



Työterveyslaitos | Arbetshälsöinstitutet
Finnish Institute of Occupational Health

Hengityksensuojainten toimivuus kylmässä

Erja Mäkelä
Sirkka Rissanen
Heli Kähkönen
Mauri Mäkelä
Sampsa Törmänen
Jenni Kaisto
Pertti Tuhkanen
Kirsi Jussila





Työterveyslaitos | Arbetshälsoinstitutet
Finnish Institute of Occupational Health

Hengityksensuojainten toimivuus kylmässä

LOPPURAPORTTI

Erja Mäkelä, Sirkka Rissanen, Heli Kähkönen, Mauri Mäkelä, Sampsa
Törmänen, Jenni Kaisto, Pertti Tuhkanen ja Kirsi Jussila

Työterveyslaitos

Helsinki

Oulu



Työterveyslaitos

Turvallisuusratkaisut

PL 40

00251 Helsinki

www.ttl.fi

Toimitus: Kirsi Jussila, Erja Mäkelä, Sirkka Rissanen, Heli Kähkönen

Valokuvat: Heli Kähkönen, Sirkka Rissanen, Sampsa Törmänen, Kirsi Jussila

© 2019 Työterveyslaitos ja kirjoittajat

Julkaisu on toteutettu Työsuojelurahaston tuella.

Tämän teoksen osittainenkin kopiointi on tekijänoikeuslain (404/61, siihen myöhemmin tehtyine muutoksineen) mukaisesti kielletty ilman asianmukaista lupaa.

ISBN 978-952-261-863-4 (nid.)

ISBN 978-952-261-864-1 (PDF)

PunaMusta Oy, Tampere, 2019

TIIVISTELMÄ

Kylmä työympäristö aiheuttaa useita ongelmia hengityksensuojainten käyttöön. Kylmä aiheuttaa hengityksensuojaimen huurtumista ja jääymistä, koska hengityksen mukana tuleva kosteus tiivistyy sekä hengityksensuojaimen että suodattimen sisään. Aiemmin on esitetty, että kylmä kovettaisi suojainmateriaaleja, mikä heikentäisi suojaustehokkuutta. Erityisesti puhallinsuojaimien käyttö aiheuttaa kasvojen jäähtymistä, eikä ole ollut tietoa, kuinka kasvojen kylmänsuojaus vaikuttaa puhallinsuojainten suojaustehokkuuteen. Kaiken kaikkiaan tutkimukseen pohjautuva tieto suodattimilla varustettujen hengityksensuojainten toimivuudesta ja käytettävyydestä kylmässä on ollut puutteellista.

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää kylmän työympäristön vaikutukset erityyppisten hiukkassuodattimilla varustettujen hengityksensuojainten käyttöön, niiden toimivuuteen ja suojaustehoon. Lisäksi hankkeessa tutkittiin mahdollisuuksia estää kasvojen jäähtymistä käytettäessä puhallinsuojainta kylmässä.

Hengityksensuojainten käytön ongelmat ja kehitystarpeet selvitettiin sekä kirjallisuusselvityksen että käyttäjäryhmän edustajien ja suojainvalmistajien haastattelujen avulla. Hallituissa laboratorio-oloissa määritettiin hiukkassuodattimien tiiviys, käyttömukavuus ja ihmisen lämpövasteet kasvoilla eri ympäristön lämpötiloissa (+20 ja -20 °C). Lisäksi mitattiin kasvojen kylmältä suojaavien alushuppujen lämmöneristävyydet ja selvitettiin niiden vaikutus suojaimen suojaustehoon.

Suojainvalmistajien ja -myyjien haastattelujen ja käyttöohjeiden mukaan hengityksensuojaimet on tarkoitettu käytettäväksi pääsääntöisesti -10 °C lämpimämpiin ympäristön lämpötiloihin. Käyttäjäryhmien haastattelujen perusteella kannettavia puhallinsuojaimia tulisi kuitenkin voida käyttää myös tätä kylmemmissä oloissa. Tämän tutkimuksen mukaan hengityksensuojainten suojauskyky on samanlainen +20 ja -20 °C lämpötilassa, kun suojain ei jäädy. Saatujen mittaustulosten perusteella jatkuvapuhalteisten puhallinsuojainten kylmä ilmanvirtaus -20 °C:ssa jäädyttää kasvoja 10-15 minuutissa alle 15 asteen, kylmimmillään hetkellisesti jopa alle 5 asteen, kun ihminen on liikkumatta. Hengityksrytmiin mukautuva puhallinsuojain tuo kylmää ilmaa kasvoille vain sisäänhengitysvaiheen aikana ja jäädyttää siksi kasvoja vähemmän. Kun puhallinsuojaimen kasvo-osana on kypärä, huppu tai kasvosuojus, voidaan kasvojen ja pään kylmänsuojaukseen käyttää alushuppua. Ohutkin neuloshuppu riittää vähentämään ihon jäähtymistä. Suojanaamari, jossa ei ole puhallinlaitetta, suojaa kasvoja jäähtymiseltä kylmällä ilmalla.

Tutkimuksen tulosten pohjalta laadittiin ohjeistukset ja suositukset hengityksensuojainten käyttöön kylmissä työympäristöissä Työterveyslaitoksen riskienhallinnan malliratkaisuna (www.ttl.fi/malliratkaisu). Tutkimuksen tulokset on suunnattu niin työpaikoille, työterveyshuoltoon kuin hengityksensuojainten myyjille ja valmistajille.

ABSTRACT

Cold work environment causes problems in use of respiratory protective equipment (RPE). The cold causes fogging and icing of the RPE due to sorption of breathing moisture to RPE and filter. Earlier it has been claimed that RPE materials harden in the cold in extent to cause inward leakage which would result in loss of protectivity. Especially use of powered air purifying respirators (PAPRs) increase facial cooling. Furthermore, it has not been known how cold protection of the face effects on protective efficiency of the PAPRs. All in all, research based information on functionality and usability of the filtering RPE in the cold has been insufficient.

Aims of this study were to determine effects of the cold work environment on use, functionality and protective efficiency of different particle filtering RPE. It was also aimed to find possibilities to prevent facial cooling while using PAPRs in the cold.

Literature review and interviews of representatives of the users of the RPE in the cold and RPE manufacturers and their retailers were performed to determine problems in use of RPE in the cold. In controlled laboratory conditions it was determined inward leakage, comfort and human thermal responses at ambient temperatures of +20 and -20 °C. In addition, the thermal protective properties of cold protective balaclavas were measured and their influence on RPE protective efficiency was determined.

RPE are mainly meant to be used in ambient temperatures warmer than -10 °C according to the interviews of the RPE manufacturers and retailers and RPE user information sheets. Nevertheless, the RPE users have stated a need to use the RPE in colder environment. According to this study the cold environment (-20 °C) does not decrease the protective efficiency of RPEs, if icing does not occur. The results of this study showed that the continuous cold air flow of PAPR decreases the face skin temperatures lower than 15 °C or in some cases even momentarily under 5 °C in 10-15 min when the person was not moving at ambient temperature of -20 °C. Breath-responsive PAPR has cold air flow inside the mask only during inhalation and therefore face skin temperatures were warmer. When PAPRs are integrated with helmets, hoods or face shields, a textile balaclava can be used underneath the facepiece to protect the head and face against cooling. Even a thin knitted balaclava can reduce the facial cooling. Face masks without the air flow systems protect the face against cooling in the cold.

Based on the results of this research instructions and recommendations for use of RPE in the cold work environment were formulated as Control Approach (for Risk Management) of the Finnish Institute of Occupational Health (www.ttl.fi/malliratkaisut). The study results can be used by work places, occupational health care as well as within RPE manufacturers and retailers.



SISÄLLYS

Lyhenteet.....	8
1 Tutkimuksen lähtökohta ja tavoitteet	9
1.1 Tausta.....	9
1.1.1 Hengityksensuojainten suojaustehokkuus	9
1.1.2 Kasvojen jäähtyminen ja hengityksensuojaimen lämmittäminen.....	10
1.2 Tutkimuskysymykset ja -alueen rajaus	11
1.3 Tavoitteet.....	12
1.4 Tutkimuksen toteutus ja vaiheet.....	12
1.5 Tutkimuksen toteuttajat ja yhteistyötahot	14
2 Menetelmät ja aineistot.....	15
2.1 Kirjallisuuskatsaus.....	15
2.2 Haastattelut	16
2.2.1 Työpaikoilla tehdyt haastattelut.....	16
2.2.2 Suojainvalmistajien ja -myyjien haastattelut.....	16
2.3 Hengityksensuojainten valinta.....	17
2.3.1 Hengityksensuojainten suojauskerrointen määrittäminen.....	17
2.3.2 Kasvojen jäähtymismittaukset.....	17
2.3.3 Valitut suojaimet.....	17
2.4 Puhallinlaitteiden toimintakyky kylmässä.....	21
2.5 Hengityksensuojainten suojauskertoimet	22
2.5.1 Koehenkilöt	22
2.5.2 Hengityksensuojainten oikein pukemisen varmistaminen	23
2.5.3 Mittausmenetelmät.....	23
2.5.4 Mittausten toteutus.....	24
2.5.5 Suojaimilta edellytetyt suojauskertoimet	25
2.6 Kasvojen jäähtyminen käytettäessä hengityksensuojaimia kylmässä.....	27



2.6.1	Koehenkilöt	27
2.6.2	Mittausmenetelmät.....	27
2.6.3	Mittauksen toteutus.....	28
2.7	Hengityksensuojainten ja alushuppujen kylmänsuojaus.....	29
2.7.1	Valitut alushuput ja suojaimet.....	29
2.7.2	Alushuppujen ja hengityksensuojainten lämmöneristävyden mittaus	29
2.7.3	Alushuppujen vaikutus TH-luokan suojainten suojaustehokkuuteen.....	30
2.8	Hengityksensuojainten huurtuminen ja jäätyminen.....	30
3	Tulokset	32
3.1	Kirjallisuuskatsaus.....	32
3.1.1	Yleiset Internet -haut	32
3.1.2	Tieteelliset haut.....	32
3.2	Haastattelut	33
3.2.1	Työpaikoilla tehdyt haastattelut.....	33
3.2.2	Suojainvalmistajien ja -myyjien haastattelut.....	34
3.3	Puhallinlaitteiden toimintakyky kylmässä.....	35
3.4	Hengityksensuojainten suojauskertoimet	37
3.5	Kasvojen jäätyminen käytettäessä hengityksensuojaimia kylmässä.....	48
3.5.1	Kasvojen iholämpötilat.....	48
3.5.2	Kasvojen lämpötuntemus	54
3.6	Hengityksensuojainten ja alushuppujen kylmänsuojaus.....	58
3.6.1	Hengityksensuojainten ja alushuppujen lämmöneristävyys	58
3.6.2	Kylmänsuojauksen vaikutus kasvojen iholämpötilaan	59
3.6.3	Muissa ympäristön lämpötiloissa tehdyt mittaukset	61
3.6.4	Alushuppujen vaikutus TH-luokan suojainten suojaustehokkuuteen.....	62
3.7	Hengityksensuojainten huurtuminen ja jäätyminen.....	63
4	Tulosten tarkastelu.....	66



4.1	Kirjallisuuskatsaus.....	66
4.2	Haastattelut	69
4.2.1	Työpaikoilla tehdyt haastattelut.....	69
4.2.2	Suojainvalmistajien ja -myyjien haastattelut	69
4.3	Puhallinlaitteiden toimintakyky kylmässä.....	70
4.4	Hengityksensuojainten suojauskertoimet	70
4.5	Kasvojen jäähtyminen käytettäessä hengityksensuojaimia kylmässä.....	71
4.6	Hengityksensuojainten ja alushuppujen kylmänsuojaus.....	72
4.7	Hengityksensuojainten huurtuminen ja jäätyminen.....	73
5	Johtopäätökset	74
6	Suosituksset	77
7	Projektin tuotokset	79
	Lähteet	81
	Liitteet	85

LYHENTEET

CEN	European Committee for Standardization. Standardointijärjestö, johon kuuluu kansalliset standardointijärjestöt Euroopan 34 maasta.
EN	Eurooppalaisen standardin (normin) tunnus, kun standardi on tehty CEN:n työryhmässä.
FFP3	Suodattava puolinaamari (filtering facepiece), joka suodattaa hiukkasia (P) ja jonka tehokkuusluokka on FFP3. Numero 3 merkitsee tehokkainta suojainta 1-3:sta.
P3	Hiukkassuodatinten suodatuskyvyltään tehokkain luokka. P3-hiukkassuodatin liitetään kokonaamariin tai puolinaamariin. Naamarin ja suodattimen yhteenlaskettu enimmäissisäänvuoto määrittää suojaimen tehokkuuden.
RH	Suhteellinen kosteus (relative humidity)
TH3P	Hengityksensuojainten tehokkuusluokka, kun suojaimessa on puhallin (T=turbo), hiukkassuodatin (P) sekä huppu, kypärä tai kasvosuojus (H). TH3P on puhaltimella ja hupulla, kypärällä tai kasvosuojuksella varustettujen suojainten tehokkain luokka. Suojainkokonaisuuden enimmäissisäänvuoto määrittää suojaimen tehokkuuden. Hiukkassuodattimilla ei ole omaa tehokkuusluokitusta puhallinlaitteissa.
TM3P	Hengityksensuojainten luokka, jossa on puhallin (T=turbo), naamari (M=mask) ja hiukkassuodatin (P). TM3P on puhaltimella ja naamarilla varustettujen suojainten tehokkain luokka. Suojainkokonaisuuden enimmäissisäänvuoto määrittää suojaimen tehokkuuden. Hiukkassuodattimilla ei ole omaa tehokkuusluokitusta puhallinlaitteissa.

1 TUTKIMUKSEN LÄHTÖKOHTA JA TAVOITTEET

1.1 Tausta

Kylmässä hengityksensuojainten toimivuus voi muuttua. Kylmä voi jäykistää materiaaleja ja saattaa aiheuttaa hengityksensuojaimen kovettumista, mikä puolestaan voi muodostaa suojanaamarin tiiviysongelmia ja hengitysenttiilien paikoilleen jähmettymistä. Lisäksi hengityksen mukana tulevaa kosteutta tiivistyy sekä hengityksensuojaimen että suodattimen sisään. Lisäksi hengityksen mukana tulevaa kosteutta tiivistyy ja jäätyy sekä hengityksensuojaimen että suodattimen sisään. Hengityksensuojaimet saattavat painaa kasvoja ja edistää paleltumia. Puhaltimella varustettujen hengityssuojaimien aiheuttama ilmanvirtaus puolestaan jäädyttää kasvoja. Käytännössä kylmyyden tuomat ongelmat ovat tunnistettu jo aiemmin avolouhostyössä (MineHealth projekti 2012-2014) sekä eri toimialoilla, kuten rakennusalalla, maataloudessa ja erilaisista huoltotehtävissä. Kylmän aiheuttamat ongelmat hengityksensuojauksessa ovat yleisiä pohjoisilla alueilla niin Suomessa kuin yleisemmin Pohjoismaissa sekä arktisilla alueilla.

Puhallinlaitteilla varustettujen suodatinsuojainten käyttöä suositellaan usein työntekijöille, joilla on vaikeuksia käyttää puhaltimettomia suojanaamareita. Hengitysilman kylmyydellä ja kasvojen jäähtymisellä voi olla erityistä merkitystä henkilöille, joilla on astma tai sydän- ja verisuonisairaus. Kylmä hengitysilma rasittaa sydän- ja verisuonielimistöä (Seifert ym. 2013). Kasvojen jäähtyminen aiheuttaa keuhkoputkien supistumista (Koskela ja Tukiainen 1995). Tämä voi lisätä astman ja keuhkohtaumataudin aiheuttamia oireita (D'Amato ym. 2018, Millqvist ym. 1995, Zeitoun ym. 2004).

1.1.1 Hengityksensuojainten suojaustehokkuus

Kirjallisuuden perusteella hengityksensuojainten suojaustehokkuutta heikentäviä tekijöitä ovat mm. väärä valinta, jolloin suojaintyyppin tehokkuus ei ole riittävä epäpuhtauspitoisuutta vastaan, suojainkomponenttien vääränlainen yhdistely tai suojaimen muuntelu työpaikalla, suojaimen reunavuoto ja henkilökohtaisen tiiviystestauksen puuttuminen, suojaimen huono kunto ja huollon puuttuminen, käyttövirheet tai käytön laiminlyönti (Clayton ym. 2002, Howie ym. 1996, Zhuang ja Myers 1996, Jaakkola 1984, Tuomi 1985, Christiansen ja Lehtimäki 1987, Säämänen ja Pekari 1993, Minni ja Varjo 1989, Kiilunen ym. 2005).

Kirjallisuudessa on vain vähän tietoa, kuinka kylmyys vaikuttaa hengityksensuojaimen suojaustehokkuuteen. Tähän on syynä tutkimusalueen keskeisten tutkimusorganisaatioiden sijoittuminen maantieteellisesti alueille, joissa hyvin alhaiset ympäristön lämpötilat eivät ole ongelma. Aiemmat tutkimukset ovat kuitenkin osoittaneet ongelmia suojalasiin ja -visiiriin huurtumisessa ja edelleen niiden jäätymisessä, mikä aiheuttaa merkittävän riskin

näkökentän rajautuessa merkittävästi, kuten kuvassa 1 on havainnollistettu (Rissanen ja Rintamäki 2016). Lisäksi työpaikoilta on saatu runsaasti kommentteja hengityksensuojainten aiheuttamista ongelmista kylmässä.



Kuva 1. Kasvonsuojuksen visiirin huurtuminen -20°C lämpötilassa puhallinsuojainta käytettäessä (Rissanen ja Rintamäki 2016).

1.1.2 Kasvojen jäähtyminen ja hengityksensuojaimen lämmittäminen

Hengityksensuojaimen käytettävyyteen kylmässä liittyy oleellisesti kasvojen alueen jäähtyminen, erityisesti puhallinsuojaimia käytettäessä. Puhaltimella varustetut hengityksensuojaimet aiheuttavat voimakkaan ilmavirran hengityksensuojaimen sisällä, mikä kylmissä oloissa voi aiheuttaa haitallisen ihon jäähtymisen. Iholämpötilat kasvoissa voivat laskea alle 10 °C:een (Rissanen ja Rintamäki 2016). Hengityksensuojaimen aiheuttama kasvojen jäähtyminen vaikuttaa myös koko kehon kylmätuntemukseen (Nielsen ym. 1987). Vaikka kasvojen jäähtyminen ei olisikaan haitallisen voimakasta kaikilla suojaimilla, se voi olla hyvin epämiellyttävää.

Lisäksi, työpaikoilta saadun tiedon mukaan, puolinaamareiden käyttö äärikylmissä oloissa on aiheuttanut paleltumia työntekijöiden kasvoille, erityisesti suojaimen tiivisteiden vierre. Tästä syystä hengityksensuojainten käytön riskirajat tulisi tunnistaa ja uusia ratkaisuja näihin haasteellisiin oloihin on tarpeen kehittää.

Suojaimen sisääntuloilman lämmittäminen vaatii hyvin paljon energiaa. Riittävän voimakkaan lämpölähteen, esim. akulla toimivan lämmittimen kantaminen ei siksi ole käytännöllinen ratkaisu kasvojen jäähtymisen ehkäisyssä. Paineilmalla toimivissa hengityksensuojaimissa voi olla Vortex-laite, joka tuottaa lämpöä voimakkaasta ilmavirtauksesta. Puhaltimella varustettujen suodatussuojainten tuottama ilmavirtaus ei ole siihen tarkoitukseen kuitenkaan riittävä ja varsinaisten paineilmalaitteiden käyttö rajoittaisi työntekijöiden liikkuvuutta. Lisäksi kompressoreihin tiivistyvä kosteus aiheuttaa pakkasessa ongelmia.

Suojanaamareiden, joissa ei ole puhallinta, tiedetään lämmittävän normaalissa huonelämpötilassa kasvoja niin paljon, että se saatetaan kokea sietämättömäksi ja syyksi olla käyttämättä naamaria (Laird ym. 2002, Roberge ym. 2012). Puhallinten käyttö suodatusuojaimissa pienentää sisäänhengitysvastusta ja hiilidioksidipitoisuutta sisäänhengitysilmassa ja ehkäisee lämpötilan nousua suojaimen sisällä (Arad ym. 1992). Koska puhallinvusteiset laitteet ovat mukavia käytössä, laitteita haluttaisiin käyttää suojanaamareiden sijasta (Jensen 2014, 2017).

Hengityksensuojaimen alle lisätyn, kylmältä suojaavan erillisen kasvosuojaimen on osoitettu ehkäisevän haitallista ihon jäähtymistä (Rissanen ja Rintamäki 2016). Ei kuitenkaan ole tietoa, muuttaako kasvosuojus hengityksensuojauksen suojaustehokkuutta. Koska henkilönsuojainten periaatteisiin kuuluu, että työpaikoilla käytetään vain tyyppihyväksytyjä, käyttäjän muuttamattomia suojaimia, kasvosuojaimia tai lisälämmittämiä ei voi ottaa käyttöön ilman tyyppihyväksyntää.

1.2 Tutkimuskysymykset ja -alueen rajaus

Tutkimuksessa keskityttiin seuraaviin kysymyksiin:

- Minkälaisia hengityksensuojaimia käytetään tai on tarvetta käyttää kylmässä?
- Millaisia ongelmia niiden käytössä on todettu ja kuinka paljon?
- Tunnistavatko yritykset hengityksensuojainten kylmässä käyttämiseen liittyvät ongelmat?
- Mihin lämpötiloihin suojainvalmistajat lupaavat hengityksensuojainten toimivuuden?
- Muuttuuko suojausteho (suodatin ja sisäänvuodot) kylmässä?
- Kuinka alhaisissa lämpötiloissa erityyppisiä hengityksensuojaimia voidaan käyttää huomioiden suojausteho ja kasvojen jäähtyminen?

Tutkimuksessa arvioitiin erityyppisten hiukkassuodattimilla varustettujen hengityksensuojainten toimintaa kylmässä. Tutkimusalueen ulkopuolelle rajattiin kaasunsuodattimet. Oletuksena oli, että kaasunsuodattimien, joiden suojausteho perustuu kemiallisiin reaktioihin, kaasunsitomiskapasiteetti saattaa heikentyä kylmässä.

1.3 Tavoitteet

Tutkimuksen tavoitteina olivat:

1. selvittää kylmän työympäristön vaikutukset erityyppisten hiukkassuodattimilla varustettujen hengityksensuojainten käyttöön ja suojaustehoon.
2. selvittää kasvojen kylmänsuojausmahdollisuuksia käytettäessä hengityksensuojainta kylmässä.
3. tuottaa suosituksia ja ohjearvoja hengityksensuojainten käyttöön kylmissä työympäristöissä niin, että suojausteho säilyy mahdollisimman hyvänä ja vältetään kylmän aiheuttamilta haitoilta työskentelyn aikana.

1.4 Tutkimuksen toteutus ja vaiheet

Tutkimus on toteutettu 8/2016-2/2019 kuvassa 2 esitetyn toimintakaavion mukaisesti. Toiminta alkoi kylmän työympäristön vaikutusten määrittämisellä hengityksensuojainten käyttöön. Tätä tausta tietoa selvitettiin kirjallisuudesta ja aiemmista tutkimuksista sekä suojausten käyttäjien sekä suojausvalmistajien ja -myyjien haastattelulla.

Haastattelujen ja ennakkotietojen (Jensen 2017) mukaan etenkin puhallinsuojaimilla hahutettiin työskennellä kylmässä. Tämän vuoksi tutkimuksessa oli runsaasti puhallinsuojaimia suojanaamareiden lisäksi, joista tiedetään, että ne lämmittävät kasvoja. Tutkimukseen valittiin hengityksensuojaimet työpaikkahaastatteluissa esiin nousseista suojaamista, sekä niitä vastaavista malleista muilta tutkimuksessa mukana olevilta valmistajilta. Testattavaan valikoimaan pyrittiin ottamaan erilaisia suojaimia monelta valmistajalta.

Puhallinsuojaimista varmistettiin ennen koehenkilötestejä, että ne toimivat kylmässä. Esikokeina käytettiin puhaltimen toimivuuden ja akun kestävyys testiä kylmässä sekä virtausnopeuden mittauksia kylmässä.

Tutkimuksessa mitattiin hiukkasia suodattavien hengityksensuojainten suojauskyky kylmässä hyödyntämällä hengityksensuojainten henkilökohtaista tiivistysmenetelmää.

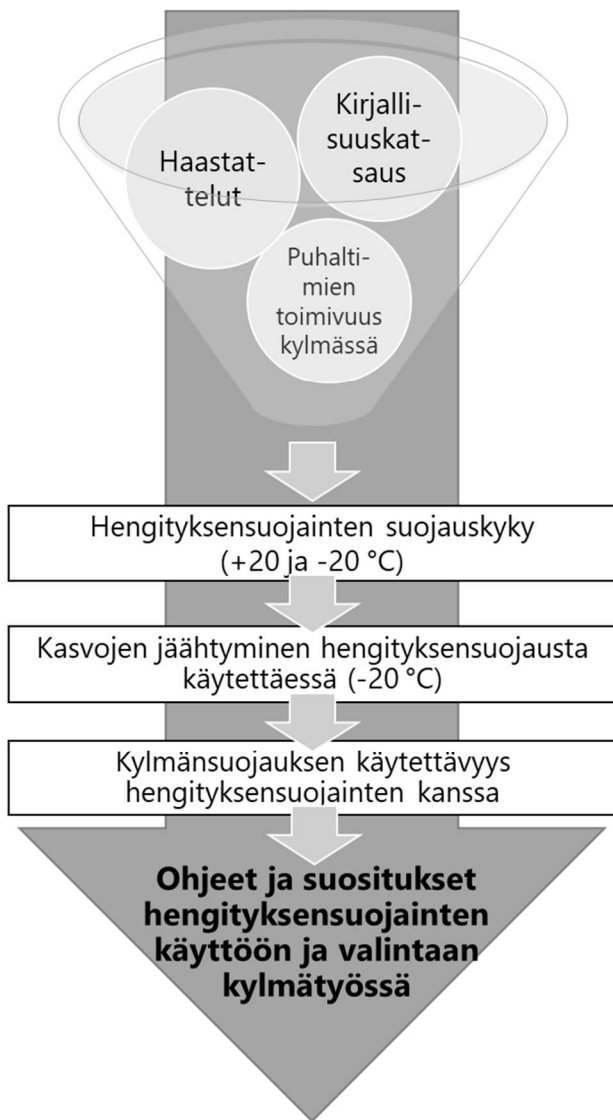
Hengityksensuojainten kasvoja jäähdyttävä ja lämmittävä vaikutus mitattiin koehenkilöillä kylmässä ympäristössä ja kirjattiin kylmätuntemukset. Tarkoitus oli saada tietoa, kuinka kylmässä suojaimia voi käyttää ja mitä suojaimia kylmässä tulisi käyttää.

Neuloshuppujen käyttöä puhallinsuojainten kypärien, huppujen ja kasvo-osien alla testattiin. Selvitettiin, kuinka paljon ne lämmittävät ja etteivät ne haittaa suojausta.

Hengityksensuojainten kasvo-osien huurtumista selvitettiin pukemalla suojaimia maltillisesti viilennetyille ja lämpimille kasvoille.

Hengityksensuojainten jääymistä selvitettiin hiukkasia suodattavilla puolinaamareilla haastatteluosuuden lisäksi.

Hengityksensuojainten kylmässä käyttöä varten kirjoitettiin Työterveyslaitoksen malliratkaisu, joka ennen hyväksymistä kierrätettiin myös tutkimuksen yhteistyötahoilla käytännöllisyyden varmentamiseksi.



Kuva 2. Tutkimuksen toimintakaavio.

1.5 Tutkimuksen toteuttajat ja yhteistyötahot

Tutkimuksen toteutti Työterveyslaitos yhteistyössä kohderyhmän yritysten sekä hengityksensuojainten valmistajien ja myyjien kanssa. Kattavan suojainvalikoima mittauksiin saatiin seuraavilta yrityksiltä: Dräger Suomi Oy, Scott Safety Suomen 3M Oy, Sundström Safety Ab, Suomen 3M Oy ja Suojalaite Oy. Hankkeen kohderyhmään kuuluivat toimialat, joissa vaaditaan hengityksen suojausta hyvin alhaisissa ympäristön oloissa, kuten avolouhoksissa (Boliden Kevitsa Oy, Terrafame Oy), sekä metalliteollisuudessa (SSAB Oy).

Tutkimuksen toimintaa ohjasi ja valvoi ohjausryhmä, johon kuului Työterveyslaitoksen ja Työsuojelurahaston (TSR) edustajien lisäksi tutkimuksessa toimivat hengityksensuojainten valmistajat ja myyjät sekä kohderyhmän edustajat. Ohjausryhmä kokoontui tutkimuksen aikana neljä kertaa.

2 MENETELMÄT JA AINEISTOT

2.1 Kirjallisuuskatsaus

Kirjallisuuskatsauksessa hankittiin tietoa yleisellä ja tieteellisellä tasolla. Yleistasolla tarkoituksena oli selvittää, mitä helposti saatavaa tietoa ja ohjeistusta on olemassa hengityksensuojainten käytöstä kylmässä. Tieteellisessä haussa etsittiin tieteellisistä tutkimuksista julkaistut tiedot pohjustamaan tutkimuksessa hankittavia tietoja.

