



**TURUN
YLIOPISTO**
Kauppakorkeakoulu

Tekoälyn tarjoamia mahdollisuuksia muotiteollisuuden vastuullisuushaasteiden ratkaisemiseen

Tietojärjestelmätieteen kandidaattitutkielma

Laatija:

Minttu Agarth

Ohjaaja:

FT Kai Kimppa

21.12.2024

Turku

Turun yliopiston laatujärjestelmän mukaisesti tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck -järjestelmällä.

Kandidatutkielma

Oppiaine: Tietojärjestelmätiede

Tekijä: Minttu Agarth

Otsikko: Tekoälyn tarjoamia mahdollisuuksia muotiteollisuuden vastuullisuushaasteiden ratkaisemiseen

Ohjaaja: FT Kai Kimppa

Sivumäärä: 26 sivua

Päivämäärä: 21.12.2024

Tässä tutkielmassa tarkastellaan tekoälyn hyödyntämistä muotiteollisuuden vastuullisuushaasteiden ratkaisussa. Ensimmäisen tutkimuskysymyksen kohdalla tarkastellaan millaisia vastuullisuushaasteita muotiteollisuus kohtaa. Toisena tutkimuskysymyksenä tarkastellaan, miten tekoälyä hyödynnetään muotiteollisuuden tutkimushaasteiden ratkaisuun.

Tutkielman alussa tarkastellaan muotiteollisuuden yleisiä vastuullisuushaasteita. Tämän jälkeen siirrytään tutkimaan erilaisia tekoölyyn pohjautuvia järjestelmiä, joita käytetään muotiteollisuudessa näiden haasteiden ratkaisemiseksi.

Johtopäätöksenä päädytään siihen, että tekoöly tarjoaa tehokkaita ja monipuolisia keinoja muotiteollisuuden vastuullisuusongelmien ratkaisemiseksi, mutta näiden keinojen hyödyntäminen edellyttää teollisuuden rakenteellista muutosta ja yritysten sitoutumista kestävämpiin toimintamalleihin.

Avainsanat: tekoöly, vastuullisuus, muotiteollisuus

SISÄLLYS

1	Johdanto	6
2	Muotiteollisuuden vastuullisuushaasteet	8
	2.1 Pikamuoti muotiteollisuudessa	8
	2.2 Muotiteollisuuden ympäristövaikutukset	8
	2.3 Globaalit toimitusketjut	10
	2.4 Vaateteollisuuden jäte ja sen kierrätys	11
3	Tekoäly muotiteollisuuden vastuullisuushaasteiden ratkaisemisessa	13
	3.1 Toimitusketjun optimointi tekoälyn avulla	13
	3.2 Suunnittelun ja myynnin tukeminen tekoälypohjaisilla ratkaisuilla	15
	3.3 Jätteen vähentäminen tekoälypohjaisten järjestelmien avulla	17
	3.4 Data-analytiikan hyödyntäminen muotiteollisuudessa	18
4	Yhteenveto ja johtopäätökset	20
	4.1 Yhteenveto	20
	4.2 Johtopäätökset	22
	Lähteet	23

KUVIOT

Kuvio 1 Vaatteiden kategorisoinnin integroitu järjestelmä perustuen Jain & Kumar (2020) kuvioon. 14

Kuvio 2 Vahvistusoppimisen käyttäminen suunnittelussa perustuen Papachristou ym. (2021) kuvioon. 16

TAULUKOT

Taulukko 1 Tekoälyn käyttö muotiteollisuuden vastuullisuushaasteiden ratkaisemisessa. 22

1 Johdanto

Muotiteollisuus on yksi maailman suurimmista ja merkittävimmistä teollisuusaloista ja iso osa maailmantaloutta (Global Fashion Industry Statistics, ei pvm.) Se kuitenkin kohtaa useita ympäristöhaasteita ja sosiaalisia haasteita, kuten kestävämmän resurssien käytön, työolojen epäkohtia ja ympäristön saastumisen. Ala on vastuussa noin 8–10 % maailman hiilidioksidipäästöistä, kuluttaa vuosittain 79 biljoonaa litraa vettä, tuottaa 35 % mikromuovista ja tuottaa yli 92 miljoonaa tonnia jätettä vuodessa. (Akram ym., 2022.)

Vastuullisuus tarkoittaa nykyisiin tarpeisiin vastaamista vaarantamatta tulevaisuuden sukupolvien tarpeita. Sen voi määritellä sisältävän sekä ympäristövastuun, sosiaalisen vastuun että taloudellisen vastuun. Tässä tutkielmassa keskitytään muotiteollisuuden lähinnä ympäristövastuun näkökulmasta. Vastuullisuuden sisällyttäminen liiketoimintapäätöksiin on äärimmäisen tärkeää ja sen merkitys on erityisen suurta tietyillä teollisuuden aloilla, kuten muotiteollisuudessa, jossa kestävä kehityksen tavoitteet painottuvat. (Ramos ym., 2023.)

Kuluttajien kiinnostus vastuullisuuteen on kasvussa (Jung & Jin, 2016). Maailmanlaajuinen huoli maapallosta, taloudesta ja ihmisistä ohjaa kuluttajien käyttäytymistä myös muotiteollisuudessa (Balasubramanian & Sheykhmaleki, 2024). Kulutustottumusten muutoksen myötä aidosti vastuullisuuteen panostaneet brändit saavat etulyöntiaseman verrattuna brändeihin, jotka eivät ole panostaneet vastuullisuuteen riittävästi (Reichheld ym., 2023). Siksi muotiteollisuuden yritysten on tärkeää tehdä muutoksia kohti kestävämpää ja vastuullisempaa teollisuutta.

Yhdistyneet kansakunnat on listannut 17 kestävä kehityksen tavoitetta liittyen sosiaaliseen, taloudellisiin ja ympäristölliseen vastuullisuuteen. Yksi näistä tavoitteista on rakentaa kestävä infrastruktuuria sekä edistää kestävä teollisuutta ja innovaatioita (THE 17 GOALS | Sustainable Development, ei pvm.) Tässä tutkielmassa keskitytään niihin teknologioihin ja innovaatioihin, jolla voidaan edistää vastuullisuustavoitteiden saavuttamista muotiteollisuudessa käyttäen tekoälyä.

Teknologioilla on mahdollisuuksia luoda kestävä teollistumista (Akram ym., 2022). Tekoäly on muuttanut tiedon luomista ja käyttämistä esimerkiksi tehostamalla tiedon analysointia ja vaikuttanut liiketoimintamalleihin, myyntiin ja johtamiseen esimerkiksi päätöksentekoa tukevien työkalujen avulla (Di Vaio ym., 2020). Organisaatiot, jotka hyödyntävät tekoälyä voivat odottaa sen lisäävän liikevaihtoa, laskevan kuluja ja nostavan tehokkuutta esimerkiksi toimitusketjujen optimoinnin avulla (Enholm ym., 2022). Muutosten tuoma kilpailuetu on edesauttanut useilla liiketoiminnan osa-alueilla uusien kilpailukykyisten ja kestävien tuotteiden ja palveluiden syntymistä. (Di Vaio

ym., 2020.) Miten tämä on näkynyt muotiteollisuudessa? Millaisia mahdollisuuksia tekoäly tarjoaa tulevaisuudessa?

Tutkielman tutkimuskysymykset ovat seuraavat:

1. Millaisia vastuullisuushaasteita muotiteollisuus kohtaa?
2. Miten tekoälyä hyödynnetään vastuullisuushaasteiden haasteiden ratkaisuun muotiteollisuudessa?

2 Muotiteollisuuden vastuullisuushaasteet

2.1 Pikamuoti muotiteollisuudessa

Muotiteollisuus kohtaa merkittäviä vastuullisuushaasteita, jotka liittyvät sen suuriin resurssivaatimukseen, luonnonvarojen ja kemikaalien runsaaseen käyttöön sekä työvoiman hyväksikäyttöön tuotantoketjun eri vaiheissa (Casciani & D'Itria, 2024). Ala on myös herkkä markkinoiden nopeille muutoksille, impulsiivisille ostoksille ja tuotteiden lyhyille elinkaarille, mikä tekee toiminnasta vaikeasti ennakoitavaa (Bonelli ym., 2024).

