



Anni Anttila

# Älyteknologian sijoittaminen työvaatteeseen

Case: Lindström Oy

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Vaatetusalan tutkinto-ohjelma

Vestonomi

Opinnäytetyö

6.4.2021

## Tiivistelmä

Tekijä:	Anni Anttila
Otsikko:	Älytekniologian sijoittaminen työvaatteeseen
Sivumäärä:	40 sivua + 2 liitettä
Aika:	6.4.2021
Tutkinto:	Vestonomi
Tutkinto-ohjelma:	Vaatetusalan tutkinto-ohjelma
Ohjaajat:	Tuotespesialisti Inari Laveri KM Ülle Liesvirta

---

Tämä opinnäytetyö on tehty suomalaiselle työvaateyritykselle Lindström Oy:lle ja on osa heidän *Smart Work Wear Development* -hankettaan, jossa tutkitaan mahdollisuuksia yhdistää älyteknologiaa työvaatteisiin. Työn tavoitteena on selvittää, mitä tulee ottaa huomioon sensoriteknologian sijoituspaikkaa valitessa ja mihin kohtaan työvaatetta lämpötilaa mittaava sensoriteknologia kannattaa sijoittaa. Näkökulmat, joiden kannalta sijoituspaikkaa tutkitaan, ovat: käyttäjäryhmä, älyvaatteen huoltaminen, sensoriteknologia sekä suunnittelu ja tuotanto.

Tutkimusmenetelmänä tässä opinnäytetyössä on tapaustutkimus, johon aineistoa on hankittu laadullisin menetelmin. Aineistona on käytetty kirjallisia aineistoja, kuten aihealueen kirjallisuutta, tutkimuksia, opinnäytetöitä, standardeja ja verkkojulkaisuja. Muita tutkimuksessa käytettyjä aineistonhakumenetelmiä ovat asiantuntijahaastattelut, workshopit ja benchmarking. Aineistoa työhön saatiin myös lämpötilasensoreiden testimittauksella ja siihen liittyvän demon testaamisella.

Opinnäytetyössä rakennettiin teoriapohja vaatetusfysiologiasta lämpöviihtyvyyden ja lämmön mittaamisen osalta sekä määriteltiin puettavaa teknologiaa ja erilaisia älytekstiileitä. Tutkimuksessa perehdyttiin laajasti aiheisiin, jotka vaikuttavat sensorien sijoittamiseen ja kerätyn aineiston avulla päätettiin sijoituspaikat lämpötilaa mittaaville sensoreille testimittausta varten. Testimittauksen tulosten ja muun aineiston valossa saatiin vastaukset tutkimuskysymykseen ja saavutettiin tutkimuksen tavoitteet.

Avainsanat: älyvaate, älytekstiili, puettava teknologia, sensori, vaatetusfysiologia, lämpöviihtyvyys, mikroilmasto

## Abstract

Author: Anni Anttila  
Title: Placing Smart Technology into Work Wear  
Number of Pages: 40 pages + 2 appendices  
Date: 6 April 2021

Degree: Vestonomi  
Degree Programme: Bachelor of Culture and Arts  
Instructors: Inari Laveri, Product Specialist  
Ülle Liesvirta, Master of Education

---

This thesis was made for the Finnish work wear company Lindström Oy and is a part of their *Smart Work Wear Development* project, which explores the possibilities of combining intelligent technology with work wear. The aim of the thesis is to find out what should be considered when choosing the location of the sensor technology and where the sensor measuring temperature should be placed. The perspectives from which the location is examined are user group, smart garment maintenance, sensor technology, and design and production.

The research method in this thesis is case study, for which the material has been acquired using qualitative methods. Literary materials such as research, theses, standards, and online publications have been used as information sources. Other retrieval methods for material are interviews for specialists, workshops, and benchmarking. The material for the thesis was also obtained by testing the temperature sensors and the demo related.

In this thesis, the theoretical basis of thermal comfort and heat measurement was built, which are part of clothing physiology. Wearable technology and various intelligent textiles were defined. The study focused extensively on topics that affect sensor placement, and the data collected were used to decide on placement locations for temperature measuring sensors in test measurement. In the light of the results of the test measurement and other material, the answers to the research problem were obtained and the objectives of the research were achieved.

Keywords: smart clothing, smart textile, wearable technology, sensor, clothing physiology, thermal comfort, microclimate

## Sisällys

1	Johdanto	1
2	Opinnäytetyön lähtökohdat	2
2.1	Lindström Oy	3
2.2	Tutkimusongelma ja viitekehys	4
2.3	Tutkimusaineisto	7
3	Älyvaatteen määrittely	9
3.1	Älytekstiilimateriaali	10
3.2	Älytekstiilijärjestelmä ja puettava teknologia	13
4	Vaatetusfysiologia	14
4.1	Lämmön luovutus	15
4.2	Lämpötilan mittaus	17
5	Benchmarking älyteknologian sijoittelusta vaatteeseen	20
5.1	SINTEF ColdWear	20
5.2	Medanta ja Movesense	21
6	Näkökulmat, jotka tulee huomioida sensoriteknologian sijoituskohtaa valitessa	22
6.1	Käyttäjärühmä	23
6.1.1	Käyttäjän huomioiminen	23
6.1.2	Käyttäjän turvallisuus	24
6.2	Älyvaatteen huoltaminen	25
6.2.1	Pesu	25
6.2.2	Kuivaus	26
6.3	Sensoriteknologia	27
6.3.1	Sensoriteknologian sijoittaminen	27
6.3.2	Sensoriteknologia ja lämpötilan mittaus	28
6.4	Suunnittelu	29
6.4.1	Tuotanto	30
6.4.2	Vastuullisuus ja kierrätettävyys	30
7	Testimittaukset	31
7.1	Sensorit ja sijoittaminen	31
7.2	Testausolosuhteet	33
8	Päätelmät	34

9	Yhteenveto	36
	Lähteet	38
	Liitteet	41
	Liite 1. Asiantuntijahaastattelu: Elina Palovuori 17.3.2021/Elina Ilén 19.3.2021	41
	Liite 2. Asiantuntijahaastattelu: Anne Väveri 22.3.2021	42

# 1 Johdanto

Tekstiilimateriaalit ja elektroniikka ovat saavuttaneet paikkansa yhteiskunnassamme monissa tuotteissa. Me tarvitsemme tekstiilejä pukeutumiseen, koska ilman materiaaleja ei voi tehdä vaatteita. Elektroniikkaa tarvitsemme arkielämässä monin tavoin: silloin, kun haluamme siirtää tietoa paikasta toiseen, viestiä, kuunnella musiikkia, liikkua tai kun tarvitsemme valoa. Mahdollisuus sijoittaa monipuolistakin teknologiaa huomaamattomasti lähelle vartaloa houkuttelee monia. (Chapman 2013, 191.) Työvaatteen ensisijainen tarkoitus on suojata työntekijää, mutta miksi se ei voisi myös tehostaa työntekoa tai ennalta ehkäistä työtapaturmia ja täten parantaa työhyvinvointia? Kun huomioidaan nämä mahdollisuudet ei ole lainkaan ihme, että useissa työvaateyrityksissä pohditaan älyn yhdistämistä työvaatteisiin.

Tässä opinnäytetyössä käsitellään älyteknologian yhdistämistä vuokratyövaateutukseen. Opinnäytetyö on tehty Lindström Oy:lle ja se on taustatutkimusta yrityksen *Smart Work Wear Development* -hankkeeseen. Työn tavoitteena on tutkia, mihin kohtaan työvaatetuksessa sensorit ja anturit älytekniikkaa varten kannattaa sijoittaa. Tutkimuksessa tarkastellaan, mitä vaatimuksia sensorin ominaisuudet ja sen huolto, vaatteen huolto, käyttäjäryhmän työnkuva, vaatteen rakenteet ja tuotanto sekä aiheeseen liittyvät standardit asettavat sensorin paikkaa määrittäessä. Opinnäytetyössä avataan älyvaateutukseen liittyviä käsitteitä ja tutustutaan benchmarking-menetelmällä lämpötilaa mittaavaa älyteknologiaa hyödyntäneisiin vaateyrityksiin sensorin sijoittelun näkökulmasta. Sensoriteknologian käyttötarkoituksen takia aiheetta tarkastellaan myös vaatetusfysiologian näkökulmasta. Lopuksi analysoidaan tutkimustulokset ja tehdään yhteenveto tutkimuksesta ja tuloksista sekä ehdotetaan jatkotutkimusaiheita.

Tässä työssä ei tutkita sensorin sijoittamista spesifien käyttäjäryhmien tai toimialojen lähtökohdasta vaan huomioidaan yleisellä tasolla ne asiat, jotka tulee huomioida käyttäjän näkökulmasta. Työ- ja suojavaatteista löytyy paljon tietoa

vaatetusalan kirjallisuudesta sekä aihetta on esitelty laajasti esimerkiksi Marianne Moision *Älyllä toiminnallisuutta työvaatteisiin* (Moisio 2019) ja Mervi Helmimäen *IoT:n käytön mahdollisuudet työvaatteessa* (Helmimäki 2018) opinnäytetöissä, joten näitä aiheita ei kerrata tässä tutkimuksessa. Tietosuojaan liittyvät asiat on rajattu pois, koska se ei vaikuta siihen, mihin äly työvaatteessa sijoitetaan.

## 2 Opinnäytetyön lähtökohdat

Kuten kaikissa maailmanlaajuisesti työvaatteita valmistavissa yrityksissä, myös Lindströmillä on herännyt kiinnostus älyn yhdistämisestä työvaatteeseen. Lindströmillä on tällä hetkellä yhdistetty älyä RFID-sirun muodossa vuokratyövaatetukseen, mutta myös muita älyteknologian yhdistämisen mahdollisuuksia tutkitaan erilaisissa kehityshankkeissa.

Lindström on mukana vuonna 2019 alkaneessa Aalto-yliopiston *Sunpowered Textiles* -hankkeessa yhdessä kangasvalmistaja Foxan ja sensortechnologia yritys Haltianin kanssa. Tässä Aalto-yliopiston aurinkoenergiateknologiaan liittyvässä hankkeessa integroidaan aurinkokennoja vaatteisiin. Lindströmin rooli hankkeessa on testata tapoja integroida aurinkokennot vaatteisiin istuvuuden, mitoituksen ja tuotannon huomioiden. Tarkoituksena on myös testata Haltianin teknologian, aurinkokennojen ja Foxan kankaiden yhdistelmän soveltuvuus teolliseen pesuun ja kuivaukseen. Lopputulemana tulisi varmistaa, että tämä älytekstiilijärjestelmä voidaan kaupallistaa ja ottaa käyttöön oikeissa käyttöoloissa. (Huttunen 2019.)

Samanaikaisesti Lindströmillä on alkanut rinnakkainen *Smart Work Wear Development* -hanke, johon tämän opinnäytetyön tutkimus liittyy. Hankkeen ensimmäisessä vaiheessa tutkittiin mahdollisuuksia älyteknologian yhdistämisestä vaatteeseen ja mihin älyä työvaatteessa kannattaa yhdistää, jotta se parantaa käyttäjän työn toimivuutta ja tehoa. Tätä aihetta käsitteli Marianne Moisio YAMK-tutkintoon valmistavassa opinnäytetyössään *Älyllä toiminnallisuutta työvaatteisiin*. Opinnäytetyössään Moisio selvitti, millaista teknologiaa on mahdollisuus

hyödyntää älyvaatteissa tulevina lähivuosina. Hän kartoitti työssään jo olemassa ja kehitteillä olevia teknologioita sekä määrittä näiden tuoma lisäarvo asiakasyrityksen, käyttäjän ja Lindströmin näkökulmasta. Opinnäytetyön lopputuloksena syntyi neljä älyvaatteen liiketoimintakonseptia, joiden toimialat on valittu Lindströmin toimialojen mukaan. (Moisio 2019, 3.) Nämä toimialat ovat vähittäiskauppa, teollisuus, terveydenhoito ja rakennustyömaat sekä niiden ympäristön ja työntekijän olosuhteiden seuranta eri tavoin. (Moisio 2019, 88–103.)

*Smart Work Wear Development* -hankkeen toisessa vaiheessa on tarkoitus pilotoida ensimmäisessä vaiheessa syntyneitä mahdollisuuksia ja ideoita. Näiden hankkeen vaiheiden jälkeen kehitetään mahdollisia valmiita työvaateratkaisuja, jotka voidaan kaupallistaa. Tämän opinnäytetyön tutkimus lähestyy aihetta käytännön toteutuksen kannalta tutkimalla, mihin vaatteeseen ja vaatteen osaan teknologia kannattaisi sijoittaa tulevassa demossa tai piloteissa. Näistä piloteista saatavan tiedon perusteella voidaan myöhemmin hankkeen seuraavassa vaiheessa muodostaa ja valikoida valmiita kaupallisia ratkaisuja.

## 2.1 Lindström Oy

Lindström Oy on kansainvälinen yritys, joka tarjoaa työ- ja suojavaatteiden lisäksi ratkaisuja toimitilojen siisteyteen ja sisustamiseen. Palveluvalikoimaan kuuluvat myös teollisuuspyyhe-, hygienia- ja ravintolatekstiilipalvelut sekä tytäryhtiö Comfortan kautta myös hotellien ja terveydenhuollon tekstiilit.

Työvaatteet Lindströmillä suunnitellaan aina asiakasta ajatellen ja loppukäyttäjän vaatimukset, käyttötarkoitus ja käyttäjän työtehtävät huomioiden. Vaatteen elinkaaresta saadaan mahdollisimman pitkä, kun käytetään laadukkaita materiaaleja sekä mietitään rakenteet kestäviksi ja tarkoituksenmukaisiksi. (Vääri 2021.) Työvaatepalvelu on merkittävin kaikista Lindströmin palveluista ja sitä tarjotaan eri toimialojen eri kokoisille yrityksille ja yhteisöille. Kotimaisen perheyrittäjien vuokratyövaatteita on saatavilla kaikissa 24 maassa, joissa se toimii. Vaatteet suunnitellaan kestäviksi ja korjattaviksi, jotta ne säilyvät käytössä



mahdollisimman pitkään. Kun työvaatteita ei enää voi käyttää niiden alkuperäiseen tarkoitukseen, ne kierrätetään uusiksi tuotteiksi tai hävitetään vastuullisella tavalla. Laatuvaatimukset ovat korkealla työvaatetuksessa ja mallistot ovat lainsäädännön ja standardien mukaisia. (Lindström 2021.)

