

Marjukka Kekäläinen

**3D-BODYSKANNERIN HYÖDYNTÄMINEN KYLMÄLTÄ
SUOJAAVAAN VAATETUKSEN KOON OPTIMOINNISSA**

Opinnäytetyö

KESKI-POHJANMAAN AMMATTIKORKEAKOULU

Tekstiili- ja vaatetustekniikan koulutusohjelma

Kesäkuu 2012



TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Yksikkö Tekniikka ja liiketalous	Aika Kesäkuu 2012	Tekijä Marjukka Kekäläinen
Koulutusohjelma Tekstiili- ja vaateustekniikka		
Työn nimi 3D-bodyskannerin hyödyntäminen kylmältä suojaavan vaatetuksen koon optimoinnissa		
Työn ohjaaja Leena Simonen	Sivumäärä 63 + 7	
Työelämäohjaaja Kirsi Jussila		
<p>Opinnäytetyö tehtiin Työterveyslaitoksen MatkaSuTu-hankkeelle (Matkailijan ja matkailualan työntekijän suojautuminen ja turvallisuus). Opinnäytetyön tarkoituksena oli hyödyntää 3D-bodyskanneria kylmältä suojaavaan vaatetuksen optimaalisen koon löytämisessä.</p> <p>3D-bodyskannerilla skannattiin Työterveyslaitoksen tuulitunnelissa standardin ISO 15831 mukaista lämpönukkea, jolle oli puettuna 10 erilaista vaateuskokonaisuutta. Vaateuskokonaisuudet oli toteutettu kolmikerroksisena kerrospukeutumisenä, johon vaatetukseen kuului alus-, väli- ja päällysvaate sekä kengät, sukat, kypärälakki ja käsiineet. Skannaukset tehtiin 0,3 m/s tyynessä ja 8 m/s tuulessa. Skannattuja otoksia otettiin yhteensä 31 kappaletta ja jokaisen otoksen kohdalla mitattiin myös lämmöneristävyys lämpönukan avulla. Otoksien avulla määriteltiin ympärysmittoja lämpönukan vartalosta ja vaatetuksesta sekä tehtiin ilmakerroksien mittausta vaatekerrosten välillä mittaamalla ja laskemalla.</p> <p>Otoksista otettujen ympärysmittojen, ilmakerrosten paksuuksien sekä lämmöneristävyys arvojen avulla määriteltiin optimaalisin vaateuskokonaisuus. Lopulliseen tulokseen vaikutti ensisijaisesti lämmöneristävyys vähäinen muuttuminen sekä ilmakerroksen paksuus. Tuloksia on tarkoitus hyödyntää elämysmatkailijan ja matkailutyöntekijän käytännön toimintaan.</p>		
Asiasanat 3D-bodyskanneri, kerrospukeutuminen, vaatetusfysiologia, kylmänsuojavaatetus		

ABSTRACT

CENTRAL OSTROBOTHNIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	Date June 2012	Author Marjukka Kekäläinen
Degree programme Textile and clothing technology		
Name of thesis Using the 3D-body scanner to find the optimal size for protective clothing against cold		
Instructor Leena Simonen		Pages 63 + 7
Supervisor Kirsi Jussila		
<p>Thesis was done for the Finnish Institute of Occupational Health and their project Matka-SuTu (Projection and Safety of Travellers and Tourism Workers). Objective of this thesis was to find the optimum size combination of the three-layered cold protective clothing using the 3D-body scanner.</p> <p>A thermal manikin (standard ISO 15831) was scanned with the 3D body scanner in the climatic chamber of Finnish institute of Occupational Health. The manikin was tested with 10 different outfits. The outfits were three-layered combinations of clothing, and each combination included underwear, inner garments and outer garments, shoes, socks, balaclava and gloves. The scans were performed in calm 0.3 m/s and windy 8 m/s conditions. A total of 31 scanned full length scans were taken and from each scan the thermal insulation was measured by a thermal manikin. Cross-sectional measurements of the thermal manikin's body and clothing were made from the scanned pictures. Air layer measurements were measured and calculated between the clothing layers.</p> <p>The optimal clothing combination was determined with the cross-sectional measurements, the thickness of air layers and the thermal insulation values. The final result was affected primarily by the minor variation of the thermal insulation capacity due to wind and the thickness of the air layer. The results are meant to be reflected in the practical operations/activities of adventure travelers and tourism workers.</p>		

Key words

3D-body scanner, layered clothing, clothing physiology, protective clothing against cold

KÄSITTEET

CAD	(computer aided design) tietokoneavusteinen suunnittelu
ERP	(enterprise resource planning) toiminnanohjausjärjestelmä
PLM	(product lifecycle management) tuotteen elinkaaren hallinta ohjelma
hydrofiilinen	vettä imevä materiaali
hydrofobinen	vettä hylkivä materiaali
hygroσκοoppinen	kosteutta imevä materiaali
kapillaari-ilmiö	kosteus tai vesi liikkuu rakenteessa painovoiman vastaisesti ylöspäin ja ulospäin, tekstiilirakenteessa kuitujen pintaa pitkin ulospäin.
torso	keskikeho

**TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
KÄSITTEET
SISÄLLYS**

1 JOHDANTO	1
2 TYÖTERVEYSLAITOS	3
2.1 Työterveyslaitos organisaationa	3
2.2 MatkaSuTu-hanke	4
3 3D-MITTAUS JA BODYSKANNAUS	6
3.1 3D-bodyskanneri	7
3.2 Case: Human Solutions Group	8
4 KYLMYYS JA IHMINEN	9
4.1 Vaatetusfysiologia	9
4.2 Tasalämpöisyys	10
4.3 Lämpötasapaino	11
4.4 Lämmönsäätely ja lämpöviihtyvyys	11
4.5 Lämmönluovutus	13
4.6 Kylmän vaikutukset toimintakykyyn	15
4.7 Lämmöneristävyys	15
4.8 Hengittävyys	19
4.9 Tuulenpitävyys	20
5 KERROSPUKEUTUMINEN	22
5.1 Mallin ja koon vaikutus	22
5.2 Alusvaatetus	23
5.3 Välivaatetus	24
5.4 Päällysvaatetus	26
5.5 Kehon ääreisosien suojaaminen	28
5.5.1 Pään ja kasvojen suojaaminen	29
5.5.2 Käsien ja jalkojen suojaaminen	29
6 TUTKIMUSMENETELMIEN JA MATERIAALIEN KUVAUS	31
6.1 Lämpönukke ja tuulitunnelin olosuhteet	31
6.2 Vaatetuksen kuvaus	32
6.3 Mittauspisteet ja mittaustavat	33
7 TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET	39
7.1 Ympärysmittat ja väljyydet	39
7.2 Ilmakerroksen paksuus	41
7.2.1 Tuulen vaikutus ilmakerrokseen	42
7.2.2 Tuuleen nähden 45:n ja 90 asteen kulmassa	43
7.3 Lämmöneristävytydet	46
7.4 Johtopäätökset	47
7.4.1 Ympärysmittojen väliset erot	47
7.4.2 Ilmakerroksen ja lämmöneristävytyden vertailu	49

7.4.3 Yhteenveto	54
7.5 Ohjeistus	57
8 POHDINTA	59
LÄHTEET	62
LIITTEET	
LIITE 1. Skannatut otokset	
LIITE 2. Passeli miestenmittataulukko: Normaalivartalo C 182±3	
LIITE 3. Lämmöneristävyys: clo-arvot	
LIITE 4. Kaaviokuva: ympärysmittojen erot reiden pisteellä	
LIITE 5. Mitatut ja lasketut ilmakerroksen paksuudet	
LIITE 6. Tuulen vaikutus ilmakerrokseen reiden pisteellä	
LIITE 7. Tuulen vaikutus ilmakerroksen sijaintiin	
KUVIOT	
KUVIO 1. Työterveyslaitoksen organisaatiorakenne ja tehtävät	4
KUVIO 2. 3D-mallin mesh-verkon osat	6
KUVIO 3. Poikkileikkauskuvan ympärysmittan muodostuminen	8
KUVIO 4. Kehon osien keskimääräisiä lämpötiloja	11
KUVIO 5. Lämmöneristävyuden määrittäminen vaatetuksen painon mukaan	17
KUVIO 6. Oulun aluetyöterveyslaitoksen FANTOM-lämpönukke	18
KUVIO 7. Vaatetuksen kokonaislämmöneristävyuden muodostuminen	18
KUVIO 8. Mikrohuokoisen materiaalin toimintatapa	27
KUVIO 9. Mittauspisteiden kohdat	34
KUVIO 10. Vaatekerroksia puettuna lämpönukelle	35
KUVIO 11. Puettu lämpönukke 45:n ja 90 asteen kulmaan asetettuna	35
KUVIO 12. Poikkileikkauskuva vyötärön pisteeltä	36
KUVIO 13. Vaatekerrokset tuotuna päällekkäin	37
KUVIO 14. Vaatekerrokset 45 asteen kulmassa päällekkäin tuotuna	38
KUVIO 15. Ympärysmittojen mittaustapa	39
KUVIO 16. Poikkileikkauskuvat 45 asteen kulmassa olevasta lämpönukesta	44
KUVIO 17. Poikkileikkauskuvat 90 asteen kulmassa olevasta lämpönukesta	45
KUVIO 18. Vaatetuskokonaisuuksien ympärysmittojen erot vyötärön pisteellä	48
KUVIO. 19 Mitattujen ja laskettujen ilmakerrosten arvojen eroavaisuuksia	49
KUVIO. 20 Tuulen vaikutus ilmakerrosten paksuuksiin vyötärön pisteellä	51
KUVIO 21. Tuulen vaikutus kokonaislämmöneristävyysiin	52
KUVIO 22. Tuulen vaikutus lämmöneristävyysiin rinnan ja torson alueella	52
KUVIO 23. Tuulen vaikutus lämmöneristävyysiin reiden alueella	53
KUVIO 24. Tuulen suunnan vaikutus lämmöneristävyysiin	54
TAULUKOT	
TAULUKKO 1. Viimaindeksi (WCI)	14
TAULUKKO 2. Vaatetuskokonaisuuksien lämmöneristävyysiä	16
TAULUKKO 3. Lämpönukelle puettut vaatetuskokonaisuudet	32
TAULUKKO 4. Vaatekerrosten materiaalit ja paksuudet	32
TAULUKKO 5. Mittauspisteiden etäisyydet lattiasta	34
TAULUKKO 6. Lämpönukan ympärysmittat ja pituus	40
TAULUKKO 7. Vaatetuskokonaisuuksien vyötärön ympärysmittat ja väljyydet	40

TAULUKKO 8. Vaatetuskokonaisuuksien reiden ympärysmitat ja väljyydet	40
TAULUKKO 9. Väljyydet vaatetuksen koon mukaa	41
TAULUKKO 10. Vyötärön pisteen ilmakerrosten paksuudet tyynessä	41
TAULUKKO 11. Reiden pisteen ilmakerrosten paksuudet tyynessä	42
TAULUKKO 12. Tuulen vaikutus ilmakerroksen paksuuteen vyötärön pisteellä	42
TAULUKKO 13. Tuulen vaikutus ilmakerroksen paksuuteen reiden pisteellä	43
TAULUKKO 14. Tuulen vaikutus ilmakerrosten sijaintiin vyötärön pisteellä	43
TAULUKKO 15. Tuulen vaikutus 45 asteen kulmassa	44
TAULUKKO 16. Tuulen vaikutus 90 asteen kulmassa	45
TAULUKKO 17. Lämmöneristävytydet vaatetuskokonaisuuksittain	46
TAULUKKO 18. Lämmöneristävytydet 45:n ja 90 asteen vaatetuksesta	47

1 JOHDANTO

Loppuvuodesta 2010 minulle ehdotettiin, että tekisin Tuotekehitys- ja projektinhallinnan kurssityönä Työterveyslaitoksen MatkaSuTu-hankkeelle 3D-bodyskannerimittaukset lämpönukesta, jolle oli puettuna erilaisia moottorikelkkailijan vaatetuskokonaisuuksia. Näistä kuvista minun oli tuli saada selville ympärysmittoja sekä vaatekerrosten välisiä ilmakerrosten paksuuksia, joita oli tarkoitus verrata lämpönukesta mitattuihin lämmöneristävyysiksiin.

Minulle oli hyvin varhaisessa vaiheessa opintojeni selvää, että haluaisin tehdä opinnäytetyöni 3D-bodyskanneria apuna käyttäen, koska olin perehtynyt skannerin käyttöön hyvin laajalti koko opintojeni ajan ja kokenut sen käytön minua kiinnostavaksi aiheeksi. MatkaSuTu-hankkeen aihe tarjosi mahdollisuuden jatkaa aiheesta opinnäytetyöksi asti, ja päätin tarttua aiheeseen syvemmin, jolloin pystyin tutustumaan tarkemmin toiseen minua kiinnostavaan aihealueeseen, vaatetusfysiologiaan.

Kylmässä liikkuvan elämysmatkailijan, kuten esimerkiksi moottorikelkkailijan, on suojaututtava hyvin kylmältä, että kylmästä aiheutuvat haitat pysyisivät mahdollisimman vähäisinä ja kylmän aiheuttamilta vammoilta vältyttäisiin. Opinnäytetyössäni elämysmatkailijan olosuhteita lähestytään vaatetusfysiologian kannalta, jolloin kerrotaan yleisesti, miten kylmä vaikuttaa ihmisen lämpötasapainoon, miten lämmönsäätely toimii ja miten vaatetuksen tulisi suojata kylmässä ympäristössä olevaa käyttäjänsä. Oikeanlaista kylmältä suojaavaa pukeutumista on kuvailtu kerrospukeutumisen keinoin, sillä tämän periaatteet sopivat hyvin elämysmatkailijalle.

3D-mittaukset tehtiin bodyskannerilla Oulun Työterveyslaitoksen tuulitunnelissa, jossa standardin ISO 15831 mukaisen lämpönuken ylle puettiin yhteensä 10 erilaista vaatetuskokonaisuutta. Jokainen vaatetuskokonaisuus skannattiin 0,3 m/s tyynessä ja 8 m/s tuulessa. Yhteensä otoksia skannattiin 31 kappaletta. Vaatetuskokonaisuudet oli toteutettu kolmi-kerroksisena kerrospukeutumisenä, jossa oli alus-, väli- ja päällysvaatekerros. Skannatuista otoksista otettiin ennalta määritellyistä kohdista poikkileikkauskuvia, joista mitattiin ympärysmittoja ja ilmakerrosten paksuuksia vaatekerrosten välillä.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli löytää mahdollisimman hyvin kylmältä suojaava vaatetuskokonaisuus, jonka kautta voidaan tehdä ohjeistusta siitä, minkä kokoista vaatetusta kannattaisi käyttää kylmässä ympäristössä parhaan suojaavuuden saavuttamiseksi. MatkaSuTu-hankkeessa näitä ohjeistuksia voidaan hyödyntää elämysmatkailijan ja matkailualan työntekijän kylmään ympäristöön pukeutumista ohjeistettaessa.

2 TYÖTERVEYSLAITOS

Työterveyslaitos on työterveys- ja työsuojelualan tutkimus- ja asiantuntijalaitos, jonka tavoitteena on terve ja hyvinvoiva työikäinen väestö sekä turvalliset ja toimivat työympäristöt. Yhteistyötä tehdään paljon mm. työpaikkojen, työsuojelu- ja työterveysviranomaisten, työterveyshuollon toimijoiden, työsuojeluorganisaatioiden työpaikkojen, korkeakoulujen, oppilaitosten ja kansalaisjärjestöjen kanssa. Kansainvälisellä yhteistyöllä on myös iso merkitys. Toiminta on säädetty laissa *Finlex: Laki työterveyslaitoksen toiminnasta ja rahoituksesta 24.2.1978/159* ja asetuksessa *Finlex: Asetus työterveyslaitoksen toiminnasta ja rahoituksesta 29.6.1978/501*. (Työterveyslaitos 2012a.)

2.1 Työterveyslaitos organisaationa

Työterveyslaitos (KUVIO 1) on organisaatio, jonka toiminta on organisoitu niin, että ylin päättävä elin on johtokunta. Toiminta on laissa ja asetuksessa määrätty, ja sitä johtaa ja valvoo sosiaali- ja terveysministeriö. Johtokunnan toiminta antaa perustan Työterveyslaitoksen olemassaololle, rahoitukselle, hallinnolliselle asemalle ja johtamiselle. Johtokunnan alla toimii johtoryhmä, joka johtaa ja ohjaa päivittäistä Työterveyslaitoksen toimintaa. (Työterveyslaitos 2012b.)



KUVIO 1. Työterveyslaitoksen organisaatorakenne ja tehtävät (Työterveyslaitos 2012b.)

Työterveyslaitos on monitieteellinen ja moniammatillinen laitos, minkä takia organisaatio on jaettu joustavan toiminnan saavuttamiseksi kolmeen toiminta-alueeseen: asiakasratkaisut, ratkaisujen kehittäminen ja tiedolla vaikuttaminen. Asiakasratkaisuja ja ratkaisujen kehittämistä varten Työterveyslaitoksella on osaamiskeskuksia, jotka ovat erikoistuneet jonkin tietyn ratkaisun löytämiseen. Osaamiskeskusten tehtävinä on tutkia ja kehittää inhimillistä työtä, terveyttä ja työkykyä, työyhteisöjä ja organisaatioita sekä työympäristöjä. Työterveyslaitoksella on kattava ja monipuolinen palvelutarjonta työyhteisöille ja toimipisteitä on ympäri Suomea: Helsingissä, Kuopiossa, Lappeenrannassa, Oulussa, Tampereella ja Turussa. (Työterveyslaitos 2012b.)

2.2 MatkaSuTu-hanke

MatkaSuTu-hanke eli matkailijan ja matkailualan työntekijän suojautuminen ja turvallisuus on Euroopan sosiaalirahaston (ESR) ja Pohjois-Pohjanmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen (ELY) rahoittama hanke, jonka toteuttaa Työterveyslaitos yhteistyössä Tampereen Teknillisen yliopiston, Kemi-Tornio koulutuskuntayhtymän (Lappia), Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulun ja Oulun seudun ammattiopiston Limingan yksikön kanssa. (Työterveyslaitos 2012c.)

MatkaSuTu-hankkeen tarkoituksena on kartoittaa ja kehittää elämysmatkailijan ja matkailualan työntekijän turvallisuutta ja suojautumista ääriolosuhteissa ja tilanteissa. Hankkeen kautta on tarkoitus saada tietoa matkailualan turvallisuusosaamisesta ja tietoisuutta hyvistä käytännöistä sekä myös kehittää uusia työkaluja. Lisäksi hankkeen kautta saadaan erilaista tutkimustietoa matkailualan työntekijän turvallisuudesta ja suojautumisesta. (Työterveyslaitos 2012c.)

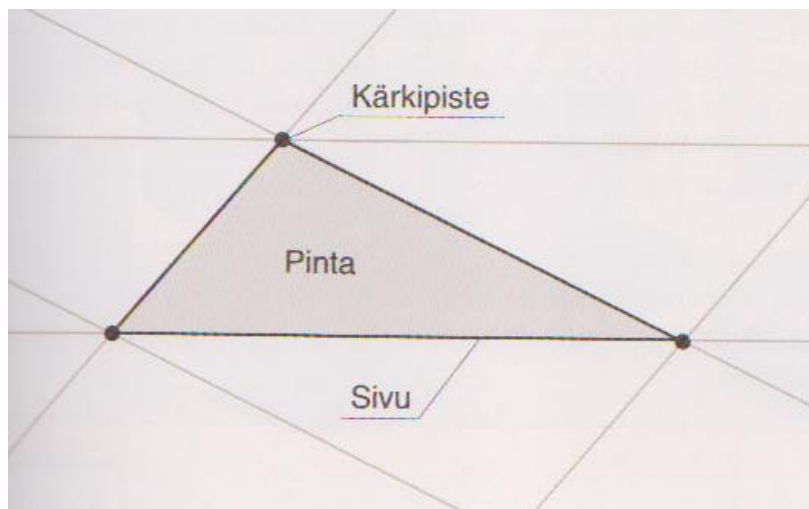
Matkailualalle tuovat haasteita kulttuurierot, ympäristöstä aiheutuvat tekijät, suojautuminen, riskinarviointi, kommunikointi ja dokumentoinnin kehittäminen ja koulutus. Näistä lähtökohdista hankkeelle on annettu suuntaviivat, joiden kautta kehitetään ratkaisuja ja tietopaketteja seuraaviin matkailualan osa-alueisiin:

- moottorikelkkailijan varustus poikkeustilanteisiin
- paikannusmenetelmä puettavan teknologian avulla
- koulutuspaketti matkailupalvelujen tuottajille turvallisuus- ja työsuojeluaiheesta
- matkailijoille suunnattu digitaalinen tietoisuus
- matkailualan turvallisuuteen liittyvä verkkosivusto ja -tietopankki
- työkaluja pk-yritysten riskienhallintaan ja turvallisuusjohtamiseen. (Työterveyslaitos 2012c.)

Edellä mainittujen asioiden lisäksi tarkoituksena on luoda matkailualalla toimivien yhteistyöverkosto, jonka jäsenet voivat yhdessä vahvistaa turvallisuusosaamistaan sekä kehittää uusia tuotteita ja käytäntöjä turvallisuuden lisäämiseksi. Yhteistyöverkostoon kuuluu jäseniä seuraavilta aloilta: turvallisuusjohtaminen, matkailu, paikannus- ja kommunikaatio, tekstiili- ja vaatetus sekä suojautuminen. Hankkeessa on mukana tutkimuslaitoksia ja oppilaitoksia sekä matkailualan yrityksiä. (Työterveyslaitos 2012c.)

3 3D-MITTAUS JA BODYSKANNAUS

3D-mittauksessa on kyse siitä, että piirretyllä tai mitatulla kuvalla tai mallilla on leveyden ja korkeuden lisäksi myös syvyys eli perspektiivi (Lehtovirta & Nuutinen 2000, 9). 3D-malli rakentuu mesh-verkosta, joka koostuu pinnoista (KUVIO 2) (face) ja pinnan kärkipisteistä (vertex) ja sivuista (edge) (Lehtovirta & Nuutinen 2000, 21).



KUVIO 2. 3D-mallin mesh-verkon osat (Lehtovirta & Nuutinen 2000, 21.)

Kokonainen 3D-malli muodostuu useista pinnoista, jotka jakavat vähintään yhden kärkipisteen toisen pinnan kanssa. Jokaisella kärkipisteellä on omat x-, y- ja z-arvot, koska kokonainen 3D-malli on sijoittunut koordinaatistoon. Pinnan kärkipisteiden tiheys muodostaa kuvalle tarkkuuden eli resoluution. (Lehtovirta & Nuutinen 2000, 21.)

3D-mittauksen teknologia perustuu sitä varten luotuihin ohjelmistoihin. 3D-mittausta ja mallinnusta varten on käytössä useita erilaisia tekniikoita ja sovelluksia, jotta voitaisiin palvella erilaisten käyttäjien tarpeita mahdollisimman hyvin. 3D-mallinnus perustuu tietokoneavusteiseen suunnitteluun, jossa 3D-malli luodaan manuaalisesti. (Lehtovirta & Nuutinen 2000, 23.) 3D-skannauksessa jokin fyysinen kappale, kuten ihminen, piirtyy tietokoneohjelman ymmärtämään muotoon, jonka jälkeen kuvaa voidaan muokata ja mitata tarpeen mukaan. 3D-skannauksessa käytetään paljon mm. laserskannauksen teknologiaa, jolla voidaan kuvantaa niin isoja kuin pieniäkin objekteja. Skannauksen tuloksena muodostuu

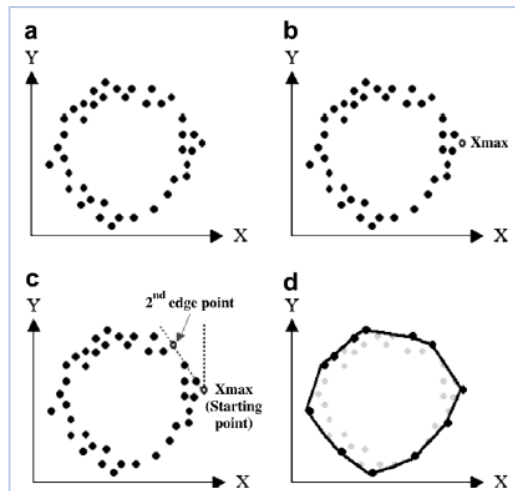
pistepilvi, joka rakentuu edellä kerrotun mukaisesti periaatteen mukaisesti. (Lehtovirta & Nuutinen 2000, 111.)

3.1 3D-bodyskanneri

Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoululla on käytössä Vitronicin VITUS Smart 3D-bodyskannerilaite, jossa on neljä lasersensoripylvästä. Lasermittaus perustuu optiseen kolmiomittaukseen, joka on silmille turvallinen heikkojen lasersäteiden ansiosta. Vartalon skannaus kestää alle 20 sekuntia, jonka jälkeen Human Solutionsin ScanWorXin Anthroscan ohjelmiston avulla voidaan skannattua vartaloa tarkastella kuvana ja ottaa siitä mittoja. Skannattu kuva rakentuu aiemmin kerrotun 3D-pintamallin mukaisesti kolmioista, jolloin ohjelmiston avulla kuvan pintaa voidaan käsitellä haluttuun suuntaan joko lisäämällä tai poistamalla kolmioita.

Anthroscan ohjelmisto perustuu kolmiulotteiseen koordinaattijärjestelmään, jonka ansiosta skannattua vartaloa voidaan tarkastella kolmiulotteisena kokonaisuutena. Kuvasta voidaan ohjelmiston avulla tuottaa mittoja manuaalisesti tai käyttämällä toimintoa, joka tuottaa 130 vartalonmittaa ISO 7250:n ja ISO 8559:n, ihmisen perusmittoja määrittelevien standardien mukaisesti. Vartalon mitat voidaan tuoda Excel-tiedostoksi tai tarkastella niitä kuvien kanssa Internet-selaimessa html-muodossa. Kuvasta voidaan myös mm. ottaa poikkileikkauskuvia vartalon eri kohdista ja tuoda vartalonkuvia päällekkäin. (Human Solutions 2012.)

