

Cilvēka mikroklimata temperatūras mērījumu modelējošie eksperimenti

Ingrīda Sahta, Riga Technical University, Ilze Baltina, Riga Technical University, Juris Blums, Riga Technical University, Vilnis Jurkans, Riga Technical University

Kopsavilkums. Mikroklimatu regulējoša apģērba prototipa funkcionalitātes optimizēšanai un efektivitātes pārbaudei tiek plānoti temperatūras mērījumu modelējošie eksperimenti. To mērķis ir noskaidrot, kā dzesējošā sistēma, integrēta apģērbā, ietekmē cilvēka mikroklimata rādītājus. Eksperimenti tiek veikti gan cilvēka ķermeņa miera stāvoklī, gan arī fizisku aktivitāšu laikā. Iegūtie rezultāti liecina par sistēmas darbības iespējamību, ārējās vides temperatūras ietekmi uz mērījumu rezultātiem, tāpat arī par dzesējošās sistēmas negatīvu ietekmi uz sviedru tvaiku aizvadišanas efektivitāti.

Atslēgas vārdi: termoregulācija, Peltjē elements, mikroklimats, dzesējošā sistēma, mikroklimatu regulējošs apģērbs.

I. IEVADS

Ilgstoša siltuma komforta nodrošināšanai cilvēka ķermenim nepieciešama siltuma balansa uzturēšana, kas sasniedzama ar attiecīgu apģērba un organisma termoregulācijas ceļā. Apģērbs ap ķermeni veido noteiktu mikroklimatu, kas iedarbojas uz cilvēka pašsajūtu. Veicot mikroklimata higiēnisko novērtējumu, jāņem vērā organisma siltuma stāvokli, tāpat arī temperatūru, mitruma daudzumu, gaisa kustību un oļskābes attiecību. Kā viens no svarīgākajiem apģērba eksploataācijas rādītājiem jāatzīmē gaisa temperatūra starp ķermeni un pirmo apģērba kārtu – apakšģērbu. Optimālais šīs temperatūras līmenis tiek noteikts ar cilvēka fiziskās aktivitātes palīdzību. [1]

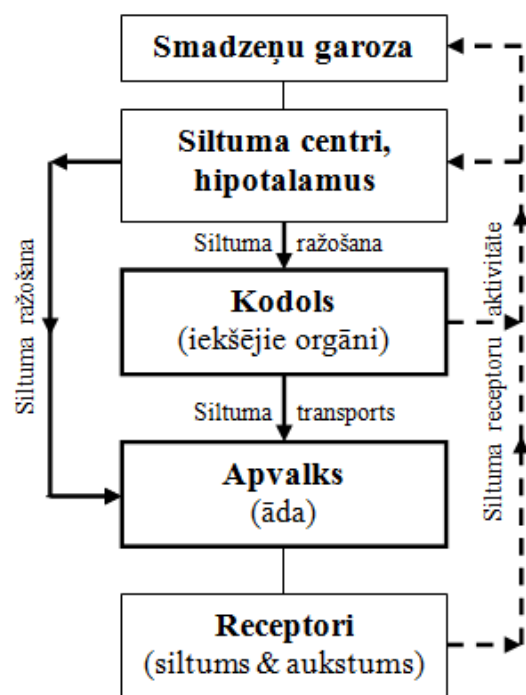
Lai pārbaudītu mikroklimatu regulējošās vestes prototipa [2] atbilstību vispārējām apģērba prasībām, tiek veikts eksperimentāls novērtējums pēc fizioloģiski - higiēniskā aspekta [1], valkājot izstrādājumu attiecīgos eksploataācijas apstākļos fizisku aktivitāšu laikā, mērot temperatūras izmaiņas dažādās vietās telpā starp ķermeni un apģērbu, tāpat arī konstatējot citus fizioloģiskos parametrus, kā piemēram, pretestību un mitrumu. Šī procesa nolūks ir dzesēšanas sistēmas darbības optimizēšana.

II. CILVĒKA TERMOREGULĀCIJAS PRINCIPI

Cilvēku (tāpat kā siltasiņu dzīvnieku) ķermeņa temperatūra faktiski nav atkarīga no apkārtējās vides temperatūras. Svarīgi, lai temperatūra ķermeņa kodolā vienmēr paliktu konstanta, nepieciešamajā temperatūras amplitūdā. Cilvēkiem tā ir 36,5 °C – 37,5 °C liela. Tomēr šāda temperatūras konstante neattiecas uz visu ķermeni. Dažādās ķermeņa vietās, tā ir dažāda. [3]

Lai noregulētu nepieciešamo temperatūras diapazonu, ķermeņa apvalka temperatūras receptori (termoreceptori) nepārtraukti mēra temperatūru, un pa nervu šķiedrām

mērījumu rezultāti tiek aizvadīti uz hipotalāmus un smadzeņu garozu. Hipotalāmus noregulē ķermeņa temperatūru ķermeņa dobumu iekšējos orgānos (kodolā) un ārējos ķermeņa slāņos ar siltuma ražošanas un siltuma transporta palīdzību. Šajā procesā iesaistītās struktūras veido vienotu termoregulācijas loku (skat. 1. att.).



