



jamk.fi

Jäähdytyksen ilmankierron suunnittelu rajallisessa tilassa tukirakenteen avulla

Kunnela Joonas

Opinnäytetyö
Toukokuu 2021
Logistiikan koulutusohjelma
Tekniikan ja liikenteen ala

Jyväskylän ammattikorkeakoulu
JAMK University of Applied Sciences

Tekijä(t) Kunnela, Joonas	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Toukokuu 2021
	Sivumäärä 26+2	Julkaisun kieli Suomi
		Verkkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Jäähdytyksen ilmankierron suunnittelu rajallisessa tilassa tukirakenteen avulla		
Tutkinto-ohjelma Logistiikan koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) Petri Vauhkonen Mauno Harju		
Toimeksiantaja(t) Joonas Kunnela		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Henkilösuojauksessa käytettävät suojaliivit ja kantolaitteet aiheuttavat haasteita korkeissa lämpötiloissa sekä haasteellisissa ympäristöissä toimiessa ilman riittävää huoltoinfrastruktuuria. Tutkimuksen tavoitteena oli löytää rakenteellinen ratkaisu riittävän ilmankierron järjestämiseksi ja luoda proof-of-concept, jota voidaan käyttää teollisuuden tuotemuotoilun pohjana.</p> <p>Tutkimus toteutettiin mittaamalla lämpötiloja tutkimuksessa käytetyn 14,4 °C vedellä täytetyn jäähdytys-elementin ja kehon välistä kehon etu- ja takapuolelta erilaisten tukirakenteiden käytön aikana. Mittaukset toteutettiin 1,5 h jaksoina. Paras tulos saavutettiin 20 mm tukirakenteella, millä lämpötilanmuutoksen keskiarvoksi mitattiin 2,95 °C ja järjestelmä luovutti lämpöenergiaa 7,41 kJ.</p> <p>Tutkimuksen mukaan tukielementillä voidaan saavuttaa riittävä ilmankierto, jotta vedellä toimivaa jäähdytys-elementtiä voidaan käyttää henkilösuojaliivien kanssa. Jäähdytyksen toimivuuteen vaikuttavat oleellisesti rakenteen muotoilu ja käytetyt materiaalit. Käyttökohteen asettamat rajoitukset tulee ottaa huomioon tutkimustuloksia arvioi- dessa.</p> <p>Jatkotutkimuksia varten suositellaan yksinkertaistettua rakennetta, sekä ilmanpaineen ja ilmanvirtauksen mittaamista rakenteen sisältä. Tutkimusasetelman tulisi ottaa huomioon käyttökohte ja lopputuotteen käytettävyyys yhdessä muiden mahdollisten varusteiden kanssa.</p>		
Avainsanat (asiasanat) jäähdytys, henkilösuojaus, suojaliivit, Fourier, lämpötila		
Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)		

Description

Author(s) Kunnela, Joonas	Type of publication Bachelor's thesis	Date May 2021
	Number of pages 26+2	Language of publication: Finnish
		Permission for web publication: x
Title of publication Design of cooling air circulation in a confined space by means of a support structure		
Degree programme Logistics, School of Technology		
Supervisor(s) Petri Vauhkonen Mauno Harju		
Assigned by Joonas Kunnela		
Abstract <p>Protective vests and carrying equipment used for personal protection pose challenges when operating in high temperatures and in challenging environments without adequate maintenance infrastructure. The aim of the study was to find a structural solution for arranging sufficient air circulation and to create a proof-of-concept that can be used as a basis for product design in industry.</p> <p>The study was carried out by measuring the temperatures between the 14.4 ° C water-filled heat sink and from the front and back of the body during the use of various support structures. Measurements were performed in 1.5 h increments. The best result was obtained with a 20-mm-support-structure, with which the average temperature change was measured at 2.95 ° C and the system delivered 7.41 kJ of thermal energy.</p> <p>According to the study, sufficient air circulation can be achieved with the support element so that the water-operated cooling element can be used with personal protective vests. The functionality of the cooling is substantially affected by the design of the structure and the materials used. The restrictions imposed by the application should be considered when evaluating the research results.</p> <p>For further studies, a simplified structure is recommended, as well as the measurement of air pressure and air flow from inside the structure. The research design should take into account the intended use and the usability of the final product together with other possible accessories.</p>		
Keywords (subjects) cooling, personal safety, ballistic vest, Fourier, temperature		
Miscellaneous (Confidential information)		

Sisällys

1 Johdanto	6
2 Ilmankosteus rakenteissa	8
3 Ominaislämpökapasiteetti ja lämmönjohtavuus	8
4 Mittaukset	10
5 Tukirakenne	12
6 Tulokset	15
7 Johtopäätökset	16
8 Pohdinta	17
Lähteet.....	24
Liitteet	26

Kuviot

Kuvio 1 Wind-Tower-and-Qanat-Cooling-1.jpg.....	7
Kuvio 2 Lämpötila-anturit.....	11
Kuvio 3 Lämpötila-anturi rinnassa.....	11
Kuvio 4 Tukirakenteen komponentit tasolla.	13
Kuvio 5 Tukirakenteen komponentit tasolla 2.	13
Kuvio 6 Tukirakenteen komponentit muodossa.	14
Kuvio 7 Tukirakenteen komponentit muodossa 2.	14
Kuvio 8 Tukirakenteen komponentit liimauksessa.	15
Kuvio 9 Ventz motorcycle jacket vents.	18
Kuvio 10 Project #4: Smokebox 10%.....	20
Kuvio 11 Project #4: Smokebox 10%.....	20
Kuvio 12 Project #4: Smokebox 10%.....	21
Kuvio 13 Dustin Poirier getting ice on his right leg in a fight where his opponent (Gaethje) kicked him relentlessly.....	22
Kuvio 14 Sotilaan varustus.	23