Poikkileikkauskuvista voidaan ottaa ympärysmittoja, joiden ottamisen periaate perustuu polygonaaliseen eli monikulmion kaltaisesta muodosta otettuun likiarvoon. Tällä menetelmällä saadaan poikkileikkauskuvan pinnasta tarkkoja ympärysmittoja. Kuvio 3 kuvaa polygonaalisen likiarvon muodostumista poikkileikkauskuvan pinnan pisteistä. Ensin ohjelma etsii pisteistä maksimaalisen arvon, josta se lähtee vastapäivään etsimään seuraavaa ulointa pistettä aina koko muodon ympäri. Kuvion 3 b-kohdan maksimaalisen pisteen voidaan kuvitella olevan kellotaulun keskusta, josta lähtee pyörimään vastapäivään suora viisari, joka pyörii pyöreän muodon ympäri niin, että se ottaa uloimmat tarvittavat pisteet ympärysmittan mittaamista varten. (Lu & Wang 2008, 411–412.)



KUVIO 3. Poikkileikkauksen ympärysmittan muodostuminen (Lu & Wang 2008, 412.)

3.2 Case: Human Solutions Group

Human Solutions Groupiin kuuluu Human Solutionsin lisäksi Assyst ja AVM., jotka liittyivät Human Solutionsin ryhmittymään vuonna 2011. Human Solutions Group pyrki olemaan johtava toimittaja CAD-, PLM- ja ERP- tuotteissa vaatetusteollisuuden ja ergonomisissa simulaatioissa ajoneuvoteollisuuden. Päämaja sijaitsee Saksassa, ja toiminnan keskipisteenä on saada ihmisen toiminta simuloitua virtuaaliseen muotoon, jolloin tämän kaltaista tietoa voidaan soveltaa vaatteiden valmistuksessa ja tehdä yksilöidympiä tuotteita. Lisäksi toiminnan toisena osa-alueena on ergonomisten ratkaisujen löytäminen ajoneuvoihin erilaisten simulaatioiden kautta. (Human Solutions 2012.)

Vaatetusteollisuuden tarpeisiin on keskitytty siten, että saataisiin tuotekehitys- ja tuotanto-toiminta tehokkaammaksi yrityksen tarjoamien ratkaisujen keinoin. Vaatetusteollisuutta palvellaan 3D-bodyskannauksessa ja -hahmottamisessa, kokojen ja istuvuuden ratkaisuissa sekä soveltamalla CAD-, ERP- ja PLM- tietokoneohjelmistojen ratkaisuja suunnitteluun ja tuotannonohjaukseen. Näiden ratkaisujen kautta on tarkoitus saada tuotesuunnittelu ja tuotekehitys sekä tuotanto toimimaan mahdollisimman tehokkaasti. (Human Solutions 2012.)

Uuden Human Solutions Groupin vahvuutena on se, että se on keskittynyt uusimpaan teknologiaan, jolloin se voi tarjota jokaisen asiakkaansa tarpeisiin räätälöidyn paketin ohjelmistojen ja palvelujen (Human Solutions 2012.)

4 KYLMYYS JA IHMINEN

Alastomalle ihmiselle paras elinympäristö levossa on trooppinen ja tyyni 27–29 °C:n lämpötila. Ihmisen fysiologia on kehittynyt toimimaan parhaiten leppoisessa trooppisessa ilmastossa, jolloin alle 25 °C:n lämpötiloissa ihminen ei pysty selviytymään ilman vaatetusta. Lämpötilan laskiessa tästä myös kylmäkuolleisuus lisääntyy sen mukaan, missä päin maailmaa väestön elinoloja tarkastellaan. Esimerkiksi Suomessa ihmiset sietävät kylmää paremmin ja osaavat pukeutua sen mukaisesti paremminkuin vaikka Etelä-Euroopan lauhkean ilmaston maissa asuvat ihmiset, jotka ovat tottumattomampia jopa alle 20–22 °C:n lämpötiloihin. (Ilmarinen, Lindholm, Läärä, Peltonen, Rintamäki & Tammela 2011, 10.)

Kylmät ilmasto-olosuhteet panevat ihmisen kehon sietokyvyn koviille, jolloin tarvitaan oikeanlaista kylmänsuojavaatetusta tasalämpöisyyden ylläpitämiseen. Kylmänsuojavaatetuksen tarkoitus on tuoda lämpömukavuutta käyttäjälleen. (Ilmarinen ym. 2011, 101.) Kylmänsuojavaatetuksen tarkempia ominaisuuksia materiaalien ja vaateen mallin osalta käsitellään luvussa 5.

4.1 Vaatetusfysiologia

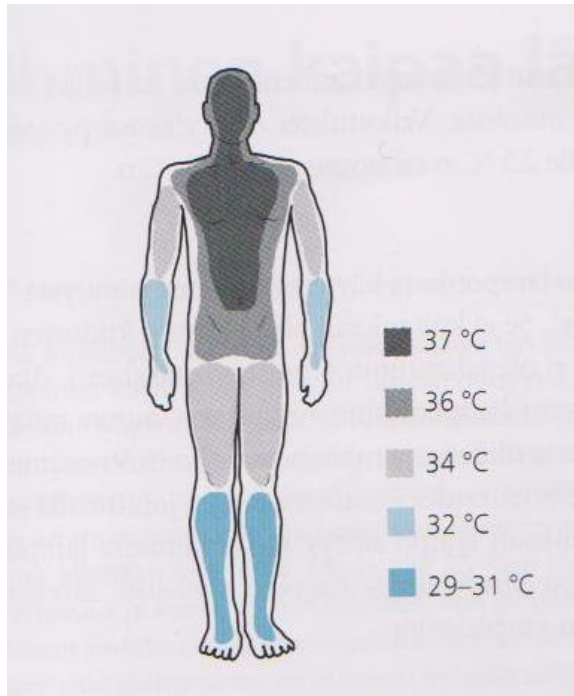
Vaatetusfysiologia on poikkitieteellinen tieteenala, jossa yhdistetään ihmisen fysiologia, ympäristön olosuhteet ja tekstiilimateriaalien tuntemus kokonaiseksi ajattelutavaksi. Tällöin nämä kolme asiaa voidaan ottaa huomioon vaateen suunnittelussa, valmistuksessa ja valinnassa, jolloin pyritään saavuttamaan vaatetuksen avulla mahdollisimman hyvä lämpöviihtyvyys, lämpötasapaino ja vaateen käyttömukavuus. Vaatetusfysiologisia ominaisuuksia ovat lämmöneristävyys, hengittävyys (vesihöyrynläpäisevyys) ja tuulenpitävyys (ilmanläpäisevyys). Nämä ovat myös vaatetusfysiologiset perussuureet, joita voidaan mitata laboratorio-olosuhteissa erilaisin standardisoiduin menetelmin. (Risikko & Marttila-Vesalainen 2006, 9; Eberle, Hermeling, Hotnberger, Kilgus, Menzer & Ring 2007, 49; Meinander 1980, 5)

4.2 Tasalämpöisyys

Ihminen on karvaton, tehokkaasti hikoileva nisäkäs, jonka elinehtona on, että elimistö pysyy tasalämpöisenä. Tasalämpöisyys tarkoittaa käytännössä sitä, että ihmisen sisäosien lämpötila pysyy suhteellisen vakaana ympäristön lämpötilan vaihteluista huolimatta. Eri-tyisesti keskushermoston, sydämen, keuhkojen, maksan ja munuaisten lämpötilan täytyy pysyä suhteellisen vakaana, noin 37 °C. Tätä lämpötilaa kutsutaan myös ihmisen ruumiinlämmöksi, syvä- tai sisälämpötilaksi. Ihmisen ympäristöstä eristävät pintaosat eli iho ja sen alaiset kudokset ovat vaihtolämpöisiä, mikä takaa sisäelinten tasalämpöisyyden. (Ilmarinen ym. 2011, 11.)

Ihminen on ihoa 20–30 % koko ruumiin massasta, ja sen keskimääräinen lämpötila on 33–34 °C, jolloin myös ihmisen lämpötuntemus on neutraali. Ihmisen keho toimii parhaiten lämpimässä ilmastossa, jolloin sisä- ja pintaosien verenkierto on jakautunut tasaisemmin lämpimässä kuin kylmässä. Viileämmässä ilmastossa keho alkaa jäähtyä ääreisosistaan, kuten esimerkiksi varpaista ja sormista, ja lämpötilaerot eri ihoalueiden välillä voi vaihdella jopa 15 °C sen mukaan, mitä kylmemmiksi olosuhteet tulevat. (Ilmarinen ym. 2011, 11; Risikko & Marttila-Vesalainen 2006, 21.)

Ihmisen kehon osien lämpötilat vaihtelevat merkittävästi (KUVIO 4), kun tarkastellaan alastoman ihmisen ruumiin lämpötiloja huoneenlämpötilassa. Esimerkiksi rintakehän ja pääalueen lämpötila on noin 37 °C, kun taas säärien ja nilkkojen lämpötila on noin 29 °C:n ja 31 °C:n välillä. Tällöin rintakehän ja pään aluetta tulisi hyvin suojella kylmältä, koska niiden tarkoitus on pysyä lämpimänä peruselintoimintojen turvaamiseksi. (Ilmarinen ym. 2011, 12; Nienstedt, Hänninen, Arstila & Björkvist 2004, 423.)



KUVIO 4. Kehon osien keskimääräisiä lämpötiloja (Ilmarinen ym. 2011, 12.)

4.3 Lämpötasapaino

Ihmisen sisäelinten tasalämpöisyys perustuu ruumiin lämmöntuotannon ja lämmönluovutuksen tasapainoon, jolloin elimistö voi luovuttaa lämpöä samanaikaisesti yhtä paljon kuin se sitä sillä samalla hetkellä tuottaa. Tätä optimaalista tilaa kutsutaan myös lämpötasapainoksi. (Risikko & Marttila-Vesalainen 2006, 22.) Ruumiin lämmöntuotanto ja lämmönluovutus voivat vaihdella toisistaan riippumatta aika paljon ja nopeasti. Erityisesti poikkeuksellisissa lämpöoloissa, kuten kylmyydessä, lämpötasapaino ei välttämättä koskaan saavuta tasapainoa, vaikka ruumis koko ajan pyrkisi siihen. (Ilmarinen ym. 2011, 12.)

4.4 Lämmönsäätely ja lämpöviihtyvyys

Ihminen säätelee ruumiinlämpöään ympäristön lämpötilaan sopivaksi lämmönsäätelyjärjestelmän avulla. Pääasiassa ihminen pyrkii säilyttämään lämpötasapainonsa oman käyttäytymisensä avulla. Elimistön omat biologiset suojautumiskeinot ovat liian heikot ääriolosuhteissa hengissä selviytymiseen, jolloin käyttäytymisen kautta tuotetut suojautumiskeinot tulevat ensiarvoisen tärkeäksi. Tällaisia suojakeinoja ovat asennon muutokset,

lihastyön lisääminen, vaatetuksen muuntelu (avaaminen, lisääminen, vähentäminen) sekä kylmältä tai kuumalta suojaan hakeutuminen. (Ilmarinen ym. 2011, 12; Risikko & Marttila-Vesalainen 2006, 23.)

Edellä kuvailtua lämmönsäätelytoimintaa kutsutaan käyttäytymislämmönsäätelyksi, jonka seurauksena verisuonet alkavat supistua lämpimässä tai laajentua kylmässä. (Risikko & Marttila-Vesalainen 2006, 23.) Ihmisen elimistö tuottaa myös itsessään lämpöä, joka tulee sivutuotteena ravintoaineista saadun energian ja niiden hajoittamisen kautta. Lisäksi perusaineenvaihdunnan tehtävänä on tuottaa kehoon lämpöä. Aineenvaihdunnan kiihtyessä myös elimistön oma lämmöntuotanto lisääntyy tahdosta riippumatta. (Ilmarinen ym. 2011, 14.)

Kun elimistön lämmöntuotto ei ole riittävää olemassa olevan ympäristön olosuhteisiin nähden, alkaa tahdosta riippumaton lihasjännitys lisääntyä tuottaen lämpöä. Lihasjännitys muuttuu nopeasti lihasvärinäksi elimistön ollessa kovissa olosuhteissa, kuten kovassa tuulella tai kosteassa säässä. Näitä elimistön toimintoja kutsutaan lämmöntuottovasteiksi, koska ne tuottavat lisälämpöä perusaineenvaihdunnan rinnalle. (Ilmarinen ym. 2011, 14; Risikko & Marttila-Vesalainen 2006, 23; Nienstedt ym. 2004, 428–429.)

Kokonaisuudessaan ihmisen lämmönsäätely muodostuu kolmesta eri osatekijästä. Näitä osatekijöitä ovat:

- 1) lämpötilan aistiminen (iho, sisäelimet, lihakset, keskushermosto)
- 2) säätelyjärjestelmä (keskushermosto)
- 3) lämmönsäätelyvasteet (verisuonten supistuminen tai laajentuminen, hengitys, lisääntynyt lämmöntuotto, hikoilu), (Risikko & Marttila-Vesalainen 2006, 24).

Lämpöviihtyvyyden saavuttamiseksi näillä kolmella osatekijällä säädellään ympäristöön siirtyvän lämmön määrää. Erityisesti iholla on tärkeä tehtävä lämpöviihtyvyyden saavuttamisessa, sillä ihon pinnalla on lämpötilaa aistivia hermopäätteitä, joiden tehtävänä on lähettää tietoa ympäristön lämpötilasta ja sen muutoksista väliaivoissa sijaitsevaan lämmönsäätelyn tärkeimpään ohjauskeskukseen, hypotalamukseen. Hypotalamuksesta lähtee tämän jälkeen viesti kaikkialle elimistöön, jonka tehtävänä on reagoida lämpötilan muutokseen erilaisilla fysiologisilla reaktioilla, joita edellä on lueteltu. Oikeanlaisella vaatetuk-

sella voidaan lisätä lämpöiihtyvyyttä (Ilmarinen ym. 2011, 13; Nienstedt ym. 2004, 429; Risikko & Marttila-Vesalainen 2006; 24.) Lämpöiihtyvyys on hyvin pitkälle yksilöllinen kokemus. Lämpöiihtyvyys on olotila, jolloin koetaan, ettei mikään kehon osa ole epämiellyttävän viileä tai lämmin. Lämpöiihtyvyyteen vaikuttavat yksilöllisyyden lisäksi vuorokaudenaika, motivaatio ja vireystila. (Risikko & Marttila-Vesalainen 2006, 25.)

4.5 Lämmönlouutus

Ihminen tuottaa lämpöä ja pitää yllä lämpötasapainoaan tehokkaasti, kuten edellä on kerrottu. Lämpöenergia siirtyy aina kuumasta kylmään, jolloin ihmisen keho pyrkii kylmässä ilmassa pitämään lämpötilaansa yllä ja kuumassa ilmassa poistamaan liikalämpöä kehosta. 90 prosenttia vartalon tuottamasta lämmöstä poistuu iholta vaateuksen läpi ja noin 10 prosenttia hengityksen kautta. Kehosta siirtyy lämpöä ympäristöön kuivan ja kostean lämmönlouutuksen avulla. (Ilmarinen ym. 2011, 18–19; Risikko & Marttila-Vesalainen 2006, 27.)

Kuiva lämmönlouutus tapahtuu iholta säteilemällä, kuljettumalla ja johtumalla. Säteilemällä luovutettu lämpö tapahtuu aina lämpimästä kylmempään, jolloin siihen ei tarvita ilmaa tai vettä. Lämpöä säteilee suoraan iholta ilmaan, mutta jos ilman lämpötila on korkeampi kuin ihon lämpötila, iho vastaanottaa lämpösäteilyä ympäristöstään. Lämmön kuljettuminen tapahtuu, kun tyynessä ilmassa ihon pinnalle muodostunut liikkumaton ja vaateen lailla eristävä ilmakerros häviää tuulen ja ilmavirran vaikutuksesta kuljettaen mukanaan lämpöä ihon pinnalta ympäristöön. (Ilmarinen ym. 2011, 19; Nienstedt ym. 2004, 425; Risikko & Marttila-Vesalainen 2006, 27–28.)

Viimaindeksi (Windchill index eli WCI) (Taulukko 1.) kuvaa hyvin havainnollisesti sitä, miltä kylmän ilman ja tuulen yhteisvaikutus tuntuu paljaalla iholla, kuten kasvoilla. Kylmä ilma ja viima lisäävätkin merkittävästi lämmön kuljettumista kehosta pois. Erilaiset kovat ilmavirtaukset, jotka syntyvät esimerkiksi nopeilla avoimilla kulkuneuvoilla kuljettaessa, kuten moottoripyörillä tai moottorikelkoilla, lisäävät entisestään lämmön kuljettumista. Lisäksi viiman vaikutus moninkertaistuu entisestään, jos vaatteet ovat märät. (Ilmarinen ym. 2011, 20; Risikko & Marttila-Vesalainen 2006, 28.)

TAULUKKO 1. Viimaindeksi (WCI) (Ilmarinen 2011, 21.)

		mitattu ilman lämpötila, °C									
		0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45
		viimaindeksi									
tuulen nopeus, m/s	1	-1	-7	-12	-18	-23	-29	-34	-40	-45	-51
	2	-3	-8	-14	-20	-26	-32	-38	-43	-49	-55
	4	-4	-11	-17	-23	-29	-35	-41	-47	-54	-60
	6	-6	-12	-18	-25	-31	-37	-44	-50	-56	-63
	8	-7	-13	-19	-26	-32	-39	-46	-52	-58	-65
	10	-7	-14	-20	-27	-34	-40	-47	-54	-60	-67
	12	-8	-14	-21	-28	-35	-41	-48	-55	-62	-68
	14	-8	-15	-22	-29	-35	-42	-49	-56	-63	-70
	16	-9	-16	-23	-29	-36	-43	-50	-57	-64	-71
	18	-9	-16	-23	-30	-37	-44	-51	-58	-65	-72
	20	-9	-17	-24	-31	-38	-45	-52	-59	-66	-73
		erittäin kylmä			paleltumavaara			suuri paleltumavaara			

Elimistöstä johtuu lämpöä ihoa kylmempiin pintoihin kosketettaessa niitä, ja elimistöön johtuu lämpöä takaisin kosketettaessa ihoa lämpimämpää pintaa. Karkeasti voidaan sanoa, että lämpöä johtuu niin kauan ihon ja pinnan välillä, kunnes molemmat ovat saman lämpöisiä. Mitä enemmän pintojen välillä on lämpötilaeroa, sitä epämiellyttävämmältä se tuntuu. Veden lämmönjohtokyky on 20–25 kertaa suurempi kuin ilman, mikä tarkoittaa sitä, että vedessä tai märillä vaatteilla kehon lämmönhukka on huomattavasti nopeampaa kuin ilmassa tai kuivilla vaatteilla. (Risikko & Marttila-Vesalainen 2006, 29.)

Kosteassa lämmönluovutuksessa ihmisen iholta haihtuu vettä jatkuvasti hikoilun eli evaporaation kautta. Veden muuttuminen nestemäisestä kaasumaiseen muotoon höyrystymällä vapauttaa paljon lämpöä mukansa, jolloin se myös jäädyttää kehoa tehokkaasti. (Antikainen, Hurme, Ilmarinen, Mäkinen & Tammela 1996, 32–33). Höyrystyminen on tehokkaampaa kuivalla kuin kostealla säällä, mutta sen tehokkuuteen vaikuttavat myös ilman liike ja ympäröivän ilman vesihöyryn osapaine. Kuumuus, kosteus ja liikkumaton ilma hidastavat hien höyrystymistä iholta. Hengitysilman kosteuden mukana keho haihduttaa myös pienen määrän lämpöä. (Risikko & Marttila-Vesalainen 2006, 29.)

4.6 Kylmän vaikutukset toimintakykyyn

Kylmä vaikuttaa kehon toimintakykyyn alentavasti, ja sen vaikutukset ovat erilaisia sen mukaan, mihin osiin ja missä määrin jäähtyminen tapahtuu. Lievässä kylmäaltistuksessa lähinnä käsien toimintakyky heikkenee, mutta se vaikuttaa vähäisesti älyllisiin toimintoihin. Kohtalaisessa kylmäaltistuksessa edellisen lisäksi ääreisosien, kuten käsien ja jalkojen lihasvoima sekä älyllinen toimintakyky heikkenevät. Voimakkaassa kylmäaltistuksessa toimintakyky heikkenee kehossa kokonaisvaltaisesti aiheuttaen lisäksi yleisesti hengitystieoireita, lihasten revähdyksiä ja paleltumia. Vakavampia seurauksia ovat alilämpöisyys ja hypotermia. (Työterveyslaitos 2012d.)

4.7 Lämmöneristävyys

Tyynessä paikallaan olevan ihmisen ihon ympärille muodostuu liikkumaton eristävä ilmakerros, joka poistuu ilman tai liikkeen vaikutuksen takia. Vaatetuksen lämmöneristävyyttä tarkasteltaessa pyritään saamaan aikaan ihon ja vaatteiden väliin mikroilmasto, joka on juuri kuivaa, liikkumatonta ilmaa. Ilma itsessään on huono lämmönjohdin, mutta tekstiilikuidut johtavat lämpöä paremmin, jolloin ilmaa pyritään saamaan kuitujen, lankojen, kankaan, eri vaatekerrosten sekä vaatteiden ja ihon väliin. Lämmöneristävyydellä siis toisin sanoen tarkoitetaan vaatetuksen kykyä vähentää lämmön siirtymistä ihmisestä ympäristöön tietyn lämpötilaeron vallitessa vaatteiden sisäisen ja ulkoisen ilman välillä. (Ilmarinen ym. 2011, 102.; Meinander 1980, 14; Risikko & Marttila-Vesalainen 2006, 32, 37.)

Vaatetuksen lämmöneristävyuden mittaamisen yksiköksi I_{cl} on yleistynyt Clo-arvo, jonka arvo on suhteessa ihmisen paljaaseen kokonaispinta-alaan. Arvo suurenee, kun vaatteiden paksuus kasvaa, paino lisääntyy, ja vaatteiden peittämän ihon pinta-ala lisääntyy. Clo-arvo voidaan esittää SI-järjestelmän mukaisena yksikkönä käyttäen yksikköä $m^2 K/W$, jolloin $1 \text{ Clo} = 0,155 \text{ m}^2 K/W$, jossa

m^2 = pinta-ala

K/W = lämpövastuksen yksikkö lämpötila (Kelvin) per watti

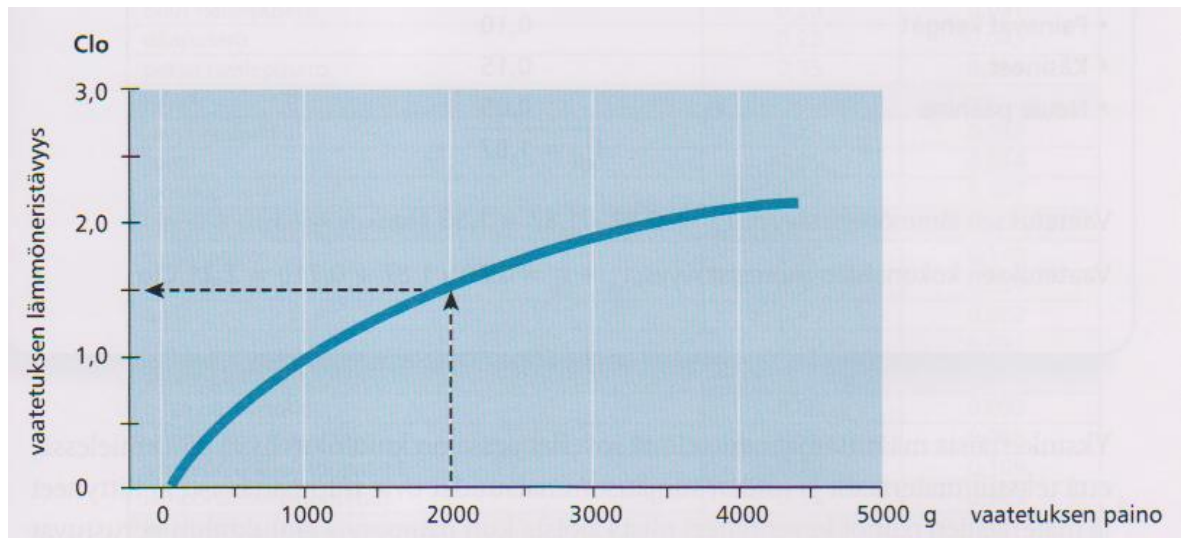
Yhden Clo arvo on määritelty kokemusperäisesti niin, että pukeutunut kevyttä istumatyötä tekevä ihminen tuntee lämpöiihtyvyyttä normaalissa huoneenlämpötilassa (n. 21 °C, ilman suhteellinen kosteus 50 % ja ilman virtaus 0,1 m/s). (Ilmarinen ym. 2011, 104; Risikko & Marttila-Vesalainen 2006, 38.)

Vaatetuksen Clo-arvo voidaan määrittää taulukoiden ja kaavojen avulla, vaatetuksen painon perusteella sekä mittaamalla ihmisellä tai lämpönukella (Ilmarinen ym. 2011, 106). Yksinkertaisin tapa on laskea yhteen standardin ISO 9920 taulukoihin määriteltyjä eri vaatekappaleiden lämmöneristävyysarvoja. Tässä tapauksessa on kuitenkin muistettava huomioida, että puetut vaatekerrokset ovat käyttäjän päällä limittäin ja päällekkäin sekä ne painavat osittain toisiaan kasaan. Standardissa ISO 9920 löytyy taulukko myös vaatekokonaisuuksien lämmöneristävyyksistä ja sitä voi olla helpompi käyttää määrittämisessä. (Risikko & Marttila-Vesalainen 2006, 39.) Taulukosta 2 löytyy yleisimpien vaatekokonaisuuksien lämmöneristävyysarvoja.