1990-luvulla termi pikamuoti vakiintui kuvaamaan nopeasti vaihtuvaa muotia, kun Zara nousi esiin tehokkaalla ja nopealla tuotantomallillaan. Tämä ilmiö syntyi kuluttajien kasvaneesta muotitietoisuudesta sekä globaalien vähittäiskauppioiden siirtymisestä massatuotantoon. 1900-luvun loppupuolelta lähtien koko muotiteollisuus on omaksunut yhä enemmän pikamuodin liiketoimintamallia. Sille ominaista ovat nopeat tuotantosykli, vaihtuvat trendit, edulliset vaatteet ja laajamittainen tuotanto. (Bonelli ym., 2024.)

Muotiteollisuus tuotti vuonna 2020 lähes kaksinkertaisen määrän vaatteita vuoteen 2000 verrattuna (Niinimäki ym., 2020). Pikamuotiteollisuudelle ominaiset korkeat valmistusmäärät, nopeat läpimenoajat ja tuotteiden halvat hinnat lisäävät merkittävästi alan vastuullisuushaasteita (Garcia-Torres ym., 2017). Alan luonne ja liiketoimintamallit aiheuttavat siis jo itsessään haasteita vastuullisen ja kestävä liiketoiminnan kehittämiseksi.

Pikamuodin ympäristövaikutukset asettavatkin merkittäviä haasteita kestävyden ja kiertotalouden toteutumiseen muotiteollisuudessa (Bonelli ym., 2024). Pikamuodin jatkuva kasvu ja sen tuottama jätemäärä muodostavat merkittävän ympäristöuhan, sillä jokainen tuotantovaihe kuluttaa huomattavia määriä vettä, materiaaleja, kemikaaleja ja energiaa (Niinimäki ym., 2020). Tämä kehitys luo vakavia haasteita ympäristön suojelulle ja kestävälle kehitykselle.

2.2 Muotiteollisuuden ympäristövaikutukset

Muotiteollisuus käyttää valtavia määriä vettä ja se onkin maailman toiseksi suurin vedenkäyttäjä heti maatalouden jälkeen (Bonelli ym., 2024). Vuonna 2015 vedenkäyttö oli kokonaisuudessaan 79 biljoona litraa (Niinimäki ym., 2020). Tekstiilin tuotantoon tarvitaan keskimäärin noin 200 kertainen määrä vettä verrattuna tuotettuun kangasmäärään. Suurin osa vedenkulutuksesta liittyy puuvillan viljelyyn ja tekstiilien märkäprosesseihin, kuten valkaisuun, värjäykseen ja viimeistelyyn. Tekstiilituotannossa käytetään vuosittain arviolta 44 biljoonaa litraa vettä kasteluun, mikä vastaa

noin 3 % maailmanlaajuisesta kasteluveden käytöstä. 95 % tästä kasteluvvedestä liittyy puuvillan tuotantoon. Esimerkiksi T-paidan ja farkkujen valmistuksessa puuvillan viljely kattaa 88 % ja 92 % niiden kokonaisveden kulutuksesta.

Puuvilla on muotikuitujen joukossa suurin vedenkuluttaja. 44 % puuvillatuotannosta viljellään vientiä varten, mikä tarkoittaa, että merkittävä osa paikallisesta vedenkäytöstä johtuu ulkomaisesta kysynnästä. Esimerkiksi EU:n puuvillankulutuksen on arvioitu aiheuttaneen 20 % Araljärven veden menetyksistä. Tekstiili- ja muotiala on vastuussa noin 7 % maailmanlaajuisista pohjavesi- ja juomavesitappioista, erityisesti Kiinan ja Intian vesipulasta kärsivillä alueilla. Lisäksi teollisuus vaikuttaa paikallisiin vesivarantoihin tuottamalla saastunutta jätevettä, joka sisältää myrkyllisiä kemikaaleja ja voi heikentää koko ekosysteemiä, jos sitä ei puhdisteta kunnolla. (Niinimäki ym., 2020.)

Synteettisistä kankaista irtoavat mikromuovit joutuvat pesun mukana vesistöihin ja meriin. Tällaisia synteettisiä materiaaleja ovat esimerkiksi polyesteri, fleece, viskoosi ja akryyli, jotka kaikki ovat pikamuotiyritysten suosimia materiaaleja. (Stringer ym., 2020.) Mikromuovit aiheuttavat terveyshaittoja ihmisille, jotka käyttävät saastunutta vettä. Nämä ongelmat ovat erityisen merkittäviä tietyillä alueilla, joiden vesistöt ovat erityisen saastuneita teollisuuden takia. Tällaisia alueita on esimerkiksi Bangladeshissa, muotiteollisuuden vaikutus on merkittävää (Ramos ym., 2023.) Myös esimerkiksi Kambodzassa, jossa muotiteollisuus vastaa noin 88 % teollisesta tuotannosta, tekstiilituotanto aiheutti noin 60 % maan teollisista vesien pilaantumista (Niinimäki ym., 2020).

Muotiteollisuus on maailman toiseksi suurin saastuttaja öljyteollisuuden jälkeen (Stringer ym., 2020). Tekstiilituotanto on aiheuttaa 20 % teollisuuden aiheuttamista vesien saastumisista, sillä prosesseissa käytetään runsaasti kemikaaleja, joista osa on myrkyllisiä ja huonosti biohajoavia. Kemikaaleja käytetään tekstiilituotannossa esimerkiksi tekstiilien käsittelyyn ja värjäämiseen (Niinimäki ym., 2020.) Värjääminen ja tuotteiden viimeistelyprosessit ovat myös suurimmat veden ja energian kuluttaja vaatteiden tuotantoprosessin aikana (Kim ym., 2024).

Yksi muotiteollisuuden aiheuttamien saasteiden syistä on tekstiiliteollisuuden käyttämät suuret kemikaalimäärät. Tekstiiliteollisuus käyttää yli 15 tuhatta erilaista kemikaalia tuotantoprosessissaan. Nämä kemikaalit aiheuttavat haittoja sekä työntekijöille ja kuluttajille että ympäristölle. (Niinimäki ym., 2020.) Muotiteollisuus on vastuussa 8-10 % maailman kasvihuonepäästöistä ja tämän uskotaan kasvavan yli 60 % vuoteen 2030 mennessä (Bonelli ym.,

2024). Suurin osa tuotteen kasvihuonepäästöistä syntyy tekstiiliteollisuuden aikana (Niinimäki ym., 2020).

Muotiteollisuuden veden ja energian kulutuksen vähentäminen vaatii siis merkittäviä innovaatioita tuotantoprosesseihin. Muutosta voidaan tehdä sekä teknologisten innovaatioiden, että ajatusmaailman muutosten avulla. Kiertotalousmallin ja vastuullisten käytäntöjen omaksuminen auttavat minimoimaan saastuttavien prosessien vaikutuksia.

2.3 Globaalit toimitusketjut

Toimitusketjut ovat keskeinen osa muotiteollisuuden vastuullisuutta (Ramos ym., 2023). Muotiteollisuudelle ovat tyypillisiä pitkät ja monimutkaiset toimitusketjut, jotka alkavat maataloudesta ja ulottuvat aina valmistukseen, logistiikkaan ja vähittäiskauppaan asti (Niinimäki ym., 2020). Muotiteollisuuden yritykset ovat riippuvaisia kumppaneistaan tuotteiden valmistuksesta ja toimitusketjut koostuvat yleensä useista yrityksistä, jotka on ripoteltu eri puolille maailmaa (Caniato ym., 2012). Tekstiili- ja vaatealan toimitusketjut ovat yhä globaalimpia ja tuotannon keskittäminen kehittyviin maihin on lisännyt toimitusketjun vastuullisuuteen liitettyä huomiota (Köksal ym., 2017). Pikamuotiteollisuuden toimitusketjut ovat usein erittäin pirstaloituneita, mikä mahdollistaa nopean ja kustannustehokkaan tuotannon, mutta aiheuttaa samalla myös haasteita kuten läpinäkyvyyden seurannan, työolosuhteiden valvonnan, yhdenmukaisen ylläpidon haasteet sekä suuren häiriöherkkyyden (Matuszak-Flejszman ym., 2024).