Kuvio 16 TCAD Paramedics acquire bulletproof vests	23
--	----

Taulukot

Taulukko 1 Veden luovuttaman lämpö määrän keskiarvot	16
--	----

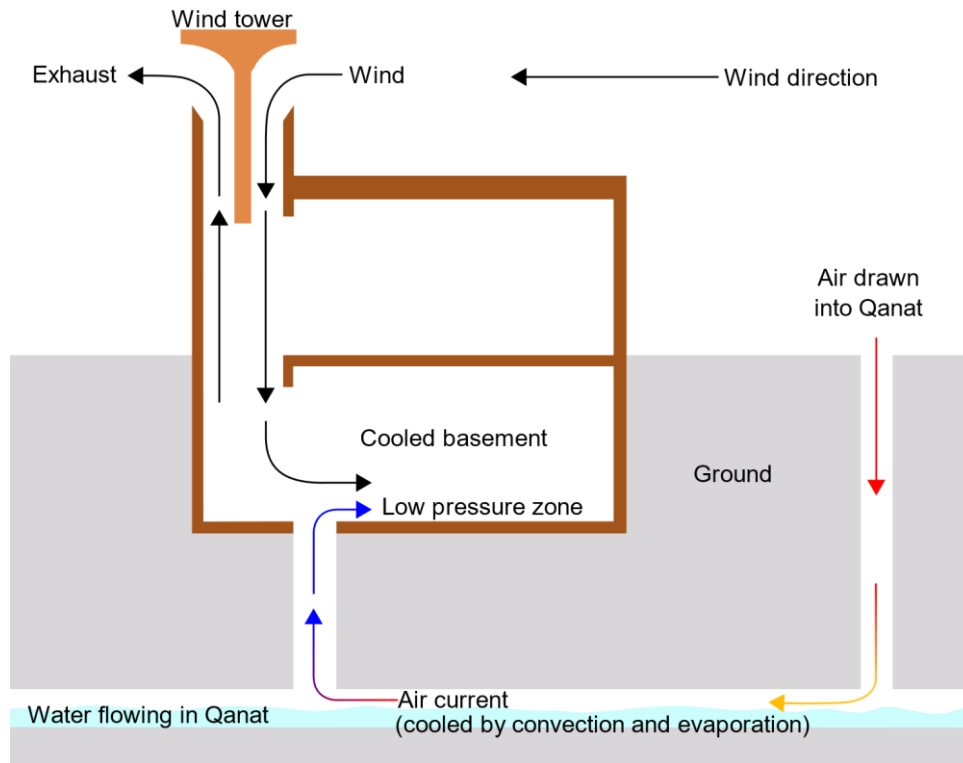
Taulukko 2 Jäähdytysjärjestelmän lämmönjohtavuudet	16
--	----

1 Johdanto

Tässä dokumentissa esitellään tutkimus jäähdytyksen ilmankierron suunnittelusta rajallisessa tilassa tukirakenteen avulla. Tutkimuksen tarkoituksena on löytää ratkaisu kondensoituneen ilmankosteuden siirtymiseen jäähdytys-elementin pinnalta pois rakenteesta, jotta jäähdytysprosessi jatkuu vähintään 1,5 h ajan keskeytymättömänä. Tutkimus rajataan rakenteellisiin ratkaisuihin, jotka eivät tarvitse ulkopuolista energiaa. Tavoitteena on kehittää proof-of-concept, josta voidaan jatkojalostaa tuotteistettava ratkaisu teollisuuden käyttöön henkilökohtaisena viilennysyksikkönä. Tuotekehittelyvaiheessa jäähdytystehon tulisi riittää vähintään 8 tunnin ajaksi. Tutkimuksen laajuus rajoitetaan yksinkertaisiin rakenteisiin, jotka voidaan toteuttaa edullisilla materiaaleilla, jolloin esimerkiksi erilaiset nanomateriaalit rajataan ulos.

Jäähdytysteknologialla pyritään lisäämään yksilön toimintakykyä kuumissa olosuhteissa. Tämän vuoksi tutkimus keskittyy lämpötilojen muutoksiin iholla rakenteiden alla, eikä rakenteen sisällä. Tämän lisäksi viilennyksen empiirinen tuntemus otetaan huomioon. Rajoittavina tekijöinä tunnistetaan ulkopuolisten virtalähteiden saatavuus, mikä rajaa joissain tapauksissa erilaisten koneellisten jäähdytysratkaisujen käyttöä. Esimerkkinä voidaan käyttää turvallisuus- ja viranomaistehtävissä toimivia henkilöitä niissä maissa, jossa on päivällä kuuma ja infrastruktuuri tai vallitsevat olosuhteet eivät välttämättä tarjoa mahdollisuutta hyvälle huoltotoimenpiteille.

Dry evaporation cooling-ilmiöllä tarkoitetaan jäähdytysprosessia, missä vesi sitoo järjestelmässä lämpöä itsestään ja haihtumalla siirtää lämmön ilmankierron mukana pois järjestelmästä. Lämmöntuottamiseen käytetään esimerkiksi kehon hukkalämpöä, jolloin ulkopuolista energianlähdettä ei tarvitse tai esimerkiksi auringon säteilylämpöä (ks. kuvio 1).



Kuvio 1 Williamborg. 2010. Wind-Tower-and-Qanat-Cooling-1.jpg

Etuina dry evaporation-teknologioille voidaan lukea riippumattomuus ulkoisista energialähteistä, mikä on merkittävä ero painavien tai lyhytikäisten akkujen ja kiinteistä energialähteistä riippuvaisiin teknologioihin, kuten Phase-change material- (PCM) ja evaporation cooling- (EC)teknologioihin. Vaikka dry evaporation ei ole uusi ilmiö, sen hyödyntäminen henkilöviilennyksessä ei ole kovin yleistä. Sveitsiläinen materiaalien kehitykseen erikoistunut yritys Empa kehitti ratkaisun suojaliivien jäädytykseen 2012 (Nideröst 2012), mutta liivi ei ole saavuttanut suurta suosiota, arvioni mukaan johtuen sen rajallisesta sopivuudesta kenttäolosuhteisiin. Suurin ongelma Empan kehittämässä mallissa on mielestäni sen riippuvuus ulkoisesta virtalähteestä.

2 Ilmankosteus rakenteissa

Castillon (2011, 42) mukaan Jensen ym. (1990) määrittelee ilmankosteuden seuraavasti;

Evaporation: Evaporation is the physical process by which water is transferred from its liquid phase to gas.