1. att. Cilvēka ķermeņa termoregulācijas shematisks attēlojums

Ķermeņa iekšējo dobumu temperatūra dienas laikā svārstās 1°C apmērā, sasniedzot zemāko temperatūru no rīta, bet augstāko – vakarā. [4]

A. Siltuma regulēšanas process paaugstinātas vides temperatūras apstākļos

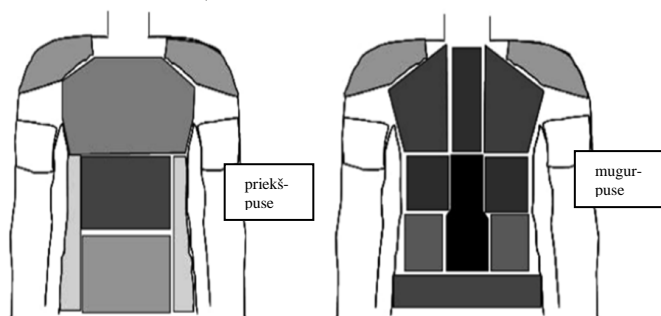
Paaugstinātas temperatūras vides apstākļos ķermenis veic temperatūras pašregulācijas procesu: paplašinās ādas poras, sāk darboties sviedru dziedzeri un, sviedru iztvaikošanas rezultātā, notiek ķermeņa dzesēšana. Līdztekus notiek ārējo asinsvadu paplašināšanās tā, lai asinis varētu plūst pa vēnām, tādā veidā atdodot siltumu. Šī procesa mērķis ir neļaut temperatūrai ķermeņa iekšienē pārsniegt 37,5 °C.

Apvalka audi tiek sasildīti samērā nevienmērīgi. Augšējo ekstremitāšu normālā temperatūra ir 30 °C – 32 °C. Apakšējo ekstremitāšu perifēriskiem laukumiem uz pēdām temperatūra ir aptuveni 26 °C – 28 °C. Iekšējo orgānu temperatūra ir daudz

pastāvīgāka (nedaudz augstākā par 37 °C). Kodols ir mazāk noturīgs pret temperatūras pazemināšanos. Cilvēka ķermeņa temperatūras pazemināšana par 1 °C izraisa siltuma apmaiņas intensitātes samazinājumu par 6 – 7%. [5]

B. Sviedru izdalīšanās intensitāte

Pēc fiziskas aktivitātes sākas sviedru izdalīšanās. Tomēr dažādos ķermeņa apvidos, tā ir dažādas intensitātes. Pēc Fukuokas sieviešu universitātes Japānā un Lafboro universitātes Apvienotajā Karalistē veiktā pētījuma rezultātiem [6] iespējams secināt, ka visintensīvāk sviedri izdalās mugurkaula apvidū muguras lejasdaļā, vidēji intensīva sviedru izdalīšanās vērojama lāpstiņu un zemlāpstiņu rajonā, mazāk intensīva – plecu daļā, savukārt ķermeņa priekšdaļā sviedru izdalīšanās ir salīdzinoši mazintensīva (skat. 2. att., kur pelēkā toņa intensitāte dažādās zonās norāda sviedru izdalīšanās intensitāti).



2. att. Sviedru izdalīšanās intensitātes zonējums pēc fiziskas aktivitātes: 10 km skrējiena[4]

III. EKSPERIMENTU PLĀNOŠANA

A. Eksperimentu plāns

Eksperimentu mērķis: noskaidrot, kā dzesējošā sistēma, integrēta apģērbā, ietekmē cilvēka mikroklimata rādītājus.

Plāns sastādīts saskaņā ar sekojošajiem punktiem:

1) Mērījumi bez dzesējošās sistēmas klātbūtnes, nosakot temperatūru noteiktos punktos fiziskas aktivitātes laikā (5 punktos);

2) Mērījumi ar izslēgtu dzesējošo sistēmu, nosakot ķermeņa mikroklimata rādītājus (11 punktos; sistēmas apvidū un kontroles zonā);

3) Mērījumi ar ieslēgtu dzesējošo sistēmu, nosakot ķermeņa mikroklimata rādītājus (11 punktos; sistēmas darbības un kontroles zonā).