Muotiteollisuuden toimitusketjujen vaiheet sijoittuvat usein vähemmän kehittyneisiin maihin niiden suuren työvoimatarpeen vuoksi. Tämä aiheuttaa toimialan globalisoitumisen ja pitkien ja monimutkaisten toimitusketjujen syntymisen. (Garcia-Torres ym., 2017.) Muotiteollisuus on merkittävä työllistäjä maailmassa työllistäen miljoonia ihmisiä toimitusketjujen eri työvaiheissa (Matuszak-Flejszman ym., 2024). Globaalisti hajautetut toimitusketjut aiheuttavat kuitenkin myös suuria ongelmia sosiaalisen vastuullisuuden varmistamiseksi ja työntekijöiden hyvinvoinnin takaamiseksi. Monet toimijat sijaitsevat eri maissa, mikä johtaa läpinäkyvyyden puutteeseen alempien toimittajatasojen kanssa. (Köksal ym., 2017.) Siksi toimitusketjun loppupäiden yritysten onkin vaikea aina edes itse tietää, kuka heidän vaatteensa on tehnyt ja millaisissa olosuhteissa työntekijät ovat työskennelleet.

Toimitusketjuista aiheutuvia vaikutuksia ovat esimerkiksi ilmansaasteet, melu, onnettomuudet, tärinä, maankäytöt ja visuaaliset haitat. Kuljetussektorin suorat kasvihuonepäästöt muodostivat vuonna 2019 jopa 23 % maailman kasvihuonepäästöistä. Pikamuotiteollisuus on vahvasti

riippuvainen suurista kuljetusmääristä, jotta se pystyy ylläpitämään yritysten nopeaa varastonkiertoa ja usein toistuvat toimitukset ovat välttämättömiä, jotta kysyntään voidaan vastata nopeasti. Suuret ja säännöllisesti kuljetettavat tavaramäärät ovatkin yksi pikamuotiteollisuuden kuljetuksen erikoispiirteistä. Kuljetukseen liittyvät päästöt lisäävät vaateteollisuuden kokonaishiilijalanjälkeä. (Matuszak-Flejszman ym., 2024.)

2.4 Vaateteollisuuden jäte ja sen kierrätys

Vaateteollisuuden tuottaman jätteen voi jakaa ennen kuluttajia syntyvään jätteeseen (engl. pre-consumer waste) ja kuluttajien jälkeen syntyvään jätteeseen (engl. post-consumer waste). Ennen kuluttajia syntyvä jäte on syntynyt tuotantovaiheessa ja sitä on noin 15 % kaikesta valmistukseen käytettävästä materiaalista. (Niinimäki ym., 2020.) Tähän jäteosuuteen kuuluvat esimerkiksi leikkuujätteet, ylimääräiset kankaat ja muut tuotannossa syntyneet epätäydelliset materiaalit, jotka eivät päädy valmiisiin tuotteisiin.

Tuotteiden lyhyet elinkaaret ja ylikulutus ovat nostaneet tekstiilien osuuden maailman sekajätteistä jopa 22 prosenttiin (Niinimäki ym., 2020). Muotiteollisuuden liiketoimintamallit ajavat ylikulutukseen, joka taas aiheuttaa merkittävän määrän tekstiilijätettä (Bonelli ym., 2024). Muotiteollisuus tuottaa vuosittain yli 92 miljoonaa tonnia tekstiilijätettä, josta iso osa päätyy kaatopaikalle tai poltetaan mukaan lukien myymättä jääneet tuotteet. Vaatteiden tuotantoon liittyvä jätekuorma johtuu muotiteollisuuden nopeatempoisesta luonteesta ja jatkuvasti julkaistavista uusista mallistoista. (Niinimäki ym., 2020.)

Ylikulutuksen aiheuttamaa ongelmaa pyritään ratkaisemaan kiertotalousajattelun avulla. Sen avulla pyritään vastaamaan lineaarisen tuotantomallin tuomiin haasteisiin, kuten raaka-aineiden liikkakäyttöön ja jätteen määrän kasvuun (Jaheer Mukthar ym., 2024). Se ei kuitenkaan yksin riitä ratkaisemaan tekstiilikierrätyksen haasteita. Kiertotalousajattelu on johtanut esimerkiksi käytettyjen vaatteiden maailmanlaajuiseen kuljetukseen globaalista pohjoisesta etelään, joka siirtää ongelman muualle ratkaisematta sitä todella. (Bonelli ym., 2024.)

Tekstiilituotteiden elinkaari noudattaa lineaarista taloudellista mallia: luonnonvaroja louhitaan, tekstiilejä tuotetaan, käytetään ja lopulta hävitetään. Tekstiilituotannon määrä on saavuttanut kaikkien aikojen suurimmat lukemansa ja kasvu ei enää ole selitettävissä väestönkasvulla. Tämän takia suuri osa ei-toivottuja tuotteita heitetään pois, ja näistä tuotteista suurin osa päätyy kaatopaikoille tai poltettavaksi asianmukaisen kierrätyksen sijaan. (Jaheer Mukthar ym., 2024.)

Suuresta jätemäärästä huolimatta kierrätysasteet pysyvät alhaisina ja vain 15 % tekstiileistä kerättiin kierrätykseen vuonna 2015 (Niinimäki ym., 2020). Materiaalinen kierrätys tuotteen elinkaaren lopussa auttaa minimoimaan jätettä. Kierrätykseen haasteita asettavat erilaiset materiaalisekoitteet. Näiden lajittelu vaatii teknologioita, jotka erottelevat kuidut toisistaan kierrätystä varten. (Niinimäki ym., 2020.)

Kiertotalouden ytimessä ovat luonnonvarojen niukkuuden, ympäristövaikutusten ja taloudellisten hyötyjen huomioiminen. Tavoitteena on optimoida resurssien käyttöä puhtaampien tuotantotapojen avulla ja tehostaa materiaalien käyttöä. Kierrätettyjen vaatteiden ajatellaan yhä enemmän olevan kestävä ratkaisu materiaalin ja energian kulutuksen vähentämiseksi ja kiertotalouden idea on saanut lisää huomiota eri tahoilta. (Jaheer Mukthar ym., 2024.) Muotialan vastuullisuushaasteisiin on siis jo alettu löytää ratkaisuja, mutta työtä on vielä paljon tehtävänä.

3 Tekoäly muotiteollisuuden vastuullisuushaasteiden ratkaisemisessa

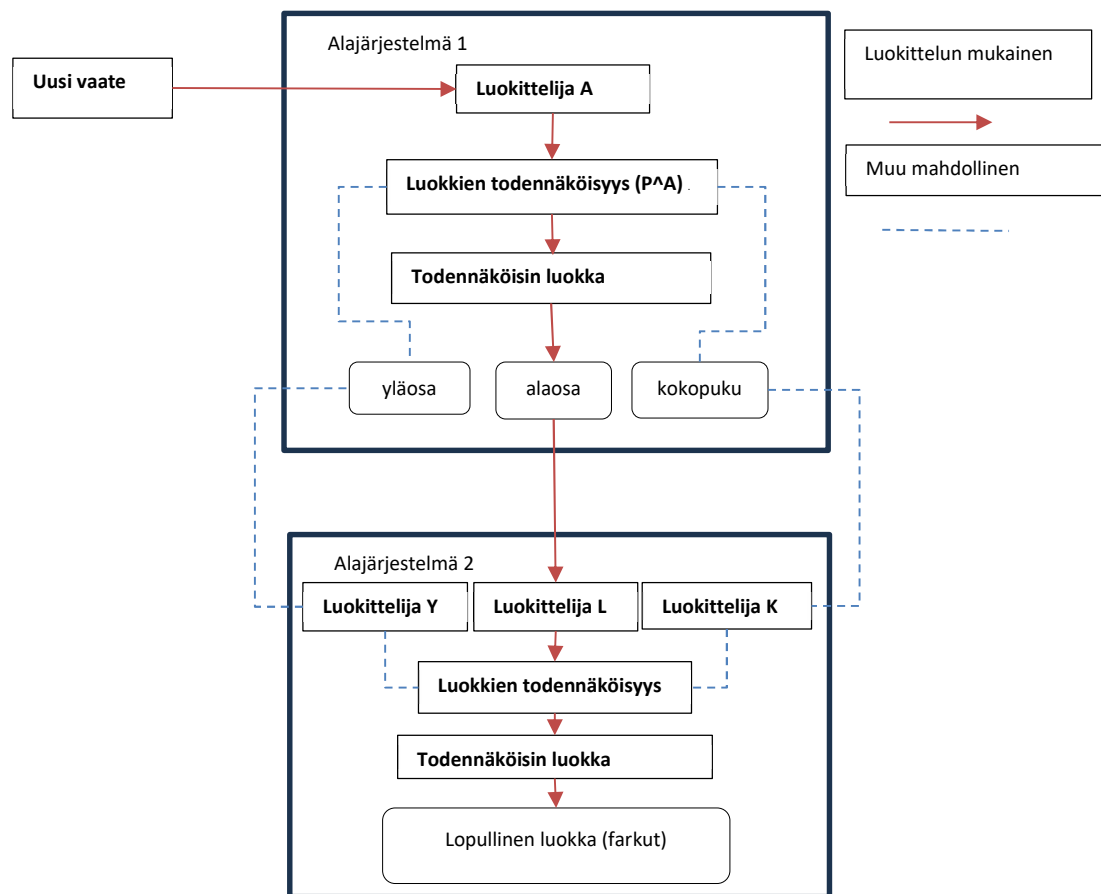
Tällä hetkellä muotiteollisuuden liiketoiminta perustuu jatkuvasti kasvavaan tuotantoon ja myyntiin, nopeaan tuotantoon, huonoon tuotteiden laatuun ja tuotteiden lyhyisiin elinkaariin. Tämä aiheuttaa kestävämmän kulutuksen, materiaalien nopean käsittelyn, suuren määrän jätettä ja sitä kautta suuria vaikutuksia ympäristöön. (Niinimäki ym., 2020.) Teknologia luo uusia mahdollisuuksia vastata vastuullisuushaasteisiin. Muotialalla tällaisia mahdollisuuksia on hyödynnetty esimerkiksi siirtymällä kiertotalouteen, vihreämpiin toimintamalleihin ja digitaalisiin järjestelmiin, jotka vähentävät ympäristövaikutuksia. (Casciani & D'Itria, 2024.)