TAULUKKO 2. Vaatetuskokonaisuuksien lämmöneristävyksiä (Risikko & Marttila-Vesalainen 2006, 40.)

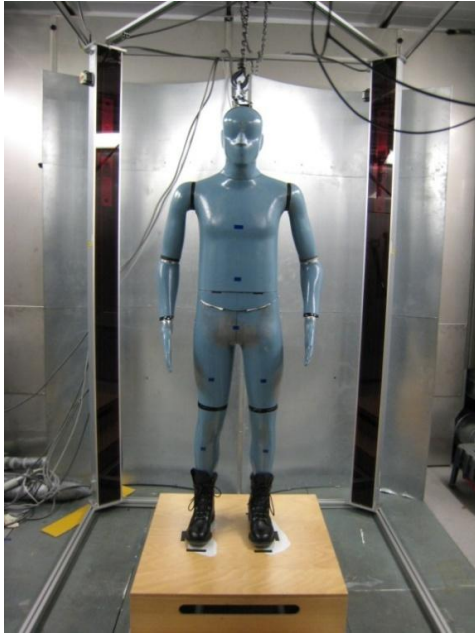
Vaatetuskokonaisuus	m ² K/W	clo
Alusvaatteet, paita, housut, sukat, kengät	0,090–0,120	0,6–0,8
Alusvaatteet, paita, housut, bleiseri tai ohut neulepusero, sukat, kengät	0,155	1,0
Alusvaatteet, paita, bleiseri tai ohut neulepusero, ohut takki, käsineet, sukat, kengät	0,230–0,280	1,5–1,8
Alusvaatteet, sukkahousut, paita, neulepusero, farkut, talvitakki, pipo, lapaset, sukat, talvisaappaat	0,30–0,360	2,0–2,3
Pitkät alusvaatteet, villapusero tai fleecepusero, välihousut, kuoripuku, pipo, käsineet, paksut sukat, talvikengät	0,300–0,370	1,9–2,3
Pitkät alusvaatteet, välivaatteet, toppapuku, kauluri, talvilakki, paksut kintaat, ohuet ja paksut sukat, lämminvuoriset kengät	0,390–0,470	2,5–3
Arktinen kylmänsuojavaatetus: Pitkät alusvaatteet, tekoturkivälivaatteet, paksut, esim. untuvatäytteiset housut ja takki, kommandopipo, talvilakki, ohuet käsineet, paksut kintaat ohuet ja paksut sukat, pohjalliset, lämminvuoriset kengät	0,540–0,60	3,5–4,0
Makuupussit	0,470–1,20	3,0–8,0

Vaatetuksen painon perusteella määritelty Clo-arvo on selkein tapa määrittää lämmöneristävyys, koska tarvitaan vain vaatetuksen kokonaispaino ilman kenkiä (Ilmarinen ym. 2011, 105). Kuvio 5 kuvaa hyvin, kuinka lämmöneristävyys kasvaa nousevasti, kun vaatetuksen paino kasvaa.



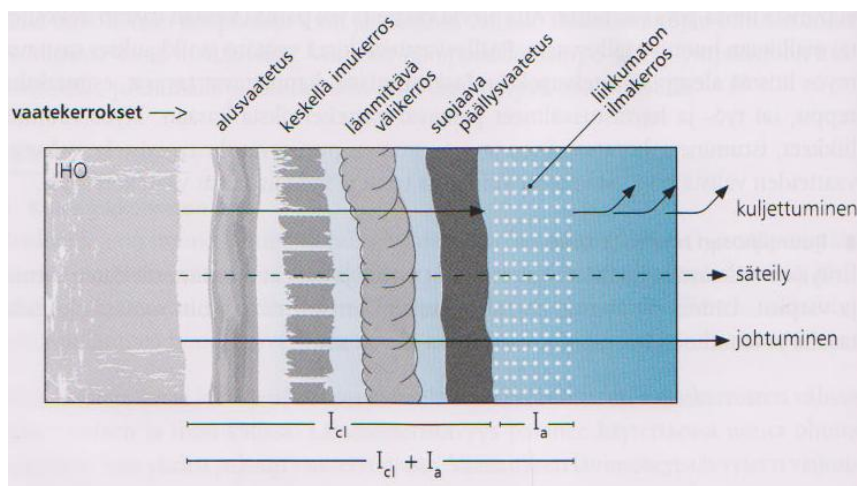
KUVIO 5. Lämmöneristävyuden määrittäminen vaatetuksen painon mukaan (Ilmarinen ym. 2011, 105.)

Taulukkoarvoja luotettavampi tapa mitata lämmöneristävyyttä on käyttää vakiokoeolosuhteissa standardin ISO 15831 mukaista lämpönukkea (KUVIO 6), jolle on puettu standardin SFS-EN 342 mukainen referenssivaatetus. Referenssivaatetukseen kuuluu yksi- tai kaksiosainen päällysvaatetus, alus- ja välivaatetus sekä käsineet, päähine, sukat ja kengät. Nukkeen pintalämpötila pidetään tietokoneohjatun lämmönsyötön avulla vakiona (32–35 °C), jolloin ympäristön ja ihon välinen lämpötilaero tiedetään. Ilman nopeus on vakio 0,3–0,5 m/s. Näissä olosuhteista lämpötilaerosta ja pinnan lämmittämiseen kuluvasta tehosta voidaan laskea vaatteiden lämmöneristävyys. (Risikko & Marttila-Vesalainen 2006, 40, 47.)



KUVIO 6. Oulun aluetyöterveyslaitoksen FANTOM-lämpönukke (Jussila 2011.)

Vaatetuksen kokonaislämmöneristävyyttä laskettaessa tulee ottaa huomioon, että kehoa ympäröi liikkumaton ilmakerros eli rajavyöhyke, jossa lämmön siirtymistä kuljettamalla ei tapahdu. Pelkkä vaatetuksen lämmöneristävyys ei sisällä tätä vaatetuksen pinnalla olevaa rajavyöhykkeen lämmöneristävyyttä I_a . Paksu rajavyöhyke on tyynessä ilmassa 4–8 mm, mutta se ohentuu ympäröivän ilman liikkeen kasvaessa. Rajavyöhykkeen ohentuessa kokonaislämmöneristävyydenkin laskee. Kokonaislämmöneristävyys koostuu siis yhtälöstä $I_{cl} + I_a$ (KUVIO 7). (Ilmarinen ym. 2011, 104.)



KUVIO 7. Vaatetuksen kokonaislämmöneristävyyden muodostuminen (Ilmarinen ym. 2011, 104.)

Lämmöneristävyttä laskevat liike, kosteus ja tuuli. Erityisesti vaatteiden kastuessa ulkoisesta kosteudesta tai ihmisestä tulevasta kosteudesta vaatteiden lämmöneristävyys laskee, koska veden lämmönjohtavuus on ilmaa suurempi ja vesi korvaa kuitujen välissä olevan ilman. Tällöin vaate painuu kokoon ja sen ilmakerrokset ohenevat. Vaatteen lämmöneristävyys on enää puolet kuivan vaatteen lämmöneristävyydestä, kun vaatteen kosteuspitoisuus on noin 15 %. (Ilmarinen ym. 2011, 103.)

Liike ja tuuli vaikuttavat vaatteen sisällä tapahtuvaan ilmanvaihtoon. Vaatteissa on aina aukkoja, joiden kautta lämmin ilma poistuu ja korvautuu viileämmällä ilmalla. Tätä ilmiötä kutsutaan hormiefektiksi. Ihmisen liike saa vaatteen sisällä olevan lämpimän ilman kiertämään ja kuljettamaan pois iholta lisäten lämmönluovutusta, jolloin tätä kutsutaan pump-pausefektiksi. Nämä ilmiöt vaikuttavat merkittävästi vaatetuksen lämmöneristävyys. (Risikko & Marttila-Vesalainen 2006, 46.; Meinander 2010.)

4.8 Hengittävyys

Ihmisen iholta haihtuu vettä hikenä, jolloin vaatetukselta vaaditaan kosteuden siirtymiseen vaikuttavia ominaisuuksia lämpötasapainon säilyttämiseksi. Kosteus siirtyy aina kosteammasta kuivempaan, jolloin vaatteen sisällä oleva hien muodostaman vesihöyryn osapaine on suurempi kuin vaatteen ulkopuolella (Risikko & Marttila-Vesalainen 2006, 53). Kosteuden siirtymiseen vaikuttavat vaatetuksen paksuus, tekstiilien rakenne sekä tekstiilikuitujen kemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet. Tällöin jokaisen puettun vaatekerroksen rakenne vaikuttaa kosteuden siirtymiseen (Ilmarinen ym. 2011, 109.)

Hikoilukosteus on osittain nestemäisessä, osittain höyrymäisessä muodossa, kun se siirtyy iholta vaatekerrosten läpi ilmaan. Kosteus siirtyy tehokkaammin synteettisissä kuiduissa, koska ne eivät ime kosteutta ja ovat huomattavasti ohuempia kuin luonnonkuidut. Kosteus siirtyy seuraavanlaisten tapahtumien avulla:

- Kosteus kuljettuu tekstiilimateriaalin aukoista, jolloin kuljettumisen tehokkuuteen vaikuttavat ihon ja ympäristön väliset lämpötila- ja höyrypaine-erot, kankaan rakenteen aukkojen koko ja kankaan paksuus. Ohut ja harva kangas siis kuljettaa kosteutta tehokkaammin.

- Kosteus imeytyy kuituun (lähinnä luonnonkuidut), jolloin vapautuu lämpöä. Kosteuden haihtuminen kuidusta ympäristöön taas sitoo lämpöä.
- Kosteus kulkeutuu kuidun pintaa pitkin kapillaarikuljetuksena lämpimämmistä ja kosteista vaatteista viileään ja kuivaan ulkoilmaan. (Antikainen ym. 1996, 93; Ilmarinen ym. 2011, 109–110; Risikko & Marttila-Vesalainen 2006, 53; Meinander 1980,16–17.)

Nestemäisen kosteuden siirtymiseen vaikuttaa edellä mainittujen tapahtumien lisäksi kankaan vedenimukyky ja kankaiden kuivumisnopeus (Risikko & Marttila-Vesalainen 2006, 55). Synteettisistä kuiduista valmistetut asut kuivuvat nopeammin, koska kosteus ei sitoudu kuituun vaan kuitujen väliin päästäen kosteuden läpi (Eberle ym. 2007, 46).

Kankaan hengittävyttä mitataan vesihöyrynläpäisyvastuksena ja vesihöyrynläpäisevyytenä. Vesihöyrynläpäisyvastus R_{et} on kankaan tai kangaskerrostien aiheuttama vastus vesihöyrynläpäimelle. Mitä pienempi on vesihöyrynläpäisyvastus, sitä parempi on kankaan hengittävyys. Vastusarvo mitataan yleensä hikoilevalla tekoiholla, ja se ilmaistaan m^2Pa/W SI-järjestelmän yksikössä, jolloin arvojen ollessa lähellä nollaa materiaalit ovat vesihöyryä hyvin läpäiseviä, kun taas täysin läpäisemättömien materiaalien arvot ovat lähes äärettömiä. (Ilmarinen ym. 2011, 110; Risikko & Marttila-Vesalainen 2006, 54–55.)

Kankaan vesihöyrynläpäisevyys kertoo vesihöyrynläpäisevyyden pinta-alayksikköä kohden vuorokaudessa, jolloin sen yksikkö on $g/m^2 \times 24h$. Vesihöyrynläpäisevyyttä mitataan yleensä useilla erilaisilla kuppimenetelmillä, joiden tulokset eivät ole verrattavissa keskenään. Kuppimenetelmän yksinkertainen ajatus on haihduttaa vettä näytteen läpi vakiooloissa ilman erillistä lämmitystä. (Ilmarinen ym. 2011, 111; Risikko & Marttila-Vesalainen 2006, 55.)

4.9 Tuulenpitävyys

Tuuli alentaa vaatetuksen lämmöneristävyttä painaen sitä kasaan, jolloin eristävä ilmakerros vaatteiden sisällä ohenee. Tällöin myös sen suojausominaisuudet kylmää ilmaa vastaan huononevat. Vaatetuksen ilmanläpäisevyyteen vaikuttavat kankaan rakenne, tiiviys, kankaan paksuus, viimeistykset sekä erilaiset laminoinnit ja sivelyt. Laminoitujen ja sivellyt

kankaat ovat ilmaa läpäisemättömiä. Yleisin markkinoilta löytyvä tuulenpitävä, mutta hengittävä vuorimateriaali on Windstopper. Se laminoidaan tekstiilimateriaaleihin, jolloin esimerkiksi tavallinen neulekangas muuttuu tuultapitäväksi tällä käsittelyllä. Kankaan ilmanläpäisevyys mitataan imemällä sen läpi ilmaa vakiopaineella, jolloin saadaan arvo, jolla voidaan kuvata kankaan kykyä suojata tuulelta. (Ilmarinen ym. 2011, 111–112; Risko & Marttila-Vesalainen 2006, 71–72.)

5 KERROSPUKEUTUMINEN

Oikeanlaisen vaatetuksen avulla voidaan vähentää elimistön tuottaman lämmön siirtymistä ympäristöön, jolloin on tärkeää, että vaatetus on suunniteltu oikein tulevan käyttötarkoituksen mukaan. Kerrospukeutuminen on toimivin ratkaisu kylmältä suojaavaan vaatetukseen, jolloin vaatetuksen eri kerroksilla on omat tehtävänsä. (Ilmarinen ym. 2011, 115.) Kylmällä tarkoitetaan alle $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ asteen pakkasen, tuulen ja kosteuden yhdistelmää. (Työterveyslaitos 2012e).

Standardissa SFS EN 342 kuvataan kylmänsuojavaatteeksi vaatetta, jota käytetään sellaisissa olosuhteissa, joissa kehon jäähtymiselle on olemassa riski. Kylmänsuojavaatteen lämmöneristävyyden tulee olla vähintään $0,310\text{ m}^2\text{K/W}$ (2 clo) tämän standardin mukaan ja se on tämän kaltaisen vaatetuksen tärkein ominaisuus. (Risikko & Marttila-Vesalainen 2006, 47). Kylmän ilman vaatetuksen lämmöneristävyyden olisi hyvä olla $0,295\text{--}0,465\text{ m}^2\text{K/W}$ (1,9–3,0 clo) välillä ja paksumman pakkasvaatetuksen $0,545\text{--}0,620\text{ m}^2\text{K/W}$ (3,5–4,0 clo) (Ilmarinen ym. 2011, 108). Aiemmin esitetty kuvio 7. kertoo myös hyvin havainnollisesti kerrospukeutumisen toimintatavan kokonaislämmöneristävyyden muodostumisessa.

5.1 Mallin ja koon vaikutus

Tärkeintä kylmänsuojavaatetuksessa on, että siinä on käyttäjälleen sopivasti väljyyttä. Oikean koon valinnalla on tällöin suuri merkitys, sillä liian iso vaate saa aikaan hormi- ja pumppausefektin tehostumaan, jolloin vaatetuksen sisällä oleva ilma pääsee liikkumaan liiaksi sen sisällä ja ulos sieltä ja lämmöneristävyys alenee. (Risikko & Marttila-Vesalainen 2006, 46.) Käyttäjälleen liian pienen tai väärän mallisen vaatetuksen aiheuttama paine taas puristaa vaatetuksen ilmakerroksia kasaan. Oikeanlaisella leikkauksella saadaan aikaan hyvä istuvuus vaatteelle, jolloin vaatetus ei purista liiaksi. Puristava vaatetus alentaa lämmöneristävyyttä sekä vaikeuttaa hien haihtumista ja lämmön kuljettumista pois vaatetuksesta. (Ilmarinen ym. 2011, 103.; Meinander 1980, 17–18.)

Tärkeintä on valita oikeankokoinen päällysvaate, mutta myös alus- ja välivaatetuksen koolla on merkitystä käyttömukavuuden ja istuvuuden kannalta. Lisäksi valintaa tehdessä on otettava huomioon, millaiseen tarkoitukseen kylmänsuojavaate tulee. Käyttötarkoituksen mukaan on huomioitava vartalon liikkeet, kuten istuminen, konttaaminen tai ryömiminen, koska liikkeet painavat ilmakerroksia kasaan. Esimerkiksi ulkoiluvaatteen tulee olla sellainen, että se antaa käyttäjän liikkua vapaasti, mutta on samalla hänelle sopivan muotoinen ilman erityisiä vaatimuksia. Työ- tai vaellusvaatetuksen taas tulee ottaa huomioon vaativat olosuhteet, koska ulkona ollaan pitkiä aikoja päivästä. (Ilmarinen ym. 2011, 103.)

5.2 Alusvaate

Alimman eli ihoa lähinnä olevan vaatekerroksen tehtävänä on pitää iho kuivana siirtäen hikoilusta aiheutuvaa kosteutta pois ulompiin vaatekerroksiin. Alusvaatetuksen tulee olla ihon myötäinen, mutta ei liian tiukka. Liian väljä alusvaate taas on kylmä, koska ilmakerrokset liikkuvat iholla hidastaen kosteuden siirtymistä. Alusvaate valitaan käytön mukaan yleis-, hiki- ja lämpöasuihin. Yleisasut sopivat kaikenlaiseen käyttöön, hikiasut siirtävät yleisasua tehokkaammin kosteutta ja lämpöä pois iholta, ja lämpöasu siirtävät tasaisesti kosteutta ja lämpöä kylmälläkin säällä, jolloin ne sopivat myös väliasuiksi. (Ilmarinen ym. 2011, 115.)

Alusvaatetuksen materiaalina puuvilla ja viskoosi ovat huono valinta, koska ne imevät kosteuden itseensä tuntuen epämiellyttäviltä ja kylmiltä. Ne sopivatkin vain lähinnä kevyeen liikuntaan, jossa hien tuotanto on vähäistä. (Ilmarinen ym. 2011, 116.) Villa on ihanteellinen materiaali hygroskooppisuudensa vuoksi, koska se pystyy imemään itseensä jopa 35 prosenttia kosteutta tuntumatta kuitenkaan märältä sekä neulottuna rakenteena se sisältää paljon ilmaa, jolloin sen lämmöneristävyys on hyvä. Kastuessaan siinä tapahtuu erilaisia kemiallisia reaktioita, jotka vapauttavat lämpöä saaden kuidun tuntumaan lämpimältä iholla. (Eberle ym. 2007, 20; Boncamper 2004, 168–169.) Silkki on myös ihanteellinen materiaali, koska se tuntuu kuivalta kastuessaan ja hienoutensa vuoksi se sitoo kuitupintaansa runsaasti ilmaa. Silkkivilla on sekoitemateriaali, jossa silkin ja villan hyvät ominaisuudet saadaan tuotua alusvaatetukseen. (Boncamper 2004, 203, 205; Eberle ym. 2007,25.) Näistä materiaaleista valmistettua alusvaatetusta voidaan käyttää kylmässä, kun hikoillaan ja toiminnan taso vaihtelee (Ilmarinen ym. 2011,116).

Tekokuiduista polyesteri ja polypropeeni ovat yleisimmin alusasuihin käytettyjä materiaaleja, koska ne imevät äärimmäisen vähän kosteutta (Boncamper 2004, 282–283; Ilmarinen ym. 2011, 117; Markula 1999, 126–127). Ne eivät ime itseensä kosteutta vaan siirtävät kosteuden tekstiilimateriaalin aukoista läpi ulompiin vaatekerroksiin tapahtuvan kapilaari-ilmiön avulla. Ne ovat kevyitä pitää, kestäviä, nopeasti kuivuvia, mutta sähköistyvät helposti. Tekokuiduista valmistettuja asuja on pestävä useammin, koska niistä muodostuvaa hajuhaittaa syntyy helpommin. Tätä ilmiötä estämään on kuitenkin kehitetty myös antibakteerisia viimeistyksiä tai kuitujen sekaan on lisätty hopeaa hajuhaittojen vähentämiseksi. Tekokuituiset alusasut sopivat parhaiten raskaaseen työn tekoon tai kovaan urheilusuoritukseen. (Ilmarinen ym. 2011, 117; Eberle ym. 2007, 38–39, 41.)

Alusvaatekerroksena voi myös käyttää kaksikerrosmateriaalista valmistettua kangasta, jossa ihoa lähimpänä oleva pinta on polyesteristä tai polypropeenista. Päällyspuoli on villaa tai puuvillaa. Tämän kaltaista asua voidaan käyttää tilanteissa, jossa ei tarvita suurta lämmöneristävyyttä eikä välikerrosvaatetusta. (Ilmarinen ym. 2011, 117.)

Harvasidoksisesta kankaasta valmistettu asu on ihoa vasten lämmin, koska kosteus siirtyy helpommin siitä läpi seuraaviin, tiiviimpiin vaatekerroksiin, mutta ihoa parhaiten pitää kuivana verkkoneuloksesta valmistettu asu. Tiiviskankaisen alusasun materiaali tulee olla taasen ohutta, esimerkiksi mikrokuituista polyesteriä. Alimman vaatekerroksen on tunnettava mukavalta päällä, jolloin siitä ei tulisi löytyä hankaavia, paksuja tai karkeita saumoja sellaisista kohdista, joihin kohdistuu painetta tai hankausta. Korkea vyötärö housuissa, tarpeeksi pitkät hihat ja lahkeet sekä pidennetty helma suojaavat kylmälle herkkiä osia varjossa. Myös korkeat vetoketjulliset kaulukset ovat hyviä suoja kaulalle, mutta kaulan voi suojata erillisellä kaulurilla. (Ilmarinen ym. 2011, 117.)

5.3 Välivaatetus

Välivaatetuksen pääasiallinen tarkoitus on toimia eristeenä alimman ja päällimmäisen vaatekerroksen välillä säädellen lämmöneristävyyttä sekä imeä kosteutta alusvaatekerroksesta siirtäen sitä ulompiin kerroksiin (Risikko & Marttila-Vesalainen 2006, 32–33). Välivaatekerroksen paksuus ja määrä riippuvat säästä sekä fyysisestä aktiivisuudesta. Kylmissä oloissa kerroksia voi olla useampia, kun taas leudossa ilmassa riittää yksi kerros. Lisäksi

fyysinen aktiivisuus määrää kerroksen tai kerrosten paksuuden. Raskaammissa urheilusuorituksissa välivaatekerroksia voi olla monta, mutta niiden ei tarvitse olla paksuista materiaaleista valmistettuja, kun taas hidastempoisessa ulkoilussa paksummista materiaaleista valmistetut vaatteet käyvät paremmin. Välivaatekerros voi olla erillinen puettava kerros tai puettava ja päällysvaatetuksessa oleva vuorikerros tai vain päällysvaateen vuorikerros. (Ilmarinen ym. 2011, 117.)

Kuitupinta-alan tulisi olla mahdollisimman suuri painoonsa nähden sekä tekstiilirakenteen kimmoisa, jolloin kuitujen väliin jää paljon eristävää ilmatilaa ja kokoonpuristumista ei juuri tapahdu (Meinander 1980, 15.; Risikko & Marttila-Vesalainen 2006, 32). Paksut ja ilmavat materiaalit ovat lämmöneristävyyden kannalta hyviä. Tällaisia materiaaleja ovat vanut, fleece, villaneulos, tekoturkis, turkis, untuva, ja tikkikangas. (Risikko & Marttila-Vesalainen 2006, 32.)

Tekokuiduista valmistetut vanut ja kankaat ovat ilmavia ja kevyitä. Ontto- ja mikrokuiduista valmistettuihin tekokuituihin saadaan paljon kuitupinta-alaa, jolloin ilmaa sitoutuu kuitujen väliin enemmän. Tekokuituisen tekstiilirakenteen pinta on kimmoinen, jolloin eristävät ilmakerrokset eivät painu kasaan. Lisäksi kiharretuilla tekokuiduilla saadaan ennestään lisättyä kuitupinta-alaa, ja täten pinnasta tulee pörröinen tai nukkamainen, jolloin se lisää lämmön tuntua. Tekokuituvanuja on monenlaisia tarvittavan lämmöneristyksen, mukaan ja ne yleensä kiinnitetään kylmänsuojapuvun vuorikankaaseen eristekerrokseksi sekä tukimateriaaliksi. (Risikko & Marttila-Vesalainen 2006, 32, 34–36.)

Fleece on yleisimmin käytetty välivaatekerroksen materiaali. Se on ohuesta polyesteri-, puuvilla-, polyamidi- tai polyakrylylineuloksesta valmistettu nukattu neulos, ja se tuntuu päällä miellyttävältä, kevyeltä ja flanellimaiselta. Fleecellä on hyvä lämmöneristävyyssyky keveyteensä nähden sekä hyvät kosteudensiirto-ominaisuudet, jolloin se kuivuu nopeasti eikä juuri kastu. Fleece ei pidä tuulta, jolloin siihen voidaan laminoida tuulta pitävä esimerkiksi Windstopper-kalvo. Siitä saadaan myös vedenpitävä, kun sen pinnalle laminoidaan vettä hylkivä kalvo. Tällöin sitä voidaan käyttää päällysvaateen tavoin. (Ilmarinen ym. 2011, 118; Risikko & Marttila-Vesalainen 2006, 35; Tikkanen 1998, 14.)

Myös villaa käytetään välivaatetuksen materiaalina joko yksin tai yhdistettynä jonkin tekokuidun, kuten polyesterin, polyamidin tai akryylin kanssa, jolloin saadaan kulutuskestä-

vyyttä parannettua (Eberle ym. 2007, 43). Villa on luonnostaan kimmoisaa, kiharaa ja pörröistä, jolloin siihen pystyy sitoutumaan paljon liikkumatonta eristävää ilmaa. (Boncamper 2004, 168–169; Ilmarinen ym. 2011, 118; Risikko & Marttila-Vesalainen 2006, 34.)