B. Sensoru izvietojums uz apģērba

Ņemot vērā cilvēka termoregulācijas principus, sviedru izdalīšanās intensitātes un temperatūras zonējumu, atbilstoši sastādīts sensoru izvietojuma plāns (skat. att.):

- 1 - kakla zona
- 2 - plecs
- 3 - zem termobaterijas
- 4 - 6 cm attālumā no termobaterijas uz mugurkaula pusi

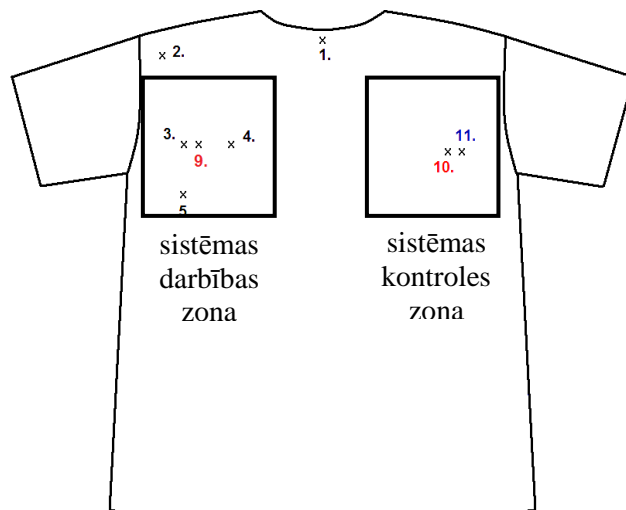
5 - 6 cm attālumā no termobaterijas virzienā uz leju.

Sensori 1-5 un 9 izvietoti krekla mugurdaļas kreisajā pusē, kur paredzēta dzesēšana ar termobateriju.

9 ;10 - mitruma sensori

11 - kontroles sensors, datu salīdzināšanai ar sistēmas darbības zonu

Sensori 10 – 11 izvietoti krekla mugurdaļas labajā pusē, kur dzesēšana nav paredzēta, kontroles parametru iegūšanai.



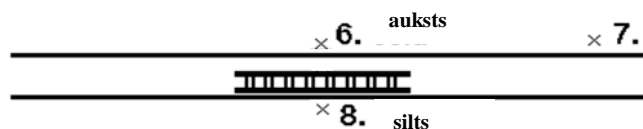
3. att. Sensoru izvietojums uz krekla

C. Sensoru izvietojums uz sistēmas ar termobateriju

Uz termobaterijas sensori izvietoti sekojoši (skat. 4. att.):

6 – uz dzesējošās „radiatora” virsmas virs termobaterijas

7 - uz dzesējošās „radiatora” virsmas

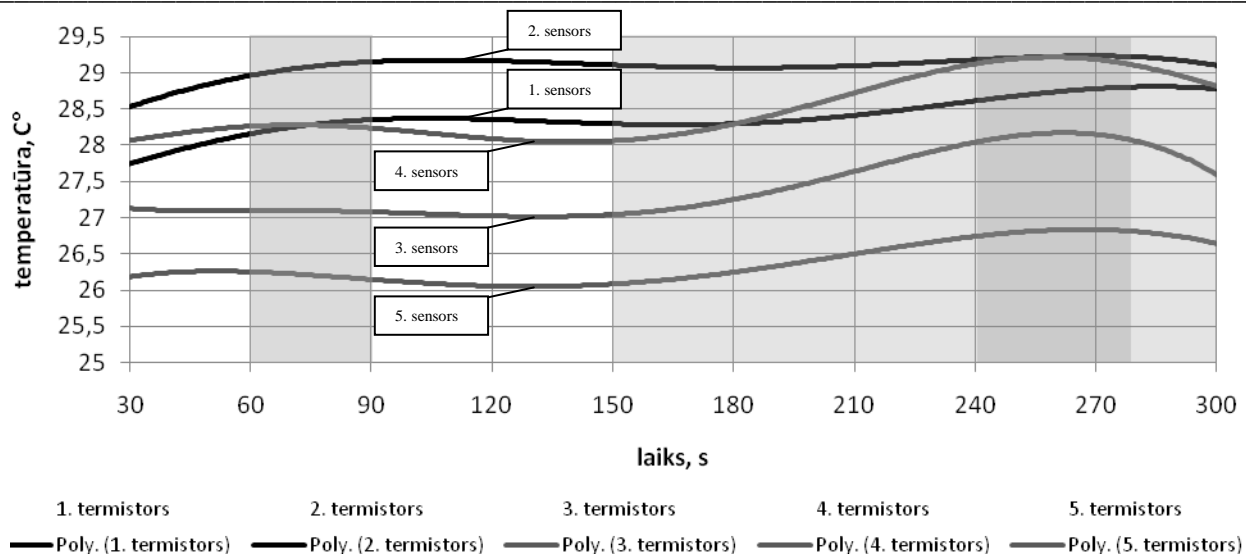


8 – uz sildošās „radiatora” virsmas zem termobaterijas.