Tekoäly on tietojenkäsittelyn osa-alue, joka kehittää järjestelmiä, jotka simuloivat ihmisten kognitiivisia kykyjä ja pystyvät ratkaisemaan erityisesti ongelmanratkaisuun liittyviä haasteita. Tekoälyn käyttö on levinnyt monille aloille, kuten lääketieteeseen, tieteeseen ja teollisuuteen. Muotiteollisuudessa tekoälyn avulla on esimerkiksi mahdollisuus optimoida tuotannon prosesseja ja mahdollistaa resurssien parempaa käyttöä ja näiden avulla hyödyntää myös ympäristöä ja yhteiskuntaa. (Ramos ym., 2023.)

3.1 Toimitusketjun optimointi tekoälyn avulla

Toimitusketju kattaa koko tuotteen valmistusprosessin sen tuotannosta käyttäjälle toimitukseen. Tekoäly tarjoaa toimitusketjuille lukuisia muuten saavuttamattomissa olevia etuja. Se tarjoaa muotiteollisuudelle erilaisia työkaluja, joita voidaan käyttää toimitusketjun eri vaiheissa aina hankinnasta ja raaka-aineiden käsittelystä valmistukseen, jakeluun ja lopputuotteen toimitukseen. (Ramos ym., 2023.)

Koneoppimista ja neuroverkkoja voidaan hyödyntää vaatteiden kategorisointiin. Ne ovat myös tutkimuksen kärjessä, kun puhutaan analytiikkaan liittyvien liiketoimintaongelmien ratkaisusta. Vaateteollisuus on kuitenkin alkanut hyödyntää näitä teknologioita vasta suhteellisen vähän aikaa sitten. Vaatteiden kategorisoinnin tekevät mallit mahdollistavat muotiyrityksille luokittelutehtävien automatisoinnin, mikä varmistaa tehokkaan ja organisoidun tuotekategorioiden hallinnan. Mallin (Kuvio 1) mukainen luokittelija koostuu kahdesta alajärjestelmästä, joista ensimmäinen lajittelee vaatteet vaateluokkaan ja toinen alaluokkaan. Tämän jälkeen luodaan integroitu malli, joka koostuu molemmista alajärjestelmistä ja tarjoaa pehmeän luokittelun kaikille uusille havainnoille, jotka mallille annetaan. (Jain & Kumar, 2020.)



Kuvio 1 Vaatteiden kategorisoinnin integroitu järjestelmä perustuen Jain & Kumar (2020) kuvioon. Koneoppimista voidaan käyttää myös valmistusvaiheessa, erityisesti virheiden tunnistamiseen ja laadunvalvontaan. Koneoppimisen avulla voidaan esimerkiksi havaita yleisiä valmistusvirheitä kuten kangasvirheitä, rikkiäisiä nappeja tai roikkuvia langanpätkiä. Tämä on mahdollista tukiverkkokoneen avulla. (Ghosh ym., 2011.) Konvoluutiohermoverkkojen (CNN) avulla taas voidaan havaita esimerkiksi väri virheitä kankaista (Guosheng ym., 2022). Näiden tekoälyteknologioiden hyödyntäminen valmistuksessa ei ainoastaan paranna tuotteiden laatua, vaan esimerkiksi vähentää hukkaa ja resursseja, jotka muuten menisivät virheellisten tuotteiden korjaamiseen tai hävittämiseen.

Tekoälyn avulla voidaan parantaa materiaalivalintoja tekstiilituotannossa. Sen avulla pystytään analysoimaan sopivia materiaaleja, niiden ominaisuuksia ja ominaisuuksiin vaikuttavia tekijöitä.

Tämä helpottaa resurssien optimointia ja mahdollistaa laadukkaamman ja sitä kautta kestävämmän tekstiilituotannon. (Pattanayak ym., 2011.) Laadukkaat tuotteet heitetään pienemmällä todennäköisyydellä kaatopaikalle yhden käyttökerran jälkeen.

Neuroverkkoja voidaan käyttää myös varastointitason optimointiin. Optimointi on haastavaa tekstiiliteollisuudessa vaihtelevan kysynnän vuoksi. Optimointi voidaan tehdä perustuen useisiin eri tekijöihin, kuten set up -hintaan, varastointihintaa, materiaalihintaan ja tuotteen kysyntään. Tällaisella optimoinnilla voidaan estää myymättömän ylituotannon syntymistä ja siten vähentää sekä jätettä että resurssien kulutusta. (Paul & Azaem, 2011.) Ennakoiva varastonhallinta ei ainoastaan paranna taloudellista tehokkuutta vaan vähentää myös ympäristövaikutuksia ja tukee kestävämmän tuotannon käytäntöjä.

