

**Harriet Meinander & Ralf Österlund**

# **Suojakäsineiden käyttömukavuus**

## **Tutkimus hikoilevalla kädellä**



# **Suojakäsineiden käyttömukavuus**

## **Tutkimus hikoilevalla kädellä**

### **HIKKÄSI-projektin loppuraportti**

Harriet Meinander & Ralf Österlund  
VTT Kemiantekniikka



ISBN 951-38-5013-7 (nid.)

ISSN 1235-0613 (nid.)

ISBN 951-38-5014-5 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)

ISSN 1455-0857 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)

Copyright © Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT) 1999

#### JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT), Vuorimiehentie 5, PL 2000, 02044 VTT  
puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 456 4374

Statens tekniska forskningscentral (VTT), Bergsmansvägen 5, PB 2000, 02044 VTT  
tel. växel (09) 4561, fax (09) 456 4374

Technical Research Centre of Finland (VTT), Vuorimiehentie 5, P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland  
phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 456 4374

VTT Kemiantekniikka, Materiaalitekniikka, Tekniikankatu 1, PL 1402, 33101 TAMPERE  
puh. vaihde (03) 316 3111, faksi (03) 316 3498

VTT Kemiteknik, Materialteknik, Tekniikankatu 1, PB 1402, 33101 TAMMERFORS  
tel. växel (03) 316 3111, fax (03) 316 3498

VTT Chemical Technology, Materials Technology,  
Tekniikankatu 1, P.O.Box 1402, FIN-33101 TAMPERE, Finland  
phone internat. + 358 3 316 3111, fax + 358 3 316 3498

Meinander, Harriet & Österlund, Ralf. Suojakäsineiden käyttömukavuus. Tutkimus hikoilevalla kädellä. HIKKÄSI-projektin loppuraportti [Comfort properties of protective gloves. Study with sweating hand. Final report of the project HIKKÄSI]. Espoo 1999, Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus, VTT Julkaisuja - Publikationer 837. 22 s. + liitt. 6 s.

**Avainsanat** clothing, protective clothing, gloves, properties, thermal insulation, water vapour, transmission, hands, sweating

## Tiivistelmä

Käsien lämpöviihtyvyys muodostaa erikoisongelman ihmisen henkilökohtaisessa suojauksessa. Kylmissä olosuhteissa käsien lämmöneristävyyden tarve saattaa nousta käytännössä mahdottomalle tasolle, ja lämpimissä olosuhteissa käsineet eivät saisi estää suurta lämmönluvutusta käsistä.

Käsineiden lämpöfysiologisten ominaisuuksien mittaamiseksi rakennettiin hikoileva käsi käyttäen samaa periaatetta kuin aikaisemmissa hikoilevissa laitteissa (sylinteri, jalka ja nukke). Kädellä mitattiin seitsemän kintaan muotoisen käsineen (kaksi kylmän-, kaksi kuuman- ja kolme kemikaalinsuojakäsineitä) lämmöneristävyyden ja vesihöyrynläpäisevyysominaisuudet hikoilutasoilla 0 ja 200 g/m<sup>2</sup> · h -15 °C pakkasessa.

Kuiva lämmöneristävyys oli kaikilla käsineillä melko korkea ( $R_c = 0,35\text{--}0,40$  m<sup>2</sup> · °C/W) ja laski hikoilumittauksessa 0,069–0,118 yksikköä, eniten kemikaalinsuojakäsineillä. Vesihöyrynluvutus oli keskimäärin näissä olosuhteissa kylmänsuojakäsineillä noin 25 %, kuumansuojakäsineillä noin 40 % ja kemikaalinsuojakäsineillä (luovutus käsineen suun kautta) noin 10 %.

Meinander, Harriet & Öserlund, Ralf. Suojakäsineiden käyttömukavuus. Tutkimus hikoilevalla kädellä. HIKKÄSI-projektin loppuraportti [Comfort properties of protective gloves. Study with sweating hand. Final report of the project HIKKÄSI]. Espoo 1999, Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus, VTT Julkaisuja - Publikationer 837. 22 p. + app. 6 p.

**Keywords** clothing, protective clothing, gloves, properties, thermal insulation, water vapour, transmission, hands, sweating

## Abstract

The thermal comfort of the hands is a special problem in the personal protection of humans. In cold environments the need for thermal insulation might be of a magnitude that is not practically possible, and in warm environments the gloves should not prevent a high heat loss from the hands.

A sweating hand was constructed for measurements of the thermophysiological properties of gloves, using the same principle as in the earlier sweating instruments (cylinder, foot and manikin). Seven mittens were tested (two cold protective, two heat protective and three chemical protective gloves), determining the thermal insulation and water vapour transmission at 0 and 200 g/m<sup>2</sup> · h sweating level in -15 °C ambient temperature.

The dry thermal insulation was relatively high for all mittens ( $R_c = 0,35\text{--}0,40 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$ ) and dropped in the sweating test 0,069–0,118 units, the highest drop being for the chemical protective mittens. The water vapour transmission was in these conditions approx. 25 % for cold protective mittens, 40 % for heat protective mittens, and 10 % for chemical protective mittens (transmission through the opening of the glove).

# Alkusanat

Hikoilevan käden rakentaminen ja koekäyttö toteutettiin VTT Kemiantekniikassa Työsuojelurahaston rahoituksella vuosina 1997–1998. Hanke oli jatkoa hikoilevan sylinterin, jalan ja nuken laitesarjaan, joita käytetään vaatekappaleiden ja -kokonaisuuksien lämmön- ja kosteudensiirto-ominaisuuksien mittaamiseen ja ihmisen lämpöviihtyvyyden arvioimiseen.

Alun perin yksivuotiseksi suunniteltu projekti venyi kahteen vuoteen erilaisten käytännön ongelmien takia.

Työtekniikko Unto Mäenpää on ollut päävastuussa hikoilevan käden rakentamisesta ja tutkija Ralf Österlund on hoitanut ohjaus- ja säätöosuuden. Tutkimusavustaja Anja Kesti on suorittanut laitteen sisäänajon eli koemittaussarjan. Erikois-tutkija Harriet Meinander on toiminut projektin johtajana ja kirjoittanut tämän raportin, lukuun ottamatta lukua 3, Hikoilevan käden rakentaminen, jonka on kirjoittanut Ralf Österlund.

Koesarjassa tutkitut käsi- ja jalat saatiin suomalaisilta yrityksiltä: Henry J. Hagström Ky, Viljanmaa ja Kumppani Ky, KE-Burgmann Finland Oy ja Jokamuovi Oy.

Kiitän kaikkia projektiin osallistuneita ja erityisesti johtaja Riitta-Liisa Lappeteläistä Työsuojelurahastosta, joka kärsivällisyydellä on odottanut projektin valmistumista.