4. att. Sensoru izvietojums sistēmā ar termobateriju

IV. MĒRĪJUMI BEZ DZESĒJOŠĀS SISTĒMAS KLĀTBŪTNES

Mērījumi tiek veikti piecās vietās, nosakot temperatūru ķermeņa miera stāvoklī, fiziskas aktivitātes laikā un pēc tās. 5. attēlā redzami mērījumu rezultāti: 60. sekundē veikti fiziski vingrinājumi 1/2 minūtes garumā, pēc tam novērojamas minimālas temperatūras svārstības visos mērījumu punktos. Pēc 1 minūtes tiek konstatēta temperatūras paaugstināšanās par ~1 °C 3. - 5. mērījumu punktā, savukārt 1. - 2. mērījumu punktā temperatūras paaugstināšanās notiek par ~1 °C vēlākā laika posmā. Kopumā temperatūras paaugstināšanās visos mērījumu punktos sasniedz maksimumu 2,5 minūtē pēc fiziskās aktivitātes veikšanas.

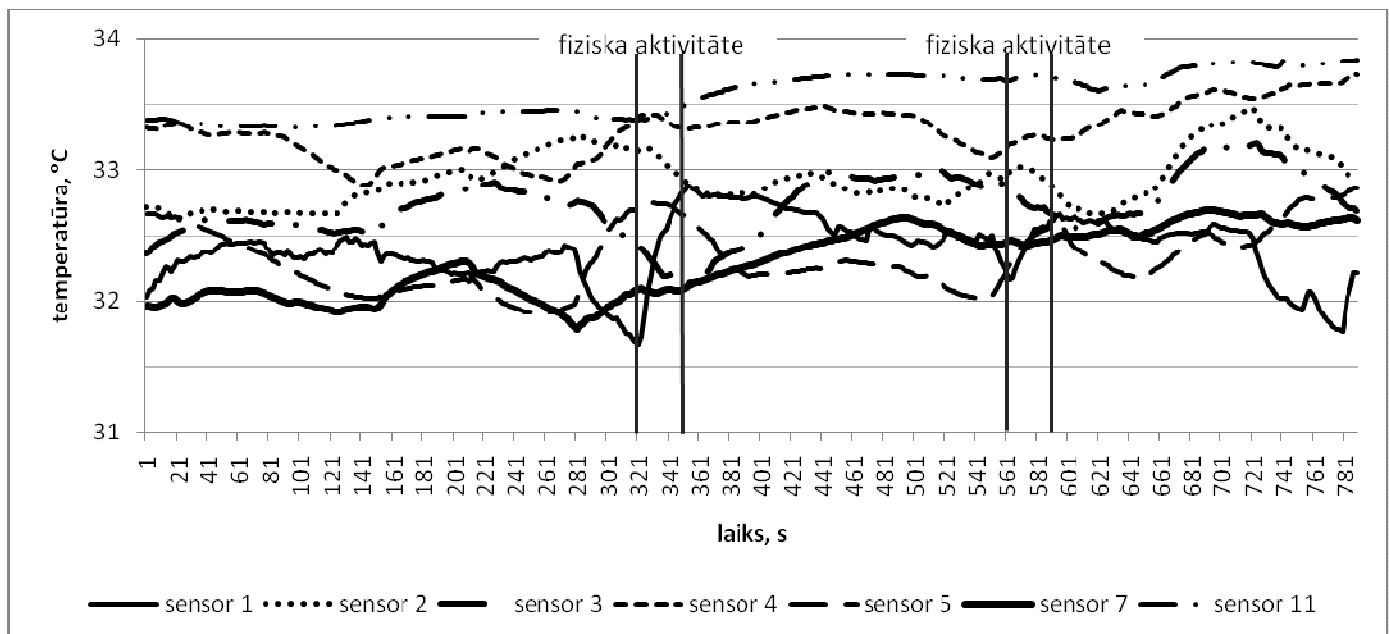


5. att. Temperatūras svārstību tendence miera stāvoklī un fiziskas aktivitātes laikā

