

# Mitoittavat tilanteet tulipalon aikaisessa poistumisessa

Kokeellinen tutkimus

Tuomo Rinne | Terhi Kling | Peter Grönberg |  
Timo Korhonen



VTT TECHNOLOGY 70

# **Mitoittavat tilanteet tulipalon aikaisessa poistumisessa**

Kokeellinen tutkimus

---

Tuomo Rinne, Terhi Kling, Peter Grönberg & Timo Korhonen



ISBN 978-951-38-7906-8 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)  
ISSN 2242-122X (URL: <http://www.vt.fi/publications/index.jsp>)Copyright

Copyright © VTT 2012

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT  
PL 1000 (Tekniikantie 4 A, Espoo)  
02044 VTT  
Puh. 020 722 111, faksi 020 722 7001

VTT  
PB 1000 (Teknikvägen 4 A, Esbo)  
FI-02044 VTT  
Tfn +358 20 722 111, telefax +358 20 722 7001

VTT Technical Research Centre of Finland  
P.O. Box 1000 (Tekniikantie 4 A, Espoo)  
FI-02044 VTT, Finland  
Tel. +358 20 722 111, fax +358 20 722 7001

Toimitus Anni Repo

## Mitoittavat tilanteet tulipalon aikaisessa poistumisessa

Kokeellinen tutkimus

On bottleneck scenarios in evacuation design. An experimental study.

**Tuomo Rinne, Terhi Kling, Peter Grönberg & Timo Korhonen.**

Espoo 2012. VTT Technology 70. 134 s. + liitt. 22 s.

## Tiivistelmä

Tässä julkaisussa esitetään kokeelliseen tutkimukseen perustuen tuloksia ja havaintoja neljästä erilaisesta koeasetelmasta, jotka liittyivät mm. pelastushenkilöstön ja poistuvien ihmisten vastavirtausilanteisiin ja ihmisten liikkumiseen poistumisturvallisuuden kannalta mitoittavimmissa rakennuksen kohdissa, kuten portaikoissa ja oviaukoissa. Lisäksi hankkeessa tarkasteltiin kulkureittien ja ovien valintaan liittyviä tilanteita ja ihmisten liikkumista näkyvyyden ollessa rajoitettua.

Kokeet toteutettiin erillisinä ja valvottuina harjoituksina, joihin osallistui vapaaehtoisia koehenkilöitä (opiskelijoita ja varusmiehiä). Fyysisesti raskaimmissa kokeissa koehenkilöiden kuntotaso oli yleisesti ottaen hyvä ja BMI normaali.

Ovikokeissa toteutettiin yhden päivän aikana kuusi erilaista koetta, jotka pitivät sisällään useita toistoja. Kiinnostavina asioina haluttiin selvittää mm. ovilehden muuttuvien ominaisuuksien vaikutusta ovivirtaukseen, jononmuodostusta, ruuhkan ja tungoksen tuntemusta ja erilaisten lukkomekanismien käyttöä. Esimerkiksi jonoissa kulkemisessa ja sen muodostumisessa oli havaittavissa, että keulan rooli on merkittävä (reitin valinta, kävelynopeus, reagointi, vastavirtausilanteet) ja muu takana tuleva jono seuraa keulaa hyvinkin vahvasti. Pelastajien kohtaaminen oviaukossa vastavirtausilanteessa ei eronnut tavallisten ihmisten kohtamisesta, sillä oviaukkovirtausarvot ja ihmisten vastausten perusteella tulkittu käyttäytyminen olivat jokseenkin samoja riippumatta siitä, oliko vastassa pelastaja vai tavallinen ihminen. Vihreän kuvun rikkomiseen liittyvät kokeet yllättivät, sillä tulosten valossa vain 44 % henkilöistä pääsi ovesta läpi rikkomalla kuvun. Vähäisen onnistumisprosentin taustalla on paljon opittua ja omaksuttua tietoa sekä käyttäytymiseen ja päätöksentekoon liittyviä tekijöitä, joita kaikkia ei tässä koesarjassa pystytty määrittämään. Poistumisharjoituksissa pitäisi painottaa eri turvallisuusratkaisuihin tutustumista siten, että vähintään kiinteistön henkilökunnan tulisi olla tietoisia, tässä tapauksessa, erityyppisten ovimekanismien toimintaperiaatteista poikkeustilanteessa.

Portaasiin liittyvissä kokeissa havaintoja voitiin tehdä mm. pitkissä portaissa tapahtuvasta etenemisnopeuden hidastumisesta nousun aikana. Kierreportaiden tapauksessa etenemisnopeutta suositellaan kuvaamaan pystysuoralla nopeuskomponentilla, koska muut esitystavat (vaakasuora tai kalteva nopeus) eivät ole kierreportaiden tapauksessa yksikäsitteisiä. Tutkimuksen keskeisiä havaintoja oli, että pystysuora etenemisnopeus kierreportaissa riippuu suuresti portaiden geometriasta sekä ylös- (0,22–0,39 m/s) että alaspäin (0,33–0,48 m/s) mentäessä. Suoritetuissa kokeissa pystysuorat etenemisnopeudet olivat suurempia jyrkissä kuin loivissa portaissa. Etenemisnopeus hidastui ylöspäin mentäessä pitkissä

portaissa 15–39 % portaiden pituudesta ja kaltevuudesta riippuen; laskeutumisnopeuksissa vastaavaa trendiä ei voitu havaita. Vastavirtaus hidasti portaita ylöspäin tehtävää letkuselvitystä n. 24 %. Myötävirtaus hidasti portaita alaspäin tehtävää pelastamista n. 41 %. Alaspäin poistuvien henkilöiden eteneminen hidastui vastaavissa tilanteissa n. 32 % (letkuselvitys vastavirtaan) ja n. 22 % (pelastaminen myötävirtaan).

Hankkeessa tehtiin myös Aalto-yliopiston opiskelijoilla vastavirtakokeita 2,7 m leveässä käytävässä, jossa suurehkoa pääjoukkoa vastaan käveli alle kymmenen hengen kokoisia vastavirtaryhmiä niin, että joukot kohtasivat toisensa käytävän mutkassa, jolloin ne eivät voineet reagoida toisiinsa ennakolta. Vain vastavirtaryhmän koolla nähtiin olevan pientä vaikutusta pääjoukon etenemiseen. Kaiken kaikkiaan pääjoukon eteneminen oli varsin sujuvaa, ja selkeää kaistoittumista oli havaittavissa, eli samaan suuntaan menevät ihmiset pyrkivät seuraamaan toisiaan. Lopputulemana kokeista voidaan sanoa, että pienehkön vastavirtaan kulkevan ryhmän vaikutus pääjoukon liikkeeseen on hyvin vähäistä, eli esimerkiksi henkilökunnan (laivat) tehtävistä johtuva vastavirtaus ei juurikaan vaikuta poistuviin henkilöihin vaakasuorissa käytävissä. Portaikoissa tilanne voi olla toinen johtuen porrasaskelmien vaikutuksesta ihmisten mahdollisuuteen väistää toisiaan tehokkaasti.

Näkyvyyden heikkenemiseen liittyvät kokeet tarjosivat geometrian, jossa kukaan koehenkilöistä ei ollut käynyt aiemmin. Kirjallisuuden perusteella vastaavia näkyvyyden heikkenemiseen liittyviä kokeita oli suoritettu aiemmin vain kaksi, jotka nekin poikkesivat toisistaan. Tutkimusilmiönä haluttiin tarkastella yksikertaisessa geometriassa (käytävä) asteittain heikentyvän näkyvyyden vaikutusta kävelynopeuteen ja samalla tutkia reitin oppimista. Kokeet suoritettiin yksilötasolla. Vertailuryhmän (ryhmä 1) suoritusta tarkasteltaessa havaittiin, että absoluuttiset kävelynopeudet pysyivät kokeiden 1–3 välillä jokseenkin samoina, mutta pääsääntöisesti suurempina kuin muilla ryhmillä vastaavissa kokeissa. Samoin kyselyn tuloksista oli pääteltävissä samainen trendi. Tämä selittyy osaksi juuri geometrian oppimisella ja koetilanteeseen totumisella. Asteittain heikentyneen näkyvyyden havaittiin laskevan kävelynopeuksia yleisesti ottaen. Muutos kokeiden ääritilanteiden välillä tilan kävelynopeuksissa oli kaikki tulokset huomioiden n. 1,4–1,5 m/s:stä 0,4–0,5 m/s:iin. Lukuarvot ovat aavistuksen suurempia kuin vastaavat alan kirjallisuudessa esitetyt arvot ovat.

Tämän tutkimuksen tulokset tarjoavat määrällisen ja laadullisen tietopaketin ennen kaikkea geometrian ja ympäristön vaikutuksesta poistumistilanteeseen. Tietoja voidaan hyödyntää ja käyttää yleisesti poistumisturvallisuuden kehitystyössä ja arvioinnissa, eräänä sovellusesimerkkeinä esim. korkeiden rakennusten ja maanalaisten tilojen suunnittelu.

**Avainsanat** spiral stairs, human flow, counter flow, low visibility, evacuation experiments, bottleneck situation, human behaviour, fire fighting, rescue operation

## **On bottleneck scenarios in evacuation design**

An experimental study

Mitoittavat tilanteet tulipalon aikaisessa poistumisessa. Kokeellinen tutkimus.

**Tuomo Rinne, Terhi Kling, Peter Grönberg & Timo Korhonen.**

Espoo 2012. VTT Technology 70. 134 p. + app. 22 p.

## **Abstract**

This publication represents experimental results and observations of four different setups relating to counter flow situations between fire fighters and evacuees. Human movement and bottle neck situations in stairwells and doorways were also examined. In addition, experiments related to a route choice, door selection, and gradually decreased visibility conditions were carried out.

The experiments were conducted separately and under controlled circumstances. The subjects (evacuees) were conscripts and students of Emergency Services College and Aalto University. Physical condition of the subjects was good evaluated in terms of Cooper-test results and body mass index (BMI) values.

In door geometry related scenarios six tests were performed. All six tests kept inside several sub-scenarios. Among others, following scenarios were performed: door leafs' effects to human flow, a queue forming, congested situations, and usage of different lock devices. For instance, queue movement and the actions of it (route choice, walking speed, reaction, and counter flow situations) were controlled by the first persons in line. Tests including fire fighters' and subjects' counter flow situations were analogical to two normal subjects' queue counter flow situations in terms of measured human flow values and questionnaire answers. Another test setup showed that the subjects managed to break a green latch cover eight (8) times out of 18 (44%), which can be considered as a poor result. Nevertheless, this result can guide fire drills so that people and staff would notice better all safety devices – especially locking related devices in buildings.

In stairwell related experiments, observations were noticed in a vertically long stairs where travelling speed decreased during rise. In spiral stairs, walking speed should be referred as a vertical speed (neither horizontal nor inclined speed) unless exact length of the walking path is known. The quantitative values for vertical walking speed were 0.22–0.39 m/s (upwards) and 0.33–0.48 m/s (downwards). The percentage decrease of vertical walking speed was 15–39 % (upwards) depending on the length and the slope of the spiral stairs. Similar phenomenon was not observed when going downwards. A counter flow situation upwards with normal subjects and fire fighters decreased the fire hose clearance time by 24%. Bypass flow decreased rescue operation duration by 41%. Downward walking speed of evacuees decreased 32% (counter flow) and 22% (bypass flow during rescue operation).

Counter flow experiments were carried out also in a corridor, where two minor groups separately walked towards one bigger group. The geometry was set so

that the approaching groups did not notice each other because corner blocked the view at the starting point. The minor group size was only parameter affecting bigger group results in terms of walking speed. Other observations were found where people formed lines (i.e. followed others) during tests. The results can be generalized for example situations where staff is moving towards evacuating people. Our results suggest the effect is quite little and the movement of major group does not become disturbed.

The experiment related to gradually decreased visibility conditions were performed in geometry that no one evacuee had seen beforehand. In general, only few experiments handling variable visibility conditions were done in literature. All tests were performed at individual level, where first group members carried out four different scenarios in different visibility conditions. Other three groups (2nd–4th) were performing only one test each with constant visibility. First scenario had visibility at least 26 m (group 1), the second 10–12 m (groups 1 and 2), the third 5–7 m (groups 1 and 3), and the fourth up to 0.25 m (groups 1 and 4). Taken into account all the results, the walking speeds varied from 1.4–1.5 m/s (clear conditions) to 0.4–0.5 m/s (visibility up to 0.25 m).

**Keywords** spiral stairs, human flow, counter flow, low visibility, evacuation experiments, bottleneck situation, human behaviour, fire fighting, rescue operation



## Alkusanat

Tämä julkaisu on tutkimushankkeen TULPPA (Tulipalon aikaisen poistumisen ja pelastamisen ääritilanteita) loppuraportti. Hanke toteutettiin vuosien 2011 ja 2012 aikana. Hankkeen toteutuksesta ja koordinoinnista vastasi VTT. Kokeellinen tutkimus toteutettiin yhteistyössä Pelastusopiston, Karjalan Lennoston ja Aalto-yliopiston kanssa.

Kiitokset osoitamme hanketta rahoittaneille tahoille ja yrityksille, joita olivat Palosuojelurahasto, Abloy Oy, sisäasiainministeriö, ympäristöministeriö, L2 Paloturvallisuus Oy ja VTT. Omalla ja merkittävällä työpanoksellaan hanketta avustivat Pelastusopisto, Karjalan Lennosto ja Aalto-yliopiston Perustieteiden korkeakoulun systeemiaanalyysin laboratorio.

Hankkeen ohjausryhmään kuuluivat julkaisun tekijöiden lisäksi seuraavat henkilöt: pj. Sauli Halttunen (Karjalan Lennosto), varapj. Pauli Nurminen (Suomen Palopäälystöliitto), Timo Tallus (Abloy Oy), Vesa-Pekka Tervo ja Jarkko Häyrynen (sisäasiainministeriö), Jorma Jantunen (ympäristöministeriö), Tommi Nieminen (L2 Paloturvallisuus Oy), Timo Loponen ja Kimmo Vähäkoski (Pelastusopisto), Jari Pouta (Suomen Pelastusalan Keskusjärjestö) ja Eila Lehmus (VTT).

Aktiivisen ohjausryhmän lisäksi haluamme kiittää lisäksi seuraavia henkilöitä ja tahoja, jotka omalla määrätietoisella, motivoituneella ja ymmärtäväisellä asenteellaan ja toiminnallaan edistivät osaltaan hankkeen toteutusta: Kuopion kaupunki, Lippumäen uimahallin henkilökunta, Puijon tornin henkilökunta, Pelastusopiston (v. 2012) päälystökurssin opiskelijat Samuli Kräkin ja Timo Lehtonen, Aalto-yliopiston professorit Harri Ehtamo ja Juha-Matti Kuusinen sekä Erkki Saarinen, Matti Halonen ja Jukka Mäkinen (VTT).

*Tekijät*

# Sisällysluettelo

<b>Tiivistelmä .....</b>	<b>3</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>5</b>
<b>Alkusanat.....</b>	<b>7</b>
<b>Määritelmiä .....</b>	<b>11</b>
<b>1. Johdanto .....</b>	<b>12</b>
<b>2. Aineisto ja menetelmät.....</b>	<b>14</b>
2.1 Yleistä.....	14
2.2 Mittausvälineet .....	15
2.3 Koehenkilöt .....	15
<b>3. Ovikokeisiin liittyvä koesarja.....</b>	<b>18</b>
3.1 Kirjallisuuskatsaus ovigeometriaan liittyvistä kokeista.....	18
3.2 Ovikokeiden tavoitteet.....	22
3.3 Ovikokeiden koeasetelmat .....	23
3.3.1 Yleistä ovikokeista .....	23
3.4 Koe OVI 1: Jononmuodostus.....	25
3.4.1 Taustaa OVI 1 -kokeeseen .....	25
3.4.2 Suoritus OVI 1 -kokeessa.....	26
3.4.3 Tulokset OVI 1 -kokeessa .....	27
3.4.4 Kyselykaavakkeiden tulokset OVI 1 -kokeessa.....	28
3.4.5 Tulosten analysointia OVI 1 -kokeessa .....	29
3.5 Koe OVI 2: Kaksilehtisen oven käyttöaste.....	30
3.5.1 Taustaa OVI 2 -kokeeseen .....	30
3.5.2 Suoritus OVI 2 -kokeessa.....	30
3.5.3 Tulokset OVI 2 -kokeessa .....	31
3.5.4 Kyselykaavakkeen tulokset OVI 2 -kokeessa .....	32
3.5.5 Tulosten analysointia OVI 2 -kokeessa .....	32
3.6 Koe OVI 3: Geometrian vaikutus oviaukkovirtaukseen .....	33
3.6.1 Taustaa OVI 3 -kokeeseen .....	33
3.6.2 Suoritus OVI 3 -kokeessa.....	35

3.6.3	Tulokset OVI 3 -kokeessa .....	36
3.6.4	Kyselykaavakkeen tulokset OVI 3 -kokeessa .....	37
3.6.5	Tulosten analysointia OVI 3 -kokeessa .....	38
3.7	Koe OVI 4: Vihreän kuvun rikkominen .....	39
3.7.1	Taustaa OVI 4 -kokeeseen .....	39
3.7.2	Suoritus OVI 4 -kokeessa .....	40
3.7.3	Tulokset OVI 4 -kokeessa .....	41
3.7.4	Kyselykaavakkeen tulokset OVI 4 -kokeessa .....	43
3.7.5	Tulosten analysointia OVI 4 -kokeessa .....	44
3.8	Koe OVI 5: Vastavirtaus oviaukossa .....	45
3.8.1	Taustaa OVI 5 -kokeeseen .....	45
3.8.2	Suoritus OVI 5 -kokeessa .....	46
3.8.3	Tulokset OVI 5 -kokeessa .....	47
3.8.4	Kyselykaavakkeen tulokset OVI 5 -kokeessa .....	48
3.8.5	Tulosten analysointia OVI 5 -kokeessa .....	49
3.9	Koe OVI 6: Ovilehden momentti ja aukeamiskulma .....	50
3.9.1	Taustaa OVI 6 -kokeeseen .....	50
3.9.2	Suoritus OVI 6 -kokeessa .....	50
3.9.3	Tulokset OVI 6 -kokeessa .....	52
3.9.4	Kyselykaavakkeen tulokset OVI 6 -kokeessa .....	54
3.9.5	Tulosten analysointia OVI 6 -kokeessa .....	54
<b>4.</b>	<b>Porraskokeet .....</b>	<b>56</b>
4.1	Kirjallisuuskatsaus porrageometriassa tehtyihin kokeisiin .....	56
4.2	Tavoitteet .....	59
4.3	Kohteet .....	60
4.3.1	Pelastusopiston letkutorni .....	60
4.3.2	Puijon torni .....	60
4.3.3	Lippumäen uimahalli .....	62
4.3.4	Pelastusopiston B-rakennus .....	62
4.4	Suoritus .....	63
4.5	Tulokset .....	67
4.5.1	Pelastusopiston letkutorni .....	67
4.5.2	Puijon torni .....	68
4.5.3	Pelastusopiston B-rakennus .....	73
4.5.4	Lippumäki .....	80
4.6	Kyselykaavakkeen tulokset .....	85
4.6.1	Puijon torni .....	85
4.6.2	Pelastusopiston B-rakennus .....	86
4.6.3	Lippumäki .....	88
4.7	Pohdintaa .....	89
<b>5.</b>	<b>Käytävällä suoritettut vastavirtauskokeet .....</b>	<b>91</b>
5.1	Taustatietoa yliopisto-opiskelijoiden käytölle poistumiskokeissa .....	91
5.2	Vastavirtakokeiden asetelma .....	93

5.3	Vastavirtakokeiden tavoitteet.....	97
5.4	Vastavirtakokeiden kulku .....	98
5.5	Vastavirtakokeiden tulokset.....	100
5.5.1	Vastavirtakokeiden kyselykaavakkeiden analyysi.....	100
5.5.2	Videoanalyysin tulokset vastavirtakokeille.....	101
5.6	Pohdintaa vastavirtakokeista.....	107
<b>6.</b>	<b>Näkyvyyden heikkenemiseen liittyvät kokeet.....</b>	<b>109</b>
6.1	Kirjallisuuskatsaus näkyvyyden heikkenemiseen liittyvistä kokeista ..	109
6.2	Suoritus.....	111
6.2.1	Yleistä.....	111
6.2.2	Kokeet.....	113
6.2.3	Koejärjestelyt.....	114
6.2.4	Koehenkilöille annettu tehtävän ja tilanteen kuvaus.....	116
6.2.5	Havainnointi ja tehtävät.....	116
6.2.6	Koekohtaiset erityisjärjestelyt .....	117
6.3	Tulokset .....	118
6.3.1	Koe 1: näkyvyys vähintään 26 m .....	119
6.3.2	Koe 2: näkyvyys 10–12 m .....	119
6.3.3	Koe 3: näkyvyys 5–7 m .....	120
6.3.4	Koe 4: näkyvyys enintään 0,25 m .....	121
6.4	Kyselykaavakkeen tulokset .....	122
6.5	Pohdintaa.....	123
<b>7.</b>	<b>Yhteenveto .....</b>	<b>126</b>
	<b>Lähdeluettelo.....</b>	<b>130</b>

## Liitteet

- Liite A: Kyselykaavakkeet
- Liite B: List of figures
- Liite C: List of tables

## Määritelmiä

*ominaishenkilövirta*: henkilöiden määrä esim. tehollista ovileveyttä (m) ja aikayksikköä kohden (s), leveys voi olla myös käytävän tehollinen leveys. Tehollinen leveys ei sisällä karmien leveyttä.

*oviaukkovirtaus*: henkilöiden määrä oviaukon läpi per aikayksikkö. Samaa analogiaa voidaan soveltaa esim. käytävävirtaukselle jonkin virtuaalisen tarkastelulinjan yli.