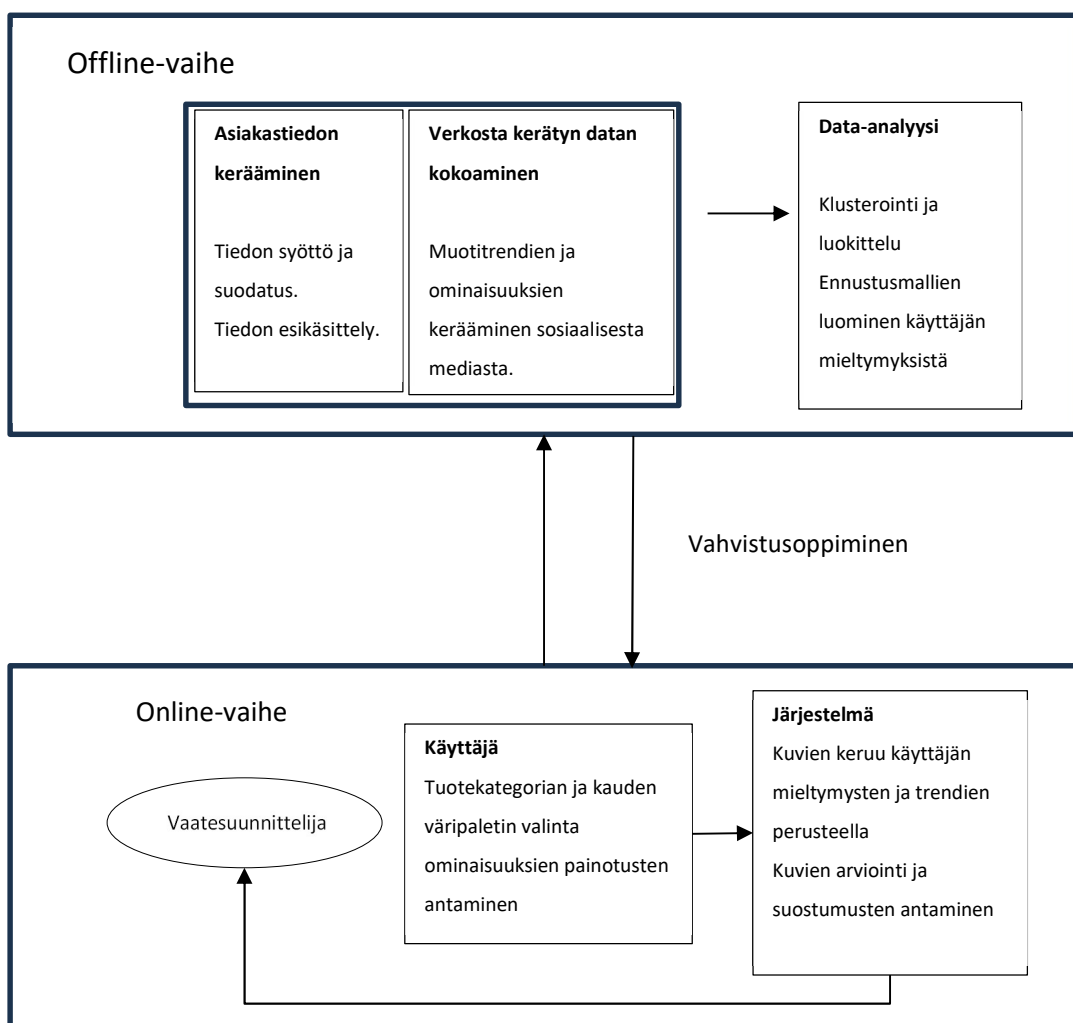
Myös jakelussa voidaan hyödyntää tekoälyä. Tekoälyn avulla voidaan optimoida resurssi- ja tuotejakelun reittejä ja optimoinnin avulla minimoida etäisyyksiä, vähentää päästöjä ja varmistaa oikea-aikaisia toimituksia. (Vu ym., 2019.) Sumean logiikan avulla voidaan ennustaa oikea-aikaisten toimitusten todennäköisyyksiä jopa monimutkaisessa toimitusketjussa ja sitä kautta lieventää toimitusvälivaihteluita, parantaa kysynnän ennustetarkkuuksia, vähentää materiaali puutteita ja toimitusaikojen epävarmuuksien negatiivisia vaikutuksia. (Nakandala ym., 2013.)

3.2 Suunnittelun ja myynnin tukeminen tekoälypohjaisilla ratkaisuilla

Vastuullinen muoti nähdään usein vähemmän jännittävä ja muodikkaana ja siksi ne usein kohtaavat haasteita markkinoilla pärjäämisessä (Dabas & Whang, 2022). Tekoäly auttaa suunnittelemaan vaatteita, jotka vastaavat nykyisiä muotitrendejä, ja siksi se voikin olla arvokas työkalu kestävä muodin yrityksille. Tuotteiden suunnitteluun voidaan käyttää päätöksentekoa tukevia koneoppimiseen perustuvia järjestelmiä, jotka toteuttavat suunnittelijan mieltymyksiä puolittain autonomisesti. Järjestelmä hyödyntää päätöksenteossa käyttäjän eli tässä tapauksessa muotisuunnittelijan mieltymyksiä, muotitrendejä, kausiluonteisia tietoja ja yrityksen rajoitteita ja tekee näiden perusteella suunnitteluehdotuksia. (Ramos ym., 2023.)

Yksi esimerkki tällaisesta järjestelmästä perustuu kahteen vahvistusoppimisella yhdistettyyn komponenttiin (Kuvio 2). Ensimmäinen niistä on offline-komponentti, joka vastaa tietojen hakemisesta sisäisistä ja ulkoisista lähteistä, tietojen tallennuksesta ja hallinnasta sekä tietojen analysointiprosesseista, jotka tuottavat suunnittelijoille keinotekoisia malleja. Toinen osa on online-komponentti, joka koostuu käyttöliittymästä. Tämä sisältää käyttäjän mieltymykset ja

valintaprosessin, tulosten visualisointiprosessin ja loppukäyttäjien palautteen tallentamisen. Nämä kaksi komponenttia ovat yhdistetty vahvistusoppimiseen perustuvalla komponentilla, joka on vastuussa loppukäyttäjien palautteen viestimisestä offline-komponentille. (Papachristou ym., 2021.) Järjestelmän tarkoituksena tukea loppukäyttäjöinä toimivien vaatealan suunnittelijoiden luovaa prosessia epäonnistuneiden suunnitelmien ja turhien mallikappaleiden vähentämiseksi (Ramos ym., 2023).



Kuvio 2 Vahvistusoppimisen käyttäminen suunnittelussa perustuen Papachristou ym. (2021) kuvioon.

Tekoälyä voidaan käyttää suunnittelun ja myynnin tukena myös analysoimalla sen avulla muotitrendejä suunnittelun tueksi. Tekoälyn avulla voidaan analysoida suurta määriä kuvia ja muita lähteitä ja sitä kautta ennustaa tulevia muotitrendejä. (Chakraborty ym., 2020.) Tekoälyn avulla voidaan myös analysoida värejä ja väriyhdistelmiä, jotka ovat muodissa ja pyrkiä niiden avulla luomaan ennustuksia tulevista trendeistä (Hsiao ym., 2017).

3.3 Jätteen vähentäminen tekoälypohjaisten järjestelmien avulla

Kaatopaikalle kerääntyvä muotiteollisuuden aiheuttama jäte nähdään suurena globaalina ongelmana (Moorhouse & Moorhouse, 2017.) Tehokas jätteenhuolto onkin kriittistä muotialan kestävyuden kannalta ottaen huomioon sen negatiiviset vaikutukset ympäristöön ja viime vuosina pikamuodin ja kertakäyttökulttuurin yleistymisestä johtuneen kulutuksen kasvun. Valitettavasti suurin osa tekstiileistä päätyy edelleen kaatopaikoille ja vain pieni osa muotiteollisuuden jätteestä kierrätetään asianmukaisesti. Muotiteollisuus tarvitseekin tehokkaita keinoja aiheutetun jätteen hallintaan ja tekoäly tarjoaa innovatiivisia ratkaisuja näiden jäteongelmien ratkaisemiseksi. (Ramos ym., 2023.)

Älykäs tietopohjainen järjestelmä soveltuu kestävään jätteidenhallintaan, ja tämä lähestymistapa analysoi jätteiden keräämiseen, kuljetukseen ja käsittelyyn liittyviä erilaisia näkökulmia. Lisäksi se ottaa huomioon kestävä kehityksen kriittiset ulottuvuudet, kuten hyvinvoinnin, terveyden, puhtaan veden ja ilmastonmuutoksen toiminnassaan. (Fatimah ym., 2020.)

Myös lohkoketjuteorian perusteella on kehitetty teknologiaa jätteenlajitteluun. Tässä järjestelmässä keskitytään tuotteiden palauttamiseen elinkaarensa lopussa eri toimitusketjun osiin uudelleenkäyttöä ja arvon palauttamista varten. Erityisesti se hyödyntää lohkoketjuteknologiaa, joka mahdollistaa tietojen läpinäkyvän käsittelyn ja tallentamisen koko tuotteen elinkaaren ajan, edistäen näin kiertotaloutta. (Wang ym., 2020.) Yhdistämällä tekoälypohjaisia järjestelmiä muihin teknologioihin pohjautuvien järjestelmien kanssa voidaan saada aikaan paremmin koko toimitusketjun kattavia kokonaisuuksia.

Tekoälyä voidaan hyödyntää myös jätemäärän ennustamiseen. Tähän voidaan käyttää esimerkiksi keinoitekoisiin hermoverkkoihin (engl. artificial neural networks, ANN) perustuvia ennustemalleja. Nämä mallit hyödyntävät historiallista dataa jätteen syntymisestä ja tämän datan perusteella on mahdollista luoda strategioita jätteen vähentämiseksi ja kierrätysasteen lisäämiseksi. (Oliveira ym., 2019.) Näiden oivallusten avulla voidaan kehittää strategioita jätteen vähentämiseksi, kierrätysasteen parantamiseksi ja kestävyuden edistämiseksi (Ramos ym., 2023).