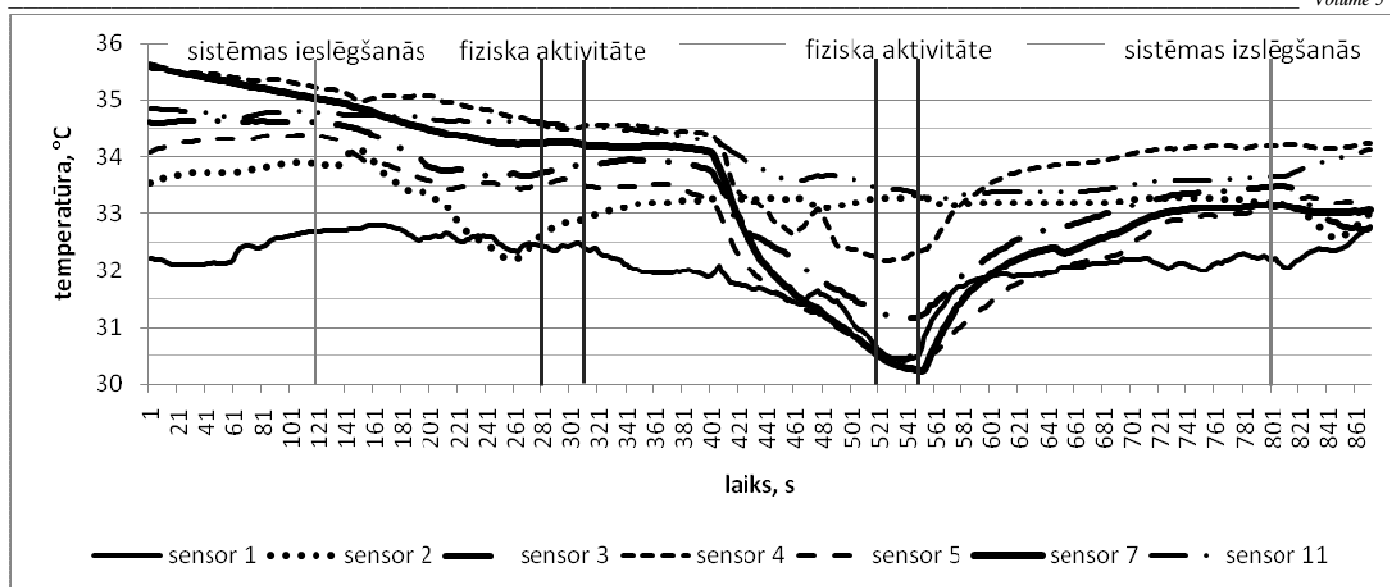
V. MĒRĪJUMI AR IZSLĒGTU UN IESLĒGTU DZESĒJOŠO SISTĒMU

Mērījumu rezultāti ar izslēgtu dzesējošo sistēmu un divām fiziskajām aktivitātēm: 280. - 310. sek. un 520. - 550. sek.; un 800. sek. izslēgtu dzesējošo sistēmu, vērojams temperatūras kritums visos mērījumu punktos pēc pirmās fiziskās aktivitātes, kas sasniedz savu maksimumu otrās aktivitātes laikā, kad dzesējošajā sistēmā, reaģējot uz ķermeņa mikroklimata temperatūras paaugstināšanos, notiek strauja temperatūras pazemināšanās.

Mērījumu diagrammā (skat. 7. att.), ar 120. sek. ieslēgtu dzesējošo sistēmu un divām fiziskajām aktivitātēm: 280. - 310. sek. un 520. - 550. sek.; un 800. sek. izslēgtu dzesējošo sistēmu, vērojams temperatūras kritums visos mērījumu punktos pēc pirmās fiziskās aktivitātes, kas sasniedz savu maksimumu otrās aktivitātes laikā, kad dzesējošajā sistēmā, reaģējot uz ķermeņa mikroklimata temperatūras paaugstināšanos, notiek strauja temperatūras pazemināšanās.



6. att. Mērījumu rezultāti ar izslēgtu dzesējošo sistēmu



7. att. Mērījumu rezultāti ar ieslēgtu dzesējošo sistēmu

Salīdzinot divas eksperimentu sērijas (1. tabula), kuras tika veiktas atšķirīgu vides temperatūru apstākļos, iespējams novērot, ka vides temperatūra arī ietekmē ķermeņa mikroklimata un dzesējošās sistēmas mērījumu rezultātus. Visvairāk ārējās vides temperatūra (temperatūras atšķirība ~ 3° C starp otro un trešo eksperimentu sēriju, attiecīgi: 23° C un 26° C) ietekmē mērījumu rezultātus kakla apvidū (1.

sensors - ~3° C). Izmaiņas par ~ 2° C novērojamas pleca (2. sensors) apvidū un uz siltumu aizvadošās vara folijas (8. sensors). ~ 1° C izmaiņas – zem termobaterijas un zem dzesējošās vara folijas (3., 4. un 5. sensors), vismazāk gaisa temperatūra ietekmē mērījumus kontroles pusē (11. sensors) ~ 0,4° C.

