

Työsuojelurahasto  
*Arbetskyddsfonten*  
*The Finnish Work Environment Fund*

# Vertailututkimus Eristeen vaikutus kattoeristystyön ergonomiaan ja kuormittavuuteen

Risto Toivonen, tutkimusinsinööri, DI  
Paula Kärmeniemi, tutkija, TtM, työfysioterapeutti

Toijalassa 7.12.2012

# Sisällys

1. Johdanto.....	1
2. Tutkimuksen tavoite .....	1
3. Aineisto.....	1
3.1. Koehenkilöt.....	1
3.2. Testatut eristeratkaisut .....	2
4. Menetelmät.....	2
4.1. Työsimulaatio .....	2
4.2. Fyysinen kuormittuneisuuskokemus - RPE .....	4
4.3. Lihassähköinen aktiivisuus - EMG .....	4
Mittauskalibraatio.....	5
4.4. Selän asento.....	6
4.5. Syke.....	6
4.6. Käytettävyyškysely .....	6
4.7. Tilastollinen analyysi.....	7
5. Tulokset.....	7
5.1. Asennukseen kulunut aika.....	7
5.2. RPE -arviointi.....	8
5.3. EMG - Lihassähköinen aktiivisuus .....	9
Keskimääräiset lihasaktiivisuudet.....	9
Asennuksen vaatima lihastyö .....	10
5.4. Selän asennot.....	12
5.5. Syke.....	12
5.6. Käytettävyyškysely .....	13
Paremmuusjärjestykseen asettaminen.....	14
Kyselyyn kirjattuja kommentteja .....	15
5.7. Havaintoja tutkimuksesta.....	15
Työasennot OL-LAM asennuksessa.....	15
Apuvälineen kanssa työskentely.....	17
6. Yhteenveto .....	17
7. Kirjallisuus .....	19

---

# 1. Johdanto

Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy on kehittänyt uudentyyppisen Isover OL-LAM kattoeristeen loiville katoille. OL-LAM on lamellikappaleiksi leikattua mineraalivillaa. OL-LAM on erityisesti kehitetty nopeuttamaan eristystyötä ja parantamaan kattorakenteen kuormituskestävyyttä. Kohteet, joissa tämäntyyppisiä eristeitä käytetään, ovat tavallisesti suuria teollisuus- tai logistiikkahalleja, joiden katot ovat kooltaan jopa useita tuhansia neliömetrejä. Asennustyössä, joka usein tehdään urakkaluonteisesti työporeittain, käsitellään työpäivässä satoja eristelevyjä.

Uuden eristeen vaikutuksesta eristystyön ergonomiaan ja kuormittavuuteen ei ole olemassa objektiivista tietoa. Valmistajalla ei ole myöskään tietoa siitä, millaisia työmenetelmiä voitaisiin suositella uuden eristeen asentamiseksi.

## 2. Tutkimuksen tavoite

Tässä hankkeessa oli tarkoitus selvittää uuden eristeen vaikutus kattoeristystyön ergonomiaan ja kuormittavuuteen. Vertailu suoritettiin valmistajan perinteiseen, levymalliseen, eristetyyppiin. Työsimulaatioissa arvioitiin eristeen ja työmenetelmien vaikutusta työasentoihin, voimankäyttöön sekä hengitys- ja verenkiertoelimistön kuormittumiseen.

## 3. Aineisto

### 3.1. Koehenkilöt

Tutkimukseen osallistui kymmenen koehenkilöä (taulukko 1), eli viisi työparia. Koehenkilöistä seitsemän oli kattoeristystyön ammattilaista. Yhdellä koehenkilöistä ei ollut aikaisempaa mainittavaa kokemusta kattoeristystyöstä.

Koehenkilöt osallistuivat tutkimukseen vapaaehtoisesti ja antoivat allekirjoitetun suostumuksensa tutkimustietojen hyödyntämiseen.

*Taulukko 1. Tutkimukseen osallistuneiden koehenkilöiden sukupuoli, pituus, paino ja työkokemus. Taulukossa on esitetty keskiarvot ja vaihteluvälit.*

---

Sukupuoli	Ikä	Pituus	Paino	Työkokemus kattoeristystyöstä
mies (n=10)	44 vuotta (22 - 58)	178 (170 - 186)	79 kg (63 - 92)	15 vuotta (0 - 22)

---

## 3.2. Testatut eristeratkaisut

Tutkimuksessa oli mukana kaksi kattoeristeratkaisua. Kumpaankin ratkaisuun liittyy varsinainen paksumpi eristevilla, jonka päälle asennetaan ohuempi päällysvilla. Eristeiden tärkeimmät asennustyön fyysiseen kuormittavuuteen vaikuttavat ominaisuudet on esitetty taulukossa 2.

Perinteisessä ratkaisussa katolle asennettava eristys muodostuu kahdesta päällekkäin olevasta OL-P eristelevystä (yhteispaksuus 340 mm), joiden päälle asennetaan 50 mm paksu OL-TOP. Uudessa lamelliratkaisussa riittävä eristys saavutetaan yhdellä 400 mm paksulla OL-LAM eristeellä, jonka päälle asennetaan 30 mm paksu OL-TOP.

Taulukko 2. Testattujen eristeratkaisujen ominaisuudet

	Perinteinen ratkaisu	Lamelliratkaisu
Päällysvilla	OL-TOP 50 mm (50 x 1180 x 1550 mm) Kappalepaino n. 9 kg	OL-TOP 30 mm (30 x 1180 x 1550 mm) kappalepaino n. 7 kg
Alusta	2 * OL-P 170 mm (170 x 1190 x 1380 mm) Kappalepaino n. 18 kg	OL-LAM 400 mm (400 x 250 x 1500 mm) Kappalepaino n. 8 kg

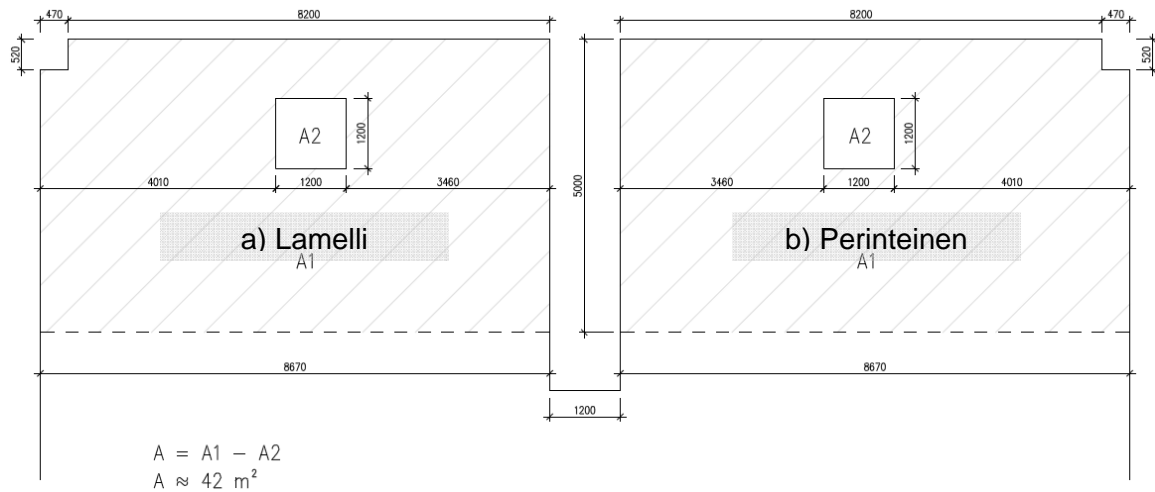
## 4. Menetelmät

### 4.1. Työsimulaatio

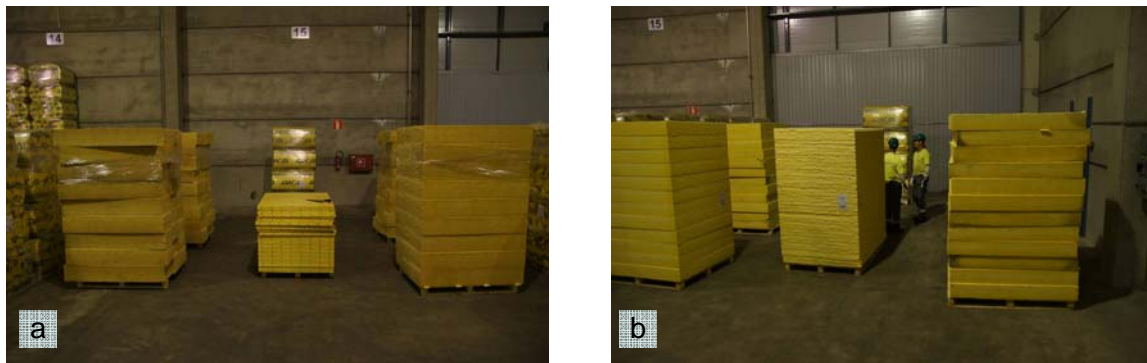
Tutkimus suoritettiin Hyvinkäällä 21.-22.8.2012 Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy:n tehdasalueella sijaitsevassa varastohallissa. Vakioidussa työtehtävässä (työsimulaatiossa) työparin tuli asentaa eriste ja eristeratkaisuun kuuluva päällysvilla varastohallin lattialle rajatulle alueelle. Kerrallaan paikalla oli vain yksi työpari. Yhdeltä työparilta kului tutkimukseen aikaa n. 2,5 - 3 h. Tästä työsimulaatioiden osuus oli n. 1,5 h.