*ovien käyttöaste*: määrittelee, kuinka suuri osuus kaikista poistumiseen käytettävistä ovista on tullut käytetyksi poistumistilanteessa, esim. jos kahdesta vierekkäisestä ovesta vain toista käytetään, on tähän geometriaan liittyen ovien käyttöaste 50 %

*nollakoe*: koesarjassa tehtävä koe, jossa suoritetaan, joko hypoteettisesti tai muuhun tietoon perustuen, koeasetelma oletusparametrien arvoilla, joita muuttamalla muut (ei nollakokeet) koesarjan kokeet tehdään vertailtaviksi nollakokeeseen nähden

*vaakasuora nopeus*: portaissa etenemisen nopeuden vaakasuora komponentti

*pystysuora nopeus*: portaissa etenemisen nopeuden pystysuora komponentti

*kalteva nopeus*: portaiden kaltevuuden suuntainen etenemisnopeus

*nopeus liikkumissuuntaan*: vaakasuoran ja kaltevan nopeuden yhdistelmä pitkissä portaissa, joissa on portaiden välillä tasanteita

*skaalauskerroin*: kerroin, jolla portaissa kävelemisen nopeus suhteutetaan tasaisella kävelemisen nopeuteen

# 1. Johdanto

Ihmisten käyttäytyminen ja liikkuminen poikkeustilanteessa on poikkitieteellinen tapahtuma. Siinä yhdistyvät ympäristön ja henkilöiden vuorovaikutteisuus niin päätöksenteon eri vaiheissa kuin fysikaalisissa ilmiöissä. Paloturvallisuuden suunnittelussa ja kehittämisessä ihmisten liikkumista on mallinnettu jo pitkään perustuen käsinlaskentakaavoihin ja myöhemmin tietokoneavusteisiin malleihin. 2000-luvulla kehittyneisiin tulipalon simulointiohjelmiin on voitu yhdistää myös ihmisten liikkuminen ja poistuminen tulipalon uhan alta, jolloin simuloitava skenaario on lähempänä todellista tilannetta.

Haasteet, joita ihmisten liikkumisen mallinnuksessa kohdataan, liittyvät tapahtumiin, joita joko ympäristön geometria tai muut ympäröivät ihmiset aiheuttavat. Nämä tapahtumat eivät ole yleensä pysyviä vaan muuttuvat ajan suhteen hetkellisesti, paikallisesti ja vieläpä usein ihmisten tiedostamatta.

Mallien kehittämisen rinnalla kulkee vahvasti työkalujen verifiointi (ohjelma laskee oikein) ja validointi (ohjelma on käyttötarkoituksen mukainen). Jotta tavoitteisiin päästään, on malleihin käytettävien syötetietojen oltava kelvollisia. Ihmisten liikkumisen ja rakennuksesta poistumisen osalta tämä tarkoittaa hyvin pitkälti kokeellisen aineiston keräämistä ja analysointia. Tämänkaltaisen aineiston käsittelemisen tutkimusmielessä edellyttää, että koetilanteita monitoroidaan (esim. kiinteistöissä suoritettavat poistumisharjoitukset) tai että oikeista poistumistilanteista on saatavissa jälkikäteen esim. turvakamera-aineistoa.

Poistumisharjoituksesta saatavan tiedon määrä ja aineiston laatu riippuvat paljolti kohteesta itsestään ja sen turvallisuuskulttuurista. Normaalit kiinteistöissä suoritettavat poistumisharjoitukset tarjoavat olosuhteet, joissa poistuvat henkilöt ovat yleensä hyvin tietoisia tulevasta harjoituksesta. Tämä vaikuttaa henkilöiden poistumisen aikaiseen käytökseen mm. siten, että tuttujen reittien käyttö korostuu, kaikki rakennuksessa olevat poistuvat, reagointivaihe on hyvin samankaltainen eri henkilöiden kesken jne.

VTT toteutti kaksivuotisen tutkimushankkeen ”Koeaineiston kerääminen ja analysointi poistumistilanteista – EVACDATA” vuosina 2008–2010. Tuossa hankkeessa monitoroidut poistumisharjoitukset edustivat pääsääntöisesti tilanteita, joissa poistuvat henkilöt olivat ennakkoon tietoisia tulevasta harjoituksesta.

Käytännössä poistumisharjoituksia toteutetaan samassa kiinteistössä sen verran harvoin, että niistä on välttämätöntä tiedottaa etukäteen, jolloin harjoituksista

puuttuu yllätyksellisyys. Mikäli kohteessa on pidempi historia poistumisharjoituksista ja henkilökunta on koulutettua, voidaan harjoitusten tasoa muuttaa asteittain haastavammaksi mm. tuomalla keinosavua, sulkemalla joitain reittejä, liittämällä pelastusharjoitus mukaan jne. Tällaisessa harjoituksessa on mahdollista monitoroida jotain tiettyä osaa geometriasta, jolloin saadaan myös mahdollisia ongelmatilanteita tarkasteltua tutkimuksellisista lähtökohdista. Valitettavasti tämäntyyppisiä poistumisharjoituksia on liian vähän, jotta niistä voitaisiin tehdä systemaattisempia päätelmiä ja analyyseja.

Tämän kokemuksen pohjalta on syntynyt tarve toteuttaa tiettyjä valittuja poistumis- ja pelastamistilanteisiin liittyviä ongelmatilanteita yksittäisinä kokeina. Yksittäisinä kenttäkokeina suoritettavat tilanneharjoitukset mahdollistavat eri ilmiöiden tarkemman seurannan suuremmilla toistomäärillä. Tällöin koetilanteessa pystytään yksilöimään henkilöitä ja monitoroimaan tarkemmin myös yksilötasolla tapahtuvia ilmiöitä. Lisäksi valikoiduilla koeasetelmilla voidaan saavuttaa hyvinkin erilaisia tuloksia verrattuna tavanomaisiin poistumisharjoituksiin. Näiden seikkojen merkitys korostuu etenkin verrattaessa kohteiden suunnittelussa käytettyjä reuna-ehtoja (alkuperäiset mitoitusarvot ja ns. perustilanteet) ja käytön aikaista toiminnallisuutta (painotus mahdollisesti nk. herkkyystarkasteluissa), jossa myös henkilökunnan toiminta ja rooli otetaan tietoisemmin huomioon.

Tässä julkaisussa esitetään taustat, kokeiden kuvaukset ja niihin liittyvät tulokset neljästä eri koeasetelmasta, joita kutakin erikseen tai yhdessä voidaan pitää omatoimisesti liikkumaan kykenevien henkilöiden poistumisen kannalta mitoittavina tilanteina.

## 2. Aineisto ja menetelmät

### 2.1 Yleistä

Kokeisiin liittyvä suunnittelu aloitettiin syksyllä 2011 ja varsinaiset kokeet suoritettiin maaliskuussa 2012. Ennen suunnitteluvaihetta oli tutustuttu alan kirjallisuuteen ja pyrittiin löytämään sellaisia koeasetelmia, joita ei ollut tutkittu vielä runsaasti tai joiden jotkin jo tutkitut asiat kaipasivat uudelleen tarkastelua eri näkökohdista. Syksyn ja alkuvuoden 2012 aikana koepaikoilla käytiin tutustumassa useaan otteeseen mm. soveliaiden koepaikkojen löytämiseksi. Koehenkilöiden sijainnin (Kuopion seudulta) ja käytännön asioiden, esim. kuljetusten, takia päädyttiin valitsemaan koepaikat Kuopion alueelta. Nämä olivat Puijon torni, Lippumäen uimahalli, Pelastusopisto ja Karjalan Lennosto. Näiden lisäksi kokeita pidettiin Aalto-yliopiston tiloissa Espoossa. Kuopiossa suoritettavat kokeet tapahtuivat viikolla 13/2012. Edeltävä viikko oli nk. valmisteluviikko, jolloin tuleviin kokeisiin liittyen valmisteltiin mm. tarvittavat tilapäisrakenteet ja kuljetettiin paikalle tarvittavaa kalustoa ym. Kuopion seudulla koeasetelmat liittyivät portaikkoihin, oviceometrian ja näkyvyyden vaikutukseen. Aalto-yliopiston kokeet liittyivät kahden ryhmän vastaamiseen käytävällä.

Koepäivien sisältö oli rakennettu siten, että aamulla tehtiin tarvittavia asennuksia ennen kuin koehenkilöt saapuivat koepaikalle. Koepäivään sisältyi 2–3 taukoa (sis. lounastauon). Ennen koepäivää annettiin yleisen tason informaatio tulevasta, kuitenkin niin ettei tutkimuksellisista ilmiöstä puhuttu ja näin vaikutettu koehenkilöiden asenteisiin tai käyttäytymiseen. Tarkat ja lyhyet kuvaukset varsinaisista suorituksista (3–6 per päivä) annettiin juuri ennen kyseisten suoritusten aloitusta kootusti joko yksilö- tai ryhmätasolla. Koesuoritusten jälkeen koehenkilöt menivät ennalta sovitulle alueelle, jossa he täyttivät kyselylomakkeen ja olivat sijoittuneena siten ettei kommunikointia toisten ryhmien koehenkilöiden kanssa tapahtunut.

Kokeiden suorituksessa noudatettiin tutkimuksen eettisiä periaatteita (TENK 2009), joista varsinkin vahinkojen välttäminen oli huomioitu koetilanteessa riittäväällä valvonnalla. Kuopion alueella koetilanteessa oli tarkkailijoiden lisäksi koepaikan lähistöllä tarvittavaan ensiapuvalmiuteen kykenevä miehistö ja välineistö (mm. ambulanssi).



Kommunikointi koetta valvovien ja monitorivien henkilöiden osalta tapahtui VIRVE-puhelimilla, joilla pystyttiin taloudellisesti ja tehokkaasti viestimään mm. valmistelevien vaiheiden toteutumisesta sekä itse kokeenaikaisesta tapahtumasta.

## 2.2 Mittausvälineet

Koko tutkimushankkeessa koehenkilöiden monitorointi perustui koetta valvovien ja toimitsijoina olleiden henkilöiden havainnointiin sekä videokameroilla kuvattuun aineistoon. Toimitsijoita olivat VTT:n tutkijat (3–4 henkilöä) ja Pelastusopiston henkilökuntaan kuuluvat tai päällystökurssilta valmistuvat henkilöt (3 henkilöä). Tämän lisäksi Aalto-yliopiston tiloissa suoritetuissa kokeissa oli toimitsijoina VTT:n henkilöiden lisäksi kaksi henkilöä yliopiston puolelta.

Videokameroita oli kokeesta riippuen noin 4–6 kpl, ja ne asennettiin tyypillisesti muutamaa tuntia ennen koetta. Kamerapaikat oli luonnollisesti katsottu ja valmisteltu hyvissä ajoin ennen varsinaista koepäivää. Koska koepäivien pituus haluttiin pitää normaalin työajan mukaisena (koehenkilöiden takia), ei koepäivän aikana tauoilla ollut mahdollisuutta esim. ladata kamera-akkuja tai tehdä varmuuskopioita videotiedoista, vaan tämä hoidettiin ylimääräisillä vara-akuilla ja muistikorteilla. Varmuuskopiointi ja muu huolto suoritettiin vasta koepäivän päätteeksi. Videoaineistoa syntyi jo pelkästään Kuopion alueella tehdyissä kokeissa n. 20–30 h eli n. 150 GB. Videomateriaalia on näin voitu katsoa analysointivaiheessa useaan kertaan liittyen kvalitatiivisiin havaintoihin, mutta siitä on myös laskettu mm. eri tapahtumien kestoja tätä varten suunnitellulla työkalulla EvacCounter (Rinne ym. 2010).

Muutamassa kokeessa käytettiin myös dataloggeria, jolla tallennettiin valoporttien mittausdataa liittyen tapahtumiin, joissa piti määrittää henkilöiden liikkumisnopeuksia tai etenemistä jonkin tietyn sektorin yli. Ovikokeissa käytettiin lisäksi nk. lanka-anturia, jolla voitiin mitata jatkuvatoimisesti ovilehden aukeamista.

Jokaisessa kokeessa tietoja kerättiin lisäksi erillisillä kyselykaavakkeilla, joihin kerättiin yksittäisen koehenkilön perustietojen lisäksi tietoja koeasetelmasta. Kysymykset liittyivät paljon siihen, miten koehenkilöt olivat kokeneet koesuorituksen, tyypillisesti kolmiportaisella asteikolla. Kaavakkeessa esitettiin myös avoimia kysymyksiä. Kysymyskaavakkeet kokeittain esitetään liitteessä A.

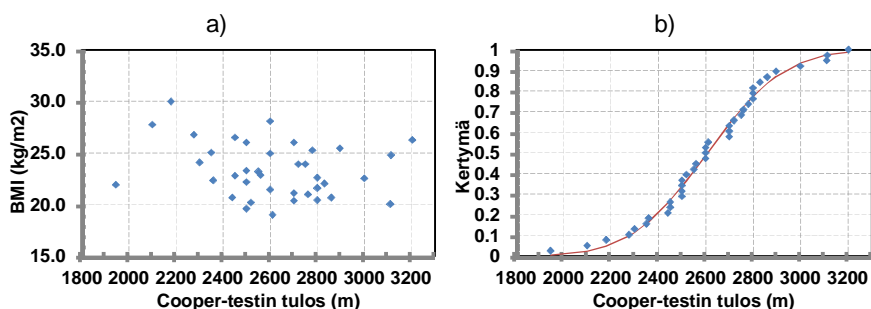
## 2.3 Koehenkilöt

Koehenkilöt olivat Kuopion alueella tehdyissä kokeissa pääasiassa varusmiehiä (n. 50 henkilöä) ja Pelastusopiston opiskelijoita (viisi henkilöä). Kuopion alueen kokeissa koehenkilöille jaettiin rintaan ja selkään numerolaput, joiden avulla heidät pystyttiin yhdistämään tarvittaessa videoanalyysistä ja kyselykaavakkeista saatuihin tietoihin. Kaikissa kokeissa päämääränä ei ollut tutkia yksilötason ilmiöitä vaan keskityttiin koko ryhmän suoritukseen.

## 2. Aineisto ja menetelmät

Kuopion alueen kokeissa perustiedoissa kysyttiin mm. kuntotasoa, ikää, pituutta, viimeisimmän Cooper-testin<sup>1</sup> tulosta jne. Näiden asioiden uskottiin vaikuttavan koeasetelmien fyysisimmissä suorituksissa.

Kuvassa 1 esitetään taustatietoja Kuopion koehenkilöiden kuntotasosta. Havaitaan, että BMI:n (body mass index, painoindeksi) ja Cooper-testin tuloksen välillä ei ole kovin vahvaa korrelaatiota. BMI-tuloksen perusteella koehenkilöistä 25 % oli lievästi ylipainoisia (arvo 25–29,9 kg/m<sup>2</sup>) ja loput 75 % normaalipainoisia (arvo 18,5–24,9 kg/m<sup>2</sup>). Vastaavasti Cooper-tuloksen perusteella henkilöt luokittuivat taulukon 1 mukaisesti. Pelastusopiston koehenkilöiden ikäjakauma oli 20–34 vuotta ja Karjalan Lennoston varusmiesten 19–21 vuotta. Sekä varusmiesten että Pelastusopiston opiskelijoiden joukossa oli kummassakin kaksi naista.



**Kuva 1.** Koehenkilöiden (varusmiehet) a) BMI:n ja Cooper-tuloksen välinen yhteys ja b) Cooper-tuloksen jakauma (yhtenäinen viiva normaalijakaumasovite  $\mu = 2607$  m ja  $\sigma = 257$  m).

**Taulukko 1.** Koehenkilöiden prosenttiosuudet ja luokittuminen viimeisimmän Cooper-testin tuloksen perusteella.

Prosenttiosuus kaikista	Luokitus	Luokitusperuste
5,6 %	huono	1600–2199 m
15,3 %	keskitaso	2200–2399 m
56,4 %	hyvä	2400–2800 m
22,7 %	erinomainen	yli 2800 m

Aalto-yliopiston tiloissa tehdyissä käytäväkokeissa opiskelijoita oli 83 henkilöä. Opiskelijoille jaettiin tarvittaessa lippalakit, jos jokin aliryhmä piti erottaa muusta joukosta. Opiskelijat täyttivät kokeiden jälkeen palautelomakkeen, jossa kyseltiin

<sup>1</sup> Cooper-testissä mitataan matkaa 12 min kestoisessa (juoksu)suorituksessa.

heidän taustatiedoistaan sukupuoli, ikä sekä arvio omasta kävelynopeudesta verrattuna muihin (opiskelijoihin) nähden. Koehenkilöistä 59 (71 %) oli miehiä ja 24 (29 %) naisia. Ikäjakauma ikäryhmittäin oli seuraava: 7 % 18–20-vuotiaita, 23 % 21–22-vuotiaita, 27 % 23–24-vuotiaita ja loput 43 % 25-vuotiaita taikka vanhempia. Oman kävelynopeutensa arvioi olevan normaaliksi 40 %, nopeahkoksi 54 % ja hitaahkoksi 6 %.

## 3. Ovikokeisiin liittyvä koesarja

### 3.1 Kirjallisuuskatsaus ovigeometriaan liittyvistä kokeista

Poistumistilanteessa henkilöt poistuvat turvalliselle alueelle (ulos, osastoidulle alueelle) uloskäytävien ja varateiden kautta. Suomen rakentamismääräyskokoelman osan E1 (RakMK 2011) luvussa 10 mainitaan poistumisen yleisistä vaatimuksista seuraavaa: ”Rakennuksesta tulee voida turvallisesti poistua tulipalossa tai muussa hätätilanteessa. Rakennuksessa tulee olla riittävästi sopivasti sijoitettuja, tarpeeksi väljiä ja helppokulkuisia uloskäytäviä niin, että poistumisaika rakennuksesta ei ole vaaraa aiheuttavan pitkä.”

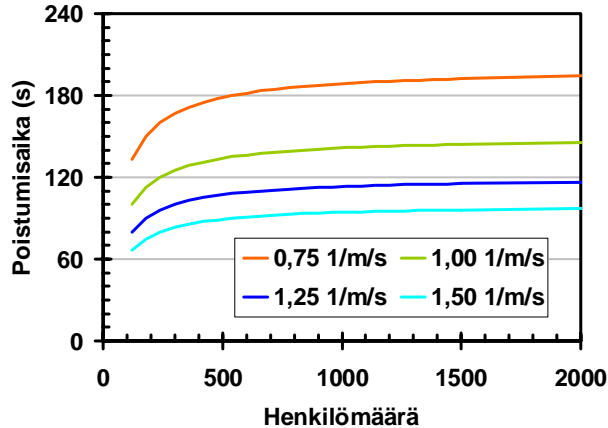
Poistumisreittien uloskäytävän leveyden tulee yleensä olla vähintään 1200 mm. Uloskäytäväleveys kasvaa henkilömäärän mukaan periaatteella 40 cm jokaista 60:tä henkilöä kohden, kun henkilömäärä on yli 120 henkilöä (RakMK 2011).

Asuntosuunnittelua koskevassa määräyksessä (RakMK 2005a) mainitaan ovista ja kulkuaukoista seuraavaa: ”Huoneiston ulko-ovelta asuinhuoneisiin ja muihin asumista palveleviin välttämättömiin tiloihin johtavien ovien ja kulkuaukkojen vapaan leveyden tulee olla vähintään 800 mm.”

Esteetöntä rakennusta koskevassa määräyksessä (RakMK 2005b) otetaan huomioon mm. pyörätuolilla liikkuvat henkilöt: ”Asuinrakennuksia lukuun ottamatta pyörätuolin ja pyörällisen kävelytelineen käyttäjille soveltuvien sisäänkäyntien ja tuulikaappien, käytävillä sijaitsevien ovien ja aukkojen sekä liikkumisesteisille soveltuvien hygieniatilojen ovien vapaan leveyden on oltava vähintään 850 mm. Kulkuväylältä hallinto-, palvelu-, liike- ja työtiloihin johtavien ovien vapaan leveyden on oltava vähintään 800 mm. Kynnykset saavat olla enintään 20 mm korkeita.”

Turvallisuustason, joka RakMK E1:ssä (2011) asetetaan esimerkiksi henkilö-määrään nähden kasvavan ovileveyden kautta, voidaan olettaa edellyttävän ovien käyttämistä tehokkaasti. Käytännössä ihmisten käytöksestä, ympäristön muutoksesta tai muusta teknisestä syystä johtuen ovien käyttöaste yltyä hyvin harvoin 100 %:iin. Lisäksi modernissa paloturvallisuussuunnittelussa voidaan mitoittaviksi skenaarioiksi ottaa tapauksia, joissa osa poistumisreiteistä ja -ovista on suljettuina, eikä näin ollen ovien käyttöaste yllä 100 %:iin, mutta silti kohteen riittävä turvallisuustaso pitää säilyttää.

RakMK (2011) ei sisällä suunnitteluarvoja ominaishenkilövirtoihin. Kuitenkin vähimmäisovileveysvaatimuksista on johdettavissa eri ominaishenkilövirroilla kuvan 2 kaltainen käytös.



**Kuva 2.** RakMK:n osan E1 (2011) määräys 10.4.3 poistumisteiden kokonaisleveysille: 1200 mm ensimmäisiä 120:tä henkilöä kohden ja sen jälkeen 400 mm lisää leveyttä jokaista 60:tä henkilöä kohden. Olettaen poistumisteille erilaisia ominaishenkilövirtoja saadaan kuvan mukaiset poistumisaikakuvaajat. Näitä vastaavat raja-arvot äärettömän ihmismäärän poistumiselle ovat 200 s, 150 s, 120 s ja 100 s ominaishenkilövirroille 0,75, 1,00, 1,25 ja 1,50 hlö/m/s.

Minkä tahansa henkilömäärän poistuminen pelkästään oviaukkojen kautta aiheuttaa RakMK E1:n (2011) mukaisessa rakennuksessa suurimmillaan 150 s aikaviiveen ( $t_{door}$ ) silloin, kun ominaishenkilövirta on 1 hlö/m/s ja ovien käyttöaste 100 % (Rinne ym. 2010). Muilla ominaishenkilövirran ja käyttöasteen arvoilla maksimiviiveen saa laskettua (mielivaltaiselle henkilömäärälle), kun jakaa 150 s edellä esitettyjen kahden tekijän tulolla. Kokonaispoistumisaikaa tarkastellessa pitää muistaa lisätä em. 150 s:n lisäksi viiveet, jotka aiheutuvat mm. syttymän ja palon havaitsemisen (joko laitteen tai ihmisen aistien avulla) välisestä ajasta ( $t_{det}$ ), hälytysajasta ( $t_{alarm}$ ), ihmisten reagointiajasta ( $t_{reac}$ ) ja liikkumisvaiheesta ( $t_{mov}$ ) esim. siirtyminen oviaukkoon johtavan jonon päähän. Näin ollen matemaattisesti ilmaistuna kokonaispoistumisaikaa ( $t_{tot}$ ) voitaisiin kuvata esimerkiksi seuraavasti:

$$t_{tot} = t_{det} + t_{alarm} + t_{reac} + t_{mov} + t_{door} \text{ (s)} \quad (1)$$

ja edelleen

$$t_{tot} = t_{det} + t_{alarm} + t_{reac} + t_{mov} + \frac{150}{J_s \gamma} \text{ (s)}, \quad (2)$$

missä  $J_s$  on ominaishenkilövirta (hlö/s/m),  $\gamma$  on ovien käyttöaste (0...100 %) ja luku 150 (1/m) tulee ovileveyden ja henkilömäärän kasvun suhteesta RakMK E1:n

### 3. Ovikokeisiin liittyvä koesarja

(2011) mukaisesti (60 hlö/0,4 m). Yhtälö (2) soveltuu tilanteisiin, joissa suuren henkilömäärän vuoksi on odotettavissa jonoutumista.