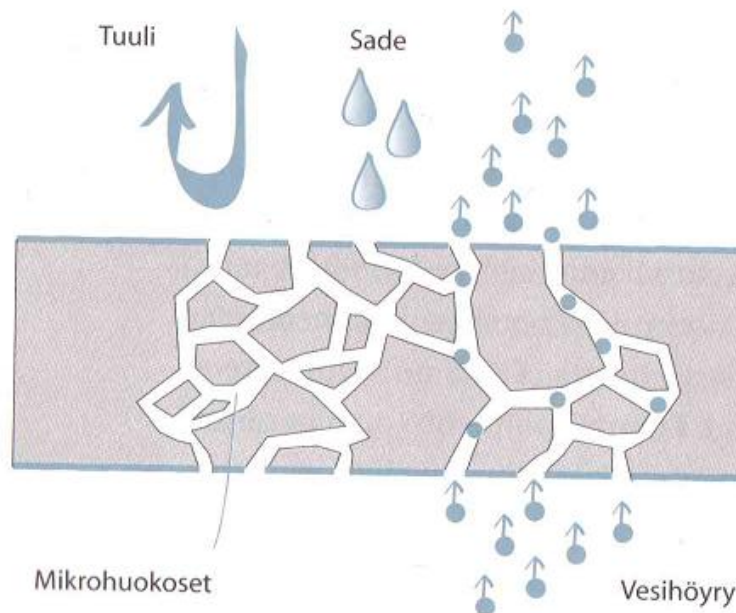
Untuvan lämmöneristävyys on korkea suhteessa sen painoon. Se on kevyt, pöyheä ja kuivana todella lämmin. Kastuessaan se litistyy, jolloin se tuntuu kylmältä, ja se kuivuu hitaasti. Sitä käytetään kylmänsuojavaatteen eristekerroksena vuorissa. Myös turkis ja teko-turkis ovat myös tehokkaita lämmöneristäjiä. Eläimen turkeissa on päällyskarva ja eristävä pohjavilla, jolloin näiden kahden kerroksen väliin sitoutuu ilmaa. Lisäksi yksittäisten karvojen ydin on ontto, mikä lisää ennestään lämmöneristävyyttä. (Risikko & Marttila-Vesalainen 2006, 34; Boncamper 2004, 191–192.) Tekoturkikset suojaavat myös hyvin kylmältä, kuivuvat nopeasti ja ovat kevyitä (Ilmarinen ym. 2011, 118).

5.4 Päällysvaatetus

Pääasiallinen tehtävä päällysvaatetuksella on suojata käyttäjäänsä tuulelta, kosteudelta, sateelta ja lumelta. Materiaalin tulee olla tarpeeksi kestävä ja sopivaa, ja tarvittaessa sen on lisättävä käyttäjänsä näkyvyyttä käyttötarkoituksen mukaan. Päällysvaatetuksen tulee myös poistaa höyrystynyt hiki materiaalin läpi tai tuuletusaukkojen kautta, mutta sen tulee myös samaan aikaan suojata ulkoiselta kosteudelta ja tuulelta. (Ilmarinen ym. 2011, 119.)

Kylmänsuojavaatetuksen käyttömukavuutta ja sen kylmältä, kosteudelta ja tuulelta suojaavia ominaisuuksia voidaan parantaa oikeanlaisten materiaalien, mutta ennen kaikkea hyvin suunniteltujen malliratkaisuiden ja yksityiskohtien avulla. Ilmanvaihtoa voidaan lisätä sekä veden pääsyä vaatteeseen sisään voidaan vähentää suljettavilla ja säädettävillä hihan- ja lahkeensuilla, kauluksella, helmalla ja hupulla. Ylimääräisen lämmön ja hikoilun poistamiseksi vaatetuksesta tulisi löytyä ulkoisia ilmavirtoja hyödyntäviä tuuletusaukkoja, koska kylmässä ylimääräinen kosteus vaatteeseen sisältä ei siirry kankaiden läpi ympäristöön. (Risikko & Marttila-Vesalainen 2006, 73.) Kalvomaisella teipillä teipatuilla saumoilla pyritään takamaan päällysvaateen vedenhylkivyyden, koska ommeltaessa pinnoitettuun kankaaseen tulee aina reikiä (Tikkanen 1998, 11).

Kylmänsuoja- ja vaateetetuksessa päällysvaateetetuksen päällimmäinen kangaskerros on kosteutta hylkivää ja mahdollisesti myös vesitiivistä kangasta, joka suojaa myös tuulelta. Päällysvaateetuksesta löytyy myös vuorikerros, jonka ominaisuuksista on kerrottu väli- ja vaateetusta käsittelevässä luvussa 5.3. Hydrofobiset kankaat on valmistettu erilaisilla menetelmillä. Hyvin tiiviiksi kudotut kankaat suojaavat tuulta vastaan ja hetkellisesti myös sadetta vastaan. Niiden materiaali on yleensä puuvillaa, koska puuvillan kastuessa sen kuidut turpoavat ja lan-kojen välit tiivistyvät estäen veden pääsyn kankaan läpi. Polyesteri- ja polyamidimikro- kuiduista tehdään myös tiiviitä vettä hylkiviä kankaita. Mikro- kuiduista valmistetun kan- kaan kuitujen välissä on mikroskooppisen pieniä rakoja, jolloin vesipisara ei mahdu kul- kemaan niistä läpi, mutta hikoilusta aiheutuva kosteus mahtuu kulkeutumaan niiden kautta pois (KUVIO 8). (Ilmarinen ym. 2011, 119–120; Risikko & Marttila-Vesalainen 2006, 58.)



KUVIO 8. Mikrohuokoisen materiaalin toimintatapa (Risikko & Marttila-Vesalainen 2006, 60.)

Kangas on voitu saada vettä hylkiväksi myös pelkän viimeistelyn avulla, jolloin kankaan pintajännitys on muuttunut ja vesipisara vain helmeilee pintaa pitkin pois imeytymättä siihen (Ilmarinen ym. 2011, 120; Risikko & Vesalainen 2006, 58).

Vesitiiviit kankaat ovat laminoituja tai jollakin kalvolla pinnoitettuja. Ne suojaavat täysin tuulelta. Mikrohuokoisella kalvolla laminoidussa kankaassa muovikalvo ja kangas yhdis-

tetään liimaamalla. Tavallisesti tämän tyyppinen kalvo laminoidaan päällyskankaan sisäpuolelle ja se suojataan esimerkiksi verkkovuorilla, mutta se voi olla myös laminoitu kahden kangaskerroksen väliin tai olla täysin irrallaan päällyskankaan ja sisävuorin välissä. Tämän tyyppisessä kankaassa hyvin ohut polymeerikalvo on venytetty niin, että siihen on syntynyt mikroskooppisia repeämiä, jotka ovat noin vesihöyrymolekyylin kokoisia reikiä. Tällöin kangas hengittää muttei päästä vesipisaroita lävitse. Tunnetuin ja monikäyttöisin tällainen kangas on Gore-Tex, joka on valmistettu polytetrafluorietyleenistä (PFTE, eli Teflon). (Risikko & Marttila-Vesalainen 2006, 59–60; Tikkanen 1998, 9–10.)

Pinnoitetut kankaat ovat jollakin hydrofiilisellä kalvolla siveltyjä, jolloin hengittävyys perustuu kalvon kemialliseen rakenteeseen eikä huokoisuuteen ja ne ovat täysin tuulen pitäviä. Tällaisessa kankaassa vesimolekyylit kulkeutuu hydrofobisen materiaalin läpi ulospäin hydrofiilisten molekyylien kuljettamana, ja poistuu vesihöyrynä päästyään materiaalin pinnalle. Tällainen hydrofiilinen kalvo on mm. Sympatex. (Risikko & Vesalainen 2006, 61; Tikkanen 1998, 10.)

Täysin vedeltä ja tuulelta suojaava muovipinnoitettu PVC-kangas on paljolti käytetty sadeasuissa. Tämän tyyppinen kangas ei hengitä, jolloin se pitää täysin tuulta. Tällaisesta kankaasta valmistetussa sadeasussa on kuitenkin tukala olla pitemmän päälle, jolloin se ei sovellu järkevästi toteutettuun kylmänsuojavaatetukseen. (Ilmarinen ym. 2011, 120; Risikko & Marttila-Vesalainen 2006, 58, 62.)

5.5 Kehon ääreisosien suojaaminen

Kädet, jalat ja pää tarvitsevat erityistä suojausta kylmässä ilmassa. Käsien ja jalkojen verenkierto heikkenee kylmässä, jolloin ne jäähtyvät nopeiten ja tarvitsevat järkevän suojauksen kylmää vastaan. Pään lämpötila on vakio, ja sen kautta kulkeutuu lämpöä ympäristöön helpoiten, jolloin se on suojattava erityisen hyvin. (Risikko & Marttila-Vesalainen 2006, 76; Meinander 2010.)

5.5.1 Pään ja kasvojen suojaaminen

Pään paino on noin 5 prosenttia kehon painosta ja pinta-ala 7 prosenttia koko kehon pinta-alasta. Näistä seikoista huolimatta pään kautta lämmönluovutus on kehossa merkittävää, jolloin se jäähtyessäänkin jäähtyy vain pinnastaan suojaten aivojen hapensaantia ja verenkiertoa viimeiseen asti. Kylmissä oloissa, esimerkiksi nolla-asteisessa ilmastossa, suojaamattoman pään kautta haihtuu 55 prosenttia koko kehon lämmöstä, ja ilman kylmetessä lämmönhukka suojaamattoman pään kautta vain kasvaa. (Ilmarinen ym. 2011, 123; Meinander 2010; Risikko & Marttila-Vesalainen 2006, 76–77.)

Toimiva päätä suojaava pukine suojaa myös niskaa ja kaulaa kylmissä olosuhteissa. Päähineen lämmöneristävyys on oltava hyvä, mutta tärkeämpää sen on suojata tuulelta ja saateelta ja samalla hengittää, jotta pään kautta ei tuntuisi liiallista lämpötuntemusta. Päähine voi olla nahasta ja turkiksesta valmistettu lakki, yksin- tai kaksinkertainen trikoopäähine, kuten pipo, kypärälakki ja huppu. Huppua käytetään kylmissä oloissa päähineen lisänä, jolloin saadaan lisäsuojaa päälle, korvalehdille, otsalle, kaulalle, niskalle ja osittain myös kasvoille. Hupun säädeltävyys ja oikeanlainen istuvuus käyttäjälleen on tärkeää käyttömukavuuden säilyttämiseksi. Kasvot on vaikeampi suojata, mutta suojaamiseen voidaan käyttää otsan, leuan ja posket peittävää ohuesta neuloksesta valmistettua kommandopipoa tai putkikauluria. (Ilmarinen ym. 2011, 123–124; Risikko & Marttila-Vesalainen 2006, 77–81.)

5.5.2 Käsien ja jalkojen suojaaminen

Käsien ja jalkojen kautta keho luovuttaa runsaasti lämpöä, mutta ne eivät tuota lämpöä yhtä tehokkaasti kehoon. Kylmissä oloissa kädet ja jalat jäähtyvät, jotta keskikehon tärkeät elintoiminnot olisivat turvattuna. Käsien suojaus on tärkeää kylmässä, koska viime kädessä hengissä selviytyminen on käsien toiminnasta kiinni. Jalat kuitenkin jäähtyvät vielä nopeammin kuin kädet, jolloin ne on suojattava käsiä paremmin paleltumisen ehkäisemiseksi. Koko keho pysyy lämpimänä, kun kädet ja jalat saadaan pidettyä lämpiminä. (Risikko & Marttila-Vesalainen 2006, 81–82, 88–89.)

Käsien toimintakyvyn kannalta käsineiden ei tulisi olla liian paksut, mutta niiden on suojattava kuitenkin kylmältä, tuulelta ja vedeltä. Kädet olisikin puettava sään mukaan kerrospukeutumisen sääntöjä noudattaen, jolloin kylmänsuojakäsineissä olisi oltava vastaava määrä kangaskerroksia. Kangaskerroksilla on samat ominaisuudet kuin kerrospuetulla varstalolla: alin kerros siirtää kosteuden, välikerros eristää lämpöä, ja uloin kerros suojaa kosteudelta, tuulelta ja hengittää. Leudommalla kelillä käsineen kangaskerrostien ei kuitenkaan tarvitse olla yhtä massiivisia kuin kylmällä kelillä. (Risikko & Marttila-Vesalainen 2006, 83–85.)

Jalat suojataan kylmää vastaan jalkineilla, pohjallisilla ja sukilla. Niiden tehtävä on myös tehokkaasti siirtää kosteutta pois jaloista, suojata ulkoisilta vaaroilta ja tukea jalan liikkeitä. Jalkineilla on merkittävä tehtävä lämmöneristyksessä, koska ne ovat lähimpänä kylmää maata. Jalkineen pohjan tulee olla tarpeeksi paksu, ja jalkineiden tulee myös olla riittävän tilavat, jotta eristävää ilmatilaa jää jalkineen sisälle. Tärkeää on myös, että jalkine pystyy siirtämään hikoilukosteuden pois, koska märkä jalka kylmettyy nopeammin. (Risikko & Marttila-Vesalainen 2006, 89–90.) Jalkineeseen asetettavilla irtopohjallisilla voidaan lisätä lämmöneristävyttä ja kosteuden siirtoa, jolloin myös mukavuuden tuntu jaloissa voi säilyä paremmin kylmälläkin säällä (Ilmarinen ym. 2011, 129).

Sukkien ensisijaisena tehtävänä on siirtää hikoilukosteutta pois ihon pinnalta sekä suojata jalkoja kengältä ja ulkoilmalta. Sukkia valmistetaan sekä luonnon- että tekokuiduista ja niiden sekoitteista. Polyamidia käytetään sukissa esimerkiksi villan kanssa tuomaan kulumkestävyyttä. Kosteudensiirtoon käytetään polyesteriä tai polypropeenaa. Villa ei kerää hajuja, jolloin se sopii sukkamateriaalina pitkäaikaiseen käyttöön. Puuvilla ei ole talvikäyttöön hyvä materiaali, koska se imee itseensä hikoilukosteuden siirtämättä sitä eteenpäin. Kesäsuikissa puuvilla kuitenkin toimii sekä sekoitteina villan ja tekokuitujen kanssa talvisukkina. Jalan pukemisessa noudatetaan myös kerrospukeutumisen sääntöjä, jolloin voidaan pukea monta eri sukkakerrosta: ihoa lähimmäksi tulee ohut, kosteutta siirtävä sukka sekä sen päälle lämpöä eristäviä villa- tai sekoitesukkia. (Ilmarinen ym. 2011, 129; Risikko & Marttila-Vesalainen 2006, 91.)

6 TUTKIMUSMENETELMIEN JA MATERIAALIEN KUVAUS

Tehtävänäni oli tutkia Työterveyslaitoksen MatkaSuTu-hankkeelle moottorikelkkailijan kylmäsuojavaatetuksen kokojen merkitystä lämmöneristävyuden kannalta, jolloin minun tuli selvittää, millaisin mittauskeinoin voisin saada koon ja lämmöneristävyysarvojen välinen yhteys ratkaistua. 3D-bodyskannerilla skannattiin yhteensä 31 otosta eri vaatetuksin puetusta lämpönukesta. Kuvista oli tarkoitus kerätä mittatietoa, joilla voitiin osoittaa, millaisia eroja lämmöneristävyysarvoissa on kokojen välillä tietyssä vartalon osissa.

Työn alkuvaiheessa minun tuli tutustua 3D-bodyskannerin ScanWorxin Anthroscan ohjelmiston tarjoamiin toimintoihin, joilla voisin mitata vartalon ympärysmittoja haluamistani kohdista, ottaa poikkileikkauskuvia vartalon kohdista, tuoda skannattuja otoksia päällekkäin ja saada ne oikeille kohdille mahdollisimman tarkkojen mittaustulosten aikaan saamiseksi. Tämä työn vaihe tehtiin varsinaisten 3D-bodyskannerimittausten jälkeen. Maaliskuussa 2011 3D-bodyskanneri kuljetettiin sovitusti Oulun työterveyslaitokselle, jossa se koottiin tutkimuslaboratorion tuulitunneliin lämmöneristävyys- ja bodyskanneriskannauksia varten.

6.1 Lämpönukke ja tuulitunnelin olosuhteet

Mittauksissa käytettiin standardin ISO 15831 mukaista lämmöneristävyysmittauksiin soveltuvaa seisovaa lämpönukkea, joka ripustettiin katosta roikkumaan. Lämpönukessa on 20 lämpölohkoa, joiden lämmitystä voidaan ohjata erikseen. Lohkotus mahdollistaa lämmöneristävyuden mittauksen paikallisesti. Lämpönukke asetettiin seisomaan 3D-bodyskannerin skannausalueelle tuulitunnelissa (katso KUVIO 5.). Lämmöneristävyysmitaukset ja skannaukset suoritettiin paikallaan seisovalla lämpönukella tyynessä 0,3 m/s ja tuulella 8 m/s, jolloin lämmöneristävyysarvoista voitiin tutkia tuulen vaikutusta lämmöneristävyteen sekä skannatuista kuvista voitiin tarkastella tuulen vaikutusta vaatetuksen ilmakerrokseen. Tuulitunnelin lämpötila oli molemmissa olosuhteissa +10 °C, koska 3D-bodyskanneria ei voitu asettaa pakkasolosuhteisiin.

6.2 Vaatetuksen kuvaus

Lämpönukan vaatetus oli toteutettu kolmikerroksisena kerrospukeutumisenä, jossa uloin kerros oli kaksiosainen. Päällysvaatteena toimi moottorikelkkailijalle soveltuva asu, koska tarkoituksena oli tutkia MatkaSuTu-hankkeelle moottorikelkkailijan näkökulmasta vaate- tusta. Taulukon 3 vaatetuskokonaisuudet on jaoteltu päällysvaatetuksen koon mukaan, ja se selventää millaisia vaatetuskokonaisuuksia lämpönukelle puettiin.

TAULUKKO 3. Lämpönukelle puettut vaatetuskokonaisuudet

	Vaatetus 1	Vaatetus 2	Vaatetus 3	Vaatetus 4	Vaatetus 5	Vaatetus 6	Vaatetus 7	Vaatetus 8	Vaatetus 9	Vaatetus 10
Alusvaate	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Välivaate	XS	XS	M	XL	XS	M	XL	XS	M	XL
Päällysvaate	48	50	50	50	52	52	52	56	56	56
Tyyini	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Tuuli	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Lämpönukelle puettiin lisäksi päähän kypärähuppu, kämmeniin nahkasormikkaat ja jalka- teriin paksut sukat ja M91-varsikengät. Taulukossa 4 on esitetty vaatetuskerrosten materi- aalit sekä kankaan/kangaskerroksen paksuudet.

TAULUKKO 4. Vaatekerrosten materiaalit ja paksuudet

	Alusvaate	Välivaate	Päällysvaate
Materiaali	Sileä neulos: 66 % PES, 29 % CV, 5 % EL	Mikrofleece: 100 % PES	Kangas: 500D Invista Cordura®, Sinisalo® kalvo Vuori: 100-prosenttisesti synteettinen
Paksuus	0,7 mm	1,5 mm	4,8 mm

CV = viskoosi, EL = elastaani, PES = polyesteri

Alusvaatetuksen materiaali oli polyesteristä, viskoosista ja elastaanista valmistettu. Alus- vaatteessa polyesterin tarkoituksena on siirtää hikoilukosteutta seuraaviin vaatetuskerrok- siin, ja se lisää kulutuskestävyyttä. Viskoosi imee kosteutta, mutta yhdessä polyesterin kanssa se osallistuu kosteudensiirtoon. Elastaani parantaa kankaan joustavuutta tuoden käyttömukavuutta. Välivaatetuksen polyesterista valmistettu mikrofleece osallistuu kos- teudensiirtoon ja samalla eristää lämpöä. Päällysvaatetukseen kuului synteettisestä kuidus- ta valmistettu vuori, jonka tarkoitus on eristää lämpöä. Päällyskankaana toimi kulutusta

kestävä polyesteristä valmistettu rekisteröity 500D Invista Cordura -kangas sekä rekisteröity Sinisalun tuulta ja kostetta hylkivä kalvo (Invista 2012). Sinisalun kalvo oli laminoitu vanuun tai vanua vastaavaan vuoreen. Tällaisen teknisen päällyskerroksen on tarkoitus suojata tehokkaasti kylmältä, sateelta ja tuulelta sekä samalla tuoda lisää lämmöneristävyyttä. Päällysvaateen tekstiilimateriaaleista ei ole tarkempaa tietoa kuin taulukossa on esitetty.

Moottorikelkkailuun soveltuva vaatetus

Moottorikelkkailu tapahtuu talviseen vuodenaikaan, jolloin moottorikelkkailijan on hyvä tietää oikeanlaiset suojautumiskeinot kylmää vastaan. Moottorikelkan suurin sallittu nopeus maastossa on 60 km/h ja jäällä 80 km/h, jolloin pakkasen purevuus ja viima (TAULUKKO 1) tuntuvat varsinkin ajaessa. (Niska & Saharinen 2006, 6.) Moottorikelkkailuun suunniteltuja teknisiä asuja löytyy markkinoilla näihin vaatteisiin erikoistuneilta vaatevalmistajilta.

Moottorikelkkailijan on hyvä miettiä, millaisissa olosuhteissa tulee ajamaan, ja valita ajoasunsa tämän mukaan. Metsässä viima ei pure yhtä voimakkaasti kuin avarilla aukeilla. Vallitseva sää on myös hyvä huomioida. Kerrospukeutuminen on järkevä valinta moottorikelkkailijan pukeutumisessa, ja erityistä huomiota tulisi kiinnittää kasvojen, käsien ja jalkojen suojaamiseen. Kasvoihin ja käsiin puree viima ajaessa, jolloin kasvoille esimerkiksi kypärähappu antaa suojaa kylmältä ja käsineiksi sopivat paksut lämmittävät ja oksilta suojaavat käsineet. Jalkineina kannattaa käyttää paksuja, ja tukevia kenkiä, koska alaraajojen riski loukkaantua on suurempi. Tärkeää on myös huomioida, että asusta löytyy paljon heijastimia näkyvyyden lisäämiseksi. (Niska & Saharinen 2006, 7–8.)

6.3 Mittauspisteet ja mittaustavat

Lämpönuken vartaloon määriteltiin 5 poikkileikkausten mittauspistettä rinnan, vyötärön, lantion, reiden ja säären kohdille teippaamalla kohdat tummalla teipillä, jotta pisteet näkyisivät jokaisessa skannatussa kuvassa. Mittauspisteiden kohtia ja näkyvyyttä skannatussa kuvassa havainnollistaa kuvio 9.



KUVIO 9. Mittauspisteiden kohdat

Mittauspisteet mitattiin lattiasta määritellyn pisteen kohdalle. Taulukko 5 esittää mittauspisteiden arvot lattiasta mitattuna.

TAULUKKO 5. Mittauspisteiden etäisyydet lattiasta

1.	Rinta	133 cm
2.	Vyötärö	113 cm
3.	Lantio	94 cm
4.	Reisi	72 cm
5.	Sääri	39 cm

Lämpönukke kuvattiin aluksi alasti, sitten alusvaatetuksella ja alus- ja välivaatetuksella, jotta Anthroscan ohjelmistolla saatiin myöhemmin luotua poikkileikkauskuvia kerrospu-
keutuneesta vaatetuskokonaisuudesta. Tämän jälkeen nukelle puettiin taulukon 3 mukaisia
vaatetuskokonaisuuksia, jotka kuvattiin tyynessä ja tuulussa. Kengät oli puettuna nukelle
jokaisessa kuvausvaiheessa. Jokaista skannaus- ja lämmöneristävyysmittauskertaa varten

lämpönukan oli oltava vallitsevissa laboratorion olosuhteissa 1,5 tuntia, ennen kuin varsinainen skannaus voitiin suorittaa, koska tuona aikana lämpö ehti tasaantua vaatetuksen sisällä ja lämmöneristävyysmittauksista saatiin luotettavia tuloksia. Skannauksia tehtiin kaiken kaikkiaan 31 kappaletta, joiden tarkemmat tiedot löytyvät liitteestä 1. Vaatetuskokonaisuuksista 1 ja 4 otettiin tarkistusmittaukset, jotta voitiin verrata mahdollisia bodyskannerin tekemiä kuvausvirheitä ja niistä aiheutuvaa mittausvirhettä sekä verrata lämmöneristävyksiä. Vaatetuskokonaisuuden 5 kohdalla lämpönukke asetettiin 45:n ja 90 asteen kulmaan tuuleen nähden, jotta voitiin nähdä tuulen vaikutus lämmöneristävyys- ja ilmakerrosarvoihin. Vaatekerroksia lämpönukan päälle puettuna havainnollistavat kuvio 10, ja kuvio 11, esittää tuuleen nähden 45:n ja 90 asteen kulmaan asetettua lämpönukkea.



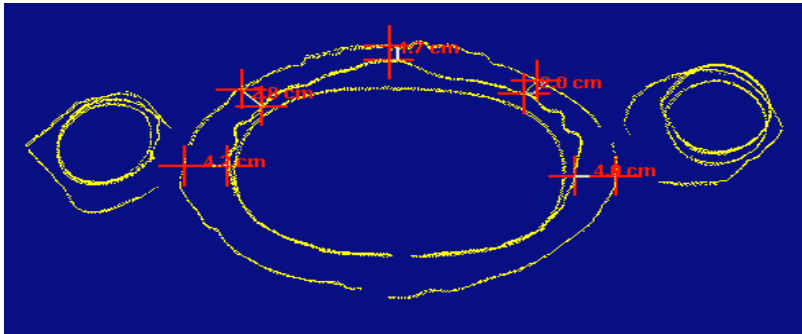
KUVIO 10. Vaatekerroksia puettuna lämpönukelle (Jussila 2011.)



KUVIO 11. Puettu lämpönukke 45:n ja 90 asteen kulmaan asetettuna (Jussila 2011.)