Potential evaporation: When all the evaporating surfaces are wet, so there is no restriction on water in the evaporation process from the surface, it is called potential evaporation

Castillo (2011, 46) esittelee myös Doorenbos & Pruitt (1984) näkemyksen, jossa Jensen ym. (1990) kokonaisuutena, missä maan kuoresta haihtuva vesi vallitsevaan ilmakehään rajoittuu teoreettisesti ihanneolosuhteissa vain saatavilla olevan kosteuden määrään. Olosuhteisiin vaikuttavia rajoitteita löytyy kasvien rakenteista, maaperästä ja ympäristöstä (Mts. 46, 47, 48). Kaasuuntuneen veden poistuminen avoimesta rakenteesta tapahtuu paine-erojen muutoksella, missä vesihöyry lämmitessään kasvattaa painetta, joka pyrkii hakeutumaan ulos rakenteesta kohti vallitsevan ilmakehän matalampaa painetta. Erotusta kahden paineen välillä kutsutaan paine-eroksi Δp (Absoluuttinen paine, suhteellinen paine ja paine-ero). Paine-eroa voidaan laskea yhtälöstä $\Delta p = p_1 - p_2$. Kun paine avoimessa rakenteessa kasvaa yli vallitsevan ilmakehän paineen, mikä maapallolla noin 1 bar, pyrkii haihtunut vesi poistumaan rakenteesta ilman mukana ulos.

3 Ominaislämpökapasiteetti ja lämmönjohtavuus

Veden ominaislämpökapasiteetti 20 Celsius-asteiselle vedelle on 4,186 kJ/K*kg (Suomen Standardoimisliitto 2002, 20) ja kokeessa käytettävän veden 600ml massa on 0,60 kg, joka saadaan kertomalla mitattavan vesimäärän massa veden massan taulukkoarvolla 1 kg/l. (Tiheyden teoriaa 2013). Kaavalla 1 voidaan laskea veden luovuttaman lämpöenergianmäärän (E), kun lämpötilan muutos voidaan mitata kokeen aikana. Oletetaan, että veden lämpötila nousee vastaamaan kehon lämpötilaa 37 Celsius-astetta.

$$E = m * c * \Delta T \quad (1)$$

missä E = lämpöenergian määrä
 m = massa
 c = ominaislämpökapasiteetti
 ΔT = lämpötilan muutos

$$\Delta E = 4,186 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * ^\circ\text{C}} * 0,60 \text{ kg} * (37 ^\circ\text{C} - 20 ^\circ\text{C})$$

$$\Delta E = 42,70 \text{ kJ}$$

Fourierin laki kuvastaa lämmönjohtavuutta, missä kiinteä kappale johtaa lämpöä kuumemmasta lähteestä viileämpään. Jäähdytyslaista voidaan laskea eri materiaaleille lämmönjohtavuusarvo, joka ilmaisee, kuinka hyvin materiaali johtaa lämpöä. Suurempi arvo kertoo suuremmasta lämmönjohtavuudesta. Veden lämmönjohtavuuden taulukkoarvo on 0,60 W/(K*m) mikä on nesteeksi varsin hyvä. Mitä enemmän veteen lisätään esimerkiksi glykolia tai muita jäähdytysnesteelle ominaisia aineita, sitä helpompaa seoksen lämmönjohtavuus on (Kiiskinen 2019). Jäähdytyslementin paksuus on 5 mm. Materiaali ei ole tiedossa, mutta lämmönjohtavuus K voidaan laskea kaavalla 2, kun lämpömäärä $\Delta E = 42,70 \text{ kJ}$ on tiedossa. Jäähdytys elementin pinta-ala on 0,28 m².

$$K = \frac{Qd}{A\Delta T} \quad (2)$$

missä K = lämmönjohtavuus
 Q = siirtyvä lämpömäärä
 d = etäisyys isotermisten systeemien välillä
 A = pinta-ala
 ΔT = lämpötilan muutos

$$K = \frac{42,70 \text{ kJ} * 0,005 \text{ m}^2}{0,28\text{m} * (37^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})}$$

$$K = 0,045 \frac{W}{m * K}$$

Jotta jäähdytysjärjestelmä toimisi mahdollisimman tehokkaasti, käytetyn veden lämmönjohtavuuden tulisi laskennallisesti pysyä mahdollisimman lähellä veden taulukkoarvoa. Tähän vaikuttaa merkittävästi käytetyt materiaalit, jotka osaltaan eristävät lämmönsiirtymistä, sekä mahdolliset epäpuhtaudet vedessä. Kokeessa käytämme saatavilla olevaa hanavettä, sillä puhdistetun veden käyttö ei kuvasta jäähdytys-elementin todellista käyttötarkoitusta.

Käytetty vesi vastaa arvoiltaan hyvälaatuista talousvettä (Lapinlampi, T. & Sipilä, A.. 2001. Kysymyksiä kaivoista. Helsinki: Edita. Suomen ympäristökeskus. ympäristö-opas 86). Suomen Ympäristökeskuksen määritelmän mukaan eri mineraalien, kuten esimerkiksi kloridi tai nitriitti pitoisuudet ovat niin pieniä (<100 mg / l), etteivät ne vaikuta lämmönjohtavuuteen, eikä niitä oteta huomioon kokeessa.