Tekoälypohjainen jätteiden luokittelu eri materiaalien välillä on nopeasti kasvava ala (Ramos ym., 2023). Tällaista jätteidenlajittelua voidaan tehdä esimerkiksi konvoluutiohermoverkkojen (engl. convoluted neural networks, CNN) avulla. Niiden avulla voidaan eritellä toisistaan sekä erilaisia kuitumateriaaleja (Vrancken ym., 2019) sekä esimerkiksi lasia, paperia, muovia ja orgaanisia aineita (Nañez Alonso ym., 2021). Jätteiden lajittelun vieminen uudelle tasolle yhdistää konvoluutiohermoverkot robotiikkateknologiaan. Antureilla ja mekaanisilla tarttumislaitteilla varustettu robotti seuraa jatkuvasti jätevirtaa ja suorittaa autonomisesti lajittelutehtäviä. Tällainen järjestelmä on otettu käyttöön suuressa espanjalaisessa jätteiden lajittelulaitoksessa, mikä korostaa sen merkitystä teollisuudessa ja potentiaalia tehokkaassa jätteidenhallinnassa. (Wilts ym., 2021.)

Jos todellisten jätehuoltolaitoksen toimintaa voitaisiin mukauttaa ja optimoida onnistuneesti tekoälyn avulla merkittäviä etuja voitaisiin saavuttaa jätteenlajittelun alueella. Ekologisesta näkökulmasta se vähentäisi kaatopaikoille vietävän jätteen määrää ja lisäisi kierrätettävän jätteen palauttamista. (Wilts ym., 2021.)

Tekoäly tarjoaa tehokkaan työkalupakin muotiteollisuuden jätteidenhallintahaasteiden ratkaisemiseksi. Tässä luvussa mainitut innovatiiviset sovellukset tarjoavat paitsi ratkaisuja kestäväälle jätteiden hävittämiselle myös tukevat laajempia kestävyystavoitteita. Hyödyntämällä tekoälyä jätteiden ennustamisessa, luokittelussa ja älykkäissä järjestelmissä muotirytykset voivat paitsi vähentää ympäristövaikutuksiaan myös parantaa toimintatehokkuuttaan. Nämä edistysaskeleet korostavat tekoälyn muutosta mahdollistavaa roolia kestävyysratkaisujen edistämässä muotiteollisuudessa, painottaen tietä kohti ympäristöystävällisempää ja vastuullisempää tulevaisuutta. (Ramos ym., 2023.)

3.4 Data-analytiikan hyödyntäminen muotiteollisuudessa

Data-analyysi on keskeisessä roolissa muotiteollisuudessa sen mahdollistamien ennusteiden vuoksi (Ramos ym., 2023). Asiakassegmentointi on yksi tavoista, jolla muotiyhtiöt voivat hyödyntää data-analytiikkaa ja saada sen avulla syvemmän käsityksen asiakaskunnastan. Kun myyntistrategia suunnataan tiettyyn markkinasegmenttiin, yritykset voivat myydä kestävästä vaatetusta tehokkaammin monipuoliselle kuluttajaryhmälle kohdentaen myynnin oikein. Tuotteiden oikea kohdentaminen vähentää ylikuluttamista ja on sitä kautta askel vastuullisempaan muotiteollisuuteen. Tämän lisäksi se tietysti auttaa yrityksiä hyödyntämään resursseja tehokkaammin ja on siten myös taloudellisesti tehokasta. (Brito ym., 2015).

Esimerkiksi Zalando, Myntra ja StitchFix hyödyntävät data-analytiikkaa saadakseen paremman kuvan asiakaskunnastaan ja esimerkiksi tarjoavat älykkäitä suosituksia asiakkaiden aiempien ostosten perusteella (Jain & Kumar, 2020). Näin asiakkaat saavat kohdennettua mainontaa ja mahdollisesti tekevät sen seurauksena harkitumpia ostopäätöksiä (Brito ym., 2015). Samalla yritykset voivat tarjota asiakkailleen personoituja ostokokemuksia mikä lisää asiakastyytyväisyyttä ja brändiuskollisuutta. Toisaalta kohdennettu markkinointi ja älykkäät suositukset voivat myös kannustaa liialliseen kuluttamiseen, joka taas ei ole vastuullisen muotiteollisuuden tavoitteena.

Myös ennustavan analytiikan käyttö antaa muotiyrityksille mahdollisuuksia. Se mahdollistaa esimerkiksi markkinatrendien seuraamiseen ja myyntiennusteiden laatimiseen. Näin voidaan optimoida varastonhallintaa, selkeyttää toimitusketjuja ja ennakoida tulevaisuuden haasteita. Ennakoiva analytiikka auttaa minimoimaan ylituotannon riskejä ja näin vähentämään ympäristön kuormitusta. Data-analyysi toimii tehokkaana työkaluna muotiyhtiöille, jotka pyrkivät tehostamaan kestävyttä. Asiakassegmentoinnista ennustavaan analytiikkaan, nämä datavetoiset lähestymistavat antavat muotiteollisuudelle mahdollisuuden tehdä perusteltuja päätöksiä ja räätälöidä strategioita, jotka edistävät kestävästä vaatekulutuksesta ja -tuotantosta. (Ramos ym., 2023.)

Tekoälyllä on keskeinen rooli muotialan siirtymisessä kohti kestävästä kehitystä ja se tarjoaa monenlaisia hyötyjä muotialan eri osa-alueilla. Näitä hyötyjä ovat esimerkiksi älykkäät tuotantoprosessit ja tekoälyn avulla tehdyt kestävämmät valinnat. On kuitenkin tärkeää tunnistaa tekoälyn käyttöön liittyvät haasteet kestävyden edistämiseksi muotialalla. Merkittävä haaste on suurten datamäärien tarve, jotta neuroverkkoja voidaan kouluttaa tehokkaasti. Suurten tietoa-aineistojen hankinta ja hallinta, erityisesti muodin kaltaisella dynaamisella alalla, voi osoittautua haastavaksi. Lisäksi muotialalla kohdataan kustannuskysymyksiä tekoälyteknologioiden käyttöönotossa, kuten huippuluokan laitteiston ja ohjelmistojen hankinnassa sekä henkilöstön kouluttamisessa ja osaamisen kehittämisessä. (Ramos ym., 2023.) Prosessien käyttöönotto on siis kallista, mikä hankaloittaa erityisesti pienten ja keskisuurien yritysten mahdollisuutta päästä mukaan vastuullisemman muodin kehittämiseen tekoälyn avulla.

4 Yhteenveto ja johtopäätökset

4.1 Yhteenveto

Muotiteollisuus kohtaa merkittäviä vastuullisuushaasteita, jotka liittyvät sen suuriin resurssivaatimukseen, luonnonvarojen ja kemikaalien käyttöön sekä työvoiman hyväksikäyttöön. Pikamuoti, joka syntyi kuluttajien kasvaneesta muotitietoisuudesta ja globaalin massatuotannon myötä, on laajentanut vastuullisuusongelmia entisestään. Pikamuoti tuottaa suuria määriä vaatteita nopeilla tuotantocykleillä ja edullisilla hinnoilla, mutta sen ympäristövaikutukset ovat merkittäviä valtavan vedenkulutuksen, energiatarpeen ja kemikaalien käytön takia. Tekstiilituotanto on maailman toiseksi suurin saastuttaja öljyteollisuuden jälkeen, ja se aiheuttaa myös merkittäviä kasvihuonekaasupäästöjä.

Muotiteollisuuden toimitusketjut ovat pitkiä ja monimutkaisia, ja useimmat toimittajat sijaitsevat kehittyvässä maissa, mikä vaikeuttaa vastuullisuuden valvontaa. Pitkien kuljetusmatkojen takia kuljetussektorin päästöt lisäävät teollisuuden hiilijalanjälkeä. Vaikka muotiteollisuus työllistää miljoonia ihmisiä, globaali hajautus tuo mukanaan haasteita työntekijöiden hyvinvoinnin ja toimitusketjun läpinäkyvyyden takaamiseksi. Vaateteollisuuden tuottama jäte ja sen kierrätys ovat myös keskeisiä ongelmia. Jätteet ja ylikulutus, erityisesti muotiteollisuuden jatkuvasti vaihtuvien mallistojen vuoksi, muodostavat suuren osan maailman sekajätteistä. Vaikka kiertotalousajattelun avulla pyritään ratkaisemaan näitä haasteita, kierrätysasteet ovat edelleen alhaiset ja kierrätykseen liittyy sekä teknologisia että logistisia haasteita.