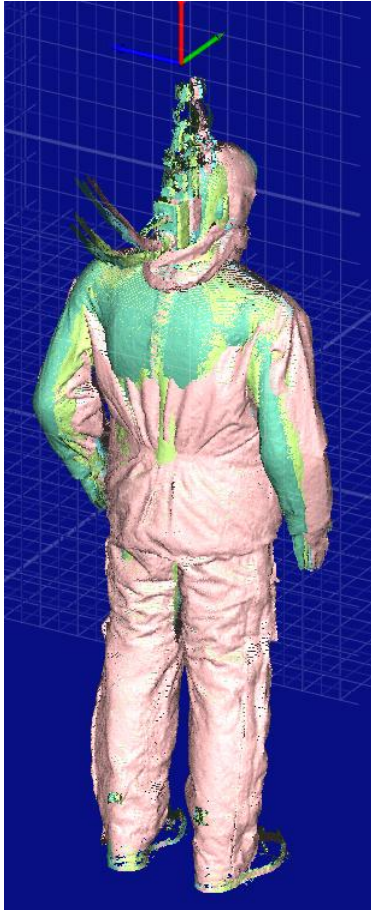
Skannattujen kuvien mittauspisteiden kohdalta oli tarkoitus ottaa Anthroscan sovelluksella poikkileikkauskuvia (KUVIO 12), joista saataisiin mitattua ympärysmittoja. Poikkileikkauksien avulla mitattiin myös vaatekerrosten välisiä etäisyyksiä ilmakerroslaskelmia

varten. Sisin poikkileikkausviiva on alastoman nukan, keskimäinen kerros välivaatetuksen ja uloin poikkileikkausviiva päällysvaatetuksen.



KUVIO 12. Poikkileikkauskuva vyötärön pisteeltä

Jotta kuvion 12 mukainen poikkileikkauskuva saatiin aikaan, eri vaatekerrosten kuvia oli tuotava päällekkäin ohjelmalla aina sen mukaan, mikä vaatetuskokonaisuus oli kyseessä. Poikkileikkauskuva varten tuotiin päällekkäin aina alastoman, välivaatetuksen ja päällysvaatetuksen kuva, jotta saataisiin ilmakerroksia mitattua vaatekerrosten välillä. Esimerkiksi kuvion 12 mukaista tyynen olosuhteen poikkileikkausta varten on tuotu päällekkäin liitteen 1 taulukosta katsottuna seuraavat kuvat: 1_ ilman vaatetusta, 3_ Alusvaate S +välivaate XS, 03 ja 1_Vaatetus 1 nimiset kuvat. Kuvio 13 havainnollistaa sitä, miltä päällekkäin tuodut kuvat näyttävät sovelluksessa.



KUVIO 13. Vaatekerrokset tuotuna päällekkäin

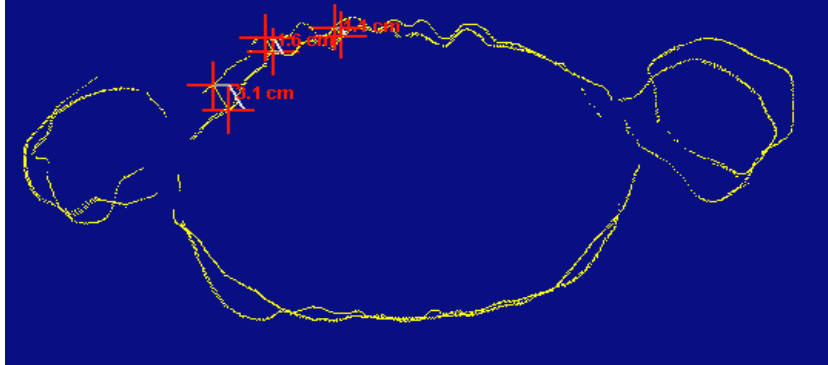
Poikkileikkauskuvista saadut mittatiedot koottiin yhdeksi Excel-taulukoksi tarkempia mitauslaskelmia varten. Ilmakerroksen paksuutta mitattiin ohjelman avulla sekä vertailun vuoksi se laskettiin myös seuraavalla yhtälökaavalla:

$$AG = \frac{L_g - L_m}{7.14} - \frac{TH_m}{2}$$

jossa AG on ilmakerroksen paksuus, L_g on päällimmäisen vaatekappaleen ympäröimä, L_m on vartalon ympäröimä ja TH_m on puristetun kankaan paksuus. Yhtälön arvo 7,14 on $2\pi:n$ ja 8 keskiarvo, koska todellinen vartalon poikkileikkauksen muoto on kehän ja suorakulmion muodon välimaastosta. (Chen, Fan, Qian & Zhang 2004, 746.)

Anthroscan ohjelmalla mitatut etäisyysmitat ilmakerrosten määrittämistä varten otettiin poikkileikkauksesta 4-10 kohdasta niin, että mittoja oli mahdollisuuksien mukaan edestä, sivuilta ja takaa. Näitä mitoista laskettiin kokonaiskeskiarvo ja erikseen keskiarvot edestä ja takaa otetuilta mitoilta. Lisäksi etäisyysmittojen arvoja vertailtiin tuulessa otettujen kuvien poikkileikkausten etäisyysmittojen arvoihin. 45:n ja 90 asteen kulmassa otetuista ku-

vista mitattiin etäisyysmitat sitten, kun oli tuotu suorassa asennossa oleva kuva päällekkäin, jolloin voitiin huomioida mahdolliset muutokset kerrosten etäisyyksissä (KUVIO 14.)



KUVIO 14. Vaatekerrokset 45 asteen kulmassa päällekkäin tuotuna

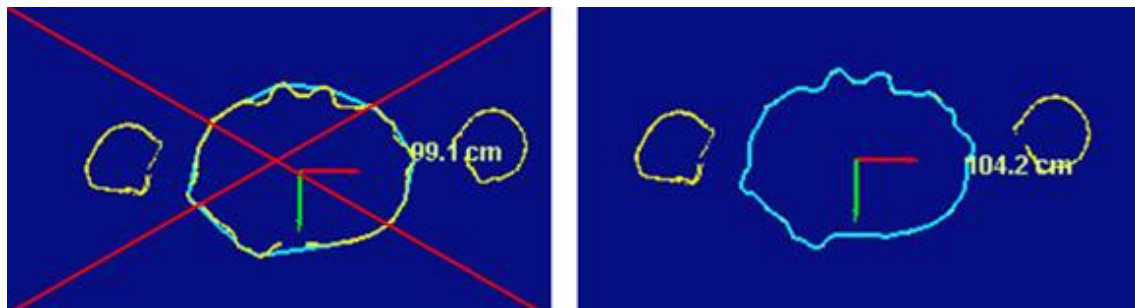
Vartalon ja vaatekussien ympärystoista laskettiin suhteellisia prosentuaalisia eroja sekä väljyyksiä, jotka ilmoitettiin senttimetreinä (cm). Lämmöneristävyysmittausten tulokset on saatu valmiina datana. Vyötärön ja reiden pisteet päätettiin tutkittaviksi mittaustentekopisteiksi jokaisen vaatekussikonaisuuden kohdalla.

7 TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä luvussa tuodaan esille eri vaatetuskokonaisuuksien ympärysmittoja, ilmakerrosten paksuuksia ja lämmöneristävyksiä vyötärön ja reiden alueilla. Taulukoiden vaatetuskokonaisuudet on lajiteltu päällysvaatetuksen koon mukaan pienimmästä suurimpaan ja siitä välivaatetuksen koon mukaan pienimmästä suurimpaan.

7.1 Ympärysmitat ja väljyydet

Ympärysmitat on mitattu Anthroscan ohjelmistolla, ja mitat ovat tiukkoja mittoja, jolloin mittaustoiminto on mitannut myös mahdollisten kuvissa näkyvien ryppyjen kautta eikä se ole oikonut niitä. Kuvio 15 havainnollistaa selkeästi oikeaa ympärysmittojen mittaustapaa.



KUVIO 15. Ympärysmittojen mittaustapa

Alastoman lämpönuken kuvista mitattiin ympärysmitat aiemmin määritellyiltä mittauspisteiltä, jotta voitaisiin suorittaa vaatetuskokonaisuuksista tehtävät väljyyyslaskennat. Taulukko 6 esittää lämpönuken ympärysmitat ja pituuden. Miesten vaatetuksen mittataulukko Passelin mukaan lämpönuken koko olisi vartalotyypin C normaalivartaloisen, pituusryhmä $182 \text{ cm} \pm 3 \text{ cm}$ taulukoiden C148 ja C150 (LIITE 2) välillä, koska määräävien tekijöiden eli rinnan ja vyötärön mitat osuvat näiden kahden koon väliin parhaiten. Toisin sanoen lämpönuken koko miesten koossa on kokojen 48 ja 50 välillä. (Finatex 2012.)

TAULUKKO 6. Lämpönuken ympärösmittat ja pituus

(cm)	Pituus	Rinta	Vyötärö	Lantio	Vasen reisi	Oikea reisi	Vasen sääri	Oikea sääri
n. 180	94,6	86,6	94,4	51,8	50,8	37,6	37	

Taulukko 7 osoittaa jokaisen vaatetuskokonaisuuden ympärösmittan vyötärön kohdalta ja kertoo väljyyden. Ympärösmittoja otettiin tyynessä ja tuulussa olevasta nukun kuvasta ja näistä kahdesta mitasta otettiin keskiarvo. Väljyys laskettiin puettun ja alastoman nukun vyötärön ympärösmittien erotuksella.

TAULUKKO 7. Vaatetuskokonaisuuksien vyötärön ympärösmittat ja väljyydet

(cm)	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10
Alusvaate	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Ympärösmitta	86,9	86,9	86,9	86,9	86,9	86,9	86,9	86,9	86,9	86,9
Väljyys	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Välivaate	XS	XS	M	XL	XS	M	XL	XS	M	XL
Ympärösmitta	93,8	93,8	104,4	115	93,8	104,4	115	93,8	104,4	115
Väljyys	7,2	7,2	17,8	28,4	7,2	17,8	28,4	7,2	17,8	28,4
Päällysvaate	48	50	50	50	52	52	52	56	56	56
Ympärösmitta	112,9	115,8	115,8	115,8	121,6	121,6	121,6	132,4	132,4	132,4
Väljyys	26,3	29,2	29,2	29,2	34,9	34,9	34,9	45,8	45,8	45,8

Reiden ympärösmittat ja väljyydet mitattiin samaan tapaan kuin vyötärön. Ainoana erona oli se, että oikean ja vasemman reiden ympärösmittojen keskiarvosta otettiin vielä keskiarvo, että saataisiin yksi pätevä mitta. Taulukko 8 kuvaa reiden ympärösmittoja ja väljyyksiä tarkemmin.

TAULUKKO 8. Vaatetuskokonaisuuksien reiden ympärösmittat ja väljyydet

(cm)	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10
Alusvaate	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Ympärösmitta	51,8	51,8	51,8	51,8	51,8	51,8	51,8	51,8	51,8	51,8
Väljyys	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Välivaate	XS	XS	M	XL	XS	M	XL	XS	M	XL
Ympärösmitta	52,5	52,5	56,7	59	52,5	56,7	59	52,5	56,7	59
Väljyys	1,2	1,2	5,4	7,7	1,2	5,4	7,7	1,2	5,4	7,7
Päällysvaate	48	50	50	50	52	52	52	56	56	56
Ympärösmitta	68	71	71	71	72,3	72,3	72,3	74,9	74,9	74,9
Väljyys	16,7	19,7	19,7	19,7	21	21	21	23,6	23,6	23,6

Ympärysmittojen mittaamisen tarkoituksena on saada laskettua väljyydet, joiden avulla voidaan havainnollistaa kokojen välisiä eroja. Väljyydet kasvavat sen mukaan mitä isompi vaatetuksen koko on lämpönuken ylle puettuna (TAULUKKO 9).

TAULUKKO 9. Väljyydet vaatetuksen koon mukaan

	Alusvaate	Välivaate	Päällysvaate
XS/48	-	7,2 cm	26,3 cm
S/50	0,3 cm	-	29,2 cm
M/52	-	17,8 cm	34,9 cm
XL/56	-	28,4 cm	45,8 cm

7.2 Ilmakerroksen paksuus

Ilmakerroksen paksuudet on mitattu Anthroscan ohjelmaa käyttäen sekä aiemmin esitettyä laskennallista menetelmää käyttäen. Taulukko 10 esittää molempien menetelmien osalta ilmakerroksen paksuudet ihon alusvaatteen, välivaatteen ja päällysvaatteen välillä vyötärön pisteellä. Alusvaatteen ja ihon välistä kerrosta ei ole voitu mitata, joten se on esitetty vain laskennallisessa muodossa. Kaikki päällysvaatetuksen arvot ovat tyynessä mitattuja. Reiden pisteen arvot ovat oikean ja vasemman reiden pisteen arvojen keskiarvoja, joita esitetään taulukossa 11.

TAULUKKO 10. Vyötärön pisteen ilmakerrosten paksuudet tyynessä

(cm)	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10
Alusvaate	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Ilmakerroksen paksuus laskettu	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007
Välivaate	XS	XS	M	XL	XS	M	XL	XS	M	XL
Ilmakerroksen paksuus mitattu	2,37	2,37	2,28	3,31	2,37	2,28	3,31	2,37	2,28	3,31
Ilmakerroksen paksuus laskettu	0,93	0,93	2,42	3,9	0,93	2,42	3,9	0,93	2,42	3,9
Päällysvaate	48	50	50	50	52	52	52	56	56	56
Ilmakerroksen paksuus mitattu	4,73	5,2	4,43	4,28	5,2	5,1	5,68	5,86	5,73	6,5
Ilmakerroksen paksuus laskettu	3,44	3,77	3,75	3,96	4,62	4,59	4,79	6,16	6,26	6,15

TAULUKKO 11. Reiden pisteen ilmakerrosten paksuudet tyynessä

(cm)	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10
Alusvaate	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Ilmakerroksen paksuus laskettu	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035
Välivaate	XS	XS	M	XL	XS	M	XL	XS	M	XL
Ilmakerroksen paksuus mitattu	2,37	2,37	2,28	3,31	2,37	2,28	3,31	2,37	2,28	3,31
Ilmakerroksen paksuus laskettu	0,93	0,93	2,42	3,9	0,93	2,42	3,9	0,93	2,42	3,9
Päällysvaate	48	50	50	50	52	52	52	56	56	56
Ilmakerroksen paksuus mitattu	2,43	2,67	2,64	3,83	3,4	3,16	3,53	4,54	4,32	5,15
Ilmakerroksen paksuus laskettu	2,09	2,07	2,84	2,12	2,59	2,75	2,77	2,93	3,12	3,1

7.2.1 Tuulen vaikutus ilmakerrokseen

Vaatetuskokonaisuuksien ilmakerrosten paksuuteen ja suuntaan vaikutti tuuli 8m/s, ja näitä vaikutuksia vyötärön pisteellä kuvataan taulukossa 12 ja reiden pisteellä taulukossa 13. Taulukoissa on esitetty mitatun ja lasketun ilmakerroksen arvot erikseen, jolloin on voitu esittää tuulen vaikutus ilmakerroksen paksuuteen laskemalla molempien menetelmien arvot tuulen ja tyynen erotuksena.

TAULUKKO 12. Tuulen vaikutus ilmakerroksen paksuuteen vyötärön pisteellä

(cm)	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10
Alusvaate	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Välivaate	XS	XS	M	XL	XS	M	XL	XS	M	XL
Päällysvaate	48	50	50	50	52	52	52	56	56	56
Ilmakerroksen paksuus mitattu tyyni	4,73	5,2	4,43	4,28	5,2	5,1	5,68	5,86	5,73	6,5
Ilmakerroksen paksuus mitattu tuuli	4,78	4,51	4,23	4,38	5,03	5,43	5,2	5,82	6,32	7,68
Tuulen vaikutus	0,05	-0,69	-0,2	-0,1	-0,17	0,33	-0,48	-0,04	0,59	1,18
Ilmakerroksen paksuus laskettu tyyni	3,44	3,77	3,75	3,96	4,62	4,59	4,79	6,16	6,26	6,15
Ilmakerroksen paksuus laskettu tuuli	3,44	3,88	3,74	3,99	4,48	4,68	4,69	6,1	6,19	6,16
Tuulen vaikutus	0	0,11	-0,01	0,03	-0,14	0,09	-0,1	-0,06	-0,07	0,01

TAULUKKO 13. Tuulen vaikutus ilmakerroksen paksuuteen reiden pisteellä

(cm)	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10
Alusvaate	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Välivaate	XS	XS	M	XL	XS	M	XL	XS	M	XL
Päällysvaate	48	50	50	50	52	52	52	56	56	56
Ilmakerroksen paksuus mitattu tyyni	2,43	2,67	2,64	3,83	3,4	3,16	3,53	4,54	4,32	5,15
Ilmakerroksen paksuus mitattu tuuli	2,98	2,78	3,34	3,77	3,38	3,07	3,6	5,14	3,83	4,2
Tuulen vaikutus	0,55	0,11	0,7	-0,06	-0,02	-0,09	0,07	0,6	-0,49	-0,95
Ilmakerroksen paksuus laskettu tyyni	2,09	2,07	2,84	2,12	2,59	2,75	2,77	2,93	3,12	3,1
Ilmakerroksen paksuus laskettu tuuli	2,11	2,22	2,67	2,62	2,6	2,67	2,76	2,92	3,24	3,09
Tuulen vaikutus	0,02	0,15	-0,17	0,5	0,01	-0,08	-0,01	-0,01	0,12	-0,01

Ilmakerrosten paksuuksia ja sijainnin muutoksia kuvataan taulukossa 14, jossa esitetään edessä ja takana olevan ilmakerroksen paksuus ja niiden tuulella tapahtuneet muutokset vyötärön pisteellä. Reiden pisteeltä ei ole mahdollista esittää kyseisiä arvoja, koska päällysvaatekerros muotoutuu tuulella vähemmän.

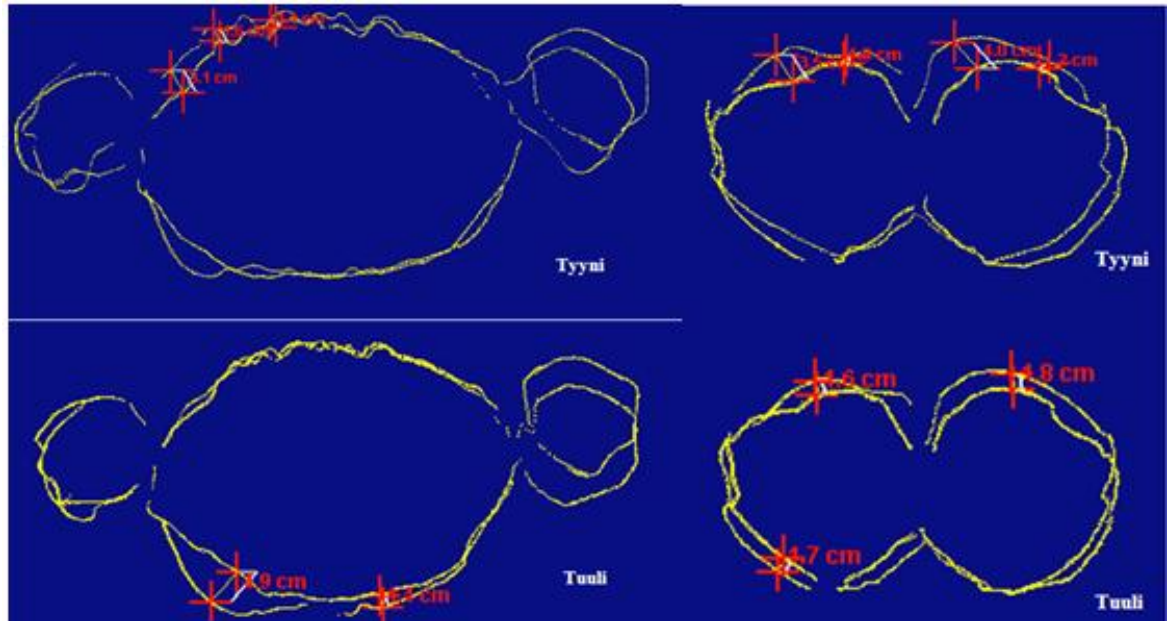
TAULUKKO 14. Tuulen vaikutus ilmakerrosten sijaintiin vyötärön pisteellä

(cm)	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10
Alusvaate	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Välivaate	XS	XS	M	XL	XS	M	XL	XS	M	XL
Päällysvaate	48	50	50	50	52	52	52	56	56	56
Ilmakerroksen paksuus takana tyyni	5,83	5,2	4,3	4,2	5,97	4,93	6,45	7	6,03	7,9
Ilmakerroksen paksuus takana tuuli	4,03	4,83	4,53	4,6	7,27	6,17	6,7	7,77	8,27	8,67
Tuulen vaikutus	-1,8	-0,37	0,23	0,4	1,3	1,24	0,25	0,77	2,24	0,77
Ilmakerroksen paksuus edessä tyyni	3,63	5,2	4,53	4,37	4,63	5,23	5,17	5	5,54	4,4
Ilmakerroksen paksuus edessä tuuli	3,93	4,28	4	4,17	2,8	4,88	3,7	3,87	4,37	4,7
Tuulen vaikutus	0,3	-0,92	-0,53	-0,2	-1,83	-0,35	-1,47	-1,13	-1,17	0,3

7.2.2 Tuuleen nähden 45 ja 90 asteen kulmassa

Lämpönukke asetettiin 45 asteen kulmaan tuuleen nähden, jotta nähtäisiin ero kangaskerrosten sijainnissa tuulen vaikutuksesta. Kuviossa 16 on asetettu päällekkäin Vaatetus 5:n 0 asteen kuva tuuleen nähden ja 45 asteen kuva tuuleen nähden. Ylemmässä poikkileikkauskuvassa on asetettu tyynessä otetut kuvat päällekkäin, jolloin voidaan huomata ero 45 asteen kuvan kangaskerroksen sijoittuminen. Alemmassa kuvassa on asetettu päällekkäin tuulella otetut kuvat, ja voidaan myös huomata muutosta kangaskerroksen sijaintiin. Tyynessä kuvatussa poikkileikkauskuvassa selkäpuolen ulompi viiva ja tuulella kuvatussa

etupuolen ulompi viiva on 45 asteen kulmassa olevan lämpönukan viiva. Reiden pisteen poikkileikkauskuvissa muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta kaikki uloimmat viivat ovat 45 asteen kuvan viivoja.



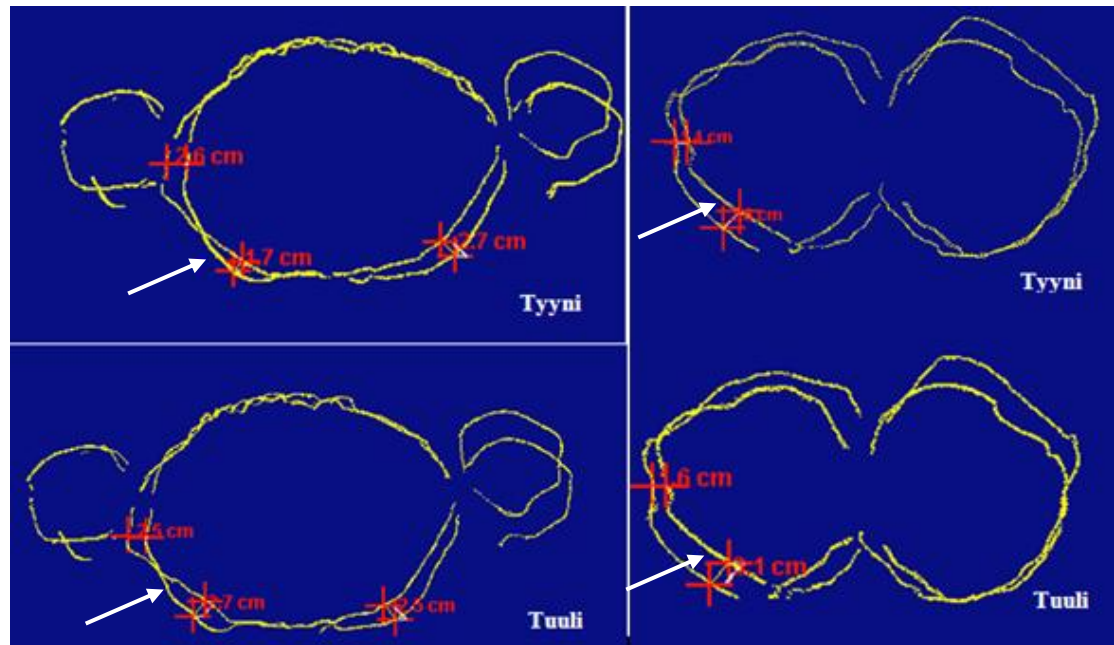
KUVIO 16. Poikkileikkauskuvat 45 asteen kulmassa olevasta lämpönukesta

Kuvista näkee, että 8 m/s olevan tuulen vaikutuksesta 45 asteen kulmassa olevan lämpönukan vaatetus on sijoittunut eteen vyötärön pisteellä, jolloin takana olevia mittoja ei ole voitu enää ohjelmalla mitata. Reiden pisteellä taas päällysvaatekerros on jakautunut tasaisemmin tuulessa. Taulukko 15 selventää tuulen vaikutusta mitattuihin arvoihin.

TAULUKKO 15. Tuulen vaikutus 45 asteen kulmassa

	Vaatetus 5	Ilmakerroksen paksuudet (cm)	
Alusvaate	S		
Välivaate	XS		
Päällysvaate	52		
Vyötärö tyyni selkäpuoli	3,1	1,6	1,1
Vyötärö tuuli etupuoli	4,9	1,4	
Reisi oikea tyyni	3,5	1	
Reisi oikea tuuli	1,6	1,7	
Reisi vasen tyyni	1,2	4	
Reisi vasen tuuli		1,8	

Tuuleen nähden 90 asteen kulmaan asetetun lämpönukan poikkileikkauskuvat vyötärön ja reiden pisteeltä löytyvät kuviosta 17. Valkoinen nuoli osoittaa 90 asteen kulmaan asetetun lämpönukan poikkileikkauksen viivaa.