Lindströmin työvaatepalveluun sisältyy kartoitus, suunnittelu ja hankinta, toimitus asiakkaalle, kuljetukset, pesu ja huolto, varastointi ja loppuhävittäminen. Työvaatepalvelu huolehtii, että asiakkailta on oikeat työvaatteet ja tekstiilit aina saatavilla keskitetyssä varastossa. Puhtaat ja huolletut vaatteet toimitetaan viikoittain suoraan työntekijän kaappiin tai muuhun sovittuun paikkaan. (Lindström 2021.)

Lindströmillä on työvaatepalvelussa käytössä RFID-teknologia, joka on automaattinen etätunnistusteknologia. Sen avulla voidaan tunnistaa reaaliaikaisesti, missä vaate liikkuu. Tämä etätunnistus helpottaa varastojen hallintaa, koska sillä on mahdollista lukea myös suuria vaatemääriä kerrallaan. (Lindström b, 2021.) RFID kerää myös dataa vaatteesta: sillä voidaan seurata vaatteen ikää ja elinkaaren tapahtumia, kuten sen pesukertoja tai kokonaiskäyttöä (Vääri 2021.)

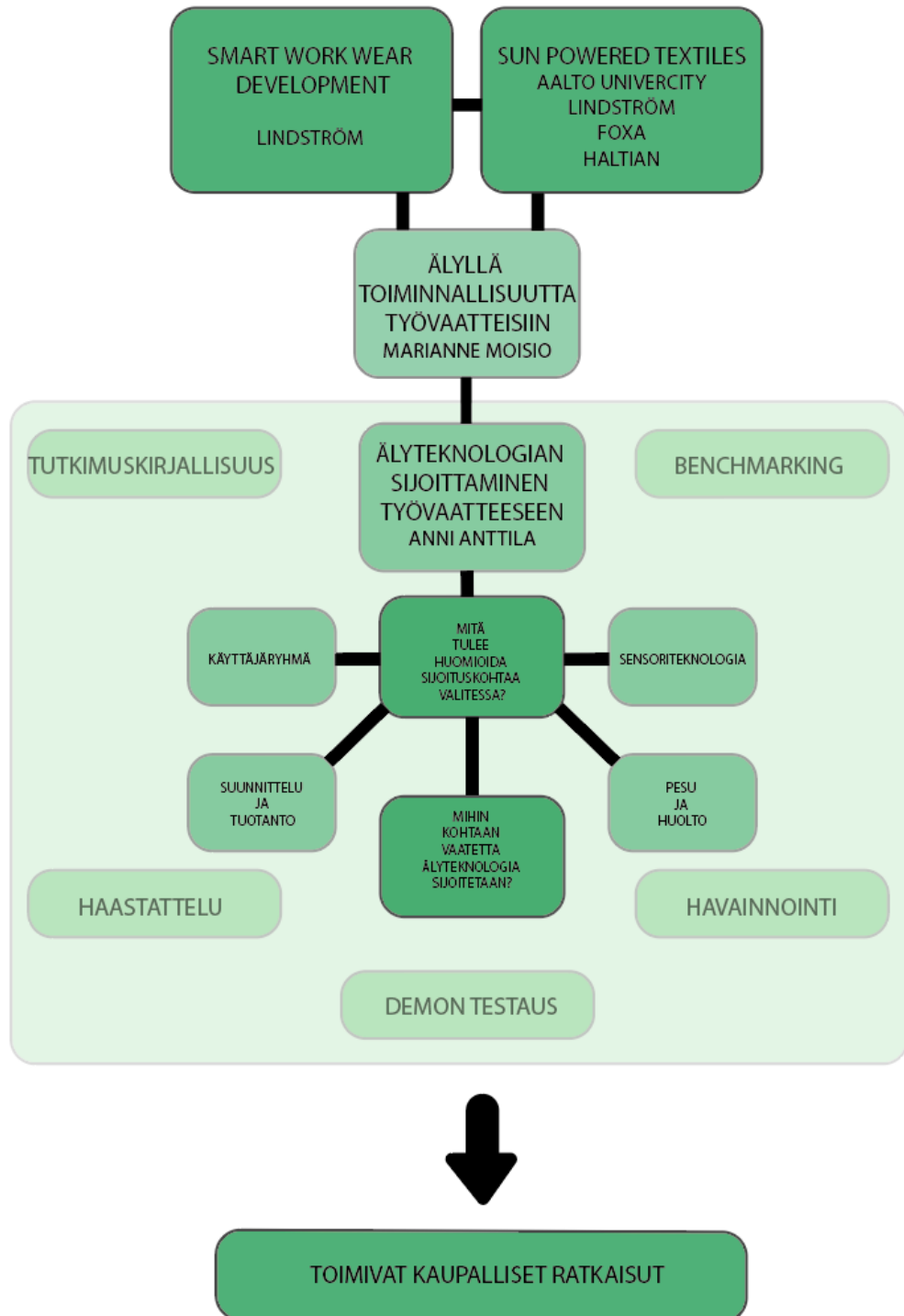
## 2.2 Tutkimusongelma ja viitekehys

Tässä opinnäytetyössä on tarkoitus selvittää yksityiskohtaisemmin, mihin kohtaan työvaatetta jotain tiettyä määrettä mittaava sensori kannatta sijoittaa. Tässä työssä ja demon testauksessa mitattavaksi määreeksi rajattiin vaatteen sisäpuolen lämpötilan mittaus, mutta näkökulmia, joiden vaikutusta sijoitteluun käydään läpi, käsitellään myös yleisemmästä perspektiivistä. Laadullisessa tutkimuksessa on tarkoituksena perehtyä asiaan laaja-alaisesti ja ymmärtää syvällisesti eri näkökulmia, jotka asiaan vaikuttavat sekä lopulta antaa aiheelle sopiva tulkinta (Kananen 2008, 24). Näkökulmat, joihin ymmärrystä haetaan ovat käyttäjät, sensoriteknologia, vaatteiden suunnittelu ja tuotanto sekä pesu ja huolto. Tutkimuksessa huomioidaan myös aiheeseen liittyviä standardeja ja di-

rektiivejä. Tämän tutkimuksen viitekehys ja toimintakenttä, johon työssä keskitytään, on määritelty kuviossa 1. Tutkimuksessa etsitään vastausta seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

- Mitä tulee huomioida sensorteknologian sijoituskohtaa valittaessa?
- Mihin kohtaan työvaatetta lämpötilaa mittaava sensori sijoitetaan?

Kun haetaan näihin tutkimuskysymyksiin vastauksia, tarkastellaan asiaa todellisessa kontekstissään, joka tutkii tiettyä nykyistä tapahtumaa tai toimintaa tietyssä rajatussa ympäristössään, joten tämän opinnäytetyön aihetta on lähestytty tapaustutkimuksen avulla. Tapaustutkimuksessa on tarkoitus tutkia intensiivisesti tiettyä kohdetta ja tällöin kohteena voivat olla myös siihen liittyvät taustatekijät, ajankohtainen asema, ulkoiset ja sisäiset vaikuttavat tekijät tai ympäristötekijät. Kun kyseessä on useita yhdessä vaikuttavia asioita, pyritään niistä saamaan mahdollisimman kokonaisvaltainen ja seikkaperäinen kuvaus. (Anttila 2000, 252.)



Kuvio 1. Tutkimuksen viitekehys ja tutkimusote.

Tapaustutkimuksessa tapauksia on usein vain yksi ja tavoitteena on päästä syvälle tämän yhden tapauksen ymmärtämisessä periaatteella, jolla saadaan ”vähästä paljon”. (Kananen 2008, 85.) Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tutkia tätä yksittäistä tapausta, sensorien sijoittamista, eri näkökulmista monipuolisten aineistojen valossa, ymmärtää syvällisesti kaikkia siihen vaikuttavia tekijöitä ja tuottaa analyysin perusteella ehdotuksia ja tietopohjaa lopulliselle sijoittamiselle.

Aineiston analyysi opinnäytetyössä on tehty teemoittain, jotka nousivat esiin jo työtä aloittaessa ja se on tehty realistista tarkastelutapaa käyttäen. Aineistoa on kerätty, järjestelty ja siihen on syvennyt aiheittain, joten analyysiä on tehty läpi koko tutkimuksen. Tämän jälkeen olennaiset asiat on tiivistetty aihealueittain omiksi luvuikseen, joiden avulla voidaan peilata ja verrata mitä vastauksia nämä näkökulmat voivat antaa tutkimuskysymyksiä ratkottaessa.

## 2.3 Tutkimusaineisto

Aineiston hakumenetelmät, joita opinnäytetyössä käytetään määräytyvät sen mukaan, minkälaista tietoa, keneltä tai mistä sitä etsitään (Hirsjärvi, Remes & Sarjavaara 2009, 184). Tietoa, jota tämän tutkimuksen pohjalle on haettu, on kerätty laadullisin menetelmin. Tutkimuksen aihetta on lähestytty induktiivisesti perehtymällä aineistoon, jonka jälkeen tapaukselle on annettu tulkinta. Aineistona on käytetty kirjallisia aineistoja, kuten hankkeeseen liittyviä tutkimuksia ja dokumentteja, muita aihealueen tutkimuksia, opinnäytetöitä sekä verkkojulkaisuja. Kirjallisia tietolähteitä ovat olleet myös tämän opinnäytetyön aiheeseen liittyvät vaatetusalan standardit.

Muita aineistonhakumenetelmiä, joita tässä tutkimuksen tiedonhaussa on käytetty, ovat asiantuntijahaastattelut, benchmarking, yhteisölliset ideointimenetelmät eli workshopit ja niissä havainnointi ja osallistuva havainnointi. Dokumenttiaineistoksi lasketaan kenttämuistiinpanot workshoppeista ja projektin tapaamisista. Hankkeessa, johon tämä tutkimus liittyy, on tarkoituksena pilotoida mahdollisesti jopa useampaa eri teknologiaa sijoittelun ja käyttökokemuksen kan-

nalta. Tähän tutkimukseen kerätään aineistoa yhden sovelluksen demon testauksella ja lämpötilasensoreiden testimittauksella sekä analysoidaan näistä saatua tietoa, joiden pohjalta tulevat pilotit suunnitellaan.

Yhtenä aineistonhakumenetelmänä tutkimuksessa ovat olleet alan asiantuntijoiden haastattelut. Haastattelut on tehty asiantuntijoille yksilöhaastatteluina aihealueen teemoista. Teemahaastattelut tarjoavat tutkijalle riittävästi väljyyttä aineiston hankintaan mutta mahdollistavat aiheen rajaamista teemoituksen avulla (Kananen 2008, 74). Strukturoimaton avoin haastattelu ei vaadi etukäteistä suunnittelua vaan haastateltava voi kertoa vapaasti haluamista asioista. Haastattelu voi olla myös löyhästi strukturoitu, jolloin sen kulku ohjautuu tilanteen mukaan. (Anttila 2000, 231.) Etenkin kun asiantuntijalta haetaan tietoa ilmiöstä, jota ei tunneta kovin hyvin, on haastattelu yleensä strukturoimaton. Mitä vähäisempi tiedon määrä ennalta on, sitä yleisluontoisimpiin kysymyksiin haastattelussa turvaudutaan. (Kananen 2008, 74.)

Asiantuntijahaastattelujen tarkoitus on saada asiantuntijalta hallussaan olevaa erikoistietämystä. Asiantuntijoilla on asemansa vuoksi mahdollisuus antaa tietoa esim. ilmiön laajoista kysymyksistä, organisaatioista tai tulevaisuuden suuntaviivoista. (Anttila 2000, 233.) Asiantuntijat tämän tutkimuksen haastatteluihin on valikoitu aihealueittain, jotka liittyvät sellaiseen tutkimuksessa tarvittavan tietoon, joista löytyy hyvin vähän tai ei löydy lainkaan kirjallista aineistoa. Teemahaastatteluja, joilla tähän opinnäytetyöhön on haettu aineistoa, on tehty älyvaatteen suunnittelun ja tuotannon osalta alan pioneereille Elina Ilénille ja Elina Palovuorelle. Elina Ilén on tekstiili- ja vaatetustekniikan diplomi-insinööri, joka on työskennellyt älyvaatteiden kehitystyössä vuodesta 2000 alkaen. Hän on työskennellyt tutkimus- ja kehitystyössä Reima Oy:llä ja Clothing+:lla. Nyt hän toimii tutkijana Aalto-yliopistossa puettavan teknologian, kiertotalouden ja kierrätettävien tekstiilien parissa. Diplomi-insinööri Elina Palovuori on työskennellyt Clothing+:lla kehittämällä tekstiilipohjaisen puettavan elektroniikan tuotteita ja tuotantoa ja toimii tänä päivänä projektisuunnittelijana Aalto-yliopiston Taiteiden ja suunnittelun korkeakoulun muotoilun laitoksella. Asiantuntijahaastattelu on tehty

myös Lindströmin tuotepäällikkö Anne Väärille liittyen Lindströmin työvaatepalvelun suunnitteluprosessiin ja pesulan toimintoihin. Anne Väari on taiteen maisteri Taideteollisesta korkeakoulusta ja toiminut vaatesuunnittelijana vuodesta 1997. Hänen osaamisensa painottuu työvaatetuksen saralla erityisesti suojavaatteisiin, ja hän on työskennellyt Lindströmillä työvaatteiden suunnittelun ja tuotekehityksen parissa vuodesta 2011.