Varastohalliin oli järjestetty kaksi samankokoista aluetta eristeiden asentamista varten (kuva 1). Alueet oli rajattu kolmelta reunalta. Toista alueista (kuva 1, b) rajoitti rakennuksen betoniseinä, metalliseinä ja alueita erottavat täydet eristelavat. Toisen alueen (kuva 1, a) päädyssä oli hallin betoniseinä ja kahdella reunalla täydet eristevillalavat. Kummankin alueen keskelle jätettiin täysi 1200 x 1200 mm lavallinen eriste villaa kuvaamaan katoilla esiintyviä ilmastointilaitteiden tms. läpivientejä. Alueiden yhdessä nurkassa oli samankokoiset betonitolpat, jotka villan asennusvaiheessa vaativat eristeiden muotoon leikkaamista.

Ennen työsimulaation alkua kummallekin alueelle tuotiin neljä lavallista varsinaista eriste villaa ja yksi lavallinen tuotteeseen liittyvää OL-TOP villaa (kuva 2). Tutkimuksen ensimmäinen työpari asensi ensimmäiseksi perinteisen villan ja toiseksi lamellin. Asennuksen järjestystä vuoroteltiin tämän jälkeen seuraavilla ryhmillä.



Kuva 1. Pohjapiirustus varastohalliin rajatusta testialueesta.



Kuva 2. Yleisnäkökulma testialueille ennen työsimulaation aloitusta. Kuvissa alueilla on valmiina lavoilla asennettavat tuotteet. a) Alue lamellin asennukseen. b) Perinteisen villan alue.

Työsimulaation tehtäväksi oli yksinkertainen. Työparin tehtävänä oli asentaa eristeratkaisu osoitetulle alueelle aloittaen asennuksen alueen takaosasta ja käyttäen itselleen sopivia työtekniikoita. Asennustyön työpari sai tehdä omaan tahtiinsa ja jakaen työtehtävät parhaaksi katsomallaan tavalla. Lamellin asennus ohjeistettiin lisäksi siten, että ensimmäinen 1/2 pinta-alasta tuli asentaa siirtämällä lamelleja käsin. Jälkimmäinen puolisko tuli mahdollisuuksien mukaan asentaa käyttäen tarkoitukseen modifioitua talikkoa (kuva 3). Asennuksen aikana työpari sai ilmoituksen testin valvojalta, milloin he saattoivat aloittaa talikon käyttämisen. Kolme ensimmäistä työparia käytti talikkoa, jonka piikit olivat n. 10 cm pidemmät kuin kahden jälkimmäisen parin käyttämän talikon piikit. Piikkejä lyhennettiin työpareilta saadun palautteen vuoksi.



Kuva 3. Lamellin asennuksessa käytettiin apuna talikkoa, josta oli poistettu kaksi keskimmäistä piikkiä ja uloimmaisista piikkejä oli lyhennetty.

Asennustyössä työparilla oli käytössään paikalla olleet sahat ja veitset (kuva 4) sekä mahdollisesti mukanaan tuomansa omat työkalut.



Kuva 4. Asennustyössä käytettyjä villasahoja ja -veitsiä. Työparit saivat käyttää myös mukana olleita omia työkalujaan.

Testin valvoja tarkkaili, että työsimulaatio päättyi asennetun eristeen etureunan ollessa n. 5 m etäisyydellä alueen takareunasta (kuva 5a). Asennetun alueen etureunan tasaamista ei vaadittu työsimulaation päättämiseksi (kuva 5b)



Kuva 5. a) Työpari asentaa lamelliratkaisun päällysvillaa. OL-LAM asennus on jo saavuttanut riittävän n. 5 m. rajan. b) Työpari viimeistelee perinteisen villaratkaisun asennusta. Tutkimuksessa asennuksen etureunan ei tarvinnut olla tasainen, kunhan 5 m etenemä tuli saavutettua.

## 4.2. Fyysinen kuormittuneisuuskokemus - RPE

Koehenkilöiden fyysistä rasittumista työsimulaatiossa selvitettiin subjektiivisella RPE (Rating of Perceived Exertion, koettu rasitustaso) –kyselyllä (Borg 1970, Borg 1982). Välittömästi simulaation päättymisen jälkeen työpari vastasi kysymykseen "Miltä rasitus tuntuu nyt?". Vastauksen henkilöt antoivat ns. 15 portaisella Borgin -asteikolla, joka alkaa arvosta 6 ja päättyy lukuun 20. Asteikolle on kiinnitetty kuormitustasoa kuvaavia ilmaisuja helpottamaan vastausta. Koehenkilöillä oli vastatessaan nähtävillä A4-paperille tulostettu asteikko (kuva 6). Asteikon on todettu korreloivan fyysisen aktiivisuuden ja sydämen sykkeen kanssa (Borg 1990).

### Miltä rasitus tuntuu nyt?

6	
7	Erittäin, erittäin kevyt
8	
9	Hyvin kevyt
10	
11	Kevyt
12	
13	Hieman rasittava
14	
15	Rasittava
16	
17	Hyvin rasittava
18	
19	Erittäin, erittäin rasittava
20	

Kuva 6. RPE-kysymykseen liittynyt 15 portainen Borgin asteikko.

## 4.3. Lihassähköinen aktiivisuus - EMG

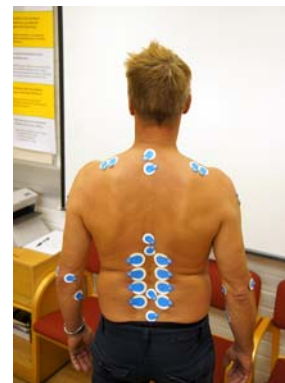
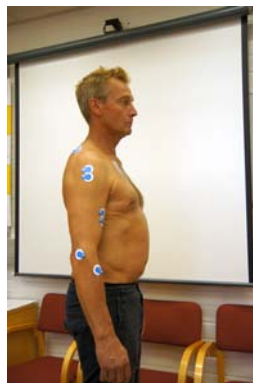
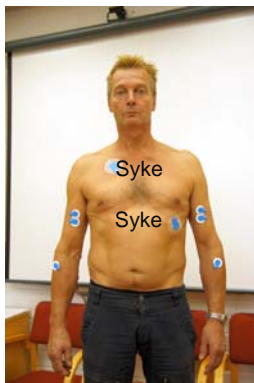
Työsimulaation aikaista voimankäyttöä ja liikuntaelimistön kuormittumista arvioitiin lihassähköisellä mittauksella (EMG, electromyography). Mittaukset tehtiin symmetrisesti kehon oikealta ja vasemmalta puolelta yläraajasta, hartiasta, ylä- ja alaselästä. Mittauksessa käytettiin pintaelektrodeja (Ag/AgCl elektrodit, M-00-S, Blue Sensor ja R-00-S, Medicotest, Ølstykke, Denmark) ja ns. bipolaarista elektrodiasettelua, jossa mittauselektrodien välimatka oli n. 2 cm. Elektrodien välinen keskikohta asetettiin (Zipp, 1982) ja (Hermens et al., 1999)

suositusten mukaisesti lukuun ottamatta kyynärvarren elektrodeja (kanavat 1 ja 5), joissa käytettiin Toivonen et al. (1997) esittämää läpi kyynärvarren elektrodiasettelua.

Elektrodit asetettiin kahdelletoista mittauskanavalle seuraavasti (kuva 7):

- ch1, ch3 "Läpi kyynärvarren asettelu". Kyynärvarren ojentaja- ja koukistajalihasten päälle asennettu elektrodipari. Mittaus kuvaa kyynärvarren ja ranteen alueen voimankäyttöä, mm. puristusta.
- ch2, ch4 Hauislihas (m. biceps brachii) (maaelektrodi: joko kyynärvarren ulomman tai sisemmän sivunastan päällä)
- ch5, ch7 Hartialihaksen keskiosa (deltoids medius)
- ch6, ch8 Epäkäslihaksen yläosa (m. trapezius pars descendes)
- ch9, ch11 Yläselkä (rector spinae longissimus Th 10)
- ch10, ch12 Alaselkä (Erector spinae longissimus L1)

Signaalit talletettiin 1000 Hz:n näytteenottotaajuudella ME6000 laitteistolla (Mega Elektroniikka Oy, Kuopio). Myöhemmin kerätty data keskiarvoistettiin rms-muunnoksella 100 ms aikaikkunassa. Kaikki työsimulaatiot videoitiin, jolloin jälkikäteen voitiin poimia mittaussignaalista kutakin simulaatiota vastaavat näytejonot.