Tampereella 8.1.1999

Harriet Meinander

# Sisällysluettelo

Tiivistelmä .....	3
Abstract .....	4
Alkusanat .....	5
1 Johdanto .....	7
2 Käsien lämpöviihtyvyys .....	8
2.1 Kädet osana ihmisen lämmönluovutusta .....	8
2.2 Kosteuden vaikutus lämpömukavuuteen .....	9
3 Hikoilevan käden rakentaminen .....	11
3.1 Mekaaninen rakenne .....	11
3.2 Ohjausjärjestelmä ja tulostus .....	13
3.2.1 Käden kalibrointi .....	13
4 Kokeellinen osa .....	15
4.1 Tutkitut käsineet ja koeolosuhteet .....	15
4.2 Koetulokset .....	16
5 Tuloksien tarkastelu .....	19
6 Yhteenveto .....	21
Kirjallisuusviitteet .....	22
Liite	

# 1 Johdanto

Suojakäsineet muodostavat olennaisen osan työntekijöiden henkilö-kohtaisesta suojauksesta. Käsineet suojaavat käsiä kylmältä, kuumalta, kemikaaleilta, mekaanisilta vaaroilta, säteilyltä, jne., vastaavasti kuin muut henkilökohtaiset suojaimet suojaavat muita vartalonosia. Käsien esteetön toiminta on olennainen monen työsuorituksen kannalta, ja usein vaaditaan sorminäppäryyttä, joka on ristiriidassa vaadittavan suojauksen kanssa. Lämpöfysiologian kannalta kädet muodostavat erityisalueen – kylmissä olosuhteissa ne jäähtyvät helposti ja kuumissa olosuhteissa ne lämpenevät ja niistä tapahtuu suuri lämmönluovutus, myös hikoilua.

Käsien - kuten koko vartalon - lämpömukavuus on tärkeää työn tehokkuuden ja yleisen työturvallisuuden kannalta. Tätä ei kuitenkaan yleensä huomioida suojakäsineiden valinnassa ja luokittelussa. Uusissa eurooppalaisissa suojakäsinestandardeissa yleinen standardi EN 420 mainitsee, että "missä käytännössä on mahdollista, käsineiden tulee sallia vesihöyrynläpäisyä" ja antaa nahkakäsineiden tavoitearvon  $2 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{h}$ . Jos taas vaadittava suojaustaso estää vesihöyrynläpäisyn, tulee nahkakäsineen vedenabsorption olla vähintään  $8 \text{ mg/cm}^2 \cdot 8 \text{ h}$  /5/. Kylmäsuojakäsineiden standardissa EN 511 lämmöneristävyys määritellään lämpimällä käsimallilla, jossa ei kuitenkaan huomioida hikoilun vaikutusta lämmöneristävyyteen ja käyttömukavuuteen /6/.

VTT Kemiantekniikka on pohjoismaisen yhteistyöprojektin puitteissa kehittänyt hikoilevan lämpönuken vaatetuskokonaisuuksien lämpömukavuusominaisuuksien tutkimiseksi. Nukke simuloi ihmisen lämmön- ja kosteudenluovutusta ja mittaa vaatteiden vaikutusta lämpö- ja kosteusvirtoihin erilaisissa ympäristö- ja rasiutilanteissa. Nuken pää, kädet ja jalkaterät eivät kuitenkaan laitek teknisistä syistä hikoile. Hikoilevaa nukkea on käytetty mm. Työsuojelurahaston rahoittamassa metsurien suojavaatetusprojektissa /7/. Samalla periaatteella on rakennettu hikoileva sylinteri materiaalimittauksia varten ja hikoileva jalka jalkinetutkimuksiin.

Nyt raportoitavan projektin puitteissa rakennettiin ja koekäytettiin hikoileva käsimalli. Laitetta voidaan käyttää erityyppisten käsineiden lämmöneristävyiden ja vesihöyrynläpäisevyyden ("hengittävyiden") mittaamiseksi käytännönläheisemmällä tavalla kuin standardien vaatimissa testeissä.



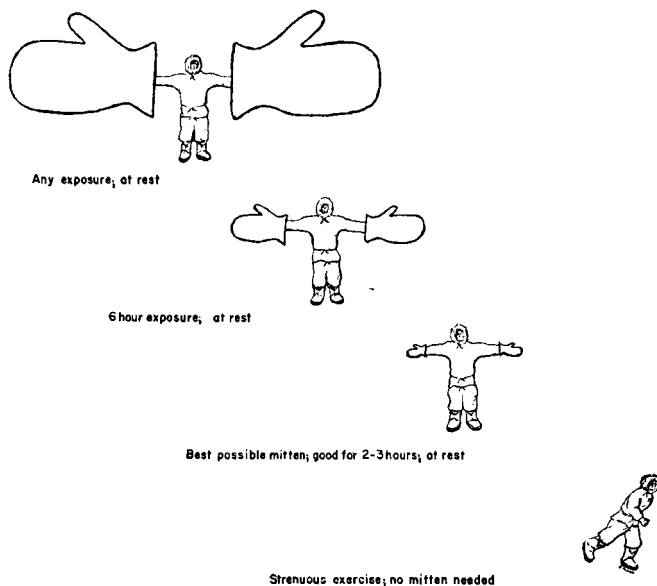
## 2 Käsien lämpöviihtyvyys

### 2.1 Kädet osana ihmisen lämmönluovutusta

Ihminen tuottaa jatkuvasti lämpöä elintoimintojensa kautta, ja vartalon tulisi luovuttaa lämpöä samassa tahdissa, jotta se pysyisi lämpötasapainossa. Lämmöntuotanto on pienimmillään lepotilassa (noin 80 W) ja kasvaa nopeasti fyysisen aktiviteetin kasvaessa ollen erittäin raskaassa työssä yli 600 W. Lämmönluovutuksesta suurin osa tapahtuu ihon kautta vaatetuksen läpi. Kuiva lämmönluovutus (säteily, kuljettuminen ja johtuminen) riippuu ihon ja ympäristön välisestä lämpötilaerosta, ja kostea lämmönluovutus (hien höyrystyminen) riippuu ilman kosteuserosta ihon pinnan ja ympäristön välillä. Vaatetus ihon ja ympäristön välissä hidastaa sekä kuivaa että kosteaa lämmönluovutusta. Valitsemalla käyttötilanteeseen optimaalinen vaatetus voidaan ylläpitää lämpötasapaino hyvinkin vaihtelevissa ympäristö- ja rasitusolosuhteissa. Vaatetuksen kriittiset ominaisuudet lämpötasapainon kannalta ovat lämmöneristävyys ja vesihöyrynläpäisevyys ja ulkovaatetuksen osalta lisäksi ilmanläpäisevyys ja sateenkesto.

Kädet (ja jalat) kehon ääreisosina muodostavat erikoistapauksen ihmisen lämpötaloudessa. Keskeisten elintoimintojen kannalta ne eivät ole välttämättömiä, ja keho estää sisäosien jäähtymistä supistamalla ääreisosien verenkiertoa, jolloin niiden lämpötila laskee nopeammin kuin fysikaalisesti olisi laskettavissa /1/. Toisaalta käsien ja varsinkin sormien lämpöeristäminen on erittäin vaikeaa niiden geometrisen muodon takia. Klassillinen kuva käsien suojaustarpeesta  $-38\text{ }^{\circ}\text{C}$  pakkasessa osoittaa, miten vaikeasta yhtälöstä on kysymys, kuva 1 /3/.

Vastaavasti lämpimissä olosuhteissa ääreisosien verenkierto lisääntyy ja lämmönluovutus niistä on maksimaalinen. Hikirauhasten lukumäärä on varsinkin kämmenpuolella suuri, ja lämmönluovutus pinta-alayksikköä kohti käsistä voi olla jopa kaksinkertainen muuhun kehoon verrattuna johtuen voimakkaasta hikoilusta. Kun käsien suhteellinen pinta-ala on vain noin 5 %, on vaikutus kokonaislämmönluovutukseen kuitenkin pieni /2/. Käsien peittäminen käsineillä pienentää lämmönluovutusta ja on lämpimissä olosuhteissa epäedullista, mutta suojaussyistä se joudutaan usein tekemään.