Yleiskatsaus tehtiin Googlen hakukoneella internetistä 19.1.2017 hakusanoina "respiratory protection in cold". Löytyneistä hauista yleiskatsaukseen pidettiin riittävänä ensimmäiset 60. Kylmältä suojaavat maskit ja blog-kirjoitukset karsittiin tiedoista pois. Mukaan otettiin työterveyteen ja turvallisuuteen liittyvät artikkelit sekä tuotemainokset, joilla mainostettiin kylmään ympäristöön tarkoitettuja hengityksensuojaimia. Haussa löytyneet tieteelliset artikkelit käsiteltiin tieteellisessä haussa löytyneiden artikkeleiden yhteydessä.

Haku tieteellisestä kirjallisuudesta tehtiin PubMed:lla ja Google Scholar:lla. PubMed on lääketieteellinen kokoteksti- ja viitetietokanta (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>). PubMed kattaa hyvin myös työhygieniaan liittyvät tieteelliset julkaisut lääketieteen lisäksi. Google Scholar on Googlen tieteellisten hakujen palvelu.

PubMed-hakusanat 20.1.2017:

- (respiratory protection[Title/Abstract]) AND cold[Title/Abstract]
- (((("respiratory protection"[Title/Abstract]) OR "respiratory protective"[Title/Abstract])) AND cold
- (((("respiratory protection"[Title/Abstract]) OR "respiratory protective"[Title/Abstract])) AND climate
- (((("respiratory protection"[Title/Abstract]) OR "respiratory protective"[Title/Abstract])) AND weather
- (((("respiratory protection"[Title/Abstract]) OR "respiratory protective"[Title/Abstract])) AND temperature[Title/Abstract]
- "respiratory protective devices" AND " low temperature"

Google Scholar –haun hakusanat: "respiratory protective equipment" cold.

2.2 Haastattelut

Haastatteluille oli saatu Työterveyslaitoksen Eettisen työryhmän puoltava eettinen lausunto (Pöytäkirja ETR 10/2016).

2.2.1 Työpaikoilla tehdyt haastattelut

Haastattelut tehtiin 30.11. – 21.12.2016, niihin osallistui yhteensä 20 henkilöä kolmesta Pohjois-Suomessa toimivasta kaivos- ja metallialan yrityksestä, jotka olivat tutkimuksen kohdeyrityksiä. Haastattelut tehtiin ryhmähaastatteluna ja se eteni ennakoilta yritysten yhteyshenkilöille lähetetyn kaavakkeen mukaan (Liite 1).

Yrityksissä työskentelee 700 – 3000 henkilöä, joista osa on aliurakoitsijoiden työntekijöitä. Haastateltavina oli yritysten työsuojelupäälliköt, työsuojeluvaltuutetut sekä tuotannon työntekijöitä.

2.2.2 Suojainvalmistajien ja -myyjien haastattelut

Tutkimuksen yhteistyötahoina olevia suojainvalmistajia ja -myyjiä haastateltiin tutkimuksen alussa sähköpostitse. Tarkoituksena oli saada tietoa, mitä ohjeita suojaimista annetaan, kun suojaimia ostetaan kylmiin olosuhteisiin ja mitä palautetta käyttäjiltä tulee suojaimista, kun niitä on käytetty kylmässä. Lisäksi tutkijat halusivat tietoa suojainten puhdistuksista mittausten välillä.

Haastattelussa esitettiin seuraavat viisi kysymystä:

- 1) Minkälaiset ohjeistuksia te ja yrityksenne antaa hengityksensuojaimista kylmiin ympäristön oloihin?
- 2) Onko hengityksensuojaimille esitetty rajoituksia kylmän suhteen? Entä tuulen suhteen?
- 3) Mitä tuotteita suojainvalmistaja tai – myyjä suosittelee kylmiin ympäristön oloihin (viileä ja kostea 0 - -10 °C, entä kuiva kylmä -10 - -20 °C tai kylmempi)?
- 4) Oletteko saaneet palautetta asiakkailta ja suojainten käyttäjiltä suojaimen käyttöön liittyen kylmissä oloissa?
- 5) Miten suojaimet suositellaan puhdistettaviksi / desinfioitaviksi mittaustemme välillä? Tähän viimeiseen kysymykseen voimme myös palata, kun ryhdymme valitsemaan suojaimia tutkimukseen. Vastaus tulee vaikuttamaan tarvittavien hengityksensuojainten kappalemääriin.

2.3 Hengityksensuojainten valinta

2.3.1 Hengityksensuojainten suojauskerrointen määrittäminen

Hengityksensuojainten tiiviysmittauksiin valittiin eri suojaintyyppisiä huomioiden myös haastatelluissa kohdeyrityksissä käytettävät suojaimet. Pääpaino oli kasvoille tiivistävissä suojaimissa ja erityisesti puolinaamareihin valittiin eri materiaaleista koostuvia suojaimia.

Eri suojaintyyppisiä olivat suodattavat puolinaamarit, puoli- ja kokonaamarit P3-suodattimilla sekä puolinaamarit integroiduilla yhdistelmäsuodattimilla. Lisäksi testattiin puhaltimella toimivia suodatusuojaimia, kuten hengitysrytmin mukautuvia suojaimia (puoli- ja kokonaamari) sekä kypärällä, hupulla ja kasv suojuksella varustettuja puhallinsuojaimia, joissa ilman virtaus oli stabiili.

Jokaisesta suojainryhmästä valittiin vähintään yksi suojain, jolla testisarja tehtiin 7-10 koehenkilöllä ja kaksi muuta suojainta, joilla tehtiin varmistusmittaukset kahdella koehenkilöllä. Alkutesteissä yhtä puhaltimella varustettua puolinaamaria testattiin yhdellä koehenkilöllä, mutta suojain todettiin sietämättömäksi käyttää -20 °C:ssa, jolloin se jätettiin testisarjasta pois.

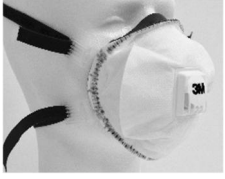



2.3.2 Kasvojen jäähtymismittaukset







Kasvojen jäähtymismittauksissa suojainten valinnan pääpaino oli erilaisissa puhallinsuojaimissa. Mittaukset tehtiin yhdeksällä suojaimella, joista seitsemän oli puhallinsuojaimia ja kaksi eri materiaalista koostuvia puolinaamareita. Puhallinlaitteista yksi oli puolinaamarilla ja kolme kokonaamarilla varustettuja, joissa ilman virtaus oli joko hengitykseen reagoiva tai stabiili. Ilman tuloaukko naamariin oli joko sivulta tai edestä. Kolme puhallinsuojainta oli varustettu kasv suojuksella, kypärään tai huppuun integroituna, joissa puhallussuunta oli päältä tai kasvojen sivulta. Puhallinlaitteista valittiin niiden alin ilman virtausnopeus (120 – 190 l/min), pois lukien CleanSpace-suojaimet, joissa ilman virtaus mukautuu hengityksen rytmiin.

2.3.3 Valitut suojaimet

Testeihin valitut suojaimet on esitetty taulukossa 1. Taulukossa on osoitettu kunkin suojaimen kohdalla, kumpiin mittauksiin suojainta käytettiin.

Taulukko 1. Tutkitut hengityksensuojaimet. S = suojauskyky, L = kasvojen lämpötilamittaukset suojain yllä. Suojainten mukana tulleista käyttöohjeista etsittiin tähän maininta käyttölämpötiloista.

Tyyppi ja Luokka	Mittaukset ja kuva	
Standardi Valmistaja ja malli Käyttölämpötila valmistajan ohjeiden mukaan Ilmavirtausnopeus ja suunta, jos kyse puhallinlaitteesta		
Suodattava puolinaamari FFP3 EN 149 3M 8835+ Käyttölämpötilasta ei mainintaa	S (N=9) L (N=10)	
Suodattava puolinaamari FFP3 EN 149 3M 9332 Käyttölämpötilasta ei mainintaa	S (N=2)	
Suodattava puolinaamari FFP3 EN 149 Zekler® 1303V Käyttölämpötilasta ei mainintaa	S (N=1)	
Venttiilillä varustettu puolinaamari integroiduilla yhdistelmäsuodattimilla FFA1B1E1K1P3 RD EN 405 Moldex 5430 Käyttölämpötilasta ei mainintaa	S (N=8) L (N=10)	

<p>Venttiilillä varustettu puolinaamari integroiduilla yhdistelmäsuodattimilla FFABEK1P3 RD</p>	<p>S (N= 2)</p>	
<p>EN 405 3M 4279</p>		
<p>Suojainta ei tule käyttää erittäin kuumassa</p>		
<p>Puolinaamari P3-suodattimilla</p>	<p>S (N=7)</p>	
<p>EN 140 ja EN 143 Scott Safety Profile2</p>		
<p>-10 °C - +50 °C, suhteellinen kosteus < 75 %</p>		
<p>Puolinaamari P3-suodattimilla</p>	<p>S (N=2)</p>	
<p>EN 140 ja EN 143 GVS Elipse SPR501</p>		
<p>-5 °C - +55 °C</p>		
<p>Kokonaamari P3-suodattimella kokonaamariluokka 3</p>	<p>S (N=9)</p>	
<p>EN 136 ja EN 143 Sundström SR200</p>		
<p>-10 °C - +55 °C, suhteellinen kosteus < 90%</p>		
<p>Kokonaamari P3-suodattimella kokonaamariluokka 3</p>	<p>S (=2)</p>	
<p>EN 136 ja EN 143 Scott Safety T7/Vision2</p>		
<p>-10 °C - +30 °C, suhteellinen kosteus < 75 %</p>		
<p>Kokonaamari P3-suodattimella kokonaamariluokka 3</p>	<p>S (=2)</p>	
<p>EN 136 ja EN 143 3M 6800</p>		

Puolinaamarilla varustettu puhallinsuojain TM3P *S (N=1)

EN 12942

Sundström SR500 ja SR900

-10 °C - +55 °C < RH 90%

175/240 l/min, ilmavirta edestä



Puolinaamarilla varustettu puhallinsuojain TM3P S (N=10)

EN 12942

L (N=10)

CleanSpace, CleanSpace2

0-45 °C

0-200 l/min hengityksen rytmiin mukautuen,
ilmavirta kasvojen sivulta



Kokonaamarilla varustettu puhallinsuojain TM3P S (N=10)

EN 12942

L (N=10)

CleanSpace, CleanSpaceUltra

-10 °C - +45 °C

0-200 l/min hengityksen rytmiin mukautuen,
ilmavirta kasvojen sivulta



Kokonaamarilla varustettu puhallinsuojain TM3P L (N=10)

EN 12942

Scott Safety Proflow 2 SC 120 ja FM4/Vision 2

-10 °C - +30 °C, suhteellinen kosteus < 75 %

120 l/min, ilmavirta kasvojen sivulta



Kypärällä varustettu puhallinsuojain TH3P

EN 12941

S (N=10)

L (N=10)

3M Versaflo M-306 ja TR602E

-10 °C - +45 °C

190, 205 tai 220 l/min, ilmavirta päältä,
puhallussuunta säädettävissä kasvoille tai visiiriin



<p>Kypärällä varustettu puhallinsuojain TH3P EN 12941 Sundström SR 500 ja SR580 Käyttölämpötilasta ei manintaa 175 l/min, ilmavirta päälaelta</p>	<p>S (N=2) L (N=10)</p>	
<p>Kasvosuojuksella varustettu puhallinsuojain TH3P EN 12941 Scott Safety Proflow 2 SC 160 ja FH31 -10 °C - +30 °C suhteellinen kosteus < 75 % 160 l/min, ilmavirta sivulta</p>	<p>S (N=2) L (N=10)</p>	
<p>Hupulla varustettu puhallinsuojain TH3P EN 12941 Dräger X-plore 8500 ja X-plore 8000 Käyttölämpötilasta ei mainintaa 190 l/min, ilmavirta päälaelta</p>	<p>S (N=2) L (N=10)</p>	

2.4 Puhallinlaitteiden toimintakyky kylmässä

Akkujen varaus

Puhallinlaitteiden akkujen toiminta kylmässä testattiin -20 °C:ssa. Laitteiden akut ladattiin yön yli normaalissa huonelämpötilassa. Puhallinlaitteet vietiin esijäähdytymään kylmään 30-40 (65) minuutiksi. Tämän jälkeen laitteet käynnistettiin, käyttäen kunkin laitteen alinta puhallinnopeutta. Maksimitarkkailuaika oli 8 h. Hengitysrytmiin reagoivan laitteen toimintavarmuutta kylmässä ei tällä tavoin pystytty testaamaan.

Puhallinyksiköiden ilmavirtaus

Puhallinyksiköiden ilmavirtaustestiä tehtiin viidelle laitteelle. Virtausmittaustestiä varten puhallimien akut ladattiin täyteen ennen testiä. Ilmavirtaus mitattiin ensin lämpimässä ja sen jälkeen laitteet vietiin -20 °C:een. Kahden tunnin jäähtymisen jälkeen laitteet käynnistettiin ja ilmavirtausmittaus tehtiin kahden tunnin käynnissä olon jälkeen. Mittaukset toistettiin kullekin laitteelle kolmesti.

2.5 Hengityksensuojainten suojauskertoimet

2.5.1 Koehenkilöt

Tutkimuksen ja koehenkilömittausten suorittamiselle haettiin Työterveyslaitoksen Eettisen työryhmän puoltava lausunto (Pöytäkirja ETR 10/2016).

Hengityksensuojainten suojaustehokkuuden mittauksiin osallistui 13 vapaaehtoista koehenkilöä. Koehenkilöiden kuvaus on esitetty taulukossa 2. Koehenkilöiltä mitattiin kasvojen mitat standardin EN 136:1998+AC:1998 mukaisesti. Kasvojen mitat (keskiarvot ja -hajonnat) jaoteltuna sukupuolen mukaan on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 2. Koehenkilöiden ikä ja fyysiset mitat.

	lkm	Ikä (v)	Pituus (cm)	Paino (kg)
Kaikki	13	28 ± 6	176 ± 9	75 ± 18
Miehet	9	28 ± 7	180 ± 7	83 ± 17
Naiset	4	30 ± 6	167 ± 5	59 ± 8

Taulukko 3. Koehenkilöiden kasvojen mitat (mm).

	Kasvojen korkeus	Kasvojen leveys	Kasvojen syvyys	Suun leveys
Kaikki (n=13)	115 ± 8	114 ± 8	138 ± 10	46 ± 8
Miehet (n=9)	119 ± 5	118 ± 7	142 ± 7	46 ± 10
Naiset (n=4)	107 ± 9	106 ± 3	126 ± 8	45 ± 2

Edellytykset testeihin tulevilta koehenkilöiltä:

- Valittujen suojainten tuli tiivistyä koehenkilöiden kasvoille lämpötilassa +20 °C.
- Koehenkilöiltä terveydentila tuli olla normaali. Esimerkiksi flunssa esti testauksen.
- Ennen testejä tuli olla vähintään 30 min tupakoimatta.
- Parrattomuus. Koehenkilöllä ei saanut olla partaa kasvojen alueella, joille suojaimet tiivistyvät. Miespuolisia henkilöitä kehoitettiin ajamaan parta testauspäivän aamuna.
- Koehenkilöillä ei saanut olla voimakasta kasvomeikkiä testauksen aikana ja pitkät hiukset tuli olla kiinni sidottuina.

Mittauksiin puettiin hengityksensuojainten lisäksi myös muut päänsuojaimet, kuten kypärä ja suojalasit puolinaamareiden kanssa. Mittaukset tehtiin ilman silmälaseja, jotta ne eivät haitanneet suojaimen tiivistymistä kasvoille.

2.5.2 Hengityksensuojainten oikein pukemisen varmistaminen

Ennen mittauksen aloitusta hengityksensuojainten myynnin suomalaiset edustajat pyydettiin testauspaikalle ohjaamaan tutkijoita pukemaan suojaimet oikein. Opetus tallennettiin videona ja valokuvina, joita käytettiin, kun tutkijat opettelivat itse pukemaan suojaimet.

Ennen mittauksia tutkijat opettivat koehenkilöitä pukemaan suojaimet oikein sekä varmistamaan tiiviys omalla hengityksellä. Mittauksissa koehenkilöiden tuli osata pukea suojain itsenäisesti. Suojainten pukemisessa sai käyttää apuna peiliä. Ennen mittauksen alkamista testin suorittaja tarkisti, että naamari oli puettu oikein ja, että se istui käyttäjänsä kasvoille kokonsa/mallin puolesta hyvin.

2.5.3 Mittausmenetelmät

Hengityksensuojainten suojaimen tehokkuuden mittauksessa hyödynnettiin standardia ISO 16975-3.

Hengityksensuojainten tehokkuus mitattiin kvantitatiivisella TSI:n Portacount 8020 hiukkaslaskurilla, joka on tarkoitettu hengityksensuojainten tiiviiden testaukseen. Laite soveltuu hyvin monenlaisten hengityksensuojainten tiiviys- ja suojaimen tehokkuuden testaukseen, koska se pystyy mittaamaan hyvin laajaa hiukkaspitoisuuden aluetta. Laitteen ohjelmisto antaa mittaustuloksen tiiviyskertoimena ja kokonaistiiviyskertoimena. Tässä raportissa tiiviyskertoimen asemasta käytetään sanaa suojauskerroin, koska osalle testeissä käytetyistä suojaimista ei voi määrittää tiiviyskerrointa, koska ne eivät tiivisty kasvoille.

Laitteessa on näytteenottoletkut naamarin sisältä sekä naamarin ulkopuolelta, koehenkilön leuan alta, otettavalle näytteelle. Laitteella mitattiin hengityksensuojaimen ulko- että sisäpuolista hiukkaspitoisuutta, joita laitteen ohjelmisto vertasi toisiinsa ja joiden avulla se määrittä suojaimen tehokkuuden kertoimen.

Portacountin ohjelmisto laskee käyttöohjeen mukaan tiiviyskertoimen seuraavasti:

$$KTK = n / (1 / (k(1)) + 1 / (k(2)) + \dots + 1 / k(n-1) + 1 / (k(n)))$$

Yhtälössä KTK on kokonaistiiviyskerroin, n on mittausjaksojen määrä ja k on jaksossa mitattu tiiviyskerroin.

Mittaukset tehtiin lämpösäädellyssä mittauskammiossa +20 ja -20 °C:ssa. Mittauskammioon oli rakennettu erillinen mittaustelta, jonka sisälle tuotettiin Portacount 8026 -hiukkas-

generaattorilla suola-aerosoleja ilmaan riittävän hiukkaspitoisuuden saavuttamiseksi. Mittalaitteen toiminnan varmistamiseksi kylmässä se jätettiin mittauskammion ulkopuolelle. Näytteenottoletkujen ja suolageneraattorin ympärille rakennettiin suojaava lämpöeristys lämmittimineen näytteenottoletkujen ja suolaliuoksen jäätyminen ehkäisemiseksi.

Mittausprotokolla

Testausohjelma oli taulukon 4 mukainen, mittausjaksojen tarkempi kuvaus on liitteessä 2. Protokolla noudattaa testin liikejaksojen osalta tiiviysmittauksissa yleisesti käytettyä Health and Safety Executiven protokollaa (OC 282/28; HSE 2012), mutta siihen lisättiin fyysinen rasitus erillisenä askellusjaksona.

Testi koostui kahdeksasta erilaisesta liikejaksosta. Jokaisen testausjakson alussa oli kammionäytteen huuhtelu 8 s, kammionäytteenotto 8 s ja naamarin sisältä otettavan näytteen huuhtelu 22 s. Testausaika oli yhteensä 16 min.

Taulukko 4. Testausjaksot suojaimen tehokkuuden testeissä.

Jakso	Mittauksen kesto (s)	Jakson kesto (s)
Normaali hengitys	60	98
Syvä hengitys	60	98
Pää sivulta sivulle	60	98
Pää ylös alas	60	98
Vartalon taivutus	60	98
Kuuluva puhuminen	60	98
Askellus	-	180
Askellus	60	98
Hengityksen tasaantuminen	60	98

2.5.4 Mittausten toteutus

Testit suoritettiin ensin +20 °C:ssa, jotta voitiin varmistua, että testattava suojaimeen myös sopii koehenkilön kasvoille. Ennen +20 °C:ssa tehtävää mittausjaksoa suojaimeen annettiin asettua koehenkilön kasvoilla noin viisi minuuttia. Suojaimeen pukemisen jälkeen koehenkilöitä kehoitettiin kokeilemaan omalla hengityksellään, että naamari oli tiivistynyt kasvoille. Ennen testin aloitusta varmistettiin Portacountin reaaliaikaisella näytöllä, että riittävä tiivisyserroin

saavutetaan. Jos suojain ei tiivistynyt riittävästi, pyydettiin koehenkilöä pukemaan suojain uudelleen. Jos senkään jälkeen riittävää tiiviyskerrointa ei saavutettu, testiä ei tehty.

Ennen -20 °C:n lämpötilassa mittausta hengityksensuojainten annettiin jäähtyä vähintään 0,5 tuntia ennen mittausta. Tämän jälkeen koehenkilö puki jäähtyneen suojaimen kasvoilleen kylmäkammiossa. Ennen mittauksia koehenkilö odotti kammiossa noin 10 min rauhallisesti hengitellen ja liikehtien.

Testi suoritettiin mittausprotokollan mukaisesti. Jos mittauksen aikana tapahtui jotain mitaustuloksiin mahdollisesti vaikuttavaa häiriötä kuten esim. suojain liikahti kasvoilla merkittävästi, koehenkilö korjasi suojaimen asentoa tai yski mittauksen aikana, testi keskeytettiin.

2.5.5 Suojaimilta edellytetyt suojauskertoimet

Kun hengityksensuojainten kasvoille tiivistyminen tarkastetaan testeillä suojainten käyttäjiltä henkilökohtaisesti kondensoivalla hiukkaslaskimella, edellytetään tiiviyskertoimen olevan vähintään standardissa ISO 16975-3 oleva arvo normaalissa huonelämpötilassa testattaessa. Kunkin suojaintyyppin vaadittu tiiviyskerroin riippuu kyseisen tyyppin suojaintehokkuudesta, joka on määritetty kokonaissäänvuotona standardissa ISO 17420-1. Tiiviyskertoimien soveltamiseksi tässä tutkimuksessa tarkistettiin EN-standardien mukainen suurin sallittu kokonaissäänvuoto (TIL_{MAX}) ja kirjattiin taulukkoon 5.

Standardin EN 140 mukaan puolinaamari saa vuotaa enintään 5 % ulkopuolella olevista hiukkasista sisään. Vastaavasti standardin EN 136 mukaan kokonaamari saa vuotaa enintään 0,05 % (taulukko 6). Standardien EN 143 ja EN 14387 mukaan P3-suodatin saa päästää läpi enintään 0,05 prosenttia hiukkasista. Yhteenlaskun tuloksena puolinaamarin kokonaisvuoto saa olla enintään 5,05 %, kun naamari on P3-suodatin. Kokonaamarin hiukkasvuoto, kun siinä on P3-suodatin saa olla enintään 0,1 %.

Taulukko 5. Suojaimen enimmäissäänvuoto EN-standardien vaatimusten mukaisesti.

Suojaimen enimmäisvuoto % EN-standardien mukaan	Suojaimet
0,05	Kokonaamari, EN 136
5 ^a	Puolinaamari, EN 140
0,05	P3-suodatin, EN 143
5 ^a	Suodattava puolinaamari FFP3, EN 149
2	TH2, EN 12941
0,2	TH3, EN 12942
0,05	TM3

^a 5-osainen testi tehdään 10 koehenkilöllä. Yhteensä 46 osatestin tulos ei saa ylittää 5 %. 8 koehenkilön testin keskiarvo ei saa olla suurempi kuin 2 %.

Puhallinlaitteelle, jonka tehokkuusluokka on TH3, EN 12942 –standardin mukaan kokonaissäänvuoto saa olla enintään 0,2 %. Tiivistestauksen standardissa ISO 16975-3 ei ole tälle kokonaissäänvuodon arvolle suoraan verrannollista tiiviyskerrointa. Tässä tutkimuksessa käytimme TH3-luokan suojaimille suojauskertoimelle vähimmäisarvoa 500. Hupulla, kypärällä tai kasvosuojukselle ei voi olla olemassa tiiviyskerrointa, koska huput, kypärät ja kasvosuojukset eivät tiivisty kasvoille. Selkeyden vuoksi kaikista tiiviyskerroimistakin käytetään tässä selostuksessa nimitystä suojauskerroin tai mitattu suojauskerroin.

Taulukko 6. Tässä tutkimuksessa edellytetyt suojaimen tehokkuuden kertoimet.

Suojaimet	Vaadittu suojaimen tehokkuuden kerroin
Kokonaamari + P3	1000
Puolinaamari + P3	100
Suodattava puolinaamari FFP3	100
TH3	500
TM3	1000

2.6 Kasvojen jäähtyminen käytettäessä hengityksensuojaimia kylmässä

2.6.1 Koehenkilöt

Kasvojen jäähtymismittauksiin osallistui 10 vapaaehtoista koehenkilöä (Taulukko 7). Tutkimuksen ja koehenkilömittausten suorittamiselle haettiin Työterveyslaitoksen Eettisen työryhmän puoltava lausunto (Pöytäkirja ETR 10/2016).

Taulukko 7. Koehenkilöiden antropometriset mitat sekä kasvojen mitat (keskiarvot ja (keskihajonta)).

	Ikä (v)	Pituus (cm)	Paino (kg)	Kasvojen korkeus	Kasvojen leveys	Kasvojen syvyys	Suunleveys
Kaikki	10 (11,90)	174,32 (11,78)	75,54 (21,60)	113,52 (7,25)	116,85 (5,03)	138,73 (13,88)	47,80 (2,45)
Miehet	6 (6,86)	181,33 (8,85)	82,22 (18,59)	117,97 (5,58)	119,87 (2,40)	148,3 (16,61)	48,45 (3,02)
Naiset	4 (17,42)	163,80 (6,33)	65,53 (24,5)	106,85 (2,66)	112,33 (4,55)	135,57 (9,80)	46,83 (0,83)

Jäähtymismittauksiin valitut suojaimet on esitetty taulukossa 1.

2.6.2 Mittausmenetelmät

Kasvojen iholämpötilaa mitattiin neljästä kohtaa: otsasta, poskesta, nenästä ja leuasta. Lämpötila-antureina käytettiin joustavaa termistoria (2M21916, Dräger, Saksa) ja anturi kiinnitettiin teipillä ihoon (Kuva 3). Tiedonkeruuyksikköön (SmartReader7Plus, ACR Systems, Kanada) lämpötilat tallentuivat 60 sekunnin välein. Lämpötila-antureiden kiinnittämisen jälkeen koehenkilö puki päällysvaatetuksen (takki ja housut, Würth) pitkien alus- ja välivaatetuksen päälle. Hengityksensuojain aseteltiin kasvoille, ja tässä vaiheessa suojaimen sisäpuolelle asetettiin lämpötila-anturi, joka mittasi suojaimen sisältä ilman lämpötilaa. Kypärähuppu ja kypärä puettiin. Puolinaamarisuojaimissa posken ja otsan lämpötila-anturi jäi suojaimen ulkopuolelle, samoin kokonaamarisuojaimissa sisämaskin ulkopuolelle.



Kuva 3. Iholämpötila-anturit kasvoilla ja ilmanlämpötila-anturi suojaimen sisällä.

2.6.3 Mittauksen toteutus

Kasvojen jäähtymismittaukset tehtiin $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$:ssa. Koehenkilö siirtyi lämpötilasäädelyyn tilaan, jossa hän ensin seisoj paikollaan 15 minuuttia, askelsi 20 cm korkealle korokkeelle 10 minuutin ajan (askellusnopeus 20 kertaa minuutissa), nosti 5 kg (naiset 3 kg) käsipainoa lattialta pöydälle ja siitä käsi suoraksi ylös ja pöydän kautta takaisin lattiatasoon 5 minuutin ajan. Lopuksi koehenkilö vielä seisoj paikollaan 10 minuuttia. Kokonaisaltistuksen pituus oli 40 minuuttia. Lämpötuntemukset; yleinen ja kasvojen tuntemus sekä työn fyysinen raskaus (RPE) kyseltiin alussa ja jokaisen tehtävän lopussa standardiasteikkoa (ISO 10551 1995) ja RPE-asteikkoa käyttäen (Borg 1998). Kasvosuojan mahdolliset huurtumis- tai jäähtymisajankohdat kirjattiin.

2.7 Hengityksensuojainten ja alushappujen kylmänsuojaus

2.7.1 Valitut alushuput ja suojaimet

Kasvojen jäähtymisen torjuntaa kokeiltiin pukemalla erillinen tekstiilistä valmistettu päähine TH3-luokan kypärän, hupun tai kasv suojuksen alle. Testeihin valittiin ohut alushappu (100 % Rayon) (Kuva 4a) ja paksu alushappu (100 % PE), jossa oli ventilaattori (ColdAven-ger® Expedition Balaclava with ventilator) (Kuva 4c). Ohutta alushappua käytettiin 3M Versaflo M306+TR602E- puhallinsuojaimen (Kuva 4b) kanssa ja ventilaattorilla varustettua huppua Sundström SR500+SR580 -suojaimen kanssa (Kuva 4d).