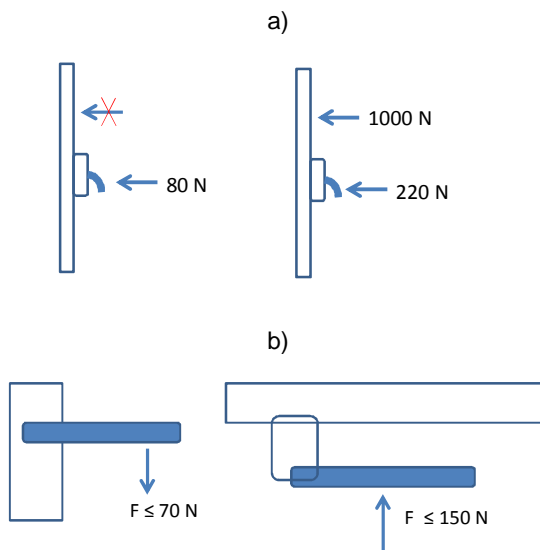
Muissa säädöksissä ja tutkimuksissa esitetään seuraavia lukuarvoja ominaishenkilövirroille (taulukko 2):

**Taulukko 2.** Kirjallisuudessa esitettyjä ominaishenkilövirta-arvoja.

Ominaishenkilövirta (hlö·m <sup>-1</sup> ·s <sup>-1</sup> )	Kommentti	Viite
1,48	oviaukot, portit	NFPA 130
1,36	laiturit, käytävät, rampit	NFPA 130
0,925 (0,86 ylöspäin)	portaat, liukuportaat, hätäpoistumisportaat	NFPA 130
1,1	portaat (alas)	IMO 2007
0,88	portaat (ylös)	IMO 2007
1,3	käytävät, oviaukot	IMO 2007
lineaarinen: 2,2 (40 cm)...1,78 (70 cm) sekä vakio 1,8 (70 cm...120 cm)	oviaukot	Kretz ym. 2006a
1,77 (1 m ja 2 m levyinen käytävä, 5 m ja 10 m pitkä)	käytävän osa	Hoogendoorn & Daamen 2005
1,63 (70 cm, lähestyminen jonossa)	oviaukko	Rinne ym. 2010
2,31; 2,47 (70 cm ja 90 cm, lähestyminen puoliympyrässä)	oviaukko	Rinne ym. 2010
2,56; 2,92 (70 cm, ryhmän etu, oma etu)	oviaukko	Rinne ym. 2010
1,88 (normaali); 2,94 (hätätilanne), käytävässä 27 m pitkä, 2 m leveä ja päässä 1,4 m oviaukko	oviaukko	Wong & Cheung 2006

Ovigeometriaan liittyy sen tehollisen leveyden lisäksi myös muita ominaisuuksia, jotka osaltaan vaikuttavat ovien käyttöön ja ominaishenkilövirtoihin. Näitä ovat esimerkiksi ovilehden aukeamiskulma ja aukeamista vastustavan voiman merkitys. Aukeamiskulman osalta Daamen ja Hoogendoorn (2010) ovat tutkineet ovilehden vaikutusta, jossa havaittiin virtauksen vaimenevan 20 % (n. 2,8 hlö·m<sup>-1</sup>·s<sup>-1</sup> → 2,2 hlö·m<sup>-1</sup>·s<sup>-1</sup>) tapauksessa, jossa ovilehti oli käännetty 90°:n kulmaan poistumisen kulkusuunnan mukaisesti verrattuna tapaukseen, jossa ei ollut ovilehteä. Samaisessa tutkimuksessa arveltiin, että ovilehden vaikutus häipyisi tilanteessa, jossa ovilehden kääntyminen olisi 150°:n suuruinen. Gwynne ym. (2009) keskustelivat ”dynaaminen ovilehti” -käsitteestä, jossa tarkasteltiin erään rakennuksen ovilehteä ja todettiin sen avautuvan noin 50–80 % kokonaiskapasiteetista. Tämän luonnollisesti päätettiin vaikuttavan oven kautta kulkevien ihmisten määriin. Standardi EN 1154:1997 käsittää sulkeutuvien ovien osalta mm. seuraavat tyypit: 105°:n ja 180°:n avauskulmaan avautuvat ovet. Sama standardi määrittelee oven avaamiseen (esimerkiksi maks. 26–215 Nm, avautumiskulmalla 0–60°) ja sulkemiseen vaadittavan minimi-maksimimomentin eri kulmille, ovileveyksille (750–1600 mm) ja oven massoille.

Standardi EN 1125:2008 mainitsee puomin (kuva 3a) maksimivoimiksi 80 N ja 220 N tilanteissa, joissa itse ovi ei ole ja on kuormittunut (kuormitusvoima 1000 N, joka oven pitää myös kestää avautumatta). Standardissa EN 179:2008 puolestaan ovikahvan vääntäminen vaatii maksimissaan 70 N voiman (100 mm etäisyydeltä) ja työntölevyn (kuva 3b) tapauksessa maksimissaan 150 N voiman (levyn keskellä).



**Kuva 3.** Standardien a) EN 1125:2008 ja b) EN 179:2008 mukaiset piirrookset vaakapuomille ja työntölevylle.

Standardi SFS-EN 12604:2000 mainitsee käsikäyttöön tarvittavan voiman olevan enintään 260 N (teollisuus-, liike- ja toimistorakennusten ovi). Voima ei sisällä tuulen tai muiden ympäristötekijöiden vaikutusta, joita ei tarvitse ottaa huomioon. Varsinaisia oven aukaisuvoimaan liittyviä kokeita ei ole tehty kovinkaan paljoa. Eräs tällainen tutkimus liittyi liikuntarajoitteisten ihmisten kykyyn avata ovi erisuuruisilla avaamista vastustavilla voimilla (Boyce ym. 1999b). Kaikilla koehenkilöillä oven läpi kulkemiseen kului aikaa sitä enemmän mitä suurempi avausvoima oli (21 N...70 N). Myös epäonnistumisprosentti kasvoi n. 2 %...5 % mitä suurempi vastusvoima oli (henkilöitä noin 100). Pyörätuolihenkilöillä havaittiin vaikeuksia päästä ylipäänsä oviaukosta läpi (varsinkin oven vetäminen auki): heillä meni 3–4 kertaa enemmän aikaa kuin muilla koehenkilöillä. Kahdella sähkökäyttöisen pyörätuolin käyttäjällä oven vetäminen auki ei onnistunut lainkaan.

Henkilöiden virtauksen on havaittu olevan tehokasta kahden samansuuntaisen jonon yhdistyessä "vetoketjumaisesti" ennen oviaukkoa tai kapeassa käytävässä (Hoogendoorn & Daamen 2005, Yanagisawa ym. 2009). Jonojen määrän lisääntymisen ja kulman, jossa oviaukkoa lähestytään, kasvun todettiin heikentävän oviaukon ominaishenkilövirtaa. Henkilövirtauksen kannalta saturoituneessa tilanteessa

henkilöt seuraavat helposti edessä menevää (Hoogendoorn & Daamen 2005). Näissä em. tutkimuksissa oviaukkoja oli vain yksi. Sitä, missä vaiheessa tai kuinka herkästi jonosta siirrytään toiseen tai muodostetaan uusi, ei ole tarkasteltu laajalti. Heliövaara ym. (2012) totesivat ovenvalintakokeessa kahden oven tapauksessa jonon valinnan riippuvan mahdollisesti siitä, koetaanko jonon liikkuvan vai pysyvän paikallaan yksittäisen henkilön kannalta. Itsekkäällä toimintatavalla saavutettiin tässä koeasetelmassa parempi lopputulos kuin esimerkiksi ryhmän etua ajavalla käytöksellä. Tietyissä tapauksissa ovigeometriaan, etenkin oviaukon sivuun, asetetun esteen on todettu kasvattavan henkilövirtausta (Yanagisawa ym. 2009), mutta tätä aihepiiriä ei ole ovivirtausten kannalta tarkasteltu tämän enempää.

Vastavirtausten osalta oviaukon geometriaa on tutkittu tässä yhteydessä ilmeisen niukasti. Käytävillä ym. vastaavilla geometrioilla vastavirtausta on tarkasteltu siten, että on tarkasteltu henkilöiden normaalia liikkumista esim. kaduilla. Näissä kokeissa ilmiöön liittyy vahvasti päätöksenteko, jolloin päätetään väistää vastaan tulevaa, samoin sosiaalisten suhteiden (esim. perheen kesken) on todettu vaikuttavan kahden erisuuntaisen virtauksen kohtaamiseen ja siihen, kuinka nämä pienryhmät rikkoutuvat kohtaamisessa. Ilmiön mallintaminen on ollut täten haasteellista (Smith ym. 2009). Isobe ym. (2004) tarkastelivat simulointimallinsa kehitystyössä koeasetelmaa, jossa vastavirtaus suoritettiin 2 m kapeassa käytävässä. Tutkimuksessa havaittiin mm. asetelman olevan vaarallinen, kun henkilömäärä nousi yli 70 henkilöön (henkilöitiheys n.  $2,9 \text{ hlö/m}^2$ ), sillä ihmiset eivät enää tämän jälkeen voineet hyvin liikkua vastakkaisiin suuntiin. Vastavirtausasetelmaan voi liittyä skenaarioita, joissa ulkoa tullaan sisälle turvaan jonkin uhan takia samalla kun sisältä pyrkii ihmisiä ulos. Myös pelastushenkilöstö voi kokea vastavirtauksen esimerkiksi tehdessään sammutushyökkäyksen maanalaiseen tilaan tai korkeaan rakennukseen (Galea ym. 2008).

## 3.2 Ovikokeiden tavoitteet

Edellä esitettyjen tutkimusten valossa ovigeometrioihin liittyviä koeasetelmia tehdään yleisellä tasolla kuvattuna niin, että kokeissa pyritään löytämään selittäviä tekijöitä ja ilmiöitä koehenkilöiden poistumisreiteillä olevien ovien käytölle. Tutkimuksen alkuperäisenä tavoitteena oli tehdä ovigeometriaan liittyviä koeasetelmia, joissa tarkastellaan

- ovilehden aukeamiskulmaa, -voimaa ja käytettävyyttä
- oven valintaan liittyvää jonon muodostumista
- ominaishenkilövirran kasvattamista geometrisillä tai rakenteellisilla ratkaisuilla
- ihmisten käytöstä lukittuna olevan oven tapauksessa.

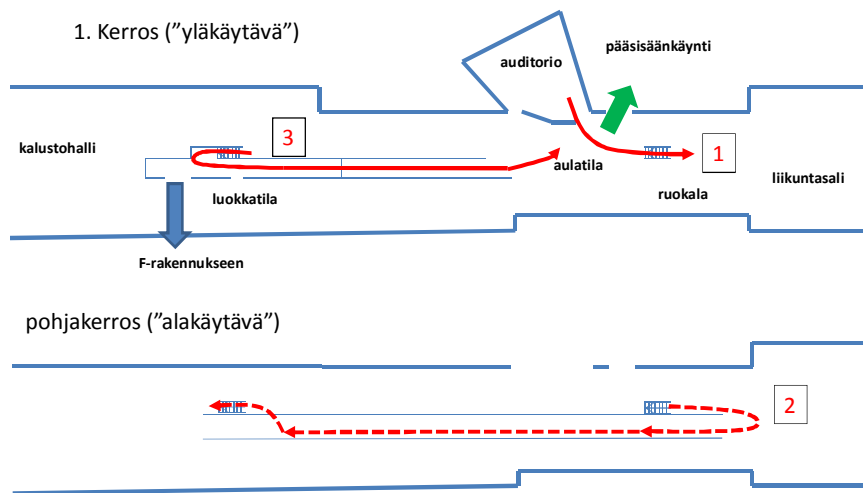
Varsinaiset suoritettavat kokeet ja niiden kuvaukset esitetään seuraavassa luvussa.



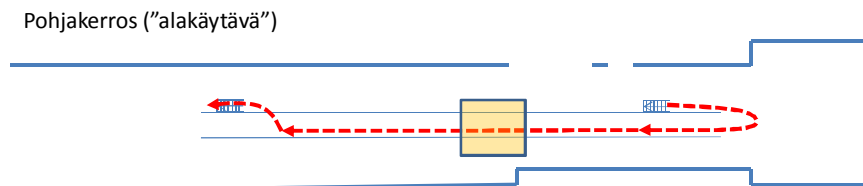
### 3.3 Ovikokeiden koasetelmat

#### 3.3.1 Yleistä ovikokeista

Seuraavassa esitetään havainnekuvia ovigeometriaan liittyvistä kokeista, joissa kuvataan pääpiirteittäin kokeiden kulku ja idea myös geometrian osalta. Kokeita on määrällisesti 6 kpl. Kokeet suoritettiin Pelastusopiston tiloissa Kuopiossa. Kuvissa 4–7 esitetään Pelastusopiston pohjapiirros ylä- ja alakäytävältä sekä koepaikat kokeittain. Punaisen nuolen mukaisesti kuvataan koehenkilöiden liikkumista koepaikoissa.

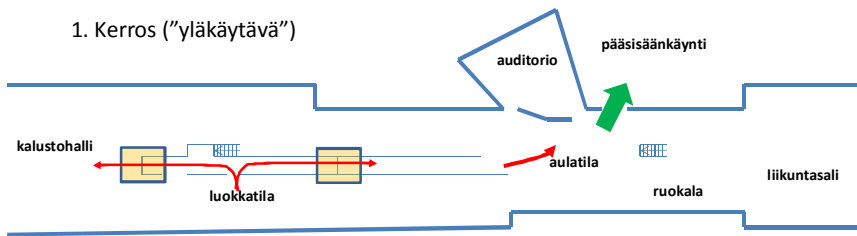


**Kuva 4.** Pohjapiirros Pelastusopiston tiloista. Punaisella nuolella kuvataan pääasiallinen koehenkilöiden kulku auditoriosta koepaikalle ja takaisin auditorioon kokeissa OVI 1–3 ja OVI 5.

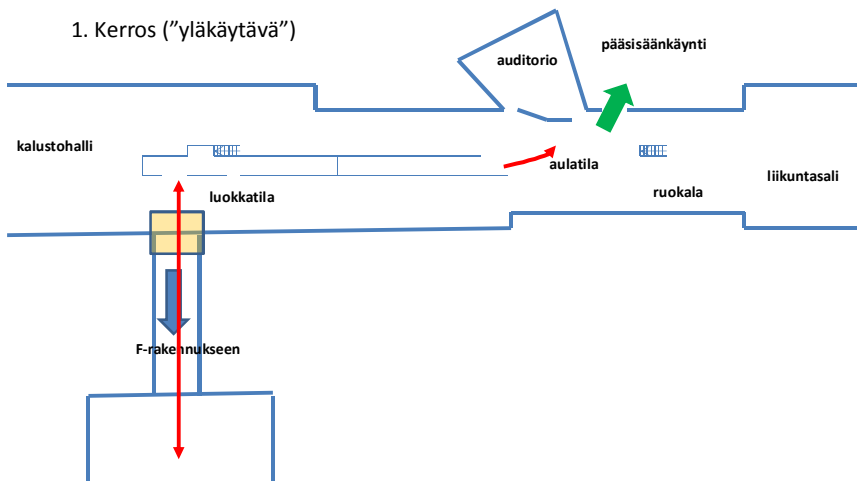


**Kuva 5.** Kokeiden 1, 2, 3 ja 5 suorituspaikka (keltainen neliö alakäytävällä).

### 3. Ovikokeisiin liittyvä koesarja



**Kuva 6.** Kokeen 4 suorituspaikka (keltaiset neliöt) yläkäytävällä kalustohallin ja aulatilan välisellä osuudella (kahden ison lasioven välissä) sekä luokkahuone, johon koehenkilöt ovat ryhmittyneet.



**Kuva 7.** Kokeen OVI 6 suorituspaikka (keltainen neliö, F-rakennuksen yhdyskäytävälle johtava ovi yläkäytävällä).

Kokeet suoritettiin yhden päivän aikana. Koepäivän aikataulu pääpiirteittäin esitetään taulukossa 3.

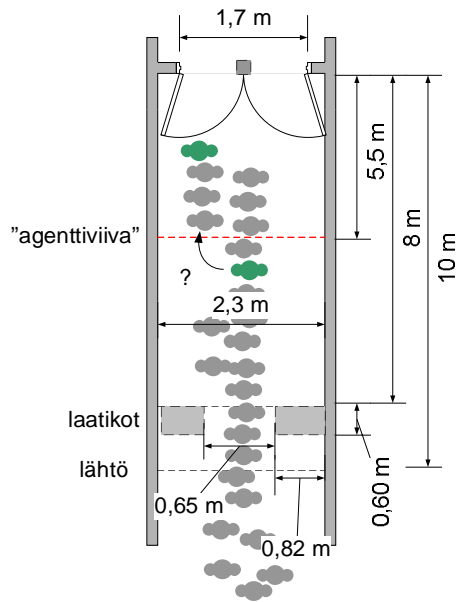
**Taulukko 3.** Oviceometriaan liittyvän koesarjan aikataulu.

Aloitus	Päättyy	Koe nro / tapahtuma
8:30	9:10	avaus, esittely
9:10	9:50	OVI 1
9:50	9:55	OVI 2 – ryhmä A' (koe A1)
9:55	10:40	OVI 2 tauko, lukkojen vaihto
10:40	10:45	OVI 2 – ryhmä B' (koe B1)
10:45	10:50	OVI 2 – ryhmä A' (koe A2)
10:50	11:20	OVI 2 tauko, lukkojen vaihto
11:20	11:25	OVI 2 – ryhmä B' (koe B2)
11:25	12:05	OVI 3
12:05	13:05	lounastauko
13:05	13:45	OVI 4 – (ei Pelastusopiston opiskelijoita)
13:05	13:45	OVI 5 (samaa aikaan OVI 4 -kokeen kanssa)
13:45	14:15	kahvitauko
14:15	15:05	OVI 6
15:05	15:25	lopetus auditoriossa

### 3.4 Koe OVI 1: Jononmuodostus

#### 3.4.1 Taustaa OVI 1 -kokeeseen

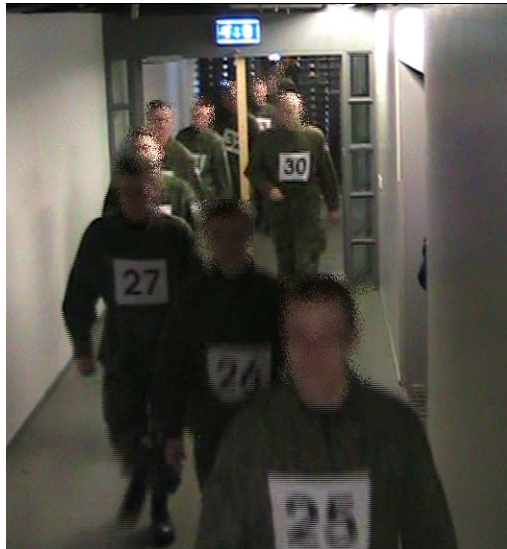
Kokeessa oli tarkoitus tutkia, miten herkästi ihminen lähtee seuraamaan edellä menevää henkilöä, joka kävelee omaa reittiään ovelle. Koe toteutettiin siten, että ensin tarkasteltiin spontaania uuden sivujonon muodostumista pääjonosta (OVI 1a). Toisessa asetelmassa (OVI 1b) pääjonossa kulkee agenteja, joille on annettu tehtäväksi poiketa oletettavasta pääjonosta tietyssä kohdassa ennen oviaukkoa (ks. ”agenttiviiva” kuvassa 8). OVI 1a ja 1b -asetelmissa kokeiltiin myös, mikä vaikutus näkökenttää rajaavilla objekteilla (laatikot käytävän molemmin puolin, kuva 8) on jononmuodostumiseen. Kuvassa 8 esitetään käytetty koegeometria OVI 1 -kokeessa.



Kuva 8. OVI 1 -kokeen koegeometria.

#### 3.4.2 Suoritus OVI 1 -kokeessa

OVI 1:n suorituspaikka oli Pelastusopiston kellaritason pitkällä käytävällä (lasiovi). Kokeessa pidettiin ovilehdet auki ja leveä oviaukko puolitettiin tilapäisellä rakenteella, jotta mahdollisuus kahden jonon muodostumiseen oli olemassa. Koehenkilöt olivat pääosin varusmiehiä. Joukossa oli myös Pelastusopiston opiskelijoita 5 henkilöä, jotka kaikki olivat A-ryhmässä (ensimmäisinä jonossa). Koko henkilömäärä jaettiin kahteen ryhmään siten, että ryhmässä A oli 22 ja ryhmässä B 23 henkilöä. Ryhmä A teki kaksi koetta ilman agenteja ja vastaavasti ryhmä B kaksi koetta agenttien kanssa. Ryhmässä B oli agenteja 5 kpl (koehenkilöt numero 25, 30, 35, 40, 45), joista neljän henkilön takana kulki muita potentiaalisia agenteja seuraavia henkilöitä. Muille ryhmän B jäsenille, muille kuin itse agenteille, ei kerrottu ryhmässä olevista agenteista (kokeissa pyrittiin myös valvomaan, ettei asiasta kerrota ryhmän sisällä kokeiden välillä). Kummankin ryhmän ensimmäisessä kokeessa oli käytävän seinustalle asetettu molemmin puolin laatikoita tarkoituksena rajata näkökenttää oville. Kuvassa 9 esitetään ryhmän B suoritus ensimmäisessä kokeessa.



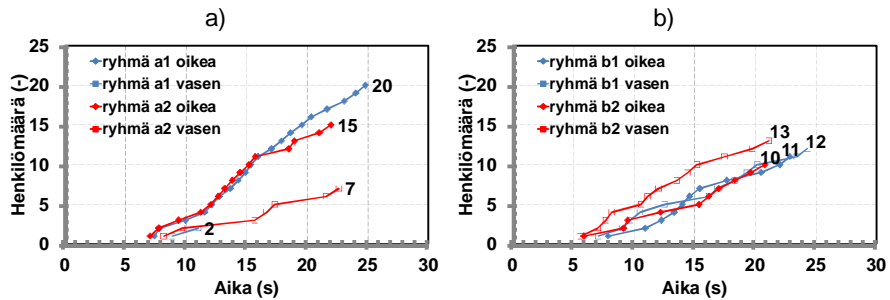
**Kuva 9.** Kuvankaappaus videosta OVI 1 -kokeessa.