### 3 Älyvaatteen määrittely

Älyvaatteeksi voidaan kutsua vaatetta, joka sisältää älykkäitä tekstiilimateriaaleja tai vaatetta, johon on liitetty erilaisia toimintoja elektroniikan avulla (Risikko & Marttila-Vesalainen 2006, 126). Vaatteeseen voidaan liittää teknologiaa sensoreiden ja antureiden muodossa tai suoraan tekstiilimateriaaliin jo kuidun kehruvaiheessa. Teknologiaa voidaan yhdistää myös painamalla, laminoimalla tai brodeeraamalla. (Risikko & Marttila-Vesalainen 2006, 130.) Älykäs tekstiilimateriaali tai -tuote ottaa vastaan tietoa ympäristöstään, käsittelee tämän tiedon ja toimii tiedon perusteella loogisesti jollain toistettavalla tavalla (Nousiainen & Risanen 2019, 254).

Älytekstiilit voidaan jakaa ryhmiin seuraavasti: **passiivisiin älykkäisiin**, **aktiivisiin älykkäisiin** ja **todella älykkäisiin** tekstiileihin. Näiden määritteiden kuvaamiseen voidaan käyttää vartalon analogiaa. *Passiiviset älytekstiilit* voidaan ajatella hermoiksi, koska niillä on pieniä refleksinomaisia toimintoja. (Kettley 2016, 13.) Nämä matalan tason funktion omaavat älytekstiilit aistivat ympäristöä tai ärsykeitä ja voivat ilmentää aistimustaan ulospäin. Kromaattinen tekstiilimateriaali voi esimerkiksi reagoida vartalon lämpötilan muutokseen vaihtamalla väriä. (Pailes-Friedman 2016, 19.) *Aktiivisten älytekstiilien* voidaan sanoa olevan lihaksen, sillä niillä on hermot ja näkyvää toimintaa (Kettley 2016, 13). Nämä aktiiviset älytekstiilit synnyttävät jännitteen, kun ne joutuvat joko paineen tai värinän alaiseksi, tai PH:n, magneettikentän tai lämpötilan vaihtelulle alttiiksi. Kun esimerkiksi aiheutetaan ärsyke pietsosähköiselle materiaalille se synnyttää sähköisen jännitteen. (Pailes-Friedman 2016, 20.) Pietsosähköä voidaan käyttää

esimerkiksi kengän korossa, jossa askelten aiheuttama paine saa aikaan sähkövirtaa, joka voidaan johtaa vaatteeseen integroituun musiikkisoittimeen (Noussiainen & Rissanen 2019, 273). *Todella älykkäät tekstiilit* ovat tietoisia itsestään ja toiminnoistaan asiayhteyksissään ja ne myös oppivat ja sopeutuvat. (Kettley 2016, 13.) Nämä älytekstiilit toimivat sensoreina ja vastaanottavat ärsykeitä, mutta voivat myös muuttaa muotoaan ja mukautua ympäristön olosuhteisiin (Pailes-Friedman 2016, 20).

Vaatetukseen eri tavoin liitettävästä elektroniikasta ja älyteknologiasta puhuttaessa voidaan käyttää erilaisia termejä, kuten puettava teknologia, älytekstiili, älyvaate, älytekstiilimateriaali tai älytekstiilijärjestelmä. Nämä termit määräytyvät useimmiten sen mukaan miten älykkäät ominaisuudet yhdistetään vaatteeseen, mutta termejä käytetään toisinaan melko epä johdonmukaisesti. Tässä luvussa keskitytään älytekstiilimateriaalien ja älytekstiilijärjestelmän käsitteiden avaamiseen. Tähän opinnäytetyöhön liittyvässä testauksessa käytetään lämpötilaa mittaavaa sensoriteknologiaa yhdistettynä vaatteeseen, joten kyseessä on älytekstiilijärjestelmä. Työssä halutaan kuitenkin kertoa vaihtoehdoista hyödyntää älyä myös tekstiilimateriaaleina, koska nämä voivat tulla kyseeseen, kun halutaan mitata jotain muuta määrettä jollain tietyllä toimialalla hankkeen seuraavassa vaiheessa.

### 3.1 Älytekstiilimateriaali

Älytekstiilimateriaali on toiminnallinen tekstiilimateriaali, joka on aktiivisessa vuorovaikutuksessa ympäristönsä kanssa eli se reagoi tai sopeutuu ympäristön muutokseen (SFS ISO/TR 23383:2020, 8). Älykkäät tekstiilimateriaalit käyttävät hyväkseen lankojen ja kankaiden sähkömekaanisia ominaisuuksia. Tällöin eri materiaalien johtavuutta ja vastustuskykyä manipuloidaan ja käytetään hyväksi energianlähteinä. Nämä energiat voidaan kääntää värin muuttumiseen, lämpöön, liikkeeseen, ääneen ja muihin muotoihin. (Kettley 2016, 10.) Tekstiilin älykkyys voidaan saada aikaan hyödyntämällä seuraavia älykkäitä materiaaleja:

*Faasinmuutosmateriaalit* ovat älytekstiilimateriaaleja, polymeerejä tai -geelejä, jotka reagoivat ulkoisen lämpötilan muutokseen omaa lämpötilaansa muuttamalla. Näitä materiaaleja voidaan käyttää varastoimaan lämpöenergiaa ja tasaamaan lämpötilan vaihtelua (Nousiainen & Rissanen 2019, 254).

*Muotomuistimateriaalit* reagoivat ulkoiseen ärsykkeeseen muuttamalla omaa muotoaan tai kokoaan. Tällainen muodon muutos voi olla joko yksisuuntainen tai kaksisuuntainen. Jos muodonmuutos on kaksisuuntainen, palautuu muoto alkuperäiseen muotoonsa ulkoisen ärsykkeen lakattua ja reagoi taas uudelleen seuraavalla kerralla ärsykkeen ilmetessä (Nousiainen & Rissanen 2019, 259). Käyttökohteita voivat olla muotoaan muuttavat tekstiilijärjestelmät, kuten vaatteet, jotka lyhenevät lämpimässä ilmassa (SFS ISO/TR 23383:2020, 11).

*Kromaattiset tekstiilimateriaalit* vaihtavat väriään ulkoisen ärsykkeen vaikutuksesta. Tällainen termokrominen esimerkki on vauvan vaate, joka vaihtaa väriä, kun vauvalle nousee kuume. Tässä tapauksessa lämpö on ulkoinen ärsyke. Toinen kromaattisen materiaalin suunniteltu käyttötapa on kemikaali- tai säteilyaltistusten mittarina. (SFS ISO/TR 23383:2020, 10.) Tällöin kemikaaliroiske tai säteilyaltistus toimii ulkoisena ärsykkeenä ja värin vaihtuminen varoittaa vaateen käyttäjää.

*Dilatantit tekstiilimateriaalit* kovettuvat iskun vaikutuksesta, vaikka ovat pehmeitä pienen mekaanisen liikkeen vaikutuksesta. Nämä materiaalit palautuvat takaisin alkuperäiseen muotoonsa ärsykkeen väistäessä. Dilatantteja materiaaleja käytetään mekaanisilta iskuilta suojaavissa vaatteissa, kuten luotiliiveissä ja metsurien, palomiesten sekä moottoripyöräilijöiden vaatteissa. (Nousiainen & Rissanen 2019, 269–270.)

*Aukseettiset tekstiilimateriaalit* ovat sellaisia, joiden poikkileikkaus kasvaa, kun ne joutuvat kuormitukselle alttiiksi. Poikkileikkaus kasvaa, kun niitä venytetään ja kutistuu, kun niitä puristetaan. Yleensä materiaalit ohenevat venytyksessä ja laajenevat puristuksessa eli niillä on positiivinen Poissonin suhde. Aukseettisten



materiaalien kanssa on päinvastoin: Poissonin luku on negatiivinen. Aukseettisia materiaaleja voidaan käyttää suodattimissa sillä niiden huokoskoko kasvaa venytyksen vaikutuksesta. Lääketieteessä niitä voidaan käyttää älykkäinä sidetarpeina. (Nousiainen & Rissanen 2019, 270.)

*Sähköä johtavia polymeerejä ja metalleja*, joista tavanomaisimmat kuitumateriaalit ovat teräs, hopea ja kupari, voidaan hyödyntää ESD-tekstiileissä, tekstiilissä antureissa ja sähköisessä häiriönsuojauksessa. (Nousiainen & Rissanen 2019, 254.) *Valosähköisessä tekstiilissä* sähkövirtaa saadaan muodostumaan seuraavasti: valon fotonit imeytyvät materiaalin, joka saa sen irrottamaan itseltään elektrodeja ja muodostamaan näin sähkövirtaa. Valosähköiset tekstiilit ja kuidut tehdään monikerrosrakenteisista kuiduista, joissa on hyvin sähköä johtavia materiaaleja ja valosähköistä materiaalia. Tekstiilimäiset aurinkokennot sopivat pienimuotoiseen energian keräykseen, joten aurinkokenno voi toimia virtalähteenä puettavassa teknologiassa. (Nousiainen & Rissanen 2019, 273.)

*Pietsosähköinen tekstiilimateriaali* on sellainen, jossa hyödynnetään pietsosähköistä ilmiötä. Tässä ilmiössä mekaaninen värähtely saa aikaan materiaalin sähköisen jännitteen. Tämä vaikutus voidaan muuttaa myös käänteiseksi, jolloin materiaaliin voidaan saada aikaan mekaaninen muodonmuutos altistamalla se sähkökentälle. Muodonmuutos voi olla esimerkiksi värähtelyä, joka voidaan aistia äänenä. Koska pietsosähköinen materiaali ottaa vastaan värähtelyä, kuten ääniaaltoja, sitä voidaan käyttää mikrofona tai äänianturina. Sitä voidaan käyttää myös paine-, venymä- ja kiihtyvyyssanturissa. Tekstiilissä paineanturilla voitaisiin mitata lihasten aktiivisuutta tai käyttää tekstiilimäisessä näppäimistöissä. (Nousiainen & Rissanen 2019, 272–273.)

*Elektroluminoivat tekstiilimateriaalit* säteilevät valoa, kun niihin kohdistetaan voimakas sähkökenttä tai niiden läpi johdetaan sähkövirtaa. Niillä voidaan luoda valonäyttöjä vaatteisiin ja kankaisiin tai viihde- tai mainoskäyttöön. (SFS ISO/TR 23383:2020, 12–13.) Elektroluminoivia materiaaleja voidaan käyttää myös lankoina tai kaapeleina (Nousiainen & Rissanen 2019, 273).

*Superabsorboivat polymeerit ja geelit* voivat imeä itseensä omaan painoonsa nähden huomattavan määrän nestettä, jolloin ne turpoavat ja muuttuvat geelimäisiksi. Superabsorboivia polymeerejä käytetään hygieniatuotteissa, tiivistemateriaaleina, maanalaisina tieto- ja sähköliikennekaapeleina, elokuvissa ja teattereissa tekolumena sekä suodattimina. (SFS ISO/TR 23383:2020, 11.)

*Kemikaaleja vapauttavat tekstiilimateriaalit* voivat vapauttaa hallitusti erilaisia aineita, kuten lääkeaineita, kosmeettisia aineita tai hajusteita, jonkin ärsykkeen ansioista. (Nousiainen & Rissanen 2019, 267.) Nämä aineet kiinnitetään tekstiilin rakenteeseen mikrokapseloinnilla tai pinnoittamalla. Ainetta vapautuu, kun kapseloiden kuori puhkeaa ulkoisen ärsykkeen seurauksena. Ärsykejä, joilla kuoren puhkeaminen aiheutetaan, voivat olla esimerkiksi lämpö, pH-arvo, mekaaninen voima tai kosketus veteen. Aineet voidaan kiinnittää kevyesti tekstiilimateriaalin pintaan pinnoittamalla, josta ne vapautuvat käytön aikana. Aineen vapautumisnopeus voidaan määrittää kiinnitysmenetelmän ja materiaalin ympäristön avulla. (SFS ISO/TR 23383:2020, 9.)

### 3.2 Älytekstiilijärjestelmä ja puettava teknologia

Tekstiilijärjestelmä on tuotteeseen yhdistetty tekstiiliosien ja muusta materiaalista valmistettujen osien kokoonpano, jolla on edelleen tekstiilin ominaisuuksia, joten se voi olla esimerkiksi vaate. Älytekstiilijärjestelmä on tekstiilijärjestelmä, joka reagoi halutulla ja hyödynnettävällä tavalla joko ympäristön muuttumiseen tai ulkoiseen signaaliin tai syötteeseen. (SFS ISO/TR 23383:2020, 7.) Älytekstiilijärjestelmään kuuluu ohjauslaitteita, niitä täydentäviä antureita ja tiedonhallintalaitteita. Älytekstiilijärjestelmässä olevaa tietoa voidaan valvoa tai hallita sähkölaitteilla. (SFS ISO/TR 23383:2020, 13–14.) Tällaisia tekstiilijärjestelmiä kutsutaan myös puettavaksi elektroniikaksi.

Älytekstiilijärjestelmässä voi olla energiatoiminto ja/tai ulkoisen viestinnän toiminto. Energiatoiminnon omaavassa älytekstiilijärjestelmässä on sisäinen energialähde. Älytekstiilijärjestelmissä, joissa ei ole energiatoimintoa, ei myöskään ole sisäistä energialähdettä, mutta ne saattavat tarvita ulkoisen energialähteen,

joka voi olla ärsyke. Älytekstiilijärjestelmät, jotka sisältävät viestintätoiminnon, pystyvät yksi- tai kaksisuuntaiseen viestintään ympäristönsä kanssa. Viestintä voi olla tarkoitettu sähkölaitteiden havaittavaksi, jolloin sähkölaitteet muuntavat tiedon ihmiselle tulkittavaan muotoon. Se voi olla myös tarkoitettu suoraan ihmisen havaittavaksi esimerkiksi visuaalisesti tai äänimerkillä. Älytekstiilijärjestelmät, joissa ei ole viestintätoimintoa, eivät viesti ulkoisen ympäristönsä kanssa. Niissä voi kuitenkin olla sisäistä viestintää, esim. itsesäätöisen järjestelmän sisällä. (SFS ISO/TR 23383:2020, 16.)