*Kuva 1. Suhteellinen käsine koko, jota tarvitaan eri altistusajoille -38 °C pakkasessa /3/*

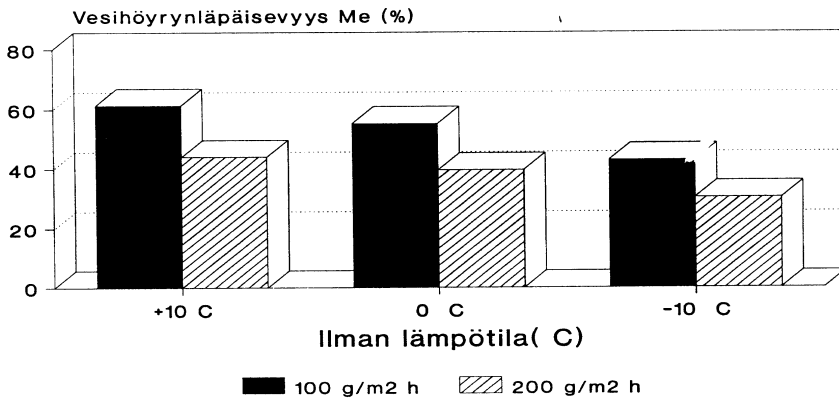
## 2.2 Kosteuden vaikutus lämpömukavuuteen

Kädet, kuten koko keho, erittävät kosteutta, jonka fysiologinen tarkoitus on lisätä lämmönluovutusta kuumarasitustilanteissa. Jos hiki kulkee vesihöyrynä käsineen läpi tai sen suun kautta ympäristöön, se toimii tehokkaasti lämmönluovutuskeinona. Koska käsine kuitenkin aina muodostaa jonkinasteisen vastuksen vesihöyrylle, tiivistyy osa kosteudesta käsineisiin. Märkä käsine on epämiellyttävän tuntuinen ja eristää lämpöä huonommin kuin kuiva. Käsine-materiaalin hyvä vesihöyrynläpäisevyys (hengittävyys) ja avoin käsineen malli minimoivat kosteuden tiivistymisen.

Kosteuden tiivistyminen käsineisiin ei riipu ainoastaan käsineiden materiaali-ominaisuuksista ja mallista vaan myös ympäröivän ilman mahdollisuudesta vastaanottaa kosteutta. Jos ilman kosteus on suuri tai lämpötila on matala, käsine ei pysty sitomaan kosteutta. Lämpötilan vaikutusta voidaan selittää kastepisteen muutoksella: lämpötila laskee asteittain ihosta käsineiden kautta ympäristöön, ja jos kosteuspitoisuus jossain kohdassa saavuttaa kastepisteen, tapahtuu kosteuden tiivistymistä. Käytännössä muutos tapahtuu asteittain, eli

# Vesihöyrynläpäisevyys

## Talvivaatetus 1



*Kuva 2. Erään talvivaatetusyhdistelmän vesihöyrynläpäisevyyden muutos ilman lämpötilan funktiona /7/.*

mitä matalampi ilman lämpötila on, sen huonompi on vesihöyrynläpäisevyys. Vaatetuksen osalta tämä on osoitettu esimerkiksi metsurivaatetuksen tutkimusprojektissa, jossa vaateyhdistelmien vesihöyrynläpäisevyys mitattiin ympäristön eri lämpötiloissa, kuva 2 /7/.

Vaatekappaleiden lämmöneristävyys ja vesihöyrynläpäisevyys eivät ole toisistaan riippumattomia absoluuttisia ominaisuuksia, vaan ne vaihtelevat käyttötilanteen mukaan. Realistisin kuva niiden toimivuudesta lämmönluovutuksen ja viihtyvyyden kannalta saadaan mittaamalla yhtäaikainen kuivan ja kostean lämmön luovutus käyttötilannetta vastaavissa olosuhteissa.

## 3 Hikoilevan käden rakentaminen

Käden rakentamisessa käytettiin samaa periaatetta kuin hikoilevan nuken, sylinterin ja jalan rakentamisessa, ja sen ohjaukseen ja tulostukseen käytetään muunnosta samasta tietokoneohjelmasta.

### 3.1 Mekaaninen rakenne

Käden runkona on polyuretaanista valettu käsimalli ja kyynärvarsi. Kaksi mallia oli ehdolla:

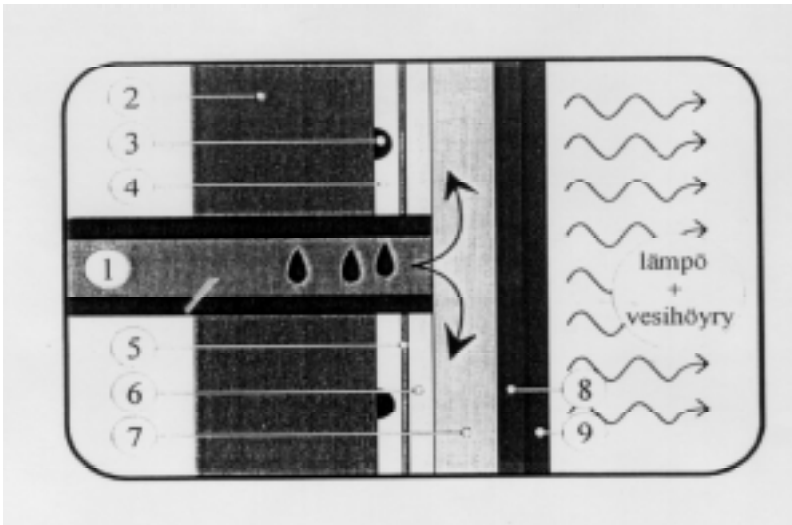
- hikoilevassa nukessa käytetty malli, jonka sormet ovat vähän koukussa mutta lähellä toisiaan,
- Ruotsin Arbetsmiljöinstitutetin käyttämä malli, jonka sormet ovat suuremmissa mutta kauempana toisistaan. EN 511 -lämmöneristävyysmittaus perustuu tähän laitteeseen.

Päädyttiin ensin mainittuun, koska käsineiden pukeminen sen päälle tuntui helpommalta.

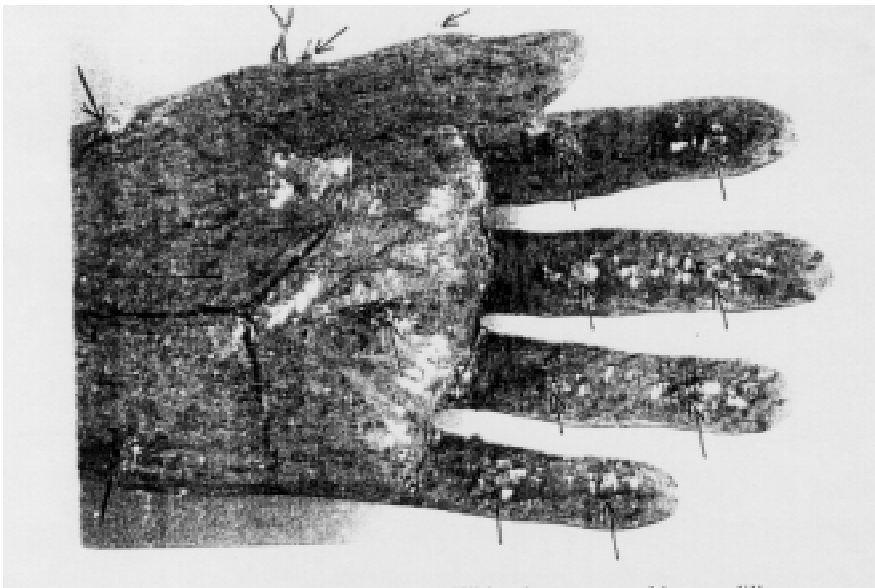
Itse käsi on tiiviimpää materiaalia, mikä mahdollistaa työstön.