Kuva 7. Iholle asetetut mittauselektrodit ennen mittalaitteen kaapeleiden kiinnittämistä. Rinnassa näkyy kaksi elektrodia, joihin kiinnitettiin sykemittari.

Työsimulaatioiden ajalta mitta-aineistosta poimittiin erilleen hetket, jolloin koehenkilö käsitteli joko varsinaista eristevillaa tai OL-TOP:a. Lamellin asennuksen ajalta poimittiin lisäksi erilleen hetket, jolloin lamellia asennettiin käsin tai käytettiin avuksi talikkoa.

Koehenkilöiden signaaleista laskettiin kullekin henkilölle keskimääräiset lihasaktiivisuustasot perinteisen villan asennukselle sekä OL-LAM asennukselle. Lisäksi tarkasteltiin kanavakohtaista lihastyömäärän arviota, joka määritetään lihassähköisen aktiivisuuden aikaintegraalina. Käytännössä työmäärän arvio muodostettiin summaamalla yhteen lihasaktiivisuuden hetkelliset arvot koko työsimulaation ajalta.

## Mittauskalibraatio

Tutkimuksessa lihassähköisen aktiivisuuden vertailutasoina käytettiin kullekin henkilölle mitausjakson alussa määritetyjä maksimaalisia aktiivisuuksia (MVC-tasot, maximal reference voluntary contraction). Elektrodien kiinnityksen jälkeen, ennen työsimulaatioihin siirtymistä, koehenkilöt suorittivat ohjatusti testiliikkeitä (Konrad, P., 2005), joiden aikana lihasten maksimiaktiivisuudet rekisteröitiin. Testiliike toistettiin kullekin lihasryhmälle kaksi kertaa, toistojen

välissä oli n. puolen minuutin mittainen palautumisjakso. Kaikki testiliikkeet olivat staattisia (isometrisiä). Hauiksen, epäkäs- ja hartialihaksen aktivoivassa testissä raajan tai kehonosan liikettä rajoitettiin kiristetyllä hihnalla. Kyynärvarren testissä koehenkilö istui tuolilla ja pyrki nostamaan edessään olevaa pöytäpintaa sormien päillä rannettaan taivuttamalla. Testi tehtiin kahdella tavalla siten, että kämmen oli sekä kohti kattoa, että kohti lattiaa. Näin saatiin aktivoitua erikseen ranteen koukistaja- ja ojentajalihakset. Hauiksen testiliikkeessä henkilö tuki kyynärpäätänsä pöytäpintaan ja pyrki vetämään kiristettyä hihnaa ylös ranteen ollessa suorana.

Epäkäslihaksia aktivoivassa liikkeessä henkilö seiso i aluksi suorassa asennossa kädet rennosti sivuilla roikkuen. Henkilö sai pidettäväkseen kumpaakin käteen sidontaliinasta tehdyn lenkin, joka kiristettiin kulkemaan saman puoleisen jalan alitse. Tämän jälkeen koehenkilöä kehoitettiin vetämään kireällä olevia liinoja ylös mahdollisimman voimakkaasti ainoastaan hartioitaan ylös kohottamalla ("hartiat korviin").

Hartialihaksien testiliikkeessä henkilö seiso i kädet vaakatasoon sivulle ojennettuina. Kämmenet osoittivat kohti lattiaa. Tässä asennossa henkilö pyrki nostamaan käsiään ylös mahdollisimman voimakkaasti. Liikettä vastusti ranteiden ympäri kiedotut liinat, joita avustajat pitivät paikoillaan.

Alaselän lihaksia aktivoivassa testissä henkilö pyrki vatsallaan maates sa kurottamaan ylä- ja alaraajojaan mahdollisimman pitkälle yläviistoon.

Liikkeiden aikaisista emg-signaaleista poimittiin kanavittain suurimmat arvot, joita käytettiin analyysissä henkilön lihassähköisen aktiivisuuden vertailutasoina. Analyysissä lihassähköistä aktiivisuutta käsiteltiin prosentteina alkukalibraation aikaisesta vertailutasosta (%MVC).

## 4.4. Selän asento

Työsimulaatioiden aikana koehenkilöiden selän asentoa rekisteröitiin lapaluiden väliin asennetulla kulmamittarilla (Mega Elektroniikka, inlinometri SC95). Laite rekisteröi sekä selän eteen- taakse taivuttamisen että sivulle kallistamisen. Tässä tutkimuksessa käsiteltiin ainoastaan selän taivutusta eteen- ja taakse. Kulmamittari oli kytketty EMG-signaalien rinnalle ME6000 keruulaitteeseen.

## 4.5. Syke

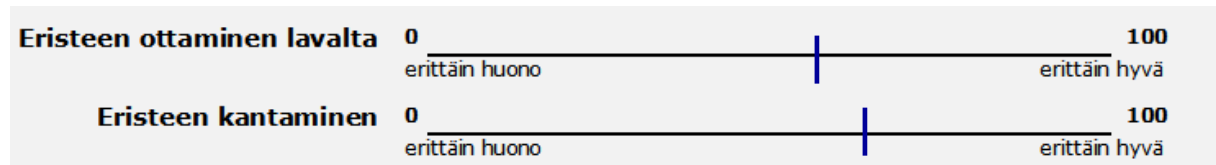
Koehenkilöille asennettiin testin ajaksi Firstbeat BODYGUARD sykemittarit. Kerätystä sykkeestä käsiteltiin perinteisen eristevillan ja lamellin aikaiset syketiedot. Sykkeen kohdalla ei eroteltu erikseen lamellin asennusta käsin tai talikolla. Sykkeen tulomuuttujina käytettiin keskimääräisiä sykkeitä asennustyön ajalta sekä energian kulutusta kuvaavia tunnuslukuja.

## 4.6. Käytettävyyskysely

Työsimulaatioiden jälkeen koehenkilöt saivat vastattavakseen käytettävyyskyselyn (liite 1). Kyselyssä selvitettiin henkilöiden tuntemuksia testattujen eristeiden käytettävydestä (perinteinen villa, OL-LAM käsin asennettuna, OL-LAM talikolla asennettuna) asennuksen eri työvaiheissa. Kyselyssä pyydettiin lisäksi asettamaan eristeet/työtavat (perinteinen eristelevy, OL-LAM käsin asennettuna sekä OL-LAM talikolla asennettuna) paremmuusjärjestykseen testitilannetta ajatellen. Testitilanteessa mieluisimmalle eristeelle/työtavalle tuli antaa kirjata järjestysluku 1 ja vähiten mieluisalle eristeelle/työtavalle järjestysluku 3.



Käyttötilanteisiin liittyvä arvio eristeen käytettävyydestä merkittiin 100 mm:n mittaiselle, ns. VAS -janalle. Arvioitavia tilanteita olivat 1) Eristeen ottaminen lavalta, 2) Eristeen kantaminen, 3) Eristeen asettaminen paikoilleen, 4) Eristeen leikkaaminen yms. käsittely puukolla tai sahalla, 5) Työasennot asennustyössä, 6) Eristystyön sujuvuus, 7) Kokonaisarvio. Henkilö merkitsi janalle pystyviivan arvioitavaa tekijää parhaiten kuvaavaan kohtaan. Janan vasen reuna edustaa arviota "erittäin huono", oikea reuna arviota "erittäin hyvä" (kuva 8).



Kuva 8. Esimerkki vastauksesta käytettävyykselyyn. Janalle on merkitty pystyviiva kohtaan, joka kuvaa parhaiten arvioitavaa tekijää.

## 4.7. Tilastollinen analyysi

Aineiston tilastollinen analyysi on kokonaisuudessa tehty R-ohjelmistolla (R Development Core Team (2008)). Tilastollisissa analyyseissä on käytetty ei-parametrisia menetelmiä. Järjestysasteikollisten muuttujien pareittaisissa vertailuissa on käytetty Wilcoxon järjestyslukutestiä. Toistettujen mittausten analyysi suoritettiin Friedmanin testillä tilanteissa, joissa vertailtavia ryhmiä oli useampi kuin kaksi. Mikäli Friedmanin testi osoitti merkitsevää eroa ( $p < 0,05$ ) ryhmien välillä, suoritettiin ryhmien välillä parittaiset vertailut post hoc testillä.

## 5. Tulokset

### 5.1. Asennukseen kulunut aika

Asennustyöhön kulunut aika määriteltiin hetkestä, jolloin työpari sai luvan aloittaa siihen saakka, kunnes testin valvoja ilmoitti alueen olevan valmis.

