haitaksi, sillä vielä ei ole varmuutta, kuinka työpaikoille automatisaation myötä käy. Kyseisen aiheen jaotteluun olisi myös vaikuttanut se, kenen hyödyistä ja haitoista puhutaan; yritys voi säästää ja parantaa tuottavuuttaan korvaamalla työntekijöitä automaattisilla koneilla, mutta paikkansa menettävän työntekijän näkökulmasta tilanne on haitallinen. Laajemmalla lähdemateriaalien valinnalla olisi saanut todennäköisesti tarkemman kuvan automaation vaikutuksista työllisyyteen.

Luvun otsikoinnilla ja aiheiden jaolla voitiin siis tarkastella yksittäistä tekijää useammasta näkökulmasta sekä ongelmana, edellytyksenä että mahdollisuutena. Haasteita ja edellytyksiä käsiteltiin luvuissa 3.1 Automaattisen ompelun rajoitteet, 3.2 Vaatteiden mallien muutokset, 3.3. Vaatteiden laatu sekä 3.4 Investoinnit uuteen teknologiaa. Hyötyjä ja mahdollisuuksia kuvattiin luvuissa 3.3, 3.4, 3.5 Tuotannon kestävyys sekä 3.6 Työllisyys, ja haittavaikutuksia ainoastaan luvussa 3.6.

Neljännessä luvussa puolestaan pohdittiin tutkimuskysymystä vaateteollisuuden automaation tulevaisuudesta. Kysymys koko tuotannon automatisoinnin saavuttamisesta jäi kuitenkin vielä osittain avoimeksi, ja lähdemateriaalin perusteella asiantuntijoiden mielipiteet eivät olleet yhtenäisiä. Vielä tarkempi ja laajempi lähdemateriaalien tarkastelu olisi todennäköisesti mahdollistanut sen, että eriävien mielipiteiden suhteista olisi voinut muodostaa tarkemman päätelmän. Tällöin olisi voinut pohtia sitä, mikä asiantuntijoiden enusteista on saanut eniten kannatusta. Työhön käytettyjen lähteiden perusteella vaikutti siltä, että koko tuotannon laajuisen automatisoinnin saavuttamiselle ja sen pitämiselle mahdottomana löytyi suunnitteen saman verran kannatusta.



## 6. YHTEENVETO

Työssä tutustuttiin aluksi vaatteiden valmistusprosessiin jakamalla prosessi tuotannon eri vaiheisiin. Lisäksi selvitettiin, millaisilla menetelmillä ja koneilla jokaista vaihetta on automatisoitu. Tämän jälkeen käytiin läpi automaation käyttöönoton haasteita sekä automaation tuomia mahdollisuuksia, hyötyjä ja haittoja. Lopuksi pohdittiin automatisoidun vaateollisuuden tulevaisuudennäkymiä esittelemällä älykkäitä tehtaita sekä kolme case-esimerkkiä kehitteillä olevista automaattisista vaatteiden valmistusmenetelmistä.

Valmistusprosessi alkaa kankaan laadun varmistamisella, jolle on olemassa kaupallistettuja automaattisia menetelmiä. Laadun varmistamisen jälkeen vaatekappale kaavoitetaan ja kaavat sijoitellaan automaattisesti kaava-arkille käyttäen apuna CAD ja CAM-ohjelmistoja. Valmistuksen edistynein osa-alue on kankaan leikkaus ja siihen sisältyvä levitys, jotka suoritetaan automaattisella koneella. Tuotantoprosessin aikana kangasta on käsiteltävä useaan kertaan, mikä on vaikeaa kankaan ominaisuuksien vuoksi. Käsitelyyn on kuitenkin olemassa muutamia kaupallistettuja ratkaisuja, jotka kehittyvät nopeaa tahtia.