Käsi on jaettu kymmeneen lämpötilan osalta erikseen säädettävään ja lämmitettävään alueeseen: viisi sormea, kämmen, rystyset ja kyynärvarren kolme aluetta, joista viimeinen alue ei ole hikoileva. Tätä aluetta ei lasketa mukaan mittaustulokseen, vaan se toimii tavallaan suojavyöhykkeenä estäen lämmön karkaamisen mittausalueelta.

Käden pintakerrokset esitetään kuvassa 3. Lämmitysvastukset (3) on asennettu muovirunkoon (2) kaiverrettuihin uriin lämmitettävän alueen koosta riippuen 5–10 mm etäisyydelle toisistaan. Vastukset on peitetty eristerakroksella (4) ja sen päälle on ruiskutettu ohut metallikerros (5), jonka tehtävänä on minimoida lämpötilaerot käden pinnassa. Varsinainen "ihomateriaali" on asennettu metallikerroksen päälle liimaamalla (6). Ihomateriaali koostuu kosteutta levittävästä kerroksesta (7) ja mikrohuokoisesta kalvosta (8), joka läpäisee kosteuden vain höyrymuodossa. Hikoiluvesi johdetaan 30 pisteeseen ihomateriaalin alle muovi- ja metalliputkissa (1). Rystypuolen ja kyynärvarren hikirauhasissa on sintterilasilevy, joka toimii pienenä vesisäiliönä ennen ihoa.



*Kuva 3. Hikoilevan käden pintakerrokset ja hikirauhanen.*



*Kuva 4. Kämmen ilman ihomateriaalia. Hikirauhaset on merkitty nuolilla.*

Jokaisen alueen pintalämpötila mitataan noin 3 m pitkällä erittäin ohuella (halkaisija 0,05 mm) Ni-vastuslangalla, joka on asennettu suojaverkon (9) alle. Lämpötila-anturi puuttuu kuvasta 3.

Hikirauhasten sijoittelu esitetään kuvassa 4. Käden koekäytön yhteydessä tapahtuneen ylikuumentumisen takia nimettömän sormen hikirauhaset ovat olleet pois käytöstä.

## **3.2 Ohjausjärjestelmä ja tulostus**

Hikoilevan käden ja muidenkin samaan perheeseen kuuluvien laitteiden mittauksissa käytetään yhteistä mittauselektroniikkaa. Käden erilliset alueet (10 kpl) ovat erikseen säädettävissä haluttuun lämpötilaan. Mittauksissa koko käsi on yleensä säädetty samaan pintalämpötilaan, mutta jako mahdollistaa kuitenkin vaatetuksen eristysarvojen laskemisen alueittain. Hikoiluveden annostus tapahtuu käden yläpuolella olevasta vaa'alla seisovasta säiliöstä, josta se virtaa yksitellen aukaistavien magneettiventtiilien kautta käden hikirauhasiin. Mittauksen aikana seurataan myös käden painon muutoksia. Tällöin voidaan laskea annostetun hikoiluveden höyrystyminen ja sen kumuloituminen käteen ja käsineeseen ajan funktiona.

Tietokone rekisteröi jatkuvasti pintalämpötilat ja lämmitystehot ja laskee eristysarvot alueittain sekä muuttaa lämmitystehoja säätäjän kautta niin, että käden lämpötila pysyy asetusarvossa. Tämän lisäksi seurataan pistemäisiä lämpötiloja vaatetuksessa sekä säähuoneen lämpötilaa Pt-100-antureilla. Mitatut ja lasketut arvot tallennetaan säännöllisesti valinnanvaraisella taajuudella myöhempää analysointia varten Excel-muodossa.

### **3.2.1 Käden kalibrointi**

Mittauksissa säädetään käden pintalämpötila vakiolämpötilaan. Lämpötila-anturit voidaan näin ollen kalibroida nostamalla säähuoneen lämpötila samaan mittauslämpötilaan. Huoneen lämpötila mitattiin tarkistetulla mittarilla, jonka jälkeen käden pintalämpötila-anturit asetettiin samaan arvoon.

Myös veden virtausnopeus eri hikirauhasiin on hallittava, sillä virtausnopeus on riippuvainen putkiston painehäviöistä ja muuttuu sen lisäksi ajan funktiona. Hikirauhasten kostutettavat pinta-alamatkin ovat erikokoisia, joten jokaisen hikirauhasen vedensyöttö on siitäkin syystä säädettävä erikseen. Syöttöputkiston sisähalkaisija yritettiin valita siten, että veden virtausnopeus olisi noin

kaksinkertainen käden maksimihikoiluun nähden. Mittauksissa hikoiluveden annostus jatkuu näin ollen tasaisesti ilman pitkiä taukoja ja annostusta voidaan vähentää haluttuun arvoon magneettiventtiilien aukioloaikoja säätämällä.

Hikirauhasten kalibrointi suoritetaan avaamalla kaikki venttiilit vuorotellen tietyn ajan. Hikoiluveden virtausnopeus mitataan punnitsemalla. Ohjelma tekee tämän automaattisesti jokaisen hikirauhasen venttiilin osalta ja haluttaessa useita kertoja, joista se laskee keskiarvon. Tietokone laskee magneetti-venttiilikohtaiset annostusajat kaavalla

$$t_i = K \cdot m_s \cdot A_i / w_i, \quad (1)$$

jossa  $t_i$  on venttiilin annostusaika (sek/sek)  
 $m_s$  on hikoilun asetusarvo ( $\text{g/m}^2\text{h}$ )  
 $A_i$  on hikirauhasen kostuttava alue ( $\text{m}^2$ )  
 $w_i$  on kalibroinnissa mitattu veden virtausnopeus ( $\text{g/s}$ )  
 $K$  on korjauskerroin (arvo muuttuu mittauksen aikana).

Mittauksissa ohjelma askeltaa venttiilistä toiseen sekunnin välein ja aukaisee yhden venttiilin kerrallaan  $t_i$  ajaksi. Normaalisti  $t_i$  on pienempi kuin yksi, mutta jos virtausnopeus syystä tai toisesta laskee niin alhaiseksi, että  $t_i$ :n arvoksi tulee suurempi kuin yksi, suoritetaan annostuskierroksen jälkeen ns. jälkiannostelu näihin hikirauhasiin.

Syöttöveden virtaus muuttuu mittauksen aikana ja mittauksesta toiseen esim. käden kastumisen ja suodattimen tukkeutumisen takia. Tämä huomioidaan korjauskertoimella  $K$ . Jokaisen annostuskierroksen jälkeen tietokone tarkistaa syötetyn vesimäärän punnitsemalla ja laskee uuden arvon korjauskertoimelle  $K$  siten, että kumulatiivinen annostus pysyy asetusarvossa.

## 4 Kokeellinen osa

Hikoileva käsi koekäytettiin koesarjalla, jossa tutkittiin erityyppisten käsineiden lämmöneristävyys- ja vesihöyrynläpäisevyysominaisuuksia parissa koeolosuhteessa. Käsineet saatiin kokeita varten suomalaisilta käsineenvalmistajilta ja maahantuojalta.

### 4.1 Tutkitut käsineet ja koeolosuhteet

Tutkitut käsineet on lueteltu taulukossa 1 ja esitetty kuvassa 5. Ne on saatu tutkimusta varten suomalaisilta valmistajilta ja maahantuojalta. Käsineet on tarkoituksella valittu erityyppisiksi, jotta nähdään, minkälaisia tuloksia on odotettavissa erityyppisistä tuotteista.