Kokeen suoritus alkoi 10 m lähtöviivalta (kuva 8) pillin vihellyksellä ja päättyi pillin vihellykseen. Koehenkilöt aloittivat kokeen jonomuodostelmasta. Kokeeseen liittyvä alkuinformaatio annettiin suorituspaikalla välittömästi ennen koetta. Alkuinformaatiossa sanottiin, että ”pyritte kulkemaan edessä olevasta oviaukosta mahdollisimman tehokkaasti, juosta ei saa”. Kokeen jälkeen koehenkilöt menivät auditorioon täyttämään kyselykaavaketta koko OVI 1 -koeasetelmaan liittyen.

### **3.4.3 Tulokset OVI 1 -kokeessa**

OVI 1 -kokeen tulokset esitetään kuvassa 10. Tuloksissa on laskettu oviaukon läpi kävelleiden koehenkilöiden lukumäärä ajan funktiona oviaukon vasemman ja oikean kaistan mukaan.

### 3. Ovikokeisiin liittyvä koesarja



**Kuva 10.** OVI 1 -kokeen tulokset a) ryhmän A ja b) ryhmän B osalta. Ryhmän A kokeet kuvattu kirjaimella a ja vastaavasti ryhmän B kirjaimella b. Ryhmässä A ei käytetty agenteja ja ryhmässä B käytettiin.

Kuten kuvasta 10 yleisellä tasolla havaitaan, vasemman- tai oikeanpuoleisen oviaukon kautta kulkeneiden henkilöiden lukumäärissä on eroa ryhmien A ja B kesken. Ryhmän A osalta ensimmäisessä kokeessa 20 henkilöä käytti oikeanpuoleista oviaukkoa ja vain kaksi vasenta. Toisessa kokeessa vasenta käytti jo seitsemän henkilöä. Ryhmän B osalta tulokset ovat mielenkiintoisia, sillä molemmissa kokeissa b1 ja b2 molempia oviaukkoja käytettiin hyvin tasaisesti. Vaikkakin vasemmanpuoleisesta oviaukosta kulki myös viisi agenttia, tarkoittaa tasaisuus myös sitä, että agenteja oli seurattu.

#### 3.4.4 Kyselykaavakkeiden tulokset OVI 1 -kokeessa

Taulukossa 4 esitetään ryhmien A ja B kyselylomakkeiden tulokset. Koehenkilöiltä kysyttiin kaikkiaan kuusi kysymystä, jotka liittyivät OVI 1 -koeasetelmaan. Kysymyksissä keskityttiin yksilötason käytökseen ja jononmuodostukseen.

**Taulukko 4.** Kyselykaavakkeiden tulokset OVI 1 -kokeessa.

kävellessäsi ovea kohti	ryhmä A	ryhmä B
1 = seurasin edellä kulkevaa alusta loppuun pääjoukossa	81.8 %	63.6 %
2 = kävelin erillään ja yksin	13.6 %	13.6 %
3 = kuljin toisessa jonossa	4.5 %	22.7 %
jononmuodostus		
1 = erkanin lähtöasetelmasta ja muodostin toisen jonon omasta aloitteestani	9.1 %	40.9 %
2 = erkanin lähtöasetelmasta ja muodostin toisen jonon edellä kulkevan aloitteesta	9.1 %	13.6 %
3 = en tietääkseni muodostanut toista jonoa tai ollut toisessa jonossa	81.8 %	45.5 %

### 3.4.5 Tulosten analysointia OVI 1 -kokeessa

Ainoastaan kahden kokeen perusteella on vaikea sanoa ryhmän A osalta, johtuiko ensimmäisen (a1) ja toisen (a2) kokeen tulosten ero geometriasta (laatikoista), oppimisesta (osattiin kulkea toisessa kokeessa paremmin) vai siitä, että ensimmäisessä kokeessa liikkuminen oli luontevaa ”oikeanpuoleisen liikenteen” käyttämistä (tästä havaintoja mm. Rinne ym. [2010]). B-ryhmän osalta agenttien vaikutus oli ilmeistä molemmissa kokeissa ja todennäköisesti eliminoi samalla geometrian vaikutuksen. Videokuvista voitiin nähdä, että ensimmäisessä kokeessa (b1) kaksi neljästä (mahdollisesta seurattavasta) agentista sai muita ”jonoonsa” ja toisessa kokeessa (b2) vastaava suhde oli kolme neljästä (viides eli viimeinen agentti kulki jonon viimeisenä, joten tällä ei ollut merkitystä jonojen muodostumiseen).

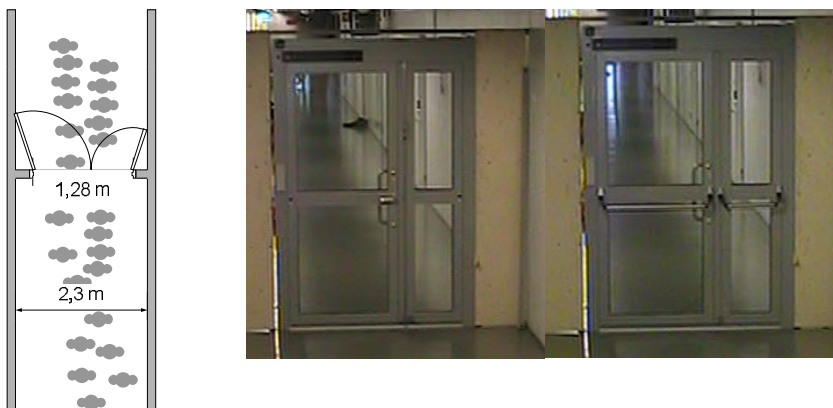
Kyselykaavakkeiden tuloksista voidaan päätellä ainakin se, että enemmistö henkilöistä oli mieltynyt kulkemaan jonomuodostelmassa, kun tarkastellaan koko henkilömäärää. Tämä voidaan havaita myös videoaineistosta. Ryhmän A ja B välillä havaitaan selvää eroa prosentiosuuksissa kohdissa, joissa kysytään, kulki- vatko koehenkilöt toisessa jonossa (muussa kuin pääjoukossa). Tämä selittyy agenttien käyttämisellä – toisaalta ilmaisee sen myös, että kysymyksiin oli vastattu tunnollisesti. Lisäksi vastausprosentista pääteltävissä oleva henkilömäärä ja videoista mitatut henkilömäärät ovat samaa suuruusluokkaa.

## 3.5 Koe OVI 2: Kaksilehtisen oven käyttöaste

### 3.5.1 Taustaa OVI 2 -kokeeseen

OVI 2 -kokeessa tarkastellaan kaksilehtisen oven käyttöastetta tilanteessa, jossa toisen oven toinen lehti on varustettu pikasalvalla (kuva 11) ja toinen ovilehti normaalilla vääntökahvalla. Tämä on varsin tyypillinen tilanne monessakin rakennuksessa Suomessa. Toisessa, vertailevassa kokeessa on tarkoitus tutkia oletettavasti vieraampaa ratkaisua, jossa varustetaan molemmat ovilehdet vaakapuomilla, joka avaa ovilehden (vrt. standardin EN 1125:2008 mukainen ratkaisu).

Kuvassa 11 esitetään koegeometria.



**Kuva 11.** OVI 2 -koeasetelmaan liittyvä geometria. Pidemmän ovilehden pituus on n. 84 cm ja lyhyemmän 49 cm. Keskellä tavanomainen lukkolaiteratkaisu ja oikealla vaakapuomeihin perustuva ratkaisu.

### 3.5.2 Suoritus OVI 2 -kokeessa

Tässä kokeessa henkilömäärä oli suurempi kuin OVI 1 -kokeessa. Kaikkiaan OVI 2 -kokeessa oli 52 henkilöä, joista ryhmässä A oli 22 ja ryhmässä B 30 henkilöä. Ryhmään A sisältyi viisi Pelastusopiston opiskelijaa ja muut koehenkilöt olivat varusmiehiä. Kumpikin ryhmä asettui koko käytävän leveydeltä 10 m päähän ovesta lähtötasalle, josta he pillin vihellyksen kuultuaan alkoivat kävellä kohti ovea. Tässä kokeessa annettiin sama alkuinformaatio juuri ennen koetta kuten kokeessa OVI 1. Koehenkilöille ei annettu mitään viitteitä ovilehtien lukkolaitteiden käyttämisestä.

Ryhmä A aloitti kokeen suorittamisen tavanomaisten lukkomekanismien (vääntökahva ja pikasalpa) ollessa asennettuina ovilehtiin. Tämän jälkeen seurasi tauko, jona aikana vaihdettiin ryhmien tietämättä ovilehtiin vaakapuomilla varustetut (ja



samalla oletettavasti tuntemattomammat käyttää) lukkolaitteet. Lukkojen vaihdon jälkeen molemmat ryhmät suorittivat kyseisen kokeen, jolloin ryhmälle B tämä oli ensimmäinen koe. Näiden suoritusten jälkeen pidettiin tauko, jona aikana lukkolaitteet vaihdettiin takaisin tavanomaisiin (ryhmän B tätä tietämättä), ja ryhmä B suoritti toisen kokeensa.

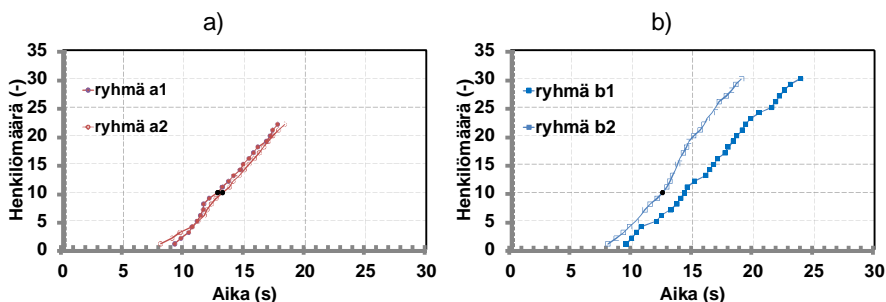
Taulukossa 5 kuvataan koejärjestys.

**Taulukko 5.** OVI 2 -koejärjestys.

Koe	Henkilömäärä	Ryhmä	Kuvaus
a1	22	A	tavallinen
b1	30	B	vaakapuomi
a2	22	A	vaakapuomi
b2	30	B	tavallinen

### 3.5.3 Tulokset OVI 2 -kokeessa

Kuvassa 12 esitetään tulokset OVI 2 -kokeesta. Suljetut symbolit kuvastavat ryhmän ensimmäistä ja avoimet toista koetta. Ajan nolлахetki on hetki, kun pillillä on vihelletty kokeen alkaminen. Käyrien yksittäiset mustat pisteet esittävät järjestyksessään ajankohtaa ja oviaukolle saapunutta henkilöä, joka on avannut pienemmän ovilehden (kokeessa b1 pienempää ovilehteä ei avattu).



**Kuva 12.** Tulokset OVI 2 -kokeessa a) ryhmälle A ja b) ryhmälle B. Ryhmän A ensimmäinen koe on merkattu symbolilla "a1" ja toinen koe "a2". Vastaavaa merkintää käytetty ryhmän B kokeissa.

### 3. Ovikokeisiin liittyvä koesarja

#### 3.5.4 Kyselykaavakkeen tulokset OVI 2 -kokeessa

Taulukossa 6 esitetään OVI 2 -kokeeseen liittyvät kyselykaavakkeiden tulokset.

**Taulukko 6.** Kyselykaavakkeiden tulokset OVI 2 -kokeissa. Vasemmalla ensimmäisen kerran ja oikealla toisen kerran suoritettujen kokeiden kysymysten vastaukset.

Kulkiessani oven läpi	ryhmä A	ryhmä B	Kulkiessani oven läpi	ryhmä A	ryhmä B
1 = jouduin avaamaan kokonaan kiinni olevan ovilehden	9.1 %	3.3 %	1 = jouduin avaamaan kokonaan kiinni olevan ovilehden	9.1 %	3.3 %
2 = jouduin pitämään auki jo avattua ovilehteä	22.7 %	6.7 %	2 = jouduin pitämään auki jo avattua ovilehteä	22.7 %	13.3 %
3 = en koskenut ovilehteen	68.2 %	90.0 %	3 = en koskenut ovilehteen	68.2 %	83.3 %
Käytin oviaukon			Käytin oviaukon		
1 = vasenta kaistaa	40.9 %	56.7 %	1 = vasenta kaistaa	36.4 %	40.0 %
2 = oikeaa kaistaa	59.1 %	43.3 %	2 = oikeaa kaistaa	63.6 %	60.0 %
Koitko tungost oviaukosta kulke			Koitko tungost oviaukosta kulke		
1 = en lainkaan	36.4 %	20.0 %	1 = en lainkaan	31.8 %	23.3 %
2 = vähän	63.6 %	76.7 %	2 = vähän	68.2 %	70.0 %
3 = paljon	0.0 %	3.3 %	3 = paljon	0.0 %	6.7 %

#### 3.5.5 Tulosten analysointia OVI 2 -kokeessa

Vaakapuomi lukkolaitteena oli oletettavasti vieraampi käsitellä kuin tavanomainen kahva-pikasalpayhdistelmä. Tämä näkyi ryhmien ensimmäisten henkilöiden tavassa käsitellä vaakapuomia; sitä yritettiin ensin nostaa, vaikka se toimii painettaessa puomia alas. Vaakapuomissa ei ollut mitään merkintöjä tai ohjeita, kuinka puomia tulisi käyttää. Ryhmän A sisällä oli Pelastusopiston opiskelijoita, joista eräs naishenkilö kunnostautui molemmissa kokeissa pienemmän ovilehden avajana. Tätä kyseistä henkilöä edellä kulkeneista kukaan ei siis avannut pienempää ovilehteä. Ryhmän B sisällä pienempää ovilehteä ei avattu kokeessa b1 ja kokeessa b2 eräs henkilö kysyi ennen koetta, voiko pienemmän ovilehden avata (koetta ajatellen

tarvittava informaatio oli jo kuitenkin annettu, ja koe käynnistettiin välittömästi – kysymykseen ei siis vastattu).

Ryhmän A osalta pienemmän ovilehden avaaminen ei kuvaajia katsomalla kasvattanut henkilövirtaa (hlö/s) eli kuvan 12a kulmakerrointa. Yksi mahdollinen syy voi olla se, että ryhmä oli pienempi kuin ryhmä B, jossa vastaavasti pienemmän ovilehden aukeaminen nähdään selvänä henkilövirtamuutoksena kuvassa 12b. Lasketut henkilövirta-arvot kokeittain olivat  $a_1 = 2,46$  hlö/s ja  $a_2 = 2,20$  hlö/s sekä  $b_1 = 2,10$  hlö/s ja  $b_2 = 2,88$  hlö/s. Myös jonojen ensimmäisten kävelynopeus ei merkittävästi eroa näiden kahden ryhmän välillä (ensimmäisten henkilöiden ovellesääpumis aika vaaka-akselilla). OVI 2 -kokeessa 1. ja 2. kokeen välillä kävelynopeus näyttäisi kasvaneen molempien ryhmien kesken ryhmän ensimmäisten henkilöiden osalta.

Kyselykaavakkeiden tuloksissa ensimmäisen ja toisen suorituskerran kysymysten vastaukset ovat hyvin samankaltaiset. Tämä saattaa johtua osin siitä, että kysymyksiin vastattiin samalla kertaa. Sanallisissa kuvauksissa muutama koehenkilö oli huomannut pienemmän ovilehden aukeamisen helpottaneen oviaukosta kulkemista. Oviaukon oikeaa kaistaa oli käytetty aavistuksen enemmän – tarkoittaen tässä tapauksessa, että henkilöt ovat mieltäneet kulkeneensa enemmän oikealla puolella kuin vasemmalla. Selvä enemmistö ei koskenut kulkiessaan koko ovilehteen. Kolmiportaisella asteikolla hyvin harvat olivat kokeneet tungoksen suureksi. Noin kolmannes A-ryhmästä ja viidennes B-ryhmästä ei ollut kokenut tungosta lainkaan. Tähän voi vaikuttaa myös henkilön lähtöpaikka suhteessa muuhun ryhmään ja lähestyvään oveen.

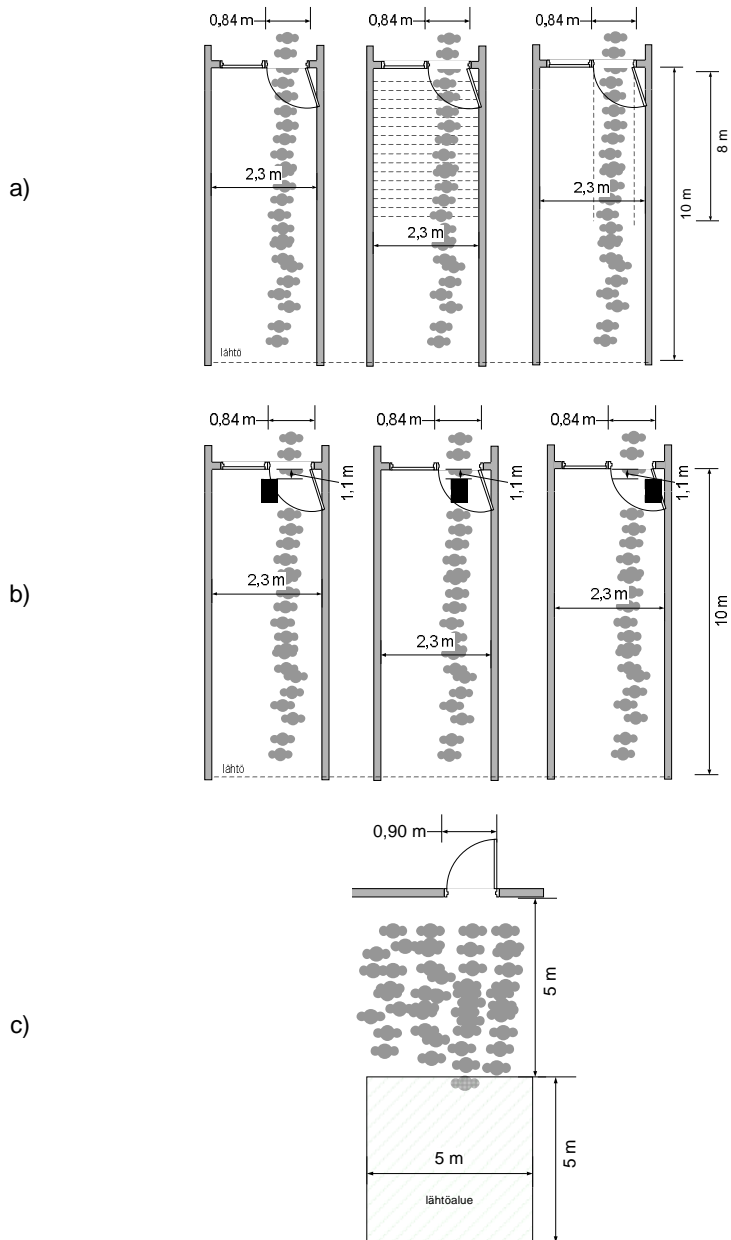
## 3.6 Koe OVI 3: Geometrian vaikutus oviaukkovirtaukseen

### 3.6.1 Taustaa OVI 3 -kokeeseen

OVI 3 -kokeessa tarkasteltiin oven läheisyyteen rakennettujen geometristen kuvioiden ja rakenteiden vaikutusta oviaukkovirtaukseen. Koko jonon kannalta tarkasteltuna homogeenisemmalla askelpituudella tai -taajuudella voidaan olettaa olevan merkitystä suuren väkijoukon liikkumisessa, jolloin jonon sisäinen huojunta saadaan vähenemään ja koko jono kulkemaan nopeammin oven läpi. Kuvassa 13a lattia on viivoitettu joko kulkusuuntaan nähden poikittain tai kulkusuunnan mukaisesti aiheuttaen mahdollisesti edellä kuvatun käytöksen jonossa. Vertailuna tehtiin ns. nollakoe ilman viivoja.

Kokeissa tutkittiin myös esteen sijoittamista oviaukon läheisyyteen, minkä on katsottu, sopivasti sijoitettuna, kasvattavan oviaukkovirtausta. Esteiden sijoittelu esitetään kuvassa 13b. Lopuksi kokeiltiin suuren massan kulkeutumista oviaukosta läpi, kuva 13c.

### 3. Ovikokeisiin liittyvä koesarja

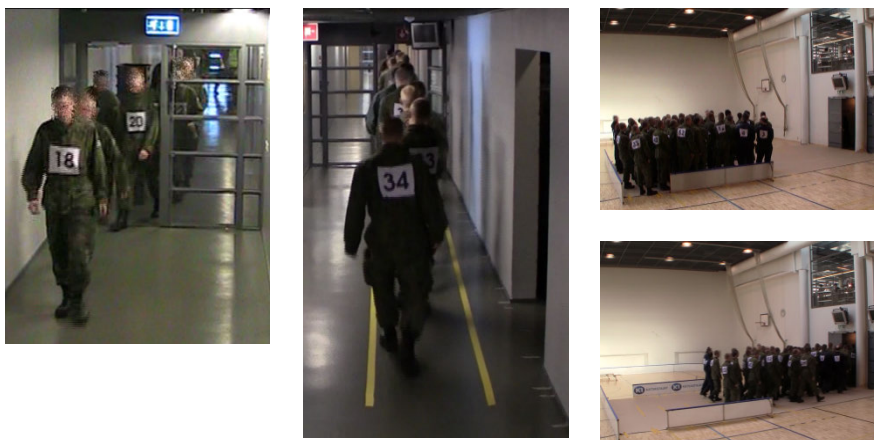


**Kuva 13.** OVI 3 -koe: geometrian vaikutus oviaukkovirtauksiin. Kuvassa a) poikittaiset teippaukset lattiassa 60 cm välein, kulkusuuntaan nähden oleva teippaus ovilehden levyinen, ja kuvassa b) oviaukon edessä olevan esteen mitat 41 cm / 60 cm.

### 3.6.2 Suoritus OVI 3 -kokeessa

Kokeissa, jotka käsittivät lattiaan asennetut viivat (kuva 13a) ja oviaukon eteen sijoitetut esteet (kuva 13b), oli koehenkilöt jaettu kolmeen ryhmään: A, B ja C. Ryhmässä A ja B oli yhteensä 17 henkilöä ja ryhmässä C 18. Ryhmä A sisälsi Pelastusopiston opiskelijat. Ensin ryhmä A suoritti kuvan 13a mukaisesti nollakokeen ilman lattiaan asennettuja viivoja, tämän jälkeen iso ryhmä (52 henkilöä) suoritti kolme kertaa kuvan 13c kaltaisen järjestelyn. Tämän jälkeen palattiin suorittamaan osaryhmissä kuvan 13a loput kokeet, ryhmät B ja C. Viimeisenä suoritettiin kuvan 13b mukaiset kokeet, järjestyksessään ryhmät A, B ja C. Jokaisessa kokeessa alkuinformaatio oli kuten OVI 1 ja 2 -kokeissa; tässä OVI 3 -kokeessa korostettiin sitä, ettei vasemmanpuoleista ovilehteä saanut avata, vaan kuljettiin avoimesta ovilehdestä (ovilehti, jonka kautta kuljettiin, oli kiilattu auki kokeita varten).