Perinteisen ratkaisun asennukseen kului työpareilta aikaa

- 1377 s, 2092 s, 2141 s, 1775 s, 1865 s

Lamelliratkaisun asennuksiin pareilta kului aikaa

- 1065 s, 1907 s, 1697 s, 1735 s, 1498 s

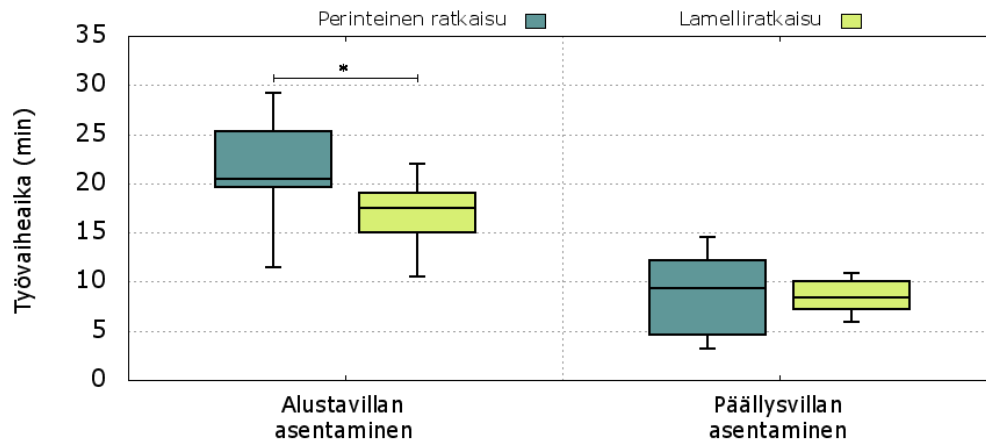
Jokainen työpari asensi alueen nopeammin lamelliratkaisulla kuin perinteisellä eristeratkaisulla. Perinteisen ratkaisun asentaminen vei keskimäärin 18 % (vaihteluväli 2 % - 30 %) enemmän aikaa kuin lamelliratkaisun asentaminen. Wilcoxin järjestyslukutestillä arvioiden ero asennusajoissa ( $p = 0,063$ ) ei ole kuitenkaan tilastollisesti merkitsevä, jos rajana pidetään  $p < 0,05$ .

Videonauhoituksista poimittiin asennuksen eri vaiheisiin kuluneet ajat jokaiselle koehenkilölle erikseen. Työsimulaatioista työvaiheiksi eroteltiin alusta- ja päällysvillan asentaminen sekä ns. huoltotyöt, kuten tyhjien lavojen siirtäminen pois alueelta. Lamelliratkaisussa alustavillan asentaminen eroteltiin vielä käsin tehdyksi ja apuvälineellä tehdyksi työksi.

Kuvassa 9 on esitetty yksittäisten koehenkilöiden alustavillan ja päällysvillan asentamiseen käyttämien aikojen jakaumat. Esitetyissä ajoissa on suuria vaihteluita johtuen työparien erilaisista työnjaoista. Yksi koehenkilö käytti OL-P asennukseen keskimäärin 20 min 57 s (medi-

aani 20 min 29 s, vaihteluväli 11 min 27 s - 29 min 14 s). OL-LAM asennukseen koehenkilöt käyttivät keskimäärin 16 min 44 s (mediaani 17 min 54 s, vaihteluväli 10 min 12 s - 22 min 12 s). OL-LAM asennukseen käytettiin merkitsevästi vähemmän aikaa kuin OL-P asennukseen.

Päällysvillojen asennukseen käytetyssä ajassa ei ollut merkitsevää eroa ratkaisujen välillä.

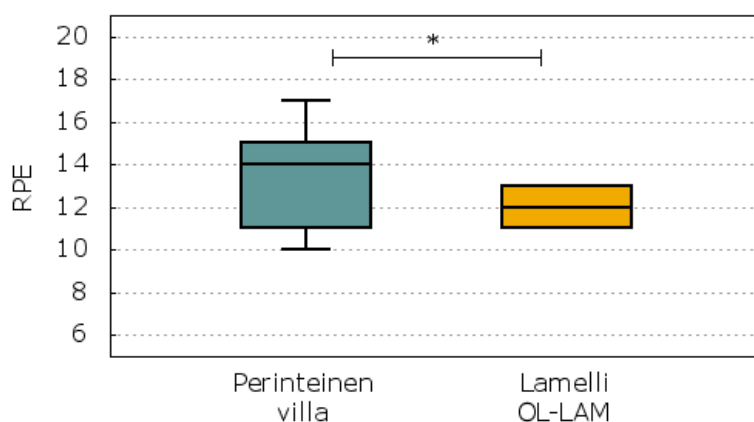


Kuva 9. Työvaiheaikojen jakaumat työsimulaatiossa (n=10). Jakaumaesityksessä laatikon keskellä oleva viiva kuvaa mediaania, laatikon ylä- ja alareuna määrittävät 1. ja 3. kvartiilin, viikset näyttävät käytettyjen aikojen minimi- ja maksimiarvot. Kuvassa tilastollisesti merkitsevä ero (Wilcoxon) eristeratkaisujen välillä on ilmaistu merkinnällä \* ( $p < 0,05$ )

## 5.2. RPE -arviointi

Välittömästi työsimulaation jälkeen työparin jäsenet ilmoittivat sillä hetkellä kokemansa kuormittuneisuuden tuntemuksen 15-asteikkoisella RPE asteikolla. OL-LAMin asennusta käsin ja talikolla ei eritelty, vaan OL-LAM arvioitiin kokonaisuutena eristettävän alueen valmistuttua.

RPE -arvioiden jakaumat on esitetty kuvassa 10. Lamellin asentamisen jälkeen koehenkilöt tunsivat merkitsevästi vähemmän kuormittuneisuutta kuin perinteisen villan asennuksen jälkeen. Perinteisen villan jälkeen ilmoitettujen kuormittuneisuustuntemusten hajonta on suuri verrattuna OL-LAM kuormittuneisuustuntemuksiin



Kuva 10. RPE -arvioiden jakaumat eristeratkaisuittain (n=10). Jakaumaesityksessä laatikon keskellä oleva viiva kuvaa vastausten mediaania, laatikon ylä- ja alareuna määrittävät 1. ja 3. kvartiilin, viikset näyttävät vastausten minimi- ja maksimiarvot. Kuvassa tilastollisesti merkitsevä ero (Wilcoxon) eristeratkaisujen välillä on ilmaistu merkinnällä \* ( $p < 0,05$ )

### 5.3. EMG - Lihassähköinen aktiivisuus

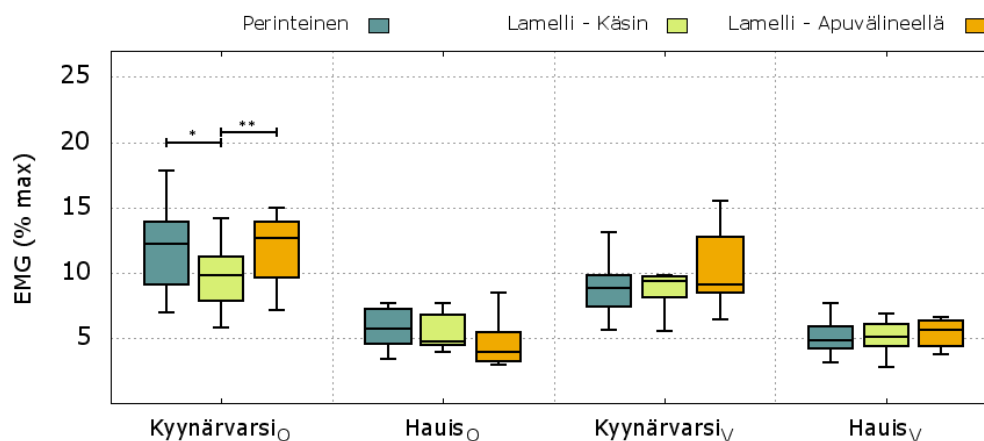
Mittauksissa oli ongelmia selän elektrodien pysymisessä paikoillaan. Tästä syystä selän lihasten luotettavia mittaustuloksia saatiin vain 6 koehenkilöltä. Muissa mittauskanavissa hyväksyttävästi onnistuneita mittauksia oli 8 - 10.

EMG-mittausten tuloksissa on verrattu työsimulaatioiden aikaisia keskimääräisiä aktiivisuustasoja eri mittauskanavissa. Lisäksi tarkasteltiin kanavakohtaista työmäärän arviota, joka muodostettiin summaamalla yhteen lihasaktiivisuuden hetkelliset arvot koko työsimulaation ajalta.