*Taulukko 1. Tutkitut käsineet.*

No	Valmistaja	Tuote	Tyyppi
1	Henry J. Hagström Ky	M 150	kylmänsuoja
2	Henry J. Hagström Ky	M 3202	kylmänsuoja
3	Viljanmaa ja Kumppani Ky	3040	kuumansuoja
4	KE-Burgmann Finland Oy	TKK 36 NC	kuumansuoja
5	Jokamuovi Oy	JokaOiler	kemikaalinsuoja
6	Jokamuovi Oy	JokaTop	kemikaalinsuoja
7	Jokamuovi Oy	JokaTherm	kemikaalinsuoja + tekoturkisvuori

Mittaukset hikoilevalla kädellä suoritettiin säähuoneessa, jossa ilman lämpötila oli säädetty arvoon  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Mittaus tehtiin ensin kuivana ja mittauksen kesto oli kaksi tuntia. Sen jälkeen käynnistettiin hikoilu  $200\text{ g/m}^2 \cdot \text{h}$  ja mittauksen kesto oli kolme tuntia. Käsine punnittiin ennen mittausta ja sen jälkeen. Käsivarren peitti paksu villaneulos ja tikattu vanu-kangasyhdistelmä. Yläkäsivarteen ja kuivaan alueeseen ei syötetty vettä (eikä nimettömään sormeen). Tehtiin kaksi rinnakkaismittausta.





*Kuva 5. Tutkitut käsineet.*

## 4.2 Koetulokset

Jokaisen mittauksen tulokset saadaan seuraavassa muodossa:

- yhteenvetolomake lopputilanteesta (testin perustiedot; säädetyt, mitatut ja lasketut arvot; eri alueiden arvot testin lopussa),
- käyrinä testin ajalta: hikoilu (veden syöttö, tiivistyminen ja höyrystyminen), alueiden pintalämpötilat, pisteantureiden lämpötilat, alueiden lämmitystehot ja alueiden lämmöneristävyyсарvot,
- käsineen massa ennen koetta ja sen jälkeen.

Liitteessä A on esimerkki yhden mittauksen tuloksista (näyte 1, hikoilu  $200 \text{ g/m}^2 \cdot \text{h}$ ).

Mittaustuloksista voidaan laskea seuraavat arvot:

$$R_c = \frac{t_s - t_a}{P} \cdot A \quad (2)$$

$$m_e = m_s - m_c \quad (3)$$

$$P_e = m_e \cdot \rho \quad (4)$$

$$R_{c,corr} = \frac{t_s - t_a}{P - P_e} \cdot A \quad (5)$$

$$m_{cl} = m_w - m_d \quad (6)$$

joissa  $R_c$  on lämmöneristävyys (kuiva mittaus) ( $\text{m}^2 \cdot \text{°C}/\text{W}$ )  
 $t_s$  on käden keskimääräinen pintalämpötila ( $\text{°C}$ )  
 $t_a$  on säähuoneen ilman lämpötila ( $\text{°C}$ )  
 $P$  on keskimääräinen syötetty lämpöteho ( $\text{W}/\text{m}^2$ )  
 $A$  on mittausalueen pinta-ala ( $\text{m}^2$ )  
 $m_e$  on haihtuneen veden massa ( $\text{g}/3 \text{ h}$ )  
 $m_s$  on syötetyn veden massa ( $\text{g}/3 \text{ h}$ )  
 $m_c$  on tiivistyneen veden massa ( $\text{g}/3 \text{ h}$ )  
 $P_e$  on höyrystymisteho ( $\text{W}/\text{m}^2$ )  
 $\rho$  on veden höyrystymislämpö =  $0,672 \text{ W}/\text{g}$   
 $R_{c,corr}$  on korjattu lämmöneristävyys (hikoilumittaus) ( $\text{m}^2 \cdot \text{°C}/\text{W}$ )  
 $m_{cl}$  on käsiin tiivistyneen veden massa ( $\text{g}/3 \text{ h}$ )  
 $m_d$  on käsiin massa ennen koetta (kuivamassa) ( $\text{g}$ )  
 $m_w$  on käsiin massa kokeen jälkeen (kostea massa) ( $\text{g}$ )

Taulukko 2 esittää yhteenvedon muodossa kaikkien mittauksien tulokset.

**Taulukko 2. Hikoileva käsi, yhteenvedo mittauksista**

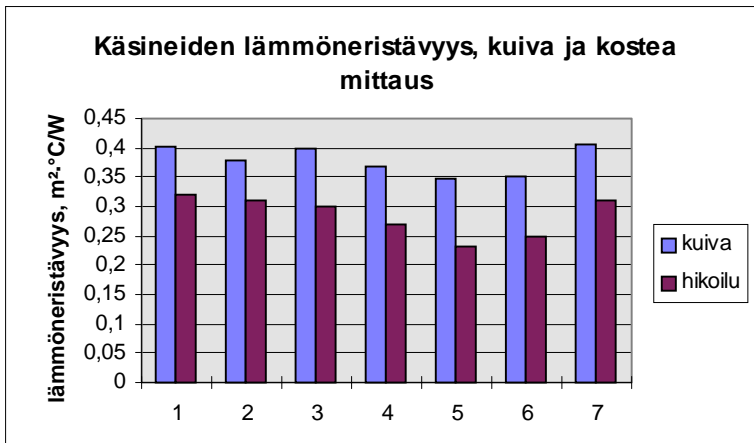
Näyte	Kuiva			Hikoilu					
	Huoneilämpötilä t <sub>a</sub> (°C)	Lämpöteho P (W/m <sup>2</sup> )	Lämmönsäätö R <sub>c</sub> (m <sup>2</sup> ·°C/W)	Huoneilämpötilä t <sub>a</sub> (°C)	Lämpöteho P (W/m <sup>2</sup> )	Höyrynsäätö m <sub>e</sub> (g/h)	Tiivistä vettä m <sub>e</sub> (g/h)	Höyrynsäätö R <sub>e</sub> (W/m <sup>2</sup> )	Käsi lämmönsäätö R <sub>h,cast</sub> (m <sup>2</sup> ·°C/W)
1	-13,6	122,7	0,405	-13,9	162,5	5,2	5,36	15,32	0,318
1	-13,1	124,9	0,397	-13,5	160,1	5	5,71	14,74	0,32
ka	-13,4	123,8	0,402	-13,7	161,3	5,1	5,04	15,03	0,319
2	-13,7	134	0,38	-14	172,3	5,6	5,65	16,5	0,302
2	-13,7	134,3	0,376	-13,8	168,7	5,5	7,09	19,5	0,314
ka	-13,7	134,2	0,378	-13,9	170,5	5,1	6,88	18	0,309
3	-13,7	142,6	0,364	-13,6	164,6	7,4	4,5	21,8	0,287
3	-13,6	125,7	0,436	-13,9	170	7,2	5,38	21,2	0,315
ka	-13,6	134,2	0,4	-13,9	177,4	7,3	4,94	21,5	0,301
4	-13,6	159,7	0,368	-13,6	208,1	11,3	4,34	30,3	0,268
4	-13,6	163,4	0,367	-13,9	208,4	12,2	4,44	36	0,272
ka	-13,6	161,5	0,368	-13,9	208,3	11,8	4,39	34,6	0,27
5	-13,6	175	0,345	-13,9	212,2	1,5	16,16	4,4	0,225
5	-13,9	168,8	0,352	-14	203,8	1,8	14,35	5,3	0,237
ka	-13,9	171,9	0,349	-13,9	208	1,7	15,26	4,9	0,231
6	-13,7	161,7	0,359	-13,7	194,1	2,9	12,89	7,7	0,25
6	-13,6	165	0,344	-13,9	196,4	1,7	14,03	5	0,245
ka	-13,7	163,4	0,352	-13,8	195,3	2,2	13,46	6,4	0,248
7	-13,8	123,9	0,407	-13,9	158,1	2,3	15,97	6,8	0,31
7	-13,6	124,2	0,4	-13,8	155,1	1,8	15,45	5,3	0,312
ka	-13,7	124,1	0,404	-13,9	155,5	2,1	15,71	6	0,311

## 5 Tuloksien tarkastelu

Säähuoneen lämpötila oli mittauksissa vähän korkeampi kuin tavoitearvo  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , mikä johtuu vaikeuksista säätösystemin kanssa. Tuloksien kannalta  $1\text{--}1,5$  asteen heitto ei kuitenkaan ratkaisevasti vaikuta; kuivissa mittauksissa ympäristön lämpötila ei vaikuta lämmöneristävyysarvoon, ja hikoilumittauksissa kosteuden tiivistyminen olisi todennäköisesti ollut hieman suurempi  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ :ssa.