Kuvassa 14 esitetään videokuvista otettuja kuvakaappauksia.



**Kuva 14.** OVI 3 -kokeen aikaisia kuvakaappauksia videoista. Vasemmalla este sijoitettu keskelle oviaukkoa, keskellä ryhmä kulkee viivojen välissä ja oikealla iso ryhmä lähtöpaikassa ja liikkeessä.

### 3. Ovikokeisiin liittyvä koesarja

---

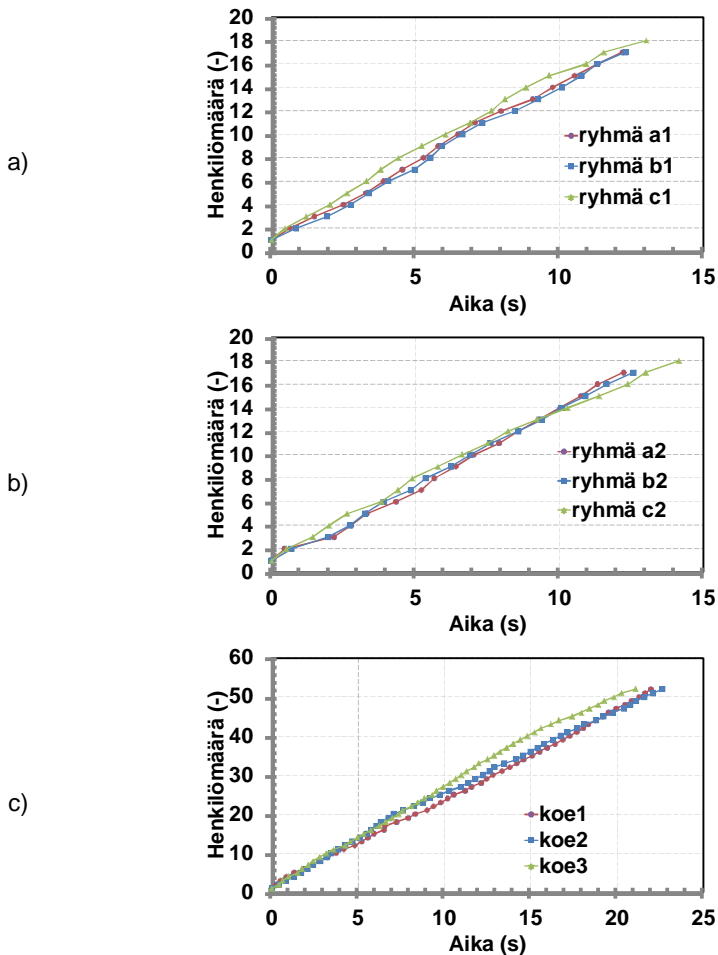
Taulukossa 7 esitetään OVI 3 -kokeen suoritusjärjestys.

**Taulukko 7.** OVI 3 -kokeen suoritus.

Koe	Henkilömäärä	Ryhmä	Kuvaus
OVI 3 a1	17	A	ei viivaa (huom. ei ovilehteä)
OVI 3 b1	17	B	jonon suuntaiset viivat
OVI 3 c1	18	C	poikittainen viivoitus
OVI 3 a2	17	A	oven lähellä laatikot paikassa: keski
OVI 3 b2	17	B	oven lähellä laatikot paikassa: vasen
OVI 3 c2	18	C	oven lähellä laatikot paikassa: oikea
OVI 3 koe1	52	kaikki	suuri ryhmä (liikuntasali)
OVI 3 koe2	52	kaikki	suuri ryhmä toisto 1 (liikuntasali)
OVI 3 koe3	52	kaikki	suuri ryhmä toisto 2 (liikuntasali)

#### 3.6.3 Tulokset OVI 3 -kokeessa

OVI 3 -kokeen tulokset esitetään kuvassa 15. Vaikka kokeiden suoritusjärjestys poikkesi edellä kuvatulla tavalla, tulokset esitetään samassa yhteydessä kuhunkin koegeometriaan liittyen. Ajan nolлахetki on tässä tarkastelussa ajanhetki, kun ensimmäinen henkilö kussakin kokeessa on ylittänyt oviaukon. Tämä mahdollistaa paremmin oviaukkovirtausten vertailun eri kokeiden välillä.



**Kuva 15.** Tulokset OVI 3 -koesarjasta. Kuvassa a) kuvan 13a (poikittaiset teippaukset lattiassa 60 cm välein), b) kuvan 13b (kulkusuuntaan nähden oleva teippaus) ja c) kuvan 13c (suuren ryhmän kokeet) mukaisen järjestelyn tulokset.

Kokeissa a1, b1 ja c1 oviaukkovirtausarvot olivat 1,34 hlö/s, 1,34 hlö/s ja 1,35 hlö/s. Vastaavasti kokeissa a2, b2 ja c2 oviaukkovirtausarvot olivat 1,33 hlö/s, 1,30 hlö/s ja 1,19 hlö/s.

### 3.6.4 Kyselykaavakkeen tulokset OVI 3 -kokeessa

Taulukossa 8 esitetään OVI 3 -koeasetelmaan liittyneiden kysymysten vastaukset prosenttiosuuksina.

**Taulukko 8.** OVI 3 -kokeen kyselykaavakkeiden tulokset. Vasemmalla yksittäisten jonojen suorittamat kokeet ja oikealla suuren ryhmän suorittamat kokeet.

Kuljin oviaukon	ryhmä A	ryhmä B	ryhmä C	Kuljin oviaukon	ryhmä A	ryhmä B	ryhmä C
1 = keskeltä	64.7 %	31.3 %	78.9 %	1 = keskeltä	35.3 %	31.3 %	47.4 %
2 = käyttäen vasenta kaistaa	17.6 %	37.5 %	5.3 %	2 = käyttäen vasenta kaistaa	47.1 %	43.8 %	36.8 %
3 = käyttäen oikeaa kaistaa	17.6 %	31.3 %	15.8 %	3 = käyttäen oikeaa kaistaa	17.6 %	25.0 %	15.8 %
Koitko tungosta oviaukon kohdalla				Koitko tungosta oviaukon kohdalla			
1 = en lainkaan	88.2 %	68.8 %	63.2 %	1 = en lainkaan	5.9 %	6.3 %	47.4 %
2 = vähän	5.9 %	31.3 %	36.8 %	2 = vähän	23.5 %	18.8 %	26.3 %
3 = paljon	5.9 %	0.0 %	0.0 %	3 = paljon	70.6 %	75.0 %	26.3 %
Koitko tungosta esteen (laatikoiden) kohdalla				Koitko tungosta liikkeellelähtemisen jälkeen			
1 = en lainkaan	94.1 %	75.0 %	89.5 %	1 = en lainkaan	11.8 %	0.0 %	47.4 %
2 = vähän	5.9 %	25.0 %	10.5 %	2 = vähän	47.1 %	75.0 %	47.4 %
3 = paljon	0.0 %	0.0 %	0.0 %	3 = paljon	41.2 %	25.0 %	5.3 %

### 3.6.5 Tulosten analysointia OVI 3 -kokeessa

Kuten kuvasta 15 havaitaan, kuvien 13a ja 13b mukaisten koejärjestelyjen kesken ei ollut oleellista eroa. Myös kokeiden sisällä, varsinkaan lattiaan piirrettyjen viivojen tapauksessa, ei havaita keskinäistä eroa ryhmien välillä. Kulkusuuntaan poikittainen viivoitus ei silmämääräisesti vaikuttanut jonon etenemiseen tai toimintaan. Kulkusuunnan mukaisesti ollut viivoitus aiheutti kahden koehenkilön osalta sen, että he korjasivat kävellessään tasapainoaan ilmeisesti sen vuoksi, että he sijoituivat paremmin viivojen välille.

Kokeessa, jossa esteet oli sijoitettu oviaukon eteen (kuva 15b), näyttäisi siltä, että ryhmien välisissä tuloksissa on vähemmän hajontaa kuin kuvassa 15a. Kun este oli sijoitettu keskelle oviaukkoa, ainoastaan kaksi henkilöä poikkesi valtajonosta ja kiersi esteen kulkusuuntaan katsoen oikealta puolen.

Ison ryhmän kokeissa (kuva 15c) perättäiset suoritukset näkyvät hieman nopeuttaneen henkilöiden pääsemistä oviaukosta (ts. oviaukkovirtaus kasvoi kokeiden edistytessä ja lasketut arvot olivat koe 1 = 2,26 hlö/s, koe 2 = 2,23 hlö/s ja koe 3 = 2,50 hlö/s). Viimeisessä kokeessa havaittiin henkilöiden käyttäytyvän fyysisemmin kuin ensimmäisessä kokeessa päästäkseen oviaukosta läpi.

Kyselykaavakkeiden tuloksista yksittäisten jonojen tapauksessa näkyy, etteivät koehenkilöt ole kokeneet tungosta juurikaan ilman esteitä tai esteiden kanssa. (Tungosta oli koettu jopa aavistuksen vähemmän esteen kohdalla kuin oviaukon



kohdalla.) Edellisessä OVI 2 -kokeen kysymyksessä kysyttiin myös, käytettiinkö vasenta vai oikeaa kaistaa oviaukon kohdalla, ja tässä, OVI 3 -kokeessa kysyttiin näiden lisäksi, kuljettiinkö keskellä. Henkilöt voivat mieltää jonossa kulkiessaan kulkevasa keskellä, kun taas suuremmissa ryhmässä (ei selkeä jono) sijoittuvansa eri kohtiin käytettävällä osalla kaistaa. Tämä heijastuu myös vastauksiin, jotka liittyvät OVI 3 -kokeen suuren ryhmän kokeen kysymyksiin: painotus ei ole niin selkeästi enää keskellä – vaan jakautunut tasaisemmin pitkin kaistaa. Suuren ryhmän kokeissa (3 kpl) tungosta oli koettu selvästi enemmän kuin yksittäisten jonojen kokeissa. Henkilövirta on ollut tällöin n. 2,5 hlö/s. Tämä on varsin luonnollista ja videoaineiston perusteella odotettavissa. Liikkuminen suuren ryhmän sisällä ei ollut mielletty niin suureksi tungokseksi kuin oviaukon kohdalla. Liikkumisvaiheessa enemmistö oli kokenut tungoksen vähäiseksi.

## 3.7 Koe OVI 4: Vihreän kuvun rikkominen

### 3.7.1 Taustaa OVI 4 -kokeeseen

OVI 4 -kokeessa (kuva 16) tarkkailtiin henkilöiden reaktioita ja toimintaa tilanteessa, jossa poistumisreitille sijoitettu ovi on lukitty ja se on avattavissa rikkomalla vihreä kupu salvan ympäriltä ja vääntämällä samanaikaisesti kahvasta (periaate kuten normaalisti lukitussa ovesa). Vihreä kupu rikkoutuu jo pelkästä salvan vääntämisestä, eikä kuvun rikkomiseen siis tarvita suurta voimaa. Kokeessa käytettävä geometria edustaa hyvin yksinkertaista ratkaisua, joka löytyy yleensä jokaisesta kiinteistöstä uloskäytäviin johtavilla ovilla. Varsinkin poistumisharjoitusten yhteydessä vihreiden kupujen annetaan olla paikallaan (eikä niitä rikota, jolloin reittejäkään ei käytetä) tai ne poistetaan, jotta olisi mahdollista käyttää eri poistumisreittejä kuin tavallisesti.

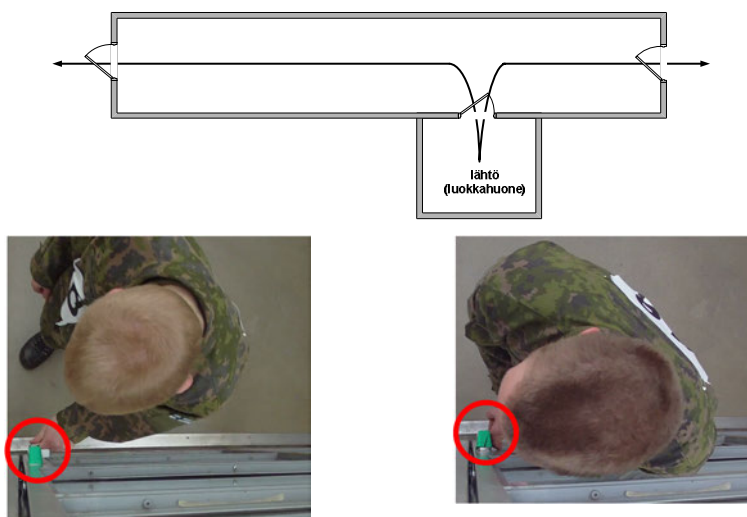


**Kuva 16.** OVI 4 -kokeen geometriassa käytetty lukkomekanismi (ovi aukeaa vetämällä). Kuvan painonappi ei ollut toiminnassa kokeiden aikana, vaan oven aukeamisen edellytyksenä oli vihreän kuvun rikkominen. Työntämällä aukaistavassa ovesa ei ollut painonappia.

#### 3.7.2 Suoritus OVI 4 -kokeessa

OVI 4 -kokeessa koehenkilöt (18 kpl varusmiehiä) tuotiin luokkahuoneeseen, jossa heille esitettiin kuvan 17 kaltainen pohjapiirros tilanteesta. Koehenkilöille kerrottiin tehtävänkuvauus seuraavasti: ”Teidän tulee poistua tästä luokkahuoneesta pareittain käyttämällä kuvan (osoitettiin taululle, johon oli piirretty kuvan 17 kaltainen kuva) mukaisia poistumisreittejä, sinä vasemmalle ja sinä oikealle.” Näin ollen toinen koehenkilöistä lähti vasemmalle ja toinen oikealle, joten pareittain tehtäviä suorituksia oli näin ollen 9 kpl.

Suoritusta seuranneet toimitsijat eivät auttaneet koehenkilöitä koetilanteessa vaan koehenkilöt tekivät omia toimintojaan reittiä kulkeakseen. Koehenkilöille ei myöskään kerrottu oven lukitukseen liittyvästä varsinaisesta tehtävästä, jossa heidän siis piti rikkoa vihreä kupu päästäkseen ovesta toiselle puolen. Koe päättyi pillin vihellykseen, ja kokeen jälkeen koetta suorittanut pari palasi luokkahuoneeseen täyttämään kyselykaavaketta. Kokeen suorittaneille henkilöille ohjeistettiin lisäksi (käytävän puolella), etteivät he saisi puhua tulevasta kokeesta muille luokkahuoneessa oleville. Koetta suorittaneet parit eivät häirinneet toistensa suoritusta, sillä he erkanivat luokasta päästyään täysin eri suuntiin. Koe keskeytettiin pillin vihellykseen, kun oli katsottu riittävä aika (maks. 1 min), että molemmista suorittajista kumpikaan ei ollut selviytynyt kokeesta. Tähän riitti esim. katsominen useaan kertaan toimitsijaa kohti samalla kun varsinaista muuta fyysistä yrittämistä ei tapahtunut.



**Kuva 17.** OVI 4 -kokeen geometria (yllä) ja koehenkilöiden suoritukset, joissa vihreä kupu ei rikkoudu (alhaalla vasemmalla) ja rikkoutuu (alhaalla oikealla).

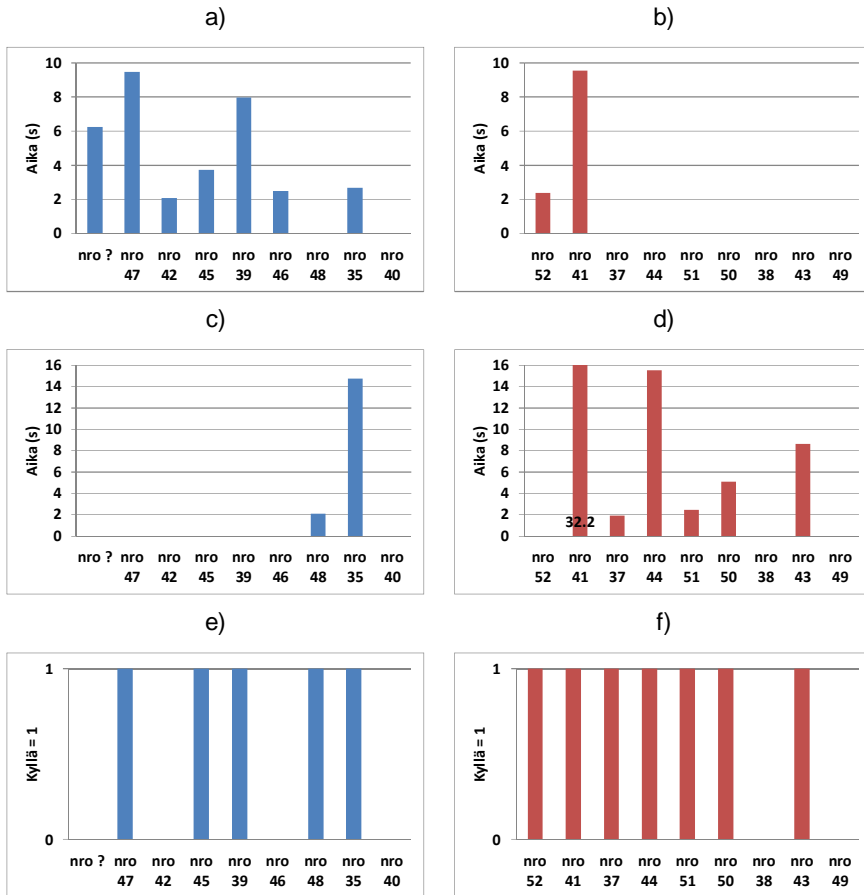
Kuvassa 17 näkyy lisäksi se, että oikealle lähtevä henkilö joutuu vetämään oven auki oikealla kädellä (oikeakätinen ovi) ja vasemmalle lähtevä henkilö voi työntää oven auki vasemmalla kädellä. Ruutukaappauskuvista nähdään myös, että osa henkilöistä ei edes koskenut vihreään kupuun vaan väänsi pelkästään kahvasta (kuva 17, vasen alakulma). Luokkahuoneesta vasemmalle suuntautuneessa reitissä ja sen varrella olevassa ovessa (kuvassa 17) ei ollut painonappia.

#### 3.7.3 Tulokset OVI 4 -kokeessa

OVI 4 -kokeen tuloksissa on tarkasteltu ajanhetkeä, kun henkilö tarttuu ovenkahvaan tai vihreän kuvun peittämään salpaan (nollahetki), ja myös sitä aikaa, jos henkilö on katsonut ympärilleen (avunkatsomis aika, esim. toiveissa saada lisä-apua toimitsijoilta, jotka tarkkailivat suoritusta vieressä), sekä aikaa, kun yritys on päättynyt onnistuneesti oven avautumiseen (läpimenoaika). Henkilön kävelemistä ja ovelle saapumista ei ole kelloitettu.

Kuvassa 18 esitetään OVI 4 -kokeen tulokset. Tuloksissa on esitetty kaikkien 18 koehenkilön tulokset avunkatsomisajalle ja oven läpimenoajalle. Läpimenoaika sisältää mahdollisen avunkatsomisajan. Mikäli tulosta ei ole (pystypalkki puuttuu), ei kyseinen henkilö ole tehnyt ko. toimenpidettä. Kokonaisuudessaan molemmista ovista pääsi läpi 8/18 henkilöä (44 %) ja vihreään kupuun tarttui (riippumatta siitä, pääsikö ovesta läpi vai ei) 12/18 henkilöä (67 %). Tuloksista käy myös ilmi, että työnnettävän oven kanssa useampi henkilö katsoi toimitsijoita kohti (ilmeisesti toivoen opastusta tai apua – toimitsijat eivät puuttuneet kokeen kulkuun) kuin aukivedettävän oven kanssa. Vastaavasti ovesta meni läpi henkilöitä enemmän, kun ovi oli aukivedettävä. Lyhimmillään koko suoritus (oveen tarttumisesta siihen kun ovesta pääsi läpi) kesti n. 2 s ja pisimmillään n. 32 s. Keskimäärin aikaa meni n. 10 s.

### 3. Ovikokeisiin liittyvä koesarja



**Kuva 18.** OVI 4 -kokeen tulokset a) & b) avunkatsomisajoille, c) & d) läpimenoajoille sekä e) & f) tiedolle, tarttuiko koehenkilö vihreällä kuvulla varustettuun salpaan. Vasen sarake (kuvat a, c & e) edustaa ovia, jotka on jouduttu työntämään auki, ja oikea puolestaan ovia, jotka on jouduttu vetämään auki (kuvat b, d & f).

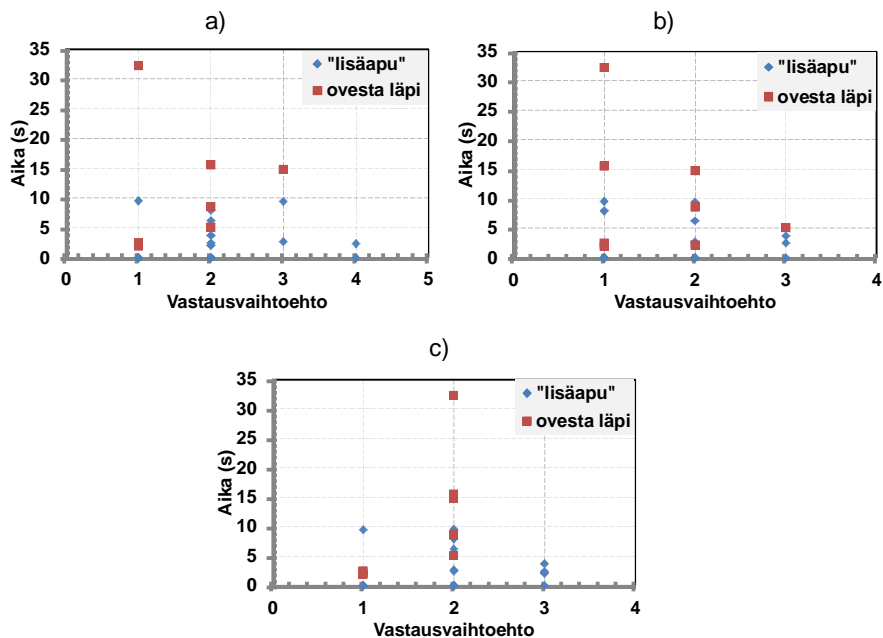
### 3.7.4 Kyselykaavakkeen tulokset OVI 4 -kokeessa

Taulukossa 9 ja kuvassa 19 esitetään OVI 4 -kokeeseen liittyvien kyselykaavakkeiden tulokset.