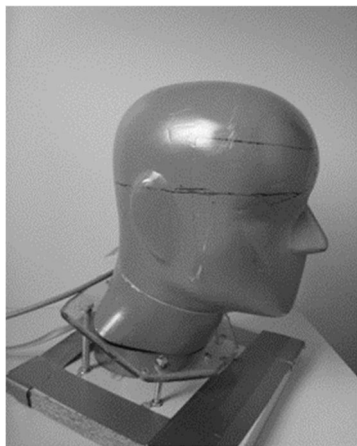


Kuva 4a-d. Kasvojen suojaaminen alushupulla (vasen) ja paksu alushappu ventilaattorilla varustettuna. Puhallinsuojaimina kypärällä varustetut 3M Versaflo M-306+TR602E ja Sundström SR 500 ja SR580

2.7.2 Alushappujen ja hengityksensuojainten lämmöneristävyyden mittaus

Iholämpötilojen mittaus tehtiin samoin kuin kasvojen jäähtymismittauksissa samassa ympäristön lämpötilassa. Myös mittausprotokolla oli sama. Valittujen, ohuen ja paksun ventilaattorilla varustetun alushappujen lämmöneristävyys mitattiin erikseen sekä 3M Versaflo M-306+TR602E- ja Sundström SR500+SR580 -puhallinsuojaimen kanssa ilman puhallusta ja puhalluksen ollessa päällä. Vertailun vuoksi mitattiin lisäksi eri tyyppisten puoli- ja kokonaamarien (3M 8835+, Moldex 5430, Sundström SR200) lämmöneristävyydet.

Alushappujen ja hengityksensuojainten lämmöneristävyydet mitattiin pään lämpömallilla (Kuva 5) lämpötilasäädeltävässä laboratoriotilassa. Mittausympäristön lämpötila oli +10 °C, tuulen nopeus oli 0,4 m/s ja ilman suhteellinen kosteus 50 %. Pään lämpömallin pintalämpötila oli +34 °C. Lämmöneristävyyttä tarkasteltiin kasvojen alueella. Lämmöneristävyys ilmoitetaan SI-järjestelmän mukaisella m²K/W yksiköllä.



Kuva 5. Lämmöneristävyys mitattiin pään lämpömallilla.

2.7.3 Alushuppujen vaikutus TH-luokan suojainten suojaustehokkuuteen

Alushuppujen vaikutusta suojaimen tehokkuuteen mitattiin -20 °C:ssa kuten suojaimen tehokkuuden mittauksissa aiemmin (kappale 2.5.3). Mittaukset tehtiin samoilla alushupuilla kuin edellä 2-3 kertaa 3M Versaflo M-306+TR602E- puhallinsuojaimelle sekä kertaalleen Sundström SR500+SR580-, Dräger X-plore 8500+8000- ja FH31+Scott Proflow 2SC 160- suojaimelle.

2.8 Hengityksensuojainten huurtuminen ja jäätyminen

Työpaikoilla tehtyjen haastattelujen perusteella oli saatu viitteitä hengityksensuojainten jäätymisistä sekä erityisesti huurtumisista. Sama ilmiö tuli esiin myös mittausten aikana. Tämän vuoksi suojainten huurtumista ja jäätymistä demonstroititiin lisätesteillä. Testattaviksi valittiin kokonaamareista Sundström SR200 ja Scott Safety Vision2. Puhallinlaitteista testattiin 3M Versaflo M-306+TR602E sekä hengityksen rytmiin mukautuva kokonaamareillinen puhallinsuojain CleanSpace Ultra. Huurtumistestejä tehtiin pukemalla kylmiä tai lämpimiä suojaimia kylmille tai lämpimille kasvoille.

Kylmät kasvot ja lämmin suojain

Suojaimet olivat lämpimässä kammion ulkopuolella. Koehenkilöt oleskelivat kammiossa -20 °C:ssa noin 15 minuuttia. Kun kasvot olivat jäähtyneet, puettiin lämmin hengityksensuojain kasvoille kylmäkammiossa.



Lämpimät kasvot ja kylmä suojain

Suojaimet olivat jäähtyneet kammiossa yli 20 min. Koehenkilöt menivät lämpimästä kylmäkammioon pukemaan kylmät suojaimet kasvoille.

Jäätymistesti

Jäätymistestiin valittiin eri materiaaleista koostuvia puolinaamareita, 3M 8835+, GVS Elipse SPR510 ja Moldex 5430. Puhallinlaitteista testattiin hengityksen rytmiin mukautuva kokonaamarillinen puhallinsuojain CleanSpace Ultra.

Suojaimiin suihkutettiin suihkepullolla vesisumua demonstroimaan suojaimeen kertyvää uloshengitysilman kosteutta. Tämän jälkeen suojaimet vietiin kammioon -20 °C:een ja tarkasteltiin niiden jäätymistä sekä testattiin niiden toimivuutta pukemalla ne kasvoille.

3 TULOKSET

3.1 Kirjallisuuskatsaus

3.1.1 Yleiset Internet -haut

Google-haussa internetistä löytyi 1 910 000 tulosta. Yleisnäkymä saatiin ensimmäisestä 60 osumasta. Toistuva tieto saatiin näistä jo ensimmäistä kolmannelta tarkastelemalla. Se oli varoitus säilyttämisestä hengityksensuojaimia kylmässä. Tieto oli mm. seuraavien yhteisöjen ja yritysten verkkosivuilla:

- Occupational Safety & Health Administration, OSHA, United States Department of Labor, <https://www.osha.gov/Publications/OSHA3079/osha3079.html>
- Centers for Disease Control and Prevention, CDC, <https://www.cdc.gov/niosh/npptl/topics/respirators/factsheets/respfact.html>
- American Thoracic Society, <https://www.thoracic.org/statements/resources/eoh/resp1-13.pdf>
- ML Middlesex-London Health Unit, <https://www.healthunit.com/uploads/fit-test.pdf>

Kanadalaisen Saskatchewan Construction Safety Association (SCSA) -järjestön antamat turvallisuusvinkit poikkesivat muusta tiedosta:

- Hengityksensuojainten käytössä tulee olla tietoinen lämpötilasta.
- Kylmät lämpötilat voivat aiheuttaa huurtumista, venttiilien ja kumin jäykistymistä.
- Sisänaamari voi vähentää huurtumista.
Suojaa suojaintasi pölyltä, auringonvalolta, kuumuudelta ylenmääräiseltä kosteudelta ja kemikaaleilta.

Google-hausta nousi esiin myös Ellen Katrine Jensenin Statoililla tehdyn tutkimuksen englanninkielinen abstrakti (Jensen 2014). Abstraktissa Jensen kuvaa tutkimuksen, jossa kolmen hengityksensuojaimen suojauskyky testattiin natriumkloridiaerosolilla lämpötiloissa +20, +5, -10 ja -25 °C. Löytö johti Jensenin kutsumiseen Head First -seminaariin Tromssaan (Jensen 2017), jossa kuultiin hänen esityksensä aiheesta. Haussa löytyi myös tieteellinen artikkeli (Johnson 2016), josta edelleen löytyi toinen tieteellinen artikkeli (Johnson ym. 1992).

3.1.2 Tieteelliset haut

Tieteellisessä haussa löytyi kolme raporttia, joissa kerrottiin hengityksensuojaimien koe-käytöstä pakkasessa. Muita hengityksensuojainten käyttöön kylmässä liittyviä artikkeleita

löytyi neljä. Hengityksensuojainten suojauskyvyn tai kasvojen ihon jäähtymisen mittauksesta suojainten alla ei esitettyillä hauilla löytynyt raportteja.

Adley ja Wisehart (1962) ja Hyatt (1963a, ja 1963b) pohtivat testaustarpeita kokonaamareille ja tekivät niille testejä, joihin kuului myös käytön kokeilu kylmässä.

Miedinger puolestaan arvioi 1990 paineilmalaitteiden kuivan ja viileän ilman vaikutuksia käyttäjiin, etenkin astmaatikkoihin.

Suomalaisessa tutkimuksessa mainittiin puhallinlaitteiden aiheuttama vedon tunne etenkin viileällä säällä (Manninen ym. 1988).

Johnson ym. arvioi vuoden 1992 raportissa eri ympäristöolosuhteiden vaikutusta suojainten käyttöön ja tehokkuuteen numeerisesti esittämättä kuitenkaan laskenta- tai mittaus-tietoa numeeristen arvioiden tueksi. Vuonna 2016 Johnson raportoi kylmän eri vaikutus-tapoja hengityksensuojainten käyttöön ja suojauskykyyn.

Lisäksi kuvatuilla hauilla löytyi kolme tieteellistä artikkelia, jotka liittyivät lämpötilan nousuun suojainten sisällä normaaliolosuhteissa tai lämpimässä. Haut tuottivat myös 23 artikkelilöytöä, jotka eivät liittyneet hengityksensuojainten käyttöön eri lämpötiloissa.

3.2 Haastattelut

3.2.1 Työpaikoilla tehdyt haastattelut

Haastateltavien mukaan alhaisimmat työskentelylämpötilat voivat olla alle -30°C . Kylmissä oloissa hengityksensuojaimia käyttää päivittäin, yrityksestä riippuen, 30 – 100 työntekijää. Kylmässä tehtävän työjakson pituus vaihtelee muutamasta tunnista jopa 10 tuntiin 12 tunnin vuoroissa.

Altisteet esiintyvät työpaikoilla aerosoleina (esim. epäorgaaninen pöly, metalliyhdisteet, kvartsi, polysykliset aromaattiset hiilivedyt, öljysumu) kaasuihin (ammoniakki, rikkivety, rikkidioksidi) sekä höyryinä (liuotainaineet). Hengityksensuojaimina käytetään suodattavia hengityksensuojaimia (esim. FFP3 ja FFABE1P3RD), suodattimilla varustettuja puolinaamareita sekä puhallinsuojaimia.

Hengityksensuojainten käytölle kylmässä ei ole kirjallisia ohjeita vaan kylmässä toimitaan kokemuksen ja maalaisjärjen mukaan työtä tarpeen mukaan tauottaen esimerkiksi käymällä välillä lämpimässä autossa. Kylmässä vaihdetaan yleisesti tehokkaammasta hengityksensuojaimesta kertakäyttösuojaimen (FF-taso) tai hengityksensuojainta ei käytetä ollenkaan. Yhdessä yrityksessä kerrottiin, että tarve ohjeisiin, hengityksensuojainten käyttöön sekä muuhunkin kylmätyöskentelyyn, esim. tauotusten suhteen, on olemassa; haastateltavan tiivistämänä "Mikä on kohtuullista kylmässä työskenneltäessä?" Kylmän vaiku-

tukset tuntuvat jo kun lämpötila laskee +5 - 0 °C:een alueelle. Kylmä ilma tuntuu keuhkoissa heti, kun lämpötila menee pakkasen puolelle, lisäksi silmät kuivuvat, kasvojen iho kuivuu helpommin ja poskiontelotulehdukset kestävät pidempään.

Kaikissa yrityksissä työterveyshuollot tekevät altistumisen biomonitorointia (metallit, PAH). Tuloksissa ei ole havaittu eroa kesän ja talviajan välillä. Keuhko-oireita esiintyy. Useamman vuoden seurannassa keuhkojen toimivuuksissa (spirometria) on viitteitä laskusta ja arvelaan, että syynä ainakin osittain on hengityksensuojainten käytön laiminlyönti. Ylähengitystieinfektioita on talvella enemmän. Poskiontelotulehdukset ovat talviajalle tyypillisiä syitä työterveyshuollon vastaanotolle saavuttaessa. Mainittuja talviajan potilastapauksia tulee viikoittain, jopa päivittäin.

Pakkasella puolinaamariin kerääntyy vettä, jolloin uloshengitysventtiili alkaa jäätyä jo muutamassa pakkasasteessa; kokonaamarissa ei esiinny tätä ongelmaa. Puolinaamarit keräävät enemmän kosteutta kuin kertakäyttömaski, lopulta kosteus ja hiki valuvat kaulalle ja jäätyvät. Myös suojainten yhteensopivuudessa (kypärä, kuulonsuojaimet, suojalasit, kokomaski, "tyvek"-haalari) on ongelmia. Esimerkiksi puolinaamarin kanssa suojalasit, paitsi huurtuvat, voivat myös vääristää näkymää, koska niitä ei saada kunnolla silmille. Tosin puolinaamarin kanssa suojalasiin huurtuminen ei ole niin suuri ongelma kuin suodattavaa hengityksensuojainta (FF-luokka) käytettäessä. Yleinen kokemus oli, että huurtumisenestoaineet eivät poista lasien huurtumisongelmaa. Kokonaamaria käytettäessä kypärä putoilee päästä. Yleinen haittavaikutus hengityksensuojaimia käytettäessä on puheen kuuluvuuden ja sanotun ymmärrettävyyden vaikeutuminen.

Puhaltimella varustetuissa hengityksensuojaimissa kasvo-osan huurtumista oli pystytty vähentämään nostamalla ilman virtausnopeutta 20 – 40 l/min (120 l/min → 140 – 160 l/min). Kylmissä olosuhteissa kasvo-osan yläosasta tulevaa ilmavirtaa pidettiin vähemmän haitallisen tuntuksena kuin kaulalta tulevaa puhallusta. Yleisesti arveltiin puhaltimella varustettujen hengityksensuojainten alimman käyttölämpötilan olevan 0 °C vaiheilla, tosin yhdessä yrityksessä alarajaksi arveltiin jopa -10 °C, joka kuitenkin todettiin puhallusmaskin käytön kannalta epämiellyttäväksi lämpötilaksi. Missään yrityksessä hengityksensuojainten ei tiedetty aiheuttaneen paleltumia.

3.2.2 Suojainvalmistajien ja -myyjien haastattelut

Sähköpostihaastatteluun vastasi neljä tutkimuksessa mukana olevista suojainvalmistajien edustajista tai -myyjistä. Vastaukset perustuivat suojainten käyttöohjeisiin. Kolme neljästä vastaajasta kertoi, että alin suositeltu käyttölämpötila on yleensä -10 °C ja se perustuu laitteen käyttöohjeeseen. Vastaajat antoivat myös edellisestä poikkeavaa tietoa esimerkkeinä. Yhden valmistajan puhallinyksikölle suositeltiin alimmaksi käyttölämpötilaksi -5 °C. Yhden puolinaamarin käyttöohjeessa varoitettiin, että kylmässä runsas kosteus voi aiheuttaa

venttiilien jäätymisen. Kahdessa vastauksista mainittiin, että puhallinlaitteiden ohjeissa on mainittu, että tuuli voi vähentää suojaimen suojauskykyä. Asiakkailta vastaajat ovat saaneet palautetta, että puhallinsuojaimiin toivotaan lämmitintä teknisenä uudistuksena.

Vastauksissa tutkijat saivat riittävät tiedot suojainten puhdistukseen koehenkilöiden välillä. Pestävät osat tuli pestä vedellä ja miedolla saippualliuoksella. Joitakin suojaimia voitiin pyyhkiä desinfiointiliinalla.

Haastatteluvastauksissa saatiin myös suosituksia käyttää kylmässä suojaimia, joissa ei ole puhallinta. Yhdessä vastauksessa todettiin, että hengityksensä mukautuva puhallinsuojain tuntuu miellyttävämmältä kylmässä kasvoille virtaavan pienemmän ilmamäärän vuoksi. Tällainen puhallin ei puhalla kasvoille ilmaa uloshengityksen aikana lainkaan.

Tutkimuksen aikana valmistajien kanssa keskusteltaessa saatiin tietoa, että nykyään suojainten kasvo-osat ovat muovia tai silikonikumia, kun ne aiemmin olivat kumia. Tämän vuoksi kovin vanhaa tietoa suojainten kovettumisesta kylmässä ei voida hyödyntää. Yksi nykyään käytetyistä materiaaleista on silikonikumi. Kirjallisuuden mukaan se säilyttää ominaisuutensa laajalla lämpötila-alueella, -51 - +316 °C (Rosato 1993).

3.3 Puhallinlaitteiden toimintakyky kylmässä

Akkujen varaus

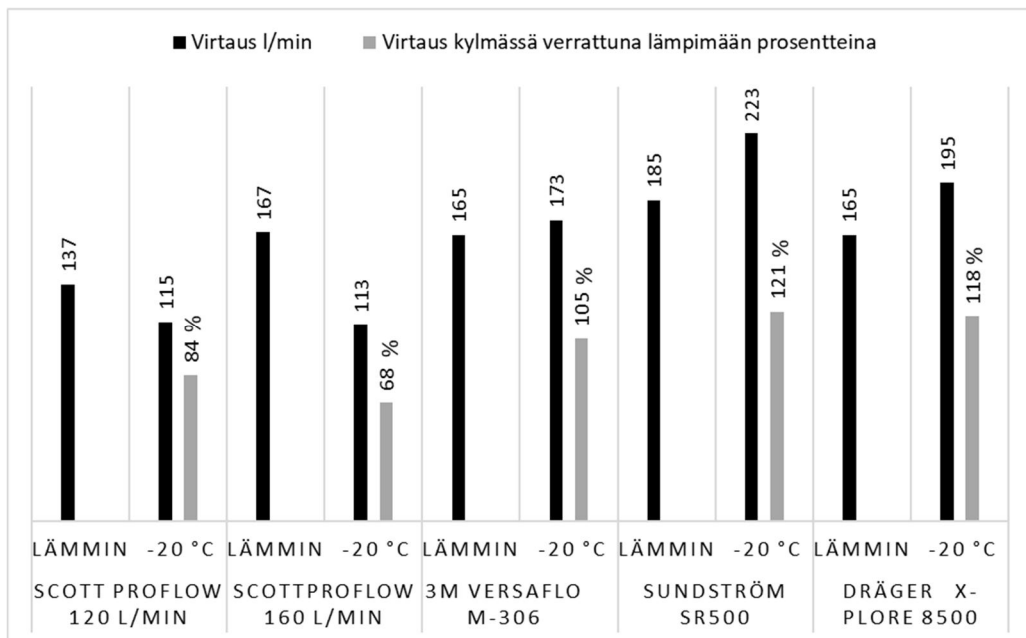
Mittauksissa kaikki puhallinyksiköt toimivat vähintään 5-6 tuntia -20 °C:ssa. Suurin osa oli vielä toimintakunnossa kahdeksan tunnin testin jälkeen, jolloin testi keskeytettiin. Puhallinyksiköiden toiminta-ajat testissä on esitetty taulukossa 8.

Taulukko 8. Akkuestin tulokset. Merkinnot A ja E ovat ko. puhallinlaitteiden omat hälytysrajat.

Laite	Esijäähdytys, min	Akun kesto/hälytykset
Sundström SR500	35	8 h: hälytys, mutta toimii vielä
3M Versaflo TR600	35	8 h: 3/5 akkua jäljellä
3M Adflo	40	3 h 35 min: akkuvalo 1 palkki 5 h: hälytys, poistettiin <i>Uusinta: 8 h sammunut</i>
Scott Safety Proflow 2 SC, 160 l/min	40	1 h 40 min: A6 2 h 35 min: A3 3 h 35min: A2 7 h: A1 8 h: A1
Scott Safety Proflow 2 SC, 120 l/min	65	30 min: E1 5 h: A0 8 h: A0 (toimii vielä)
Scott Safety Duraflow	30	6 h: ¼ akkuvalo sammunut 8 h: ¾ akkua jäljellä
Dräger X-plore 8500	30	6 h: sammui

Puhallinyksiköiden ilmavirtaus

Puhallinyksiköiden ilmavirtaukset vaihtelivat kylmässä (-20 °C:ssa) 68 - 121 % niiden lämpimässä mitatuista virtausarvoista (Kuva 6). Kahden Proflow-puhallinyksikön ilmavirtaukset jäivät kylmässä alle lämpimässä mitattujen arvojen. Niiden virtaukset olivat 68 – 84 % lämpimistä arvoista. Muiden laitteiden virtausteho säilyi hyvänä kylmässäkin.



Kuva 6. Puhallinyksiköiden ilmapuhtausmittausten tulokset. Kuvassa on esitettyä laitteiden kolmen virtausmittauksen keskiarvot (l/min) lämpimässä sekä kylmässä (-20 °C). Ilmapuhtaus ero kylmässä verrattuna lämpimään on esitetty prosentteina (%).

3.4 Hengityksensuojainten suojauskertoimet

Hengityksensuojainten suojauskertoimet mitattiin ympäristön lämpötiloissa +20 ja -20 °C. Puolinaamareiksi testeissä luokiteltiin sekä suodattimella varustetut puolinaamarit sekä suodattavat puolinaamarit, joissa on kiinteä yhdistelmäsuodatin. Näiden rakenteita yhdistää niiden kasvoille tiivistyvä elastinen kumi- tai muovirunko. Muut testatut suojainryhmät olivat suodattavat puolinaamarit, kokonaamarit, hupulla, kypärällä tai kasv suojuksella varustetut puhallinsuojaimet (tehokkuusluokka TH3P) ja koko- tai puolinaamarilla varustetut hengitykseen mukautuvat puhallinsuojaimet (tehokkuusluokka TM3P).

Yhtä lukuun ottamatta kaikissa testeissä pienin mitattu kokonaissuojauskerroin täytti edellytetyn vähimmäiskertoimen (taulukko 9). Poikkeuksen teki hengitysrytmiin mukautuvan puhallinsuojaimen kokonaamarimallin kokonaistiiviyserroin kylmässä yhdellä koehenkilöllä. Kokonaissuojauskerroin oli 686, kun siltä edellytetään vähintään suojauskerrointa 1000 käyttäjän yllä.

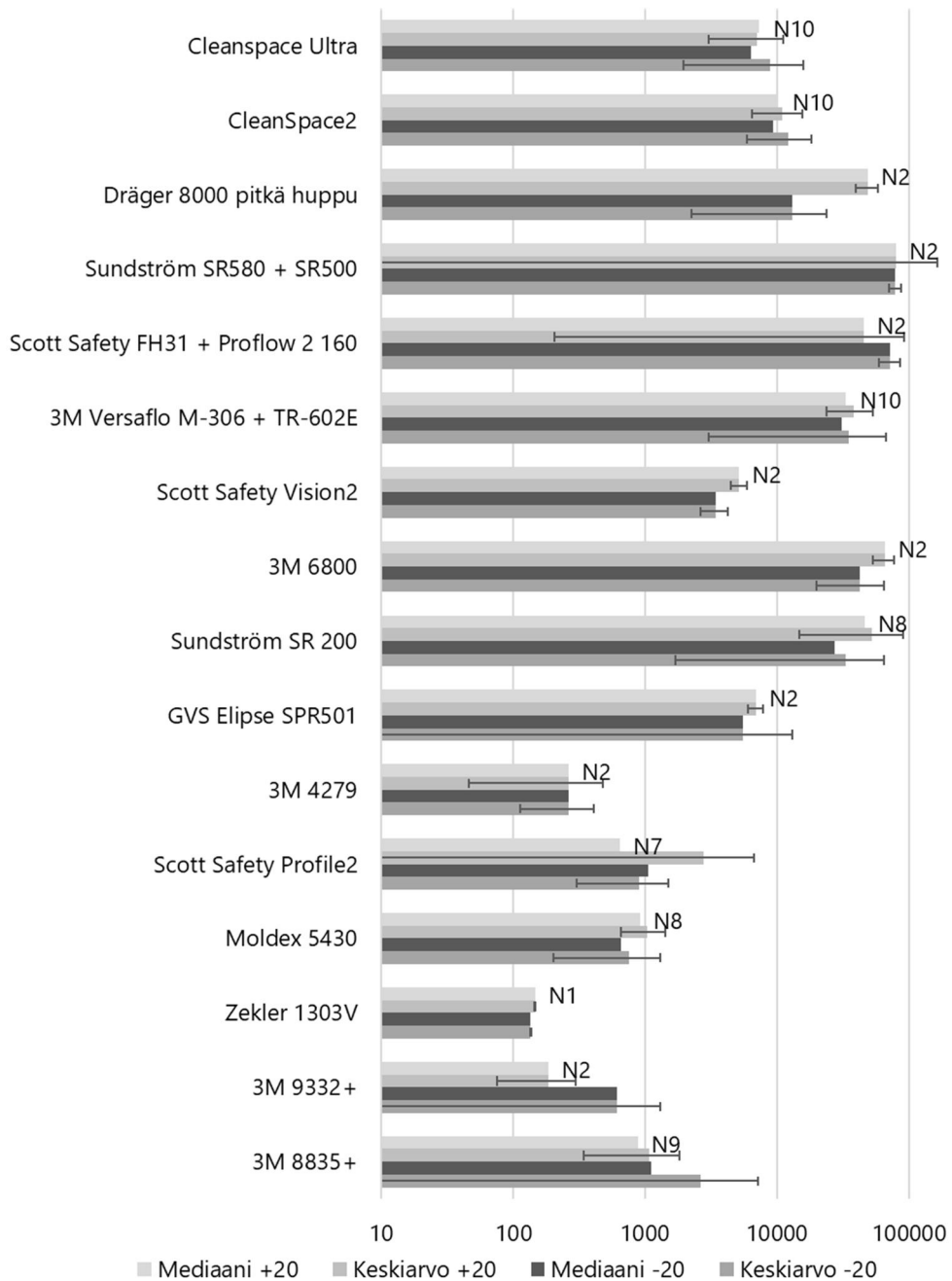
Taulukko 9. Mitattujen kokonaissuojainkertoimien keskiarvot, mediaanit, keskihajonnat, prosentuaaliset keskihajonnat, 5. persenttiili, pienimmät arvot ja suurimmat arvot suojainryhmittäin.

	Suodattavat puolinaamarit		Puolinaamarit		Kokonaamarit		Puhallinsuojaimet kypärällä, hupulla, kasvosuojuksella		Hengitysrytmiin mukautuvat puhallinsuojaimet	
	+20	-20	+20	-20	+20	-20	+20	-20	+20	-20
Testien määrä	12	12	19	19	12	12	16	16	20	20
Keskiarvo	852	2084	2216	1250	46781	29548	45594	42075	9044	10445
Mediaani	575	992	847	536	46250	18155	37650	32450	8735	8840
Keskihajonta	752	4033	2977	2375	36487	28759	30510	32723	4646	6536
%-keskihajonta	88	194	134	190	78	97	67	78	51	63
5. persenttiili	129	125	130	117	4341	2689	17850	4905	1910	1535
Pienin arvo	108	121	109	117	3950	2480	13500	3540	1720	686
Suurin arvo	2530	14700	9370	10800	114000	88800	139000	119000	20200	24700

Kokonaissuojainkertoimien keskihajonnat suojainryhmittäin vaihtelivat välillä 51 - 194 %. Suodattavien puolinaamareiden ja puolinaamareiden suojauskertoimien keskihajonnat olivat kylmässä selkeästi suurempia kuin muiden mitattujen suojainten keskihajonnat. Suodattavien puolinaamarien kokonaissuojauskertoimet olivat keskimäärin kylmässä suurempia kuin huonelämpötilassa. Tähän verrattuna päinvastoin puoli- ja kokonaamarien suojauskertoimet olivat lämpimässä suurempia kuin kylmässä. Puhallinsuojainten kokonaissuojauskertoimet olivat keskimäärin samaa luokkaa lämpimässä ja kylmässä.

Kuvassa 7 on esitetty kaikkien kokonaissuojauskertoimien keskiarvot, mediaanit, keskihajonnat ja testien määrät suojaimittain.

Kuvassa 8 on esitetty suodattavan puolinaamarin (FFP3) 3M 8835+ mitatut suojauskertoimet yhdeksällä koehenkilöllä mittausprotokollan eri vaiheissa. Kuvasta voidaan havaita, että yhdessä kylmässä tehdyssä testissä suojauskerroin käy kahdessa testivaiheessa ennalta edellytetyn kokonaissuojauskertoimen 100 alapuolella, mutta kokonaissuojauskerroin on kuitenkin tässäkin testissä (3M 8835+ 9) yli 100.



Kuva 7. Hengityksensuojainten mitattujen kokonaissuojauskertoimien keskiarvot, keskihajonnat ja mediaanit +20 ja -20 °C:ssa sekä mittausten määrät (NX) suojaimittain.

Kuvasta 9 voidaan havaita, että suojauskertoimet vaihtelevat voimakkaasti Profile2-puolinaamaria käytettäessä. Erityisesti pää sivulta sivulle -liikkeessä suojauskertoimet ovat monella pienempiä kuin muutoin testien aikana. Kaiken kaikkiaan kertoimet vaihtelevat koehenkilöittäin testin aikana ja erot koehenkilöiden tulosten välillä ovat suuria.