1. TABULA
MĒRĪJUMU REZULTĀTU SALĪDZINĀJUMS PĒC GAISA TEMPERATŪRAS

Gaisa t, °C	sensors 1	sensors 2	sensors 3	sensors 4	sensors 5	sensors 7	sensors 8	sensors 11
26	32,48	32,70	32,76	33,42	32,22	32,00	27,97	33,43
23	29,24	30,87	31,96	32,36	31,28	29,40	25,89	33,04
starpība	3,24	1,83	0,80	1,05	0,94	2,59	2,08	0,39

2. TABULA
MĒRĪJUMU REZULTĀTU SALĪDZINĀJUMS PĒC DZESĒJOŠĀS SISTĒMAS IETEKMES

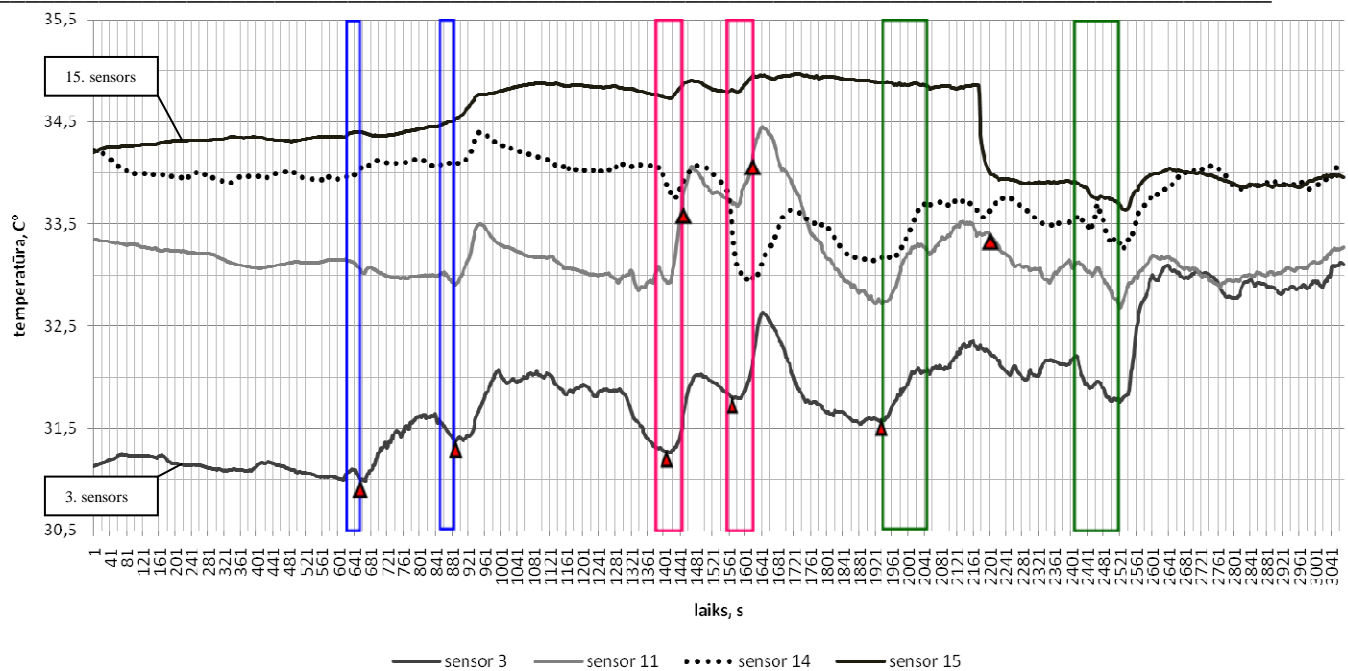
Nr. p. k.	Eksperiments	Gaisa t, °C	sensors 1	sensors 2	sensors 3	sensors 4	sensors 5
1.	Ar dzesējošo sistēmu	26	32,48	32,70	32,76	33,42	32,22
2.	Ar dzesējošo sistēmu	23	29,24	30,87	31,96	32,36	31,28
3.	Bez sistēmas	20	28	28,75	27,1	28,25	26,25