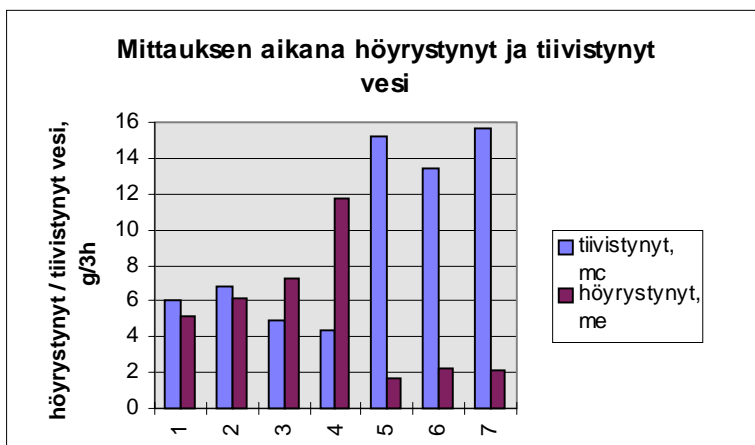
Syötetty lämpöteho  $P$  on aina suurempi hikoilumittauksissa kuin kuivissa mittauksissa. Osa lisätehosta kuluu veden höyrystymiseen ( $P_e$ ), mikä on toivottu ominaisuus, ja osa taas johtuu käsiin kastumisesta ja siitä seuraavasta lämmöneristävyyslaskusta.

Kuva 6 esittää mittauksista saadut käsiin lämmöneristävyysarvot. Kaikkien käsiin kuiva lämmöneristävyys  $R_c$  on suunnilleen samalla tasolla,  $0,35\text{--}0,40\text{ m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{W}$ , eli myös kemikaalinsuojakäsineet eristävät melko hyvin. Lämmöneristävyyslasku hikoilutestin jälkeen on  $0,069\text{--}0,118$  yksikköä ja on pienimmillään kylmäsuojakäsineellä 2 ja suurimmillaan kemikaalinsuojakäsineellä 5.



Kuva 6. Tutkittujen käsiin lämmöneristävyysarvot kuivan ja hikoilumittauksen jälkeen

Syötetyn veden määrä oli 22,6 g kolme tuntia kestävä hikoilumittauksen aikana (hikoilupinta-ala 0,049 m<sup>2</sup>). Osa vedestä kulkee vesihöyryn muodossa ympäröivään ilmaan kuljettaen mukanaan höyrystymislämpöä; osa taas höyrystyy mutta tiivistyy takaisin nestemäiseksi tutkittavassa käsineessä ja osa jää hikoilevan käden ihomateriaaliin. Kuva 7 esittää höyrystyneen ja tiivistyneen veden määrät hikoilumittauksissa. Suurimmat höyrystyneet ja pienimmät tiivistyneet määrät eli paras vesihöyrynläpäisevyys saatiin kuumansuoja-käsineille 3 ja 4. Vastaavasti kemikaalinsuojakäsineet 5, 6 ja 7 antoivat pienet höyrystyneet ja suuret tiivistyneet määrät. Vesihöyryn kulku kemikaalinsuojakäsineissä tapahtuu ilmeisesti käsineen suun kautta.



Kuva 7. Hikoilumittauksista saadut höyrystyneen ja tiivistyneen veden määrät.

Rinnakkaismittauksien välillä ei ole kovin suuria eroja. Standardin ENV 342 liitteessä A määritetään testimenetelmä vaatetuskokonaisuuksien lämmön-eristävyyden mittaamiseksi lämpönukella, ja sen mukaan kahden rinnakkaismittauksen välinen ero saa olla enintään 5 % /4/. Tässä koesarjassa näytteen 3 tulokset poikkesivat yli 5 % toisistaan (18 % kuivassa ja 9 % hikoilumittauksessa), joten siitä olisi pitänyt tehdä vielä yksi rinnakkaismittaus.

Mittaukset tehtiin matalassa lämpötilassa, mikä johti suhteellisen pieneen vesihöyrynläpäisevyyteen myös niillä käsineillä, joilla ei ole kosteussulkua (kylmän- ja kuumansuojakäsineet). Jos mittaukset tehtäisiin korkeammassa lämpötilassa, olisivat erot vesihöyrynläpäisevyydessä eri käsineityyppien välillä todennäköisesti suuremmat.

## 6 Yhteenveto

Käsien – kuten koko vartalon – lämpömukavuus on tärkeää työn tehokkuuden ja yleisen työturvallisuuden kannalta. Käsien suojaus käsineillä on tärkeää monissa tilanteissa, ja käsineiden lämmöneristävyys- ja kosteudenläpäisevyysominaisuudet olisi silloin optimoitava huomioiden ympäristön olosuhteet ja toiminnan taso. Nykyisin käytössä olevilla menetelmillä voidaan määrittää erikseen käsineen lämmöneristävyys ja materiaalin vesihöyrynläpäisyys, mutta niiden yhteisvaikutusta ei ole voitu määrittää.

Tässä projektissa rakennettiin hikoileva käsi, jolla mitataan yhtäaikainen lämmön ja kosteuden siirtyminen käsineiden läpi ja näin ollen käsineiden vaikutus käden lämpömukavuuteen. Käden koekäyttö tehtiin mittaamalla erityyppisten suojakäsineiden ominaisuuksia pakkasolosuhteissa. Tulokset osoittivat mm. että lämmöneristävyys lasku hikoilun takia on suurempi kemikaalinsuojakäsineillä kuin kylmän- ja lämmönsuojakäsineillä, vaikka niiden kuiva lämmöneristävyys on lähes samalla tasolla.

Jo projektin aikana pyydettiin asiakkaan taholta mittauspalvelua hikoilevalla kädellä. Uskomme että tulevaisuudessa voimme hyödyntää laitetta omien vaatetusfysiologisten tutkimustemme yhteydessä ja käsineiden tuotekehitystyössä. Pidemmät systemaattiset mittaussarjat antaisivat myös perustan mallinnustyölle, jonka pohjalta voisi ennustaa käsineiden toimivuutta.