Puettavan teknologian tekstiilijärjestelmät sisältävät esimerkiksi antureita, sensoreita, tiedonsiirtojärjestelmiä, tehonsäätölaitteita ja erilaisia liitäntöjä. Kun älytekstiiliteknologiaa yhdistetään työvaatetukseen, voidaan luoda järjestelmiä, jotka keräävät, esittävät ja lähettävät tietoa niin vaateen käyttäjästä kuin hänen ympäristöstään. Tällainen älytekstiilijärjestelmä voi kerätä tietoa käyttäjän olinpaikasta GPS:n avulla, käyttäjän toiminnasta kiihtyvyyssantureiden avulla tai hänen fysiologisista tiedoistaan, kuten lämpötilasta, pulssista, hengitystiheydestä tai veren happipitoisuudesta. Käyttäjän ympäristöstä kerättävää tietoa voi olla ympäristön lämpötilan, myrkyllisten kemikaalien tai sähkömagneettisen säteilyn mittaaminen. (SFS ISO/TR 23383:2020, 18.) Tämä kerätty data siirretään tiedonsiirtopalvelulla esimerkiksi pilvipalveluun, josta käyttäjä voi tarkastella tietoa tai tiedon voi esittää käyttäjälle älytekstiilijärjestelmään kuuluvaan näyttölaitteeseen.

Tähän opinnäytetyöhön liittyvässä tulevassa pilotissa keskitytään sellaiseen puettavaan teknologiaan, joka mittaa lämpötilaa ja kosteutta. Vaatteeseen liitettävä teknologia sisältää anturin ja sensorin eli käyttölaitteen, joka lähettää pilvipalveluun tiedon, jota käyttäjä voi tarkastella puhelimeen ladattavan applikaation avulla.

## **4 Vaatetusfysiologia**

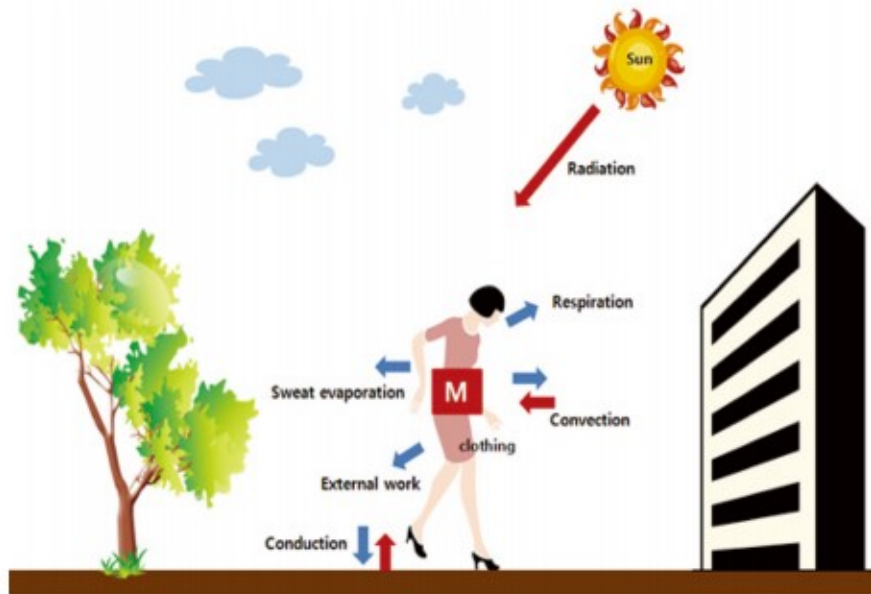
Vaatetusfysiologia on poikkitieteellinen oppi, joka pyrkii tarkastelemaan ihmisen ja sen vaatetuksen sekä ympäristön vuorovaikutusta tekstiilimateriaalien ja

vaatteiden suunnittelussa, valmistuksessa ja valinnassa. Vaatetusfysiologian tavoitteena on säilyttää ihmisen lämpöviihtyvyys, lämpötasapaino ja käyttömukavuus. Tutkimusta tällä aihealueella tehdään esimerkiksi suojavaatetuksen, ulkoiluvaatetuksen ja suorituskykyä edistävän urheiluvaatetuksen kehittämiseksi.

(Risikko & Marttila-Vesalainen 2006, 9.)

#### 4.1 Lämmön luovutus

Ihminen on tasalämpöinen, mikä tarkoittaa sitä, että ihmisen sisäosien lämpötila ei juurikaan muutu, vaikka ympäristön lämpötila vaihtuisi. Ihmisen syvälämpötila on noin 37 °C ja ilman vakavia seurauksia ihmisen elimistö kestää korkeintaan noin 10 °C syvälämpötilan laskun ja noin 5 °C asteen nousun. Syvälämpötila on sama kuin elimistön ydinosien, kuten rinta- ja vatsaontelon ja aivojen, lämpötila. Ihon pintalämpötila on selvästi alhaisempi kuin syvälämpötila: se on noin 32–33 °C astetta riippuen kehon osasta. Ihmisen pintaosien lämpötila vaihtelee suuresti ja erityisesti raajojen kärkiosissa ne voivat olla matalampia, koska kylmässä pintaverisuonet supistuvat. Kylmässä ympäristössä ihmisen jäähtyminen alkaa kehon ääreisosista, kuten varpaista ja sormista. Lämpimässä ympäristössä kehon sisä- ja pintaosien verenkierto on jakautunut tasaisemmin. Keskimääräinen ihon lämpötila voidaan laskea ihon paikallisten lämpötilojen painotettuna keskiarvona. Ihmisen lämpötuntemus on neutraali, kun levossa olevan ihmisen keskimääräinen ihon lämpötila on noin 33°C. Lämpötasapainossa ihminen on silloin, kun hän tuottaa yhtä paljon lämpöä kuin luovuttaa. (Risikko & Marttila-Vesalainen 2006, 20–22.)



Kuvio 2. Ihmisen lämmönluovutuksen eri muodot (AJAE 2015).

Ihminen luovuttaa lämpöä ympäristöönsä kuivan ja kostean lämmönluovutuksen avulla. Erilaiset lämmönluovutustavat ilmenevät kuviossa 2. Kuivaa lämmönluovutusta iholta on säteilemällä, kuljettamalla ja johtamalla kulkeutuva lämpö. Lämmön kuljettumista iholta voi lisätä tuuli ja johtumista taas jouduttua istuminen tai makaaminen kylmällä pinnalla. Säteilystä ei tarvita väliainetta kuten ilmaa tai vettä, sillä se kulkeutuu sähkömagneettisena aaltoliikkeenä lämpimämmästä pinnasta kylmempään. Jos ympäristön lämpötila on korkeampi kuin ihon, se vastaanottaa lämpösäteilyä ympäristöstään. Kostea lämmönluovutusta on hengitysilman mukana kulkeutuva lämpö sekä iholta haihtuvan kosteuden mukana luovutettava lämpö, eli hikoilu. Huomaamaton haihtuminen iholta tapahtuu jatkuvasti: tunnissa ihminen haihtuttaa noin 30 g kosteutta. Kun kuiva lämmönluovutus ei riitä poistamaan kehon ylimääräistä lämpöä, ihminen alkaa hikoilla ja se onkin tehokkain tapa luovuttaa lämpöä. (Risikko & Marttila-Vesalainen 2006, 27–30.)

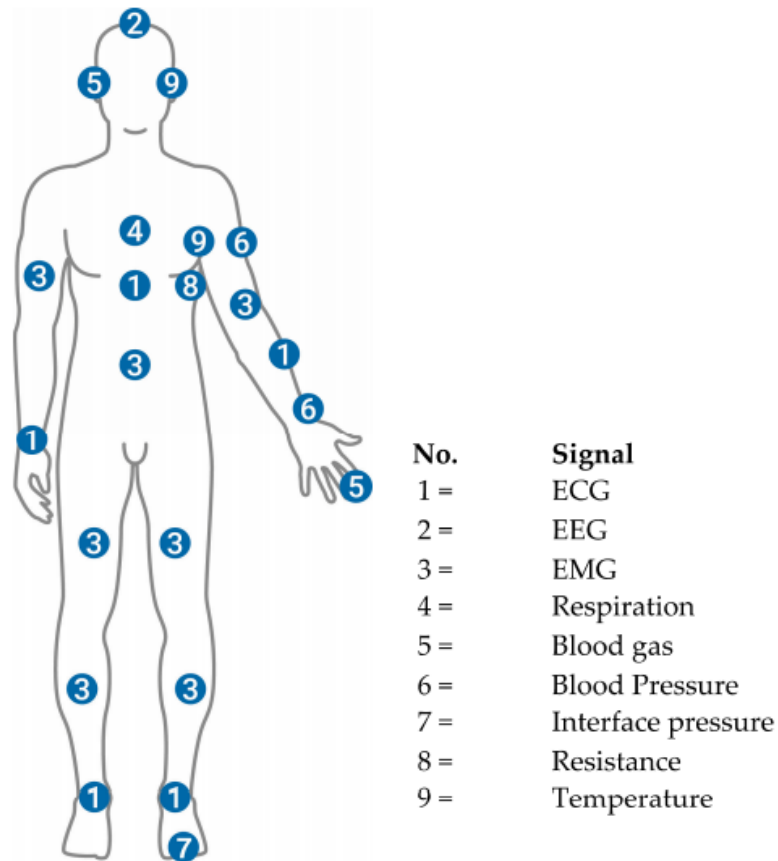
## 4.2 Lämpötilan mittaus

Jos halutaan mitata työntekijän lämpöviihtyvyyttä, lämpötilaa tai kosteutta sensoreilla, tulee miettiä, mistä kohtaa saadaan paras tai riittävä mittaustulos. Jos tarkoituksena on yhdistää lämpötilaa mittaava anturi työvaatteeseen, luonnollisesti jo se itse kertoo mittauksen tarkkuuden mahdollisuuksista. Sensoreita tuskin voidaan yhdistää työntekijän alimpiin vaatekerrokseen, jotta mittaus voitaisiin tehdä iholta. Vaikka emme lämpötilanmittauksessa menisi aivan työntekijöiden iholle, tulee meidän kuitenkin tutkia, mistä vartalon kohdasta mittaustulos on paras mahdollinen.

Jos mittaava anturi ei ole tiiviisti suoraan iholla, päädytään mittaamaan mikroilmastoa ihon lämpötilan sijaan (Rantanen, Impiö, Karinsalo, Malmivaara, Reho, Tasanen & Vanhala 2002, 14). Tämä ei ole haitaksi, kun on kyse työvaatetukseen lisättävästä anturista, jolla halutaan mitata lämpötilaa vaatteiden sisällä.

Mikroilmastoksi kutsutaan vaatteiden sisällä olevaa ilmaa. Kun tämä mikroilmastossa oleva ilma lämpenee se alkaa nousta ylöspäin ja korvautuu viileällä ja kuivalla ilmalla. Tätä tapahtumaa kutsutaan hormi-ilmiöksi. Myös ihmisen liike laittaa ilman kiertämään vaatteiden sisällä ja saa lämmön kulkemaan iholta pois, tätä kutsutaan pumppausvaikutukseksi. (Risikko & Marttila-Vesalainen 2006, 46.) Kun halutaan mitata ihmisen lämpöviihtyvyyttä mikroilmastosta voi tämä hormi-ilmiö antaa viitteitä siitä, mistä lämpötilaa kannattaisi mitata.

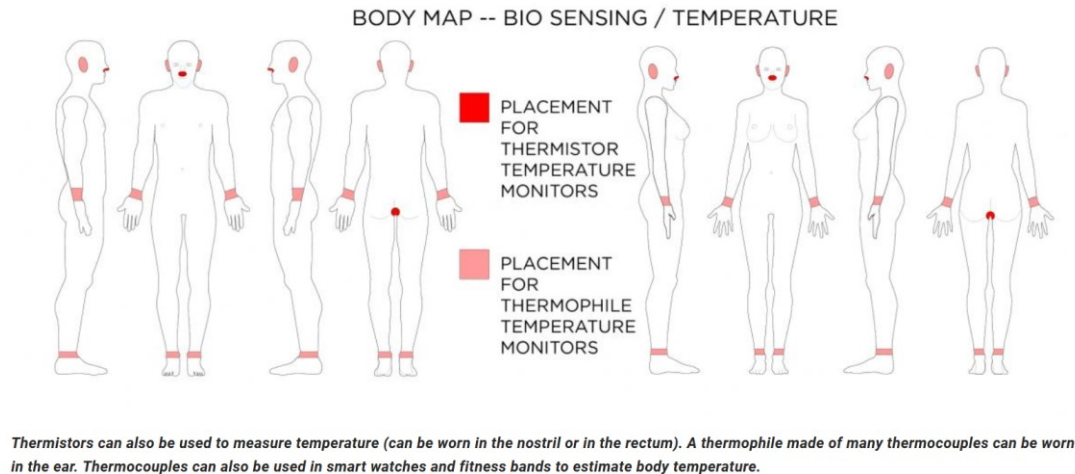
Lämpöviihtyvyyttä mitatessa tarvitaan myös tietoa käyttäjän tuntemuksista lämpötilan mittauksen rinnalle (Ilén 2021), koska sen kokemuksessa voi olla yksilökohtaisia eroja. Lämpöviihtyvyyden kokemukseen vaikuttavat yksilöllisen kokemuksen lisäksi myös vuorokaudenaika, motivaatio ja vireystila. (Risikko & Marttila-Vesalainen 2006, 25.)



Kuvio 3. Puettavalla teknologialla mitattavat elintoiminnot ja niiden mittausspaikat (MDPI 2016).