Salīdzinot vidējās temperatūras ar mikroklimatu regulējošo apģērbu miera stāvoklī un vidējās temperatūras miera stāvoklī bez mikroklimatu regulējošā apģērba pie dažādām gaisa temperatūrām (skat. 2. tab.), iespējams secināt, ka termobaterijas sistēmas klātbūtne ietekmē mērījumu rezultātus – tā nosaka temperatūras paaugstināšanos zem termobaterijas un tai pievienotās folijas (starpība starp 1. un 2. eksperimenta rezultātiem ar dzesējošo sistēmu ir ~1° C, kas fiksēta 3., 4. un 5. sensora mērījumu rezultātos, bet starp 2. eksperimentu un 3. eksperimentu bez vestes apvidū zem termobaterijas un folijas par ~ 4 - 5° C). Attiecīgi, apvidū pie kakla (1. sensors) un uz pleca (2. sensors) temperatūru starpības ir faktiski līdzvērtīgas

(2°~3° C). Temperatūras izmaiņas zem Peltjē elementa un folijas liek secināt, ka termobaterijas un folijas temperatūra (pat bez sistēmas ieslēgšanas) ietekmē apkārtējo materiālu un cilvēka mikroklimata temperatūru.

Temperatūras līmeņa un tvaiku parādīšanās kritiskā punkta analīze

Veicot eksperimentu ar pievienotiem sensoriem sviedru tvaika konstatēšanai fizisku aktivitāšu laikā un pēc tām, tiek novērots īsāks laika posms līdz sviedru parādīšanās zem termobaterijas un vara folijām nekā kontroles pusē (skat. 8. attēlu, kur ar bultiņu atzīmēts ūdens tvaiku parādīšanās moments).



8. att. Temperatūras līmeņa un tvaiku parādīšanās kritiskie punkti

Ekspējrimenta laikā tika veikti 3 dažādas fiziskās slodzes vingrinājumi roku muskulatūrai un ķermeņa augšdaļai (8. attēlā aktivitāšu laika posms iezīmēts ar taisnstūri), tos pēc zināma laika atkārtojot. Salīdzinoši lielas temperatūru atšķirības vērojamas abās mikroklimata mērijumu pusēs lāpstiņu rajonā (skat. 8. att. 3. un 11. sensors) miera stāvoklī. Temperatūras starpība ir ~2° C, pie kam kontroles pusē tā ir augstāka kā mērijumu pusē zem termobaterijas, acīmredzot, dzesējošā sistēma pat neieslēgtā stāvoklī pazemina mikroklimata temperatūru savā atrašanās apvidū. Savukārt, mērijumos uz ādas abās ķermeņa pusēs tiek konstatēta faktiski līdzīga temperatūra ~ 34° C. Tāpat arī diagrammā redzams, ka termobaterijas klātbūtne aizkavē ķermeņa temperatūras pašregulācijas procesu (skat. 15. sensora līkni, kas eksperimenta laikā atradās uz ķermeņa zem Peltjē elementa un vara folijām).

VI. SECINĀJUMI

Cilvēka mikroklimata temperatūras modelējošo eksperimentu rezultātu analīze ļauj izdarīt vispārīgus secinājumus, kā piemēram:

- 1) Eksperimentāli pierādīts, ka dzesējošā sistēma spēj pazemināt mikroklimata temperatūru;
- 2) Termobaterijas sistēmas klātbūtne ietekmē mērijumu rezultātu – tas nosaka temperatūras paaugstināšanos zem termobaterijas un zem folijas;
- 3) Termobaterija un tai pievienotā vara folija negatīvi ietekmē tvaiku aizvadišanas iespēju caur apģērba virsmu, kas izraisa papildus temperatūras celšanos mikroklimata telpā zem vara folijas.

Tomēr eksperimentu sērija jāturpina, lai objektīvi noskaidrotu gan cilvēka ķermeņa temperatūras pašregulācijas reakciju uz mākslīgi modelētu mikroklimata dzesēšanu, gan

arī lai optimizētu elektronisko kontroles sistēmu un noteiktu paaugstinātās temperatūras diapazonu, pie kuras sistēmai būtu jāieslēdzas automātiski, tāpat arī jāturpina pētījumi pie materiāla, kas spētu aizvietot vara foliju, uzlabojot termobaterijas sistēmas tvaiku vadītspēju, bet saglabājot tikpat labu siltuma vadītspēju kā vara materiālam.