KUVIO 17. Poikkileikkauskuvat 90 asteen kulmassa olevasta lämpönukesta

Kuvista voidaan todeta, millainen on ollut tuulen vaikutus vaatekerroksen sijoittumiseen, kun lämpönukke on ollut 90 asteen kulmassa tuuleen nähden. Mittaukset on pyritty ottamaan samoilta kohdilta, koska tässä tapauksessa se on ollut mahdollista. Taulukko 16 selvittää tuulen vaikutusta mitattuihin arvoihin.

TAULUKKO 16. Tuulen vaikutus 90 asteen kulmassa

	Vaatetus 5	Ilmakerroksen paksuudet (cm)	
Alusvaate	S		
Välivaate	XS		
Päällysvaate	52		
Vyötärö tyyni	2,7	1,7	-2,6
Vyötärö tuuli	2,5	2,7	-2,5
Reisi oikea tyyni	-2,6	-1,4	
Reisi oikea tuuli	-3,1	-1,6	

Vyötärön pisteen tyyni ja tuuli arvoissa olevat miinusmerkkiset arvot ovat sivulla olevia mittoja (KUVIO 17), jolloin arvo tarkoittaa, että kangas on painunut sisään verrattuna 0

asteen kulmassa olevaan kuvaan. Reiden pisteillä kaikki arvot ovat miinusmerkkisiä, jolloin samainen ilmiö on tapahtunut sekä tyynessä että tuulessa.

7.3 Lämmöneristävyydet

Standardi ISO 15831 kuvaa, kuinka lämmöneristävyydsmittaukset tehdään lämpönukella. SFS-EN 342 on standardi kylmänsuojavaatetuksesta, ja siinä kerrotaan, miten kylmänsuojavaatetuksen lämmöneristävyys määritellään. Näihin kahteen standardiin pohjaten suoritettiin lämmöneristävyydsmittaukset lämpönukella.

Taulukossa 17 kerrotaan lämmöneristävyydet vaatetuskokonaisuuksittain. Lämmöneristävyyksistä on ilmoitettu tyynessä ja tuulessa kokonaislämmöneristävyydet sekä rinnan, torsion ja reiden alueen lämmöneristävyydet. Lämmöneristävyydsarvot on ilmoitettu SI-järjestelmän mukaisessa yksikössä m^2K/W .

TAULUKKO 17. Lämmöneristävyydet vaatetuskokonaisuuksittain

(m^2K/W)	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10
Alusvaate	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Välivaate	XS	XS	M	XL	XS	M	XL	XS	M	XL
Päälyysvaate	48	50	50	50	52	52	52	56	56	56
Kokonaislämmöneristävyys tyyni 0,3 m/s	0,528	0,551	0,565	0,564	0,559	0,579	0,592	0,596	0,606	0,627
Kokonaislämmöneristävyys tuuli 8 m/s	0,374	0,389	0,401	0,395	0,406	0,424	0,425	0,409	0,444	0,444
Tuulen vaikutus	-0,154	-0,163	-0,164	-0,169	-0,153	-0,155	-0,166	-0,187	-0,161	-0,184
Rinta										
Lämmöneristävyys tyyni 0,3 m/s	0,546	0,567	0,600	0,568	0,563	0,573	0,568	0,580	0,605	0,610
Lämmöneristävyys tuuli 8 m/s	0,266	0,280	0,294	0,267	0,316	0,315	0,299	0,281	0,315	0,288
Tuulen vaikutus	-0,280	-0,287	-0,306	-0,301	-0,248	-0,258	-0,270	-0,299	-0,290	-0,322
Torso										
Lämmöneristävyys tyyni 0,3 m/s	0,541	0,556	0,575	0,551	0,564	0,574	0,578	0,573	0,605	0,607
Lämmöneristävyys tuuli 8 m/s	0,316	0,318	0,337	0,308	0,359	0,380	0,361	0,325	0,385	0,362
Tuulen vaikutus	-0,225	-0,238	-0,238	-0,244	-0,205	-0,194	-0,217	-0,249	-0,220	-0,245
Reisi										
Lämmöneristävyys tyyni 0,3 m/s	0,618	0,635	0,667	0,680	0,657	0,691	0,712	0,716	0,715	0,748
Lämmöneristävyys tuuli 8 m/s	0,466	0,472	0,508	0,517	0,493	0,526	0,529	0,529	0,538	0,549
Tuulen vaikutus	-0,152	-0,162	-0,158	-0,163	-0,164	-0,166	-0,183	-0,187	-0,177	-0,199

SI-järjestelmän mukaiset lämmöneristävyydsarvot on muutettu clo-arvoiksi liitteen 3 taulukossa.

Taulukosta 18 ilmenee 45:een ja 90 asteeseen tuulen nähden asetetun lämpönuken lämmöneristävyydet, jotka on ilmoitettu samaan tapaan kuin kaikkien vaatetuskokonaisuuksien lämmöneristävyydet.

TAULUKKO 18. Lämmöneristävyydet 45 ja 90 asteen vaatetuksesta

(m ² K/W)	Vaatetus 5	Vaatetus 5 45°	Vaatetus 5 90°
Alusvaate	S	S	S
Välivaate	XS	XS	XS
Päällisvaate	52	52	52
Kokonaislämmöneristävyys tyyni 0,3 m/s	0,559	0,572	0,575
Kokonaislämmöneristävyys tuuli 8 m/s	0,406	0,432	0,406
Tuulen vaikutus	-0,153	-0,139	-0,169
Rinta			
Lämmöneristävyys tyyni 0,3 m/s	0,563	0,564	0,548
Lämmöneristävyys tuuli 8 m/s	0,316	0,382	0,309
Tuulen vaikutus	-0,248	-0,182	-0,239
Torso			
Lämmöneristävyys tyyni 0,3 m/s	0,564	0,567	0,554
Lämmöneristävyys tuuli 8 m/s	0,359	0,422	0,356
Tuulen vaikutus	-0,205	-0,145	-0,198
Reisi			
Lämmöneristävyys tyyni 0,3 m/s	0,657	0,690	0,698
Lämmöneristävyys tuuli 8 m/s	0,493	0,520	0,489
Tuulen vaikutus	-0,164	-0,170	-0,209

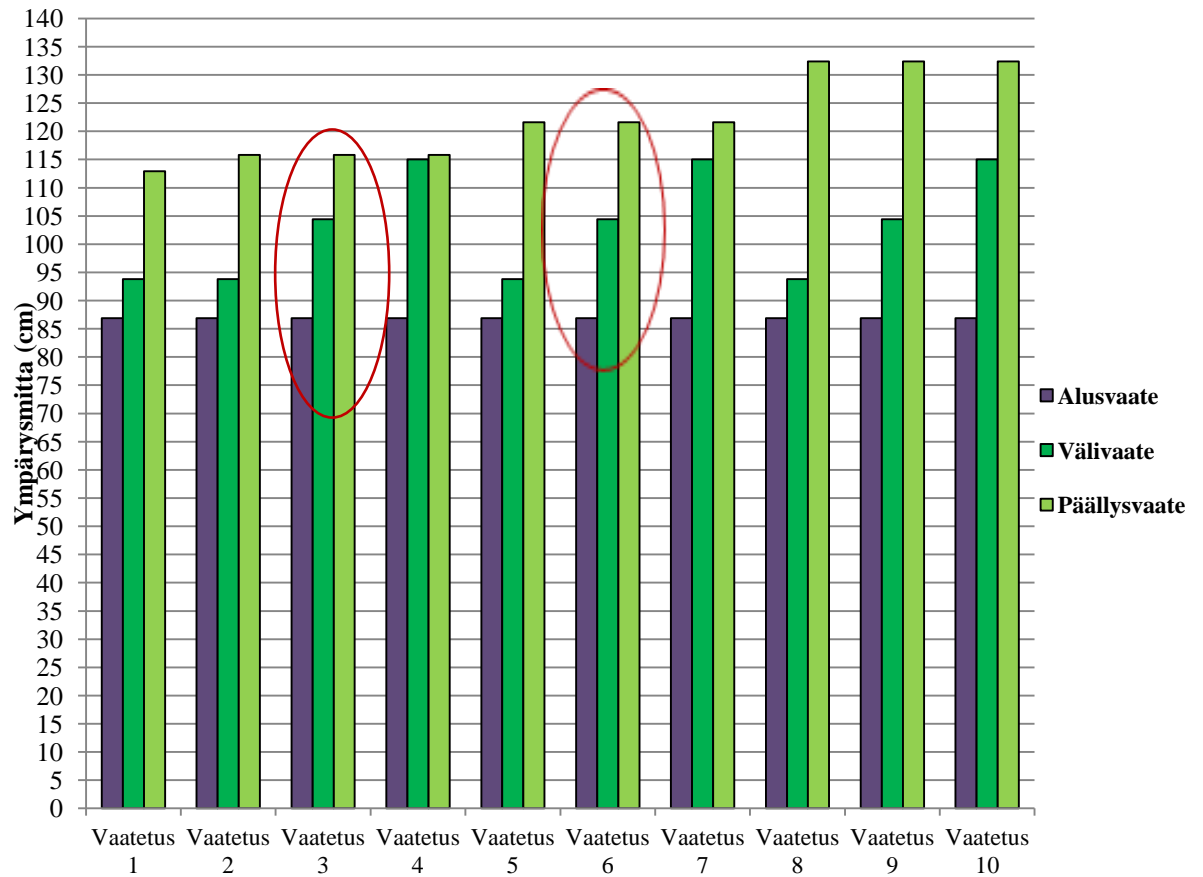
7.4 Johtopäätökset

Tässä opinnäytetyössä käytettyjä vaatetuskokonaisuuksia oli yhteensä 10 kappaletta. Jokainen vaatetuskokonaisuus poikkesi toisestaan ympärysmittojen, ilmakerrosten ja lämmöneristävyyksien osalta. Tulokset osoittavat, että selkeästi muutamat vaatetuskokonaisuudet olivat lämmöneristävyyden ja ilmakerrosten osalta parhaat vaihtoehdot lämpönuken yllä.

7.4.1 Ympärysmittojen väliset erot

Vaatetuskokonaisuuksien ympärysmittojen välisiä eroja kuvaa kuvio 18, josta voidaan huomata hyvin selkeästi eri vaatetuskokonaisuuksien välillä olevia eroavaisuuksia. Kuvios- ta hahmottaa selkeästi myös vaatetuskerrosten väljyydet, jotka kuvaavat hyvin sitä, kuinka sopiva kukin vaatetuskokonaisuus on ollut lämpönukelle puettuna. Sopivimmat vaatetus-

kokonaisuudet lämpönukelle näyttäisivät kuvion perusteella olevan vaatetukset 3 ja 6, koska pylväävät ovat jakautuneet tasaisimmin näissä kahdessa kokonaisuudessa. Näissä molemmissa kokonaisuudessa välivaatekerroksen koko on M ja päällysvaateen koot ovat 50 ja 52.

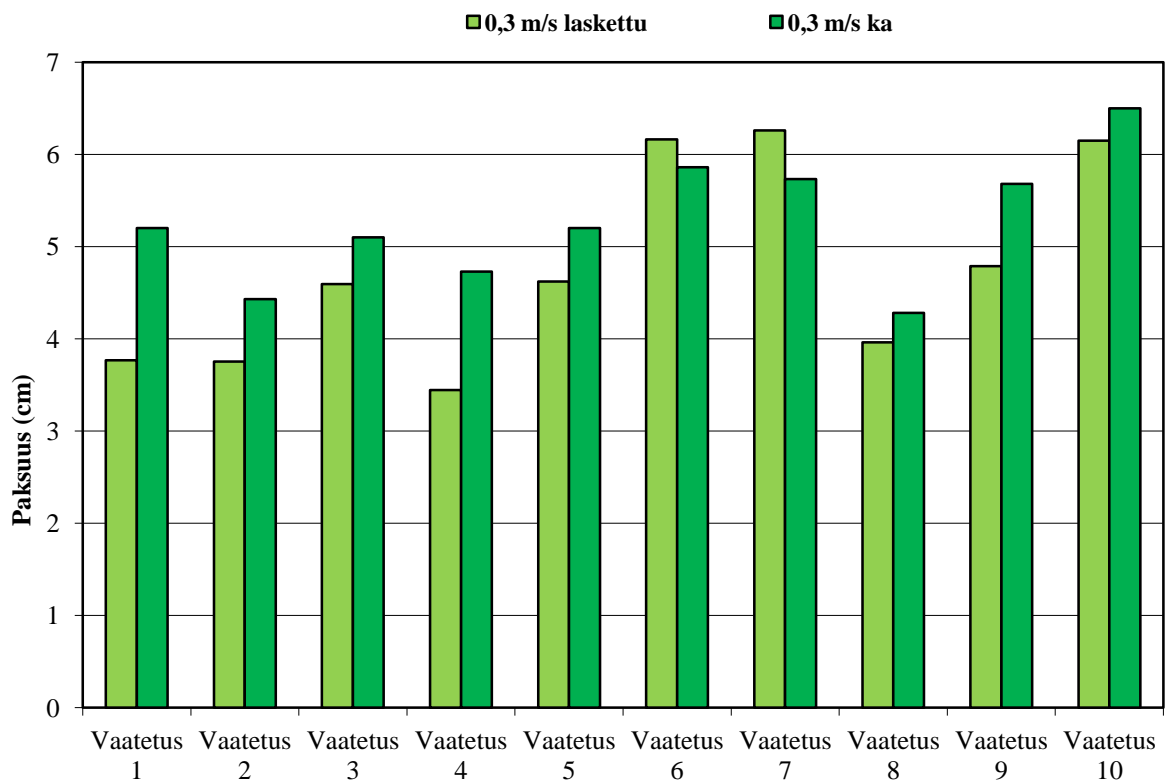


KUVIO 18. Vaatetuskokonaisuuksien ympärysmittojen erot vyötärön pisteellä

Samankaltainen kaavio reiden pisteen ympärysmitoista löytyy liitteestä 4, ja sen perusteella vaatetusten 3, 4 ja 7 koossa pylväävät ovat jakautuneet tasaisimmin vaatekerrosten välillä. Voidaan myös huomata väljyyttä olevan enemmän välivaateen ja päällysvaateen välillä, mikä on hyvä, sillä housuihin tarvitaan väljyyttä, jotta kävely ja istuminen olisivat vaatteiden ansiosta mukavampaa.

7.4.2 Ilmakerroksen ja lämmöneristävyyden vertailu

Ilmakerroksen määrittämiseen käytettiin mittaamista ja laskennallista menetelmää. Kuvio 19 kuvailee näistä kahdesta menetelmästä saatujen tuloksien eroavaisuuksia vyötärön pisteellä. Arvot ovat ihon ja päällysvaatekerroksen välisiä ilmakerroksia tyynessä, kuten aiemmin taulukossa 11 on esitetty. Tummemman vihreällä olevat pylväät ovat mitatuista arvoista otettuja keskiarvoja ja vaalean vihreällä olevat pylväät ovat laskennallisella menetelmällä saatuja arvoja.



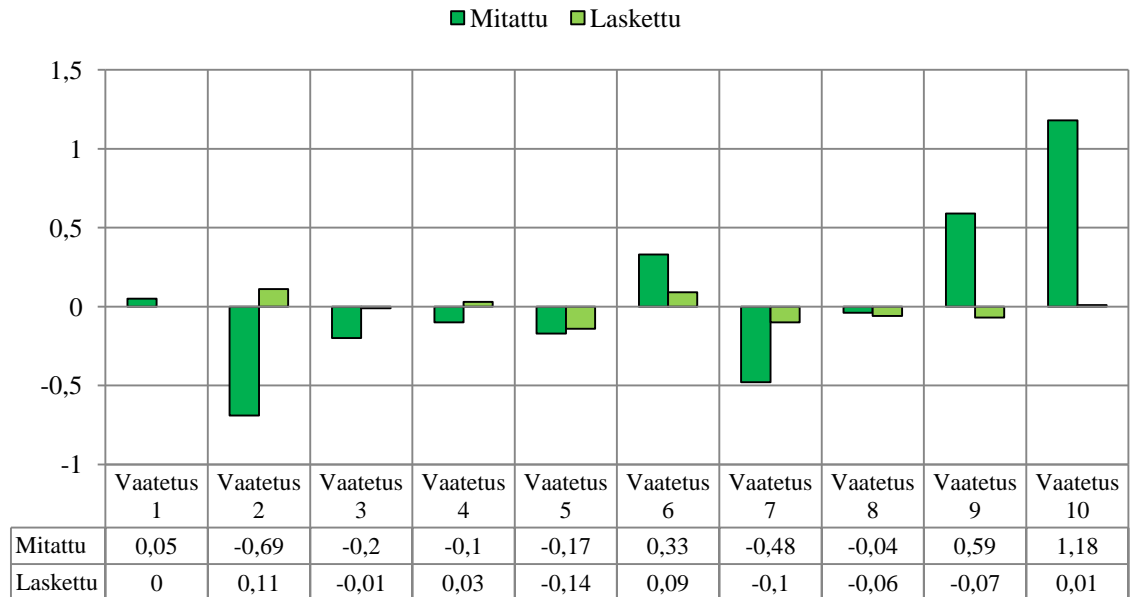
KUVIO 19. Mitattujen ja laskettujen ilmakerrosten arvojen eroavaisuuksia

Eri vaatetuskokonaisuuksien kohdalla näiden kahden menetelmän avulla saaduissa arvoissa on eroa, mikä voi johtua mitattujen arvojen epätarkkuudesta ja siitä, että mittoja ei ole pysytty ottamaan tarpeeksi monesta kohdasta, jotta keskiarvo saataisiin tarkemmaksi. Laskennallisella menetelmällä laskettaessa ilmakerroksen paksuuteen on huomioitu vaatekerroksen paksuus sekä laskennassa on käytetty ympärysmittoja. Kaavion perusteella huomataan, että mitatut ilmakerroksen arvot ovat pääosin korkeampia kuin laskennallisin menetelmin saadut arvot. Mitatut arvot ovat keskimäärin 14 prosenttia suurempia kuin lasketut arvot. Mitattuja ja laskennallisia arvoja voidaan tulkita eri näkökulmasta. Mitattujen arvo-

jen avulla on voitu määrittellä vaatetuksessa ilmakerroksen sijoittuminen tuulen vaikutuksessa, ja sitä ei ole voitu laskennallisella menetelmällä määrittää. Laskennallisia arvoja voidaan käyttää hyvin vertailussa.

Ilmakerroksen paksuudet mitatuilla ja lasketuilla arvoilla näkyvät liitteessä 5. Selkeästi voidaan huomata, että mitatut ilmakerroksen paksuudet tyynessä ja tuulessa ovat korkeampia arvoiltaan niin kuin eroavaisuuksiltaan. Lasketut ilmakerroksen arvot tyynessä ja tuulessa ovat matalampia ja myös eroavaisuudet ovat pienempiä, jolloin selkeästi parhaimpia vaihtoehtoja ei voida osoittaa tällä keinolla kovin selkeästi. Molempien menetelmien osalta voidaan osoittaa monta hyvää vaihtoehtoa, muttei selkeästi yhtä parasta. Mitatuista vyötärön pisteen arvoista voidaan osoittaa, että loogisesti ja vähäisesti ilmakerroksen paksuus on muuttunut tuulessa vaatetuksissa 3,4,5 ja 8 ja reiden pisteellä vaatetuksissa 4, 5 ja 6. Lasketuista arvoista taas voidaan osoittaa suurin osa hyviksi vaihtoehtoiksi. Eroavaisuudet ovat kuitenkin niin pieniä tyynen ja tuulen arvojen välillä, että ne ovat vähemmän todellisuuteen pohjattavissa kuin mitatut arvot. Lasketuista vyötärön pisteen arvoista voi selkeästi kuitenkin erottaa päällysvaatetuksen koon vaikutus ilmakerroksen paksuuksiin. Lasketuissa reiden pisteen ilmakerroksen paksuuksissa tämä ilmiö voidaan huomioida vähäisempänä.

Tuulen vaikutusta ilmakerroksen paksuuteen vyötärön pisteellä kuvaa aiemmin esitetty taulukko 11. Eroavaisuudet tyynen ja tuulen välillä on vaihtelevia. Joidenkin vaatetuskonaisuuksien kohdalla näyttäisi (KUVIO 20), että tuuli olisi lisännyt ilmakerroksen paksuutta. Mitatun ja laskennallisen menetelmän välillä huomataan myös eroja, kun on laskettu ilmakerrosten tuulen ja tyynen erotus sekä mitattujen että laskettujen ilmakerrosten arvojen välillä. Esimerkiksi vaatetuksen 2 kohdalla mitatun ilmakerroksen muutoksen arvo on negatiivinen ja laskettu arvo positiivinen. Samantapainen ilmiö on myös vaatetuksien 4 ja 9 kohdalla. Tähän vaikuttavat edellä kerrotut menetelmien väliset erot. Karkeasti voidaan kuitenkin kaavion perusteella nähdä, että tuuli on vaikuttanut vähiten ilmakerroksen paksuuden muutokseen tuulessa vaatetuksessa 1, 3, 4, 5 ja 8.



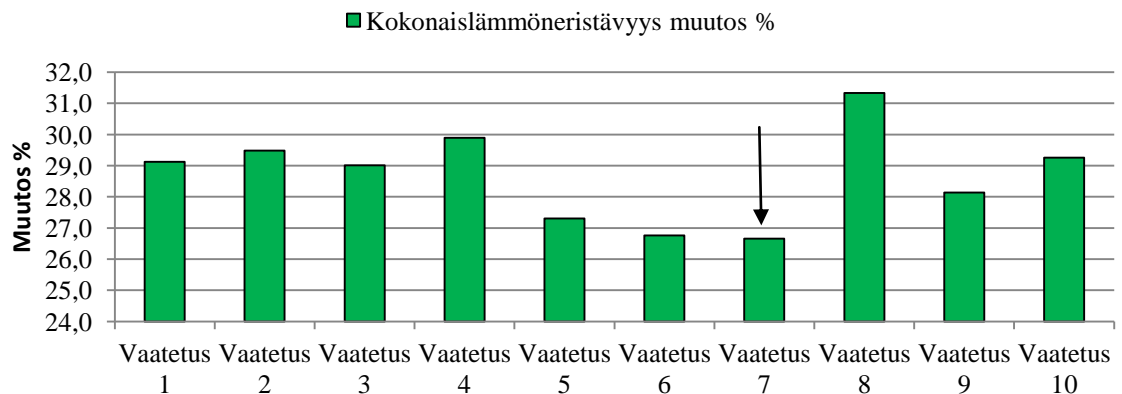
KUVIO 20. Tuulen vaikutus ilmakerrosten paksuuksiin vyötärön pisteellä

Tuulen vaikutus ilmakerrokseen (LIITE 6) on ollut hieman erilaista reiden pisteellä kuin vyötärön pisteellä. Mitattujen ja laskettujen arvojen välillä on eroja, mutta kuviosta voidaan huomata, että vaatetuksien 2, 5, 6 ja 7 ilmakerrosten muutokset ovat olleet vähäisimpiä.

Mitattuja arvoja on käytetty kuvaamaan ilmakerroksen sijoittumista tuulen vaikutuksesta vyötärön pisteellä. Mitattujen arvojen avulla on voitu osoittaa, kuinka ilmakerroksen paksuus muuttuu (LIITE 7) edessä ja takana tuulen vaikutuksesta. Vaatetuksessa 1 on puettu pienin päällysvaate kokoa 48, josta voidaan huomata, ettei päällysvaate pussitu taakse vaan eteen ja oletuksena myös sivuille. Tämä ilmiö johtuu siitä, että vaate on niukka lämpönuken yllä, jolloin sillä ei ole tuulen vaikutuksesta juurikaan varaa lähteä pussittumaan taakse. Vaatetuksen 2 edestä ja takaa otetut arvot ovat negatiivisia, jolloin vaate ei ole pussittanut kummallekaan puolelle vaan ilmeisesti sivuille niin kuin vaatetus 1 on osaltaan tehnyt. Vaatetuksessa 10 taas ilmakerroksen paksuus on tuulen vaikutuksesta lisääntynyt, jolloin vaatetus on jo liian suurta lämpönuken yllä ja tuulen ilmavirta pääsee vaatetuksen sisälle hormiefektin korostuttua. Muissa vaatetuskokonaisuuksissa edessä oleva ilmakerros litistyy tuulen vaikutuksesta ja takana oleva ilmakerros kasvaa. Vaatetuskokonaisuuksissa 3, 4 ja 7 kuvion perusteella voidaan olettaa, että ilmakerros jakaantuu tasaisimmin, koska takaosan ilmakerros ei kasva suhteessa niin paljon kuin

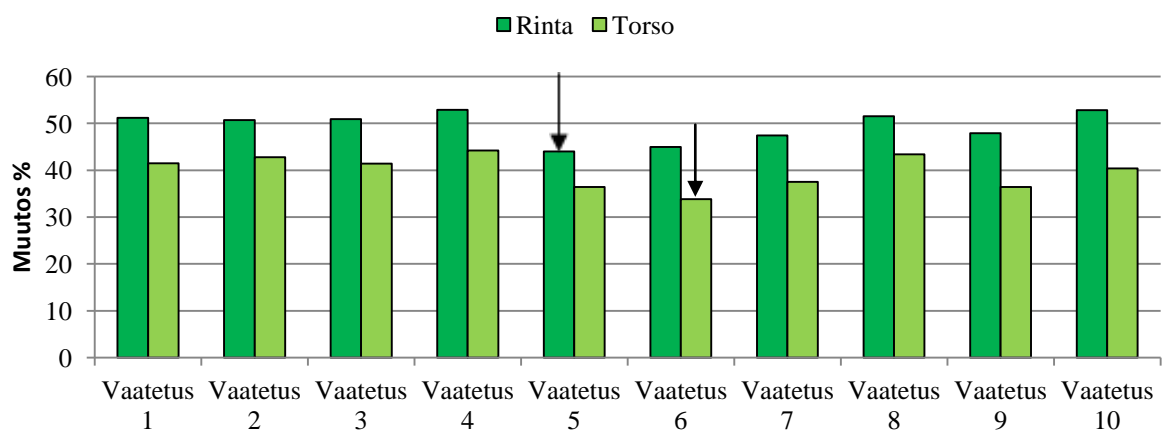
etuosan ilmakerros litistyy. Muissa vaatetuskokonaisuuksissa selkeästi edessä oleva ilmakerros siirtyy lähestulkoon taakse tuulen vaikutuksesta.