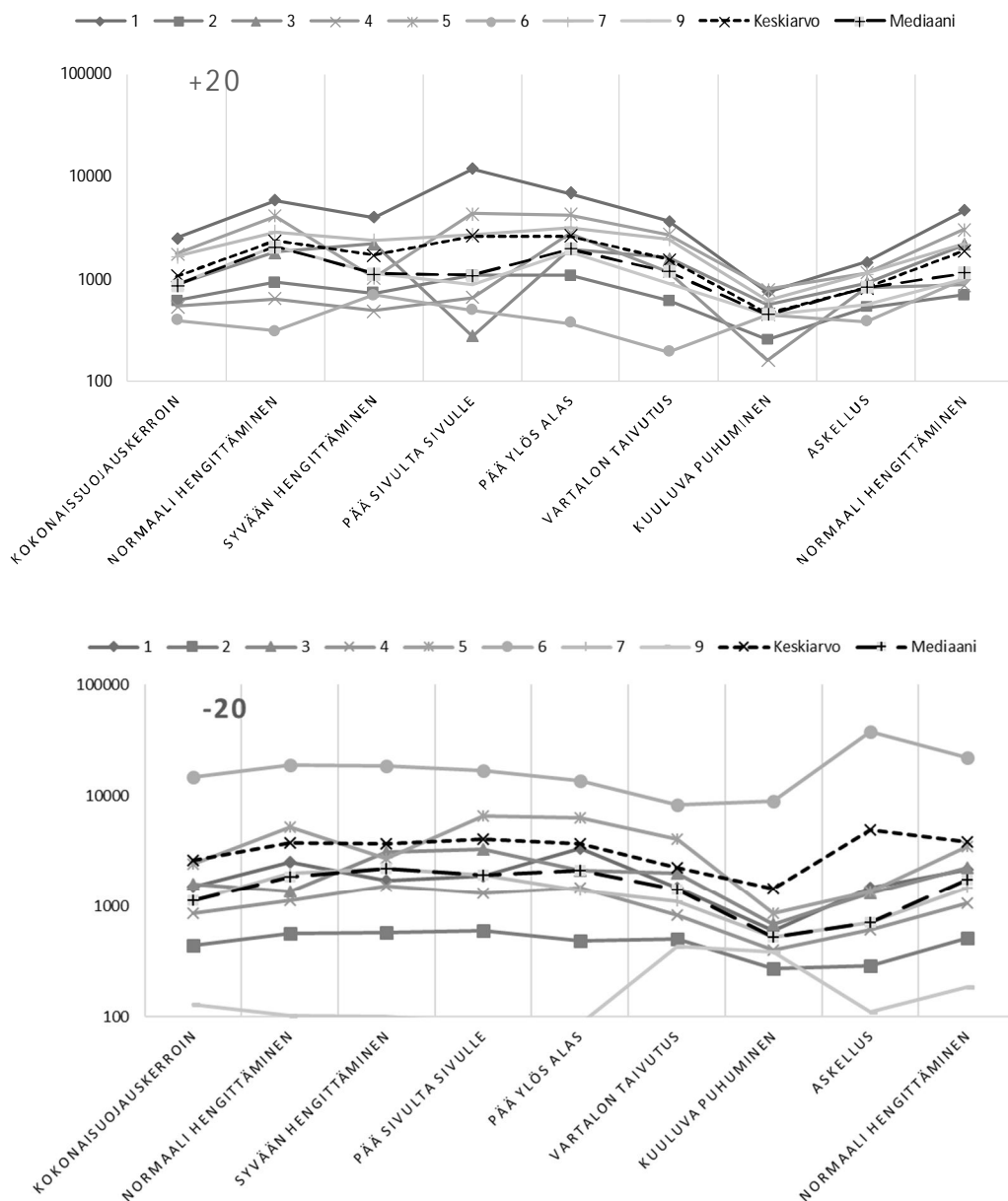
Moldex 5430-puolinaamarin suojauskertoimien suojauskerroin profiili testivaiheittain on kaikilla koehenkilöillä kuvan 10 mukaan samankaltainen. Kylmässä mitatuissa suojauskertoimissa on jonkin verran eroa. Kaikkien kokonaissuojauskertoimet kuitenkin ylittävät rajan 100.

Kokonaamareita käytettäessä suojauskertoimet ovat suurempia kuin puolinaamareita käytettäessä. Kuvassa 11 on SR 200 -kokonaamarin suojauskertoimet koehenkilöillä. Puhuminen on näiden testien mukaan yleisin suojauskykyä eniten haastava vaihe. Lämpimässä yhdellä henkilöllä on yleistasosta pienempi suojauskertoimen arvo päätä ylös ja alas liikutettaessa. Kylmässä muutamalla henkilöllä on muista suojauskertoimista pienempiä arvoja koko testin aikana tai vain joissakin liikkeissä. Yleinen trendi on, että kokonaamarin suojauskertoimet ovat testin lopussa parempia kuin alussa. Kuvan 11 mukaan suojauskertoimet ylittävät sekä kylmässä että lämpimässä edellytetyn arvon 1000.

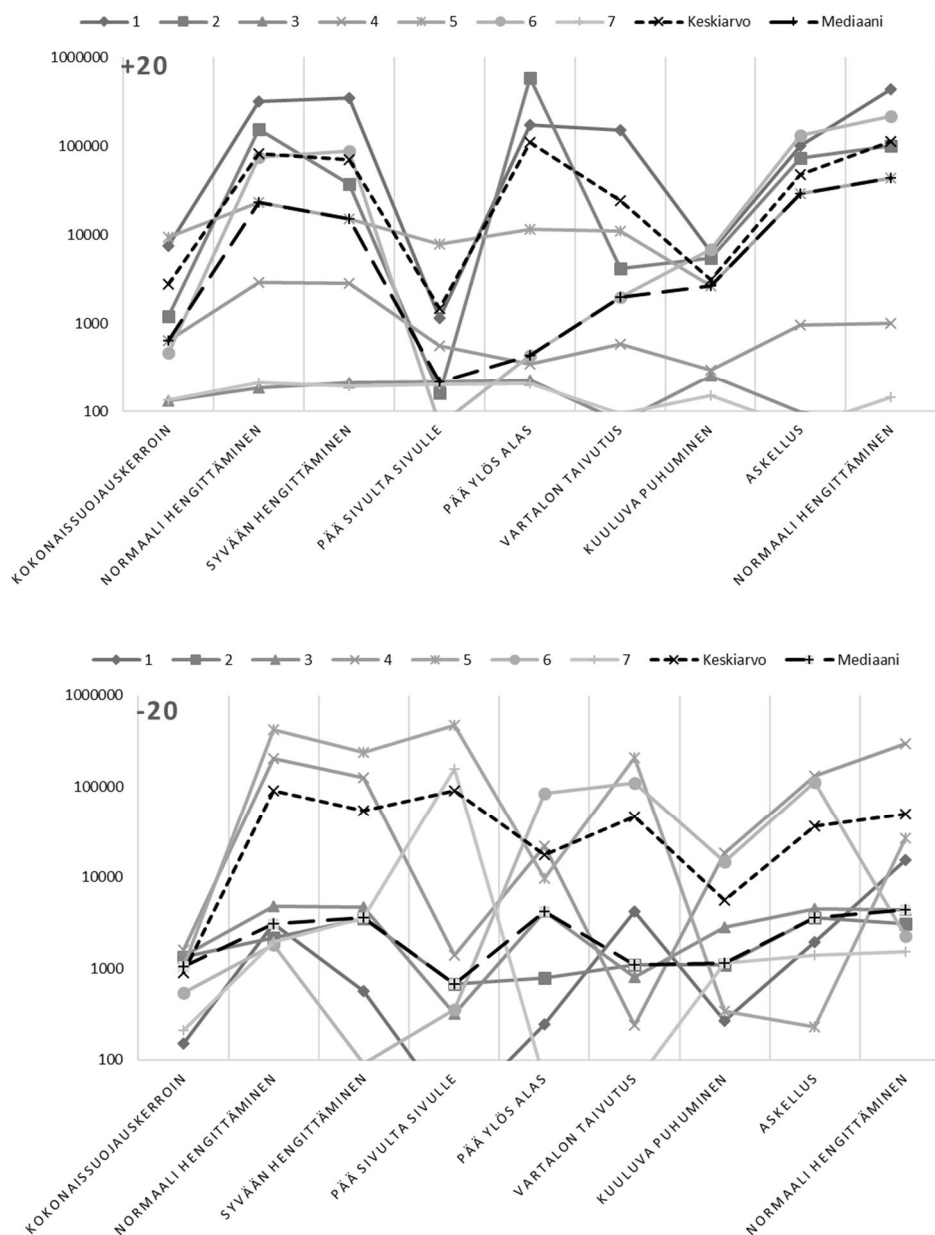
Kypärällä varustetun puhallinsuojaimen Versaflo M-306 + TR602E suojauskertoimet ovat tasaisia testiliikkeiden välillä (Kuva 12). Kylmässä yhdellä koehenkilöllä vartalon taivutus - liikkeen aikana ja toisella askelluksen aikana suojauskerroin on yleistasoa alempi. Kokonaissuojauskertoimet ovat edellytettyä suojauskerrointa 200 huomattavasti suurempia.

Hengitysrytmiin mukautuvan puolinaamarilla varustetun Cleanspace2-puhallinsuojaimen tiivyskertoimet ylittävät siltä edellytetyn rajan 1000 sekä kylmässä että lämpimässä. Askelus ja kuuluva puhuminen tuottavat koehenkilöille yleistasoa pienempiä suojauskertoimia kuvan 13 mukaan.

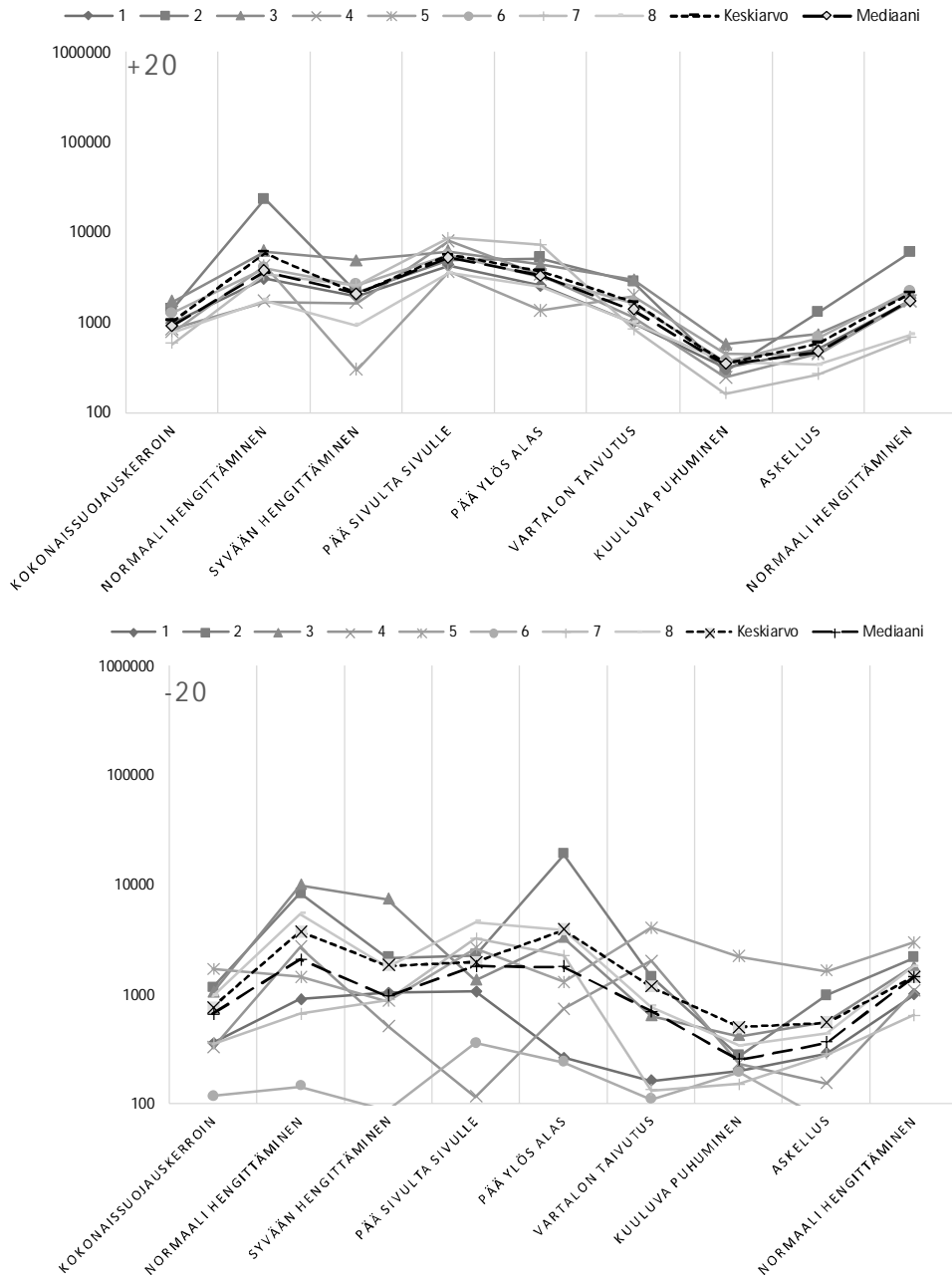
Hengitysrytmiin mukautuvan kokonaamarilla varustetun Cleanspace Ultra -puhallinsuojaimen suojauskerroinprofiili testiliikkeittäin on samankaltainen kuin Cleanspace2- puolinaamarin (Kuva 14). Useammalla henkilöllä suojauskerroin käy joissain testiliikkeissä edellytetyn rajan alapuolella. Yhdellä henkilöllä kylmässä tämä tuottaa kokonaissuojauskertoimen, joka on alle edellytetyn vähimmäisrajan. Muutoin kokonaissuojauskertoimet ovat yli 1000.



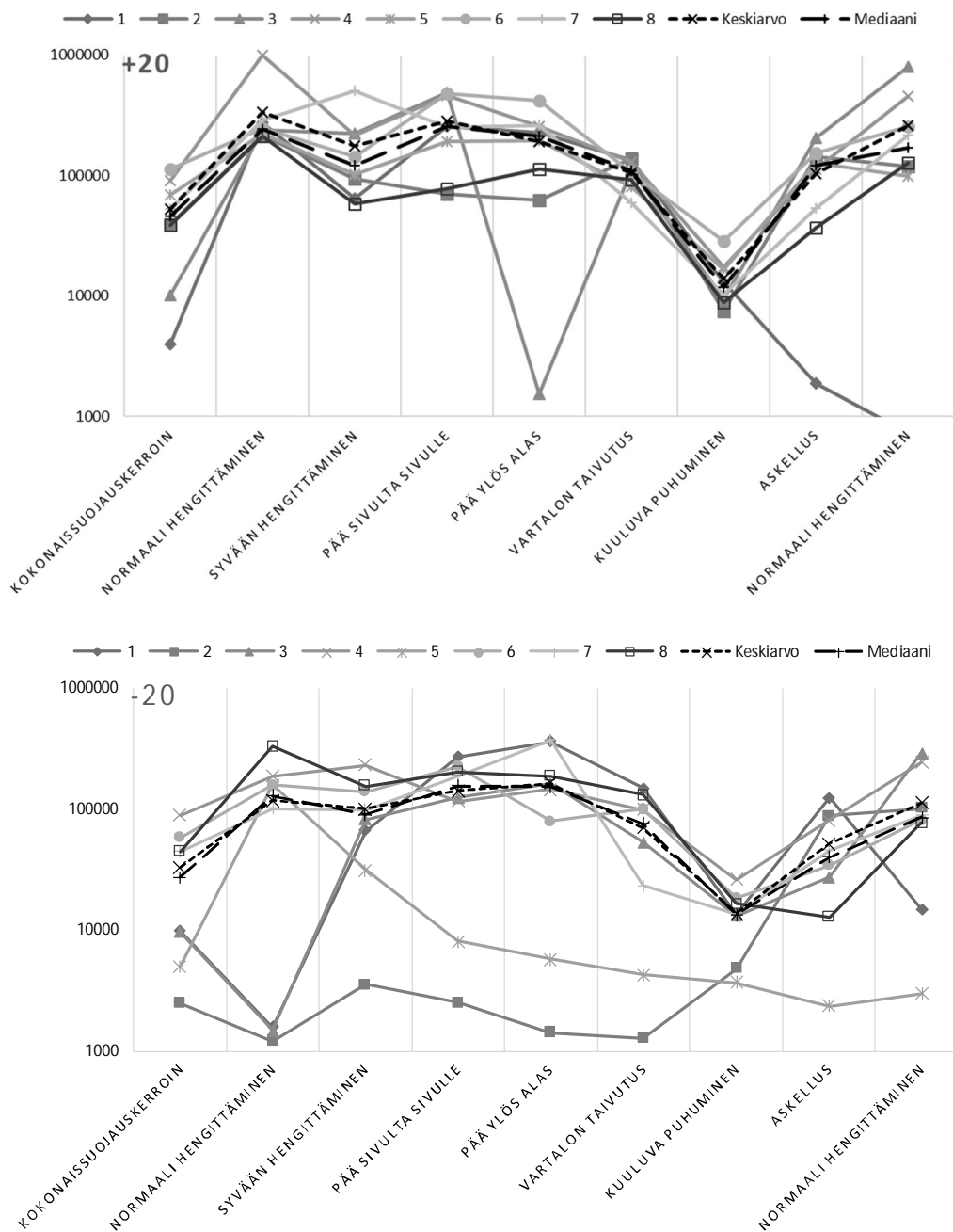
Kuva 8. Suodattavan puolinaamarin (FFP3) 3M 8835+ mitatut suojauskertoimet lämpötiloissa +20 ja -20 °C. Alemmassa lämpötilassa yhden koehenkilön tulos suojaimelle alittaa kahdessa testin jaksossa suojauskertoimen rajan 100, joka testissä tulisi saavuttaa. Kokonaissuojauskerroin ylittää rajan 100 kaikissa testeissä.



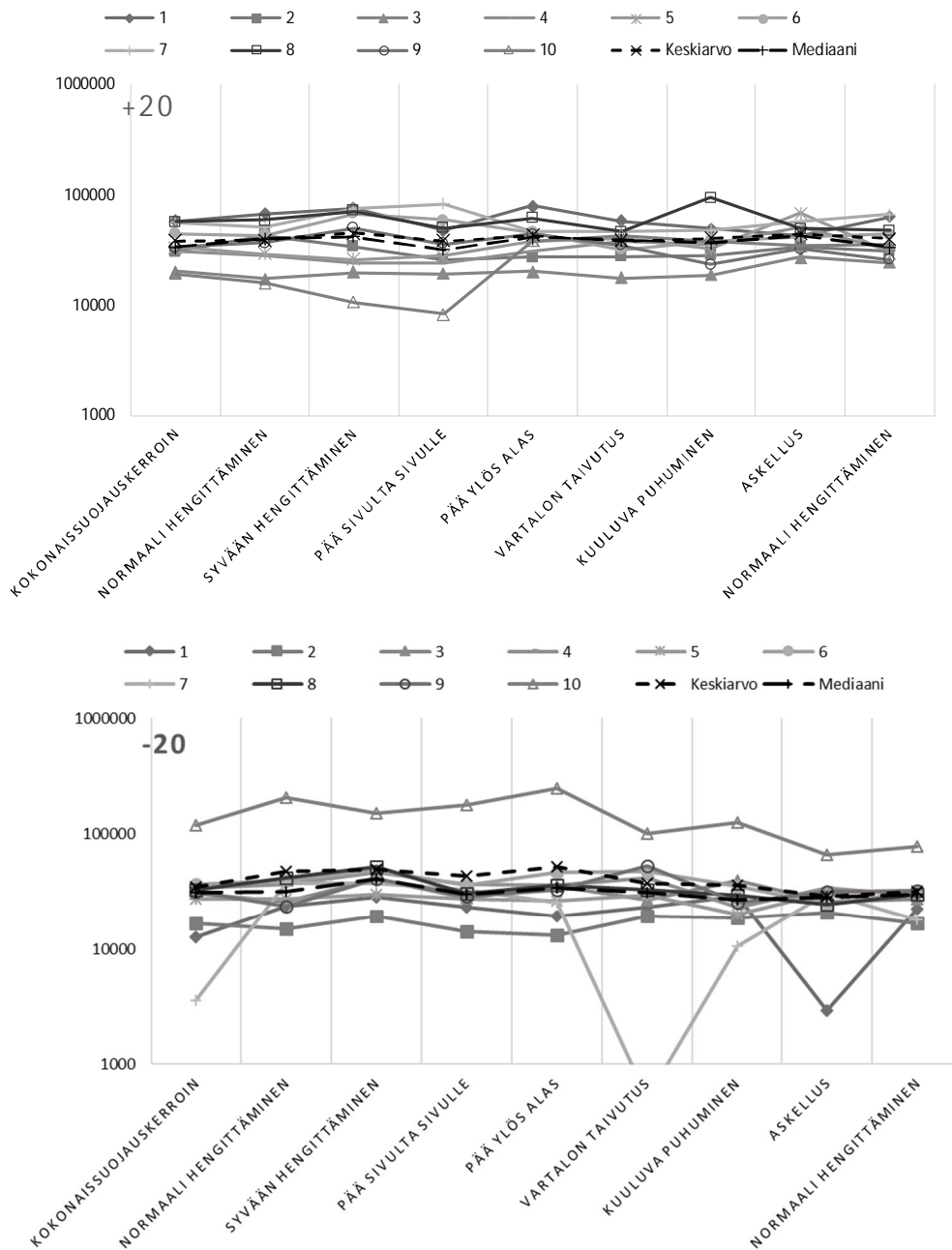
Kuva 9. Puolinaamarin Profile2 mitatut suojauskertoimet lämpötiloissa +20 ja -20 °C. Molemmissa lämpötiloissa joitakin yksittäisiä tuloksia käy suojauskertoimen rajan 100 alapuolella. Kaikissa testeissä kokonaissuojauskerroin on yli 100.



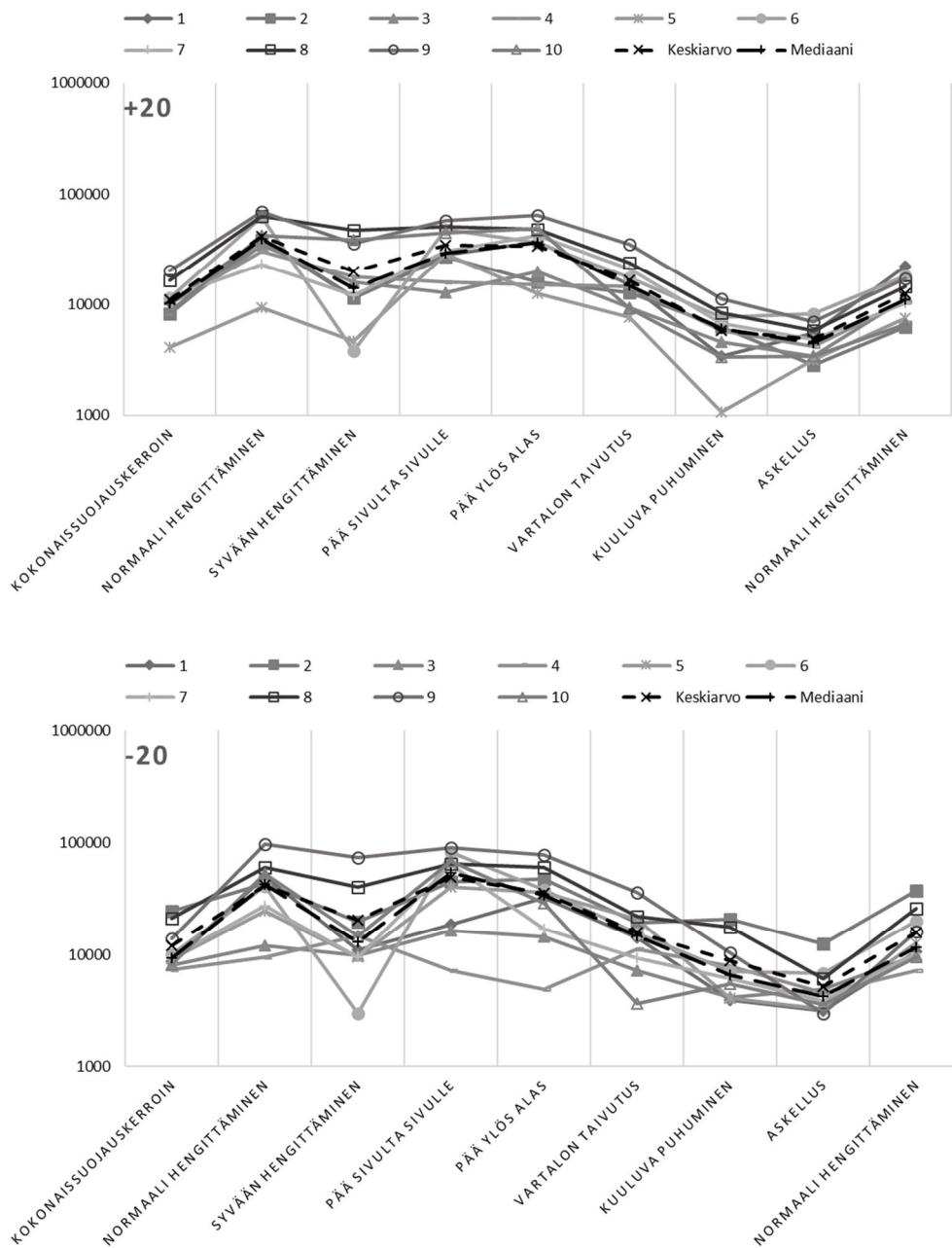
Kuva 10. Puolinaamarin Moldex 5430 mitatut suojauskertoimet lämpötiloissa +20 ja -20 °C. Alemmassa lämpötilassa yhden koehenkilön tulos alittaa kolmessa kohtaa suojauskertoimen rajan 100. Kokonaissuojauskertoimen on yli rajan 100 yläpuolella kaikissa testeissä.



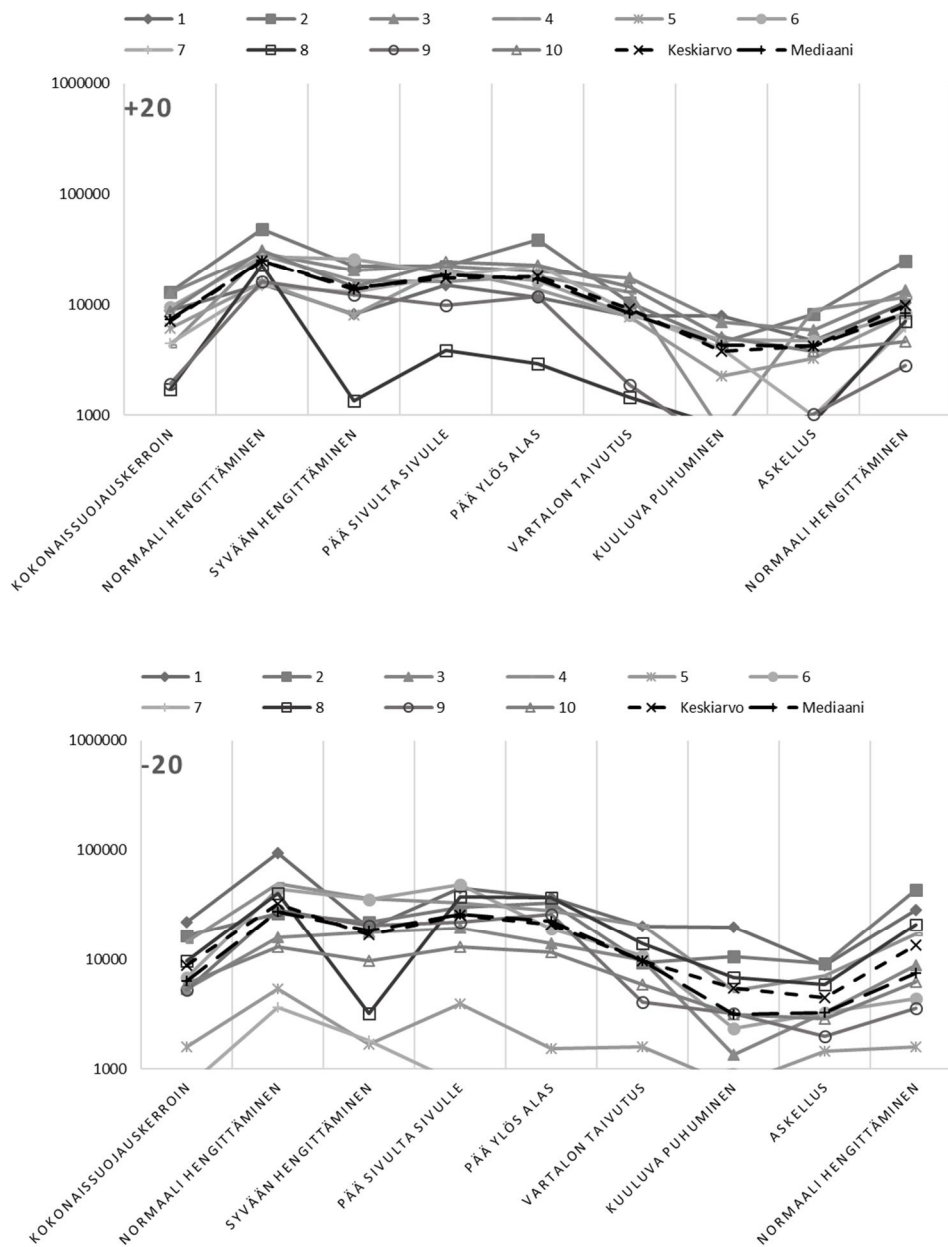
Kuva 11. Kokonaamarin SR200 mitatut suojauskertoimet lämpötiloissa +20 ja -20 °C. Suojauskertoimet ovat yli 1000.