#### Keskimääräiset lihasaktiivisuudet

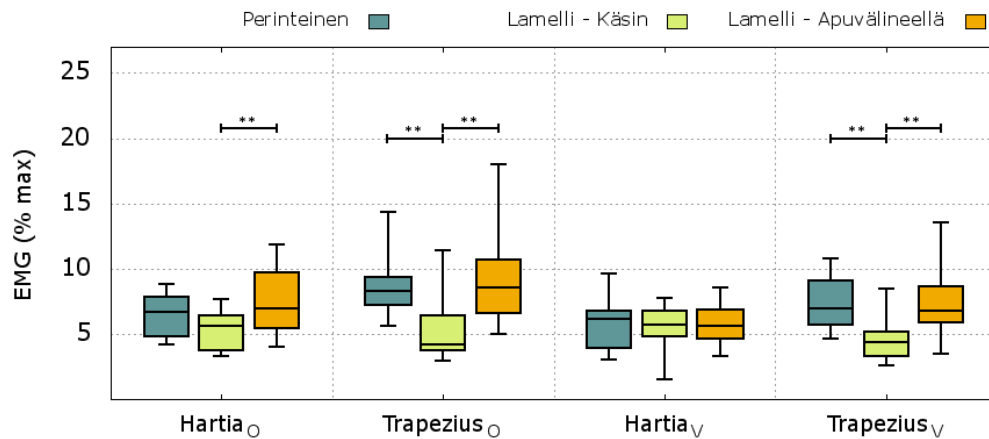
Kuvissa 11 - 13 on esitetty keskimääräisten lihasaktiivisuuksien jakaumat alustavillojen asennuksen ajalta. OL-LAM asennuksesta on esitetty erikseen käsin ja apuvälineellä asennus.

Oikean kyynärvarren voimankäyttö (puristusvoima) oli lamellia käsin asennettaessa merkitsevästi vähäisempää kuin lamellia apuvälineellä asennettaessa tai OL-P villaa asennettaessa (kuva 11). Muuten yläraajojen lihasten aktiivisuudet eivät eronneet toisistaan eristeratkaisujen tai asennustavan suhteen.



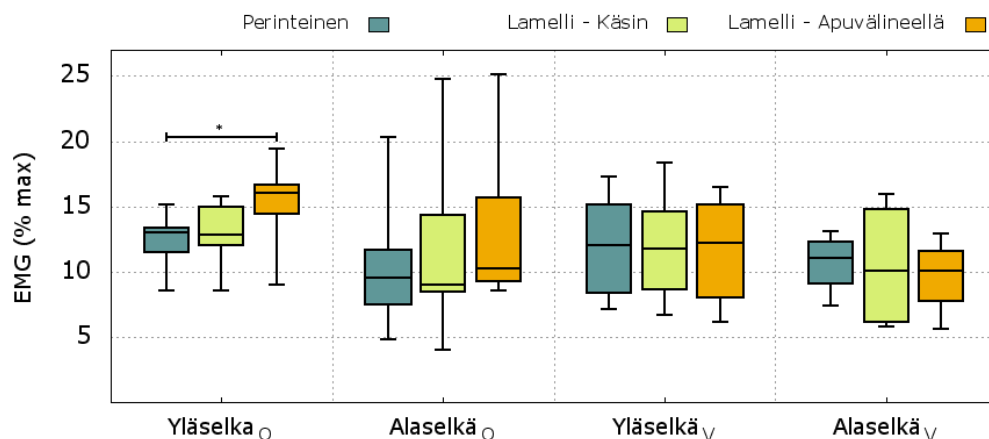
Kuva 11. Keskimääräisten emg-aktiivisuuksien jakaumat yläraajan lihasryhmissä. Tilastollisesti merkitsevä ero (Friedman) eristeratkaisujen välillä on ilmaistu merkinnöillä \* ( $p < 0,05$ ) ja \*\* ( $p < 0,01$ ).

Hartia- ja trapezius -lihaksissa näkyi eroja eristeratkaisujen ja asennustapojen välillä (kuva 12). Lamellia käsin asennettaessa aktiivisuustasot oikean ja vasemman puolen trapeziuslihaksessa sekä oikeassa hartialihaksessa olivat merkitsevästi alhaisemmat kuin lamellia apuvälineellä asennettaessa. Lamellin käsin asennus erosi merkitsevästi kummankin trapeziuslihaksen aktiivisuustasojen suhteen myös perinteisen eristevillan asennuksesta.



Kuva 12. Keskimääräisten EMG-aktiivisuuksien jakaumat hartian alueen lihaksissa. Tilastollisesti merkitsevä ero (Friedman) eristeratkaisujen välillä on ilmaistu merkinnällä \*\* ( $p < 0,01$ ).

Selän lihasten keskimääräisissä aktiivisuustasoissa oli suurta vaihtelua (kuva 13). Käytettäessä apuvälinettä lamellin asennukseen oikean puolen yläselän lihas aktivoitui merkitsevästi enemmän kuin perinteisen villan asennuksen aikana.



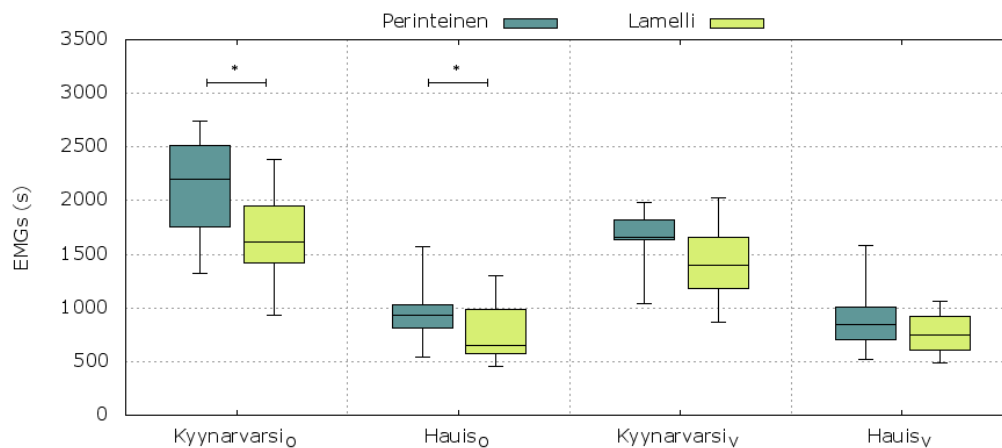
Kuva 13. Keskimääräisten emg-aktiivisuuksien jakaumat selän alueella. Tilastollisesti merkitsevä ero (Friedman) eristeratkaisujen välillä on ilmaistu merkinnällä \* ( $p < 0,05$ ).

## Asennuksen vaatima lihastyö

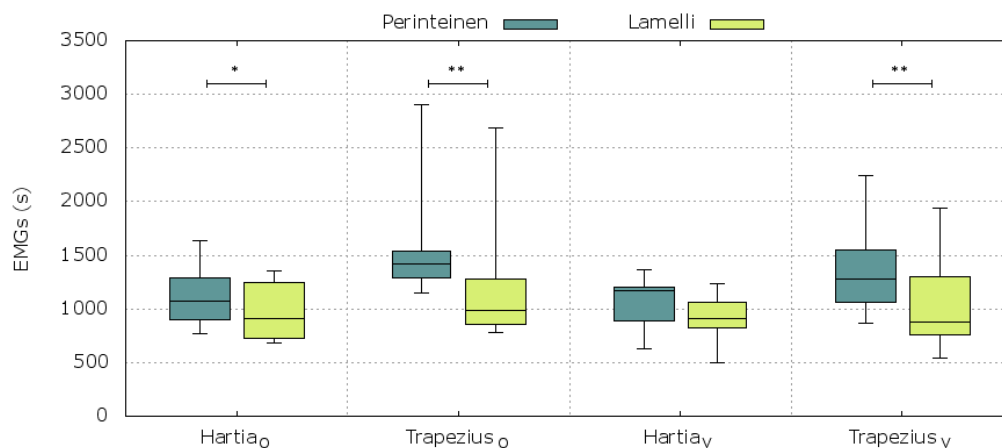
Edellä esitettiin alustavillan asentamisen yhteydessä rekisteröityjen lihasaktiivisuuksien keskimääräisten arvojen jakaumia. Tulokset esittivät kuinka raskaana tai kevyenä yksittäisen lihasryhmän kannalta jokin asennukseen liittyvä tehtävä hetkellisesti näyttäytyy. Seuraavissa kuvissa (kuvat 14 - 16) on esitetty eristeratkaisujen asentamiseen vaaditun lihastyön määrää. Tulosten laskennassa on siis mukana myös päällysvillan asentamisen osuus.

Kuvista nähdään, että työsimulaatiossa lamelliratkaisun asentamiseen käytetty lihastyö oli muutamien lihasten kohdalla merkitsevästi pienempi kuin perinteisen ratkaisun asentamiseen vaadittu lihastyö. Merkitseviä eroja syntyi yläraajojen ja hartian alueella. Tutkimuksen kaikki koehenkilöt olivat oikeakätisiä, mikä selittää erojen syntymistä yläraajoissa oikean puolen lihasryhmissä (kuva 14).