LITERATŪRAS SARAKSTS

1. Делль Р. А., Афанасьева Р. Ф., Чубарова З. С. *Гигиена одежды*. Москва: Легкая индустрия. 1979. 143 с.
2. Sahta I, Baltina I, Blums J. Optimization of Smart Clothes System. *In: International Scientific Conference, Annals of University of Oradea, University of Oradea*, 2010, vol. 1, Nr. 1, p. 148.-151
3. *Wie der Körper seinen Wärmehaushalt regelt* [tiešsaiste]. Wissen.de/Gesundheit 2000-2010 [skatīts 15.03.2010] Pieejams: <http://www.wissen.de/wde/generator/wissen/ressorts/gesundheit/medizin/index.page=2470186.html>
4. Speckmann E. J., Wittkowski W.. *Bau und Funktionen des menschlichen Körpers. Praxisorientierte Anatomie und Physiologie*. Verlag: Urban + Fischer. 2004. 501 S.
5. *Wärmeübertragung* [tiešsaiste]. [skatīts 22.03.2010] Pieejams: www.auc-aachen.de/docs_public/waermeuebertragung.pdf
6. Havenith G., Smith C., Fukazawa T. *The Skin Interface - Meeting Point of Physiology and Clothing Science*. *In: Journal of Fiber Bioengineering and Informatics* [tiešsaiste]. JFBI vol.1 No. 2 2008 [skatīts 07.02.2010] Pieejams:
7. www.jfbi.org/admin/Issue/TBIS%202008_2008930154639_paper.pdf

Ingrida Sahta, Mg.Sc.ing., PhD student, sc. Assistant
Riga Technical University, Institute of Textile Materials Technologies and Design, 18 Azenes Street, Riga, LV-1048, Latvia.
ingrida.sahta@rtu.lv

Ilze Baltina, Dr. Sc. ing., as. Profesor.
Riga Technical University, Institute of Textile Materials Technologies and Design, 18 Azenes Street, Riga, LV-1048, Latvia.
ilze.baltina@rtu.lv

Juris Blums, Dr. phys., as. Profesor
Riga Technical University, Technical Physics Institute,
14/24 – 322 Azenes Street, Riga, LV-1048, Latvia.
blum@latnet.lv

Vilnis Jurkans, Bc.Sc.ing., Master student, sc. Assistant
Riga Technical University, Faculty of Electronics and Telecommunications
14/24 Azenes Street, Riga, LV-1048, Latvia
vilnis.jurkans@rtu.lv

Ingrida Sahta, Ilze Baltina, Juris Blums, Vilnis Jurkans. Human microclimate temperature measurement modeling experiments

The temperature measurements modeling experiments are planned to optimize microclimate regulatory garment prototype functionality and to verify microclimate temperature regulatory system efficiency. The aim of experiments - to verify, how the cooling system, integrated in the clothes, influences indicators of the human microclimate. Experiments are carry out both at rest of the human body, as well as during physical activities.

The analysis of human microclimate temperature modeling experimental results makes possible to carry out common conclusions, such as: the cooling system is able to lower the temperature of the microclimate, but Peltier element and its attached copper foil, has a negative impact on the possibility of removal of vapor through the garment surface, which causes additional temperature rise of the microclimate in the area under the copper foil.

The experiments should be continued both to objectively determine the temperature self regulation of the human body's response to artificially simulated cooling of microclimate, as well as to optimize the electronic control system and to determine fever heat temperature range at which the system should be switched on automatically. Experimental results show also, that research process by the material, that can replace copper foil, improving removal of vapor of Peltier element's system, while keeping the same good thermal conductivity of copper material, should be continued.

The found results demonstrate the possibility of the system's operation, the external environmental temperature influence on the measurement results, as well as the negative impact of the cooling system on the sweat vapor removal efficiency.

Ингрида Шахта, Илзе Балтыня, Юрис Блумс, Вилнис Юркканс. Эксперименты, моделирующие измерения температуры микроклимата человека

Для оптимизации функциональности и проверки эффективности прототипа одежды, регулирующей микроклимат человека, проведены эксперименты, моделирующие измерение температуры. Их целью является выяснить, как система охлаждения, интегрированная в одежду, влияет на показатели микроклимата человека. Эксперименты проводятся как в состоянии покоя, так и во время физической активности человека.

Анализ результатов экспериментов, моделирующих измерения температуры микроклимата человека, приводит к общим выводам, к таким как: система охлаждения в состоянии понизит температуру микроклимата человека, но Пельтье-элемент и связанная с ним медная фольга оказывает негативное влияние на возможность удаления паров пота через поверхность одежды, что приводит к дополнительному повышению температуры микроклимата в области медной фольги.

Однако, серию экспериментов необходимо продолжать в целях объективного определения реакции саморегулирования температуры человеческим организмом к искусственно смоделированному микроклимату системы охлаждения, а также для оптимизации электронной системы управления и для определения диапазона повышенных температур, при которых система должна включиться автоматически, а также продолжить изучения материалов, которые смогут заменить медную фольгу, улучшая паропроводность системы Пельтье-элемента, при этом сохраняя хорошую теплопроводность, как у медного материала.

Полученные результаты демонстрируют возможности системы, влияние температуры окружающей среды на результаты измерений, а также негативное влияние системы охлаждения на эффективность удаления паров пота.