Kuva 12. Kypärällä varustetun puhallinsuojaimen Versaflo M-306 + TR602E (TH3P) mitatut suojauskertoimet lämpötiloissa +20 ja -20 °C. Kokonaissuojauskertoimet ovat yli 200.



Kuva 13. Hengitysrytmiin mukautuvan, puolinaamarilla varustetun puhallinsuojaimen Cleanspace2 mitatut suo-
jaukertoimet lämpötiloissa +20 ja -20 °C.

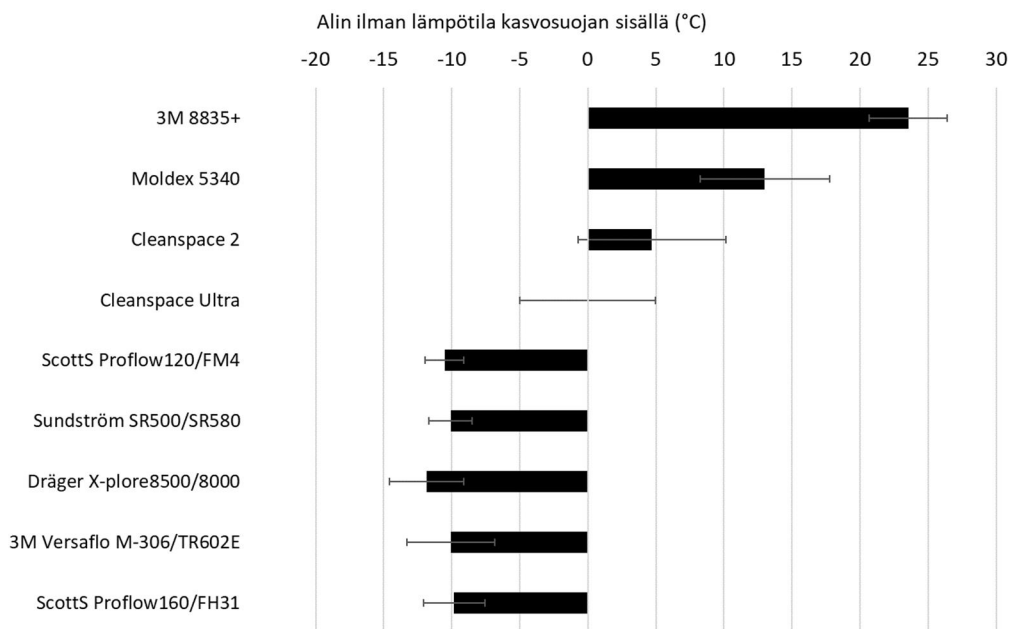


Kuva 14. Hengityksrytmiin mukautuvan, kokonaamarilla varustetun puhallinsuojaimen Cleanspace Ultra mitatut suojauskertoimet lämpötiloissa +20 ja -20 °C. Kokonaistiiviyksertoimet ovat yli 1000 lukuun ottamatta yhden koehenkilön testiä kylmässä.

3.5 Kasvojen jäähtyminen käytettäessä hengityksensuojaimia kylmässä

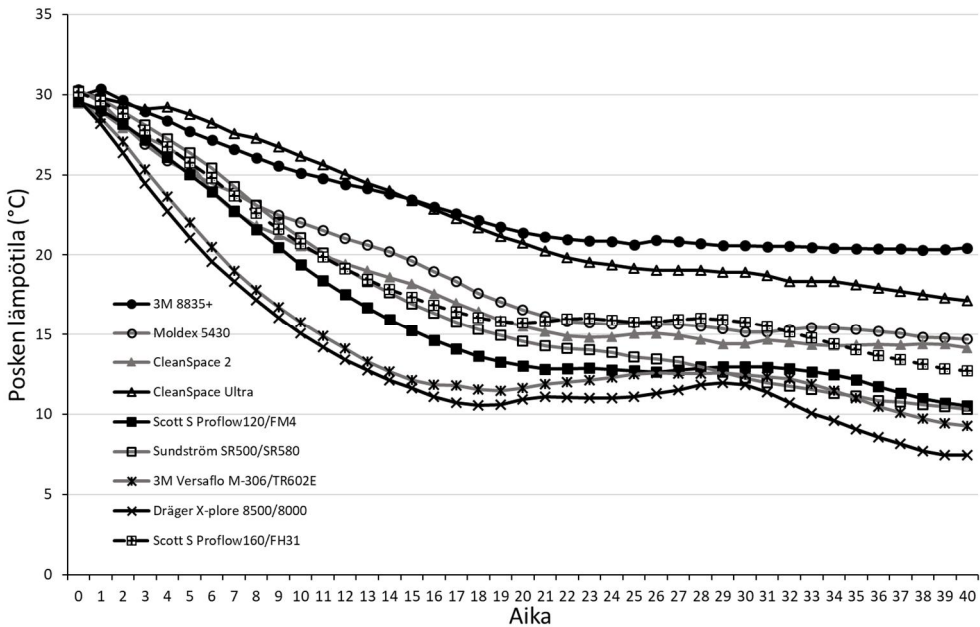
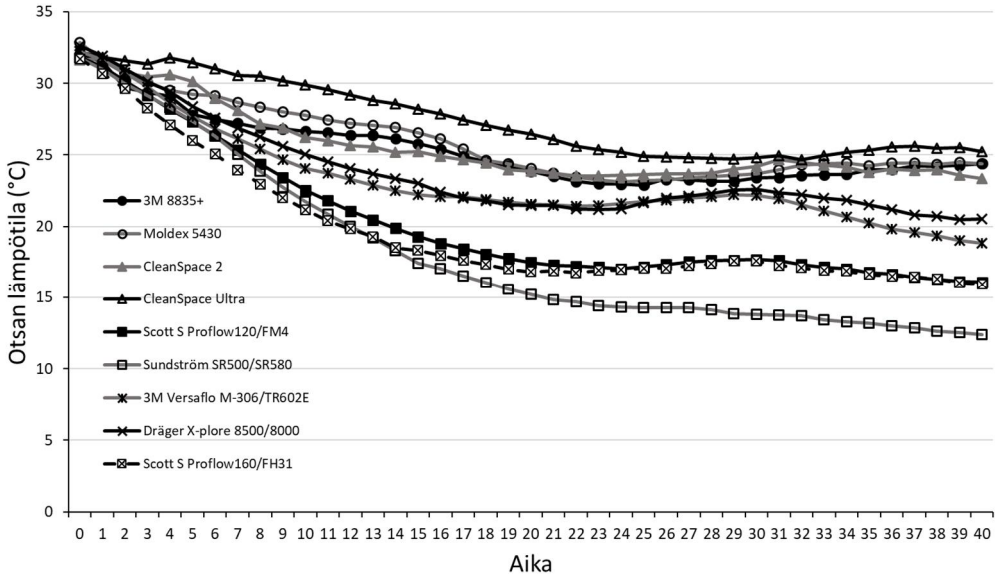
3.5.1 Kasvojen iholämpötilat

Ilman lämpötilaa mitattiin suojaimen sisältä. Kuvassa 15 on esitetty kylmin lämpötila kylmäaltistuksen aikana. Suodattavissa puolinaamareissa ilman lämpötila oli alimmillaan 12 – 24 °C. CleanSpace2-puolinaamarissa ilman lämpötila oli noin 5 °C, vaikka suojain on varustettu puhaltimella. CleanSpace Ultra -kokonaamarissa lämpötila oli alimmillaan noin 0 °C. Muissa puhallinsuojaimissa ilman lämpötila oli noin -10 °C.

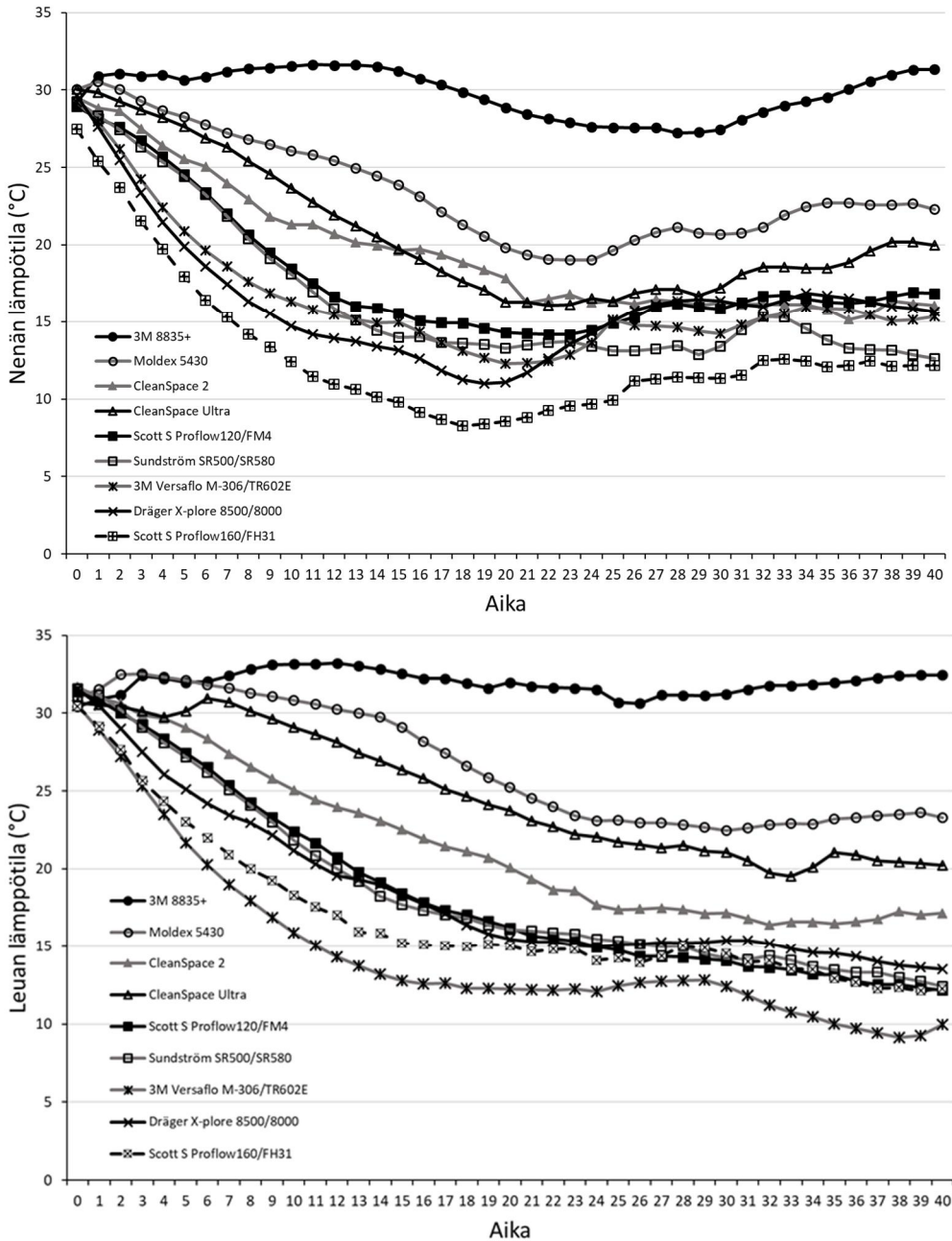


Kuva 15. Alin ilman lämpötila suojaimen sisällä. Tarkemmat suojainten ja puhallinlaitteiden nimitykset taulukossa 1.

Kasvojen eri ihoalueiden jäähtyminen eri suojaimilla on esitetty kuvissa 16-17 sekä liitteessä 3 kasvojen lämpötilat IR-lämpökamerakuvina. Suodattavissa suojaimissa nenä ja leuka ovat naamarin sisällä suojassa ympäristön olosuhteilta. Puolinaamari toimii tällöin lämmön- ja kosteudenvaihtimena. Nenä ja leuka jäähtyvä eniten kasvosuojaimella varustetuissa puhallinsuojaimissa. CleanSpace Ultra -kokonaamarissa posken lämpötila pysyy yli 17 asteessa kuin muissa puhallinsuojaimissa posken lämpötila laskee noin 15 asteeseen tai alle. Otsa on kylmin Sundström SR500+SR580 -puhallinsuojaimessa, poski hupulla varustetussa Dräger X-plore X-plore 8000 -suojaimessa, nenä Scott Safety Proflow2 SC160+FH31- ja leuka 3M Versaflo M-306 ja TR602E -puhallinsuojaimessa.

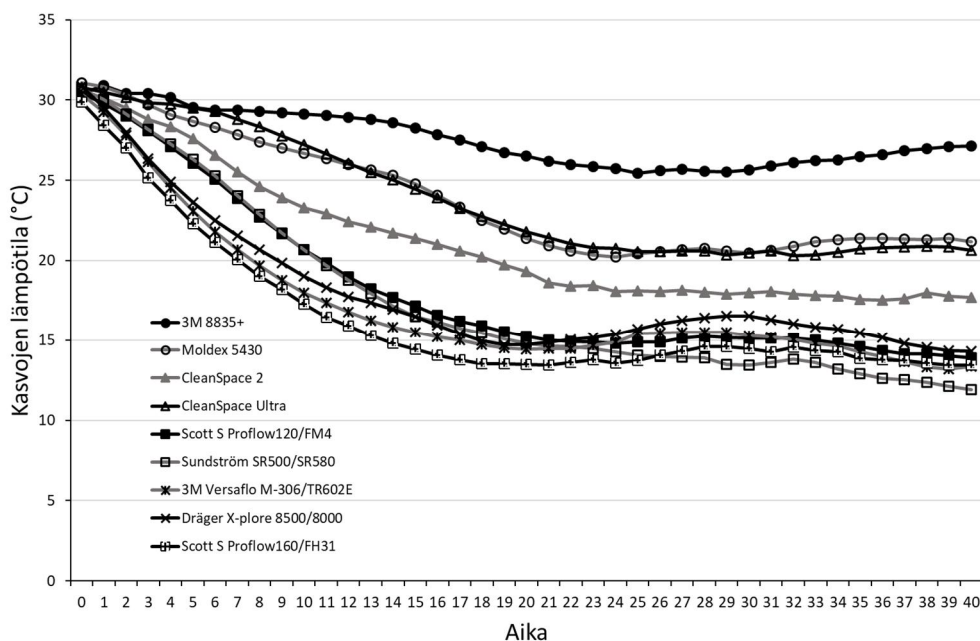


Kuva 16. Otsan ja posken iholämpötilä kylmäaltistuksessa. Lämpötilä: -20 °C. Minuutit 0-15: seisten paikallaan, 15-25: askellus, 25-30 nostot ja 30-40: seisten paikallaan. Tarkemmat suojainten ja puhallinlaitteiden nimitykset taulukossa 1.



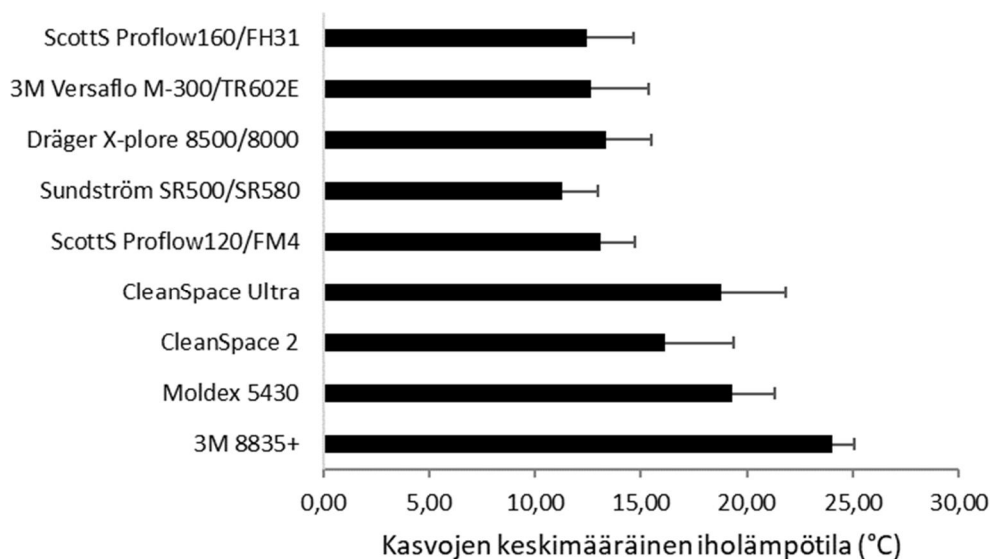
Kuva 17. Nenän ja leuan iholämpötilä kylmäaltistuksessa. Lämpötilä: -20 °C. Minuutit 0-15: seisten paikallaan, 15-25: askellus, 25-30 nostot ja 30-40: seisten paikallaan. Tarkemmat suojainten ja puhallinlaitteiden nimitykset taulukossa 1.

Paikallisista kasvojen iholämpötiloista laskettiin keskiarvo kuvaamaan kasvojen keskimääräistä lämpötilaa. Kasvojen jäähtyminen oli nopeinta kasvosuojalla varustetuissa puhallin-suojaimissa (Kuva 18). Kylmääntistuksen lopussa tasaisella ilman virtauksella varustetuissa suojaimissa kasvojen keskimääräinen iholämpötila oli 12-14 °C. Puolinaamarilla varustetulla CleanSpace2:lla kasvojen lämpötila oli noin 2-3 °C alempi kuin kokonaamarilla varustetulla CleanSpace Ultralla. 3M 8835+ suodattavassa puolinaamarissa kasvat jäähtyivät vähemmän kuin Moldex 5430-puolinaamarissa. Verrattaessa CleanSpace2-puolinaamaria suodattaviin puolinaamareihin kasvojen lämpötila oli ensin mainitussa kylmempi.



Kuva 18. Kasvojen keskimääräinen iholämpötila eri hengityksensuojainta käytettäessä. Lämpötila: -20 °C. Minuutit 0-15: seisten paikallaan, 15-25: askellus, 25-30: nostot ja 30-40: seisten paikallaan. Tarkemmat suojainten ja puhallinlaitteiden nimitykset taulukossa 1.

Kuvassa 19 on esitetty kasvojen ihon jäähtymisarvoista minimi kullekin suojaimelle. Jatkuva ilmavirtaa puhaltavissa suojaimissa kasvojen lämpötila oli alimmillaan 11-13 °C. Kokonaamarilla varustettu CleanSpace Ultrassa kasvojen alin lämpötila on noin 3 °C korkeampi kuin puolinaamarissa (CleanSpace2) ja samaa luokkaa kuin Moldex 5430-suodattavassa suojaimessa.



Kuva 19. Kasvojen keskimääräisen iholämpötilan minimi eri suojainta käytettäessä. Tarkemmat suojainten ja puhallinlaitteiden nimitykset taulukossa 1.

Kuormittuneisuustuntemukset kysyttiin askelluksen ja käsipainon nostojen jälkeen. Eroja eri suojainten välillä ei ollut vaan molemmat työtehtävät koettiin ”kevyeksi”.

Naisten ja miesten kasvojen iholämpötiloissa ei ollut tilastollisesti eroja (taulukko 10). Naisia oli neljä ja miehiä kuusi.

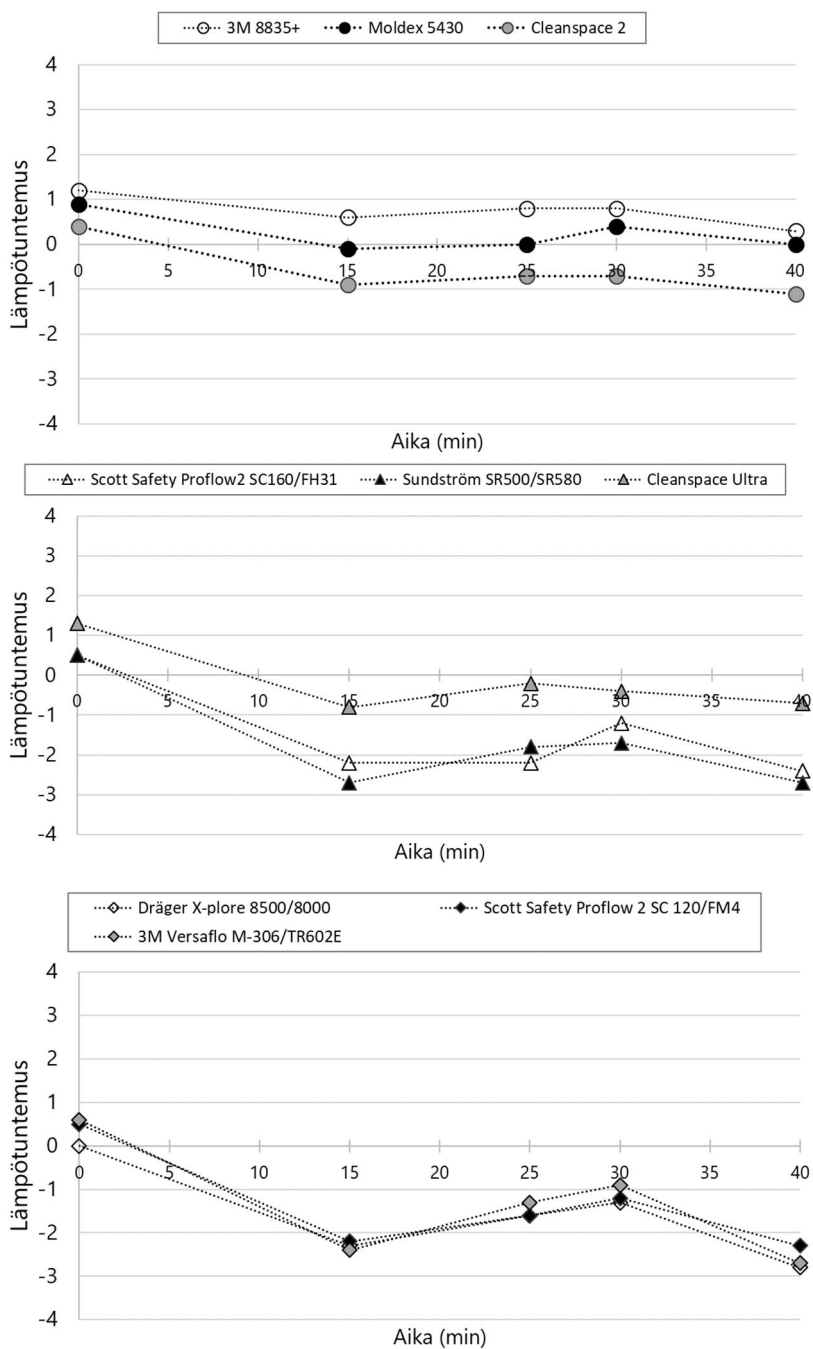
Taulukko 10. Miesten ja naisten kasvojen keskimääräinen alin iholämpötila. Keskiarvo ± keskihajonta. Tarkemmat suojainten ja puhallinlaitteiden nimitykset taulukossa x.

	Miehet (n=6)	Naiset (n=4)
3M 8835+	24,2 ± 1,2	24,5 ± 1,7
Moldex 5430	18,7 ± 2,1	20,3 ± 1,5
CleanSpace2	17,0 ± 2,8	14,9 ± 4,2
CleanSpace Ultra	19,7 ± 2,1	17,5 ± 4,1
Scott Safety Proflow 2 SC120+FM4	12,7 ± 1,6	13,8 ± 1,6
Sundström SR500 + SR580	10,4 ± 1,0	12,4 ± 1,7
Dräger X-plore 8500 ja X-plore 8000	13,4 ± 2,2	13,3 ± 2,4
3M Versaflo M-306+TR602E	11,9 ± 2,6	13,8 ± 2,7
Scott Safety Proflow2 SC160+FH31	12,36 ± 2,9	12,53 ± 1,2

3.5.2 Kasvojen lämpötuntemus

Kuvassa 20 on esitetty kasvojen lämpötuntemukset eri suojaimilla. Paikallaan seisten (ensimmäiset 15 min ja viimeiset 10 min) lämpötuntemukset laskivat lähtötilanteesta. Eniten jäähtymistä tuntemuksissa aiheutti puhallinsuojainten käyttö. Työtä tehdessä (askellus ja nostot) lämpötuntemus nousi mutta jäi kuitenkin termoneutraalin alapuolelle (hieman viileä – viileä).

Taulukkoon 11 on koottu koehenkilöiden kokemat tuntemukset kasvojen jäähtymisestä ja mihin erityisesti kylmyys kohdistuu sekä kosteuden tuntemukset. Kylmin kasvojen osa vaihteli paljon suojaimesta toiseen. Puolinaamareissa poskipäät jäähtyivät useimmilla. Suojaimen reuna koettiin myös usein kylmäksi. Silmien ja nenän vuotaminen oli yleistä puhallinsuojaimia käytettäessä. Suojaimen kasvo-osan huurtumista ilmeni eniten 3M Versaflo M-306 ja TR602E-, Dräger X-plore 8500- ja Scott Safety Proflow2 SC160+ FH31 -puhallinsuojaimilla.



Kuva 20. Lämpötuntemus ajan suhteen eri suojainta käytettäessä. 0 = neutraali, 1 = hieman lämmin, -1 = hieman viileä, -2= viileä, -3 = kylmä. Tarkemmat suojainten ja puhallinlaitteiden nimitykset taulukossa 1.



Taulukko 11. Koehenkilöiden kokemus kylmimmistä kohdista ja kosteudesta kasvoilla sekä kasvo-osan huurtuminen (kpl/10 koehenkilöä).

Suojain	Kylmä ja kosteus	Huurtuminen
3M 8835+	Kosteutta sisällä Hengitys työlästä Kylmä: poskipäät Kylmin mitattu: 18°C (poski, ulkop)	
Moldex 5430	Kosteutta sisällä Hengitys helpompi Kylmä: Leuan alla ja poskipäät, suojaimen reunat. Kylmin mitattu: 10°C (poski, ulkop)	
CleanSpace2, puolinaamari	Kylmä: Poskipäät, leuka, huulet, otsa, suojaimen reunat Kylmin mitattu: 7°C (nenä)	
CleanSpace Ultra kokonaamari	Kylmä: Huulet, otsa, leuka, posket, nenänpää, reunat Kylmin mitattu: 4°C (nenä) Pään liikerata rajoittunut	Ei huurru (8/10) Yläosassa hieman (nos- tot), huurtuma keskellä (askellus)
Scott Safety Proflow 2 SC120+FM4	Kylmä: Oikea poski, otsa, huulet, leuka, reunat Kylmin mitattu: 6,4°C (nenä) Silmät ja nenä vuotavat	Ei huurru (10/10)
Sundström SR500 + SR580	Kylmä: Leuka, otsa, posket Kylmin mitattu: 3°C (nenä) Silmät ja nenä vuotavat	Ei huurru (8/10) Huurtuu (askellus)
3M Versaflo M- 306+TR602E	Kylmä: Leuka, poskipäät, reunat Silmät ja nenä vuotavat Kylmin mitattu: 2°C (leuka) Kosteaa hengitys jäätyy iholle.	Ei huurru (3/10) Huurtumista paljon (as- kellus ja nostot), jäätä
Dräger X-plore X-plore 8000	Kylmä: Posket, takaraivo ja korvat, reunat Kylmin mitattu: 3,6°C (poski)	Ei huurru (4/10) Huurtuu, kosteutta (as- kellus ja nosto)
Scott Safety Proflow2 SC160 + FH31	Kylmä: Leuka, otsa, huulet, reunat Silmät ja nenä vuotavat Kylmin mitattu: 3,6°C (nenä)	Ei huurru (6/10) Huurtuu alareunasta (seisten), sivuilta lisää (askellus), Jäätä

Suojaimen kasvoilla olevaan osaan kertyi kosteutta 2,7 grammasta 6,9 grammaan (Taulukko 12). Kertakäyttöiseen suodattavaan suojaimeen kertyi merkittävästi enemmän kosteutta kuin muihin puolinaamareihin. Scott Safety Proflow 2 SC120+FM4 -suojaimeen kertyi vähintään kosteutta kokonaamarien ryhmässä ja Scott FH31 -suojaimeen kasvo-osallisten ryhmässä.

Taulukko 12. Kosteuden kertyminen suojaimen kasvosuojan sisälle. Keskiarvo±keskihajonta, n=10. p-arvo ja sulussa vertailukohta.