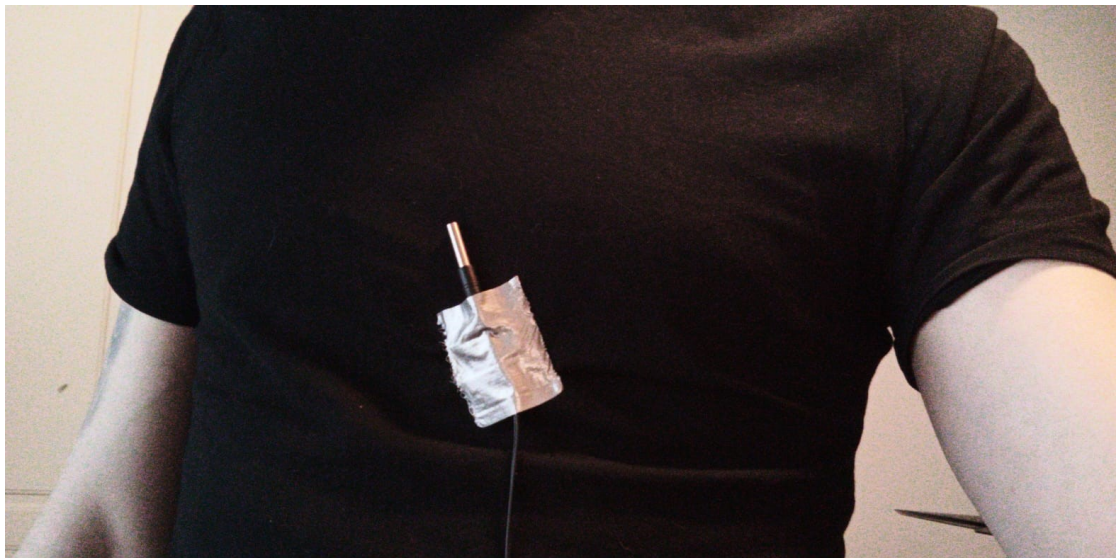
4 Mittaukset

Tutkimus aloitettiin asettamalla lähtöarvot lämpötiloille mitattuna kahdesta pisteestä lämpötilaa ja ilmankosteusprosenttia. Lämpötila-anturit (ks. kuvio 2) asetettiin kohteen rintaan ja selkään (ks. kuvio 3), jolloin eritellään eri puolella kehoa tapahtuvat mahdolliset lämpötilaerot ja niiden muutokset. Kokeessa kohteen päälle puettiin eristysliivi, joka rajoittaa ilmanvaihtoa kaulan-, kylkien- ja vyötäröalueelle.

Mittausta jatkettiin 1,5 h, jolloin saatiin tulokseksi lähtöarvot kehonlämpötilan muutokselle. Mittausten aikana ulkolämpötila asetettiin 25 Celsius-asteeseen ja suhteelliseksi ilmankosteudeksi mitattiin 40 %.



Kuvio 2 Lämpötila-anturit.



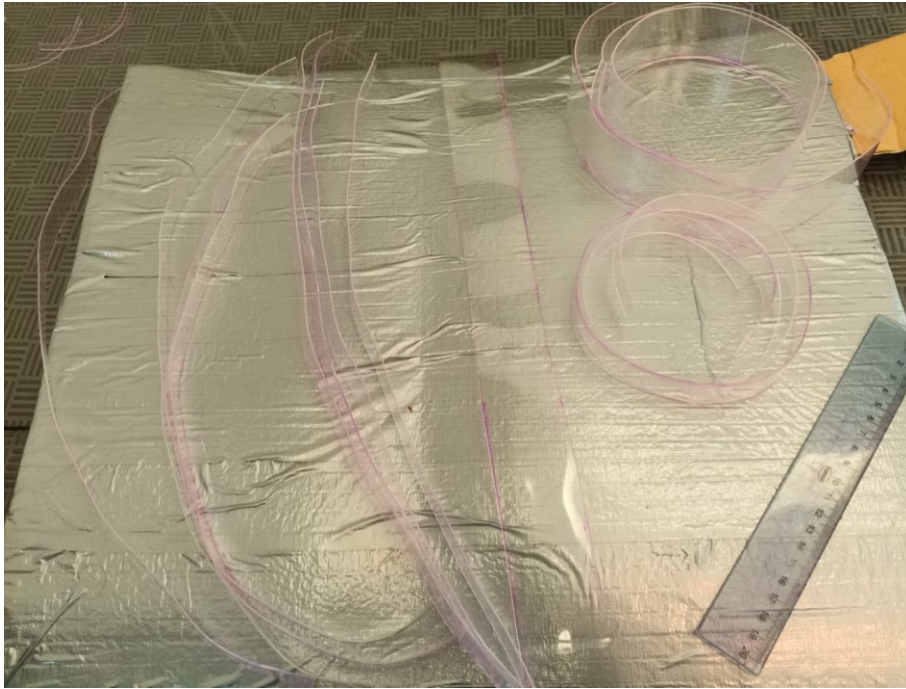
Kuvio 3 Lämpötila-anturi rinnassa.

Lähtöarvojen laskemisen jälkeen lisättiin jäähdytyselementti rakenteen sisään, eristysliivin alle. Lämpötila-anturit sijoituivat jäähdytyselementin alle, jotta saadaan todellista dataa koko rakenteen vaikutuksesta iholle. Tutkimuksesta rajattiin ulos lämpötilamuutokset rakenteen sisällä, sillä vaikutukset ihoa vasten ovat oleellisempia tutkimuksen tavoitteiden valossa.

Kohteen lämpötiloja mitattiin 1,5 h ajan ja tulokset lämpötilamittareista kirjattiin ylös. Tämän jälkeen koetta toistettiin lisäten erilaisia tukirakenteita eristysliivin ja jäähdytyselementin väliin, jotta ilmankierto mahdollistui jäähdytyselementin pinnalle. Mittaukset keskeytettiin, kun löydettiin tukirakenne, joka mahdollistaa jäähdytyselementin käytön eristysliivin alla ilman, että jäähdytyselementin jäähdytysprosessi keskeytyy liian vähäisen ilmankierron seurauksena.