**Taulukko 9.** OVI 4 -kokeen kyselykaavakkeiden tulokset.

Käyttäydyin kulkiessani mielestäni niin kuin oikeassa tulipalotilanteessa	kaikki	vasen ovi	oikea ovi
1 = täysin samaa mieltä	22.2 %	11.1 %	27.3 %
2 = jokseenkin samaa mieltä	55.6 %	55.6 %	45.5 %
3 = jokseenkin eri mieltä	11.1 %	22.2 %	0.0 %
4 = täysin eri mieltä	11.1 %	11.1 %	27.3 %
Muuttuiko toimintamallini kokeen aikana			
1 = ei lainkaan	33.3 %	22.2 %	44.4 %
2 = vähän	50.0 %	55.6 %	44.4 %
3 = paljon	16.7 %	22.2 %	11.1 %
Koitto oven/lukon avaamisen hankalaksi			
1 = en lainkaan	22.2 %	22.2 %	22.2 %
2 = vähän	55.6 %	55.6 %	55.6 %
3 = paljon	22.2 %	22.2 %	22.2 %

### 3. Ovikokeisiin liittyvä koesarja



**Kuva 19.** OVI 4 -kokeeseen liittyvien kysymysten vastausvaihtoehdot suhteessa yksilön käyttämään aikaan lisäavun pyytämässä tai oven läpipääsemässä taulukon 9 mukaisissa kysymysvaihtoehdoissa a) kysymys 1, b) kysymys 2 ja c) kysymys 3. Esim. kuvassa b) vastausvaihtoehto 1 = "ei lainkaan" ja 2 = "vähän" jne.

#### 3.7.5 Tulosten analysointia OVI 4 -kokeessa

OVI 4 -koesarjassa käytetty lukkomekanismi oli lähtökohtaisesti valittu sillä perusteella, että se oli oletettavasti yksinkertainen käyttää. Vaikeaksi kokeen suorituksen teki ilmeisesti vihreä kupu, joka olisi pitänyt rikkoa. Kokeessa onnistumisprosentti oli 44 %, mutta tämä osuus olisi voinut olla vielä pienempi, ellei kolmen henkilön kohdalla, aukivedettävän oven tapauksessa, vihreä kupu olisi löystynyt kannakkeestaan ilmeisesti oven tärähtelyn vuoksi (tämä vaikuttaa päätelmiin siitä, kumpi ovilehti oli todellisesti edullisempi käyttää). Kupu ei kuitenkaan näissä tapauksissa olisi pudonnut, mutta antoi viitteitä koehenkilöille, että tätä kupua voisi koettaa irrottaa lisää. Tämä ilmiö osaltaan vaikutti näiden suoritusten onnistumiseen. Vihreään kupuun jätti kokonaan koskematta kolmannes koehenkilöistä. Tyypillinen suoritus tässä osuudessa oli, että kahvaan tartuttiin, mutta kun ovi ei auennut, käännettiin pois (kaksi henkilöä lähti etsimään tämän jälkeen toista reittiä). Tartuttaessa aukivedettävään ovilehteen oikealla kädellä eräs henkilö vaihtoi käsiä saadakseen vihreän kuvun rikkoutumaan. Kyse on luultavimmin kuitenkin enemmän tekniikasta kuin siitä, että vihreää kupua ei saisi rikottua normaalia voimaa käyttämällä.

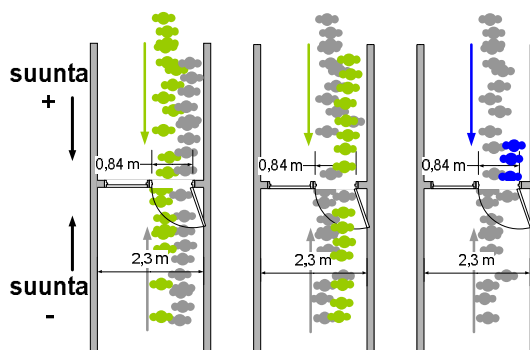
Kyselykaavakkeiden vastausten osalta käy ilmi, että enemmistö on käyttäytynyt mielestään kuten oikeassa tilanteessa käyttäytyisi. Tätä taustaa vasten alhainen

ovesta läpipäässeiden osuus (44 %) herättää lisää pohdittavaa, kun tuloksia yleistetään (esim. mikä on poistumisharjoitusten rooli, miten helposti muilla tekniikoilla varustetut ovilehdet voivat avautua jne.). Myös selvä enemmistö oli pitänyt alkupe-  
räisen toimintamallinsa kokeen aikana. Vastaavasti yli 75 % henkilöistä oli kokenut lukon avaamisen vähän tai paljon hankalaksi. Peilattaessa yksilön käyttämää aikaa suhteessa siihen, miten hän on vastannut kysymyksiin, havaitaan ainakin, että ovesta läpipäässeiden osuus on vähäinen silloin kun vastausvaihtoehtoina on ollut "täysin eri mieltä" tai "paljon" (viitaten kysymyksiin käyttäytymisestä, toimintamallin muuttumisesta tai oven avaamisen hankaluudesta). Myös näin vastanneilla käytetty aika oli muita vastausvaihtoehtoja selvästi pienempi. Avointen vastausten kohdalla kolme henkilöä oli vastannut siten, että yksilö oli vanhasta tottumuksesta oppinut olemaan rikkomatta vihreää kupua tai kupu oli koettu muuten hankalaksi rikkoo. Videoita katsomalla voi päätellä kuitenkin, että enemmistö ei ymmärtänyt rikkoo kupua kyseisessä tilanteessa. Tämä ei myöskään tarkoita täysin sitä, että kuvun rikkomisen ja oven aukeamisen yhteys olisi ollut etukäteen tiedostettu.

### 3.8 Koe OVI 5: Vastavirtaus oviaukossa

#### 3.8.1 Taustaa OVI 5 -kokeeseen

Kuvassa 20 esitetään oviaukkoihin liittyvien vastavirtauskokeiden havainnekuvat. Kokeessa tarkasteltiin oviaukkovirtausta tilanteissa, joissa koehenkilöt lähestyvät oviaukkoa vuorotellen eri suunnilta (ja eri kaistoilta), jolloin itse ovilehden aukeamis-  
suunnan ja ovigeometrian vaikutus tulee huomioiduksi. Vastavirtausilannetta kokeiltiin myös pelastushenkilöiden (3 kpl) tullessa vastaan oviaukosta. Oviaukossa tapahtuva vastavirtaus tilanne voi liittyä tositilanteessa juuri pelastushenkilöstön saapumiseen kohteeseen tai samanaikaisesti sisään ja ulos pyrkivien ihmisten liikkumiseen (esim. jos ulkona olevat henkilöt eivät tiedä, mitä kiinteistön sisällä tapahtuu).



**Kuva 20.** OVI 5 -kokeeseen liittyvä geometria sekä havainnollistus vastavirtaus tilanteessa koehenkilöiden kulusta toisiinsa nähden. Käytävän pitkittäissuuntaan nähden lähtötasan oikeaa ja vasenta puolta vaihdettiin myös.

### 3.8.2 Suoritus OVI 5 -kokeessa

OVI 5 -koetta suoritettiin samanaikaisesti OVI 4 -kokeen kanssa. Tämän vuoksi osallistujamäärä oli kokonaisuudessaan 34 henkilöä, jotka jaettiin vielä kahteen ryhmään. Tämän lisäksi kokeeseen osallistui kolme Pelastusopiston opiskelijaa varustautuneena pelastajan varusteisiin, jotka tässä tapauksessa käsittivät sammutusasun ja paineilmalaitteet. Pelastajilla ei ollut käsissään mitään kantamuksia. Jonot asettuivat lähtötasalle 10 m päähän oviaukosta niin, että ne lähtivät liikenteeseen jonomuodostelmasta joko vasenta tai oikeaa kaistaa käyttäen, kunnes suoritettiin kaistanvaihto. Näin oviaukossa tapahtuva kohtaaminen haluttiin saattaa geometriasta riippumattomaksi (esim. seinän ja käännetyin ovilehden vaikutus). Ovilehti oli kiilattu auki, joten sitä koehenkilöt eivät joutuneet avaamaan.

Kumpikin ryhmä, A ja B, suoritti aluksi kahdeksan koetta, joista ensimmäinen oli ns. nollakoe (molempiin suuntiin ja ilman vastaantulevaa jonoa). Tämän jälkeen suoritettiin kolme koetta lähtökaistan ollessa vakio. Loput neljä koetta tehtiin samassa järjestyksessä, kuitenkin niin, että lähtöpaikan kaistaa vaihdettiin (esim. oikeasta vasempaan).

Kahdeksan ensimmäisen kokeen jälkeen seurasi loput seitsemän koetta, jotka tehtiin siten, että palomiesten partio toimi vastaryhmänä. Ensimmäinen koe oli nollakoe (molemmilta suunnilta), ja tämän jälkeen koko 34 henkilön ryhmä suoritti vastavirtauskokeen pelastajat vastaryhmänä. Loput viisi koetta tehtiin niin, että pelastajien ryhmän kohtasi 17 henkilön ryhmä; A ja B. Pelastajat ja koehenkilöt kulkivat noudattaen "oikeanpuoleista liikennettä" (kuva 21).

Jokaisessa kokeessa koehenkilöt kävelivät normaalisti eikä toisen jonon kohtaaminen aiheuttanut esimerkiksi toisen jonon liiallista väistämistä tai etenkin pysähtymistä.

Taulukossa 10 esitetään OVI 5 -kokeen suoritus.

**Taulukko 10.** OVI 5 -kokeen suoritus.

Koe	Henkilömäärä	Ryhmä(t)	Kuvaus
OVI 5 01	17	A	nollakoe
OVI 5 02	17	C	nollakoe toinen ryhmä
OVI 5 AC1 ja AC2	17 + 17	AC	"oikeanpuoleinen liikenne", kulkusuunta vaihtuu
OVI 5 AC3 ja AC4	17 + 17	AC	"oikeanpuoleinen liikenne", kulkusuunta vaihtuu
OVI 5 AC5 ja AC6	17 + 17	AC	"oikeanpuoleinen liikenne", kulkusuunta vaihtuu
OVI 5 CA1 ja CA2	17 + 17	CA	"vasemmanpuoleinen liikenne", kulkusuunta vaihtuu
OVI 5 CA3 ja CA4	17 + 17	CA	"vasemmanpuoleinen liikenne", kulkusuunta vaihtuu
OVI 5 CA5 ja CA6	17 + 17	CA	"vasemmanpuoleinen liikenne", kulkusuunta vaihtuu
OVI 5 CA7 ja CA8	17 + 17	CA	"vasemmanpuoleinen liikenne", kulkusuunta vaihtuu
OVI 5 P01	3	pelastajat	pelastajakokeet, nollakoe pelastajaparilla
OVI 5 P1	34 + 3	kaikki	pelastajakokeet, kulkusuunta vaihtuu
OVI 5 P2 ja P3	17 + 3	AC + pel.	pelastajakokeet, kulkusuunta vaihtuu
OVI 5 P4 ja P5	17 + 3	AC + pel.	pelastajakokeet, kulkusuunta vaihtuu
OVI 5 P6	17 + 3	C + pel.	pelastajakokeet, kulkusuunta vaihtuu





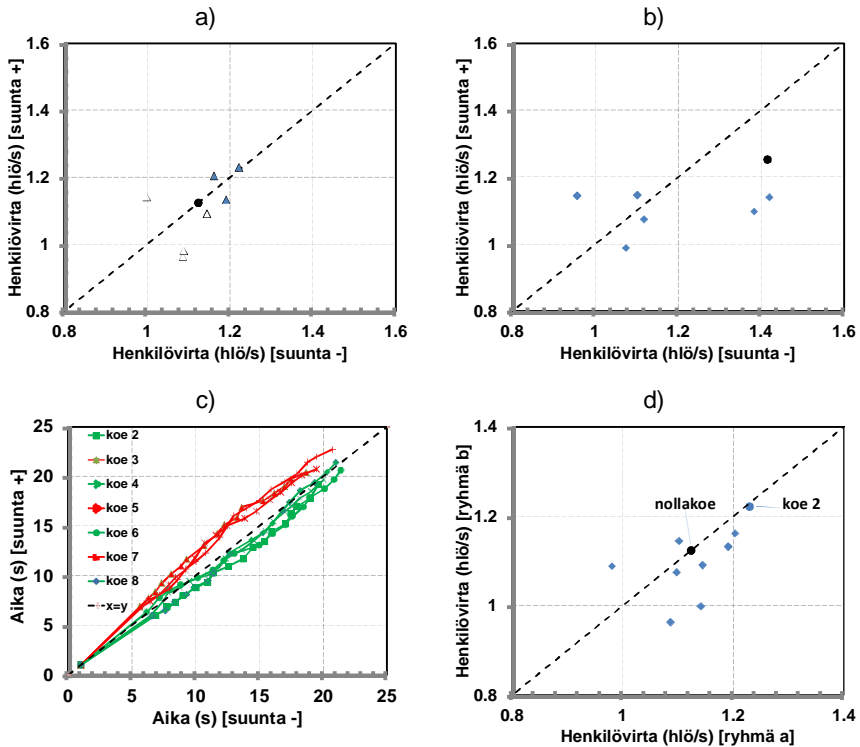
**Kuva 21.** Kahden jonon (vasen) ja koehenkilöiden ja pelastajien vastavirtaustilanne (oikea). Molemmat toisiaan lähestyvät ryhmät kulkivat samasta avonaisesta oviaukosta.

#### 3.8.3 Tulokset OVI 5 -kokeessa

Kuvassa 22 esitetään tulokset OVI 5 -kokeeseen. Tarkasteltavana parametrina on oviaukkovirtaus (hlö/s) kuvan 20 suuntien mukaisesti, jolloin esim. "+"-suunnasta tulevat henkilöt on laskettu videosta ovilehden aukeamissuuntaan nähden henkilöiden astuessa oviaukon yli.

Tuloksissa voidaan tarkastella oviaukkovirtauksia eri koeasetelmien, pienryhmien ja suuntien mukaisesti. Kuhunkin kuvaan on lisäksi piirretty poikittainen katkoviiva, jonka alapuolelle jääneet arvot edustavat siis suurempia henkilövirran arvoja (kuvat 22a, 22b ja 22d) suunnan "-" mukaisesti tarkasteltuna (kuvassa 22d ryhmän A suhteen). Huomattakoon, että kuvassa 22c parilliset koenumerot (2, 4, 6 ja 8) edustavat suunnan "-" mukaisesti tarkasteltuja ryhmän B oviaukkovirtauksia (ryhmän B ajat ovat pääsääntöisesti hitaampia kuin ryhmän A).

### 3. Ovikokeisiin liittyvä koesarja



**Kuva 22.** OVI 5 -kokeen tulokset, joissa a) kahden samankokoisen jonon (17 henkilöä, kuvan 20 mukaisesti), b) pelastajien ja koehenkilöistä koostuvan jonon kohtaaminen oviaukossa. Musta ympyrä kuvastaa nollakoea (ilman vastaan tulevaa jonoa). Avoimet symbolit kuvastavat kokeita, joissa ”oikeanpuoleinen liikenne” on vaihdettu vasemmanpuoleiseksi. Kuvassa c) kahdeksan ensimmäisen (kuvan a) kokeet) kokeen ajallinen kehitys sekä kuvassa d) ryhmien A ja B vertailu.

#### 3.8.4 Kyselykaavakkeen tulokset OVI 5 -kokeessa

Taulukossa 11 esitetään OVI 5 -kokeen kysymysten vastaukset. Vasemmalla tulokset käsittävät jonojen keskinäiseen kohtaamiseen liittyvät kysymykset ja oikealla puolella pelastajien kanssa kohtaamiseen liittyvät kysymykset. Koehenkilöistä 11/33 kohtasi kysymyskaavakkeiden vastausten perusteella pelastajia oviaukon läheisyydessä.

**Taulukko 11.** OVI 5 -kokeen kysymyskaavakkeiden vastaukset.

Koitko tungosta oviaukosta kulkemisessa	kaikki	Koitko tungosta oviaukosta kulkemisessa	kaikki
1 = en lainkaan	50.0 %	1 = en lainkaan	27.3 %
2 = vähän	50.0 %	2 = vähän	54.5 %
3 = paljon	0.0 %	3 = paljon	18.2 %
Miten pääasiallisesti käyttäytyit ollessasi oviaukon kohdalla (voit vastata useaan kohtaan)?	kaikki	Miten pääasiallisesti käyttäytyit ollessasi oviaukon kohdalla (voit vastata useaan kohtaan)?	kaikki
1 = hiljensin vauhtia	5.7 %	1 = hiljensin vauhtia	16.0 %
2 = lisäsin vauhtia	2.9 %	2 = lisäsin vauhtia	4.0 %
3 = pyrin välttämään kontaktia	35.7 %	3 = pyrin välttämään kontaktia	24.0 %
4 = pyrin ottamaan kontaktia	0.0 %	4 = pyrin ottamaan kontaktia	0.0 %
5 = en välttänyt mahdollisesta kontaktista	12.9 %	5 = en välttänyt mahdollisesta kontaktista	28.0 %
6 = seurasin edellä menevää	20.0 %	6 = seurasin edellä menevää	16.0 %
7 = jäljittelin edellä menevän reaktiota	5.7 %	7 = jäljittelin edellä menevän reaktiota	4.0 %
8 = katseeni seurasi pääosin vastaantulevaa	17.1 %	8 = katseeni seurasi pääosin vastaantulevaa	8.0 %

### 3.8.5 Tulosten analysointia OVI 5 -kokeessa

Kuvan 22 tuloksista voidaan nähdä, että ryhmä A saavutti useimmin suurempia oviaukkovirtauksia kuin ryhmä B (kuvat 22c ja 22d). Ideaalitilanteessa molemmista jonoista tulisi henkilöitä samanaikaisesti oviaukon molemmille puolille, mutta käytännössä tämä on miltei mahdotonta. Mittausdatasta on voitu katsoa, että ryhmä A on saapunut oviaukolle systemaattisesti kahdeksassa ensimmäisessä kokeessa n. 0,5...1,3 s nopeammin, jolloin suurempi oviaukkovirtausarvo selittyy osaksi siitä, että keulan nopeus on johdattanut koko jonon nopeammin oviaukosta läpi. Kaistan vaihtaminen oikeanpuoleisesta vasemmanpuoleiseksi laski yleisesti oviaukkovirtausarvoa (kuva 22a), mutta samalla myös toi siihen hajontaa. Nollakoetulos (joka oli hyvin samansuuruinen molempien ryhmien kesken) asetui näiden kahden väliin. Pelastajien kohtaaminen ei oleellisesti vaikuttanut oviaukkovirtausarvoihin verrattuna tilanteeseen, jossa ei ollut pelastajia vastaryhmänä (kuva 22b).

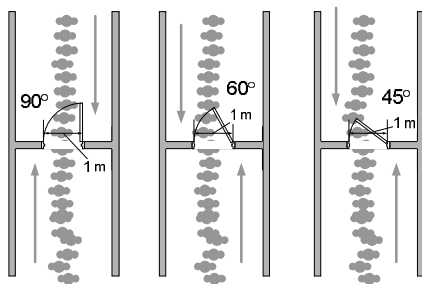
Kyselykaavakkeiden tulosten osalta vastavirtaustilanteessa tungosta ei ollut koettu paljoa oviaukon kohdalla. Pelastajia kohdattaessa noin joka viides oli vastannut kokeneensa paljon tungosta. Käyttäytymiseen liittyvissä kysymyksissä oli selvästi pyritty välttämään kontaktia, seurattu edellä menevää ja vastaantulevaa tapauksissa, joissa kohdattiin vastaavankokoinen jono. Pelastajia kohdattaessa vauhtia hiljentävien osuus oli kasvanut n. 10 prosenttiyksikköä ("kyllä"-vastauksia eli niitä, jotka olivat kohdanneet pelastajan, oli vain 11 kpl) verrattuna tavallisten

jonojen kohtaamiseen. Kontakta oli pyritty välttämään myös pelastaja kohdattaessa, mutta toisaalta hieman suurempi osuus ilmoitti olleensa välittämättä mahdollisesta kontaktista. Tähän selityksenä voi olla, että henkilöt tiedostivat, ettei kolmen pelastajan kohtaaminen vaikuta kaikkiin, ja toisaalta toistojen määrä oli kasvanut ja henkilöt saattoivat oppia kulkemaan oviaukosta ja tottua tilanteeseen.

## 3.9 Koe OVI 6: Ovilehden momentti ja aukeamiskulma

### 3.9.1 Taustaa OVI 6 -kokeeseen

Kuvassa 23 esitetään OVI 6 -kokeen havainnekuvat. Ensimmäisessä asetelmassa tarkasteltiin ovilehden aukeamiskulman vaikutusta oviaukkovirtaukseen. Aukeamiskulmina käytettiin 45, 60 ja 90 astetta. Näissä kokeissa ovilehden jäykkyytenä käytettiin keskiraskasta säätöä, joka 45 asteen kohdalta mitattuna oli n. 30 Nm. Toisessa kokeessa tarkasteltiin ovipumpun aukeamista vastustavan voiman vaikutusta oviaukkovirtaukseen. Vastus säädettiin niin, että ovilehteen kohdistuva momentti 45 asteen kohdalla oli joko 18 Nm (kevyt), 30 Nm (keskiraskas) tai 77 Nm (raskas). Raskaimmalla säädöllä ovilehti ei oletettavasti avaudu täysin auki, jolloin se vaikuttaa oviaukkovirtaukseen.



kevyt (45°) = 18 Nm  
keskiraskas (45°) = 30 Nm  
raskas (45°) = 77 Nm



**Kuva 23.** OVI 6 -kokeen järjestelyt vasemmalla ja valokuva ovilehdestä oikealla.

### 3.9.2 Suoritus OVI 6 -kokeessa

Suorituspaikkana oli Pelastusopiston katutasolla F-rakennukseen johtavan yhdysputken ovi, johon kokeita varten asennettiin haluttuja vastusvoimia tuottava pumppu. Taulukoissa 12 ja 13 esitetään OVI 6 -koesarja aukeamisvoimalle ja -kulmalle.