	Kosteutta (g)	p-arvo
3M 8835+	5,7 ± 2,3	< 0,001 (Moldex)
Moldex 5430	3,6 ± 0,9	< 0,05 (CleanSpace2)
CleanSpace2	2,7 ± 0,7	< 0,000 (3M 8835+)
CleanSpace Ultra	4,1 ± 1,0	< 0,01 (Scott Vision)
Scott Safety Proflow 2 SC120+FM4	3,0 ± 1,2	< 0,05 (Sundström)
Sundström SR500 + SR580	3,6 ± 1,7	
3M Versaflo M-306+TR602E	6,4 ± 3,0	
Dräger X-plore 8500 + X-plore 8000	6,9 ± 3,0	< 0,05 (FH31)
Scott Safety Proflow2 SC160 + FH31	4,7 ± 2,6	

3.6 Hengityksensuojainten ja alushuppujen kylmänsuojaus

3.6.1 Hengityksensuojainten ja alushuppujen lämmöneristävyys

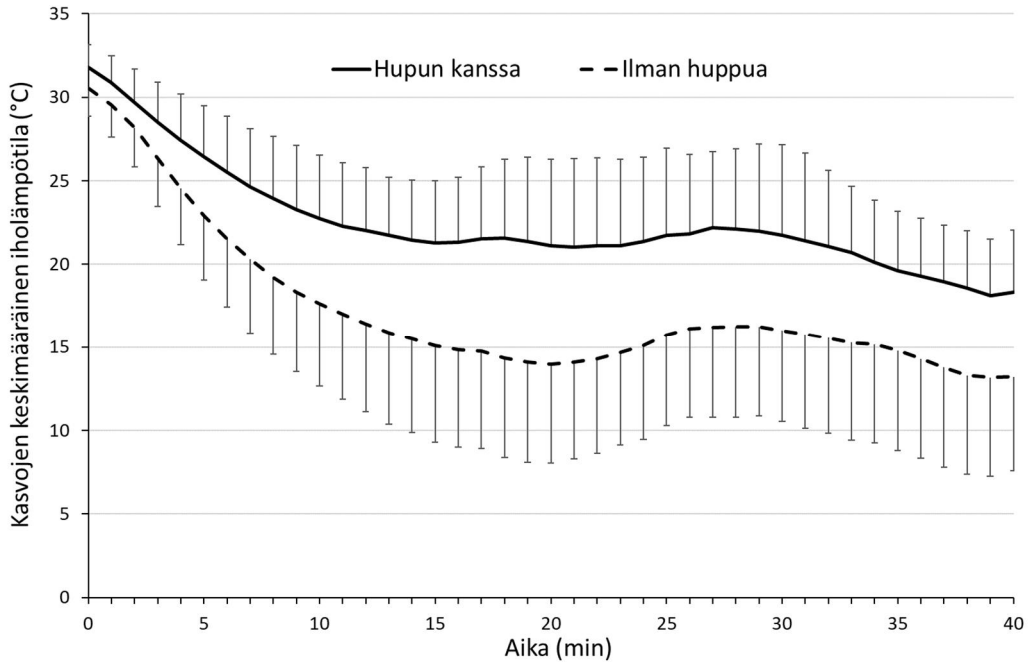
Mitattujen alushuppujen ja hengityksensuojainten lämmöneristävyys kasvojen alueella on esitetty taulukossa 13. Alushuppujen lämmöneristävyys oli 0,084-0,110 m²K/W, puolinaamarien 0,058-0,061 m²K/W ja kokonaamarien ilman puhallusta 0,086-0,124 m²K/W. Puhallus laski hengityksensuojaimen lämmöneristävyttä kasvoilla keskimäärin 70 % ilman alushappua. Jos taas alushappu oli käytössä, puhallus heikensi lämmöneristävyttä keskimäärin 58 %.

Taulukko 13. Kasvojen alueen lämmöneristävyys (m²K/W) alushupuilla, suodattavilla hengityksensuojaimilla ja puhallinlaitteilla varustetuilla hengityksensuojaimilla (puhalluksella ja ilman).

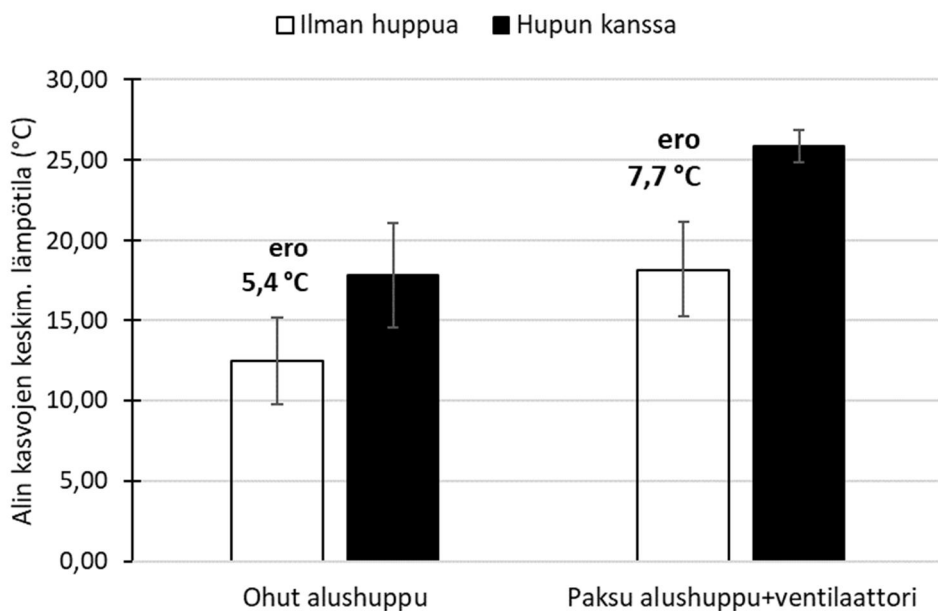
Suojain	Lämmöneristävyys kasvojen alueella (m ² K/W)		
	Ei puhallusta	Puhallin päällä	Puhalluksen vaikutus (%)
Ohut alushappu	0,084		
Paksu alushappu	0,110		
Kertakäyttömaski 3M	0,058		
Puolinaamari Moldex 5430	0,061		
Kokonaamari Sundström SR200	0,086		
Puhaltava kokonaamari, M1	0,113	0,034	-69,9
Puhaltava kokonaamari, M2	0,124	0,036	-71,0
Ohut alushappu + M1	0,142	0,059	-58,5
Ohut alushappu + M2	0,164	0,068	-58,5
Paksu alushappu + M1	0,201	0,081	-59,7
Paksu alushappu + M2	0,208	0,090	-56,7

3.6.2 Kylmänsuojauksen vaikutus kasvojen iholämpötilaan

Kasvojen suojaaminen ohuella alushupulla puhallinsuojaimen alla hidasti kasvojen jäähtymistä (Kuva 21). Ero ohuen alushupun kanssa ja ilman oli $5,4 \pm 2,4 \text{ }^\circ\text{C}$ ja ventilaattorilla varustetulla paksummalla fleeehupulla (ColdAvenger) $7,7 \pm 2,6^\circ\text{C}$ verrattuna ilman huppua (Kuva 22).

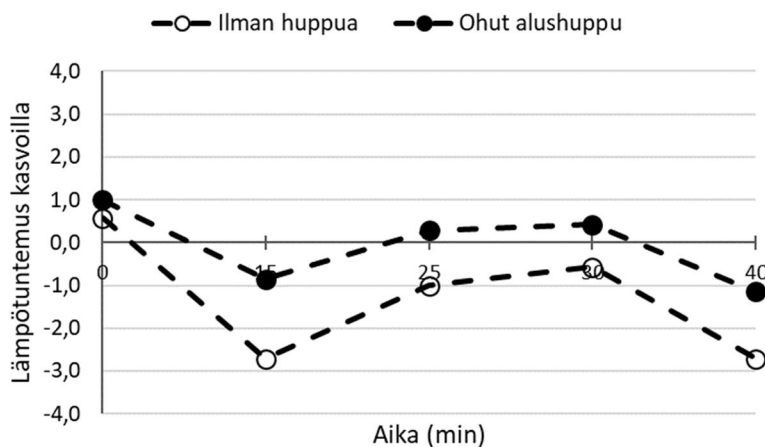


Kuva 21. Kasvojen keskimääräinen iholämpötila ohuen alushupun kanssa ja ilman kun hengityksensuojaimena oli 3M Versaflo M-306+TR602E-puhallinsuojain. N=7.



Kuva 22. Kasvojen alin lämpötilä ilman ohutta alushuppua ja ventilaattorilla varustettua paksumpaa alushuppua sekä niiden kanssa. N=7.

Lämpötuntemus kasvoilla oli lähempänä termoneutraalia kun alushuppua käytettiin 3M Versaflo M-306 ja TR602E -puhallinsuojaimen kanssa kuin ilman (Kuva 23).

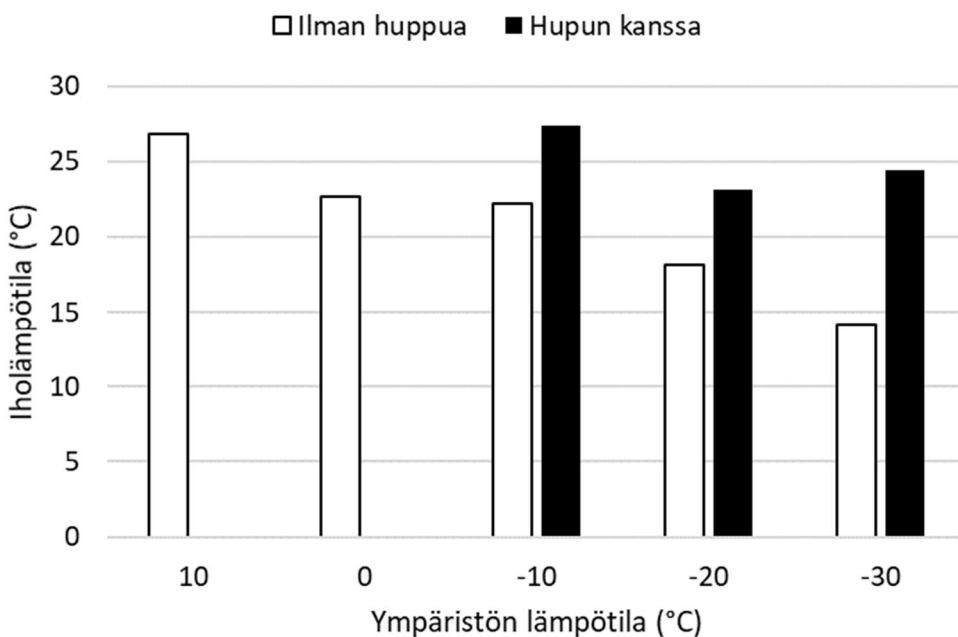


Kuva 23. Lämpötuntemus kasvoilla, kun käytössä 3M Versaflo M-306 ja TR602E -puhallinsuojain ohuen alushupun kanssa ja ilman. N=7

3.6.3 Muissa ympäristön lämpötiloissa tehdyt mittaukset

Tämän tutkimuksen ulkopuolisessa mittaussarjassa tehtiin kasvojen jäähtymismittauksia laajemmalla ympäristön lämpötilaskaalalla. Suojaimena käytettiin Sundström SR500+SR580-puhallinsuojainta. Puhaltimen molemmat virtausnopeudet (175 ja 240 l/min) olivat käytössä. Mittausasetelma oli sama kuin tässä tutkimuksessa, mutta altistus-aika oli 30 min. Alimmat paikalliset iholämpötilat (leuka) olivat 8 °C ympäristön lämpötilassa -20 °C ja 4-5 °C 10 °C:ssa ja 3,5 °C -30 °C:ssa.

Kuvassa 24 on esitetty kasvojen keskimääräisen iholämpötilan alin arvo eri ympäristön oloissa. Ympäristön lämpötiloissa -10, -20 ja -30 °C käytettiin lisäksi kasvojen suojana pak-sua alushuppua ja siihen kuuluvaa ventilaattoria. Ilman virtaus 175 l/min.

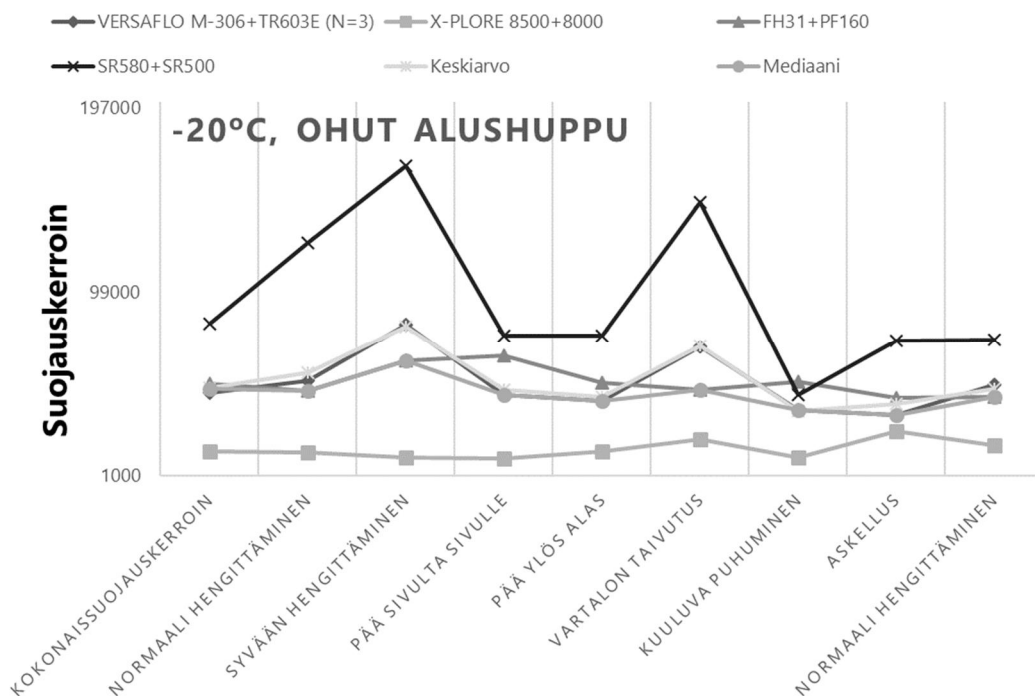


Kuva 24. Kasvojen keskimääräisen iholämpötilan alin arvo ympäristön eri lämpötiloissa ilman erillistä kasvosuojaa (vaalea palkki) ja paksun alushupun kanssa (mustat palkit). Virtausnopeus 175 l/min.

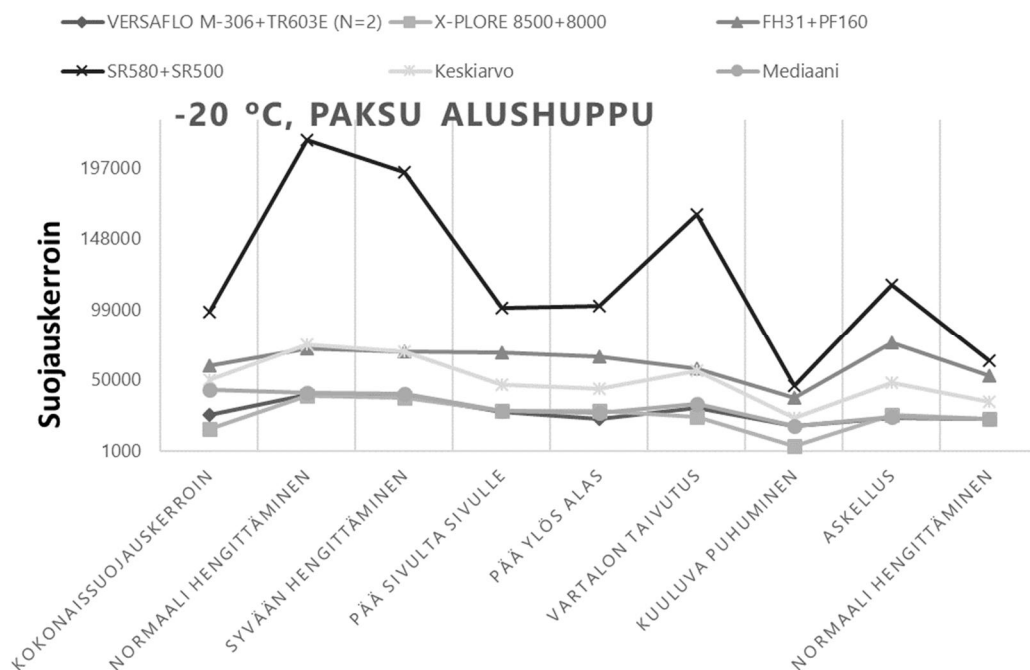
Paksua alushuppua käytettäessä altistuslämpötila ja virtausnopeus eivät juurikaan vaikuta kasvojen keskimääräiseen iholämpötilaan, vaan kasvojen lämpötila on alimmillaankin 23-27 °C astetta.

3.6.4 Alushuppujen vaikutus TH-luokan suojainten suojaustehokkuuteen

Mittaustulosten perusteella niin ohuella kuin paksummallaakaan alushupulla ei ollut heikentävää vaikutusta TH-luokan suojainten suojaustehokkuuteen. Tässä tutkimuksessa vaadittuun vähimmäissuojauskertoimeen 500 päästiin kaikilla testatuilla suojaimeilla (Kuvat 25-26).



Kuva 25. Suojaimen tehokkuusmittaustulokset eri TH-luokan suojaimeilla -20 °C:ssa käytettäessä ohutta alushuppua.



Kuva 26. Suojaimen tehokkuusmittaukset eri TH-luokan suojaimilla -20 °C:ssa käytettäessä paksua alushappua.

3.7 Hengityksensuojainten huurtuminen ja jäätyminen

Huurtumistestit

Kylmille kasvoille puettut lämpimät suojaimet eivät juurikaan huurtuneet kasvoille puettaessa. Lievää huurtumista aiheutui ainoastaan puhaltelulla ja hengittelemällä raskaammin, mutta se ei kuitenkaan pysynyt kovin kauaa. Koehenkilöiden mielestä suojain pikemminkin lämmitti kasvoja ainakin alkuvaiheessa. Huurtumista ei havaittu ainakaan ensimmäisen 5-10 minuutin aikana.

Lämpimille kasvoille puettut kylmät suojaimet puolestaan huurtuivat välittömästi ja heikensivät näkyvyyttä merkittävästi (Kuva 27). Erityisesti kypärä-visiirimallinen puhallinsuojain huurtui voimakkaasti ja osittain jopa jäättyi. Huuru ei hävinnyt ainakaan ensimmäiseen 10 minuutin aikana (Kuva 28).



Kuva 27. Vasemmalla kuvassa kylmille kasvoille puettu lämmin kokonaamari ja oikealla lämpimille kasvoille puettu kylmä suojain.



Kuva 28. Puhallinsuojaimen kasvo-osa huurtui ja jopa jäättyi voimakkaasti puettaessa kylmä suojain lämpimille kasvoille.



Jäätymistestit

FFP3- suodatinsuojainta (3M 8835+) käytiin välillä tarkastelemassa kammiossa ja suojaimen havaittiin jäätyneen noin 30 minuutin jälkeen, jolloin myös uloshengitysventtiili oli jäänyt. Suojain puettiin kasvoille ja tällöin myös uloshengitysventtiili aukesi hengityksen vaikutuksesta. Kosteus, jota oli suojaimen pinnalla, oli jäädyttänyt suodatinmateriaalin kauttaaltaan ja suojaimella oli raskasta hengittää.

Muiden puolinaamareiden (GVS Eclipse SPR510 ja Moldex 5430) venttiilien havaittiin jäätyneen 20 minuutin kuluttua testin alkamisesta. Hengityksen rytmiin mukautuvan puhallinsuojaimen kokonaamarin (Cleanspace Ultra) sisäventtiileiden havaittiin jäätyneen 20 - 25 min päästä. Suojainta puettaessa havaittiin, että suojaimella oli mahdoton hengittää, eivätkä venttiilit myöskään auenneet.

4 TULOSTEN TARKASTELU

4.1 Kirjallisuuskatsaus

Suurimmaksi suojanaamareiden käytön ongelmaksi tunnistettiin jo 1960-luvulla etenkin puolinaamareiden, mutta myös kokonaamareiden, kasvoille istuminen tiiviisti.

Adley ja Wisehart raportoivat vuonna 1962 kokonaamareiden varhaisesta testausohjelmasta. Siihen kuuluivat suojainten tiiviys, näkökentän rajoittuminen ja kylmän vaikutukset. Ulos- ja sisäänhengitysventtiilit toimivat testeissä tyydyttävästi lämpötilassa -18 °C. Yhden hengityksensuojaimen venttiili oli jäänyt kiinni testauksessa, mutta se oli avautunut voimakkaasti uloshengitettäessä. Sisänaamari kokonaamarissa oli tehokas huurtumista estävä tekijä. Huurtumisen estoaineet todettiin tehokkaiksi, kun lämpötila oli veden jäätymispisteen yläpuolella. Käytetyt huurtumisen estoaineet estivät pisaramuodostuksen linsille ja jättivät kosteuden kerrokseksi linssin pinnalle. Jos lämpötila oli veden jäätymispisteen alapuolella, huurtumisenestoaineilla käsitelty linssi jäätynyt, mikä heikensi näkemistä. Erityisen ongelmallista testauksessa oli sisänaamarien kasvoille istuminen tiiviisti.

Hyatt (1963a) kuvaa hengityksensuojaimille asetettujen suorituskyvyn vaatimusten syntymistä Yhdysvalloissa. Vaatimukset sisälsivät kasvoille istuvuuden 95 prosentille normaalista aikuisväestöstä. Kokonaamarin sisäänvuoto sai olla 0,1 % ja puolinaamarin 1 %. Käyttökävyys varmistettiin ilmavirtauksen enimmäisvastuksella ja enimmäispainolla sekä 4 h käyttötestillä. Suojanaamarin kanssa oli oltava mahdollista käyttää silmälasia. Myös näkökentälle asetettiin vaatimukset. Hyatt painottaa, että laboratoriotestit eivät kuitenkaan kuvaa suojauskykyä keskiraskaan työn aikana työntekijän päällä. Tämän vuoksi hengityksensuojainten tiiviyyttä oli testattu kammiotestillä Los Alamosissa 1 200 henkilöllä. Yhtä valmistajaa lukuun ottamatta suojanaamareita valmistettiin artikkelin kirjoittamisen aikaan vain yhtä kokoa (Hyatt 1963b). Suodattavien puhallinlaitteiden kehitys oli päässyt alkuun.

Alhaisten lämpötilojen -34 °C suurin hengityksensuojainten käyttöongelma on näkemisen estyminen eli huurtuminen ja uloshengitysventtiilien jäätyminen (Hyatt 1963a, 1963b). Huurtumista oli testattu kylmäkammiossa -34 °C lämpötilassa käveltäessä noin 3 mailia tunnissa. Tätä oltiin jatkettu, kunnes käyttäjä oli todennut, että huurtuminen esti näkemisen. Jos kokonaamarin suojalasi ei ollut huurtunut 20-30 min kuluessa, testi oli lopetettu. Ensimmäiset sisämaskilla varustetut kokonaamarit olivat tulleet markkinoille ja niiden todettiin estävän huurtumista kylmässä, jos sisämaski istui hyvin käyttäjälle. Lähellä veden jäätymispistettä naamarien käyttäjät olivat tunnistaneeet, että huurtumisen estoaineet ovat tehokkaita.

Manninen ym. raportoivat vuonna 1988 tutkimuksestaan maataloustyössä käytettyjen hengityksensuojainten käyttömukavuudesta ja reunavuodoista. Puhallinlaite, joka puhalsi pään takapuolelle ilmaa, todettiin epämukavaksi viileällä säällä ulkotyössä. Kahdessa mittauksessa puolinaamareilla havaittiin suuri vuoto ja todettiin, että se johtui huonosta kasvoille sovittamisesta. Painava puhallinlaite todettiin työssä hankalammaksi kuin puolinaamarit.

Johnson ym. arvioivat vuonna 1992 kokonaamarinkäyttäjän suorituskykyä prosentteina siihen, että käyttäjällä ei olisi hengityksensuojainta. Arvioita oli tarkoitus käyttää tietokoneavusteisessa suojainsuunnittelussa. Arvioiduista käyttöolosuhteista yksi oli kylmä, kuiva ympäristö (-32 °C). Raportoinnista selviää heikosti mittaukset tai laskelmat, joihin tulokset perustuvat. Hengityksensuojaimen tehokkuutta eri ympäristöissä ei tarkasteltu. Tarkastelussa oli yksi sotilasnaamari, M-17. Arvioinnissa oli mukana näkökyky, kommunikaatiokyky, hikoilu, lämpötilavaikutukset, syöminen, lääketieteellisten toimenpiteiden mahdollisuus, fysikaaliset tekijät ja fysiologiset tekijät. Kirjoittajat totesivat, että naamari ei huurtunut merkittävästi kylmässä, joten näkökyky ei muutu suojaimen käytössä normaaliin lämpötilaan verrattuna. Kommunikaation oletettiin olevan kylmässä ja normaalilämpötilassa samanlaista. Tosin kylmä jäykistää materiaaleja, joten äänen kulun suojaimessa kylmässä ympäristössä oletettiin olevan parempi kuin normaalissa lämpötilassa. Todettiin, että suojanaamarilla kylmässä on hyvin vähäinen lämpöä eristävä vaikutus, koska huomattavaa määrää ruumiinlämpöä on vaikea kerryttää näin kylmässä. Kovan tuulen vaikutuksilta kylmässä suojaimen todettiin suojaavan. Sotilasnaamarin juomapilliiä todettiin olevan mahdoton käyttää, kun juoma jäätyy. Todettiin myös, että naamarin jäykistyminen kylmässä huonontaa sen soveltuvuutta ja antropometrisiä ominaisuuksia. Toisin sanoen, jollei naamari ole taipuisa kylmissä olosuhteissa, se on vaikeampi sovittaa tiiviisti epänormaaleille kasvomuodoille tai kiinnittää muihin suojaimiin. Kylmän todettiin vaikuttavan suojaimen käytön epämukavuuden kokemiseen. Numeerisena arviona oli mm. että antropometriset tekijät vaikuttavat 90 % käyttäjän suorituskykyyn suojaimen jäykistymisen vuoksi.

Johnson (2016) toteaa, että työn aiheuttama lämmön tuotto voi kompensoida kylmän ilman vaikutukset kehoon. Pintaverisuonet pään alueella eivät supistu kylmässä, kuten vastaavat suonet muualla kehossa, minkä vuoksi pään ja kasvojen peittäminen vähentää hyvin kylmän ilman aiheuttamaa lämpöhävikkiä. Linsien huurtuminen kylmässä on ongelma, johon suojainvalmistajat ovat vastanneet tekemällä huurtumattomia linssejä joihinkin malleihin. Huurtumisenestoaineita on myös saatavilla. Kylmä voi myös aiheuttaa venttiilien jäätymistä. Kumimateriaalit voivat kovettua kylmässä niin voimakkaasti, että se estää naamarien tiivistymisen kasvoille. Kylmällä kumilla on suurempi lämmönjohtokyky kuin liikkumattomalla ilmalla, joten kylmällä, tynnellä säällä suojanaamari saattaa viilentää kasvoja. Kylmällä tuulisella säällä, suojanaamari lisää hieman kasvojen kylmänieristystä.

Kaikkiaan Johnson raportoi monista hengityksensuojainten vaikutuksista suorituskykyyn. Hän mm. toteaa, että hengityselimet reagoivat ulkoisiin ärsykkeisiin. Fyysisessä rasituksessa ne voivat supistua vähentääkseen keuhkojen kuollutta tilavuutta, mikä vähentää keuhkojen työtä. Hengitysteiden ärsykeiltä suojautuakseen keuhkoputket supistuvat, mikä aiheuttaa samat oireet kuin vakava astmakohtaus.

Kannettavien paineilmalaitteiden tuottama ilma on viileää ja kuivaa. Se saattaa aiheuttaa astmaatikolle keuhkoputkien supistumista. Työn fyysinen rasitus, kannettavan paineilmalaitteen paino ja mahdollinen tilanteen aiheuttama stressi pahentavat astmakohtausta. Kannettavia paineilmalaitteita käytetään monissa olosuhteissa kylmä mukaan lukien. Miedinger tutkimusryhmineen (1990) arvioi tutkimusmenetelmiä, joilla kannettavien paineilmalaitteiden keuhkoputkien supistuminen voidaan todeta, sekä astmaatikkojen osuutta aloittavista sotilaista ja pelastushenkilöistä Sveitsissä. Raportin mukaan astmaatikkojen ei katsota soveltuvan Sveitsin armeijaan. Tutkimus kohdistui paineilmalaitteita käyttäviin alokkaisiin. Aiemmin tehdyistä lääketieteellisen kyselyn täyttämisestä, spirometritestistä ja lääkärin tarkastuksesta huolimatta 14 %:lla tutkituista oli tutkimuksen mukaan astma- tai muita keuhko-oireita. Raportissa suositeltiin alokkaille valistusta tupakoinnin lopettamiseksi.

Jensen kertoi posteriesityksessään 2014 Arctic Frontiers -seminaarissa Norjan Statoililla tehdystä hengityksensuojain käytön tutkimuksesta kylmässä. Kylmässä tutkittiin hengityksensuojainten kasvoille tiivistyminen, veden kondensoituminen kasvo-osien sisään ja kerättiin käyttökokemukset. Kolme suojainta tutkittiin. Puolinaamari, kokonaamari ja kokonaamari yhdistettynä puhallinlaitteeseen. Testaus tehtiin kylmäkammiossa, +20, +5, -10 ja -25 °C. Testausatmosfäärissä käytettiin suolapartikkeleita osoittamaan suojauskyky. Mittaukset tehtiin TSI CPC 3007 -laitteistolla. Testeissä käytettiin standardin EN 136 mukaista koehenkilöjen liikesarjaa. Koehenkilöitä oli kolme ja heidät oltiin todettu kasvoiltaan erilaisiksi antropometrisillä mittauksilla. Käyttökokemukset kirjattiin kaavakkeelle.