Ompeluprosessia ei ole vielä täysin automatisoitu. Haasteita tuottaa kankaan käsittely sekä operaation nopeus, ja saatavilla olevien ompelurobottien laatu on vielä huono. Teknologian kehittyessä pyritään kuitenkin ihmisen tekemää työtä parempaan laatuun, jossa virheellisten tuotteiden määrä putoaisi ja tuottavuus paranisi. Kaupallisissa teollisuusompelukoneissa on muutamia automaattisia ominaisuuksia, kuten puolan vaihtaja, peruutusominaisuus, langankatkaisin ja neulanohjain. Myös ompeleiden määrä voidaan ohjelmoida tietyissä ompelukoneissa. Ainoastaan pieniä operaatioita, kuten nappien, taskujen ja kaulusten ompelua voidaan toteuttaa automaattisesti, mutta toimenpiteitä on vielä pystytty saumattomasti yhdistämään osaksi muuta tuotantoprosessia. Vaatteista T-paitojen ja farkkujen automaattinen ompelu on lähiaikoina edennyt huomattavasti.

Automaation taso vaatteiden valmistuksen eri vaiheissa siis vaihtelee, eikä kaikkiin prosessin vaiheisiin ole vielä pystytty kehittämään toimivaa kaupallista ratkaisua. Valmistuksen vaiheet ja niiden automaation taso on koottu alla olevaan taulukkoon 1.

**Taulukko 1:** Vaatteiden tuotannon vaiheet ja niiden automatisoinnin tila.

<b>Valmistuksen vaihe</b>	<b>Automaation tila</b>
Kankaan laadun varmistaminen	Automatisoitu
Kaavoitus	Automatisoitu
Leikkaus	Automatisoitu
Kankaan käsittely	Automatisaatio kehittyy nopeasti, muutamia kaupallisia ratkaisuja olemassa
Ompelu	Yksittäisiä operaatioita automatisoitu

Automatisaatiolla on useita rajoitteita robotisoidun ompelun lisäksi. Esimerkiksi muodin nopea sykli vaikeuttaa automaattisten ratkaisujen kehittämistä. Vaikka vaatteissa on suhteellisen vähän osia, niiden mallit ja tyylit vaihtelevat nopeasti, ja yritysten on pystyttävä tuottamaan ja mukautumaan lukuisiin erilaisiin variaatioihin. Lisäksi samasta vaatemallista on yleensä useampi koko, joille esimerkiksi ompelu- ja leikkausprosessit on ohjelmoitava eri lailla.

Automaation implementoiminen vaatii investointeja, työntekijöiden tietotaitoa ja yritysjohdon positiivista suhtautumista uuteen teknologiaan. Uusi teknologia on kallista, joten suurten yritysten, joilla tuotantovolyymi kompensoi kuluja, edellytykset automaatioon investoinnille ovat pieniä yrityksiä paremmat. Uutta teknologiaa ei kuitenkaan voida hyödyntää, ellei sitä osata käyttää, korjata ja huoltaa. Tämän vuoksi työntekijöillä on oltava ymmärrystä teknologiasta ja heitä on koulutettava. Investoinneista on kuitenkin hyötyä, sillä automaation käyttöönotto lisää tuotannon tehokkuutta, parantaa tuotteiden laatua sekä laskee tuotantokustannuksia, mitkä puolestaan parantavat yrityksen kilpailukykyä. Vaateteollisuus on globaali ja erittäin kilpailullinen teollisuudenala, ja kehittyneen teknologian avulla yritys voi vastata markkinoiden kysyntään alhaisista hinnoista ja korkeasta laadusta.

Automaatio tarjoaa ratkaisuja vaateteollisuuden ekologisen ja eettisen kestäväyyden ongelmiin. Uuden teknologian avulla voidaan esimerkiksi vähentää veden kulutusta sekä kasvihuonepäästöjä kehittämällä materiaalien prosessointiteknologioita ja -menetelmiä sekä siirtämällä tuotantoa takaisin lähtömaahan. Suuri osa vaateteollisuuden tuotannosta on ulkoistettu maihin, joissa tuotantokustannukset ovat alhaiset muun muassa työntekijöiden matalan palkkatason vuoksi. Automaation avulla tuotantokustannuksia

voidaan pienentää ja tuottavuutta kasvattaa paikallisesti, mikä voi kannustaa yrityksiä siirtämään tuotantoaan takaisin. Toimitusketjun lyhentäminen pienentää tuotteen hiilijalanjälkeä ja kasvattaa toiminnan läpinäkyvyyttä, mikä voi toimia myös yrityksen kilpailuvalttina.