**Taulukko 12.** OVI 6 -kokeeseen liittyvä koesarja oven aukeamisvoimalle.

Koe*	Henkilömäärä	Ryhmä	Kuvaus	Momentti
OVI VI A2t	17	A	aukeamisvoima, keskiraskas	30 Nm
OVI VI B2v	19	B	aukeamisvoima, keskiraskas	30 Nm
OVI VI C2t	19	C	aukeamisvoima, keskiraskas	30 Nm
OVI VI A2v	17	A	aukeamisvoima, keskiraskas	30 Nm
OVI VI B2t	19	B	aukeamisvoima, keskiraskas	30 Nm
OVI VI C2v	19	C	aukeamisvoima, keskiraskas	30 Nm
OVI VI A1t	17	A	aukeamisvoima, kevyt	18 Nm
OVI VI B1v	19	B	aukeamisvoima, kevyt	18 Nm
OVI VI C1t	19	C	aukeamisvoima, kevyt	18 Nm
OVI VI A1v	17	A	aukeamisvoima, kevyt	18 Nm
OVI VI B1t	19	B	aukeamisvoima, kevyt	18 Nm
OVI VI C1v	19	C	aukeamisvoima, kevyt	18 Nm
OVI VI A3t	17	A	aukeamisvoima, raskas	77 Nm
OVI VI B3v	19	B	aukeamisvoima, raskas	77 Nm
OVI VI C3t	19	C	aukeamisvoima, raskas	77 Nm
OVI VI A3v	17	A	aukeamisvoima, raskas	77 Nm
OVI VI B3t	19	B	aukeamisvoima, raskas	77 Nm
OVI VI C3v	19	C	aukeamisvoima, raskas	77 Nm

\* Kirjain "t" tarkoittaa koetta, jossa ovi avautuu poistumissuuntaan nähden työntämällä, ja kirjain "v" koetta, jossa ovi avautuu vetämällä.

**Taulukko 13.** OVI 6 -kokeeseen liittyvä koesarja oven aukeamiskulmalle.

Koe*	Henkilömäärä	Ryhmä	Kuvaus
OVI VI A1t	17	A	aukeamiskulma 45
OVI VI B1v	19	B	aukeamiskulma 45
OVI VI C1t	19	C	aukeamiskulma 45
OVI VI A1v	17	A	aukeamiskulma 45
OVI VI B1t	19	B	aukeamiskulma 45
OVI VI C1v	19	C	aukeamiskulma 45
OVI VI A2t	17	A	aukeamiskulma 60
OVI VI B2v	19	B	aukeamiskulma 60
OVI VI C2t	19	C	aukeamiskulma 60
OVI VI A2v	17	A	aukeamiskulma 60
OVI VI B2t	19	B	aukeamiskulma 60
OVI VI C2v	19	C	aukeamiskulma 60

\* Kirjain "t" tarkoittaa koetta, jossa ovi avautuu poistumissuuntaan nähden työntämällä, ja kirjain "v" koetta, jossa ovi avautuu vetämällä.

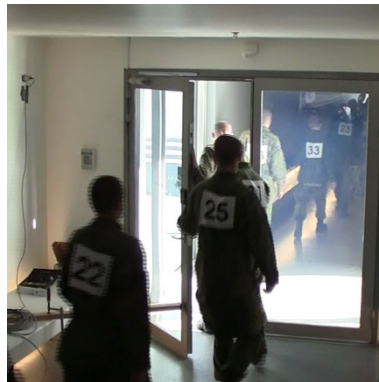
### 3. Ovikokeisiin liittyvä koesarja

---

Taulukon 13 tiedoista puuttuu koesarja 90°:n kulmalle tehtävät kokeet, koska nämä kokeet oli jo tehty aukeamisvoimaan liittyvässä kokeessa momentin ollessa 30 Nm (kuten taulukon 13 muissakin kokeissa).

Ryhmiä oli kolme, joista A-ryhmässä oli kaikki Pelastusopiston opiskelijat. Muissa ryhmissä koehenkilöt olivat varusmiehiä. Ryhmät suorittivat kokeet peräkkäin heti kun edellinen ryhmä oli suorittanut kokeen. Kulkusuunnasta, jossa ovilehti jouduttiin työntämään auki, kävelymatka oli n. kolme kertaa pidempi kuin toisesta suunnasta lähestyttäessä (tämä osaltaan vaikutti jonon muotoon ja henkilöiden välisiin etäisyyksiin).

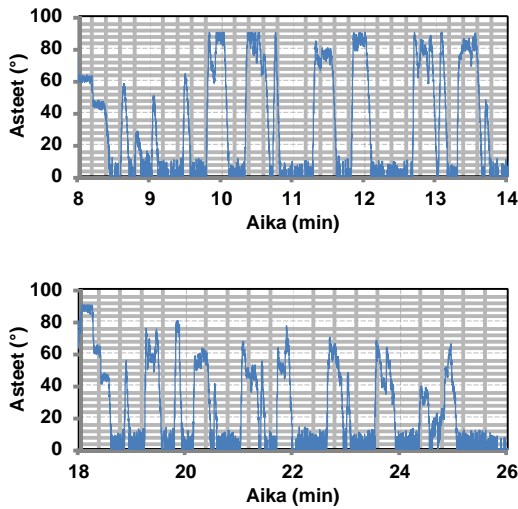
Ovilehteen oli asennettu lanka-anturi, jonka jännitesignaali muunnettiin tulosten analysointivaiheessa kulma-asteiksi. Oven avautumiskulmaan liittyvissä kokeissa maksimiavautumiskulmaa rajoitettiin myös tilapäisellä rakenteella, joka esti ovilehden liiallisen avautumisen (kuva 24). Oven avautumisvoimaan liittyvissä kokeissa jousivastusta säädettiin eri jäykkyyteen kokeiden välillä (momentti mitattiin ovilehden ollessa n. 45 °:n kulmassa). Tämä oli pikainen suoritus eikä vaikuttanut koehenkilöiden suorituskykyyn.



**Kuva 24.** Videokuvasta otettu kuvakaappaus OVI 6 -kokeesta. Kuvassa ovilehden maksimiaukeamiskulmaa on rajoitettu ja ovilehden liikettä mitataan jatkuva-toimisesti.

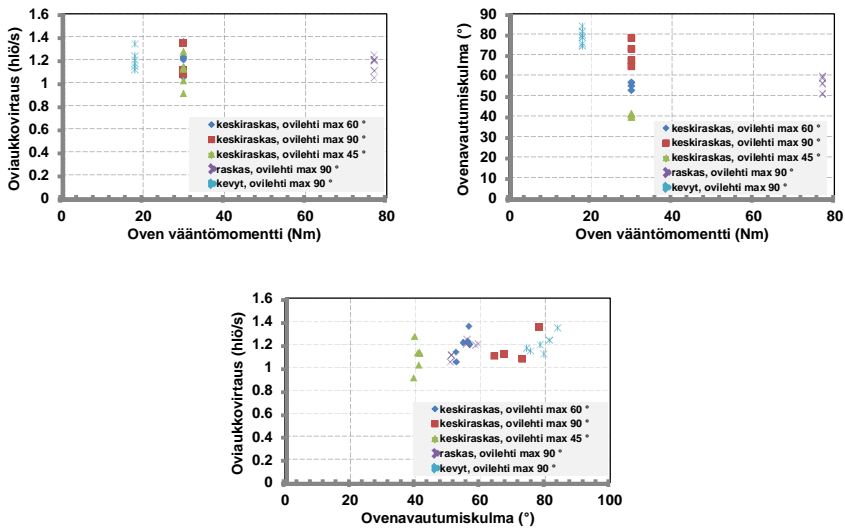
#### 3.9.3 Tulokset OVI 6 -kokeessa

Kuvassa 25 esitetään lanka-anturin tuottamaa kulma-astetietoa ajan funktiona ovilehden liikkeestä. Jokaisesta tiettyyn momenttiin liittyvästä kokeesta on erotettavissa kuusi yksittäistä koetta, jotka ovat kuvassa 25 nähtävissä käyrän huippuina. Näitä huippuja voidaan keskiarvoistaa ja näin saadaan määritettyä kokeenaikainen tehollinen avautumiskulma.



**Kuva 25.** Esimerkki OVI 6 -kokeessa tuotetusta ovilehden liikkumissignaalista kulma-asteiksi muutettuna ajan funktiona. Ylhäällä ovilehden jäykkyys 18 Nm ja alhaalla 77 Nm.

Kun tarkastellaan henkilöiden liikkumista oviaukon kautta eli oviaukkovirtausta ja verrataan sitä ovilehden vääntömomenttiin tai teholliseen (todettuun) aukeamiskulmaan, saadaan kuvan 26 kaltaiset tulokset.



**Kuva 26.** OVI 6 -koesarjan tulokset oviaukkovirtauksen, vääntömomentin ja todetun oven avautumiskulman keskinäisille suhteille.

### 3. Ovikokeisiin liittyvä koesarja

#### 3.9.4 Kyselykaavakkeen tulokset OVI 6 -kokeessa

Taulukossa 14 esitetään OVI 6 -kokeeseen liittyneiden kysymysten vastaukset.

**Taulukko 14.** OVI 6 -kokeen kysymyskaavakkeiden vastaukset. Ovilehden jäykkyteen liittyvät vastaukset vasemmalla ja ovilehden aukeamiskulmaan liittyvät vastaukset oikealla.

Haittasiko ovilehden jäykkyys oviaukosta kulkemista	ryhmä A	ryhmä B	ryhmä C	Haittasiko ovilehden pieni avautumiskulma oviaukosta kulkemista	ryhmä A	ryhmä B	ryhmä C
1 = ei lainkaan	64.7 %	70.6 %	70.0 %	1 = ei lainkaan	29.4 %	29.4 %	30.0 %
2 = vähän	35.3 %	29.4 %	30.0 %	2 = vähän	64.7 %	58.8 %	65.0 %
3 = paljon	0.0 %	0.0 %	0.0 %	3 = paljon	5.9 %	11.8 %	5.0 %
Kuinka paljon helpompaa oli kulkea työntämällä avautuvan oven kautta kuin vetämällä avautuvan ovil.				Kuinka paljon helpompaa oli kulkea työntämällä avautuvan oven kautta kuin vetämällä avautuvan ovil. (tap. < 90degr)			
1 = en huomannut eroa	29.4 %	35.3 %	50.0 %	1 = en huomannut eroa	17.6 %	29.4 %	45.0 %
2 = vähän helpompaa	70.6 %	58.8 %	50.0 %	2 = vähän helpompaa	76.5 %	70.6 %	55.0 %
3 = paljon helpompaa	0.0 %	5.9 %	0.0 %	3 = paljon helpompaa	5.9 %	0.0 %	0.0 %
Kulkiessani oven läpi				Kulkiessani oven läpi			
1 = jouduin avaamaan kokonaan kiinni olevan ovilehden	5.9 %	11.8 %	15.0 %	1 = jouduin avaamaan kokonaan kiinni olevan ovilehden	5.9 %	11.8 %	10.0 %
2 = jouduin pitämään auki jo avattua ovilehteä	70.6 %	76.5 %	60.0 %	2 = jouduin pitämään auki jo avattua ovilehteä	64.7 %	76.5 %	75.0 %
3 = en koskenut ovilehteen	23.5 %	11.8 %	25.0 %	3 = en koskenut ovilehteen	29.4 %	11.8 %	15.0 %

#### 3.9.5 Tulosten analysointia OVI 6 -kokeessa

Tässä koesarjassa saatiin tuloksia siitä, kuinka ovilehti ja sen ominaisuudet vaikuttavat poistumistilanteen liikkumisvaiheessa hyvin keskeiseen tekijään eli oviaukkovirtaukseen. Yllättävää on, että havaitut tulokset eivät korreloi kovin voimakkaasti keskenään, mutta ilmeisiä trendejä on havaittavissa esim. oviaukkovirtauksen ja todetun avautumiskulman välille. Vertailtaessa esim. raskainta ja keveintä ovilehden säätöä ei huomattavia eroja tuloksissa ole. OVI 6 -koe oli ovikokeisiin liittyneen koepäivän viimeinen koe, ja tämä on varmasti vaikuttanut jossain määrin koehenkilöiden kykyyn kulkea oviaukoista. Tosin tässä kokeessa koehenkilöt joutuivat käytännössä avaamaan ja näin ollen käyttämään ovilehteä jonomuodostelmassa ensimmäistä kertaa koepäivän aikana. Myös leveä ovilehti saattaa osaltaan vaikuttaa siihen, miksi tulokset eivät korreloi voimakkaasti toisiinsa – ovilehdestä on mahdollisesti pystytty kulkemaan helpommin sen leveyden takia.



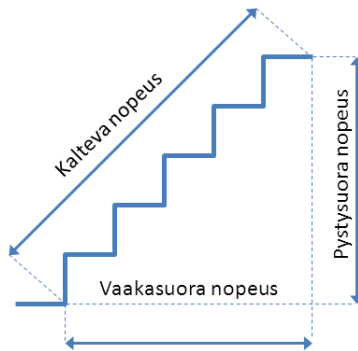
Kysymysten vastauksista huomataan, että koehenkilöiden enemmistön liikkumista ei ole haitannut ovilehden jäykkyys. Enemmistö on myös ilmoittanut kokeneensa vain vähän haittaa pienestä ovilehden aukeamiskulmasta. Työntämällä avautuvan ovilehden kautta liikkuminen on ollut enemmistön mielestä vähän helpompaa. Noin kolmannes on kokenut, että eroa ei ole ollut vedettävän tai työnnettävän ovilehden tapauksessa. Tätä voi osaltaan selittää se, valtaosa henkilöistä on joutunut pitämään ovilehteä auki eikä avaamaan sitä, jolloin tuntuma on erilainen. Noin 10–25 % henkilöistä on päässyt kulkemaan oviaukosta jonossa ilman että on joutunut koskemaan koko ovilehteen.

## 4. Porraskokeet

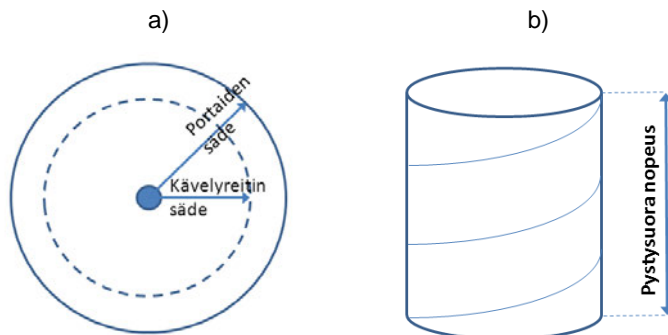
### 4.1 Kirjallisuuskatsaus porrageometriassa tehtyihin kokeisiin

Toiminnallisessa paloturvallisuussuunnittelussa tutkitaan, kuinka kauan olosuhteet rakennuksen eri osissa pysyvät poistumisen kannalta turvallisina, ja tätä ”turvallista poistumisaikaa” verrataan poistumiseen kuluvaan aikaan. Jotta poistumisaikojaa voidaan luotettavasti arvioida, tarvitaan mahdollisimman luotettavaa tietoa poistumista rajoittavista tekijöistä, joita korkeiden rakennusten ja maanalaisten tilojen kohdalla ovat erityisesti portaikot. Portaikossa tapahtuvaa ihmisten liikkumista ja käyttäytymistä on tutkittu jonkin verran kokeellisesti, ja lisäksi on olemassa kokemuksia ja valvontakameratallenteita todellisista evakuointitilanteista. Näiden tutkimusten pohjalta on mm. kehitetty poistumismalleja.

Tarkasteltaessa kävelynopeuksia portaissa on tärkeää määritellä, mitä nopeutta tarkoitetaan. Suorissa portaissa nopeus voidaan esittää *vaakasuorana, pystysuorana tai kaltevana nopeutena* (Fujiyama & Tyler 2004; kuva 27). Kierreportaissa portaiden kaltevuus on suurin keskustassa ja vähenee keskustasta ulospäin mentäessä. Kävelijän kulkema matka vaakasuoraan tai kaltevasti mitattuna riippuu siitä, mikä on kävelijän kulkeman kaaren säde (Frantzich 1994; kuva 28a). Jos halutaan mitata kävelijän vaakasuora tai kalteva nopeus, on tiedettävä tarkasti kävelijän reitti. Pystysuora nopeus (kuva 28b) sen sijaan ei riipu reitistä, vaan voidaan suoraan määrittää porrassosuuden korkeuseron ja sen kävelemiseen kuluvan ajan suhteena. Monissa tutkimuksissa on raportoitu keskimääräinen nopeus *liikkumissuuntaan* (Proulx ym. 1999, Kratchman 2007, Proulx & Benichou 2010, Fang ym. 2012), jolla tarkoitetaan kaltevan (portaissa) ja vaakasuoran (väli-  
tasanteilla) nopeuden yhdistelmää.



**Kuva 27.** Suoriin portaisiin liittyviä määritelmiä.



**Kuva 28.** Kierreportaisiin liittyviä määritelmiä.

Vaakasuora ja kalteva nopeus näyttäisivät tutkimusten perusteella hidastuvan portaiden kaltevuuden kasvaessa. Pystysuora nopeus sen sijaan näyttäisi pysyvän suunnilleen samana tai jopa kasvavan kaltevammassa portaissa (Fujiyama & Tyler 2004). Graat ym. (1999) tutkivat motivaation ja portaiden kaltevuuden välistä yhteyttä. He havaitsivat, että motivaation kasvu vaikuttaa enemmän kävelynopeuteen jyrkissä kuin loivissa portaissa.

Kaltevuuden lisäksi kävelynopeuteen portaissa voi vaikuttaa portaiden pituus. Kretz ym. (2008) tarkastelivat portaiden pituuden vaikutusta kävelynopeuteen ylöspäin kuljettaessa. Heidän havaintojensa mukaan eripituisille portaille ei voida antaa yhtä skaalauskerrointa, vaan kävelynopeuden skaalauksen pitäisi riippua portaiden pituudesta (*skaalauskerroimella* tarkoitetaan kerrointa, jolla portaissa kävelemisen nopeus suhteutetaan tasaisella kävelemisen nopeuteen). Keskimääräiseksi vaakasuuntaiseksi kävelynopeudeksi pitkissä portaissa (kokonaiskorkeus 35,8 m, kaltevuus 35,1°, välissä tasanteita) saatiin n. 0,4 m/s (vastaava kalteva nopeus 0,5 m/s). Lyhyissä portaissa (kokonaiskorkeus 4,4 m, kaltevuus 22,2°)

vaakasuuntainen nopeus oli n. 0,7 m/s (vastaava kalteva nopeus 0,8 m/s). Kyseessä eivät olleet poistumistilanteet, vaan tarkkailtiin ohikulkijoita näköalapaikalla.

Kävelynopeus portaisa saattaa myös muuttua matkan varrella. Fang ym. (2012) tutkivat kävelynopeutta portaita alaspäin 8-kerroksisen rakennuksen eri kerroksissa poistumistilanteessa. Keskimääräiseksi kävelynopeudeksi alaspäin saatiin 0,81 m/s (liikkumissuuntaan), mutta nopeuden havaittiin olevan erilainen eri kerroksissa riippuen mm. liittyvistä virtauksista ja valaistusolosuhteista. Selvää trendiä nopeuden muuttumisessa portaiden pituuden suhteen ei havaittu, mutta poistujien lähtöpisteet olivat eri kerroksissa, mikä osaltaan voi selittää tuloksen. Tilanne voisi myös olla toinen portaita ylöspäin kuljettaessa.

Opasteiden, näkyvyyden tai valaistuksen on havaittu merkittävästi vaikuttavan kävelynopeuteen portaisa. Proulx ym. (1999) tekivät kokeita, joissa jälkivalaisevaa materiaalia käytettiin portaiden merkitsemiseen, jotta voitiin edistää toimistorakennuksen portaikon kautta tapahtuvaa evakuointia. Lisäksi tutkittiin erilaisten valaistusolosuhteiden vaikutuksia (57 lx ja 245 lx). Suurin nopeus portaita alas (0,72 m/s liikkumissuuntaan) saavutettiin jälkivalaisevien opasteiden ja 57 luksin hätävalaistuksen yhdistelmällä, pienin nopeus (0,57 m/s) saavutettiin pelkillä jälkivalaisevilla opasteilla. Jatkotutkimuksessa (Proulx & Benichou 2010) parhaaksi portaiden merkintätavaksi osoittautui suora jälkivalaiseva teippi jokaisen portaan reunassa. Jeon ym. (2011) tutkivat savun aiheuttaman näkyvyyden heikkenemisen vaikutusta kävelynopeuksiin portaisa. Kun näkyvyys väheni 5–10 metristä 3–7 metriin, kävelynopeus portaita ylöspäin hidastui 0,62 m/s:stä 0,53 m/s:iin (kaltevaa nopeutta).

Myös kävelijän henkilökohtaiset ominaisuudet vaikuttavat kävelynopeuteen portaisa. Fang ym. (2012) havaitsivat, että yksittäisten henkilöiden kävelynopeudet portaisa olivat normaalijakautuneita. Fujiyama ja Tyler (2004) vertailivat kävelynopeuksia portaisa koehenkilöiden iän, sukupuolen, painon, pituuden ja jalkojen lihaskuntoa kuvaavan ns. LEP-indeksin (Leg Extensor Power<sup>2</sup>; Bassey ym. 1992) perusteella. Heidän mukaansa LEP korreloi voimakkaimmin. Yeo ja He (2009) tarkastelivat sukupuolen ja ikäryhmän vaikutusta metroaseman portaisa kulkemisen nopeuteen. Pystysuora etenemisnopeus oli ylöspäin mentäessä 0,32 m/s (aikuihin mies) – 0,27 m/s (iäkäs nainen) ja alaspäin mentäessä 0,42 m/s (aikuihin mies) – 0,26 m/s (iäkäs nainen).

Liikuntarajoitteisten liikkumisnopeus portaisa riippuu hyvin suuresti tapauksesta. Adams ja Galea (2010) tarkastelivat liikuntarajoitteisten pelastamista erilaisten apuvälineiden avulla, jolloin alaspäin menon vaakasuuntaisiksi nopeuksiksi saatiin 34° kaltevilla portaisa apuvälineestä riippuen 0,9–1,5 m/s. Boyce ym. (1999a) vertailevat liikuntarajoitteisten nopeuksia myöskin 34° kaltevilla portaisa avustettuina tai ilman. Liikuntarajoitteisten keskimääräinen vaakasuuntainen kävelynopeus

---

<sup>2</sup> Jalkojen lihaskuntoa mitataan erityisellä laitteella, jossa jalat ojennetaan istuma-asennossa 60° kulmasta suoriksi.

portaita alas on 0,33 m/s ilman apua ja 0,13 m/s avustettuna ja ylös 0,29 m/s avustettuna.