Lämmöneristävyys on laskenut tuulen vaikutuksesta (KUVIO 21) vähiten vaatetuksessa 7 ja seuraavaksi vähiten vaatetuksissa 5 ja 6. Näissä kaikissa vaatetuskokonaisuuksissa päällysvaateen koko on 52, ja parhaassa kokonaislämmöneristävydessä on ollut välivaateen koko XL.



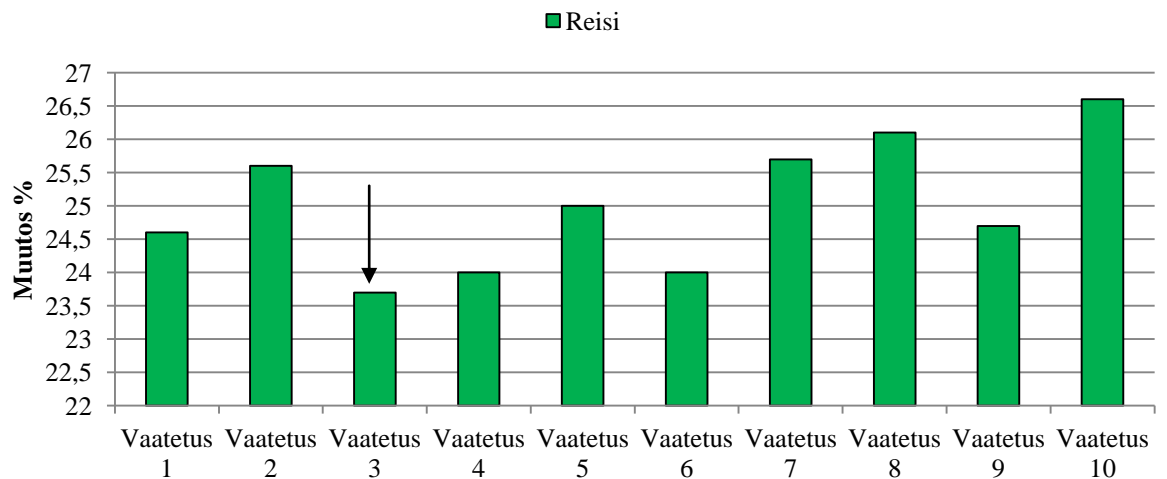
KUVIO 21. Tuulen vaikutus kokonaislämmöneristävyksiin

Lämmöneristävyden muutoksia tarkasteltaessa (KUVIO 22) huomataan, että rinnan alueella vähiten muutosta on tapahtunut vaatetuksen 5 kohdalla, muissa vaatetuskokonaisuuksissa erot ovat suuremmat. Torson alueella tuulen vaikutuksesta vähiten muutosta on tapahtunut vaatetuksen 6 kohdalla, jonka jälkeen kaikkien muiden vaatetuskokonaisuuksien lämmöneristävyden muutokset ovat korkeampia.



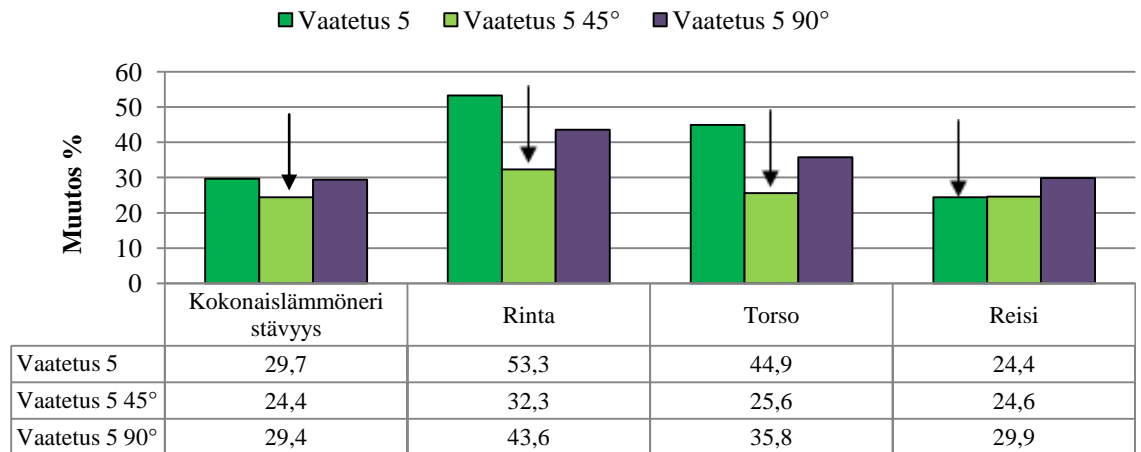
KUVIO 22. Tuulen vaikutus lämmöneristävyksiin rinnan ja torson alueella

Reiden kohdalla huomataan (KUVIO 23), että vähiten lämmöneristävyys on laskennut vaatetuksen 3 kohdalla. Seuraavaksi vähiten se on laskennut vaatetuksien 4 ja 6 kohdalla. Kaikkien muiden vaatetuksien kohdalla muutokset lämmöneristävyksissä ovat selkeästi korkeampia.



KUVIO 23. Tuulen vaikutus lämmöneristävyksiin reiden alueella

Tuulen suunnan vaikutus lämmöneristävyksiin (KUVIO 24) voidaan huomata kuviosta selkeästi. Lämmöneristävyksien muutokset tuulen vaikutuksesta on ilmoitettu kokonaislämmöneristävytenä rinnan, torson ja reiden kohdalla. Kuviosta voidaan selkeästi huomata, että kun lämpönukke oli asetettu 45 asteen kulmaan tuuleen nähden, tuulen vaikutus on ollut vähäisintä kokonais-, rinnan ja torson lämmöneristävyksissä. Ainoastaan reiden pisteellä 0 asteen kulmaan asetetun lämpönukan lämmöneristävyden muutos on ollut vähäisintä, mutta eroa 45 asteen kulmassa olleen lämpönukan reiden lämmöneristävyden muutokseen on ainoastaan 0,2 prosenttia. Tämä osoittaa sen, että tuulen vaikutus on vähäisintä, kun ollaan 45 asteen kulmassa tuuleen nähden.



KUVIO 24. Tuulen suunnan vaikutus lämmöneristävyyksiin

Ilmakerroksen paikka 45 asteen kulmassa olleella lämpönukella muuttui selkäpuolelta etupuolelle vyötärön pisteellä tuulen vaikutuksesta. Eristävä ilmakerros on ollut sopivan paksuinen parhaan lämmöneristävyyden säilyttämiseksi.

7.4.3 Yhteenveto

Ilmakerrosten määrittämisessä ja lämmöneristävyyksistä saatiin hyvin monipuolista tietoa. Ylävartalon alueella tuulen vaikutuksesta tapahtuneet muutokset ilmakerroksen paksuudessa ja lämmöneristävyyksissä ovat moninaisia. Ympärysmittojen perusteella vyötärön pisteellä vaatetuskerrokset olivat jakautuneet parhaiten vaatetuksissa 3 ja 6. Näissä vaatetuskokonaisuuksissa välivaatetuksen koko on ollut M ja päällysvaateen koot ovat olleet 50 ja 52. Reiden pistellä vaatetuskerrosten ympärysmitat olivat parhaiten jakautuneet vaatetuksien 3, 4 ja 7 kohdalla. Vaatetuksen 3 ympärysmittojen jakautuminen oli siis sama ainoastaan vyötärön ja reiden pisteillä. Reiden pisteellä vaatetuskokonaisuus 4 on kuitenkin lähimpänä vaatetusta 3, koska niissä on samat päällysvaatetuksen koot 50, ainoastaan välivaatetuksen koot eroavat. Sama tilanne on myös parhaiten jakautuneen vyötärön pisteen vaatetuksen 6 ja reiden pisteen suotuisan vaatetuksen 7 kohdalla, joissa päällysvaatetuksen koot ovat olleet 52. Näissä tapauksissa voidaan päätellä, että välivaatetuksen koko M ja XL sekä päällysvaatetuksen koot 50 ja 52 ovat olleet lämpönukan yllä sopivimpia.

Kun lähdettiin sitten tarkastelemaan suotuisinta ilmakerroksen paksuutta vyötärön ja reiden pisteellä, tuli huomioida mitatun ja laskennallisen menetelmän eroavaisuudet ilmakerroksen paksuutta määriteltäessä. Mitattujen arvojen kohdalla huomattiin, että vaatetuksien 3, 4, 5 ja 8 ilmakerrokset olivat muuttuneet vähiten tuulen vaikutuksesta (LIITE 5) (KUVIO 20). Vaatetuksissa 3 ja 4 päällysvaateen koko oli 50, vaatetuksessa 5 päällysvaateen koko oli 52 ja vaatetuksessa 8 päällysvaateen koko oli 56. Reiden pistettä tarkasteltaessa ilmakerroksen paksuudet olivat muuttuneet vähiten vaatetuksissa 4, 5 ja 6 (LIITE 5). Vyötärön ja reiden pisteen tuloksista huomataan hieman eroavaisuuksia ilmakerroksen paksuuden muutoksissa vaatetuskokonaisuuksittain. Tämä johtuu siitä, että ylä- ja alavartalon ilmakerroksen paksuuden muutoksia voidaan tulkita eri tavoin. Ylävartalon vaatetuksessa on enemmän väljyyttä ja alavartalon vaatetuksessa väljyys jakautuu lantiolle ja kahden jalan kesken, lähinnä reisien kesken.

Lopullista päätelmää mietittäessä suuri määräävä tekijä on lämmöneristävyysmittauksista saaduissa tuloksissa, koska tutkimuksen tarkoituksena on ollut löytää sopivin ja lämmittävin vaatetuskokonaisuus lämpönuken yllä. Kokonaislämmöneristävyyttä tarkasteltaessa huomattiin, että vähiten muutosta tuulen vaikutuksesta oli vaatetuksessa 7, jossa päällysvaateen koko oli 52 ja välivaateen koko XL. Vähäisimmät kokonaislämmöneristävyiden muutokset saatiin yleisesti, kun lämpönukelle oli puettu 52:n kokoinen päällysvaate. Kun sitten lähdettiin tarkastelemaan lämmöneristävyiden muutoksia rinnan, torson ja reiden alueilta, jotka parhaiten vastasivat vyötärön ja reiden mittauspisteiden kohtia, huomattiin kuitenkin eroavaisuuksia kokonaislämmöneristävyiden muutosta verrattaessa. Rinnan alueella tuulen vaikutus lämmöneristävyyteen oli vähäisintä vaatetuksessa 5 ja torson alueella vaatetuksessa 6 (KUVIO 22). Reiden alueella muutosta oli vähiten vaatetuksessa 3. Tässäkin tapauksessa voidaan huomata reiden ja keskivartalon alueen tuloksissa olevan eroavaisuuksia. Kaiken kaikkiaan tarkasteltaessa kokonaislämmöneristävyyttä ja ylävartalon lämmöneristävyysä voidaan huomata, että vähiten lämmöneristävyiden muutoksia on tapahtunut, kun lämpönukelle on puettu koon 52 päällysvaate sekä koon M tai XL välivaate.

Vähiten tuulen suunnan vaikutus vaikutti kokonaislämmöneristävyyteen sekä lämmöneristävyyteen rinnan, torson ja reiden alueilla, kun lämpönukke oli 45 asteen kulmassa tuuleen nähden. Ilmakerroksen paikka muuttui 45 asteen tuuliolosuhteista selkäpuolelta etupuolelle (KUVIO 16). 90 asteeseen asetetun lämpönuken lämmöneristävyiden muutokset olivat kaiken kaikkiaan suurempia kuin 0:n ja 45 asteen kulmaan asetettuna.

Lämmöneristävyyden ja ilmakerroksen paksuuden perusteella parhaimmat vaatekukset ovat edellisen vertailun perusteella ja yhtenevien muiden tulosten pohdinnan osalta eniten osu-neet kokoon 52, joiden alla välivaatetus on kokoa M tai XL. Tuulessa mitatun ilmakerrok-sen paksuus on näissä vaihtoehdoissa vyötärön pisteellä keskimäärin 5,3 cm mitattuna ja 4,7 cm laskettuna (TAULUKKO 11). Reiden pisteen ilmakerroksen paksuudet ovat olleet tuulessa mitattuina keskimäärin 3,3 cm ja laskettuina 2,7 cm (TAULUKKO 12). Päällys-vaatteen väljyys koossa 52 on 34,9 cm ja koon M välivaatteen väljyys 17,8 cm sekä näiden kahden väljyyden erotus 17,1 cm. XL kokoisen välivaatteen väljyys on 28,4 cm ja päällys-vaatteen väljyyden erotus vain 6,5 cm, joka merkittävästi vähemmän kuin M koon väli-vaatteen ja päällysvaatteen väljyyksien erotus. Tässä tapauksessa vaatekerrosten väliset ilmakerrokset ovat jakautuneet epätasaisesti verrattuna koon 52 vaatekukseen koon M väli-vaatteella.

Vaatetuksen koon ollessa 48 ja välivaatetuksen XS on tämä kokonaisuus ollut liian niukka lämpönuken yllä, jolloin vaatekukset ovat painaneet lämpöä eristäviä ilmaker-roksia kasaan alentaen täten lämmöneristävyyttä. Vaatekusten koko 50 on lämpönuken oma koko, mutta ilmakerroksen paksuus ja lämmöneristävyydet eivät ole antaneet parhain-ta mahdollista tulosta. Kun taas vaatekusten koko on ollut 56, on lämmöneristävyys myös alentunut, koska vaatekusten koko on jo liian suuri lämpönuken yllä ja hormiefekti korostuu vaatekusten aukkojen kautta. Välivaate XL myös korostaa hormiefektiä, koska ihon väli-nen ilmakerros on suuri ja se saa aikaan tämän koon välivaatetuksen liikkumisen ja eristä-vän ilmakerroksen tulevan pienemmäksi aukoista pääsevän liikkuvan ilman vaikutuksesta.

Lämmöneristävyyden arvot ovat olleet määräävinä tekijöinä parhaimpia vaihtoehtoja pun-nittaessa. Vaikka koon 50 päällysvaatekokonaisuudet olivat suuressa osassa pohdintaa, eniten yhtenevänä tekijänä lämmöneristävyyksien kanssa ovat olleet vaatekuskokonaisuu-det koon 52 päällysvaatteella sekä ylävartalon alueelta tehtyjen mittausten tulokset. Paina-vana tekijänä on ollut kokonaislämmöneristävyyden muutos tuulessa. Tämän voi huomata siitä, että ympärysmittoja ja ilmakerroksen paksuuksia tarkasteltaessa, on jokaisen vaihto-ehdokokonaisuuden kohdalla ollut vaatekuskokonaisuus koon 52 päällysvaatteella.

Tämän päätelmän pohjalta kaikista parhain vaatekuskokonaisuus lämpönuken yllä on ollut vaatekusten 6, jossa alusvaatekusten koko on S, välivaatekusten koko M ja päällysvaatekusten koko 52.

Lämpönuken koko on aiemmin määritelty miesten Passeli-mittataulukkoa apuna käyttäen normaalivartaloisten taulukossa kokojen 48 ja 50 väliin rinnan- ja vyötärönympäryksen perusteella. Tämän tiedon perusteella voidaan huomata, että päällysvaateen ja välivaateen koko on ollut (TAULUKKO 9) M/52-kokoa, joka on noin 1 koon suurempi kuin lämpönukelle määritelty koko.

7.5 Ohjeistus

Tuloksen pohjalta voidaan soveltaa käytäntöön yleisesti tutkimuksen avulla saatua tietoa. Elämysmatkailijan ja työntekijän tulee työssään ottaa huomioon tilanteen vaatimat olosuhteet, kuten sää, tuuli, vesisade ja pakkanen. Tärkeintä on valita vartalolleen oikeanlainen ulkoiluvaatetuksen malli, joka ei purista, pussita liikaa jostakin kohdasta tai ole liian iso tai pieni kooltaan. Kerrospukeutumisen sääntöjä on hyvä noudattaa kylmällä säällä liikuttaessa. Alimman vaatekerroksen tulee olla ihon myötäinen, joustavaa ja nopeasti kuivuvaa teknistä kangasta kuten polyesteriä tai polypropeenä. Välivaatetusta on suositeltavaa käyttää yhtenä tai useampana kerroksena, erityisesti jos hikoillaan paljon, on kylmä sää tai kylmä viima vaikuttaa vartaloon esimerkiksi moottorikelkkailun tai kovan vauhdin seurauksena. Välivaatetuksen tarkoitus on siirtää kosteutta pois iholta, jolloin ideaalisia materiaaleja ovat esimerkiksi villa ja mikrokuitufleece. Välivaatetuksen koon tulisi tämän tutkimuksen perusteella olla yhtä kokoa suurempi kuin oma koko on, jolloin saadaan alusvaate- ja välivaatekerroksen väliin luotua lämpöä eristävä ilmakerros, mikroilmasto.

Päällysvaate täydentää kylmältä suojaavan vaatetuskokonaisuuden ja suojaa ulkoisilta tekijöiltä, jotka vaikuttavat lämmöneristävyyteen ja lämpömukavuuden tuntemiseen. Valittaessa oikeanlaista päällysvaatetta tulee ottaa huomioon, mihin tarkoitukseen se tulee. Jos asukokonaisuus on tarkoitettu esimerkiksi vaellusvaatetuksiksi, tulee päällysvaatetta valittaessa ottaa huomioon ihmisen liikkeestä aiheutuva pumpppausefekti, jossa vaatetuksen sisällä oleva ilma lähtee kiertämään sen sisällä. Liiallinen ilmankierto vaatteiden sisällä ei ole hyvästä, koska se alentaa lämmöneristävyyttä sekä myös hikoilukosteuden siirtymistä seuraaviin vaatetuksen kerroksiin saaden vaatteet tuntumaan kylmiltä. Huomioon otettavaa on myös hormiefektin vaikutus, jossa vaatetuksen aukoista, kuten kaulasta, hihoista, lahkeista ja ilma-aukoista, vaatetuksen sisällä oleva ilma vaihtuu. Tämä ilmiö on hyvä erityisesti kylmässä tapahtuvasta hikiliikunnassa, mutta myös kaikenlaisessa kylmältä suojaavassa

vaatetuksessa. Hormiefekti kuitenkin tehostuu päällysvaatetuksen ollessa kooltaan liian suuri käyttäjälleen, jolloin sen tuuletusominaisuudet ovat vähemmän edullisia.

Lisäksi on huomioitava liikkeet, kuten istuminen tai repun kantaminen, jotka osaltaan painavat ilmakerroksia kasaan. Jos päällysvaate on liian suuri, aiheuttaa se kömpelyyttä käyttäjälleen, koska vaatteen osat hankaavat toisiaan vasten ja voivat esimerkiksi aiheuttaa enenaikaisen rikkoutumisen jäädessään johonkin kiinni tai kaatumisen seurauksena. Pieni päällysvaate rajoittaa liikkeitä, koska se kiristää eikä salli käyttäjälleen vapaata liikettä. Yleisenä neuvona voisi sanoa, että kun päällysvaate antaa tarpeeksi periksi liikkeitä tehtäessä, ei purista tai paljasta liikaa arkoja ruumiin alueita kuten alaselkää tai kaulan aluetta, on se hyvä käyttäjälleen. Vaatevalmistajien kokojen väljyyksissä on eroa, jolloin kokeilemalla eri kokoja voidaan löytää sopiva ja lämmin päällysvaate. Tutkimuksen tuloksen pohjalta kannattaa lähteä sovittamaan omaa kokoa yhtä kokoa isompaa päällysvaatetta yhdessä tarvittavan alus- ja välivaatetuksen kanssa.

Päällysvaatteen materiaalit määräytyvät myös osaltaan tarkoituksen mukaan. Esimerkiksi moottorikelkkailijan vaatetuksessa on hyvä, että takamukset ja polvet ovat vahvistettuja, jotta ne eivät kuluisi heti käytössä rikki. Päällysvaatteen materiaalin tulee suojata tuulelta, kosteudelta ja sateelta, mutta sen tulee olla hengittävä ja siitä on löydettävä hyvät ratkaisut, jotta ilmanvaihto hormiefektin ansioista toimisi mahdollisimman optimaalisesti. Kylmältä suojaavassa päällysvaatteessa tulee olla myös vuori, joka osallistuu lämmöneristävyyteen.

8 POHDINTA

Opinnäytetyön tarkoituksena oli löytää optimaalisin koko ilmakerroksen paksuuden ja lämmöneristävyuden kannalta lämpönukelle puettujen vaatetuskokonaisuuksien kautta ja peilata tulosta käytäntöön. Saatuja tietoja on tarkoitus hyödyntää Työterveyslaitoksen MatkaSuTu-hankkeessa elämysmatkailijan ja matkailutyöntekijän pukeutumisen näkökulmasta. Juuri tämän kaltaista tutkimustyötä ei ole toteutettu, mutta samantapaisia tutkimuksia lämmöneristävyyksistä ja ilmakerroksista on julkaistu muutamia.

Opinnäytetyö tarjosi paljon haastetta, mikä teki aiheesta mielenkiintoisen tutkia alusta loppuun saakka. Teoriaosuudessa erityisesti vaatetusfysiologian osuus oli haasteellinen, koska aiheesta ei ole paljoa kirjallisuutta ja ne muutamat luotettavat lähteet, josta on saatavilla, sisältävät aika pitkälti samaa asiaa. Kerrospukeutumisen lähdeaineisto oli myös varsin niukka, ja tietoa löytyi samoista lähteistä kuin vaatetusfysiologiassa. Kaiken kaikkiaan teoriaosuus rakentui hyvin tuoden kattavasti tietoa varsinaisen tutkimuksen pohjalle.

3D-bodyskannerilla skannatut otokset lämpönukan yllä olevista vaatetuskokonaisuuksista onnistuivat kaiken kaikkiaan hyvin. Haastetta otosten tutkimiseen toi se, että Anthroscan ohjelmiston tarjoamat ominaisuudet eivät varsinaisesti ole suunniteltu tämän kaltaisen tutkimuksen toteuttamiseen. Täytyi ensi etsiä, kokeilla ja opetella tutkimukseen tarvittavat ohjelmiston toiminnot, mikä hidasti merkittävästi työn etenemistä. Huomattiin myös, että määritetyltä rinnan mittauspisteeltä ei voitu ottaa luotettavia ympärysmittoja ja ilmakerroksen paksuuksia, jolloin päätettiin, että kaikki mittaukset tehdään vain vyötärön ja reiden pisteiltä.

Luonnollisesti skannauksessa tuli epätarkkuutta, mikä näkyi erityisesti tuotaessa otoksia päällekkäin ilmakerrosten paksuuksia määriteltäessä. Ohjelmalla jouduttiin etsimään joidenkin otosten kohdalla ohjelmiston koordinaatistoa apuna käyttäen oikea kohta, jotta kaikki vaatetuskerrokset sijoittuisivat mahdollisimman loogisesti vyötärön ja reiden pisteellä. Ympärysmittoja mitattaessa aluksi huomattiin, että ohjelman toiminto mittaa kuin normaali mittanauha ympärysmitan ja oikoen kaikkien vaatten poimujen päältä. Ympärysmittoja oikomatta mittaava toiminto kuitenkin lopulta löytyi ja työtä pääsi jatkamaan nopeasti eteenpäin.

Ympärysmitat otettiin tyynessä ja tuulessa olleesta otoksesta. Huomattiin, että joidenkin vaatetuskokonaisuuksien kohdalla ympärysmitat erosivat toisistaan hieman, vaikka todellisuudessa ympärysmitta vaatteessa ei muutu, oli tuuli kuinka kova tahansa. Eroavaisuudet saattoivat johtua ohjelmiston skannaustarkkuudesta sekä mittaustoiminnon tarkkuudesta. Tässä tapauksessa päädyttiin ottamaan molempien ympärysmittojen keskiarvo.

Ilmakerroksen paksuuksia määriteltäessä otettiin vaatekerrosten väliltä etäisyysmittoja tilanteen mukaan 6–10 eri kohdasta. Tutkimustuloksia tarkastellessani huomasin kuitenkin, että parempi vaihtoehto olisi ollut ottaa jokaiselta vyötärön ja reiden pisteeltä täysin samoista kohdista ja saman verran etäisyysmittoja, jotta näiden mittojen keskiarvo olisi saatu tarkaksi. Toisaalta sen mukaan, mikä vaatetuskokonaisuus kulloinkin oli kyseessä, aina ei ollut mahdollista ottaa samoilta kohdilta mittoja välivaate- ja päällysvaatekerroksen ollessa poikkileikkauksuvassa päällekkäin. Pääperiaate etäisyysmittoja otettaessa oli se, että mittoja saatiin ainakin edestä ja takaa, mutta mahdollisuuksien mukaan myös molemmilta sivuilta.

Ilmakerroksen paksuuden määrittämiseen otettiin mukaan laskennallinen menetelmä, jota oli aiemmin käytetty samankaltaisessa tutkimuksessa kuin tässä opinnäytetyössä. Laskennallinen menetelmä toi lisää tarkasteltavia lukuja, mutta toi hyvän vertailukeinon ilmakerrosten paksuuden tarkasteluun.