Eri tutkimuksissa, joissa lämpötilaa on mitattu suoraan iholta, mittausspaikat vaihtelevat. Italialaisen MDPI:n tutkimusjulkaisussa määritellään vaatimuksia ja metodeja, jotka tulee huomioida suunnitellessa sensoreiden liittämistä vaatteisiin. Julkaisussa on avattu yksinkertaisella vartalokartalla (kuvio 3) mitattavien elintoimintojen mittausspaikat. Vartalokartasta ilmenee, että lämpötilan mittausspaikkoja on kaksi, yksi kainalon kohdalla ja yksi korvan kohdalla. Tutkimusartikkelissa, jossa tutkittiin uniapnean yhteyttä distaaliseen ihon lämpötilaan, lämpötilan mittaukset tehtiin ranteesta (Martinez-Nicolas, Guaita, Santamaría, Montserrat, Ángeles Rol & Madrid 2017, 2). Ranteesta mitattavaa lämpötilaa puoltaa myös Georgian teknillisen instituutin *Puettavan teknologian keskuksen* vartalo-

kartta lämpötilamittareiden sijoittelusta (kuvio 4). Heidän tutkimukseensa perustuen lämpöaistivien mittareiden lämpötilanmittaus tulisi tehdä ranteista, nilkoista tai korvista.



Kuvio 4. Sijoituspaikat vartalolla lämpötilamittareille (Zeagler 2017b).

Kansainvälinen ISO 9886 on standardi, joka ohjaa lämpökuormittumisen arviointiin käyttäen fysiologisia mittauksia, kun ihminen on sijoitettu kuumaan tai kylmään ympäristöön. Sen mukaan ihon lämpötilanmittauksessa lämpötilan erottelu tulee tehdä paikallisen iholämpötilan ja yleisen iholämpötilan välille. Ensimmäinen voidaan mitata suoraan iholta, mutta jälkimmäinen täytyy arvioida painottamalla kokonaisuutta paikallisista ihon lämpötiloista niiltä osin, joita ne edustavat. Standardi ohjaa mittauspisteiden valinnassa. (SFS ISO 9886:2004, 6.) Tätä standardia ovat soveltaneet Tampereen teknillinen yliopisto ja Clothing+ yhteistyössä toteuttamassaan tutkimuksessa, jossa suunniteltiin älyvaatteen prototyyppiä arktisiin olosuhteisiin. (Rantanen ym. 2002, 14.) Wollongongin yliopiston tutkimuksessa, jossa tutkittiin mahdollisuuksia mitata älyvaatteella vartalon lämpötilaa, FBG-anturit sijoitettiin seuraavasti viiteen eri kohtaan: vasempaan ja oikeaan rintaan, vasempaan ja oikeaan kainaloon ja keskelle yläselkää. (Li, Yang, Li, Liu & Wei 2012.)

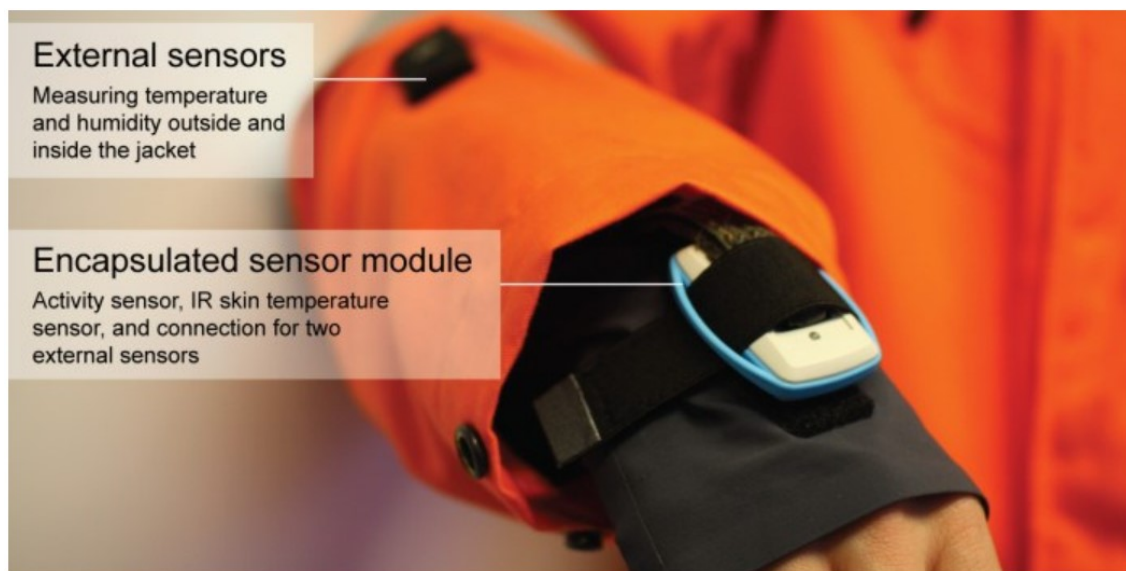


## 5 Benchmarking älyteknologian sijoittelusta vaatteeseen

Benchmarking on menetelmä, jolla on tarkoitus vertailla, tutkia ja oppia muilta hyviä toimintatapoja oman yrityksen käyttöön (Ojasalo, Moilanen & Ritalahti 2015, 186). Tähän opinnäytetyöhön on valittu benchmarkingin kohteeksi sellaisia yrityksiä, joissa on käytetty lämpötilaa tai kosteutta mittaavia antureita, joita on suunniteltu työvaatetukseen.

### 5.1 SINTEF ColdWear

SINTEF on norjalainen tutkimuskeskus, joka on kehittänyt ColdWear-konseptissaan takkia ääriolosuhteissa työskenteleville. Takki on suunniteltu työvaatteeksi erityisen kylmiin ja kosteisiin sääoloihin arktisten alueiden työntekijöille. Takin sensorit mittaavat lämpötilaa ja kosteutta vaatteen sisä- ja ulkopuolelta sekä hiokilua, sijaintia ja liikkumista. Mittauksen tarkoituksena on turvata työntekijän oloja ja varoittaa käyttäjäänsä, kun fyysinen rasitus käy liian suureksi. (SINTEF 2015.)



Kuva 1. SINTEF:n takki (SINTEF 2015).

Sensoryyksikkö, joka mittaa aktiivisuutta, ihon lämpötilaa infrapunalla ja yhteyttä kahteen muuhun sensoriin, on sijoitettu vähän hihansuun yläpuolelle (SINTEF 2015). Ulkoiset sensorit ylempänä käsivarren kohdalla mittaavat lämpötilaa ja kosteutta takin sisä- ja ulkopuolella. Tässä takissa sensorit on sijoitettu oikean käden hihaan niin, että ne ovat kunnolla yhteydessä toisiinsa, mutta eivät vahingoitu tai häiriinny liikkeestä. Sensorit ovat yhteydessä toisiinsa johtavalla langalla, joka on ommeltu vaatteeseen, jotta sitä voidaan taivuttaa ja venyttää kaikkiin suuntiin. (New Atlas 2013.)

Ihmisten yksilölliset tuntemukset ja kokemukset luovat haasteita, jotka tutkijat tässä projektissa tunnustavat. Eri ihmisillä on erilaiset rajat toleransseihin ja fysiologiset tuntemukset ovat yksilöllisiä. Tutkijat tuovat esille myös ilmiön, joka voi sotkea mittauksia. Ihmisen vartalosta vapautuu lämpöä, joka liikkuu paikasta toiseen työskentelyn aikana estäen ulkoisen lämpötilan tarkan määrittelyn. (SINTEF 2015.)

## 5.2 Medanta ja Movesense

Työvaatevalmistaja Medanta ja Movesense-anturitekniikan luonut Suunto ovat yhdistäneet älyä kokinvaatteeseen. Tarkoituksena on luoda työturvallisuutta ja viihtyvyyttä työntekijälle lämpöolosuhteiden mittaamisella. Movesense-sensori mittaa työntekijän kehon lämpötilaa, liikettä ja sykettä sekä ympäristön lämpötilaa ja täten on mahdollisuus seurata työn kuormittavuutta. Sovellus voisi arvioida elpymistauon tarpeen ja kehottaa siihen. (Medanta 2020b.)



Kuva 2. Movesense-sensori Medantan kokkitakissa (Medanta 2020a).

Kontaktilämpöanturi on ommeltu kiinni takkiin ja mittauksesta ja tiedonsiirrosta huolehtiva sensorilaitte on kiinnitetty siihen painonapeilla. Parhaaksi paikaksi anturille ja sensorille valikoitui hartianseutu, jossa sensori saa hyvän kosketuksen ihoon kankaan omasta painosta. Hartian seudulla sensori ei myöskään ole tiellä ja on suojassa tarttumiselta sekä roiskeilta. Medantan kokkitakkien sensorit lähettävät mittaamansa tiedon Bluetooth-yhteydellä keittiössä sijaitsevaan tukiasemaan, josta saatu data siirtyy analyysipalveluun pilveen. Haasteeksi yhteistyössä koetaan teolliset pesuprosessit ja pilotissa testataankin, kestävätkö anturit työvaatetuksen vaatimat pesuprosessit. (Medanta 2020b.)

## **6 Näkökulmat, jotka tulee huomioida sensoriteknologian sijoituskohtaa valitessa**

Ajatus älyteknologian yhdistämisestä vaatteisiin saattaa tuntua helpolta, varsinkin, jos liitettävä älytoiminto on yksinkertainen. Valintoja ja kehitystyötä ohjaavat

säännöt ovat kuitenkin monimuotoisia, ja useita asioita tulee ottaa huomioon oikeita ratkaisuja valitessa. (MDPI 2016.) Älyvaatteiden suunnitteluprosessi on erittäin vaativa ja sisältää monia eri alueita. Tarvittava osaaminen on todella erilaista verrattuna tavanomaiseen elektroniikan tai vaatteiden suunnitteluun. (Rantanen ym. 2002, 1.) Tässä luvussa käsitellään erilaisia näkökulmia, joita tulee tarkastella ja ottaa huomioon, kun valitaan sijoituspaikkaa sensoreille.

## 6.1 Käyttäjryhmä

Vaatteita ja etenkin työvaatteita suunnitellessa tärkein huomion arvoinen seikka on käyttäjän huomioiminen: kenelle vaate suunnitellaan, mihin käyttötarkoitukseen ja millaisiin oloihin. Näin ollen myös puettavan teknologian kohdalla yksi huomioitava näkökulma tulisi olla käyttäjä. Sensorien sijoittamisen näkökulmasta tuntuu oleelliselta huomioida, millaista työtä käyttäjä tekee, miten hän liikkuu ja asettaako käyttäjä tai työn kuva jotain rajoitteita niiden sijoituspaikoille.

### 6.1.1 Käyttäjän huomioiminen

Perusvaatimus minkä tahansa määreen mittausprosessille on stabiili ja riittävän pitkä kontakti vartalon ja sensorin välillä. Parhaimman mittaustuloksen aikaansaamiseksi sensorin täytyisi olla liikkumatta jatkuvassa lähikosketuksessa iholla. Jos sensori liikkuu iholla, se häiritsee signaalin jatkuvuutta ja laatua. Sen takia antropometriset tekijät ja sukupuolen huomioiminen ja niihin liittyvät vartalon mitat ja muodot ovat ensisijaiset vaikuttimet suunnitellessa puettavaa teknologiaa. Sukupuoleen liittyvät asiat ovat melko itsestään selviä. Miehillä ja naisilla ei ole ainoastaan erilaiset mittasuhteet, vaan eroa on myös muodossa, fysiologiassa ja päivittäisissä toimissa. Funktionaalinen näkökulma on keskeistä tunnistettaessa parhaat paikat sensoreille, joilla voi olla erilaisia ominaisuuksia. Tarvitaan tutkimusta ja suunnittelua siitä, millainen on riittävä elastisuus ja millä erityisillä vartalon alueilla sensorit ovat. Erityistä ja paikallista joustavuutta vaateen eri osissa tarvitaan, jotta voidaan varmistaa sensorille hyvä ihokontakti ja minimoida sen liikkuminen iholla kesken mittauksen. (MDPI 2016.) Kuviossa 5 esitetään vartalolla alueita, joihin laitteet tulisi sijoittaa, jos kaikkia suunnitteluun liittyviä puolia on pohdittu. Kuvioista nähdään, että fysiologisesti parhaimmat

mahdolliset sijainnit puettavalle teknologialle ovat käsi, ranne, kyynärvarsi, olkavarso, ylempi rintakehä rinnan yläpuolella, otsa, korva ja reiden puoliväli. Luonnollisesti erityisten käyttötarkoituksen ja suunnittelun varjolla täytyy huomioida erilaisia asioita. (Zeagler 2017, 7.)

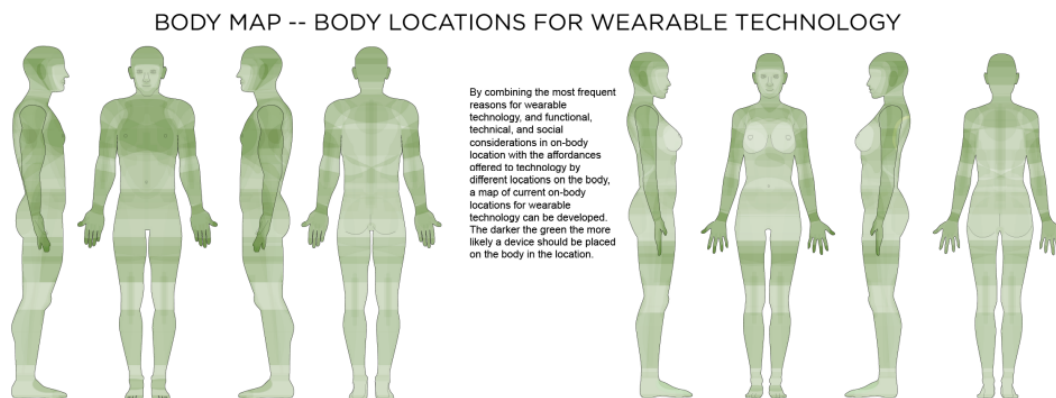


Figure 2 – ©Clint Zeagler - Most likely on-body locations for wearable technology if all considerations are weighted equally [64].