# Kirjallisuusviitteet

1. Anttonen, H. ja Vuori, E. Sotilasvaatetus ja sen kehittäminen. Helsinki: Pääesikunnan materiaalihallinto-osasto, 1995. 166 s. ISBN 951-25-0761-7.
2. Day, R. Regional Heat Loss. Teoksessa: Newburgh, L. H. (toim.). Physiology of Heat Regulation and the Science of Clothing. New York: Hafner Publishing Co., 1968. S. 240-261.
3. van Dilla, M., Day, R. ja Sipple, P. A. Special Problem of Hands. Teoksessa: Newburgh, L. H. (toim.). Physiology of Heat Regulation and the Science of Clothing. New York: Hafner Publishing Co., 1968. S. 374-386.
4. ENV 342:1998, Protective clothing - Ensembles for protection against cold. Brussels: CEN European Committee for Standardisation, 1998. 15 s.
5. EN 420:1994, General requirements for gloves. Brussels: CEN European Committee for Standardisation, 1994. 14 s.
6. EN 511:1994, Protective gloves against cold. Brussels: CEN European Committee for Standardisation, 1994. 10 s.
7. Meinander, H. ja Laamanen, H. Metsurien suojavaatetuksen lämpöfysiologiset ominaisuudet. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus, 1994. 29 s. + liitteet 10 s. (VTT Tiedotteita 1616.) ISBN 951-38-4731-4.

COPPELIUS

Description: Malli 150, hik.200g/m<sup>2</sup>h, -15C  
 Date: 22.9.98 Signature: ak

Experiment file: E:\LW\MCS\K•M•.MCE

	Set	Meas
Ambient temperature ('C):		-13.8
Water Supply (g/m <sup>2</sup> h)	99.0	
Test Time(h)	3.00	
Expired time(h)		3.00
Feeded water (g)		22.6
Condensed water (g)		17.4
Heat supply (W/m <sup>2</sup> )		162.5

## Results

Thermal insulation, all (m <sup>2</sup> 'C/W)	0.333
Thermal insulation, sweating (m <sup>2</sup> 'C/W)	0.445
Average evaporation (g/hm <sup>2</sup> )	39.1
Heat of evaporation (W/m <sup>2</sup> )	26.7
Corr. Thermal insulation (m <sup>2</sup> 'C/W)	0.508

## Results from sections

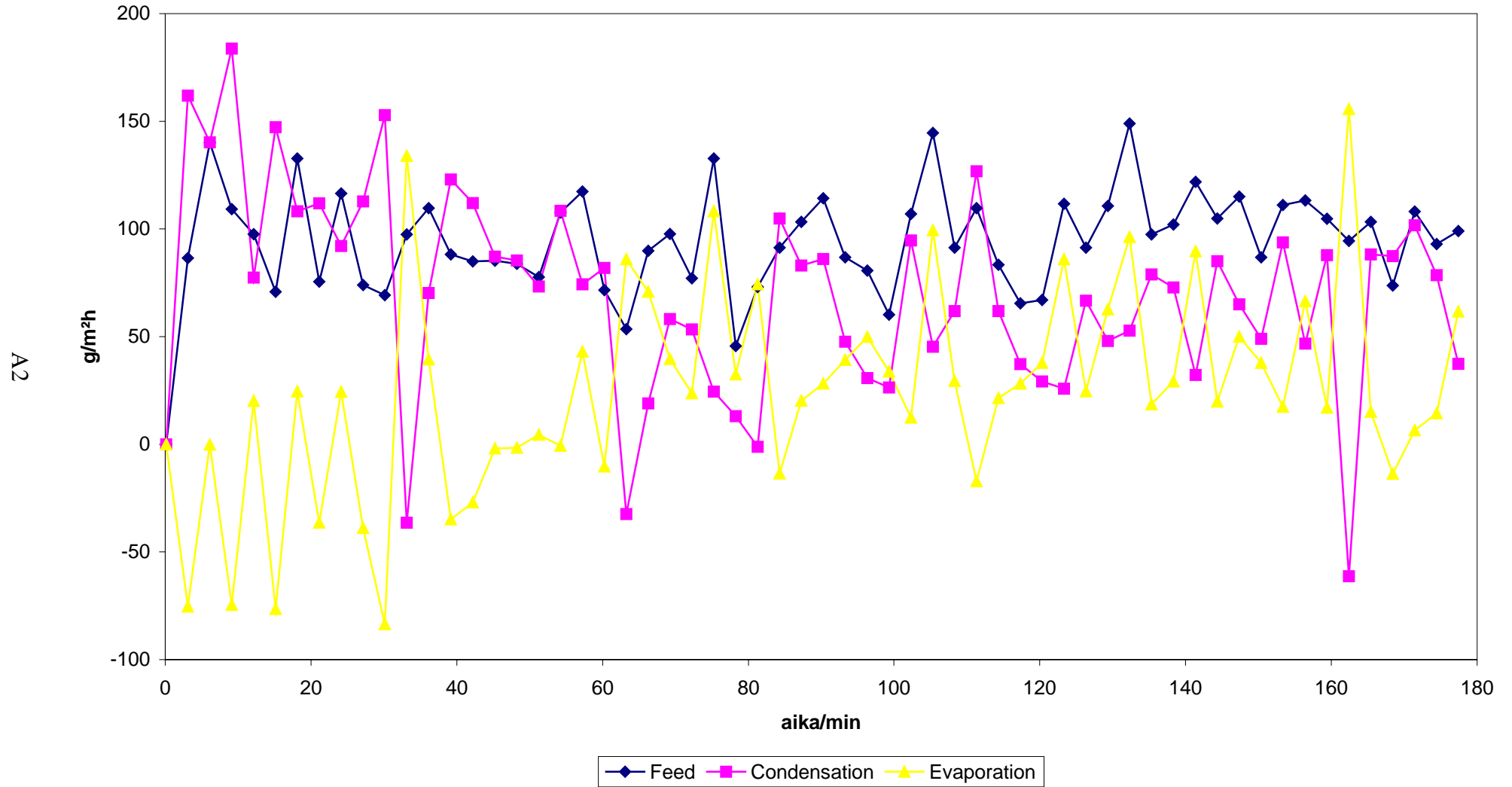
	A(m <sup>2</sup> )	ts	H	It
1 Pikkusormi	0.004	33.0	270.5	0.173
2 Nimeton	0.005	33.0	132.8	0.353
3 Keskisormi	0.005	32.9	251.2	0.186
4 Etusormi	0.005	33.0	275.8	0.170
5 Peukalo	0.004	33.1	243.5	0.193
6 Rystypuoli	0.008	32.8	173.5	0.269
7 Kammen	0.012	32.9	213.1	0.219
8 Alakasivarsi	0.011	33.0	206.9	0.226
9 Ylakasivarsi	0.022	33.0	96.5	0.485
10 Kuiva_alue	0.026	33.0	109.3	0.429