On vielä epäselvää, kuinka automatisointi vaikuttaa vaatealan työllisyyteen. Automatisoidut koneet voivat korvata yksitoikkoisia ja toistuvia työtehtäviä sekä suoriutua usean ihmisen työstä. Tämä pienentää ihmisen tekemän työn aiheuttamia tuotantokustannuksia, mutta voi aiheuttaa työpaikkojen menetyksiä. Joidenkin tutkimuksien mukaan automaation käyttöönoton synnyttämät uudet työtehtävät kuitenkin korvaavat määrällisesti menetetyt paikat. Muutos voi johtaa ammattisektorien sisäisiin siirtymiin ja joidenkin ammattien katoamiseen. Automaation vaikutusten arvioidaan iskevän erityisesti kehittyviin maihin, joissa ihmisoperaattoreiden määrä on suuri. Myös näissä maissa automaation myötä kasvava tuottavuus voi toisaalta jopa lisätä työpaikkoja.

Työllisyyden vaikutusten lisäksi eriäviä mielipiteitä on esitetty tuotannon kaikkien vaiheiden automaation saavuttamisen ajankohdasta ja tasosta. Osa asiantuntijoista on sitä mieltä, että aikainen kokonaisvaltainen automaatio saavutetaan lähitulevaisuudessa noin vuosikymmenen kuluessa, kun tutkimus kankaiden käsittelystä ja automaattisesta ompelusta kehittyy. Toisaalta vaatteiden tyyliä muuttuvat muotisyklien mukaisesti hyvin nopeasti, minkä vuoksi joidenkin ennustusten mukaan vaateollisuuden tuotanto ei joustavuudessaan kykene yli 95 % automaatioon. Uuden teknologian ja kehittäminen ja implementointi on jatkuva prosessi. Kehitteillä on useita erilaisia ideoita ja teknologioita tuotannon kokonaisvaltaisen automaation ja laadukkaan robottiompelun saavuttamiseksi, mutta asiantuntijoiden mukaan ideat vaativat vielä testausta, ja on liian aikaista sanoa, mikä niistä saavuttaa suuret kaupalliset markkinat. Automaattisia vaatteiden tuotantojärjestelmiä ovat kehittäneet esimerkiksi SINTEF Raufoss Manufacturing, Sewbo ja Softwear Automation, jonka automatisoitu järjestelmä on jo pyrkimässä markkinoille.

## LÄHTEET

Andersson, J., Berg, A., Hedrich, S., Ibanez, P., Janmark, J., Magnus, K. (2018). Is apparel manufacturing coming home? Nearshoring, automation, and sustainability – establishing a demand-focused apparel value chain. London: McKinsey Apparel, Fashion & Luxury Group. Saatavilla: [https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/industries/retail/our%20insights/is%20apparel%20manufacturing%20coming%20home/is-apparel-manufacturing-coming-home\\_vf.pdf](https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/industries/retail/our%20insights/is%20apparel%20manufacturing%20coming%20home/is-apparel-manufacturing-coming-home_vf.pdf)

Altenburg, Tilman., Chen, Xiao., Lütkenhorst, Wilfried., Staritz, Cornelia., Whitfield, Lindsay. (2020) Exporting out of China or out of Africa? Automation versus relocation in the global clothing industry. Discussion Paper, No. 1/2020.

Bhardwaj, V., Fairhurst, A. (2009). Fast Fashion: response to changes in the fashion industry. Retail and Consumer Sciences, The University of Tennessee, Knoxville, USA.

Casten, M. (1987). Uncle Sam wants a stitch in time in case of military mobilization. Daily News Record. March 13.

Carr, H., Latham, B. (2000). The Technology of Clothing Manufacture. Blackwell Science.

CB Insights. (2020) The future of fashion: From design to merchandising, How tech is reshaping the industry. Saatavilla: <https://www.cbinsights.com/research/fashion-tech-future-trends/>

Chang, L-H., Rynhart, G., Huynh, P. (2016). Asean in transformation: The future of jobs at risk of automation. International Labour Organization. Saatavilla: [https://www.ilo.org/actemp/publications/WCMS\\_579554/lang--en/index.htm](https://www.ilo.org/actemp/publications/WCMS_579554/lang--en/index.htm)

Cho, C-S., Chung, B-M., Park, M-J. (2005). "Development of Real-Time Vision-Based Fabric Inspection System." IEEE transactions on industrial electronics (1982) 1073–1079. Web.