- Puolinaamari. Suojauskertoimet olivat riittäviä. Kasvojen muodot ja kasvoille sovittaminen vaikuttivat kasvoilla istumiseen. Lämpötila ei vaikuttanut suojauskykyyn. Puolinaamari oli epämukava alle -10 °C:een lämpötilassa.
- Kokonaamari. Suojauskertoimet olivat riittäviä. Kasvojen muodot ja kasvoille sovittaminen vaikuttivat kasvoilla istumiseen. Lämpötila ei vaikuttanut suojauskykyyn. Suojalasi hurrustui alle -5 °C:een lämpötilassa haitaten voimakkaasti näkemistä.
- Puhaltimella ja kokonaamarilla varustettu suodatusuojain. Suojauskertoimet olivat riittäviä. Kasvojen muodot ja kasvoille sovittaminen eivät vaikuttaneet suojaukseen. Lämpötila ei vaikuttanut suojauskykyyn. Kasvoja huuhteleva kylmä ilma oli epämukava -5 °C:een lämpötilassa ja sietämätöntä -10 °C:een lämpötilassa.

Posterin abstraktissa Jensen toteaa, että puhallinsuojainten ilma tulisi saada lämmitettyä. Johtopäätöksensä Jensen kertoi, että henkilönsuojainten käytön tehokkuudesta kylmässä ei ole riittävästi tietoa.

4.2 Haastattelut

4.2.1 Työpaikoilla tehdyt haastattelut

Talven keskimääräinen pituus on Ilmatieteen laitoksen mukaan Kainuussa ja Pohjois-Pohjanmaalla 150 – 160 vuorokautta, Etelä-Lapissa talvi kestää 180 – 190 vuorokautta. Kylmä aika siis kestää lähes puoli vuotta, jolloin haastateltavien mukaan enimmillään pakkasta saattaa olla yli -30 °C . Yli -20 °C :n pakkasjaksot voivat kestää useampia viikkoja. Lämpötilaero kesän ja tavierajan välillä on 50 °C .

Ympäristön lämpötilan laskiessa $+5 - 0\text{ °C}$:een puhallinsuojainten käyttö alkaa tuntua epämiellyttävältä ja -10 °C on koettu käytön alarajaksi ilman kylmänsuojausta. Erittäin alhaisissa lämpötiloissa (alle -20 °C) paleltumien riski kasvaa ja suodattimien jäätyminen pitkäkestoisessa työssä on mahdollista. Puolinaamariin kertynyt kosteus ulospuhallusventtiilissä alkaa jäätyä jo muutamassa pakkasasteessa.

Haastatelluissa yrityksissä kylmätyössä käytettiin hengityksensuojaimina suodattavia hengityksensuojaimia (esim. FFP3 ja FFABE1P3RD), suodattimilla varustettuja puolinaamareita sekä puhallinsuojaimia. Suojaimen käytön pituus vaihteli muutamasta tunnista 10 tuntiin päivässä. Tyypillinen käytännön toimintapa työpaikoilla on ollut vaihtaa tehokkaampi hengityksensuojain kertakäyttösuojaimen (FF-taso) tai hengityksensuojainta ei käytetä ollenkaan. Tästä on ollut havaittavissa viitteitä työterveyshuollossa mm. työntekijöiden keuhkojen toimivuuden heikentymisenä spirometria testin perusteella. Myös muut ylähengitystieinfektioita ja poskiontelotulehdukset lisääntyvät talviaikana. Kuitenkaan biomonitorointi ei ole paljastanut eroja kesän ja talven välillä.

Haastattelut osoittivat, että kylmässä suojainten yhteensopivuuden, kuten suojalasien ja -kypärän, tuottavan vaikeuksia yhdessä hengityksensuojaimen kanssa. Erityisesti suojalasien huurtuminen heikensi näkyvyyttä. Hengityksensuojain hankaloitti myös puheenkuuluvuus ja ymmärrettävyyttä. Kirjallisille ohjeistuksille hengityksensuojainten käyttöön ja valintaan katsottiin olevan tarvetta.

4.2.2 Suojainvalmistajien ja -myyjien haastattelut

Hengityksensuojaimia suositellaan yleensä käytettäväksi -10 °C lämpimämmässä. Mitä enemmän kylmää ilmaa tulee suojaimen puhaltimella, sen kylmempi on suojainta käytetään. Venttiilit saattavat jäätyä, jos kylmän yhteydessä on kosteaa ilmaa. Kylmä ilma pystyy sitomaan kosteutta heikommin kuin lämmin ilma, joten suojaimen ulkopuolelta suojaimen

sisään tuleva kylmä ilma on lähtökohtaisesti kuivaa. Pinnoilla ja tiloissa, joissa kylmä ja lämmin ilma kohtaavat voi syntyä jäätä, kun lämpimän ilman sitoma kosteus jäätyy.

4.3 Puhallinlaitteiden toimintakyky kylmässä

Puhallinlaitteiden uusien akkujen toimintakyvyssä ei havaittu merkittävää heikkenemistä kylmässä. Laitteet toimivat -20°C :ssa vähintään 5-6 tuntia, useimmat yli kahdeksan tuntia, mikä on yleensä tavanomaisen mittaiselle (8 h) työvuorolle riittävä. Tutkimus koski ainoastaan uusia akkuja, eikä akkujen toimintakyvyn heikkenemisestä voida antaa tämän testin perusteella mitään ajallista määrettä.

Kylmässä laitteiden ilmavirtausten osalta ei myöskään havaittu merkittävää heikkenemistä valtaosalla laitteista. Kaksi laitetta jäi alle lämpimässä mitattujen arvojen, joista toisella ilmavirtauksen määrä putosi noin puoleen. Ilmavirtauksen voidaan kuitenkin arvioida olevan näilläkin laitteilla riittävä, erityisesti kylmissä olosuhteissa, sillä kaikilla laitteilla päästiin vähintään noin 120 l/min määrään.

4.4 Hengityksensuojainten suojauskertoimet

Vastoin Johnssonin arvioita (1992 ja 2016) tässä tutkimuksessamme ei havaittu, että kylmä jäykistäisi hengityksensuojainten kasvo-osia siten, että ne eivät suojaisi. Testiasetelma oli suunniteltu siten, että saisimme tästä ilmiöstä tuloksia. Suojaimet jäädytettiin hyvin ennen testejä, jolloin kovettumisen olisi pitänyt tapahtua. Säännöllisiä suojauskerrointen eroja kylmän ja lämpimän välillä ei havaittu siten, että edellytetyt suojaustasot eivät olisi täyttyneet. Yksi yksittäinen edellytetyn suojauskertoimen alitus kylmässä mitattiin.

Testit aloitettiin mittaamalla suojauskertoimet lämpimässä. Näin varmistimme, että käytämme koehenkilöitä, joille suojaimet sopivat. Lämpimässä testattaessa edellytimme, että kokonaissuojauskerroin ylitti taulukon 6 kutakin suojaintyyppiä koskevan arvon. Hengityksensuojainten tiivistestehin liittyy, että kukin suojauskertoimen arvo liittyy aina siihen kyseiseen kertaan, kun käyttäjä pukee suojaimen kasvoilleen. On todennäköistä, että seuraavalla kerralla, kun suojain puetaan, suojauskertoimen arvo poikkeaa edellisestä kerrasta (Crutchfield ym. 1999). Kun vaadimme tiettyjä arvoja ensimmäisessä lämpimässä tehdyssä mittauksessa, on aivan mahdollista, että toisessa mittauksessa saamme joitain tuloksia, jotka alittavat edellytetyt arvot. Tämä toteutui yhden mittauksen osalta, joka oli hengityksensuojaintiin mukautuva kokonaamarilla varustettu puhallinsuojain. Arvioitaessa kaikkia hengityksensuojaintiin mukautuvien puhallinsuojainten kokonaissuojauskertoimia, voidaan todeta, että kylmässä ja lämpimässä mitatut arvot olivat lähellä toisiaan.

Koko- ja puolinaamarien kokonaissuojaukset olivat keskimäärin kylmässä pienempiä kuin lämpimässä. Kokonaissuojauksella oli huomattavan suuri keskihajonta, joten tilastollisesti merkittävää eroa eri lämpötilojen tuloksilla ei havaittu. Suojaukset olivat riittäviä -20 °C:ssa tehtyjen testien ajan, joten tässä tutkimuksessa tehdyllä otoksella ei voitu havaita, että koko- tai puolinaamarit eivät suojaisi kylmässä kovettumisen vuoksi.

Suodattavien puolinaamareiden kokonaissuojaukset olivat keskimäärin kylmässä suurempia kuin lämpimässä. Kokonaissuojauksella oli huomattavan suuri keskihajonta, joten tilastollisesti merkittävää eroa eri lämpötilojen tuloksilla ei havaittu.

Tutkimuksessa oli haasteellista löytää koehenkilöitä, joille mahdollisimman moni tutkittavasta suojanaamarista sopi, joka oltaisiin osoitettu riittävällä suojauksella. Suojaimia sovitettiin ennen testausta noin 10 koehenkilölle, mutta ainoastaan yhdelle koehenkilölle sopi kaikki testatut suojaimet ja yhdelle koehenkilölle yhtä suojainta lukuun ottamatta kaikki. Vähintään 1-2 suojainmallia, joista oli myös eri kokovaihtoehtoja tarjolla ei siltikään malliltaan sopinut käyttäjänsä kasvoille. Ongelma oli yleisempää naispuolisilla koehenkilöillä. Koehenkilöt tunnistivat yleensä myös itse suojaimen huonon istuvuuden ja sekä reunavuodot, mutta usein vasta tiiveystestaus osoitti suojaimen huonon istuvuuden. Tämä havainto tukee tarvetta teettää työpaikoilla suojanaamareiden tiiveystestejä.

4.5 Kasvojen jäähtyminen käytettäessä hengityksensuojaimia kylmässä

Ihossa olevat hermopäätteet vastaanottavat ympäristön ärsykeitä: kosketus, paine, kuuma ja kylmä. Iholla on enemmän kylmän kuin kuumien pisteitä. Etenkin kasvoissa on paljon kylmäpisteitä ja niitä on eniten huulissa ja nenässä, seuraavaksi eniten otsassa ja muissa osissa kasvoja (Hensel 1981). Kasvot aistivat kylmyyden tämän vuoksi herkimmin. Iholämpötilan lasku alle 15 °C voi aiheuttaa kivun tunnetta. Kylmän tai kylmän ilmavirtauksen kohdistuminen kasvoilla aiheuttaa hengitysteiden supistumista sekä hengityselinsairautta potevilla, että ei-astmaattisilla henkilöillä (Koskela ja Tukiainen 1995).

Elimistö säätelee lämmönluovutusta pintaverenkierron avulla; supistamalla verisuonia lämmönluovutus vähenee ja avaamalla verisuonia lämpöä poistuu elimistöstä. Pään ja kaulan alueen verisuonet poikkeavat muun kehon pintaverenkierrosta, niin että ne eivät supistu kylmässä. Aivojen hapensaanti ja normaali lämpötila pyritään näin turvaamaan. Samalla pään iho pysyy lämpimänä. Toisaalta suojaamattoman pään ja kaulan kautta poistuu runsaasti lämpöä koska verisuonet eivät supistu. Poistuvan lämpömäärän suuruus riippuu ympäristön ja ihon välisestä lämpötilaerosta. Kasvojen jäähtymisellä on myös muita seuraamuksia. Muun muassa otsan ja poskien jäähtyttäminen nostaa verenpainetta (Schlader ym. 2016). Verenkiertoelimistön sairauksista potevien on siksi syytä suojata kasvot ja kaula.

Kertakäyttöiset hiukkasia suodattavat puolinaamarit suojaavat kasvoja jäähtymiseltä kasvoja peittävältä osalta. Suojaimen ulkopuolelle jäävä iho jäähtyy riippuen ympäristön lämpötilasta ja tuulen voimakkuudesta. Kosteutta hengitysilma kertyi suojaimeen noin 6 g 40 minuutissa, mikä tuntui koehenkilöistä epäviihtyisältä.

Hiukkassuodattimilla varustetut suojanaamarit ja suojanaamarit, joissa oli integroidut yhdistelmäsuodattimet, suojasivat myös kasvojen jäähtymistä kylmässä. Kasvot olivat kuitenkin hieman kylmemmät kuin kertakäyttöistä suojainta käytettäessä. Joissain tuulisissa kylmissä tilanteissa suojaimen reunassa iho saattaa jäähtyä enemmän ja aiheuttaa jopa pallettuman. Tällaista tilannetta ei tässä tutkimuksessa havaittu, vaikka osa koehenkilöistä kertoi reunojen tuntuvan kylmiltä kasvoilla.

Puolinaamari liitettynä hengityksen mukaan puhaltavaan puhallinsuojaimen jäähdytti kasvoja enemmän kuin pelkät puolinaamarit kasvoja peittävältä osalta. Hengitys oli helpompaa verrattuna ei-puhaltaviin suojaimiin.

Jatkuvatoimisella puhalltimella varustetut suojaimet aiheuttivat voimakkaan kasvojen jäähtymisen. Tässä tutkimuksessa käytettiin kunkin puhallinlaitteen alinta ilmavirtausta. Aiemmin tehdyssä tutkimuksessa käytettiin myös korkeampaa ilmanvirtausnopeutta ja saatiin aikaan vielä suurempi jäähtyminen. Kokonaamari ja hengityksen rytmin mukaan puhaltava puhallinsuojain poikkesivat näistä muista. Kasvojen lämpötila oli 5 °C korkeampi (noin 20 °C) kuin vastaavissa jatkuvavirtauksellisissa puhallinsuojaimissa.

Fyysinen työ, jossa hengitystiheys lisääntyy ja siten lämmintä hengitysilmaa kertyy kasvoosan sisälle sekä kasvojen verenkierron lisääntyessä, kasvojen jäähtyminen ei ole enää niin voimakasta vaan lämpötila kasvoilla saattaa jopa nousta jäähtyneestä tilanteesta.

4.6 Hengityksensuojainten ja alushappujen kylmänsuojaus

TH-luokan suojaimien, jotka eivät tiivisty kasvoille, alla voidaan käyttää alushappuja kasvojen jäähtymisen suojaamiseksi. Alushappuilla ei haivattu olevan suojaimen tehokkuutta heikentävää vaikutusta, joten sen käyttämisellä ei ole hengityksensuojauksen osalta esitettyä.

Suodattava hengityksensuojain ilman puhallinlaitetta hidastaa kasvojen jäähtymistä peittämältään alueelta kylmissä oloissa. Puhallinlaitteen ollessa käytössä lämmöneristävyys laskee puhalluksen vuoksi keskimäärin 62 %. Ohut alushappu (materiaalin paksuus 1,0 mm) lisäsi lämmöneristävyyttä kasvojen alueella keskimäärin 29 % ilman puhallusta ja 81 % puhalluksen ollessa päällä. Paksu alushappu lisäsi lämmöneristävyyttä kasvojen alueella ilman puhallusta keskimäärin 73 % ja puhalluksen ollessa päällä 144 %. Tulokset osoittivat, että jo ohutkin alushappu antaa merkittävän lisäsuojan jäähtymistä vastaan, kun käytetään puhallinlaitteita.

Ohuella alushupulla (materiaalin paksuus 1,0 mm) saatiin keskimäärin 5.4 ± 2.4 °C korkeampia kasvojen iholämpötiloja kuin ilman alushuppua. Tällöin myös lämpötuntemus säilyi lähellä "neutraalia", kun ilman ohutta alushuppua tuntemus oli "hieman viileän" ja "kylmän" välillä. Käytettäessä paksua alushuppua (materiaalin paksuus 3,0 mm), johon on myös liitetty ventilaattori, kasvojen lämpötila oli keskimäärin 7.7 ± 2.6 °C korkeampi kuin ilman alushuppua. Paksun alushoppu suojasi kasvoja hieman enemmän, mutta tämän tuotteen käyttöä voi rajoittaa sen koko ja mm. kuulosuojaimien käyttäminen. Erityisesti paksumpia alushoppuja käytettäessä on huomioitava niiden istuvuus suojaimen alle, jotta näkökenttä ei rajoitu.

4.7 Hengityksensuojainten huurtuminen ja jäätyminen

Kokonaamareiden ja kasvo-osallisten hengityksensuojainten huurtumiseen vaikuttaa puettaanko kylmä/lämmin suojain lämpimille vai kylmille kasvoille. Huurtumisongelmaa ilmeni erityisesti puettaessa kylmä suojain lämpimille kasvoille. Sen sijaan jo jäähtyneille kasvoille puettu lämmin suojain ei aiheuttanut samanlaista huurtumisongelmaa.

Suojainmateriaalien jäätymisongelmia sekä venttiilien kiinnijäätyksiä saatiin demonstroidua melko vähän laboratorio-olosuhteissa verrattuna työpaikoilla havaittuihin kokemuksiin. Osaksi se voi johtua testin lyhyestä kestosta sekä mittauskammion stabiileista olosuhteista. Työpaikan olosuhteissa voi olla pakkasen lisäksi tuulta, runsaasti pölyä sekä kosteutta. Myös fyysinen rasitus, jolloin kosteutta kertyy suojaimen enemmän, jäi näissä testeissä kevyeksi. Lisäksi näissä testeissä suojainta käytettiin yleensä yhtäjaksoisesti. Työpaikoilla hengityksensuojain usein riisutaan kasvoille ja pois ja jätetään se roikkumaan leuan alle, jolloin kostean suojaimen jäätyminen on todennäköisempää kuin sen pitäminen kasvoilla yhtäjaksoisesti.

Jäätymistesteissä puolinaamareiden venttiilien havaittiin jäätyvän kiinni, mutta yleensä ne myös avautuivat hengityksen voimasta, kun suojain puettiin kasvoille. FFP3- suojaimen suodatinmateriaalin jäätyminen puolestaan teki suojaimesta hyvin raskaan hengittää. Myös hengityksen rytmiin mukautuvan kokonaamarin venttiileiden jäätyminen teki suojaimesta mahdottoman käyttää.

Mahdollisuuksien mukaan työpaikoilla tulisi olla mahdollisuus välillä vaihtaa kuiva hengityksensuojain tai suodattimet kylmässä työskennellessä. Suojainta on myös hyvä huoltaa taukojen aikana kuivaamalla siihen kertynyttä kosteutta.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Hengityksensuojaimia käytetään ulkotöissä niin Suomessa kuin muilla arktisilla alueilla useilla teollisuuden aloilla, kuten teräs- ja kaivannaisteollisuudessa. Aiempaa tutkimustietoa hengityksensuojainten toimivuudesta kylmissä oloissa on ollut saatavilla erittäin vähän. Tämän tutkimuksen tuloksena on laadittu ohjeistus hengityksensuojainten käyttöön kylmissä oloissa. Suojainten valmistajat ovat kuitenkin vastuussa viime kädessä suojainten käyttöohjeiden ja suositusten antamisesta. Työnantajalla on lakisääteinen vastuu siitä, että valitut suojaimet soveltuvat niiden käyttöolosuhteisiin ja ovat turvallisia käytössä. Jos altistuminen ilman epäpuhtauksille voi aiheuttaa välittömiä palautumattomia vammoja, ei suojainta tule käyttää olosuhteissa, joissa sitä ei käyttöohjeiden mukaan suositella käytettäväksi.

Suojainvalmistajien ja -myyjien haastattelujen ja käyttöohjeiden mukaan hengityksensuojaimet on tarkoitettu käytettäväksi pääsääntöisesti -10 °C lämpimämpiin ympäristön lämpötiloihin. Näin ollen voidaan olettaa, että hengityksensuojainten käytössä voi esiintyä ongelmia tätä kylmemmissä. Käyttäjryhmien haastattelujen perusteella hengityksensuojaimia käytetään tätä kylmemmissä oloissa ja mm. kannettavia puhallinlaitteita, jotka suojaavat ilman epäpuhtauksilta, mutta eivät aiheuta liiallista jäähtymistä, tulisi voida käyttää myös kylmässä. Puhallinlaitteiden, joissa puhallinsuojaimen kasvo-osana on kypärä, huppu tai kasvosuojus, käytön etuna on niiden parempi sopivuus eri mallisille kasvoille. Kasvo-osan ei tarvitse tällöin istua tiiviisti kasvoilla, kun kasvo-osana ei ole kasvoille tiivistyvä suojanaamari. Toistaiseksi tuloilman lämmittäviä suojaimia ei ole ollut saatavilla, koska lämmitys vie paljon energiaa, kun ilmapvirtaukset ovat $120\text{--}240\text{ l/min}$. Tässä tutkimuksessa testattujen hengityksensuojainten suojauskyky ei muuttunut -20 °C :een lämpötilassa tiiviysmitausten perusteella.

Kylmän sietokyky on yksilöllistä, minkä vuoksi tarkkoja rajoituksia hengityksensuojainten käytöstä kylmässä ei voida antaa. Suojanaamari, jossa ei ole puhallinlaitetta, lämmittää kasvoja kylmällä ilmalla. Suojaimen sisällä oleva lämpö vähentää myös suojaimen jäähtymisen riskiä. Puhallinsuojaimen käyttö tuo kylmän ilman suoraan kasvoille ja jäähdyttää paikallisesti elimistön kylmyydelle herkintä ihoaluetta. Tulosten mukaan puhallinsuojainten kylmä ilmanvirtaus -20 °C :ssa tai kylmemmissä jäähdyttää kasvoja $10\text{--}15$ minuutissa alle 15 asteen, kylmimmillään hetkellisesti jopa alle 5 asteen, kun ihminen on liikkumatta. Fyysisessä työssä, kun hengitystiheys ja sen tuoma lisälämpö sekä verenkierto kasvoilla lisääntyvät, kasvojen jäähtyminen ei ole niin voimakasta, vaan lämpötila kasvoilla voi nousta jäähtyneestä tilanteesta. Puhallinsuojainten käyttö -20 °C :ssa ei ole suositeltavaa, sillä kasvojen jäähtyminen alle 15 asteen voi olla hyvin epämukavaa ja jopa kivuliasta.



Mitä vähemmän puhallinsuojain tuo kasvoille kylmää ilmaa, sitä vähemmän kasvat jäähtyvät. Hengitysrytmiin mukautuva puhallinsuojain tuo ympäristön kylmää ilmaa kasvoille vain sisäänhengitysvaiheen aikana. Tämä vähentää huomattavasti kokonaisilmavirran määrää. Tällaisten suojainten sisällä ilma voi pysyä 0 °C:ssa tai sen yläpuolella, kun muissa puhallinsuojaimissa ilman lämpötila oli noin -10 °C, vaikka ympäristön lämpötila olisi -20 °C. Kasvojen jäähtymisen kannalta tämä on merkittävää, koska -15 °C:een iholämpötilaa ei näissä olosuhteissa saavuteta.

Kun puhallinsuojaimen kasvo-osana on kypärä, huppu tai kasvosuojus, kasvoja ja päätä voidaan suojata alushupulla kylmää vastaan. Alushuppuna ohutkin neuloskangas (paksuus 1,0 mm) suojaa ihoa ja pienentää kylmän ja tuulen jäähdyttävää vaikutusta.

Hengityksensuojaimen sisään kertyy hengitysilman kosteutta, joka saattaa jäätymään venttiiliin tai suodattimeen. Myös käynti lämpimässä voi aiheuttaa suojaimen jäätymisen, kun ilman sisältämä kosteus jäätyy kylmän ja lämpimän ilman rajapinnalle. Kosteuden kerääntyminen suojaimeen ja mahdollisesti valuminen kaulalle kylmässä voi olla hyvin epämiellyttävää, mutta jäätymisen voi estää pahimmillaan suojaimen toiminnan, jolloin ilma ei pääse kulkemaan suojaimen läpi. Tilanteeseen tulisi varautua yritettävä ennakoita testaamalla suojain kaikissa käyttöolosuhteissa ennen käyttöönottoa. Lisäksi työkohteissa olisi suositeltavaa olla mukana vaihtosuojain ja -suodatin lämpimässä paikassa mahdollisen jäätymisen varalta.

Kosteuden kertyminen suojaimeen saattaa olla vähäisempää sisänaamarilla varustetussa kokonaamarissa kuin puolinaamarissa. Kokonaamarit ohjaavat kylmän ilman ensin kasvojen alueelle ja sieltä sisänaamariin suun ja nenän alueelle. Kosteaa hengitysilmaa poistuu sisänaamarista uloshengitysventtiiliin kautta ulos, jos sisänaamari istuu hyvin kasvoilla. Kokonaamarin tai puhallinsuojaimen linssin tai visiirin huurtumista voidaan vähentää, jos suojain puetaan jo maltillisesti viilennetyille kasvoille.

Hengitystiesairaus, sydän- tai verisuonisairaus, ikääntyminen ja heikko hapenottokyky voivat aiheuttaa haasteita hengityksensuojaimen valinnassa ja käytössä. Kylmä ilma lisää näitä haasteita. Kylmän ilman hengittäminen voi aiheuttaa astmaa sairastaville keuhkoputkien supistumisen ja astmakohtauksen. Kylmä ilma nostaa verenpainetta, mikä yhdessä hengityksensuojaimen aiheuttaman rasituksen kanssa voi olla terveystarve henkilöille, joilla on sydän- tai verisuonisairaus.

Tulevaisuuden näkymiä

Tässä tutkimuksessa keskityttiin hiukkassuodattimilla varustettuihin hengityksensuojainten toimivuuteen kylmässä. Kuitenkaan ei ole tiedossa kaasusuodattimilla varustettujen suojainten toimivuudesta kylmässä, mikä aiheuttaa myös ongelmia ja olisi tärkeää työnt-



kijöiden turvallisuuden takaamiseksi. Jatkotutkimuksissa tulisi myös huomioida tuulen vaikutusta suojainten käyttöön. Tuuli tuo ympäristön ilmaa kasvo-osien avoimista aukoista sisään kypärillä, hupuilla ja kasvosuojuksilla varustetuissa puhallinsuojaimissa, mikä heikentää suojauskykyä jo, kun tuulennopeus on yli 2 m/s. Käytännössä merkittäviä ongelmia aiheuttavat kosteuden kertyminen suojaimen sisään ja oikean koon löytäminen. Tutkimus- ja kehitystyötä näiden alueiden parissa tulisi tehdä käytännön työpaikkamittausten avulla.

6 SUOSITUKSET

Tutkimuksen tulosten pohjalta on laadittu malliratkaisu ”Hengityksensuojainten valinta kylmässä työskentelyyn”, johon tutustumista suositellaan kaikille hengityksensuojaimia ulkona kylmässä käyttäville, heidän työnantajilleen, työterveyshuolliolle, suojainmyyjille ja suojainvalmistajille.

Suositukses työpaikoille

- Työkohteessa tulisi olla mukana vaihtosuojain ja -suodatin käytössä olevan suojaimen jäätymisen varalta. Pitkä yhtäjaksoinen käyttö kerää kosteutta suojaimen sisään ja saattaa aiheuttaa venttiilien tai suodattimen jäätymisen kylmässä.
- Mikäli hengityksensuojaimia käytetään kylmemmässä kuin mitä käyttöohjeissa on ilmoitettu (usein <-10 °C), vaaditaan työnantajalta tarkkaa riskinarviointia, jossa tarkkaillaan sekä työtekijöiden lämpöviihtyvyyttä, hengityselinsairauksia että suojainten suojauskykyä. Biomonitorointi soveltuu suojauskyvyn tarkkailuun, kun menetelmä ilman epäpuhtaudelle on olemassa. Henkilökohtaiset tiiviystestit suojanaamareiden kasvoille istumisen toteamiseksi ovat välttämättömiä sekä kylmässä että lämpimässä.
- Kun puhallinsuojaimen kasvo-osana on kypärä, huppu tai kasvosuojus, voidaan kasvojen ja pään kylmänsuojaukseen käyttää alushuppua. Ohutkin neuloshuppu riittää estämään ihon jäähtymistä.
- Jatkuvasti puhaltavia puhallinsuojaimia ei tule käyttää -20 °C:ssa tai kylmemmässä ilman kasvoja lämmittävää alushuppua. Alushuppua ei voi käyttää, kun puhallinsuojaimessa on käytettävä suojanaamaria kasvo-osana. Suojaimen käyttö jo lämpimämmässä kuin -20 °C voi olla niin epämiellyttävää, että suojain jää käyttämättä.
- Hengitysrytmiin mukautuvat puhallinsuojaimet jäädyttävät kasvoja vähemmän kuin jatkuvapuhallteiset suojaimet. Suojainten toimivuus tulee varmistaa koekäyttämällä sitä ensin käyttöoloissa ilman epäpuhtauksia.
- Kokonaamarin tai puhallinsuojaimen linssin tai visiirin huurtumista voidaan vähentää, jos suojain puetaan jo maltillisesti viilennetyille kasvoille.
- Puolinaamaria jatkuvasti puhaltavan puhallinsuojaimen osana ei suositella kylmään työhön liiallisen kasvojen jäähtymisen vuoksi. Suojainkohtainen ilmavirtauksen määrä vaikuttaa kasvojen jäähtymiseen, joten asiaan liittyy laitekohtaisia eroja.

Suositukses hengityksensuojainten suunnitteluun valmistajille

- Puhallinsuojainten kasvoja jäädyttävää vaikutusta tulee pyrkiä vähentämään. Kasvojen jäähtymiseen vaikuttaa kylmän ilmavirran määrä, nopeus ja puhalluksen suunta ja sen liikkuminen maskin sisällä sekä kylmälle ilmalle altistunut ihon pinta-ala. Hupulla ja kypärällä varustetut puhallinsuojaimet sopivat erimallisille kasvoille paremmin kuin



suodattavat suojanaamarit. Näin ollen, mikäli puhallinsuojaimet soveltuisivat paremmin kylmiin oloihin käytettäväksi, löytyisi työntekijöille oikean kokoinen suojain paremmin.