5 Tukirakenne

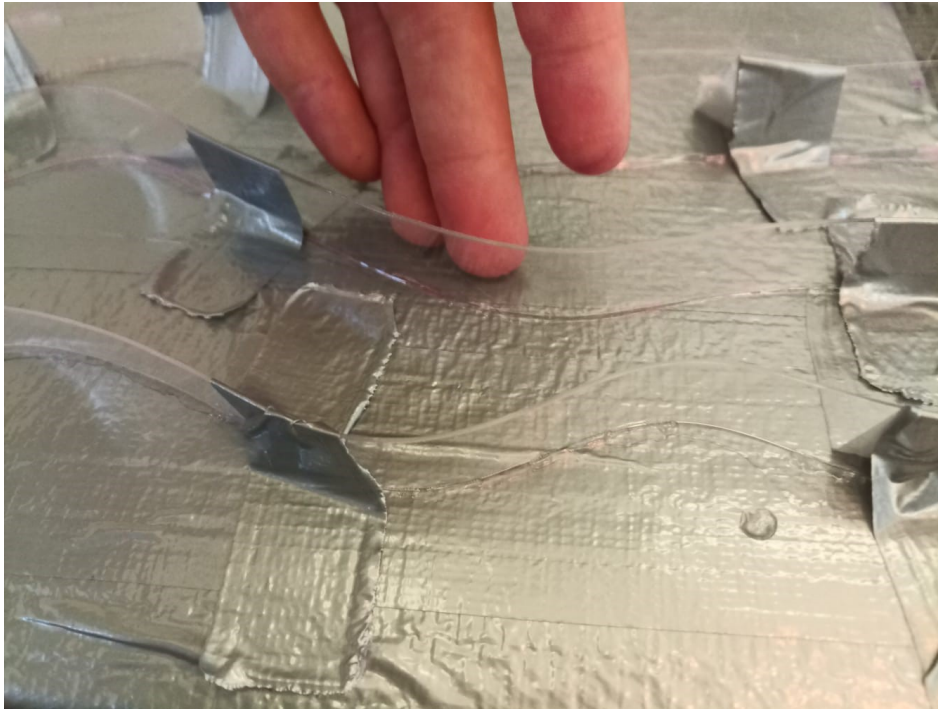
Konseptin toimivuuden toteamiseksi rakennettiin lämpömuovailtavasta muovista haluttu leveydellä ja korkeudella suikaleita (ks. kuvat 4 ja 5), jotka aseteltiin ja liimattiin kaarelle tukevoittamaan rakennetta (ks. kuvat 6 ja 7). Tätä ennen kokeiltiin pehmeästä eristesolumuovista tehtyä ratkaisua, joka hylättiin nopeasti ensimmäisten lämpötilamittausten jälkeen. Pehmeä rakenne painui kasaan, jolloin suunniteltu rakennekorkeus ei toteutunut. Jotta lämpömuovista tehty kappale ei painuisi kasaan, rakenne muotoiltiin hieman käyrään (ks. kuvio 8).



Kuvio 4 Tukirakenteen komponentit tasolla.



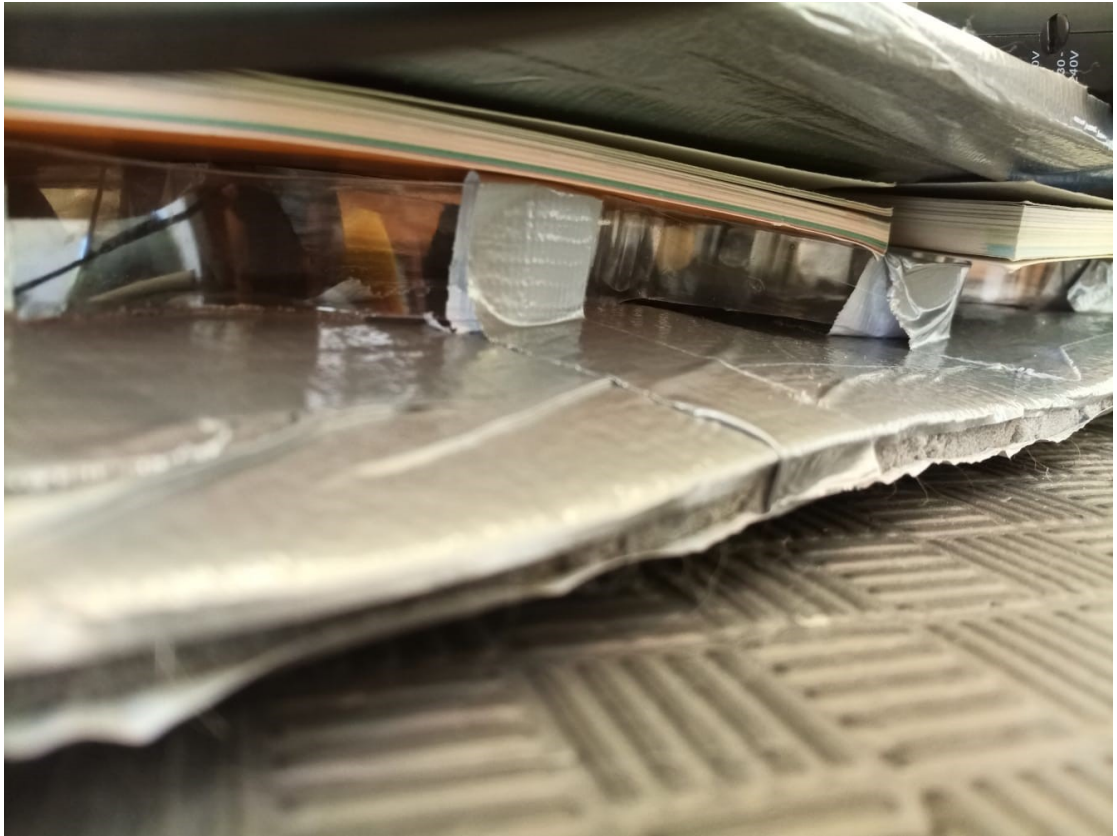
Kuvio 5 Tukirakenteen komponentit tasolla 2.



Kuvio 6 Tukirakenteen komponentit muodossa.



Kuvio 7 Tukirakenteen komponentit muodossa 2.



Kuvio 8 Tukirakenteen komponentit liimauksessa.

Tukirakenne selvisi mittauksista lähes ehjänä, vain yksi kappaleista oli hieman taipunut kulmasta kasaan liimauksen pettäessä, mutta vaikutusta jäähdytykseen ei uskota tapahtuneen. Mikäli tutkimusta haluttaisiin jatkaa pidempään, tulisi materiaali vaihtaa kovempaan, lämpöä paremmin kestävään vaihtoehtoon, kuten esimerkiksi polyetyleenitereftalaatti (Polyethylene terephthalate, 2020).