Dumishllari, E., Guxho, G. (2015). Influence of lay plan solution in fabric efficiency and consume in cutting section. Department of Textile and Fashion, Polytechnic University of Tirana, Albania

- Glock, R.E., Kunz, G.I. (2000). Apparel Manufacturing Sewn Product Analysis. Prentice Hall, New Jersey
- Henderson, L., Sayer, P., Morris, P.J.T., Hart, J.C. (2013) Milestones of science and Technology: Making the Modern World. Chicago: Independent Publishers Group.
- Karthik, T., Ganesan, P., D Golapakrishnan. (2016). Apparel Manufacturing Technology. Boca raton, CRC Press.
- Kim, S.M., Kang, T.J. (2003) Garment pattern generation from body scan data. Computer-Aided Design 35, 611–618.
- Kumar, V., Kumar, U., Persaud, Aditha. (1999) Building technological capability through importing technology: the case of Indonesian manufacturing industry. The Journal of Technology Transfer 24, 81–96.
- Kumar, A. (2008) Computer-Vision-Based Fabric Defect Detection: A Survey," in *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 55, no. 1, pp. 348-363.
- Kumar, L. A. & Senthilkumar, M. (2018) 'Automation in Garments', in Automation in Textile Machinery. 1st edition [Online]. CRC Press. pp. 357–387.
- Lee, S et al. (2021). Implementation of an Automated Manufacturing Process for Smart Clothing: The Case Study of a Smart Sports Bra. Processes. [Online] 9 (2), 289–.
- Liu, K., Wang, J., Zhu, C., Kamalha, E., Hong, Y., Zhang, J., Dong, M. (2017). A mixed human body modeling method based on 3D body scanning for clothing industry. International Journal of Clothing Science and Technology, 29(5), 673–685.  
<https://doi.org/10.1108/IJCST-10-2016-0115>
- Luce, L. (2018) Artificial Intelligence for Fashion: How AI Is Revolutionizing the Fashion Industry. 1st edition. Berkeley, CA: Apress L. P.
- Mahajan, P., Kolhe, S., Patil P. (2009) A review of automatic fabric defect detection techniques.
- Malamas, E., Petrakis, E., Zervakis, M. (2003) Survey on industrial vision systems, applications and tools.

- Mekala, N., Sanju SD., Thama. (2021) Implementation of Industrial Engineering concepts in Apparel Industry to improving Productivity and it's cost reduction. IOP conference series. Materials Science and Engineering.
- Nayak, R., Nayak, R., Padhye, R., & Bansal, N. (2015). Garment manufacturing technology. Amsterdam, Netherlands: Woodhead Publishing.
- Nayak, R. & Padhye, R. (2018) Automation in garment manufacturing. Duxford, England: Woodhead Publishing, an imprint of Elsevier.
- Patel, K K., Patel, S M. (2016). Internet of Things -IoT: Definition, Characteristics, Architecture, Enabling Technologies, Application & Future Challenges.
- Parschau, C; Hauge, J. (2020) Is automation stealing manufacturing jobs? Evidence from South Africa's apparel industry. *Geoforum*. [Online] 115120–131.
- Puertas Novau, S. (2018) The sewing machine and the social history of women: parallel lives. (38).
- U.S. Congress, Office of Technology Assessment. (1987) The U.S. Textile and Apparel Industry: A Revolution in Progress—Special Report, OTA-TET-332 (Washington, DC: U.S. Government Printing Office,).
- Vilumsone-Nemes, I. (2012) *Industrial cutting of textile materials*. Cambridge: Woodhead Pub.
- Viswanadham, N. (2002). The Past, Present and Future of Supply-Chain Automation. *IEEE Robotics and Automation Magazine* 9, 48–56.
- WTIN (World Textile Information Network). (2018). Digital transformation outlook. Global textile and apparel value chain survey 2018. Saatavilla: [https://www.iaf-net.com/2016\\_01\\_22/wp-content/uploads/2019/01/WTiN-Digital-Transformation-Survey-Report.pdf](https://www.iaf-net.com/2016_01_22/wp-content/uploads/2019/01/WTiN-Digital-Transformation-Survey-Report.pdf)