Weighed mean, sweating	0.076
Weighed mean, heated	0.102
Weighed mean, all	0.102

Näyte ennen koetta	125,66g
Näyte kokeen jälkeen	<u>132,02g</u>
	6,36g

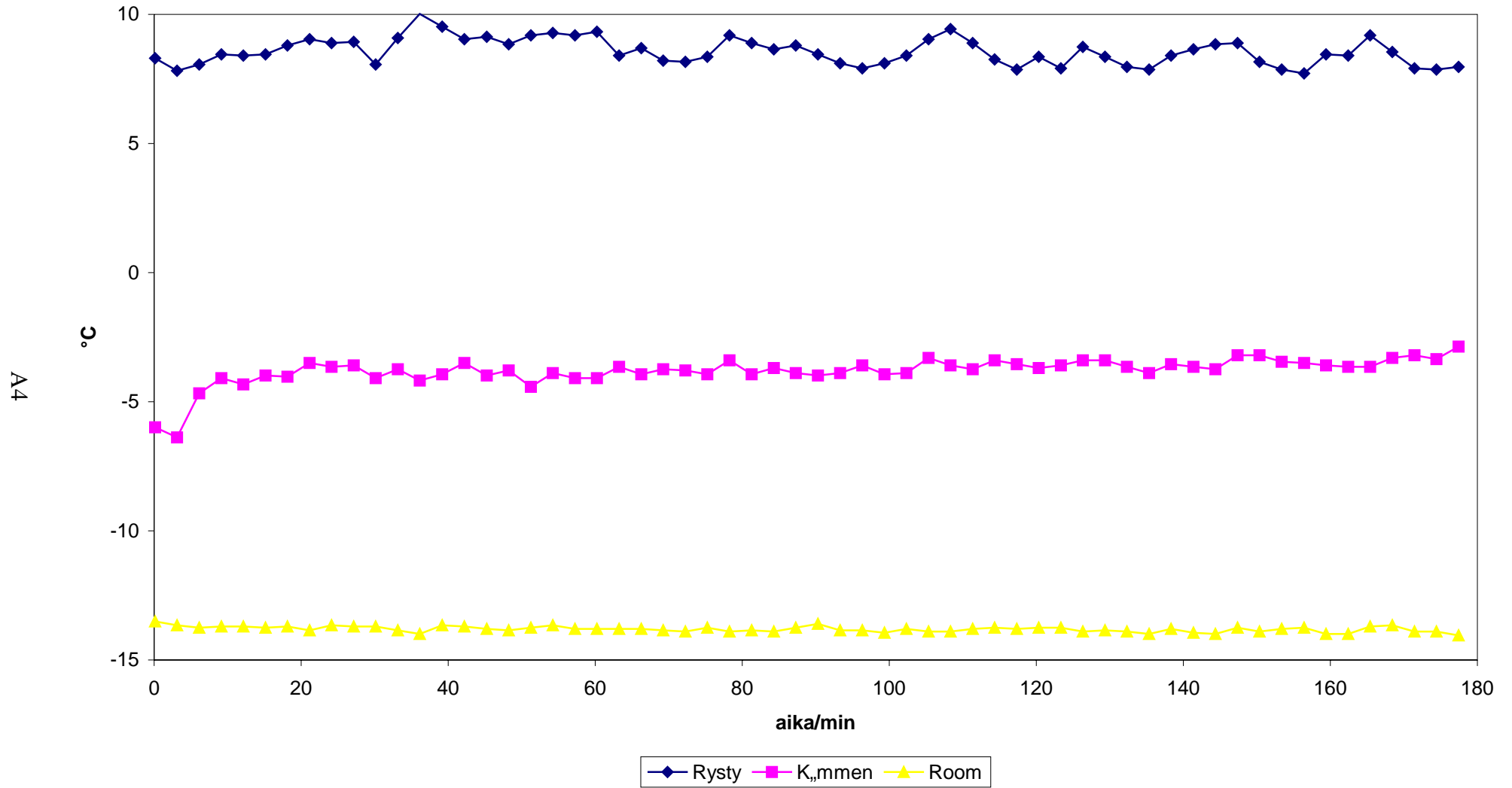


### Hikoilu 200g/m<sup>2</sup>h, malli 150, -15°C

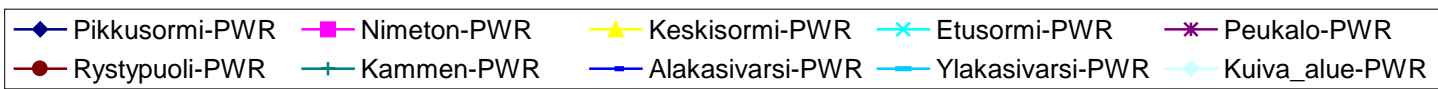
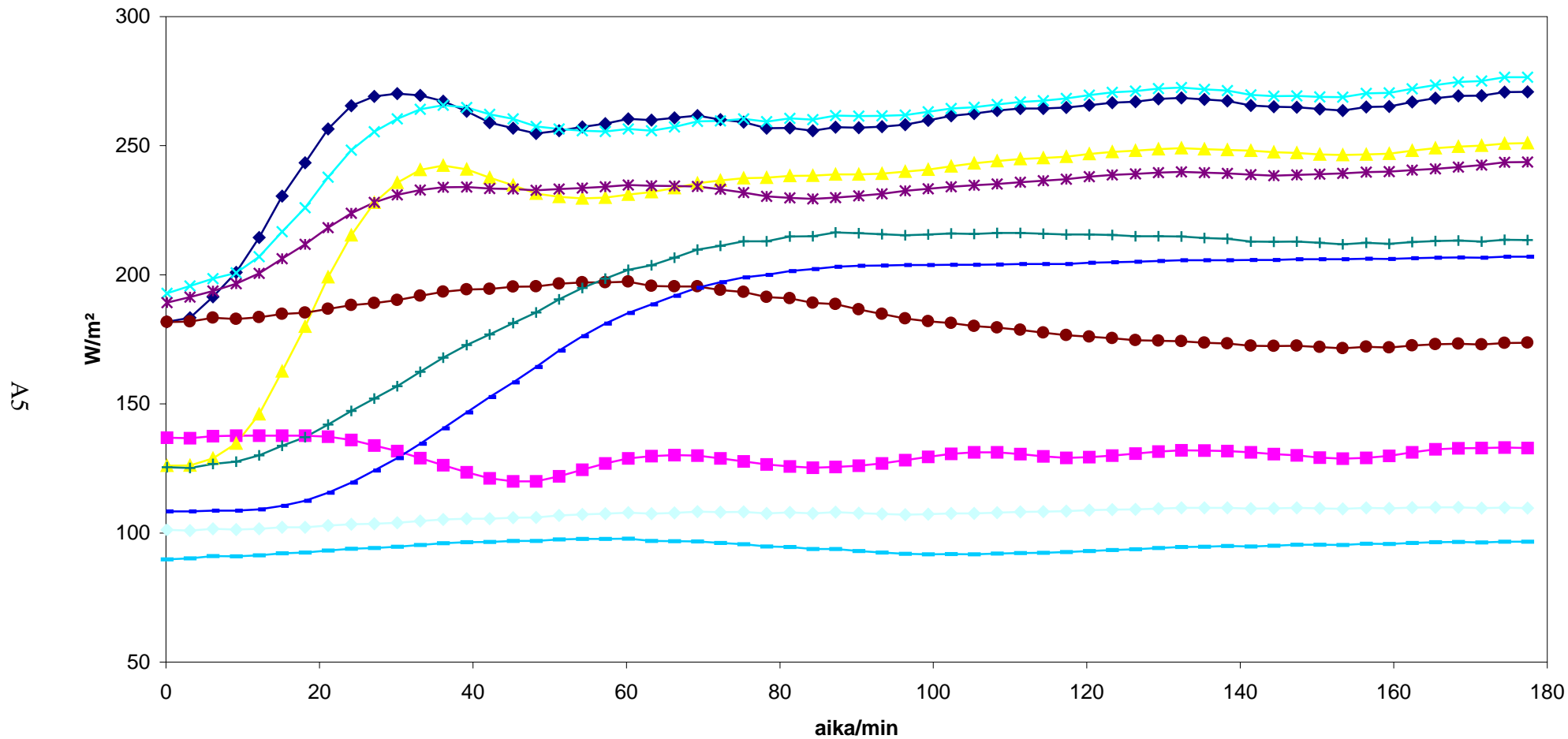




Pt-anturit °C, malli 150, hik.200g/m<sup>2</sup>h,-15°C



Lämmitysteho W/m<sup>2</sup>, malli 150, hik.200g/m<sup>2</sup>h,-15°C



Rc-arvot m<sup>2</sup>C/W, malli 150, hik.200g/m<sup>2</sup>h,-15°C