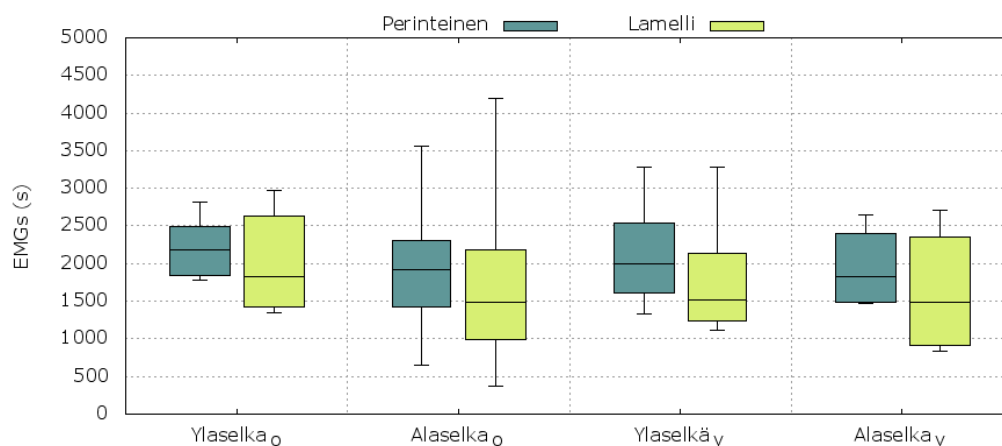
Selän lihaksissa merkitseviä työmäärän eroja perinteisen ja lamelliratkaisun välillä ei syntynyt (kuva 16).



Kuva 14. EMG signaalista määriteltyjen lihastyömäärien jakaumat yläraajan lihasryhmille. Tilastollisesti merkitsevä ero (Wilcoxon) eristeratkaisujen välillä on ilmaistu merkinnällä \* ( $p < 0,05$ )



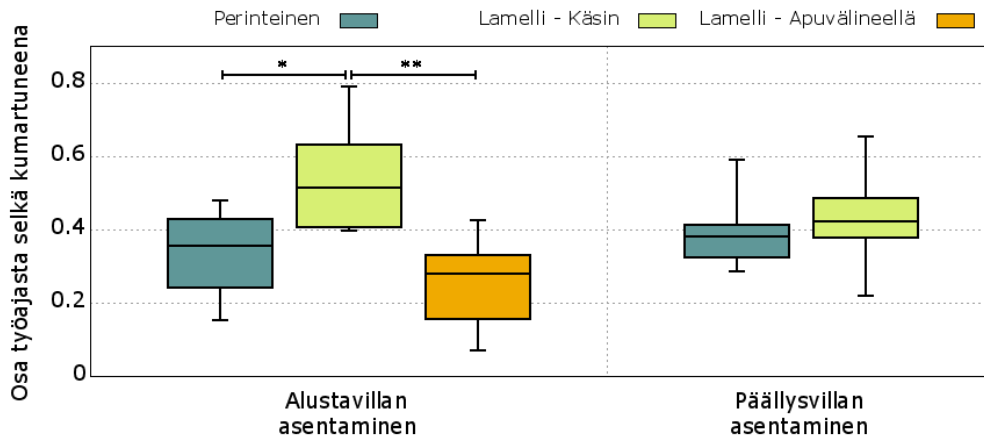
Kuva 15. EMG signaalista määriteltyjen lihastyömäärien jakaumat hartian alueen lihaksissa. Tilastollisesti merkitsevä ero (Wilcoxon) eristeratkaisujen välillä on ilmaistu merkinnöillä \* ( $p < 0,05$ ) ja \*\* ( $p < 0,01$ ).



Kuva 16. EMG signaalista määriteltyjen lihastyömäärien jakaumat selän lihaksissa.

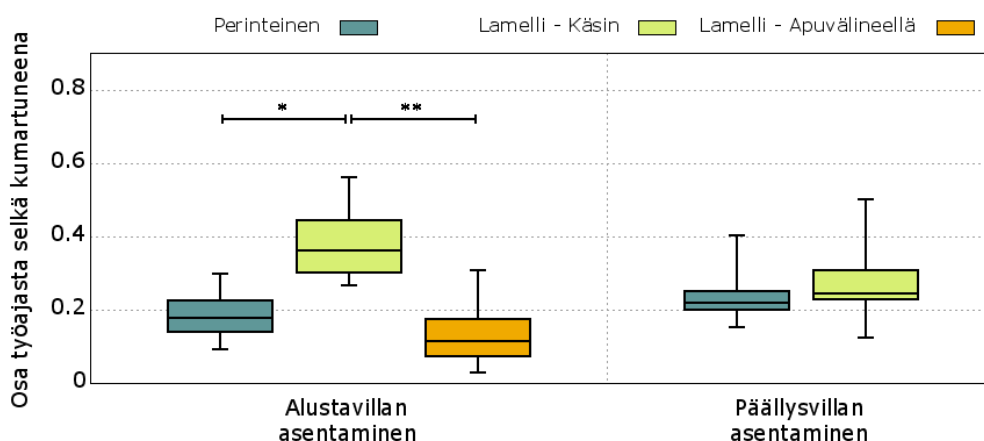
## 5.4. Selän asennot

Selkään asennetun kulmamittarin keräämistä tiedoista selvitettiin, kuinka kauan koehenkilö oli eteenpäin kumartuneissa asennoissa työsimulaation eri vaiheiden aikana. Tarkastelussa kulmarajoja käytettiin 45 ja 65 astetta. Kuvassa 17 on esitetty tilanne tarkasteltaessa yli 45 asteen kumarruksia. Lamellivillaa käsin asennettaessa selkä oli merkittävästi kauemmin yli 45 asteen kumarruksessa kuin kahdessa muussa alustavillan asennustilanteessa. Päällysvillojen asennuksessa ei ollut eroja selän kumarien asentojen esiintymisessä.



Kuva 17. Suhteellisten aikojen jakauma, jonka koehenkilöt työskentelivät yli 45 asteen kumarruksessa. Kuvassa tilastollisesti merkitsevä ero (Friedman) eristeratkaisujen välillä on ilmaistu merkinnällä \* ( $p < 0,05$ ) ja \*\* ( $p < 0,01$ ).

Lamellivillan käsin asentukseen liittyi voimakkaita, pitkään kestäviä eteenpäin kumartuneita asentoja. Kuvassa 18 on esitetty yli 65 asteen eteenpäin kallistuksien suhteellinen osuus työvaiheajoista. Edelleen lamellin käsin asennus sisältää merkittävästi enemmän kumartuneita asentoja kuin lamellin asennus apuvälineellä tai perinteisen eristevillan asennus. Selän kumarien asentojen kannalta lamellin asentamisessa apuvälineellä tai perinteisen villan asentamisella ei ollut merkitsevää eroa.



Kuva 18. Suhteellisten aikojen jakauma, jonka koehenkilöt työskentelivät yli 65 asteen kumarruksessa. Kuvassa tilastollisesti merkitsevä ero (Friedman) eristeratkaisujen välillä on ilmaistu merkinnällä \* ( $p < 0,05$ ) ja \*\* ( $p < 0,01$ ).

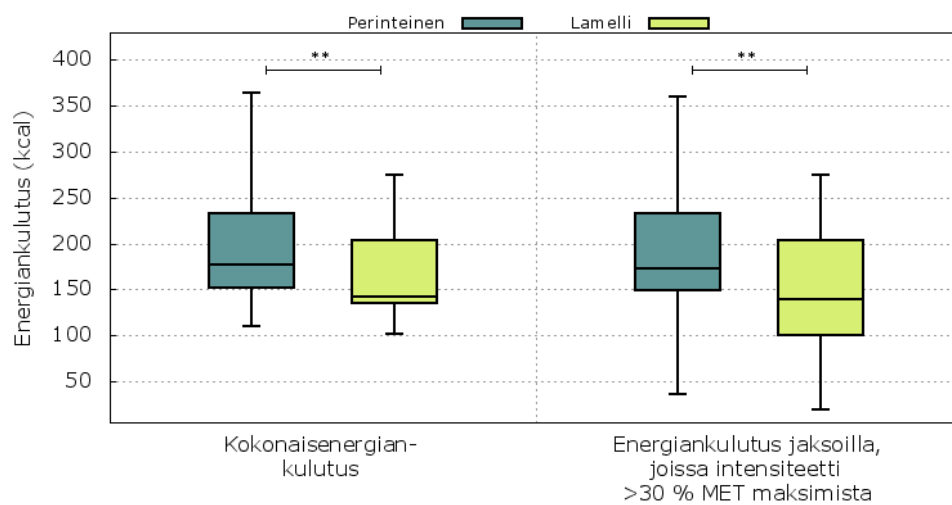
## 5.5. Syke

Sykkeiden keskiarvot perinteisen villan ja lamelliratkaisun asennuksen aikana eivät eronneet toisistaan. Lamelliratkaisun asennuksen aikana koehenkilöiden sykekeskiarvojen keskiarvo oli 123 lyöntiä minuutissa (vaihteluväli 98 - 141). Perinteisen villan asennuksen aikana koe-

henkilöiden sykkeiden keskiarvojen keskiarvo oli 126 lyöntiä minuutissa (vaihteluväli 101 - 149).

Perinteisen ratkaisun asennuksessa maksimisykkeiden keskiarvo oli 145 lyöntiä minuutissa (vaihteluväli 119 - 187). Lamelliratkaisun asennuksessa maksimisykkeet olivat jonkin verran alhaisemmat, keskiarvon ollessa 136 lyöntiä minuutissa (vaihteluväli 113 - 152). Eroa ei voi kuitenkaan pitää täysin tilastollisesti merkitsevänä ( $p=0.057$ , Wilcoxonin testi riippuville otoksille).