- Hengitysilman mukana tullut kosteus tulee pyrkiä ohjaamaan pois suojaimesta, jotta voitaisiin vähentää suojainten huurtuminen, kostuminen ja jäätymisen kylmässä.
- Käyttöohjeissa tulee olla suojainten käytettävyyteen liittyvät käyttölämpötilat.
- Jälleenmyyjille tulee antaa tietoa suosituksista hengityksensuojainten valintaan kylmässä työskentelyyn.

Suosituksia työterveyshuoltoon

- Hengityksensuojainten käyttö kylmässä tulee huomioida työntekijöiden terveystarkastuksissa ja työpaikkaselvityksissä.
- Työpaikkaa tulee tukea hengityksensuojainten tehokkuuden varmistamisessa kaikissa työolosuhteissa.
- Kasvojen jäähtyminen voi laukaista terveyteen liittyviä ongelmia, jotka on tunnistettava. Tarvittaessa tällaisille työntekijöille tulee löytää tehtäviä, joissa hengityksensuojaimia ei tarvitse käyttää kylmässä.
- Puhallinsuojainten käyttö kylmässä saattaa vaikuttaa hengitystieinfektioiden esiintyvyyteen tai vakavuuteen.

7 PROJEKTIN TUOTOKSET

Tutkimuksen päätavoitteena on ollut laatia ohjeistus hengityksensuojainten käyttöön kylmissä oloissa malliratkaisun muodossa. Malliratkaisu käsittelee yleistajuisesti ja tiivistetysti kylmän vaikutuksia hengityksensuojaimen käyttöön ja valintaan sekä kuinka niitä voidaan vähentää työssä. Malliratkaisu on julkaistu sähköisenä tiedostona www.ttl.fi/malliratkaisut, josta se on ladattavissa kaikille ilmaiseksi.

Tutkimuksen tuloksia on lisätty tulevaan työterveyshuolloille suunnattuun kirjaan Altiste-lähtöinen työterveysseuranta (Toim. Kirsi Karvala ym., Kustannus Oy Duodecim 2019). Uutta tietoa on lisätty erityisesti kylmän ilman ja puhallinlaitteiden kasvoja jäähdyttävästä vaikutuksesta sekä erityisryhmien, kuten astmaatikkojen, huomioimisesta. Lisäksi saatuja tuloksia käytetään Työterveyslaitoksen järjestämissä henkilönsuojaimiin ja kylmässä työskentelyyn liittyvissä koulutuksissaan.

Tuloksia on myös välitetty kansainväliseen hengityksensuojainten standardointiryhmään ja esitetty muutosehdotus, jonka mukaan kylmä on huomioitava testauksessa. Tämä muutos parantaisi tulevaisuudessa hengityksensuojainten toimivuutta kylmissä oloissa ja siten edistäisi työturvallisuutta. Työterveyslaitos tulee myöhemminkin huomioimaan tämän tutkimuksen tulokset standardointityössään.

Tämän tutkimuksen myötä hengityksensuojainten tiiviyn mittausta on kehitetty osaksi työhygienian toimintaa Työterveyslaitoksella. Sen avulla voidaan varmistaa hengityksen suojaamisen oikea valinta ja parantaa työturvallisuutta suomalaisilla työpaikoilla.

Tutkimustuloksista on tiedotettu ulkona työskenteleville teollisuuden aloille ja suojaainvalmistajille pitämällä luentoja koulutuksissa ja seminaareissa sekä kirjoittamalla yleistajuisia julkaisuja ammattilehdissä:

- «HEAD FIRST» - Workshop on combination of personal protective equipment in the head region 3.-4.4.2017, Tromssa, Norja.
- Jussila K. Luento: Hengityksensuojainten toimivuus kylmässä, Suomen Työhygienian Seura ry:n XLII koulutuspäivät Oulussa 7.-8.2.2018.
- Mäkelä E. luento: Hengityksensuojainten toimivuus kylmässä, Suomen työsuojelualan yritysten liiton (STYL) seminaari 15.11.2018.
- Tulossa oleva luento: Jussila K. Hengityksensuojaus, suositukset ja jatko, STYL:n kevätkokous ja koulutuspäivät, 11.4.2019.
- Tulossa oleva julkaisu Työ, Terveys, Turvallisuus (TTT) -lehteen, 2019.

Projektin tieteellisiä tuotoksia on julkaistu kansainvälisissä konferensseissa:



- Rissanen S, Jussila K, Mäkelä E, Kähkönen H ja Rintamäki H. Performance of respiratory protective equipment in the cold environment. Abstrakti ja suullinen esitys. The 17th International Conference on Environmental Ergonomics (ICEE2017), Kobe, Japani, 12-17.11.2017. s. 25.
- Rissanen S ja Jussila K. Use of powered respirators in the Arctic cold environment. Abstrakti ja suullinen esitys. The 2nd UArctic Congress, Oulu, 6.9.2018. <https://congress.uarctic.org/program/science-section/sessions/5-other/session-36116/abstract-38568/>
- Tulossa oleva esitys ja abstrakti: Jussila K ja Rissanen S. Protection of face against cooling while using powered respirators in the cold environment. The 18th International Conference on Environmental Ergonomics (ICEE2019), Amsterdam, Alankomaat, 7.-12.7.2019.

Tutkimuksen tieteellisistä tuloksista on tarkoitus julkaista artikkeli tieteellisessä kansainvälisessä vertaisarvioidussa hengityksensuojausta ja työturvallisuutta käsittelevässä lehdessä.

LÄHTEET

- Adley FE ja Wisehart DE. Methods for Performance Testing of Respiratory Protective Equipment, American Industrial Hygiene Association Journal, 23, 1962, s. 251-256.
- Arad M, Heruti R, Shaham E, Atsmon J ja Epstein Y. The effects of powered air supply to the respiratory protective device on respiration parameters during rest and exercise. Chest 102, 1992, s. 1800-1804.
- Borg G. Borg's perceived exertion and pain scales, Human Kinetics, Champaign IL, USA. 1998.
- Christiansen V ja Lehtimäki M. Puhdasilmalaite hitsaajan kasvosuojaimen, Työsuojelurahaston loppuraportti, VTT, 1987.
- Clayton MP, Bailey AE, Vaughan NP ja Rajan R. Performance of power assisted respirators during simulated asbestos removal, Annals of Occupational Hygiene 46, 2002, s. 49-59.
- Crutchfield CD, Fairbank EO ja Greenstein SL. Effect of Test Exercises and Mask Donning on Measured Respirator Fit, Applied Occupational and Environmental Hygiene, 14, s. 827-837.
- Coffey CC, Lawrence RB, Zhuang Z, Campbell DL, Jensen PA ja Myers WR. Comparison of Five Methods for Fit-Testing N95 Filtering-Facepiece Respirators. Applied Occupational and Environmental Hygiene 17, 2002, s. 723-730.
- D'Amato M, Molino A, Calabrese G, Cecchi L, Annesi-Maesano I ja D'Amato G. The impact of cold on the respiratory tract and its consequences to respiratory health. Clin. Transl. Allergy 8, 2018, s. 1-8.
- Health and Safety Executive, Operational Circular, OC 282/28, Fit testing of respiratory protective equipment facepieces, http://www.hse.gov.uk/foi/internalops/ocs/200-299/282_28.pdf
- Howie RM, Johnstone JBG, Weston P, Aitken RJ ja Groat S. Workplace effectiveness of respiratory protective equipment for asbestos removal work. HSE CRR 112/96, HSE Books, 1996.
- Hyatt EC (1963a) Air Purifying Respirators for Protection Against Airborne Radioactive Contaminants. Health Physics, 9, 1963, s. 425-432.
- Hyatt EC (1963b) Current problems and developments in respiratory protection, American Industrial Hygiene Journal 24,1963, s. 295-304.

ISO 10551 (1995) Ergonomics of the thermal environment. Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgement scales. International Organization for Standardization.

Jaakkola J. Hengityksensuojainten suojausteho, Työterveyslaitoksen tutkimuksia 207, 1984.

Jensen EK, Bosheim S, Gylestam D, Dalene M, Øvrum A, Sevland JO ja Skarping G. Test of respiratory protection devices in cold climate. 2014 Arctic Frontiers, Humans in the arctic: Abstracts, Tromso Norway 20-24 January 2014, s. 195, <https://www.arcticfrontiers.com/wp-content/uploads/downloads/2014/Science/Abstract%20book%202014.pdf>

Jensen EK. Verneutstyr og funksjon i kaldt klima? Statoil, Norsk olje&gass, vierailtu 19.1.2017, <https://www.norskoljeoggass.no/>

Jensen EK. PPE in cold temperatures – view of the researcher, Head First, Workshop about personal protective equipment on the head – where practice meets research, Helse Nord, Universitetet i Tromso, Univeritetssykehuset Nord-Norge, Finnish Institute of Occupational Health, April 3rd - 4th 2017, Tromssa, Norja

Johnson A. Respirator masks protect health but impact performance: a review Journal of Biological Engineering 10, 2016, <https://jbioleng.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13036-016-0025-4>

Johnson AT, Grove CM ja Weiss RA. Respirator performance rating tables for nontemperate environments. Am Indus Hyg Assoc J. 53, 1992, 548–555.

Kiilunen M, Lipponen J, Sääntti J ja Tossavainen A. Metallipölyn kertyminen työntekijöiden keuhkoihin teräksen hionnassa. Loppuraportti Työsuojelurahastolle, Työterveyslaitos, 2005.

Koskela H ja Tukiainen H. Facial cooling, but not nasal breathing of cold air, induces bronchoconstriction: a study in asthmatic and healthy subjects. Eur. Resp. J. 8, 1995, s. 2088-2093.

Laird IS, Goldsmith R, Pack RJ ja Vitalis A. The effect on heart rate and facial skin temperature of wearing respiratory protection at work. Ann. Ocup. Hyg. 46, 2002, s.143-148.

Løkke I. Kaldt klima – Åndedrettsvern som beskyttelse mot kjemisk eskponering. MS Thesis. Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, 2018.

Manninen A, Klen T ja Pasanen P. Evaluation of comfort and seal leakages of several respirators used in agricultural work. Am Ind Hyg Assoc J. 49, 1988, s. 280-285.

- Miedinger D, Bläuenstein A, Wolf N, Frey F, Karli C ja Leuppi JD. Evaluation of fitness to utilize self-contained breathing apparatus (SCBA). *Journal of Asthma* 47, 2010, s. 178-184.
- Millqvist E, Bake B, Bengtsson U ja Löwhagen O. Prevention of asthma induced by cold air by cellulose-fabric face mask. *Allergy* 50, 1995, s. 221-221.
- MineHeath project – Sustainability of miners' well-being, health and work ability in the Barents region – a common challenge. Lisätietoa hankkeesta: www.mineheath.eu, 2014.
- Minni E ja Varjo J. Hitsausuuruille altistumisen vähentäminen hengityksensuojaimilla, Raportti 5, Turun aluetyöterveyslaitos, 1989.
- Nielsen R, Berglund LG, Gwosdow AR ja DuBois AB. Thermal sensation of the body as influenced by the thermal microclimate in a face mask. *Ergonomics* 30, 1987, s. 1689-1703.
- Rissanen S ja Rintamäki H. Facial cooling while using powered air respirator in the cold. Abstracts of 13th European Seminar on Personal Protective Equipment, Saariselkä, Suomi, 26-28 February, 2016. s. 19.
- Roberge RJ, Kim J-H ja Coca A. Protective Facemask Impact on Human Thermoregulation: An Overview. *Ann Occup Hyg* 56, 2012, s. 102-112.
- Rosato DV. Rosato's Plastic Encyclopedia and Dictionary, Hanser Publishers, Munich 1993, s. 695.
- Saskatchewan Construction Safety Association (SCSA) Safety tips, vierailtu 19.1.2017, http://www.scsaonline.ca/resources/safety_tips/respiratory-protection
- Schlader ZJ, Coleman GL, Sackett JR, Sarker S ja Johnson BD. Sustained increases in blood pressure elicited by prolonged face cooling in humans. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.*, 311, 2016, R643-R648.
- Seifert J, McNair M, DeClercq P ja St Cyr J. A heat and moisture mask attenuates cardiovascular stress during cold air exposure, *Ther. Adv. Cardiovasc. Dis.*, 7, 2014, s. 123-129.
- Säämänen A ja Pekari K. Hengityksensuojainten todellisen suojauskertoimen määrittäminen biologisen monitoroinnin avulla, Työsuojelurahaston loppuraportti, VTT, 1993.
- Tuomi T. Hengityksensuojainten suojausteho, fyysinen kuormittavuus ja psykomotoriset vaikutukset, Työsuojelurahaston loppuraportti, Työterveyslaitos, 1985.
- Zeitoun M, Wilk B, Matsuzaka A, KnOpfli BH, Wilson BA ja Bar-Or O. Facial cooling enhances exercise-induced bronchoconstriction in asthmatic children. *Med Sci Sports Exerc.* 36, 2004, s. 767-771.



Zhuang Z ja Myers WR. Field Performance Measurements of half-facepiece respirators – paint spraying operations”, American Industrial Hygiene Association Journal 57, 1996, s. 50-57.



LIITTEET

LIITE 1 STRUKTUROIDUN HAASTATELUN RUNKO

Hengityksensuojainten toimivuus kylmässä

HAASTATELUPOHJA _____ Pvm. _____

Työterveyslaitos tutkii hengityksensuojainten toimivuutta, turvallisuutta ja käyttömukavuutta kylmässä. Tällä haastattelulla kartoitetaan, millaisissa olosuhteissa ongelma on havaittu yrityksissä ja onko siihen löydetty toimivia ratkaisuja. Tutkimukseen kuuluu myös kokeellinen osa, jossa tutkitaan, mitä suojaimia kylmässä voi käyttää. Tutkimuksen tulokset raportoidaan siten, että hengityksensuojaimia käyttävät saisivat tietoa niiden toimivuudesta, turvallisuudesta ja käyttömukavuudesta kylmässä. Tutkimus on saanut osan rahoituksestaan Työsuojelurahastosta.

Yritys _____

Yrityksen toimipaikat _____

Haastateltava(t) ja asema

Osasto

_____	_____
_____	_____
_____	_____

Työpaikan koko _____ työntekijää, _____ alihankkijaa

Osaston koko _____ työntekijää, _____ alihankkijaa

1. Kuinka moni yrityksessänne käyttää hengityksensuojaimia (noin)? _____

2. Mitä hengityksensuojaimia teillä käytetään?

Suojaimen nimi niin selvästi, että saadaan suojaimen tehokkuusluokka selville tai nimi ja tehokkuusluokka. Puhallinsuojaimista: puhallin, kasvo-osa ja suodatin. Naamareista: naamari ja suodatin/suodattimet

3. Poikkeavatko hengityksensuojainten käytön ohjeet kylmässä normaaliohjeista?

Kyllä Ei

a) Jos ei, niin onko havaittu tarvetta erillisiin ohjeisiin?

Kyllä Ei

b) Jos kyllä, niin millä tavoin ohjataan hengityksensuojainten käyttöä kylmässä?

c) Mikä on kylmän raja, joissa kylmässä käytettyjä suojainohjeita aletaan käyttämään? _____



- d) Mihin raja perustuu? Esim. suojaimen käyttöohjeisiin, kokemukseen, kylmä-tuntemukseen.
4. Taulukko. Kuinka moni työntekijä tekee teillä työtä, jossa on käytettävä hengityksensuojainta kylmässä? Mitä tehtäviä? Kuinka kylmässä? Kuinka usein? Kuinka kauan kestää? Voiko tuulla (työ ulkona/sisällä)? Mikä suojain nykyään käytössä? Vastaukset taulukkoon.

Tehtävä	Altiste	Kuinka moni (naisten osuus)	Kuinka kylmässä enintään?	Kuinka usein on tehtävää?	Kuinka kauan menee tehtävään?	Tuuli mahdollista, kyllä/ei	Mi(t)kä suojain on käytössä tässä tehtävässä?
---------	---------	-----------------------------	---------------------------	---------------------------	-------------------------------	-----------------------------	---

5. Mitä vaikeuksia tai terveysvaikutuksia teillä on havaittu hengityksensuojainten käytössä kylmässä? Kuinka kylmässä? Liittyykö ongelmaan tietty paikka tai syy, esim. oven suu ja lämpövaihtelut? *Vaikeuksia voivat olla suodattimen tukkeutuminen hengityshuurun jäätyessä siihen, visiirin huurtuminen, suojaimen kovettuminen, ilman sisäänvuoto reunoilta; terveysvaikutuksia voivat olla epämukava jäähtyminen, paleltumat, päänsäryt, silmien kuivuminen...*
6. Onko vaikeuksiin keksitty ratkaisu, millainen?
7. Onko kylmässä hengityksensuojaimien käyttäjien joukossa naisia?
Kyllä Ei
8. Jos kyllä, niin liittyykö hengityksensuojaimien käyttöön kylmässä naisilla erilaisia ongelmia kuin miehillä?
Kyllä Ei
- a) Jos kyllä, niin mitä?
9. Onko pystytty havainnoimaan, että hengityksensuojain on kylmästä huolimatta tehokas?
- Tehtävä, altiste ja keino (esim. biomonitorointi)
 - Jos hengityksensuojainta on muokattu kylmän vuoksi, miten on varmistettu, että suojain on vielä tehokas?
10. Onko työterveyshuolto auttanut hengityksensuojaimiin ja kylmään liittyvissä ongelmissa tai antanut rajoituksia hengityksensuojaimien käytölle kylmässä? Mitä?

LIITE 2 SUOJAIMEN TEHOKKUUDEN TESTISSÄ KÄYTETYN LIIKESARJAN TESTIVAIHEET

Testauksessa käytetty liikesarja käytiin läpi ennen testiä. Suojaimen tehokkuudentesti koostuu kahdeksasta eri jaksosta. Kukin jakso kestää reilun minuutin paitsi askellusjakso on yli neljä minuuttia.

Testin liikesarjat:

- 1) Normaali hengitys. – Seisotaan hengitellen normaaliin tahtiin puhumatta.
- 2) Syvä hengitys. - Seisotaan ja hengitetään hitaasti ja syvään liioittelematta. Vähän kuin olisi nousemassa mäkeä ylös.
- 3) Pää sivulta sivulle. - Käännetään päätä hitaasti sivulta sivulle ääriasentoihin (liioittelematta) paikallaan seisoen.
- 4) Pää ylös ja alas. - Käännetään päätä ylä- tai ala-asentoon. Vilkaistaan kattoa ja lattiaa kohti ja hengitetään samalla rauhalliseen tahtiin.
- 5) Vartalon taivutus. - Seisotaan ja kumarretaan rauhallisesti syvään kohti lattiaa ja takaisin ylös ääriasentoihin pyrkimättä. Kumarrusliikkeitä jatketaan rauhallisesti koko mittausjakson ajan.
- 6) Puhuminen. - Luetaan hitaasti ja kuuluvalla äänellä, aivan kuin vieruskaverille, sateenkaari- tekstiä taukoamatta koko mittausjakson ajan. Jos tekstiä on vaikea nähdä tai saada selvää, puhutaan mitä vaan, pääasia että puhetta tulee koko mittausjakson ajan.
- 7) Askellus. - Askelletaan metronomin tahtiin astinlaudalle ja takaisin alas koko mittausjakson ajan.
- 8) Normaali hengitys. Seisotaan paikallaan ja annetaan hengityksen tasaantua. Hengitellään rauhallisesti kuten alussa koko mittausjakson ajan.

LIITE 3 IR-LÄMPÖKAMERAKUVAT

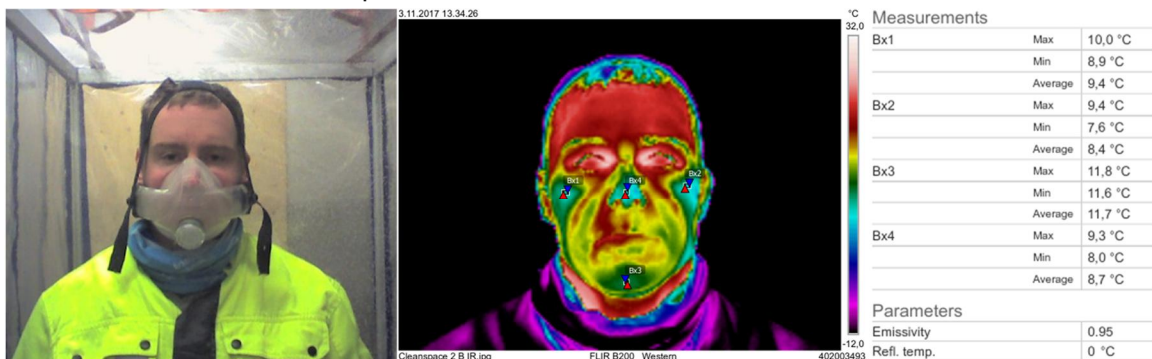
IR-lämpökamerakuvat (Kuvat 1-9) kasvoista hengityksensuojainten suojauskykytestien jälkeen -20 °C lämpötilassa.



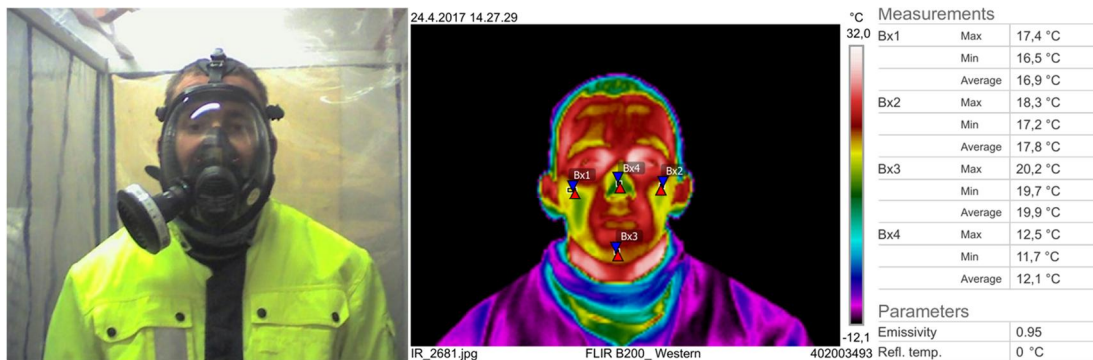
Kuva 1. Suodattava puolinaamari FFP3, 3M 8835+.



Kuva 2. Venttiilillä varustettu puolinaamari, Moldex 5430.



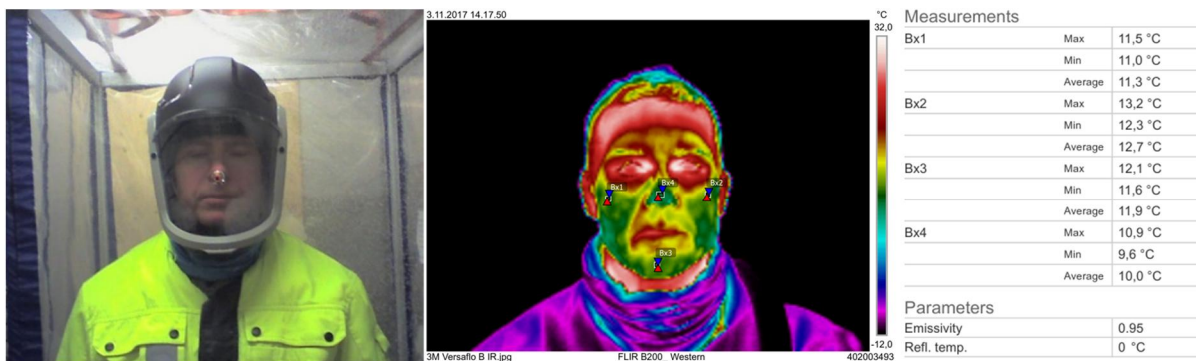
Kuva 3. Puolinaamarilla varustettu hengityksrytmiin mukautuva puhallinsuojain, CleanSpace2, puhallus 0-200 l/min hengityksen rytmiin mukautuen, ilmapirta kasvojen sivulta.



Kuva 4. Kokonaamari P3-suodattimella, Scott Safety T7/Vision2.



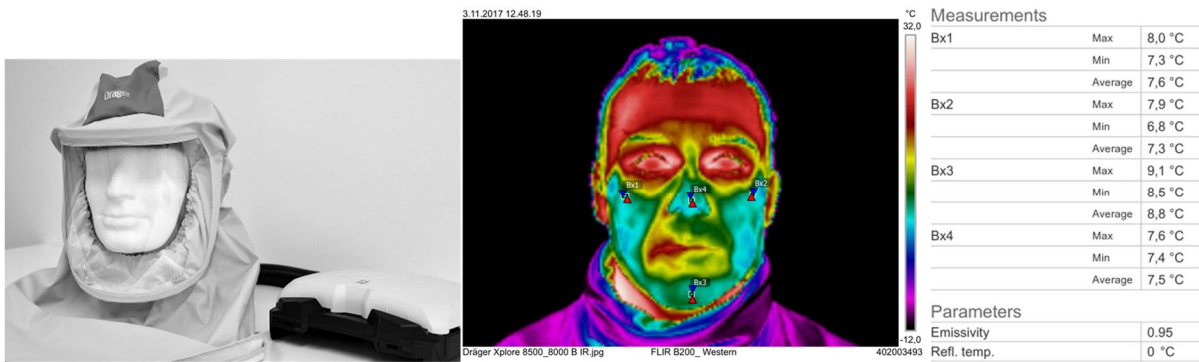
Kuva 5. Kokonaamari P3-suodattimella, Sundström SR 200.



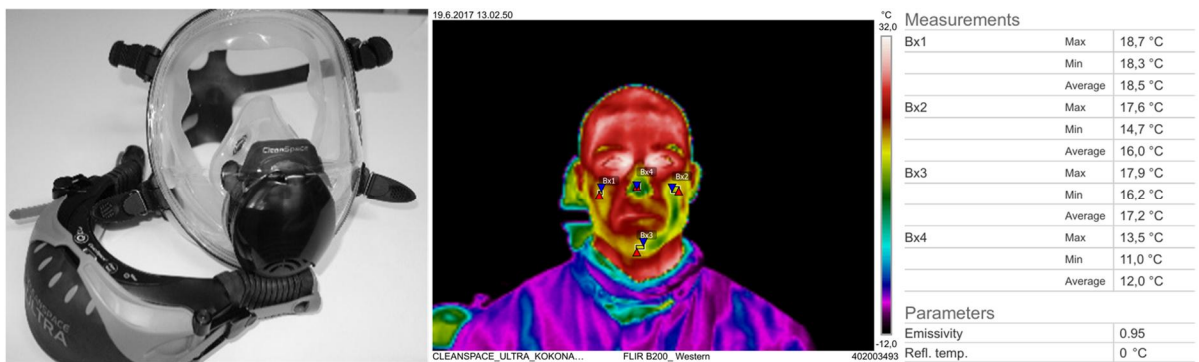
Kuva 6. Kypärällä varustettu puhallinsuojain TH3P, 3M Versaflo M-306 ja TR602E, puhallus 190 l/min, ilmavirta pääläelta, puhallussuunta säädettävissä kasvoille tai visiiriin.



Kuva 7. Kypärällä varustettu puhallinsuojain TH3P, Sundström SR 500 ja SR580, puhallus 175 l/min, ilmavirta pääläelta.



Kuva 8. Hupulla varustettu puhallinsuojain TH3P, Dräger X-plore 8500 ja X-plore 8000, puhallus 190 l/min, ilmavirta pääläelta.



Kuva 9. Kokonaamarilla varustettu hengityksrytmiin mukautuva puhallinsuojain, CleanSpaceUltra, puhallus 0-200 l/min hengityksen rytmiin mukautuen, ilmavirta kasvojen sivulta.

Kylmässä työskentely aiheuttaa ongelmia hengityksensuojainten käyttöön. Kylmä voi aiheuttaa hengityksensuojaimen huurtumista ja jäätymistä, kun hengityksen mukana tuleva kosteus tiivistyy hengityksensuojaimen tai suodattimen sisään. Puhallinsuojaimien käyttö kylmässä voi lisäksi aiheuttaa kasvojen liiallista jäähtymistä.

Tässä tutkimusraportissa selvitetään kylmän työympäristön vaikutukset erityyppisten hiukkassuodattimilla varustettujen hengityksensuojainten käyttöön, niiden toimivuuteen ja suojaustehoon. Raportissa tarkastellaan myös mahdollisuuksia estää kasvojen jäähtymistä, kun käytetään puhallinsuojainta kylmässä ilman suojaustehokkuuden heikentymistä. Tutkimustulosten pohjalta laadittiin ohjeet hengityksensuojainten käyttöön kylmässä.



Työsuojelurahasto
Arbetskyddsfonden
The Finnish Work Environment Fund

Työterveyslaitos
Arbetshälsainstitutet
Finnish Institute of Occupational Health

PL 40, 00032 Työterveyslaitos

www.ttl.fi

ISBN 978-952-261-863-4 (nid.)
ISBN 978-952-261-864-1 (PDF)