6 Tulokset

Mittauksista koostettiin mittauspöytäkirja (ks. liite 1 Mittauspöytäkirja), johon tulokset kirjattiin ylös. Mittauksissa lähtötasoksi saatiin ennen ilman jäähdytystä 29,9/30,3 astetta (etu-/takapaneeli) ja kosteus 40 %. 1,5 h mittauksen jälkeen loppulämpötilat olivat vastaavasti 32,5/33 astetta, lämpötilan muutos +2,6/+2,7 astetta. Jäähdytyselementin veden lämpötilaksi mitattiin 14,4 astetta. 16 mm tukirakenteen kanssa aloituslämpötilat olivat mittauksen alussa hieman alemmat (28,7/27,6 astetta), mutta loppulukemat 31,1/31,1 astetta (muutos +2,4/+3,5) antoivat kokeen suurimmat muutosarvot.

20 mm tukirakenteen kanssa aloituslämpötilat olivat vastaavasti 31,0/32,7 ja loppulu-
kemat 27,2/28,7. 20 mm tukirakenteen kanssa päädyttiin negatiiviseen ja lähes nega-
tiiviseen muutos arvoon (+1,7/-4). Koe keskeytettiin 20 mm tukirakenteen jälkeen.

Veden luovuttama lämpömäärän keskiarvot etu- ja takapaneelista koostettiin yhteen
(ks. taulukko 1).

Taulukko 1 Veden luovuttaman lämpömäärän keskiarvot

	Lämpötilan muutos °C	Lämpöenergian määrä kJ
Teoreettinen vertailuarvo	17	42,70
Ilman jäähdystystä	2,65	6,66
20mm jäähdystyksen kanssa	2,95	7,41
16mm jäähdystyksen kanssa	2,85	7,16

Jäähdystysjärjestelmän lämmönjohtavuudet ovat laskettavissa Fourierin lain mukaisesti
(ks. taulukko 2).

Taulukko 2 Jäähdystysjärjestelmän lämmönjohtavuudet

	Q (kJ)	d* (m)	A (m ²)	ΔT (K)	K (W/(m*K))
Ilman jäähdystystä	6,66	0,005	0,28	2,65	0,04485
20mm jäähdystyksen kanssa	7,41	0,005	0,28	2,95	0,04485
16mm jäähdystyksen kanssa	7,16	0,005	0,28	2,85	0,04485

7 Johtopäätökset

Tutkimus osoittaa, että tarpeeksi suurella tukirakenteella on mahdollista saavuttaa riit-
tävä ilmanvaihto jäähdystyselementille eristetyssä tilassa. Testeissä käytetty 20 mm on
riittävä etäisyys aikuisen miehen kokoiselle suunnitellun jäähdystysliivin jäähdystyspro-
sessin turvaamiseksi ja elementin sisäpuoli tuntuu viileältä ihoa vasten vielä 1,5 h käy-
tön jälkeen, vaikka päällä olisi eristysliivi ja -liivin päällä vielä esimerkiksi kevyt vaa-
tetus, joka ei rajoita ilmankiertoa kaula-aukon, kainaloiden ja vyötärölinjan osalta. Tu-
kirakenteen optimoidulla muotoilulla voidaan oletettavasti parantaa ilmankiertoa vielä
ennestään, sillä testatussa mallissa ilman kulkusuunta oli rajoitettu alhaalta ylös, jät-
täen ilmankulun kylkien osalta hyödyntämättä.

Käyttämällä 20 mm tukirakennetta eristeliivin kanssa, jäädytyksen teho saatiin tyydyttävälle tasolle 27,2 astetta (erotus vertailuarvoon -5,3 astetta etupaneelista ja -4,3 astetta takapaneelista), minkä lisäksi jäädytyspaneelin sisäpuoli tuntui viileältä kädellä kokeiltuna. Lopullista vesimäärää ei 1,5 h mittauksen jälkeen pystytty varmistamaan johtuen elementin rakenteesta, mutta voidaan perustellusti olettaa, että on mahdollista, että vesi riittäisi tähdättyyn 8 h käytettävyyteen jatkokehityllä tuotteella. Tutkimus osoitti, että lämpöenergiaa siirtyi paremmin jäädytetystä järjestelmästä, kuin ilman jäädytystä. Tämä antaa teoreettisen vahvistuksen jäädytys-elementin toiminnalle ja vahvistaa proof-of-conceptin lyhyellä aikavälillä mitattuna. Lämmönjohtavuuteen (0,045 W / K m) ei tukirakenteella ollut vaikutusta.

8 Pohdinta

Vedellä toimivan jäädytys-elementin käytössä on potentiaalia teolliseen käyttöön henkilöiden jäädyttämiseksi. Tällä hetkellä markkinat ovat melko suppeat, mikä osaltaan johtuu kuivajäädytys-elementin heikosta viilennystehosta verrattuna ulkoisilla energianlähteitä hyödyntäviä ratkaisuja, kuten PCM, tuulettimet tai ilmastoidut tilat. Tietyissä olosuhteissa ulkoisten energialähteiden saatavuus voi olla kuitenkin heikkoa, jolloin pelkällä tavan vedellä toimiva järjestelmä voi olla käytettävyydeltään toimivampi ratkaisu.

Toimivan tukirakenteen hyödyntäminen kuivajäädytys-elementin käytössä voi tarjota ratkaisun ilmanvaihdollisiin ongelmiin, jotka tähän asti ovat vaivanneet kuivajäädytys-elementtien käytettävyyttä. Markkinoilla on olemassa ratkaisuja, jotka voivat tähän sopia, mutta lisätutkimusta tarvitaan sopivan löytämiseksi. Lisäksi tarvitaan jatkotutkimusta siitä, mikä on tukimateriaalin korkeudelle raja-arvo, joka riittää siirtämään ilman kosteuden pelkän paine-eron avulla, verrattuna esimerkiksi liikkumisesta johtuvaan ilmapirtauksen muodostumiseen rakenteen sisällä, mutta mikä ei aiheuta ylitsepääsemätöntä haittaa käytettävyydelle. Yli 20 mm tukirakenteen käyttö ei ole realistista, sillä esimerkiksi suojaliivin kanssa käytettäessä lisääntynyt ympärysmitta haittaa varusteiden toimivuutta liikaa.