Kuvio 5. Sijoituspaikat vartalolla puettavalle teknologialle (Zeagler 2017b).

Käyttäjryhmän huomioiminen on kovin käytännönläheistä, koska pitää ymmärtää käyttäjän arkea ja sitä kautta huomioida sensorien paikat. Kun tiedämme, mikä on älyn käyttötarkoitus ja missä sitä tullaan käyttämään, seuraavaksi on pyrittävä asettumaan käyttäjän maailmaan, näkökulmaan ja arkeen. Täytyy tunnistaa, missä tilanteissa älyn lisääminen vaatteeseen voi tuoda haastetta käyttäjälle. Esimerkiksi jakeluhenkilön työnkuvaa miettiessä voi päätyä johtopäätöksen, ettei kovaa sensoria tulisi laittaa alaselkään, koska sitten se painaisi käyttäjää autossa istuessa. (Ilén 2021.) Sensori tulee sijoittaa siten, ettei se haittaa käyttäjän toimintaa ja ettei käyttäjän toiminta voi vahingoittaa sensoria.

#### 6.1.2 Käyttäjän turvallisuus

Käyttäjän turvallisuus tulee huomioitua, kun noudatetaan standardeja. Kun on kyse vaatteesta, tulevat kyseeseen luonnolliset normaalille vaatteelle huomioita-

vat vaatimukset, kuten 2001/95/ETY-tuoteturvallisuusdirektiivi ja REACH-asetuksen 1907/2006/EY kieltämät sekä rajoittamat kemikaalit materiaalien ja vaatteiden tuotannossa. Ollessa kyse vaatteesta, johon on liitetty elektroniikkaa, pitää huomioida elektroniikkaan liittyvät standardit (Ilén 2021). Anturityypiksi kannattaa valita sellainen, joka on tiettävästi testattu ja turvallinen. (Palovuori 2021.)

Toiminnalliset lisäominaisuudet vaatteessa tulee testata tekstiilien testausstandardien mukaisesti ja tekstiilit taas lisäominaisuuksia koskevien standardien mukaisesti. Esimerkiksi "älykkäästä" palopuvusta täytyy testata elektronisten osien pesunkestävyys ja tekstiiliosien sähköturvallisuus. (SFS ISO/TR 23383:2020, 5.)

Kun huomioidaan käyttäjät, joille suunnitellaan, mukaan tulevat lisäksi käyttäjäryhmiin kohdistuvat standardit. Käyttäjäryhmien kannalta huomioitavia standardeja voivat olla työ- ja suojavaatteisiin liittyvät standardit. Direktiivejä käyttäjäryhmiin liittyen ovat esimerkiksi terveydenhuoltoalan koneiden ja tarvikkeiden direktiivi 2007/47/ETY sekä henkilönsuojain direktiivi 89/686/ETY.

## 6.2 Älyvaatteen huoltaminen

Älyvaatteen elinehto on, että se on pestävissä, kuivattavissa ja huollettavissa tai älyn pitää olla irrotettavissa pesun ajaksi (Ilén 2021). Huomioitava seikka on myös helppous älyn irrottamisessa ja takaisin kiinnittämisessä sekä se, että se muistetaan tehdä vaatteen huollon yhteydessä. (Palovuori 2021.)

### 6.2.1 Pesu

Jos puhutaan elektroniikan vedenpitävyydestä, täytyy muistaa, että se ei ole sama asia kuin pesun kestävyys pesukoneessa. Pesukonepesussa veden lisäksi vaikuttamassa ovat lämpötila, paine, hankaus ja kemikaalit. Pesunkesto on syytä aina testata autenttisissa olosuhteissa: minkä tasoinen kesto riittää siinä, tietyssä käyttöympäristössä, tietylle tuotteelle. (Ilén 2021.) Kun toistaiseksi

älytekstiileillä ei ole omaa standardoitua pesumenetelmää, voidaan tähän soveltaa vaatteiden ominaisuuksien toimivuuden arviontiin tehtyä kotipesun ISO 6330 standardia. Pesu on raskas mekaaniskemiallinen rasitus jopa mille tahansa tekstiilimateriaalille, joten elektroniikalle se on erityisen rankka (Palovuori 2021). Irrotettavuus on hyvä vaihtoehto, silloin vaate ja laite voidaan lajitella omiin prosesseihinsa (Ilén 2021). Jos anturi on pesussa kokonaan tekstiilin ympäröimä, niin se todennäköisesti kestää pesussa paremmin kuin jos se altistuu suoraan. Jos anturi ei ole kokonaan suojassa pesun ajaksi suositellaan pesupussia. Usein kaapelointi ja liittimet ovat pesussa se herkin osa, joka kuluu ensin. (Palovuori 2021.) Sanonta, joka pätee vaatteiden pesussa yleisesti, toimii myös älyvaatteiden kohdalla: mitä vähemmän peset, sitä kauemmin ne kestävät.

Teollinen pesu voi rajoittaa työvaatteen suunnittelua, jos lisätään älyä vaatteeseen. Lämpötilat voivat nousta pesuohjelmissa korkeiksi käyttötarkoituksesta riippuen. Jos työvaatteet ovat todella likaisia, ne pestään korkeissa lämpötiloissa rankoissa pesuohjelmissa. Korkein lämpötila Lindströmin pesuohjelmissa on 75 astetta ja kuivausmenetelminä ovat rumpukuivaus ja tunnelikuivaus. (Vääri 2021.) Vuokratyövaatteita pestään usein, etenkin, jos on kyse yhteiskäytössä olevista vaatteista, joten älykkään työvaatteen kohdalla pesun kesto on äärimmäisen tärkeää.

## 6.2.2 Kuivaus

Toinen huomioitava asia älyvaatteen huoltoon liittyen on kuumuus ja höyry. Pesulassa käytetään tunnelikuivausta, jossa lämpötila voi nousta joissain ohjelmissa 150 °C asteeseen. Raskain höyrytunneliohjelma on 160 °C astetta. (Vääri 2021.) Monet anturit kestävät hyvin kuumuutta. Suunnon Movesense -sensorin on testattu kestävän jopa 250 °C astetta (Workshop 2020) mutta liimoilla, joita käytetään esimerkiksi antureiden laminointiin, on omat sulamispisteensä. Laminoinnissa käytetään yleensä materiaalia, jonka sulamislämpötila on vähän yli 100 °C astetta mikä tarkoittaa, että siinä lämpötilassa laminointi irtoaa. Jos äly-

laite on sellainen, että sen voi irrottaa määrettä mittaavasta anturista, on liitännätapa usein metallisilla painonapeilla toimiva. Tällöin täytyy huomioida mahdollinen ajan kanssa muodostuva korroosio metalliosiin, jonka kautta liitos heikenee aiheuttaen sen, että signaali ei kulje anturista älykeskukseen. (Ilén 2021.)

## 6.3 Sensoriteknologia

Puettavan teknologian päätarkoitus on kerätä tietoa käyttäjästään. Tämä kerätävä data voi olla luonteeltaan tai merkityksellisyydeltään eri tasoista. Korkeatasoista ja laadultaan tarkinta dataa vaaditaan lääketieteellisissä applikaatioissa ja palveluissa. Yleensä näissä mitataan elintoimintoja ja tallennetaan niitä erilaisiin järjestelmiin. Mitattavat elintoiminnot voidaan kerätä vartalon pinnalta (yleensä iholta) erityisten antureiden avulla. (MDPI 2016.) Elintoimintojen lisäksi mitattavia asioita voivat olla ympäristön lämpötila, kosteus, valo, melu, paine, kiihtyvyys tai liike (Risikko 2006, 130). Ensimmäinen askel sensoriteknologiaa valitessa on määrittää mitattavan signaalin fysiologinen luonne ja löytää sille vastaava anturi. (MDPI 2016.)

Anturi tai sensori on tunnistin, joka reagoi mittauskohteessa tapahtuviin muutoksiin synnyttäen impulssin, jota voi mitata ja muuttaa luettavaan muotoon tietokoneen tai puhelimen näytölle (Nousiainen & Rissanen, 254). Tämä sensori muuttaa energian muodon toiseksi ja se on mahdollista liittää tekstiiliin monella eri tavalla. Se voi olla osa tekstiilin rakennetta kuidussa tai langassa itsessään tai se voidaan kutoa materiaaliin. Se voidaan myös painaa, ommella tai laminoida tekstiilin pinnalle. Toimintoja mittaavan anturin lisäksi tarvitaan laite, joka voi käsitellä tietoa ja muuttaa sen ymmärrettävään muotoon. Tiedonsiirto anturista käyttölaitteeseen voidaan tehdä johtavien kuitujen avulla kiinteästi tai langattomasti. (Risikko 2006, 131.)

### 6.3.1 Sensoriteknologian sijoittaminen

Tarvittavaa teknologiaa valitessa sen käyttötarkoitus vaikuttaa siihen mihin se kannattaa sijoittaa. On huomioitava, mihin sitä on tarkoitus käyttää ja mitä sen



pitää kestää. Jos halutaan liittää kiinteästi kova asia, kuten elektroniikkakomponentti, johonkin pehmeään asiaan, kuten tekstiiliin on näiden kahden erilaisen materiaalin rajapinta todella herkkä. Tällaisessa yhdistelmässä kova ja pehmeä materiaali voivat hyvin kestää, mutta rajapinta on se, joka hajoaa ensimmäisenä. (Palovuori 2021.) Sensorien kannalta sijoitteluun vaikuttaa se onko sensori kankaiden välissä suojassa vai ihokontaktissa. Jos sensori on suoraan iholla, pitää varmistaa, ettei se hankaa tai allergisoi. Jos anturin on oltava ihokontaktissa, tarvitaan sen kohdalle myös painetta, jotta signaali saadaan iholta. Tällainen toimintavarmuuden takaaminen voi rajoittaa suunnittelua ja vaikuttaa sijoittamiseen. Ihokontaktianturin painetta pitää joko paikallisesti lisätä tai sitten vaatteen pitää olla siltä kohdin tarpeeksi kireä. (Ilén 2021.) Huomionarvoisia ovat myös ihmisen anatomiset erot liittyen vartalon kokoon: tanakalla ihmisellä hiha on lähempänä ihoa, kun taas hoikalla se saattaa olla kauempana. Tällöin mittaustulokseen voi vaikuttaa, kuinka paljon se mittaa ympäröivän ilman lämpötilaa (Palovuori 2021). Sijoittamiseen vaikuttaa myös anturialueen koko: se, onko anturi halkaisijaltaan 10 mm vai 20 cm. (Ilén 2021.)

### 6.3.2 Sensoriteknologia ja lämpötilan mittaus

Lämpötilan tai kosteuden mittaamisen osalta sensoreiden sijoittamiseen vaikuttaa, miten tarkka mittauksen tulee olla ja se, mitataanko ihon lämpötilaa lääketieteellisesti vai ihmisen lämpöviihtyvyyttä. Oleellista on myös se, mitataanko kehon lämpötilaa vai ympäristön lämpötilaa. (Palovuori 2021.) Lämpötila-antureiden sijoittamisessa on tarpeen huomioida niin vaatetuksen, lämmön kuin ihmisenkin fysiologia. Jos mitataan hikoilun määrää, niin luonnollisesti lämpötilan noustessa eniten hikoilevat paikat ovat niska ja kainalot, koska siellä on eniten hikirauhasia. (Ilén 2021.)

Lämpötilaa voidaan haluta mitata erilaisista syistä: onko kuumetta, hiki, kylmä tai epämukavaa. Myös olosuhteet vaikuttavat tilanteesta riippuvan mittauksen rinnalla mittauskohdan valintaan. Raajojen lämpötila laskee paljon nopeammin kuin kehon lämpötila vaikuttamatta kuitenkaan suuresti toimintakykyyn. Tällöin raajojen lämpötilan laskeminen vie ihmisen pois lämpöviihtyvyyalueelta. On eri

asia mitata arktisissa oloissa kylmettymistä raajoista kuin kehosta: kehon lämpötila kertoo lähestyvistä hypotermiasta toisin kuin raajojen lämpötila. Mittauspaikka määräytyy sen mukaan, mitä lämpötila tietoa halutaan. (Ilén 2021.)

## 6.4 Suunnittelu

Joskus jopa itsestään selvät ominaisuudet voivat olla kriittisessä osassa suunnittelussa ja valintoja tehdessä. Pestävyys on itsestäänselvyys vaatteelle, mutta se voi pilata siihen liitetyn sensorin. Lista ominaisuuksista, joita tulee ottaa huomioon suunnittelussa, on yksinkertaisimmillaan seuraava:

- sensorit ja käyttölaitteet
- materiaalit
- tiedonvälitystapa (langaton vai ei)
- käyttöliittymätyyppi
- algoritmit signaalin toiminnalle
- liittimet
- sensorin pestävyys ja paikallaan pysyvyys
- sijoituspaikat vartalolla ja puettavuus (vartaloiden mittasuhteet)
- sensoreiden tehtävät
- joustavuus ja alustaan kiinnittyminen (vaate, vyö vai paikallisesti kiinnittyvä lisäosa). (MDPI 2016.)

Suunniteltaessa työ- ja suojavaatteita sovelletaan tuotesuunnittelun tarvelähtöistä suunnitteluprosessia. Tässä prosessissa painottuvat kohderyhmän tarpeiden määrittäminen ja vaatetuksen toiminnalliset lähtökohdat, jotka määräytyvät käyttäjän työstä ja työympäristöstä. (Risikko & Marttila-Vesalainen 2006, 14.)