Sykkeestä arvioitu kokonaisenergiankulutus oli merkitsevästi pienempi lamelliratkaisun asennuksessa kuin perinteisen villan asennuksessa (kuva 19). Keskimäärin kokonaisenergian kulutus perinteistä villaa asennettaessa oli 21 % suurempi (vaihteluväli 9 - 46 %) kuin lamelliratkaisua asennettaessa.

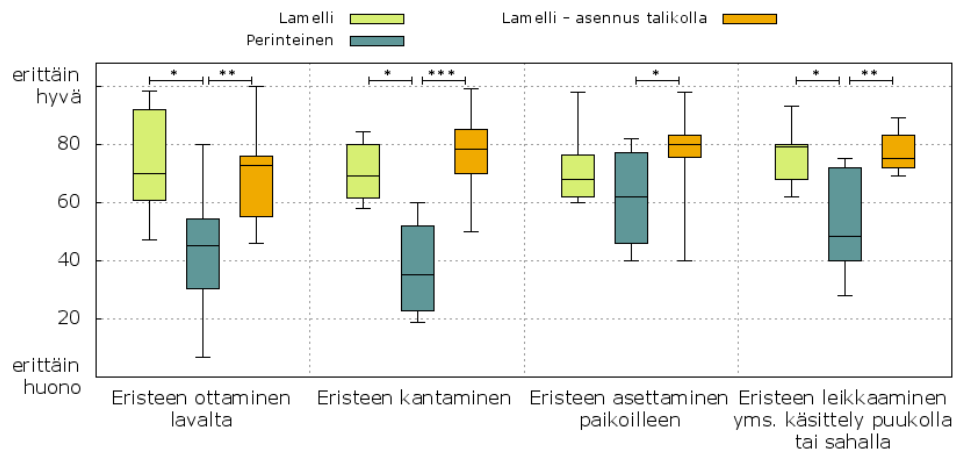


Kuva 19. Sykkeestä arvioitujen energiankulutusten jakaumat työsimulaatioiden ajalta. Kuvassa tilastollisesti merkitsevä ero (Wilcoxon) eristeratkaisujen välillä on ilmaistu merkinnällä \*\* ( $p < 0,01$ )

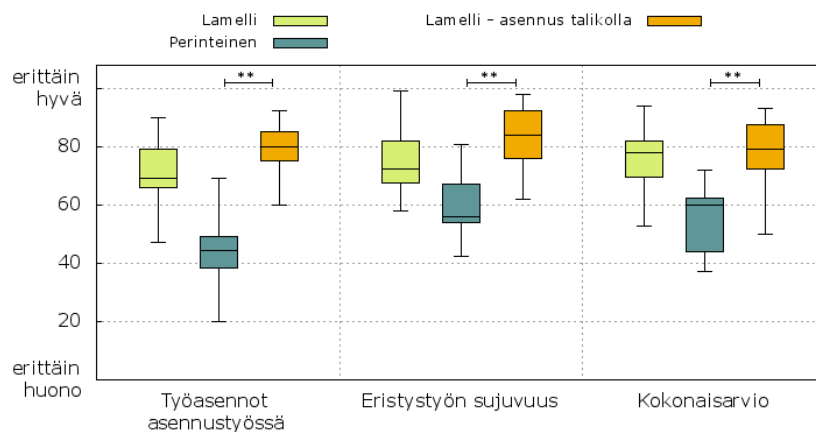
## 5.6. Käytettävyyskysely

Vastaajia pyydettiin arvioimaan tuotteiden käytettävyyttä eristystyön eri tilanteissa. Arviointi tehtiin 100 mm VAS –janalle kullekin tilanteelle ja eristeelle/työtavalle erikseen.

Vastausten ( $n=9$ ) jakaumat on esitetty kuvissa 20 ja 21. Kaikissa arvioiduissa käytettävyyden kohdissa OL-LAM ja erityisesti OL-LAM talikolla asennettuna arvioitiin merkitsevästi paremmaksi kuin perinteinen eristevilla.



Kuva 20. VAS-arvioinnit ( $n=9$ ) eristeiden käytettävyydestä asennustyön eri vaiheissa. Tilastollisesti merkitsevät erot (Friedman) eristeiden ja asennustapojen välillä on ilmaistu merkinnöillä \* ( $p < 0,05$ ), \*\* ( $p < 0,01$ ) ja \*\*\* ( $p < 0,001$ ).



Kuva 21. VAS-arvioinnit ( $n=9$ ) eristeiden käytettävyydestä asennustyön eri vaiheissa ja kokonaisarvio eristeiden/työtavojen hyvyydestä. Tilastollisesti merkitsevät erot (Friedman) eristeiden ja asennustapojen välillä on ilmaistu merkinnällä \*\* ( $p < 0,01$ ).

## Paremmuusjärjestykseen asettaminen

Kyselyn lopussa vastaajia pyydettiin asettamaan eristeillat/työtavat paremmuusjärjestykseen (1., 2. ja 3.) ajatellen testitilannetta. Järjestysluku 1 tuli antaa eristeelle/työtavalle, joka tuntui testitilanteessa mieluisimmalta ja 3. eristeelle/työtavalle, joka oli vähiten mieluisa.

Hyväksytyjä vastauksia tähän kysymykseen tuli 7 kpl. Eristeiden/työtavojen saamien järjestyslukujen lukumäärät on esitetty taulukossa 3. Arviointien perusteella OL-LAM asennus talikolla sai merkitsevästi paremman arvosanan kuin perinteinen villa (post hoc testin  $p$ -arvo = 0.043).

Taulukko 3. Eristeiden/työtavojen saamien järjestyslukujen jakautuminen.

	1.	2.	3.
Tavallinen villa	1 kpl	0 kpl	6 kpl
Lamelli, käsin asennus	1 kpl	6 kpl	0 kpl
Lamelli, talikolla asennus	5 kpl	1 kpl	1 kpl



## Kyselyyn kirjattuja kommentteja

---

Lomakkeen loppuun koehenkilöillä oli mahdollisuus kirjoittaa kommenttejaan tutkimuksesta, tutkimuksessa olleista tuotteista tai yleensä ergonomiasta työssään. Lomakkeille kirjatut kommentit olivat seuraavat:

- (OL-LAM) Vaatii tottumista / työkalut pitää etsiä sopivaksi. Esim. talikko oik. mittaiseksi
- (Vanha) villa vetää vielä voiton uudesta. Mutta ei testiä enempää ole kyllä kokemustakaan uudesta tuotteesta.
- OL-LAM olisi mielenkiintoista kokeilla oikein katolla.
- Lamelli helpompi asentaa, kumartelua vähemmän.
- (OL-LAM tuo) Jotain vaihtelua ja ehkä myös kevyempää villoitustyötä. Kannattaa kokeilla.
- OL-LAM huomattavasti miellyttävämpi tuote

## 5.7. Havainnoja tutkimuksesta

### Työasennot OL-LAM asennuksessa

---

Tutkimusasetelmassa koehenkilöt asensivat OL-LAM eristevillan ensimmäisen osuuden paikalleen käsin nostellen ja sen jälkeen käyttäen avukseen tarkoitukseen modifioitua talikkoa (kuva 3). Kummallakin asennustavalla työparit kaatoivat maahan aluksi joko koko lavallisen eristelamelleja (kuva 23) tai yhden kolmesta lavan pinosta (kuva 22).



Kuva 22. Lamellipinon kaataminen

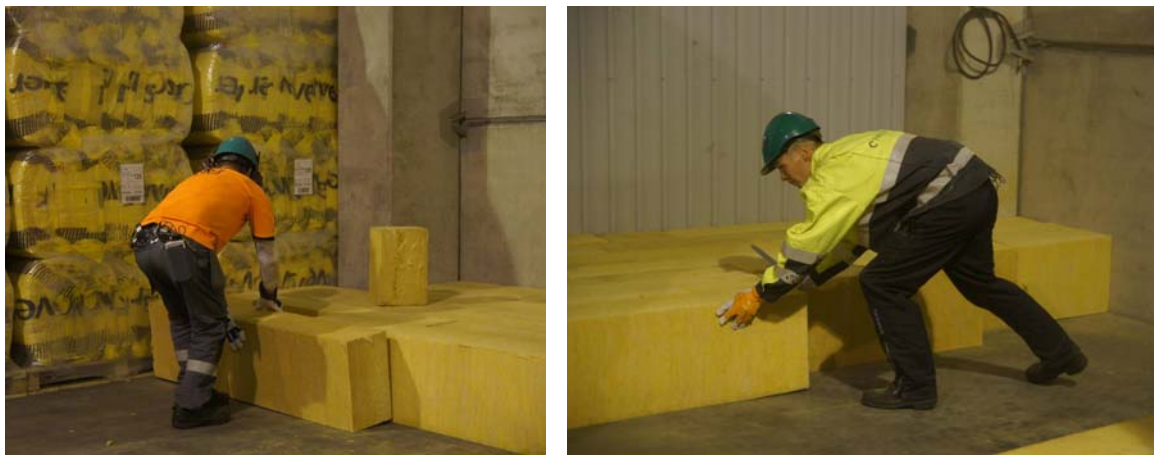


Kuva 23. Koko lamellilavan kaataminen.