Ilmavirtauksen hyödyntämistä on nähty esimerkiksi motoristeille suunnitelluissa jäähdytysselementeissä (Inuteq. Motorcycling.) ja muissa viilennysratkaisuissa (ks. kuvio 9), joissa pyörän nopeus luo ilmavirtauksen rakenteen sisällä mahdollistaen ilmankierron ilman varsinaista tukirakennetta.



Kuvio 9 The Motorbike Writer. Ventz motorcycle jacket vents.

Myös muita ratkaisuja, esimerkiksi rakenteen paineistaminen paine-eron muodostamiseksi vallitsevaan ilmakehään nähden voidaan harkita, mutta tämä saattaa lisätä tarvetta jonkinlaiselle mekaaniselle laitteelle, mikä voi osaltaan heikentää käytettävyyttä vaativissa olosuhteissa.

Tutkimusta pidetään onnistuneena osoituksena dry evaporation-teknologian toimivuudesta, mutta ei kovin luotettavana proof-of-concept-tavoitteen saavuttamiseksi jatkokehitystä varten. Tuntemattomia muuttujia materiaalien lämmönjohtavuuksista ja jäähdytysaineen (vesi) riittävydestä on liikaa. Teoreettinen lämpötilamuutos tulisi asettaa realistisemmaksi vertailukohteeseen nähden, sillä lämpötila ei missään vaiheessa tavoittanut kehon lämpötilaa, vaan lopullinen lämpötila oli noin 33 astetta. Tässä vaiheessa kosteutta oli yleensä kertynyt jo selkeästi elementin alle, jolloin voidaan todeta, että ilman suhteellinen kosteus oli lähelle 100%.

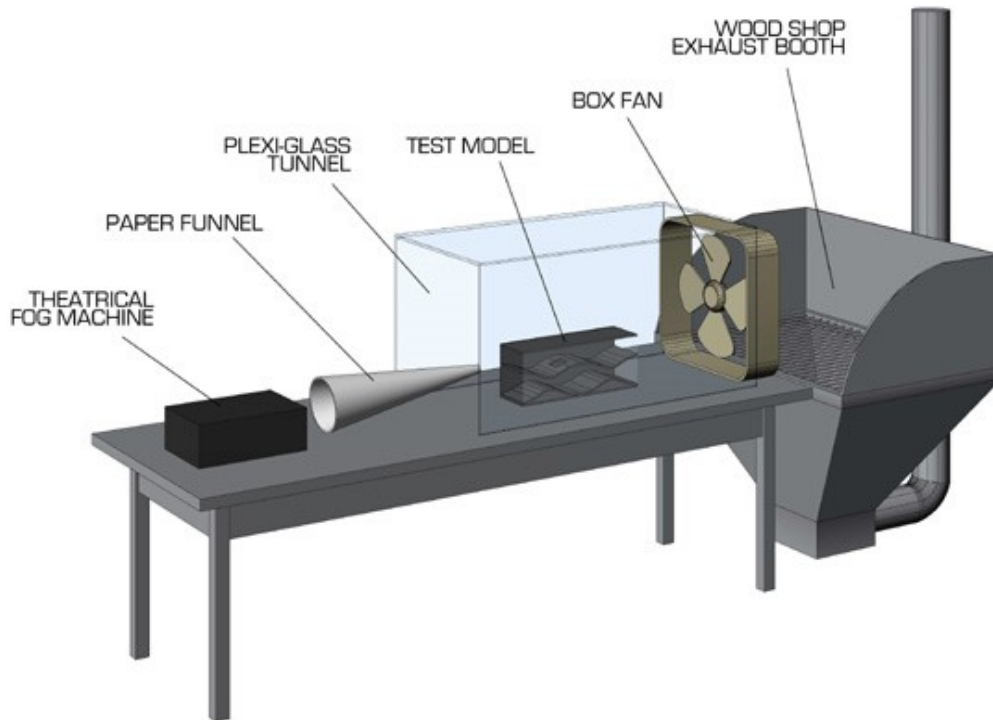
Jatkotutkimuksia varten suositellaan jäähdytys-elementin purkamista yksinkertaisempiin elementteihin, jolloin muuttujia voidaan mitata ja hallita paremmin. Lisäksi ilmanpainetta ja -virtauksia tulisi mitata rakenteen sisältä, sekä rakentaa virtausmalli poistuvalla vesihöyrylle rakenteen muotoilun optimoimiseksi. Apuna voidaan käyttää esimerkiksi savua tai värjättyä höyryä, jota vapautetaan rakenteen sisälle ja kuvataan sen poistumista eri reittejä pitkin (ks. kuvat 10-12).



Kuvio 10 Boake T.M. Project #4: Smokebox 10%.



Kuvio 11 Boake T.M. Project #4: Smokebox 10%.



Kuvio 12 Boake T.M. Project #4: Smokebox 10%.

Jäähdytys-elementin todellisen jäähdytystehon lisäksi on otettava huomioon jäähdytyksen tuntemus käyttäjälleen. Kylmähoitoa käytetään muun muassa huippu-urheilussa palautumiseen säätämällä myoglobiini-tasoa elimistössä. Jo pelkästään kylmäntuntemus kehossa parantaa veren virtausta kudoksiin ja kuona-aineiden poistumista kehosta (Engberg 2016).

Mittaustulosten lisäksi empiiristä kokemusta jäähdytys-elementin viileydestä pidettiin näin ollen tärkeänä mittarina tukirakenteen toimivuudelle, tuotekehityksen kannalta jopa tärkeämpänä, kuin todellisen lämpötilan muutosta. Vastaavaa hyötyä voidaan nähdä esimerkiksi nyrkkeilyssä ja muissa kamppailulajeissa, missä urheilijan niskaan ja mustelmiin asetetaan jääpussi viilentävän vaikutuksen aikaansaamiseksi (ks. kuvio 13). Näin vähennetään turvotusta ja ehkäistään vammojen syntyä. Onnistuneen tuotteen aikaansaamiseksi henkilökohtaiseksi viilennysratkaisuksi tätä viilentävää tunnetta tulisi jatkua mahdollisimman pitkään.