Haasteellista oli löytää paras ratkaisu ilmakerroksen paksuuden ja lämmöneristävyyden välillä. Vaatetuskokonaisuuksien välinen vertailu ei ollut helppoa. Hyviä vaihtoehtoja tuntui olevan koko ajan monia, mutta tarkasteltaessa kaikkia saatuja tuloksia kokonaisvaltaisesti huomasin tiettyjen välivaatteen ja päällysvaatteen kokojen toistuvan. Näiden päätelmien perusteella päädyin lopulliseen esitettyyn ratkaisuun, joka tämän tutkimuksen kautta saatiin.

Opinnäytetyötä tehdessäni nousi ajatus siitä, että liikkumaton lämpönukke ei anna lämmöneristävyydsmittauksissa tarpeeksi todelliseen tilanteeseen pohjattavia tuloksia. Lämmöneristävyydsmittaukset tehtiin kuitenkin myöhemmin liikkuvalla nukella, mutta tästä tutkimuksesta koottu aineisto ei sisälly opinnäytetyön tutkimuskenttään, koska liikkuvasta lämpönukkesta ei olisi voitu ottaa 3D-bodyskannerilla otoksia. Mielestäni opinnäytetyön

erilainen tapa tarkastella lämmöneristävyksiä ja ilmakerrosten paksuuksia 3D-bodyskannerin avulla toi mielenkiintoisen lisän tutkittaviin asioihin.

Tutkimuksen tuloksien kautta olisi hyvä tehdä tarkempaa ja selkeätä ohjeistusta vaatevalmistajille, sisäänostajille, jälleenmyyjille ja erilaisille välinevuokraajille siitä, miten ohjeistaa asiakasta löytämään oikeanlainen kylmältä suojaava vaate oikeanlaiseen tarkoitukseen. Tässä opinnäytetyössä annettiin jonkin verran ohjeistusta, mutta mielestäni ohjeistusta tulisi täsmentää käyttäjäkuntaakohtaisesti, koska selkeitä palvelevia ohjeistuksia ei löydy. Vaatevalmistajien olisi hyvä neuvoa, millaiseen ulkoilutarkoitukseen niiden mallistonsa soveltuvat. Sisäänostajien olisi hyvä tietää tuotteiden tarpeellisuus niiden valikoimiin ja tarvittaessa olla valmiita kertomaan myyjille lisää kylmältä suojaavien tuotteiden tarkemmista käyttötarkoituksista. Jälleenmyyjien ja liikkeiden on oltava tietoisia eri tuotteiden kokonumeroiden eroista ja soveltuvuuksista tiettyihin tarkoituksiin sekä myös oltava tietoisia vaatteen teknisistä ominaisuuksista. Välinevuokraajien tulisi tietää, millaista vaatetusta on hyvä käyttää esimerkiksi moottorikelkkailussa tai mönkijällä ajettaessa.

Kaiken kaikkiaan tämän opinnäytetyön tekeminen oli paitsi haasteellista myös erittäin palkitsevaa oppimisen kannalta. Opinnäytetyön tekeminen tuki ammattillista kasvuani ja toi itsevarmuutta omaan osaamiseen ja asiantuntemukseen. Vaatetusfysiologinen tutkimus 3D-bodyskannerilla tehtäessä tarjosi mielenkiintoisen haasteen, koska tällaista ei ole tehty isommassa määrin aikaisemmin. Opinnäytetyön tekeminen avasi ajatusmaailmani ja vahvisti entisestään haluani tutkia 3D-maailman saloja sekä vaatetusfysiologista tutkimusta. Huomasin opinnäytetyötä tehdessäni, että vaatetusfysiologian parissa työskentely tarjoaa monipuolisen, monitieteellisen ja laajan tutkimusalueen, jonka kautta voi oppia uudenlaisen tavan tarkastella maailman menoa.

LÄHTEET

- Antikainen T., Hurme M., Ilmarinen R., Mäkinen H. & Tammela E. 1996. Toimiva työ- ja suojavaatetus. Helsinki: Työterveyslaitos.
- Boncamper I. 2004. Tekstiilioppi. Kuituraaka-aineet. 2. korjattu painos. Hämeenlinna: Hämeenlinnan ammattikorkeakoulu.
- Chen Y., Fan J., Qian X., Zhang W. 2004. Effect of garment fit on Thermal insulation and Evaporative resistance. Textile research journal. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://trj.sagepub.com/content/74/8/742.abstract>. Luettu 18.4.2012
- Eberle H., Hermeling H., Hornberger M., Kilgus R., Menzer C., Werner R. 2007. Ammatina vaate. Helsinki: Werner Söderström Osakeyhtiö.
- Finatex. 2012. Miesten vaatetuksen mittataulukko 1988. Www-dokumentti. Saatavissa: http://www.finatex.fi/media/Passeli_miehet.pdf. Luettu 29.4.2012.
- Human Solutions. 2012. Www-dokumentti. Saatavissa: http://www.human-solutions.com/group/front_content.php?changelang=2&lang=2. Luettu 19.4.2012.
- Ilmarinen R., Lindholm H., Läärä J., Peltonen O., Rintamäki H. & Tammela E. 2011. Hypotermia. Kylmän haitat työssä ja vapaa-aikana. Helsinki: Työterveyslaitos.
- Invista. 2012. Cordura fabric. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.invista.com/en/brands/cordura.html>. Luettu 29.4.2012.
- ISO 7250-1. Basic human body measurements for technological design. Part 1: Body measurement definitions and landmarks. 2010. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.
- ISO 9920. Ergonomics of the thermal environment. Estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble. 2009. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.
- ISO 15831. Clothing. Physiological effects. Measurement of thermal insulation by means a thermal manikin. 2004. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.
- Jussila K. 2011. Kuvat. Työterveyslaitos.
- Lehtovirta, P & Nuutinen, K. 2000. 3D. 3D-sisältötuotannon peruskirja. Jyväskylä: Gummerus kirjapaino Oy.
- Lu J.-M., Wang J.J. 2008. Automated anthropometric data collection using 3D whole body scanners. Expert systems with applications 35 407-412. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095741740700259X>. Luettu 24.4.2012.
- Markula R. 1999. Tekstiilitieto. 9. uudistettu painos. Helsinki: Werner Söderström Osakeyhtiö.

Meinander H. 1980. Vaatetusfysiologia – käsitteet ja tärkeimmät tutkimusmenetelmät. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT).

Meinander H. 2010. Vaatetusfysiologia. Helsingin yliopisto. Internet-materiaali. Saatavissa: <http://www.helsinki.fi/~rkosken/vaatetusfysiologia1.pdf>. Luettu: 29.4.2012.

Nienstedt W., Hänninen O., Arstila A. & Björkqvist S. 2004. Ihmisen fysiologia ja anatomia. 15. painos. Helsinki: Werner Söderström Osakeyhtiö.

Niska P., Saharinen L. 2006. Moottorikelkkailijan opas. Helsinki: Liikennevirasto. Www-dokumentti. Saatavissa: http://www.liikenneturva.fi/www/fi/kuljettajien_jatkokoulutus/moottorikelkkailijat/Moottorikelkkailijan_opas.pdf. Luettu 18.4.2012.

Risikko, R & Mattila-Vesalainen R. 2006. Vaatteet ja haasteet. Helsinki: Werner Söderström Osakeyhtiö.

SFS-EN 342. Suojavaatetus. Suojaus kylmältä. 2004. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

Tikkanen S. 1998. Tuuleen & tuiskuun. Helsinki: Opetushallitus.

Työterveyslaitos. 2012a. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.ttl.fi/fi/tyoterveyslaitos/sivut/default.aspx>. Luettu 19.4.2012.

Työterveyslaitos. 2012b. Organisaatio. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.ttl.fi/fi/tyoterveyslaitos/organisaatio/sivut/default.aspx>. Luettu 19.4.2012.

Työterveyslaitos. 2012c. MatkaSuTu-hanke. Www-dokumentti. Saatavissa: http://www.ttl.fi/fi/tutkimus/hankkeet/matkailijan_ja_matkailualan_tyontekijan_suojautuminen_ja_turvallisuus/Sivut/default.aspx. Luettu 19.4.2012.

Työterveyslaitos. 2012d. Toimintakyky ja terveys. Www-dokumentti. Saatavissa: http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/lampoolot/kylmatyo/kylma_toimintakyky/sivut/default.aspx. Luettu 19.4.2012.

Työterveyslaitos. 2012e. Kylmä. Www-dokumentti. Saatavissa: http://www.ttl.fi/fi/tyoturvallisuus_ja_riskien_hallinta/henkilonsuojaimet/kaytto/suojavaatetus/kylmansuojavaatetus/Sivut/default.aspx. Luettu 19.4.2012.

3D Kuvat	
1	Ilman vaatteita
2	Alusvaate S
3	Alusvaate S +välivaate XS, 03 ja 8
4	Vaatetus 1
5	Vaatetus 1 tuuli
6	Alusvaate S + välivaate M, 03 ja 8
7	Vaatetus 2
8	Vaatetus 2 tuuli
9	Vaatetus 3
10	Vaatetus 3 tuuli
11	Vaatetus 4
12	Vaatetus 4 tuuli
13	Vaatetus 5
14	Vaatetus 5 tuuli
15	Vaatetus 6
16	Vaatetus 6 tuuli
17	Vaatetus 7
18	Vaatetus 7 tuuli
19	Alusvaate S + välivaate XL, 03 ja 8
20	Vaatetus 8
21	Vaatetus 8 tuuli
22	Vaatetus 9
23	Vaatetus 9 tuuli
24	Vaatetus 10
25	Vaatetus 10 tuuli
*** 26	Alusvaate S_välivaate XS_0_90
*** 27	Alusvaate S_välivaate XS_0_45
*** 28	Vaatetus 5_03ms_45
*** 29	Vaatetus 5_tuuli8_45
*** 30	Vaatetus 5_03ms_90
*** 31	Vaatetus 5_tuuli8_90
* 4	Vaatetus 2_03ms_2
* 4	Vaatetus 2_tuuli8_2
** 11	Vaatetus 4_03ms_2
** 11	Vaatetus 4_tuuli8_2
*** 13	Vaatetus 5_03ms_2
*** 13	Vaatetus 5_tuuli8_2

Pituusryhmä 182 ± 3 cm**Koko nro**

Tunnusmitat:

Pituus

Rinnan ympärys

Vyötärön ympärys

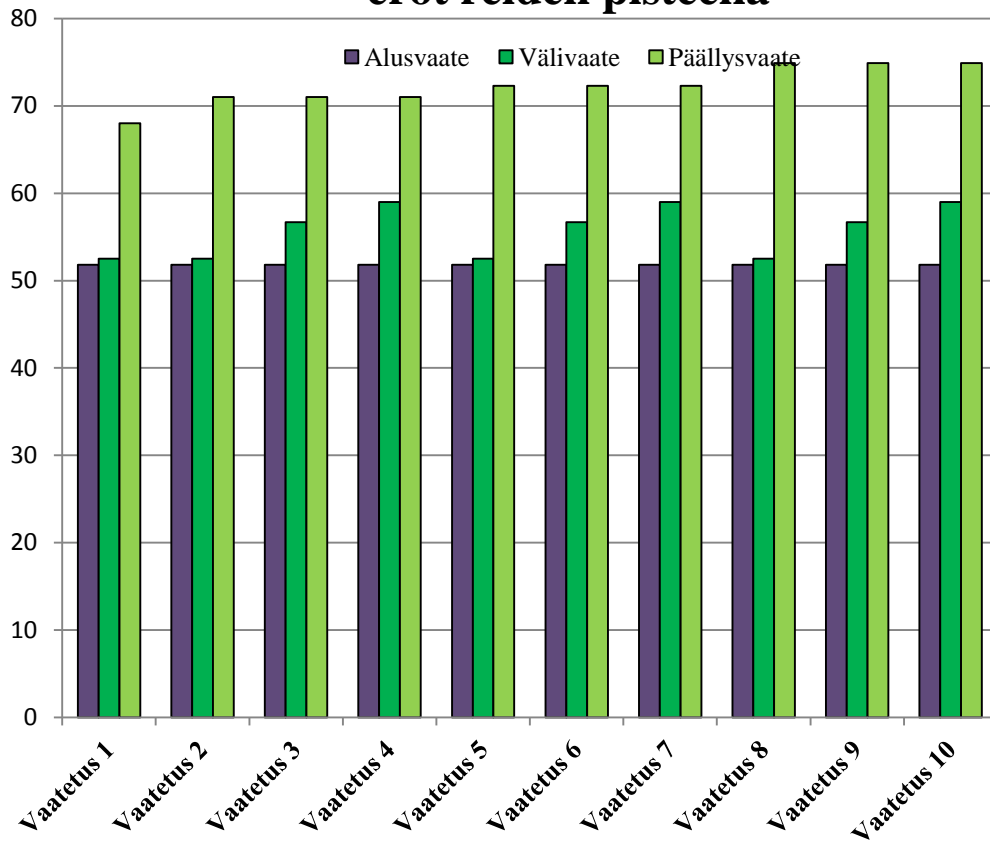
Lantion ympärys

Jalan sisäpituus

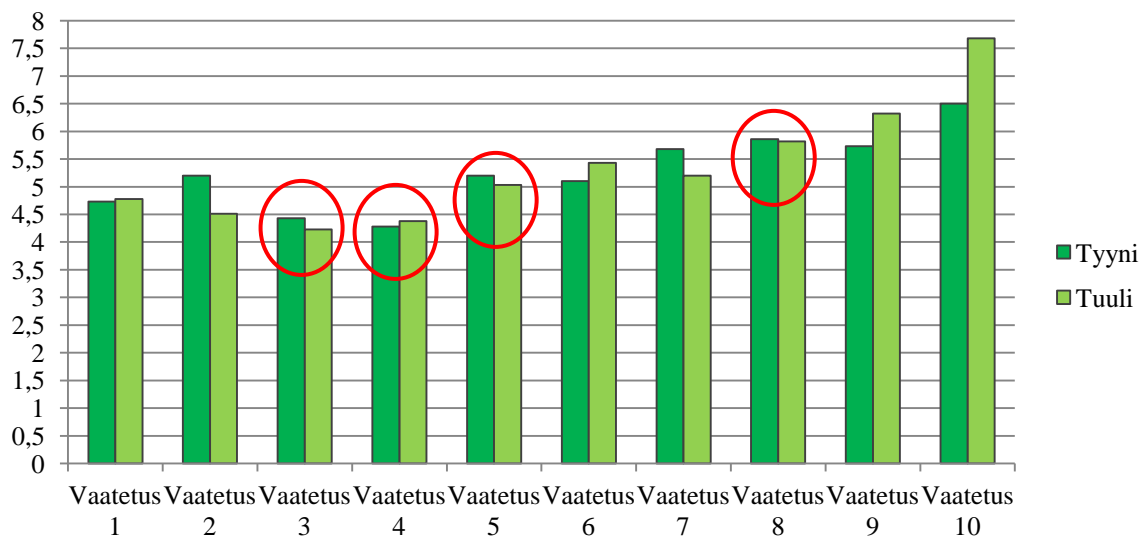
C144	C146	C148	C150	C152	C154	C156	C158	C160	C162
176	178	180	182	184	186	188	190	192	194
88	92	96	100	104	108	112	116	120	124
73	78	83	88	93	98	103	108	113	118
92	96	100	104	108	112	116	120	124	128
84	85	86	87	88	89	90	91	92	93

(clo)	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10
Alusvaate	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Välivaate	XS	XS	M	XL	XS	M	XL	XS	M	XL
Päällysvaate	48	50	50	50	52	52	52	56	56	56
Kokonaislämmöneristävyys tyyni 0,3 m/s	3,408	3,556	3,643	3,638	3,605	3,738	3,818	3,845	3,907	4,048
Kokonaislämmöneristävyys tuuli 8 m/s	2,415	2,507	2,586	2,550	2,621	2,738	2,744	2,640	2,865	2,864
Tuulen vaikutus	-0,992	-1,048	-1,057	-1,088	-0,985	-1,000	-1,074	-1,205	-1,042	-1,184
Rinta										
Lämmöneristävyys tyyni 0,3 m/s	3,521	3,660	3,870	3,664	3,634	3,696	3,667	3,743	3,902	3,934
Lämmöneristävyys tuuli 8 m/s	1,718	1,805	1,899	1,724	2,037	2,035	1,927	1,814	2,032	1,859
Tuulen vaikutus	-1,803	-1,855	-1,972	-1,940	-1,597	-1,661	-1,740	-1,929	-1,870	-2,076
Torso										
Lämmöneristävyys tyyni 0,3 m/s	3,492	3,589	3,710	3,558	3,640	3,705	3,728	3,699	3,903	3,919
Lämmöneristävyys tuuli 8 m/s	2,041	2,053	2,172	1,986	2,315	2,451	2,328	2,095	2,484	2,335
Tuulen vaikutus	-1,451	-1,536	-1,537	-1,572	-1,325	-1,254	-1,400	-1,604	-1,420	-1,584
Reisi										
Lämmöneristävyys tyyni 0,3 m/s	3,986	4,094	4,300	4,390	4,237	4,461	4,592	4,622	4,611	4,826
Lämmöneristävyys tuuli 8 m/s	3,007	3,046	3,279	3,335	3,178	3,392	3,410	3,416	3,472	3,541
Tuulen vaikutus	-0,979	-1,048	-1,021	-1,054	-1,059	-1,069	-1,181	-1,206	-1,139	-1,285

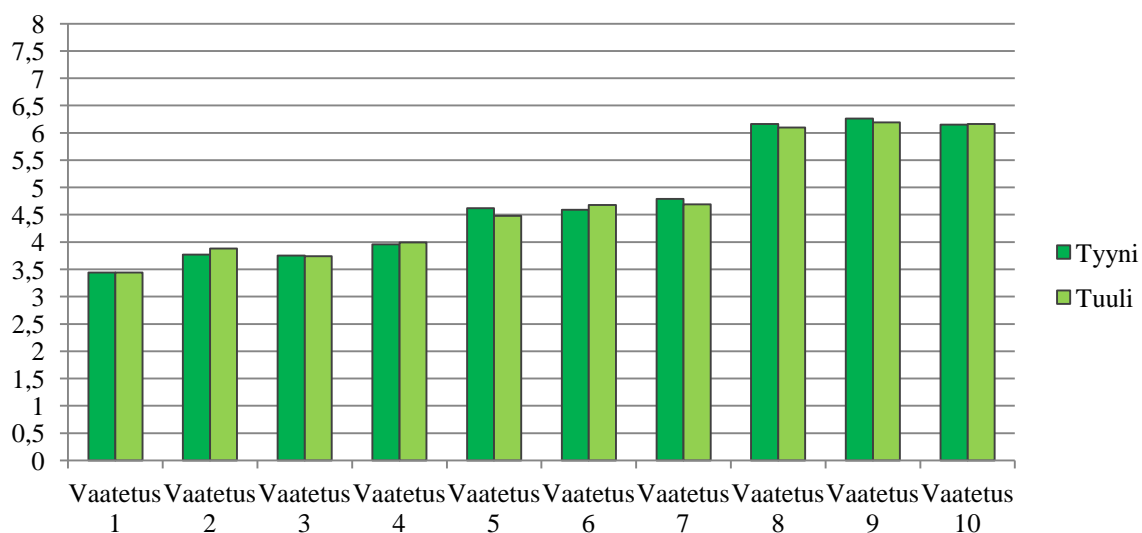
Vaaketuskokonaisuuksien ympärösmittojen erot reiden pisteellä



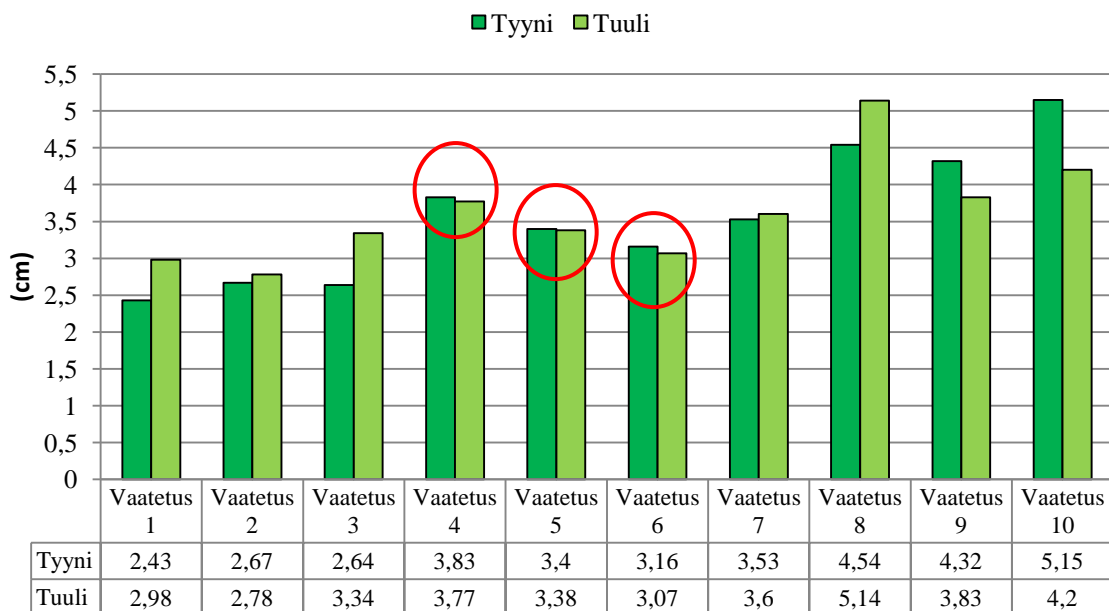
Mitatut ilmakerroksen paksuudet vyötärön pisteellä



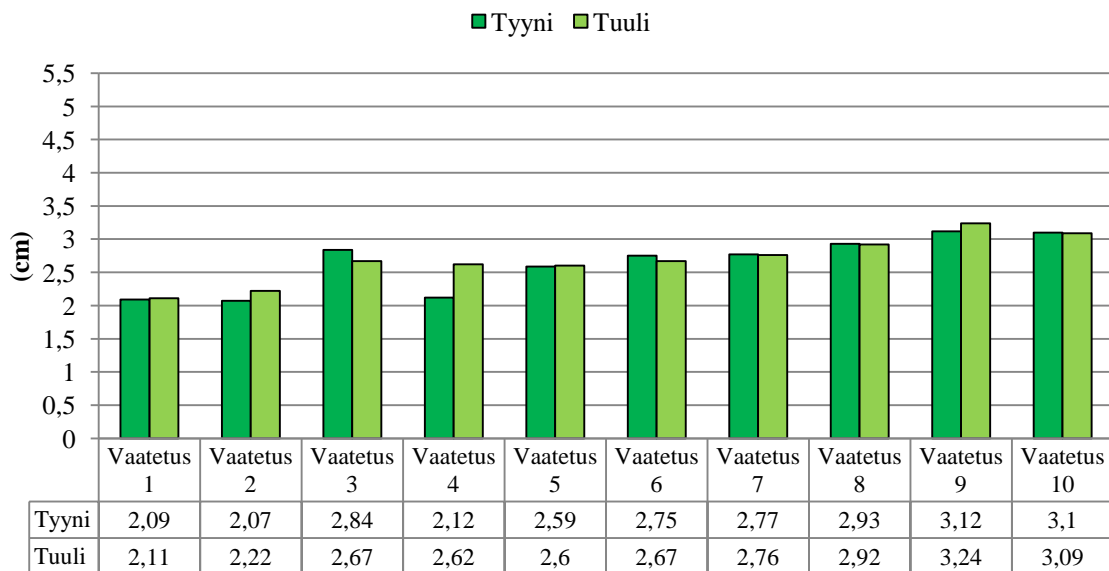
Lasketut ilmakerroksen paksuudet vyötärön pisteellä



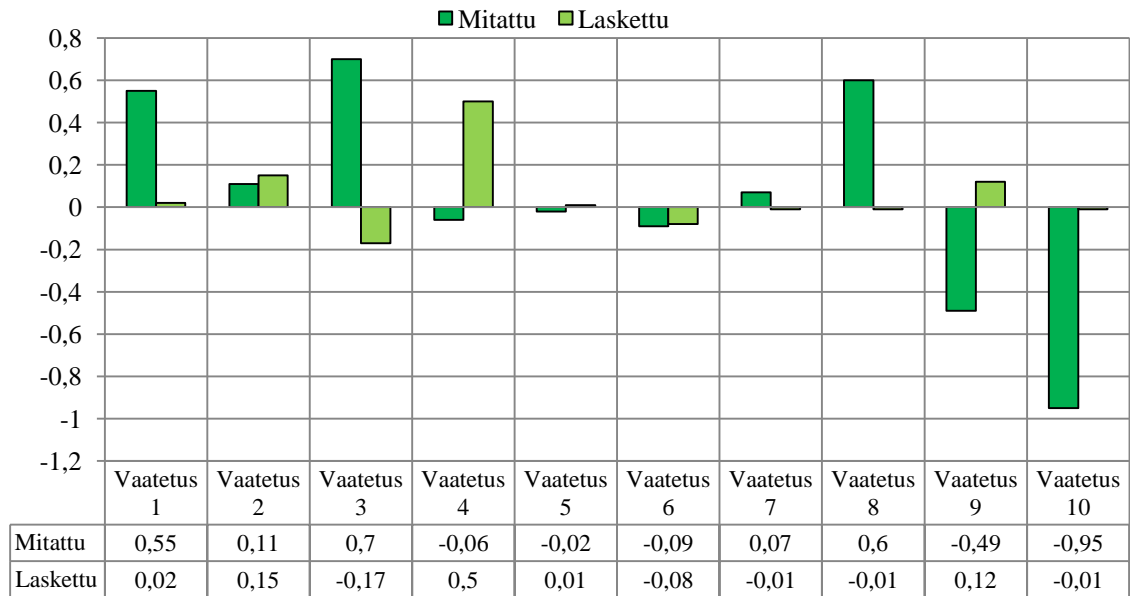
Mitatut ilmakerroksen paksuudet reiden pisteellä



Lasketut ilmakerroksen paksuudet reiden pisteellä



Tuulen vaikutus ilmakerrokseen reiden pisteellä



Tuulen vaikutus ilmakerroksen sijaintiin