Tekoälyä voidaan hyödyntää muotiteollisuuden vastuullisuushaasteiden ratkaisemisessa. Taulukko 1 kuvaa tekoälyn sovelluksia muotiteollisuuden eri vaiheissa. Teknologia ja tekoäly tarjoavat mahdollisuuksia vastata muotiteollisuuden vastuullisuushaasteisiin, kuten kiertotalouden edistämiseen, vihreämpiin toimintamalleihin ja resurssien tehokkaampaan käyttöön. Tekoäly voi optimoida toimitusketjuja eri vaiheissa, kuten hankinnassa, valmistuksessa, jakelussa ja varastoinnissa. Koneoppiminen ja neuroverkot voivat parantaa tuotannon laatua, vähentää hukkaa ja parantaa materiaalivalintoja, mikä tukee kestävämpää tuotantoa. Myös varastointitason optimointi ja ennakoiva varastonhallinta voivat vähentää ylituotantoa ja resursseja. Suunnitteluvaiheessa tekoälyn avulla pystytään auttamaan muotialan yrityksiä luomaan tuotteita, jotka vastaavat muotitrendejä ja tukevat kestävästä muodin liiketoimintaa. Tekoäly voi analysoida muotitrendejä, värejä ja materiaaleja sekä tukea suunnittelijoiden luovaa prosessia.

Jätteen vähentäminen on yksi suurimmista haasteista muotiteollisuudessa, ja tekoäly tarjoaa innovatiivisia ratkaisuja, kuten älykkäitä järjestelmiä jätteenhallintaan ja jätteiden ennustamiseen. Tekoäly voi myös parantaa jätteiden lajittelua ja edistää kiertotaloutta lohkoketjuteknologian avulla. Data-analytiikka, kuten asiakassegmentointi ja ennustava analytiikka, on keskeinen työkalu muotiyrityksille, jotka pyrkivät optimoimaan tuotantoa ja vähentämään ylikulutusta. Tekoäly voi auttaa kohdentamaan myyntistrategioita, parantamaan asiakasymmärrystä ja ennustamaan markkinatrendejä, mikä tukee vastuullisempaa ja taloudellisesti tehokasta liiketoimintaa.

Taulukko 1 Tekoälyn käyttö muotiteollisuuden vastuullisuushaasteiden ratkaisemisessa.

Vaihe	Tekoälyn sovellukset
Raaka-aineiden hankinta ja materiaalivalinta	<ul style="list-style-type: none"> - Optimoitu materiaalien valinta. - Neuroverkot: Materiaalien ominaisuuksien ja kestävyuden analysointi.
Valmistus ja laadunvalvonta	<ul style="list-style-type: none"> - Koneoppiminen: valmistusvirheiden havaitseminen. - Konvoluutiohermoverkot: värivirheiden tunnistaminen ja muut visuaaliset poikkeamat.
Toimitusketjun hallinta	<ul style="list-style-type: none"> - Toimitusketjun optimointi. - Sumea logiikka: parantaa toimitusten ajoitusta ja vähentää viivästyksiä.
Suunnittelu ja muotitrendien ennakointi	<ul style="list-style-type: none"> - Vahvistusoppiminen: suunnittelijoiden tukeminen päätöksissä muotitrendien ja asiakkaiden mieltymysten perusteella. - Data-analytiikka: muotitrendien ennustaminen kuvien ja historiallisen datan avulla.
Varastonhallinta	<ul style="list-style-type: none"> - Neuroverkot: varastotasojen optimointi kysynnän ennustamisen avulla. - Ennakoiva analytiikka: ylituotannon ehkäiseminen
Jakelu ja logistiikka	<ul style="list-style-type: none"> - Jakelureittien optimointi. - tuotteen elinkaaren seuraaminen ja kiertotalouden edistäminen.
Jätteen vähentäminen ja kierrätys	<ul style="list-style-type: none"> - Keinotekoiset hermoverkot: jätemäärän ennustaminen ja strategiat jätteen vähentämiselle. - Robotiikka ja konvoluutiohermoverkot: automaattinen jätteiden lajittelu ja kierrätys.

Kaiken kaikkiaan muotiteollisuus tarvitsee merkittäviä innovaatioita tuotantoprosesseissaan ja vastuullisempia käytäntöjä kestävä kehityksen saavuttamiseksi. Tekoäly tarjoaa monia mahdollisuuksia muotiteollisuuden kestävyysaasteiden ratkaisemisessa, aina toimitusketjun optimoinnista suunnitteluun, myyntiin ja jätteidenhallintaan. Näiden teknologioiden hyödyntäminen voi merkittävästi edistää ympäristöystävällisempää ja vastuullisempaa tulevaisuutta muotiteollisuudessa.

4.2 Johtopäätökset

Johtopäätöksenä voidaan todeta, että tekoäly tarjoaa tehokkaita ja monipuolisia keinoja muotiteollisuuden vastuullisuusongelmien ratkaisemiseksi. Tekoälyn sovellukset kuten ennustava analytiikka, älykkäät toimitusketjut ja materiaalien optimointi voivat merkittävästi vähentää ympäristökuormitusta ja tukea muotiteollisuuden siirtymistä kohti kiertotalouden liiketoimintamalleja. Näiden keinojen hyödyntäminen edellyttää kuitenkin teollisuuden rakenteellista muutosta sekä yritysten sitoutumista kestävämpiin toimintamalleihin, joissa vastuulliset näkökulmat asetetaan liiketoimintastrategioiden keskiöön.

Tulevaisuudessa tekoälyn tarjoamia ratkaisuja tulee implementoida teollisuuteen niiden maksimaalisen hyödyn saavuttamiseksi. Tekoälyn integroiminen vaatii yrityksiltä pitkäjäteistä investointia ja uusien teknologioiden käyttöönottoa. Tämä vaatii paitsi aktiivista roolia yrityksiltä, myös innovaatioiden kehittämistä ja yhteistyötä useiden tahojen, kuten teknologia-alan yritysten ja tutkijoiden kanssa.

Vastuullisuuden saavuttaminen ei kuitenkaan voi perustua pelkkään teknologiaan. Tarvitaan myös laajempaa säätelyä, kuluttajakasvatusta ja yhteiskunnallista sitoutumista kestäväan kehitykseen. Tekoäly voi toimia merkittävänä tukena näissä prosesseissa, mutta sen potentiaalin täysi hyödyntäminen vaatii kokonaisvaltaista lähestymistapaa, joka hyödyntää teknologiset innovaatiot ja kestävä kehityksen periaatteet. Lopulta muutos kohti vastuullisuutta vaatii paitsi teknologian käyttöä myös asennemuutosta koko alalla. Tulevaisuuden muotiteollisuuden on omaksuttava arvoja, jotka korostavat pitkäkestoista ja kohtuulliseen kuluttamiseen pyrkivää muotia. Vain näin muotialalla on mahdollisuus tehdä merkittävää vaikutusta kestävä kehityksen tavoitteiden saavuttamiseksi.