Jotta onnistunut tuote voitaisiin henkilökohtaiseen jäähdytykseen luoda, tulisi mielestäni seuraavat asiat toteutua; tuote palvelee asiakkaan tarvetta riittävästä jäähdytyksestä, tuote on yhteensopiva muiden käytössä olevien varusteiden, kuten suojaliivin tai kantolaite (ks. kuviot 14 ja 15) kanssa, ja että tuote toimii yksinkertaisella ja mahdollisimman huoltovapaalla mekanismilla haasteellisissa olosuhteissa ilman ulkoista virtalähdettä.



Kuvio 13 Combat Museum. Dustin Poirier getting ice on his right leg in a fight where his opponent (Gaethje) kicked him relentlessly.



Kuvio 14 Vesa Moilanen. Lehtikuva. Sotilaan varustus. Yle Uutiset. 29.4.2018.



Kuvio 15 EMS World. TCAD Paramedics acquire bulletproof vests. Lehtikuva. 8.12.2019.

Lähteet

Absoluuttinen paine, suhteellinen paine ja paine-ero. Wika Finland Oy:n sivustolla. Viitattu 28.9.2020.

https://www.wika.fi/landingpage_differential_pressure_fi_fi.WIKA

Castillo, J. M. (Ym.). 2011. Relative humidity: Sensors, management and environmental effects. Viitattu 22.10.2020. <https://janet.finna.fi>

Combat museum. Why do fighters put ice on the back of their neck? Kuva verkkoartikkelissa. Viitattu 10.1.2021.

<https://combatmuseum.com/why-do-fighters-put-ice-on-the-back-of-their-neck/>

Engberg, Marko. 2016. Kylmähoidosta on iloa urheilijalle, haastattelussa fysioterapeutti Michael Sundström. Uutinen Uusimaa-lehden sivustolla. Viitattu 28.8.2020.

<https://www.uusimaa.fi/urheilu/1607140>

EMS World. Lehtikuva. Verkkoartikkeli julkaistu 8.12.2019. Viitattu 11.1.2021.

<https://www.emsworld.com/press-release/1223091/tcad-paramedics-acquire-bulletproof-vests>

Kiiskinen, Juha. 2019. Pakkas- vai jäähdytysnestettä?. Blogi Suomen Autoteknillisen Liiton (SATL) sivustolla. Viitattu 23.9.2020.

<https://satl.fi/2019/08/21/%EF%BB%BFpakkas-vai-jaahdytysnestetta/>

Nideröst, Remigius. 2012. Real smart: protective clothing with built-in A/C. Uutinen Empa Materials Science and Technology-sivustolla. Viitattu 28.9.2020.

<https://www.empa.ch/web/s604/schutwest>

Motorcycling. Inuteq. Myyntiesittely yrityksen sivustolla. Viitattu 22.10.2020.

<https://inuteq.com/markets/motorcycling/>

Polyethylene terephthalate. Wikipedia-artikkeli. Viitattu 22.10.2020.

https://en.wikipedia.org/wiki/Polyethylene_terephthalate

SI-opas. 2001. Suomen Standardoimisliitto. Viitattu 23.9.2020.

<http://web.archive.org/web/20120831234747/http://www.sfs.fi/files/70/si-opas.pdf>

Smokebox. Terri Meyer Boake. Projektiesittely verkkosivulla. Viitattu 10.1.2021.

https://www.tboake.com/125_smokebox_w14.html

Tekniset muovit. 8.2012. Fluorotech. Myyntiesite. Viitattu 18.11.2020.
<https://www.fluorotech.fi/files/mittakuvat/Teknisetmuovit.pdf>

Thermal conduction. Fourerin laki. Wikipedia-artikkeli. Viitattu 17.11.2020.
https://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_conduction#Fourier's_law

Tiheyden teoriaa. 2013. Jyväskylän Yliopisto. Viitattu 23.9.2020.
<https://koppa.jyu.fi/avoimet/kemia/ako/folder.2006-09-07.6395239497>

Vesa Moilanen. Lehtikuva. Yle Uutiset-verkkoartikkeli julkaistu 29.4.2018. Viitattu 11.1.2021. <https://yle.fi/uutiset/3-10183651>

Williamborg. 2010. Wind Tower and Qanat Cooling. Viitattu 18.8.2020.
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=8981659>

Liitteet

Liite 1. Mittauspöytäkirja.

Mittauspöytäkirja		Aloituslampotila C		Lopetuslampotila C		Alkutilapöytä C		Lopetuslampotila C		Lämpötilanmuutos K		Lämpötilanmuutos K		Huomioita
Esimittaukset, lähtöarvojen selvityksiä		etupaneeli		etupaneeli		(takapaneeli)		(takapaneeli)		(etupaneeli)		(takapaneeli)		
M-koon jäähdytysliiv, ilman eristeliivä	31,2	30,3	puttuu	27,6	puttuu	puttuu	puttuu	puttuu	puttuu	-0,9				
M-koon jäähdytyksen kanssa, ilman eristeliivä	31,2	27,6	puttuu	34,7	puttuu	puttuu	puttuu	puttuu	puttuu	-3,6				
Ilman jäähdytystä, eristysliivn kanssa, tiivis kangastaikki päällä	35,3	34,7	puttuu	33,9	puttuu	puttuu	puttuu	puttuu	puttuu	5,8				Vettä kondensoitunut: selkeästi jäähdytyselämentin ulkopinnaan
M-koon jäähdytyksen kanssa, eristysliivn, tiivis kangastaikki päällä	28,1	33,9	puttuu											
Värisäiset mittaukset														
Ilman jäähdytystä, eristysliivn kanssa	29,9	32,5		30,3						3,3				
10mm tukirakenteen kanssa (vain etupaneeli), jäähdytetty, eristeliivn, ilman takkia	28,7	31,1		27,6						31,1				
20mm tukirakenteen kanssa (molemmat puolel), jäähdytetty	31	27,2		32,7						28,7				

Eroitus 20mm rakenteella vs. ilman jäähdytystä liivn kanssa

5,3

4,3