Kun eristelamellit oli kaadettu maahan, käsin asennettaessa lähes jokaiseen eristelamellin ottoon liittyi voimakas selän kumara asento (kuva 24). Samalla tavoin lamellin paikalleen asettamiseen liittyi usein voimakas kumarrus (kuva 25). (Selän asentojen mittaustulokset on esitetty kohdassa 5.4 Selän asennot).



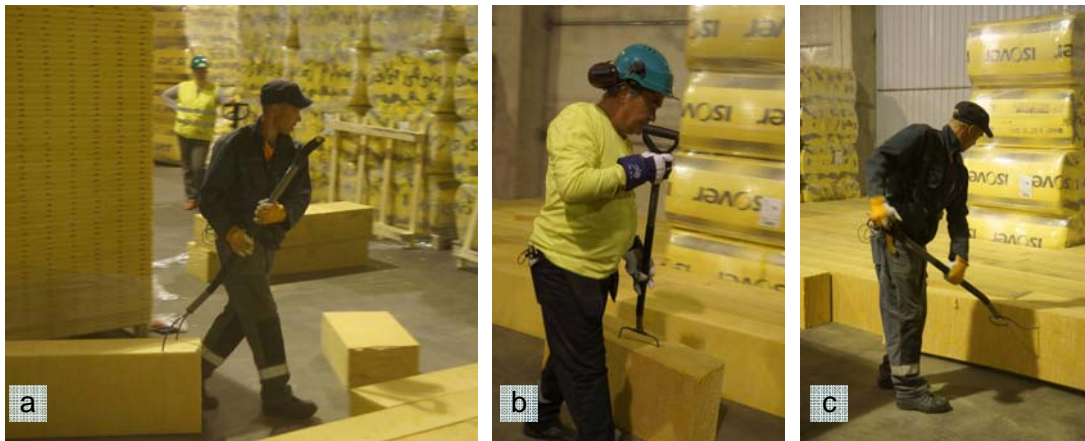
Kuva 24. Selän kumarat asennot OL-LAM lattialta otettaessa.



Kuva 25. Selän kumaria asentoja asetettaessa OL-LAM eristettä paikalleen.

Nähdyt työasennot johtuvat osittain koehenkilöiden tottumattomuudesta uuteen tuotteeseen. Erityisesti lamellin asettaminen paikoilleen tehtiin varovaisen oloisesti, jolloin selkä usein turhaan kumartui. OL-LAM eristeen kappalepaino on vähemmän kuin puolet perinteisen OL-P eristelevyn painosta. Tämä myös mahdollistaa lamellieristeen käsittelyn hankalissakin asennoissa ilman välitöntä kuormittumisen tunnetta.

Kun koehenkilöt ottivat käyttöönsä asennuksen apuvälineen, kohentuivat havaitut työasennot merkittävästi (kuva 26).



Kuva 26. Esimerkkejä apuvälineen käytöstä OL-LAM asennuksessa. a) ja b) Lamellin siirtäminen kevyesti lattiaa pitkin vetämällä c) Lamellin asettaminen paikoilleen apuvälineellä auttaen.

## Apuvälineen kanssa työskentely

Käytettäessä talikkoa OL-LAM eristeen asennuksessa, vältetään selän turhaa kumartelua. Edellä kuvassa 26 oli esimerkkejä siitä, kuinka eristettä siirrettiin lattiaa pitkin apuvälineellä auttaen. Kuvassa 27 näkyy, kuinka henkilö kääntää lamellin talikolla parempaan kuljetus-asentoon. Näissä tilanteissa apuväline merkittävästi sujuvoitti työntekoa ja vähensi liikuntaelinten kuormittumista verrattuna tilanteeseen, jossa ei käytettäisi apuvälinettä.



Kuva 27. Koehenkilö pyöryttää nopeasti talikolla eristeen kyljelleen.

Lihassähköisen aktiivisuuden tuloksissa havaittiin talikkoa käytettäessä mm. selän oikean puolen lihasten aktiivisuuden kohoamista (kuva 13). Tämä johtuu todennäköisimmin lamellien kantamisesta talikolla (kuva 28). Testitilanteessa yleisesti käytetty tapa kantaa lamelleja talikolla ei ole jatkuvasti käytettynä suositeltava. Kantamisen aiheuttamaa lihaskuormitusta selälle voi tasoittaa vaihtelemalla puolta, jolla lamellia kantaa. Lamellin siirtäminen asennusalustaa pitkin vetämällä lienee vähiten kuormittava vaihtoehto, mikäli vain alusta mahdollistaa tällaisen siirtämisen.



Kuva 28. Työsimulaatioissa nähty tavallinen tapa siirtää lamelleja talikolla nostaan.

Ensimmäisillä työpareilla oli käytössään talikko, jossa piikit olivat n. 10 cm pidemmät kuin kahdella viimeisellä parilla. Havainnot työn sujuvuudesta eri työpareilla osoittivat, että lyhyt-piikkinen versio toimi apuvälineenä paremmin. Käytännössä asennustyötä tekevien kannattaa kokeilla erilaisia apuvälineitä, jotta he löytävät itselleen parhaiten soveltuvan mallin. Mm. testissä käytetyn talikon varsi oli selvästi joillekin koehenkilöille liian pitkä.

## 6. Yhteenveto

Tutkimuksessa verrattiin kahden (perinteinen ratkaisu ja lamelliratkaisu) loiville katoille tarkoitetun eristeratkaisun asennustyön kuormittavuutta sekä ratkaisujen vaikutusta eristystyön ergonomiaan. Tutkimuksessa viisi työparia suoritti vakioidun asennustyön kummallakin eris-

teratkaisulla. Asennustyön kuormittavuutta arvioitiin fysiologisten (syke, lihassähköinen aktiivisuus ja selän asento) ja subjektiivisten mittareiden (koettu kuormittuneisuus ja ratkaisujen käytettävyysselvitys) perusteella.

Tutkimuksessa nähtiin, että eristeratkaisulla oli vaikutusta kattoeristystyön fyysiseen kuormittavuuteen ja työergonomiaan. Lamelliratkaisu vähensi kattoeristäjien fyysistä kuormittuneisuuskokemusta. Lihassähköisellä aktiivisuudella arvioiden lamelliratkaisu asennettiin vähemmällä lihastyöllä kuin perinteinen ratkaisu. Koehenkilöt kokivat lamelliratkaisun käytettävyydeltään miellyttävämmäksi kuin perinteisen ratkaisun. Apuvälineen käyttö lamellin asennustyössä lisäsi tyytyväisyyttä lamelliratkaisuun. Työsimulaatioissa kävi kuitenkin selväksi, että tämänkin apuvälineen käyttöä tulee harjoitella, jotta siitä saadaan käytännössä suurin hyöty sujuvampana ja vähemmän kuormittavana työnä.

Jokainen työpari asensi lamelliratkaisun nopeammin kuin perinteisen ratkaisun. Perinteisen ratkaisun asentaminen vei keskimäärin 18 % (vaihteluväli 2 % - 30 %) enemmän aikaa kuin lamelliratkaisun asentaminen. Sykkeiden keskimääräiset arvot eivät eronneet merkittävästi toisistaan, Sen sijaan lamelliratkaisun asennustyön aikana rekisteröidyt sykkeiden maksimitasot olivat jonkin verran alhaisempia kuin perinteisen ratkaisun asennustyön aikaiset maksimitasot. Nopeutuneen ja sujuvamman asennuksen myötä nähtiin merkitseviä eroja samankokoisen alueen eristämistyön kuormittavuudessa lamelli ja perinteisen eristeratkaisun välillä.

## 7. Kirjallisuus

Borg G. 1970. Perceived exertion as an indicator of somatic stress. *Scan J Rehab Med* 2:92-98.

Borg GAV. 1982. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc* 1982;4:377-81.

Borg G. 1990. Psychophysical scaling with application in physical work and the perception of exertion. *Scandinavian journal of work, environment & health* 16 (suppl 1), 55-58.

Hermens, H. J. et al. (1999). *European Recommendations for Surface ElectroMyoGraphy*. Roessingh Research and Development.

R Development Core Team (2008). *R: a language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>

Toivonen R, Takala EP, Viikari-Juntura E. (1997). Placement of surface electrodes in the assessment of hand force requirements in manual tasks, in *European Applications of Surface Electromyography, Proceedings of the second general SENIAM workshop*, Stockholm, Sweden, June 1997, ISBN 90-75452-06-3

Zipp P. (1982). Recommendations for the standardization of lead positions in surface electromyography. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 50, 41-54.