Yhdistettäessä älyteknologiaa vaatteeseen täytyy ottaa huomioon yleiset tavat, joilla vaatteita suunnitellaan ja tuotetaan. Tietoisuus näistä asioista voi vaikuttaa ja auttaa tekemään päätöksiä sensorien ja muiden tarvikkeiden sijoituskohdista ympäri vartaloa. Toisaalta, jos sensori täytyy sijoittaa tiettyyn kohtaan vartaloa, voidaan jo vaatteen suunnittelussa ja kaavoituksessa ottaa se huomioon. Toisin kuin monet sensoreihin liittyvät johtimet, useimmat kankaat venyvät, joten on

suotavaa huomioida älyteknologian suojaaminen kankaan mukautuessa mahdolliselle rasitukselle. (Zeagler 2017.) Jos äly saadaan tekstiiliin itseensä esimerkiksi kutomalla anturi suoraan materiaaliin, voidaan välttyä joustavan materiaalin ja joustamattoman anturin liittäminen aiheuttamilta kestävyysongelmilta (Risikko & Marttila-Vesalainen 2006, 131).

Suunnittelijoiden tulisi välttää vaakasuoria liitinten suuntia ja sen sijaan suosia pystysuoria tai diagonaalisia linjoja. Johdinten ja johtojen olisi hyvä olla upotettuna saumoihin, jos vain mahdollista. Niiden olisi hyvä kulkea pystysuoraan ylös tai alas eikä poikittain vartalon ympäri. Voisi olla suositeltavaa jopa tutustua ja hakea inspiraatiota kankaan käsittelytekniikoihin, vanhoihin perinnetekniikoihin ja *haute couture* -tyyppisiin käsityötekniikoihin, kun suunnitellaan tekstiilialustoja sensoreille. (Zeagler 2017.)

#### 6.4.1 Tuotanto

Älyvaatteen suunnittelun alkuvaiheessa olisi hyvä huomioida myös millä tavalla se on tuotannollinen. On hyvä miettiä koko tuotantoketjun kannalta, miten se voidaan valmistaa ja onko jotain esteitä valmistettavuudelle. (Palovuori 2021.) Koska on monia teknologioita, joilla saadaan sama asia mitattua, kannattaa tuotesuunnittelijana verrata eri teknologioiden valmiusastetta esim. selvittämällä kuinka helposti ja laadukkaasti ne voidaan integroida vaatteeseen ja missä ne tuotetaan. On hyvä huomioida, millainen konekanta sillä mahdollisella kumppanilla on. Hankintaketju kannattaa valita melko alussa sen jälkeen, kun käytettävät teknologiat on valittu. Tarkkuus ja huolellisuus tuotannossa on vielä tärkeämpää kuin normaalien vaatteiden kohdalla. Haasteena on, että valmistuspaikoja ei vielä ole montaa, koska toistaiseksi ala on niin marginaalinen. (Ilén 2021.)

#### 6.4.2 Vastuullisuus ja kierrätettävyys

Vaatteen ja materiaalin kierrätyksen prosessien ollessa vielä kehitysasteella vielä haastavampaa se tulee olemaan älyvaatteen osalta. Älyvaatteet sisältävät sekä tekstiiliä että elektroniikkaa ja näiden erottaminen voi olla ongelmallista.

Irralliset virtälähteet voivat olla hyvin irrotettavissa ja eroteltavissa vaatteesta kierrätykseen, mutta erottelusta tulee ongelmallisempaa silloin kun elektroniikka on kudottu kankaaseen, se sisältyy materiaalin kuituun tai on laminoitu siihen. (Moisio 2019, 61.) Jos elektroniikka on osa kangasta sen erottelu mekaanisesti kierrätykseen voi olla haastavaa. Jos älykomponentti on liimattu tekstiiliin, sen voi todennäköisesti lämmittää siitä irti ja kierrättää osat materiaaleittain. (Palovuori 2021.)

Suunnittelussa olisi hyvä huomioida tuotteen käytettävyyden erot elektronikassa ja tekstiilissä. Vaikka tuotteen älytoiminnosta loppuisi virta, sen virtälähteen tulisi olla ladattavissa tai vaihdettavissa, rikkiäisten osien olla korvattavissa ja jos elektroniikka lakkaisi toimimasta edellä mainituista huolimatta, tuotetta voitaisiin käyttää vielä vaatteena ilman älyominaisuutta. (Palovuori 2021.)

## 7 Testimittaukset

Ennen mahdollista pilottia puettavan teknologian testaamiseen koettiin tarpeelliseksi kokeilla lämpötilaa mittaavien sensoreiden sijoittelua. Tässä kokeilussa oli tarkoituksena mitata työntekijän lämpöviihtyvyyttä mittaamalla työtakin sisäpuolella olevaa lämpötilaa sensoreilla eri kohdista vaatetta.

### 7.1 Sensorit ja sijoittaminen

Sensortechnologia, jota testitakissa käytettiin, on Suunnon valmistama Move-sense -sensori, jolla on mahdollista mitata myös muita määreitä, kuten kiihtyvyyttä, EKG-käyrää, sydämen sykeväliden vaihtelua ja GPS-koordinaattien sijaintia. Tiedonsiirto sensorista sovelluslaitteeseen tapahtuu Bluetoothilla. Lämpötilan mittaus tapahtuu anturiliitännäisellä. (Workshop 2020.)

Testitakissa oleva älyteknologia koostuu itse sensorista, joka tallentaa mitattavaa määrettä ja kontaktianturista, joka mittaa lämpötilaa. Nämä kiinnittyvät toisiinsa

painonapeilla. Anturit on laminoitu polyamideuloksisen tekstiilimateriaalin sisään ja niitä on kolme kappaletta, kuten niihin kiinnitettäviä sensoreitakin. Laminoitunut anturiosat ommeltiin työtakin sisäpuolelle ompelukoneella.



Kuva 3. Sensorien sijoituspaikat testitakissa.

Perustuen aineistoon, jota tähän tutkimukseen oli kerätty lämpötilanmittauksiin liittyen, päädyimme testaamaan lämpötilaa vaatteiden sisältä kolmesta eri kohdasta. Nämä kohdat olivat oikean ranteen yläpuoli, yläselkä ja rinta (kuva 3). Ranteen mittauskohdaksi valitsimme varmuuden vuoksi oikean hihan, koska jos käyttäjällä on kädessään oma kello, sitä käytetään yleisimmin vasemmassa ranteessa. Kello hihassa olevan anturin puolella saattaisi häiritä lämpötilan mittausta tai häiritä käyttäjää ahtauden takia.

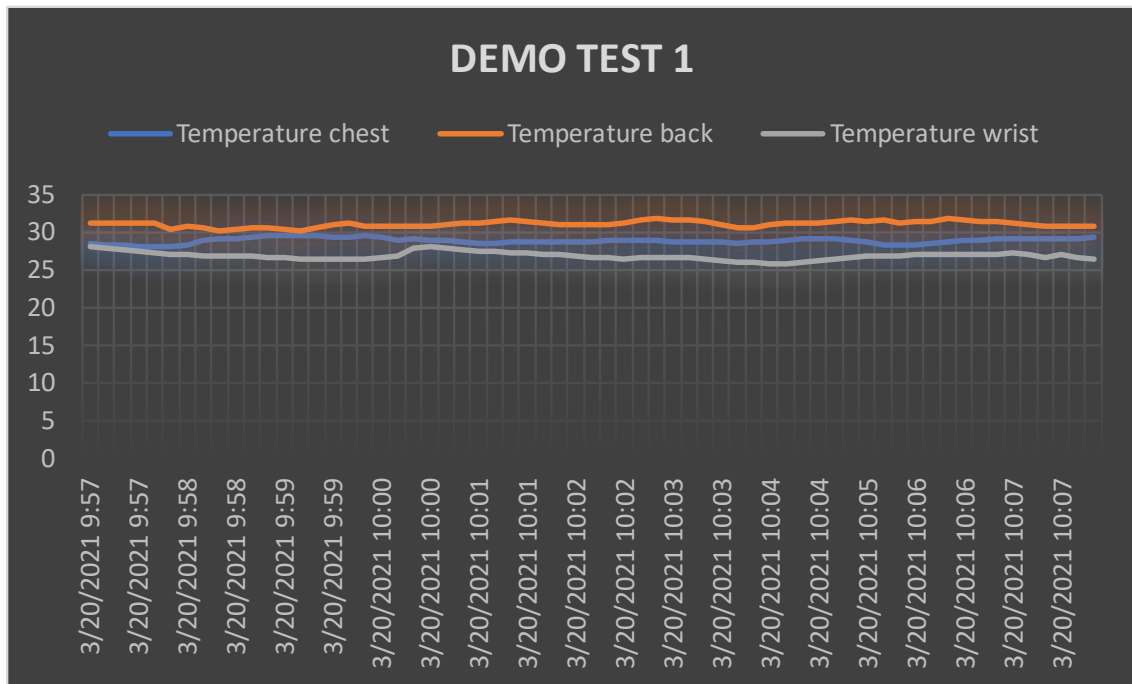
## 7.2 Testausolosuhteet

Käyttötesti toteutettiin 10 minuutin pituisella testijaksolla, kevyttä rasiusta vastaavaan syketasoon tähdäten. Syketason seuranta varten testauksessa käytettiin myös Polar Vantage -älykelloa sekä sykevyötä. Testijakso toteutettiin sisätilassa, jossa lämpötila oli 22 °C astetta kevyttä remonttityötä tehden. Takin alla testihenkilöllä oli pitkähihainen puuvillainen paita. Tältä ajalta saatiin lämpötilamittauksista kolmesta eri mittauspisteestä ja lämpötilaerot nähdään omina käyrinä kuviossa.



Kuva 4. Demosovelluksen näkymä laitteessa.

Lämpötilan mittausta varten kehitettiin sovellusdemo, jolla lämpötilaa voidaan seurata omaan älylaitteeseen ladattuna aikajanalla taulukosta (kuva 4). Sovelluksesta tiedon saa tuotua Microsoftin Excel-taulukkoon.



Kuvio 6. Lämpötilan mittaustulokset demon ensimmäisestä testistä.

Demon testaamisesta saatujen tietojen perusteella on koottu eri mittauspisteiden lämpötiloista taulukko. Kuvioista 6 ilmenee selkeät lämpötilaerot mittauspisteiden välillä. Kaikista korkeimmat lämpötilat havaittiin yläselän mittauspisteessä, jossa lämpötilan keskiarvo mittauksessa oli 31,23 °C. Rinnan keskiarvolämpötila oli 28,48 °C ja ranteen mitattu keskiarvo oli 26,47 °C. Käyttäjän kokemus vaatetuksesta sisätiloissa työn aikana oli, että lämpötuntemus ei ollut mukava, koska vaatetuksessa tuli liian kuuma.

## 8 Päätelmät

Kaiken kerätyn aineiston valossa voidaan todeta, että lämpötilaa mittaavien sensorien sijoittaminen tulee olemaan ylävartalossa joko rintakehän, yläselän tai käsien alueella. Kainaloon sijoittaminen voisi olla käyttäjän tai toiminnan näkökulmasta liian haastava paikka, koska sellaisessa kohdassa anturit joutuvat toistuvalla hankauksella alttiiksi ja se voi aiheuttaa anturin rikkoutumisen. Myös kainaloon sijoitettuna anturi saattaisi tuntua käyttäjältä epämukavalta ja haitata täten työn viihtyvyyttä ja sujuvuutta.

Lämpötilan mittauspaikan valintaan vaikuttaa myös halutaanko mitata sitä, onko käyttäjällä kylmä vai kuuma ja millaisissa olosuhteissa mittaus tehdään. Jos halutaan mitata lämpöihtyvyyden kannalta, milloin käyttäjälle alkaa tulla kylmä, kannattaa sensori sijoittaa raajoihin ja tässä tapauksessa hihaan esimerkiksi ranteen kohdalle. Jos halutaan mitata lämpöihtyvyyden kannalta, milloin käyttäjälle alkaa tulla kuuma, kannattaa sensori sijoittaa selän yläosaan vaatteessa. Lämpöihtyvyyden mittaamisen yhteydessä on tärkeää myös haastatella mitattavaa käyttäjää hänen tuntemuksistaan mittausdatan rinnalla. Seuraava asia on hankkeen jatkon kannalta huomion arvoinen: niissä tapauksissa, joissa lämpötilaa voidaan mitata ranteesta, miksi yhdistää tämä älytoiminto vaatteeseen, jos kello voisi ajaa saman asian? Jos kyseenalaistetaan tarve liittää älytoiminto vaatteeseen, voimme myös välttyä kalliilta ja aikaa vievältä testipesuprosessilta. Ranteen lämpötilamittauksen kohdalla voisi olla syytä tehdä jatkotutkimusta siitä, mitä lisäarvoa älyn integroiminen vaatteeseen tuo.

Pesun ja huollon kannalta sensorien sijoittamiseen vaikuttaa se onko sensori pesuprosessin kestävä vai irrotetaanko se ennen prosessia. Jos sensorin on varmistettu kestävä koko pesuprosessin, on mietittävä minne ja miten sijoittamalla sen saa tarpeeksi suojattua tekstiilin sekaan ja tarvittaessa tulee varmistaa mahdollisten pesupussien käyttö pesulassa. Sensorin kiinnitystapa vaatteeseen on mietittävä huollon kestävyden kannalta. Jos sensori tai sen osia on tarkoitus irrottaa vaatteesta pesuprosessin ajaksi, tulee miettiä, miten varmistetaan näiden toimien sujuvuus ja myös takaisin laittaminen. Tähän toimintoon tulee liittää myös mahdollista ohjeistusta laitteen huoltoon.

Suunnittelun kannalta sensorien sijoittamiseen vaikuttavat käyttäjä ja käyttöympäristö. Kun hankkeissa edetään ja valitaan käyttäjäryhmiä, joille tuodaan älyä työvaatteeseen, on tärkeää tehdä tutkimusta ja havainnointia työntekijästä, työympäristöstä ja toiminnoista, kun suunnitellaan hankkeen pilotteja. Käyttäjän osalta ovat oleellisia myös älyn käyttötarkoitus ja olosuhteet, nekin vaikuttavat sijoittamiseen. Käyttäjän näkökulmasta on hyvä huomioida myös käytettävyys. Jos käyttäjän täytyy kytkeä äly päälle laitteesta, sen tulisi olla helppoa ja tämä tulee huomioida sijoittamisen osalta (Palovuori 2021).