Lähteet

- Akram, S. V., Malik, P. K., Singh, R., Gehlot, A., Juyal, A., Ghafoor, K. Z., & Shrestha, S. (2022). Implementation of Digitalized Technologies for Fashion Industry 4.0: Opportunities and Challenges. *Scientific Programming*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/7523246>
- Balasubramanian, M., & Sheykhmaleki, P. (2024). Comprehending the Consumer Behavior toward Sustainable Apparel. *Sustainability*, 16(18), Article 18. <https://doi.org/10.3390/su16188026>
- Bonelli, F., Caferra, R., & Morone, P. (2024). In need of a sustainable and just fashion industry: Identifying challenges and opportunities through a systematic literature review in a Global North/Global South perspective. *Discover Sustainability*, 5(1), 186. <https://doi.org/10.1007/s43621-024-00400-5>
- Brito, P. Q., Soares, C., Almeida, S., Monte, A., & Byvoet, M. (2015). Customer segmentation in a large database of an online customized fashion business. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 36, 93–100. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2014.12.014>
- Caniato, F., Caridi, M., Crippa, L., & Moretto, A. (2012). Environmental sustainability in fashion supply chains: An exploratory case based research. *International Journal of Production Economics*, 135(2), 659–670. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2011.06.001>
- Chakraborty, S., Hoque, S. M. A., & Kabir, S. M. F. (2020). Predicting fashion trend using runway images: Application of logistic regression in trend forecasting. *International Journal of Fashion Design, Technology and Education*, 13(3), 376–386. <https://doi.org/10.1080/17543266.2020.1829096>
- Dabas, C. S., & Whang, C. (2022). A systematic review of drivers of sustainable fashion consumption: 25 years of research evolution. *Journal of Global Fashion Marketing*, 13(2), 151–167. <https://doi.org/10.1080/20932685.2021.2016063>
- Di Vaio, A., Palladino, R., Hassan, R., & Escobar, O. (2020). Artificial intelligence and business models in the sustainable development goals perspective: A systematic literature review. *Journal of Business Research*, 121, 283–314. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.08.019>
- Enholm, I. M., Papagiannidis, E., Mikalef, P., & Krogstie, J. (2022). Artificial Intelligence and Business Value: A Literature Review. *Information Systems Frontiers*, 24(5), 1709–1734. <https://doi.org/10.1007/s10796-021-10186-w>
- Fatimah, Y. A., Govindan, K., Murniningsih, R., & Setiawan, A. (2020). Industry 4.0 based sustainable circular economy approach for smart waste management system to achieve sustainable development goals: A case study of Indonesia. *Journal of Cleaner Production*, 269, 122263. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122263>

- Garcia-Torres, S., Rey-Garcia, M., & Albareda-Vivo, L. (2017). Effective Disclosure in the Fast-Fashion Industry: From Sustainability Reporting to Action. *Sustainability*, 9(12), Article 12. <https://doi.org/10.3390/su9122256>
- Ghosh, A., Guha, T., Bhar, R. B., & Das, S. (2011). Pattern classification of fabric defects using support vector machines. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 23(2/3), 142–151. <https://doi.org/10.1108/09556221111107333>
- Global Fashion Industry Statistics*. (ei pvm.). Noudettu 19. syyskuuta 2024, osoitteesta <https://fashionunited.com/global-fashion-industry-statistics>
- Guosheng, X., Yang, X., Zhiqi, Y., & Yize, S. (2022). An intelligent defect detection system for warp-knitted fabric. *Textile Research Journal*, 92(9–10), 1394–1404. <https://doi.org/10.1177/00405175211060084>
- Hsiao, S.-W., Lee, C.-H., Chen, R.-Q., & Yen, C.-H. (2017). An intelligent system for fashion colour prediction based on fuzzy C-means and gray theory. *Color Research & Application*, 42(2), 273–285. <https://doi.org/10.1002/col.22057>
- Jaheer Mukthar, K. P., Nagadeepa, C., Selvaratnam, D. P., Pushpa, A., & Shukla, N. (2024). Sustainable wardrobe: Recycled clothing towards sustainability and eco-friendliness. *Discover Sustainability*, 5(1), 151. <https://doi.org/10.1007/s43621-024-00358-4>
- Jain, S., & Kumar, V. (2020). Garment Categorization Using Data Mining Techniques. *Symmetry*, 12(6), Article 6. <https://doi.org/10.3390/sym12060984>
- Jung, S., & Jin, B. (2016). Sustainable Development of Slow Fashion Businesses: Customer Value Approach. *Sustainability*, 8(6), Article 6. <https://doi.org/10.3390/su8060540>
- Kim, M., Shim, J. Y., Lim, S., Lee, H., Kwon, S. C., Hong, S., & Ryu, S. (2024). Reduction of greenhouse gas emissions by optimizing the textile dyeing process using digital twin technology. *Fashion and Textiles*, 11(1). <https://doi.org/10.1186/s40691-024-00384-w>
- Köksal, D., Strähle, J., Müller, M., & Freise, M. (2017). Social Sustainable Supply Chain Management in the Textile and Apparel Industry—A Literature Review. *Sustainability*, 9(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/su9010100>
- Matuszak-Flejszman, A., Preisner, A., & Banach, J. K. (2024). Transport-Related Emissions and Transition Strategies for Sustainability—A Case Study of the Fast Fashion Industry. *Sustainability*, 16(17), Article 17. <https://doi.org/10.3390/su16177749>
- Moorhouse, D., & Moorhouse, D. (2017). Sustainable Design: Circular Economy in Fashion and Textiles. *The Design Journal*, 20(sup1), S1948–S1959. <https://doi.org/10.1080/14606925.2017.1352713>

- Nakandala, D., Samaranayake, P., & Lau, H. C. W. (2013). A fuzzy-based decision support model for monitoring on-time delivery performance: A textile industry case study. *European Journal of Operational Research*, 225(3), 507–517. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2012.10.010>
- Nañez Alonso, S. L., Reier Forradellas, R. F., Pi Morell, O., & Jorge-Vazquez, J. (2021). Digitalization, Circular Economy and Environmental Sustainability: The Application of Artificial Intelligence in the Efficient Self-Management of Waste. *Sustainability*, 13(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/su13042092>
- Niinimäki, K., Peters, G., Dahlbo, H., Perry, P., Rissanen, T., & Gwilt, A. (2020). The environmental price of fast fashion. *Nature Reviews Earth and Environment*, 1(4), 189–200. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0039-9>
- Oliveira, V., Sousa, V., & Dias-Ferreira, C. (2019). Artificial neural network modelling of the amount of separately-collected household packaging waste. *Journal of Cleaner Production*, 210, 401–409. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.063>
- Papachristou, E., Chrysopoulos, A., & Bilalis, N. (2021). Machine learning for clothing manufacture as a mean to respond quicker and better to the demands of clothing brands: A Greek case study. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 115(3), 691–702. <https://doi.org/10.1007/s00170-020-06157-1>
- Pattanayak, A. K., Ameersing Luximon, & Asimananda Khandual. (2011). *Prediction of drape profile of cotton woven fabrics using artificial neural network and multiple regression method*. <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0040517510380783>
- Paul, S. K., & Azaem, A. (2011). An artificial neural network model for optimization of finished goods inventory. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 2(2), 431–438. <https://doi.org/10.5267/j.ijiec.2011.01.005>
- Ramos, L., Rivas-Echeverría, F., Pérez, A. G., & Casas, E. (2023). Artificial intelligence and sustainability in the fashion industry: A review from 2010 to 2022. *SN Applied Sciences*, 5(12), 387. <https://doi.org/10.1007/s42452-023-05587-2>
- Reichheld, A., Peto, J., & Ritthaler, C. (2023, syyskuuta 18). Research: Consumers' Sustainability Demands Are Rising. *Harvard Business Review*. <https://hbr.org/2023/09/research-consumers-sustainability-demands-are-rising>
- Stringer, T., Mortimer, G., & Payne, A. R. (2020). Do ethical concerns and personal values influence the purchase intention of fast-fashion clothing? *Journal of Fashion Marketing and Management: An International Journal*, 24(1), 99–120. <https://doi.org/10.1108/JFMM-01-2019-0011>

- THE 17 GOALS | Sustainable Development.* (ei pvm.). Noudettu 19. syyskuuta 2024, osoitteesta <https://sdgs.un.org/goals>
- Vrancken, C., Longhurst, P., & Wagland, S. (2019). Deep learning in material recovery: Development of method to create training database. *Expert Systems with Applications*, *125*, 268–280. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.01.077>
- Vu, H. L., Bolingbroke, D., Ng, K. T. W., & Fallah, B. (2019). Assessment of waste characteristics and their impact on GIS vehicle collection route optimization using ANN waste forecasts. *Waste Management*, *88*, 118–130. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.03.037>
- Wang, B., Luo, W., Zhang, A., Tian, Z., & Li, Z. (2020). Blockchain-enabled circular supply chain management: A system architecture for fast fashion. *Computers in Industry*, *123*, 103324. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103324>
- Wilts, H., Garcia, B. R., Garlito, R. G., Gómez, L. S., & Prieto, E. G. (2021). Artificial Intelligence in the Sorting of Municipal Waste as an Enabler of the Circular Economy. *Resources*, *10*(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/resources10040028>