Tuotannon osalta täytyy huomioida miten ja missä vaiheessa sensorit kiinnitetään vaatteeseen. Jos äly on tarkoitus lisätä vasta valmiiseen vaatteeseen, luonnollisesti helpoimpia paikkoja ovat reunat, joihin teknisesti yltää ja liittämisen onnistuu helpoiten.

## 9 Yhteenveto

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli laadullisin menetelmin eritellä eri näkökulmat, selvittää miten ne vaikuttavat sensorien sijoittamiseen vaatteessa ja mitä niistä käsin täytyy ottaa huomioon sijoituspaikkaa valitessa. Tapaustudkimuksen tarkoituksena on ymmärtää tutkittavaa aihetta, jolloin laadullinen analyysitapa pyrkii tekemään päätelmiä aineistosta. Työlle kerättiin laajasti aineistoa tietopohjaksi, ja käsiteltiin aihetta myös vaatetusfysiologian ja älytekstiilien toimintatapojen kautta. Puettavan teknologian osalta aihetta on lähestytty täysin noviisina, koska tekijän henkilökohtainen ammatillinen osaaminen ei ennestään yltänyt kovin syvällisesti sensoriteknologian ominaisuuksiin. Osaaminen aiheesta perustuu perustietoihin erilaisista älytekstiileistä, liittyen tietoon ja kiinnostuksen kohteisiin vaatetuksen tekstiilimateriaaleista ja innovaatioista. Luonnollisesti aiheeseen syvällisemmin perehtynyt henkilö olisi saattanut esitellä aihetta eri tavalla, paremminkin, mutta kenties näin esiteltynä aiheet aukeavat kirjoittajan lisäksi muille noviiseille informatiivisesti. Tutkimuksessa perehdyttiin syvällisesti aiheisiin, jotka vaikuttavat sensorien sijoittamiseen ja monipuolisesti kerätyn aineiston avulla päätettiin sijoituspaikat lämpötilasensoreille testimitausta varten. Testimittauksen tulosten ja muun teoria-aineiston pohjalta saatiin runsaasti vastauksia tutkimuskysymyksiin ja näin ollen tutkimuksen tavoitteet tulivat täytetyksi. Aineisto on työssä pyritty esittelemään niin, että tulosten tarkastelun päättelyketju on mahdollista toistaa, mikä kertoo tutkimuksen reliabiliteetista.

Ilmenneitä haasteita, jotka saattavat hidastaa älyn yhdistämistä Lindströmin työvaatepalveluun ovat sensoreiden sijoittaminen ja kiinnitystavat teollista pesua ajatellen sekä niiden pesu- ja kuivausominaisuuksien kehittyminen. Tuotantopaikkojen vähäisyys vaatinee myös kasvua, aikaa ja rahaa. Kuinka paljon älyn

yhdistäminen kasvattaa tuotannon hintaa? Sen vaikutus yritykselle ja asiakkaalle tulee huomioida. Täytyy varmistaa, että hyöty älyn lisäämisestä on niin arvokasta, jotta se kattaa kustannusten nousun.

Lindströmillä on todettu RFID-tekniikan soveltuvan hyvin tekstiilin vuokraukseen, koska se kestää hyvin pesua, lämmönvaihtelua ja haastavia olosuhteita (Lindström b, 2021). Tähän liittyen mielenkiintoinen jatkotutkimusaihe voisi olla lämpötilan mittaamisen ja RFID-tekniikan yhdistämisen mahdollisuuksista. Abdulakeem Odunmbaku on tehnyt aiheesta opinnäytetyön informaatiotekniikan koulutusohjelmaan. Työssään hän tutki mahdollisuutta yhdistää RFID-tekniikka ja lämpötilaa mittaava älyanturitekniikka (Odunmbaku 2012). Toinen kiintoisa näkökulma aihepiiriin jatkotutkimukselle voisi olla vaatteiden mitoitus ja sen huomioiminen älyvaatteissa. Miten mitoituksella voidaan vaikuttaa mittaus tulosten luotettavuuteen kaiken kokoisten käyttäjien kohdalla, jos käytettävä sensori vaatii tiivistä ja stabiilia kontaktia?

Tämä opinnäytetyö on ajankohtainen etenkin Lindströmin hankkeen kannalta, koska se tulee tarpeeseen *Smart Workwear Development* -hankkeen edetessä, jonka seuraavassa vaiheessa on tarkoitus toteuttaa pilotteja asiakaskäytössä. Työtä voidaan soveltaa pilotteja suunnitellessa, kun valitaan sijoituspaikkaa lämpötilasensoreille, mutta myös yleisesti sijoituspaikkaa määrittäessä eri sensoryyppien kohdalla. Työ on hyödynnettävissä minkä tahansa toimijan taholta älyvaatteiden suunnittelun tukena. Tämän opinnäytetyön merkittävyyttä lisää se, että aiheesta ei ole aiemmin tällä ammattialalla Suomessa tehty tutkimusta.

## Lähteet

AJAE (Asian Journal of Atmospheric Environment) 2015. Estimation of Expected Temperature Using Heat Balance Model and Observation Data. <[https://www.researchgate.net/publication/283696930\\_Estimation\\_of\\_Expected\\_Temperature\\_Using\\_Heat\\_Balance\\_Model\\_and\\_Observation\\_Data](https://www.researchgate.net/publication/283696930_Estimation_of_Expected_Temperature_Using_Heat_Balance_Model_and_Observation_Data)> luettu 15.12.2020.

Anttila, Pirkko 2000. Tutkimisen taito ja tiedon hankinta. Hamina: Akatiimi Oy.

Chapman, Roger 2013. Smart textile for protection. India: Woodhead Publishing Limited.

Helmimäki Mervi 2018. IoT:n käytön mahdollisuudet työvaatteessa. Opinnäyte-työ YAMK. Lahden ammattikorkeakoulu, Muotoilu- ja media-alan uudistava osaaminen. <<https://www.theseus.fi/handle/10024/151712>> luettu 17.12.2020.

Hirsjärvi, Sirkka – Remes, Pirkko & Sajavaara, Paula 2009. Tutki ja kirjoita. Hämeenlinna: Kariston kirjapaino Oy.

Huttunen, Satu 2019. Smart Workwear Development. Projektisuunnitelma.

Kananen, Jorma 2008. Kvali Kvalitatiivisen tutkimuksen teoria ja käytänteet. Jyväskylä: Jyväskylän yliopistopaino.

Kettley, Sarah 2016. Designing with smart textiles. China: Bloomsbury Publishing Plc.

Lindström 2021. Työvaatteet. <<https://lindstromgroup.com/fi/tyovaatteet/>> luettu 5.3.2021.

Lindström b, 2021. Vaate liikkuu ja me seuraamme. <<https://lindstrom-group.com/fi/artikkeli/vaate-liikkuu-ja-seuraamme/>> luettu 26.3.2021.

Li, Hongqiang – Yang, Haijing, – Li, Enbang – Liu, Zihui & Wei, Kejia 2012. Wearable sensors in intelligent clothing for measuring human body temperature based on optical fiber Bragg grating. <[https://www.osapublishing.org/DirectPDFAccess/9F9A1C8F-EC37-DE22-A6F72AA70498D32B\\_233214/oe-20-11-11740.pdf?da=1&id=233214&seq=0&mobile=no](https://www.osapublishing.org/DirectPDFAccess/9F9A1C8F-EC37-DE22-A6F72AA70498D32B_233214/oe-20-11-11740.pdf?da=1&id=233214&seq=0&mobile=no)> luettu 2.1.2021.

MDPI 2016. Tutkimusartikkeli. Defining Requirements and Related Methods for Designing Sensorized Garments. <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4934195/>> luettu 30.12.2020.

Martinez-Nicolas, Antonio – Guaita, Marc – Santamaría, Joan – Montserrat, Josep M. - Ángeles Rol, María – Madrid, Juan Antonio 2017. <[https://www.researchgate.net/publication/316376975\\_Circadian\\_Impairment\\_of\\_Distal\\_Skin\\_Temperature\\_Rhythm\\_in\\_Patients\\_With\\_Sleep-Disordered\\_Breathing\\_The\\_Effect\\_of\\_CPAP](https://www.researchgate.net/publication/316376975_Circadian_Impairment_of_Distal_Skin_Temperature_Rhythm_in_Patients_With_Sleep-Disordered_Breathing_The_Effect_of_CPAP)> luettu 26.2.2021.



for Wearability. <[https://www.researchgate.net/publication/319589622\\_Where\\_to\\_wear\\_it\\_functional\\_technical\\_and\\_social\\_considerations\\_in\\_on-body\\_location\\_for\\_wearable\\_technology\\_20\\_years\\_of\\_designing\\_for\\_wearability](https://www.researchgate.net/publication/319589622_Where_to_wear_it_functional_technical_and_social_considerations_in_on-body_location_for_wearable_technology_20_years_of_designing_for_wearability)> luettu 16.12.2020.

Zeagler, Clint. 2017b. "Where to Wear It: Functional, Technical, and Social Considerations in On - Body Location for Wearable Technology 20 Years of Designing for Wearability." In *International Symposium on Wearable Computers*. Maui, Hawaii. doi:10.1145/3123021.3123042. <<http://wcc.gatech.edu/content/wearable-technology-affordances-body-maps>> luettu 16.12.2020.

Rantanen, J. – Impiö, J. – Karinsalo, T. – Malmivaara, M. – Matala, R – Mäkinen, M – Reho, A. – Talvenmaa, P – Tasanen, M. & Vanhala, J, 2002. Smart Clothing Prototype for the Arctic Environment. Tutkimusartikkeli. <<://gear.kku.ac.th/~watis/courses/188721/SmartClothing.pdf>> luettu. 18.3.2021.

### **Asiantuntijahaastattelut:**

Ilén, Elina 2021. Teemahaastattelu 19.3.2021.

Palovuori, Elina 2021. Teemahaastattelu 17.3.2021.

Vääri, Anne 2021. Teemahaastattelu 22.3.2021.

### **Workshopit:**

Workshop 2020: Lindström X Suunto Movesense 17.12.2020.

Osallistujat: Anne Vääri, Teemu Uusitalo, Soile Pakarinen, Marianne Moisio, Mervi Helmimäki, Inari Laveri, Elina Harjanne, Kimmo Pernu ja Jussi Virkkala.

## Liitteet

### Asiantuntijahaastattelu: Elina Palovuori 17.3.2021/Elina Ilén 19.3.2021

#### Sensoritekniologian sijoittelu, suunnittelu ja tuotanto

1. Kerro omasta taustastasi liittyen puettavaan teknologiaan ja älytekstiileihin?
2. Minkälaisesta sensoritekniologiasta ja älytekstiileistä sinulla on kokemusta?
3. Mitä tulee huomioida älytekstiilien ja puettavan teknologian suunnittelu-prosessissa?
4. Mitä älyvaatteen suunnittelussa tulee ottaa huomioon sen tuotannon kannalta?
5. Miten sensorin kiinnitystapa vaikuttaa sen sijoittamiseen? (Laminoitu/painettu/kudottu/ommeltu/kuitu/lanka)
6. Mitä tulee huomioida älyvaatteen käyttäjän näkökulmasta sensorien sijoittelun kannalta lopullisessa tuotteessa?
7. Miten voidaan varmistaa käyttäjän turvallisuus puettavaa teknologiaa suunnitellessa? (ns. haitattomuus käyttäjälle)
8. Voiko sensorin sijoituspaikka vaikuttaa käyttäjän turvallisuuteen?
9. Mitä älyvaatteen pesun, kuivauksen ja huollon kannalta tulee huomioida älyvaatteen suunnittelussa ja sensoritekniologian sijoittelussa?
10. Miten sensorin kiinnitystapa vaikuttaa älyvaatteen huoltoon?
11. Miten sensoritekniologian ominaisuudet vaikuttavat älyvaatteen suunnitteluun?
12. Miten sensoritekniologian ominaisuudet vaikuttavat sensoreiden sijoitteluun tai rajoittavat sitä?
13. Jos sensoreilla mitataan lämpötilaa mitä tulee huomioida sensoreiden sijoituspaikkaa valitessa?
14. Onko sinulla kokemusta lämpötilaa mittaavien sensoreiden sijoittamisesta älyvaatteeseen? Millaista?

## Asiantuntijahaastattelu: Anne Väari 22.3.2021

### Työvaatteiden tuotekehitys ja puettava teknologia

1. Kerro taustastasi ja toimenkuvastasi Lindströmillä.
2. Oletko ollut tekemisissä älyvaatteiden kanssa? Miten?
3. Kerro vuokratyövaatteiden suunnitteluprosessista Lindströmillä. Mitä suunnittelussa huomioidaan?
4. Mikä työvaatteiden suunnittelussa on tärkeintä?
5. Miten sensoreiden lisääminen vaatteeseen vaikuttaisi työvaatteen suunnitteluun?
6. Mitkä ovat mielestäsi suurimmat haasteet puettavan teknologian yhdistämisessä työvaatetukseen?
7. Miten teollinen pesu rajoittaa työvaatteiden suunnittelua? Miten se tulee huomioida suunnittelussa?
8. Miten teollinen pesu rajoittaa älyn yhdistämistä työvaatteeseen?
9. Mitä pesulämpötiloja Lindströmin pesuloiden pesuissa käytetään?
10. Mikä lämpötila on tunnelikuivauksessa ja kuinka kauan vaate on tunnelissa?
11. Miten sensortechnologian lisääminen vaatteisiin vaikuttaisi Lindströmin tuotannon prosesseihin?
12. Miten haasteita älyn yhdistäminen työvaatetukseen voi aiheuttaa tuotannon kannalta?