Todellisessa poistumistilanteessa on mahdollista, että pelastushenkilöstö pyrkii rakennukseen sisään saman portaiton kautta, jota evakuoitavat käyttävät poistumiseen. Kratchman (2007) analysoi kokeita, joissa videokuvattiin 6-kerroksisen toimistorakennuksen evakuoitua portaita alas ja palomiesten samanaikaista pyrkimistä rakennukseen sisään portaita ylös. Vastavirtauksen havaittiin hidastavan poistumisnopeutta 0,7–0,8 m/s:stä 0,5–0,6 m/s:iin (liikkumissuuntaan; portaiden kaltevuus 35,7°).

Monissa tutkimuksissa on tarkasteltu kävelynopeutta portaita alaspäin kulkies-  
sa (mm. Frantzych 1994, Proulx ym. 1999, Graat ym. 1999, Fujiyama & Tyler 2004, Frantzych ym. 2007, Xu & Song 2009, Peacock ym. 2009, Kuligowski & Peacock 2010, Proulx & Benichou 2010, Fang ym. 2012). Kävelynopeutta portaita ylös kulkiessa on tutkittu jonkin verran vähemmän (mm. Frantzych 1994, Fujiyama & Tyler 2004, Frantzych ym. 2007, Kretz ym. 2008, Jeon ym. 2011). Kierreportaista on olemassa hyvin vähän tietoa (Frantzych 1994), eikä löytynyt yhtäkään tutkimusta, jossa olisi tarkasteltu kierreportaissa ylöspäin kulkemista. Suomessa ja muissa Pohjoismaissa on kuitenkin hyvin yleistä käyttää kierreportaita sekä normaaleilla kulkureiteillä että hätäpoistumisreiteillä.

Tässä projektissa halusimme kohdistaa tutkimuksemme kierreportaisiin, koska kirjallisuustutkimuksen perusteella niistä on olemassa vain vähän tietoa. Erityisesti meitä kiinnosti ylöspäin kävelemisen nopeus, mutta vertailun vuoksi mitattiin myös alaspäin kävelemisen sekä vaakasuuntaisen kävelemisen (nollakoe) nopeutta. Koeasetelmiin valittiin pitkiä portaita, jotta voitiin seurata kävelynopeuksien mahdollista muuttumista matkan varrella. Koehenkilöt merkittiin numerolapuun ja heiltä kerättiin kyselylomakkeiden avulla yksityiskohtaista tietoa, jotta voitiin tarkastella myös henkilökohtaisten ominaisuuksien mahdollisia vaikutuksia koetuloksiin. Pelastushenkilöstön liikkumisnopeuksia mitattiin varusteet päällä erilaisissa tilanteissa. Liikuntarajoitteisia henkilöitä ei kokeissa käytetty, mutta pelastamista myötä- ja vastavirtaustilanteessa simuloitiin harjoitusnuken avulla. Kokeisiin liittyvien mahdollisten riskien vuoksi huonot näkyvyysolosuhteet päätettiin jättää tarkastelujen ulkopuolelle.

## 4.2 Tavoitteet

Tavoitteena oli, että saadaan uutta tietoa pelastushenkilöstön ja poistuvien ihmisten liikkumisesta portaissa. Erityisesti tutkimusta kohdennettiin niihin asioihin, joista kirjallisuustutkimuksen perusteella oli olemassa vain vähän tietoa:

- liikkuminen kierreportaissa
- liikkuminen portaissa ylöspäin
- kävelynopeuden muuttuminen portaiden pituuden suhteen
- pelastushenkilökunnan liikkumisnopeus varusteet päällä
- myötä- ja vastavirtaus
- pelastaminen.

## 4. Porraskokeet

---

Tuloksia voidaan käyttää etenkin korkeiden rakennusten ja maanalaisten tilojen suunnittelussa.

### 4.3 Kohteet

#### 4.3.1 Pelastusopiston letkutorni

Pelastusopiston letkutorni on Pelastusopiston päärakennuksen pihalla oleva torni (kuva 29), jossa on kierreportaat 6–7 kerroksen korkeuteen. Kiertosuunta on nous-  
tessa myötäpäivään. Portaiden mitat ovat seuraavat:

- 108 askelmaa, nousu á 0,203 m, kokonaiskorkeus 22 m.
- Portaan säde 1,741 m, keskustan halkaisija 13 cm.



**Kuva 29.** Pelastusopiston letkutorni.

#### 4.3.2 Puijon torni

Puijon torni (Kuva 30) on Kuopiossa sijaitseva 75 m korkea torni, jonka ylimmässä kerroksessa on kahvila ja toiseksi ylimmässä kerroksessa ruokaravintola. Kierreportaiden kiertosuunta on noustessa vastapäivään. Portaiden mitat ovat seuraavat:

- 320–358 porrasta, riippuen siitä, otetaanko huomioon ylimpien ravintolakerrosten väliset portaat.
- Porraskorkeus 17 cm (ylimmissä ravintolakerroksissa poikkeavia askelmia, alimmat 10 kerrosta täysin säännölliset). Portaan leveys 22–35 cm.
- Kokonaisnousu 55–60 m, riippuen siitä, huomioidaanko 2 ylintä kerrosta.
- Alimmat 10 kerrosta ovat seuraavanlaisia:
  - Tasanteita on mitoiltaan kolmenlaisia: a) 77–118 cm, b) 109–159 cm, c) iso tasanne, kävelymatka vaakasuoraan 3,75 m. Tasanteet toistuvat aina järjestyksessä a, b, a, c jne.
  - Tasanteiden välissä on aina 8 porrasta siten että yksi kerros käsittää 4 tasannetta ja  $4 \cdot 8 = 32$  porrasta.

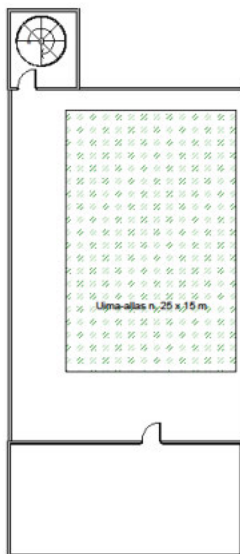


**Kuva 30.** Puijon torni ja sen kierreportaat.

### 4.3.3 Lippumäen uimahalli

Lippumäen uima- ja jäähalli (Kuva 31) sijaitsee Petosen kaupunginosassa noin 10 km Kuopion keskustasta. Tilat ovat maan sisällä ja toimivat myös väestönsuojana. Uimahallista on hätäpoistumiseen tarkoitettut kierreportaat, joiden kiertosuunta on noustessa myötäpäivään. Ylhäällä on suuri ylätasanne, jossa on ulko-ovi. Portaiden mitat ovat seuraavat:

- o 188 porrasta, porrasmittaus 0,176, yhteensä 33 m nousu.
- o Portaan säde 1,925 m, keskustan halkaisija 45 cm.
- o Aina 47 portaan jälkeen välitasanne (95°, 95°, 110°).



**Kuva 31.** Lippumäen uimahallin pohjapiirros (ei mittakaavassa) ja kierreportaat.

### 4.3.4 Pelastusopiston B-rakennus

Pelastusopiston toimistorakennuksen kyljessä on kierreportaat (Kuva 32), joiden kiertosuunta on noustessa myötäpäivään. Portaita käytetään varaueloskäytävänä, eli ne eivät ole normaalisti käytössä. Portaiden mitat ovat seuraavat:

- o 3–4 kerrosta, riippuen siitä, otetaanko kellarikerros huomioon.
- o Maanpäällisissä kerroksissa portaita 21, 20, 25, nousu á 0,172 m.
- o Kokonaiskorkeus 11,4–15,1 m riippuen siitä, otetaanko kellarikerros huomioon.
- o Portaan säde 1,6 m, keskustan halkaisija 40 cm.





**Kuva 32.** Pelastusopiston toimistorakennuksen portaikko.

#### 4.4 Suoritus

Kokeissa käytettiin koehenkilöinä Karjalan Lennoston varusmiehiä sekä Pelastusopiston opiskelijoita. Toimihenkilöinä toimivat VTT:n tutkijat sekä Pelastusopiston opettajat ja opiskelijat. Varusmiehillä oli paikan päällä omat esimiehensä.

Ennen varsinaista koeviikkoa Pelastusopiston letkutornissa suoritettiin opiskelijoille koe, jossa opiskelijat nousivat sammutusvarusteet päällä letkutorniin kahden 42 mm letkukehikon kanssa. Yksi letkukehikko painaa 18 kg, joten letkukehikot painavat yhteensä 36 kg. Kun tähän lisätään sammutusvarusteiden paino, niin opiskelijoilla oli oman painonsa lisäksi n. 62 kg:n ylimääräinen paino mukanaan.

Varsinainen koepäivä oli tiistai 27.3., jolloin aikataulu oli taulukon 15 mukainen.

#### 4. Porraskokeet

---

**Taulukko 15.** Koepäivän aikataulu.

Klo 8:00	Kameroiden asennukset ja muut valmistelevat toimenpiteet Puijon tornissa.
Klo 9:00	Koehenkilöiden ohjeistus.
Klo 9:30	Koe PU1 (Puijo): Kävely portaita ylös yksitellen (varusmiehet ja opiskelijat).
Klo 10:00	Koe PU2 (Puijo): Kävely portaita alas yksitellen (varusmiehet ja opiskelijat).
Klo 10:30	Lounastauko.
Klo 11:00	Lounas ja huoltotauko, kameroiden asennus Pelastusopiston B-rakennuksen portaisiin ja 3. kerroksen käytävälle (nollakoe).
Klo 12:00	Kokoontuminen Pelastusopiston B-rakennuksen edessä.
Klo 12:05	Koe PO1 (Pelastusopisto): Tasaisella käveleminen 3. kerroksen käytävällä.
Klo 12:20	Koe PO2 (Pelastusopisto): Vastavirtaus (letkuselvitys ylös, varusmiehet alas).
Klo 12:35	Koe PO3 (Pelastusopisto): Kävely portaita ylös jonossa (varusmiehet).
Klo 12:45	Koe PO4 (Pelastusopisto): Myötävirtaus (pelastaminen alas, varusmiehet ylös).
Klo 13:05	Koe PO5 (Pelastusopisto): Kävely portaita ylös jonossa (varusmiehet).
Klo 13:10	Koe PO6 (Pelastusopisto): Kävely portaita alas (varusmiehet).
Klo 13:15	Koe PO7 (Pelastusopisto): Letkuselvitys ylös ilman vastavirtausta.
Klo 13:25	Koe PO8 (Pelastusopisto): Pelastaminen alas ilman myötävirtausta.
Klo 13:40	Kahvi- ja huoltotauko.
Klo 14:40	Kokoontuminen Lippumäen aulassa, ohjeistus, jakaantuminen kolmeen ryhmään.
Klo 14:50	Koe LM1 (Lippumäki): Nousu portaita ylös yksitellen (1. ryhmä).
Klo 15:00	Koe LM2 (Lippumäki): Laskeutuminen portaita alas yksitellen (1. ryhmä).
Klo 15:10	Koe LM3 (Lippumäki): Nousu portaita ylös yksitellen (2. ryhmä).
Klo 15:20	Koe LM4 (Lippumäki): Laskeutuminen portaita alas yksitellen (2. ryhmä).
Klo 15:30	Koe LM5 (Lippumäki): Nousu portaita ylös yksitellen (3. ryhmä).
Klo 15:40	Koe LM6 (Lippumäki): Laskeutuminen portaita alas yksitellen (3. ryhmä).
Klo 15:50	Kokoontuminen Lippumäen aulassa. Kiitokset.
Klo 16:00	Poistuminen Lippumäestä.

Kokeissa mitattiin ihmisvirtausta videokuvaamisen avulla. Videotallenteesta määritettiin mittauspisteiden ohitushetket, joiden perusteella laskettiin pystysuora etenemisnopeus, kun tiedettiin mittauspisteiden välinen korkeusero. Koehenkilöt merkittiin numerolapuun, jolloin henkilöiden etenemisnopeudet voitiin yksilöidä. Nopeusmittaukset tehtiin varmuuden vuoksi myös sekuntikellolla (kellot ja kamerat synkronoitiin) ja tasaisella kävelemisen kokeessa lisäksi valoporteilla.

Koesarjan aluksi jokaiselle koehenkilölle jaettiin kyselylomake, jossa kysyttiin henkilökohtaisia ominaisuuksia: ikä, pituus, paino, sukupuoli, oma kuntoarvio ja Cooperin testin tulos viimeisen vuoden aikana (jos suoritettu). Kokeiden päätteeksi koehenkilöt täyttivät lomakkeet, joissa kysyttiin kyseiseen kokeeseen liittyviä kokemuksia. Kokeen johtaja informoi koehenkilöitä tilanteesta käyttäen motivoituna lyhyttä ohjeistusta esim. "kävely yksitellen omaan tahtiin". Tilanteesta ja tavoitteista

pyrittiin antamaan etukäteen mahdollisimman vähän tietoa, jotta ennakoasenteet eivät vaikuttaisi koetuloksiin. Koehenkilöt pyrittiin sekoittamaan, jotta saatiin eliminoitua lähtöjärjestyksen mahdollinen vaikutus.

Lähtöpisteessä tilannetta valvoi toimihenkilö, joka lähetti kokeesta riippuen koehenkilöt portaisiin joko yksitellen kymmenen sekunnin välein tai jonossa. Portaiden vastakkaisessa päässä oli toinen henkilö jakamassa lomakkeita ja antamassa jatko-ohjeita. Matkan varrella oli mahdollisuuksien ja tarpeen mukaan toimihenkilöitä tarkkailemassa kokeiden edistymistä ja valvomassa turvallisuutta. Varmuuden vuoksi paikalla oli myös Pelastusopiston ambulanssi (kuva 33).

Lippumäen uimahallissa koehenkilöt jaettiin kolmeen ryhmään ja jokaisella ryhmällä oli oma opas, joka kuljetti ryhmän uimahallin läpi kokeen aloituspisteeseen. Uimahallin alueella käytettiin kenkäsuojia ja portaiden alapäässä lattia oli suojattu pahvein. Kenkäsuojat riisuttiin portaissa kävelemisen ajaksi.



**Kuva 33.** Pelastusopiston ambulanssi oli paikalla varmuuden vuoksi.

Nousu- ja laskeutumiskokeet alkoivat aina ylösnousulla, jonka jälkeen seurasi lyhyt lepotauko ennen kuin siirryttiin kokeen toiseen vaiheeseen, alas laskeutumiseen. Portaiden yläpäässä pidetyn lyhyen (n. 5–10 min) lepotauon aikana täytettiin lomakkeita ja palauduttiin suorituksesta. Eri portaissa suoritettujen kokeiden välissä oli aina pitempi tauko (2–3 tuntia), jotta koehenkilöt ehtivät kunnolla palautua ennen seuraavaa koetta. Koehenkilöt suorittivat kokeet kuvan 34 mukaisesti pukeutuneina.

Vastavirtakokeessa pelastajat (viisi henkilöä, kaksi letkukehikkoa) suorittivat letkuselvitystä (kuivana) portaita ylös samanaikaisesti kun poistujat tulivat portaita alaspäin. Kokeessa tutkittiin poistujien ja pelastajien käyttäytymistä vastavirtaustilanteessa sekä vastavirtauksen vaikutusta poistumiseen ja pelastamiseen ajallisesti. Vertailukokeena tehtiin poistumiskoe ja letkuselvitys ilman vastavirtausta. Pelastajilla oli kokeissa kuvan 35a mukainen varustus.

Avustamista ja pelastamista tutkittiin myötävirtatilanteessa, eli pelastajat kuljettivat avustettavaa "henkilöä" (kuva 35b) samaan suuntaan kuin poistuminen muutenkin tapahtui. Vertailukokeena suoritettiin pelastaminen ilman myötävirtausta.

a)



b)



**Kuva 34.** Koehenkilöiden varustus: a) Pelastusopiston opiskelija, b) varusmies.



**Kuva 35.** Pelastajien varustus a) vastavirtauskokeessa, b) myötävirtauskokeessa.

## 4.5 Tulokset

### 4.5.1 Pelastusopiston letkutorni

Pelastusopiston letkutornissa opiskelijat etenivät ylös – alas – ylös – alas mahdollisimman nopeasti, mutta siten, että jaksaisivat raskaissa varusteissa loppuun asti. Kellolla mitattiin kaikilta lähtö- ja saapumisajat alhaalta ja ylhäältä. Videoista poimittiin lisäksi väliaikoja kahdelta välitasanteelta osalle koehenkilöistä. Kokeeseen osallistui 42 henkilöä, joista 13:lta mitattiin myös väliajat. Mittauspisteiden korkeudet esitetään taulukossa 16.

**Taulukko 16.** Mittauspisteiden korkeudet Pelastusopiston letkutornissa.

Kerros	Alatasanne	Välitasanne 1	Välitasanne 2	Ylätasanne
Korkeus	0 m	6,7 m	15,8 m	21,9 m

Kaikkien koehenkilöiden pystysuorat nopeudet eri mittausväleillä esitetään taulukossa 17. Nousunopeuksissa havaitaan selvä hidastuminen (32 %) toisella kierroksella. Laskunopeuksissa hidastuminen on vähäisempää (4 %). Hajonta on suurempi laskeutuessa ja kasvaa kokeen loppua kohden. 13 koehenkilön tarkemmin jaotellut pystysuorat nopeudet ovat taulukossa 18. Nousunopeuksissa havaitaan hidastumista sekä kierrosten välillä että nousun aikana. Laskunopeuksissa hidastumista ei havaita, päinvastoin 2. kierroksen viimeisellä jaksolla nopeus on

#### 4. Porraskokeet

---

kaikkein suurin (loppukiri). Viimeisellä laskeutumisjaksolla on myös suurin hajonta; muuten hajonnassa ei havaita selvää logiikkaa.

**Taulukko 17.** Kaikkien koehenkilöiden pystysuorat nopeudet Pelastusopiston letkutornissa.

Tasojen välinen pystysuora etenemisnopeus (m/s)								
	1. ylös		1. alas		2. ylös		2. alas	
<b>Keskiarvo</b>	0,22		0,26		0,15		0,25	
<b>Keskihajonta</b>	0,04		0,05		0,04		0,06	

**Taulukko 18.** Koehenkilöiden tarkemmin jaotellut pystysuorat etenemisnopeudet (m/s) Pelastusopiston letkutornissa.

Väli	1. ylös			1. alas			2. ylös			2. alas		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
<b>Jakso</b>	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
<b>Keskiarvo</b>	0,31	0,25	0,22	0,33	0,32	0,33	0,3	0,17	0,18	0,34	0,3	0,37
<b>Keskihajonta</b>	0,05	0,07	0,04	0,05	0,05	0,06	0,04	0,04	0,05	0,07	0,06	0,08

#### 4.5.2 Puijon torni

Puijon tornissa videokameroita asennettiin kerroksiin 1, 2, 4, 6, 8, 10 ja 11, joiden korkeudet esitetään taulukossa 19. Ajanotto suoritettiin lisäksi sekuntikellolla kerroksissa 1 ja 11. Kellot ja kamerat synkronoitiin. Kokeeseen osallistui 60 henkilöä, joista 54 oli varusmiehiä ja loput 6 opiskelijoita. Puijon tornissa suoritettiin 2 koetta (PT1–2), joiden tulokset esitetään seuraavaksi.

**Taulukko 19.** Mittauspisteiden korkeudet Puijon tornissa.

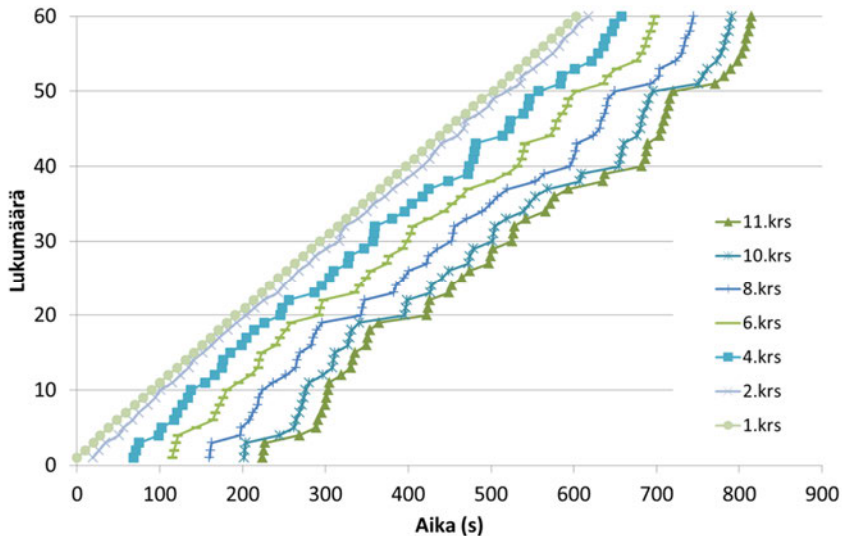
<b>Kerros</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>11</b>
<b>Korkeus</b>	0 m	5,4 m	16,3 m	27,2 m	38,1 m	49 m	54,5 m

#### Koe PT1: Kävely yksitellen kierreportaita ylös

Henkilöt lähetettiin portaisiin yksitellen kymmenen sekunnin välein, ohjeena "kävely yksitellen omaan tahtiin". Kokeen eteneminen on esitetty kuvassa 36. Kuvasta nähdään, että kokeen edetessä tapahtuu "ryhmittymistä", kun hitaampien edelle syntyy pidempiä välejä ja vastaavasti nopeammat saavat edellisiä kiinni. Ohittaminen

oli palautteen perusteella melko vähäistä (Taulukko 35); 51 koehenkilöä ei ohittanut ketään kokeen aikana. Kerrosten väliset pystysuorat etenemisnopeudet esitetty taulukossa 21. Havaitaan, että etenemisnopeus hidastuu nousun aikana n. 33–39 % ja että hidastumista tapahtuu aluksi enemmän ja myöhemmin vähemmän. Myös hajonta on alkuvaiheessa voimakkaampaa ja vähenee kokeen edetessä.

Kuvissa 37 ja 38 on esitetty koehenkilöiden pystysuoran etenemisnopeuden riippuvuus tasaisella kävelemisen nopeudesta ja Cooperin testin tuloksesta. Havaitaan, että pystysuora etenemisnopeus riippuu jonkin verran tasaisella kävelemisen nopeudesta (korrelaatio 0,45), mutta ei juuri lainkaan Cooperin testin tuloksesta (korrelaatio 0,14). Painon ja pituuden suhteen ei havaittu minkäänlaista lineaarista riippuvuutta (korrelaatiot  $-0,01$  ja  $-0,03$ ). Kokeen jälkeen koehenkilöiltä kysyttiin, kuinka paljon he hengästyivät ja kuinka raskaalta nousu tuntui. Hengästyminen ja raskautta kuvaavien indeksien riippuvuus Cooperin testin tuloksesta on esitetty kuvissa 39 ja 40. Kuvista nähdään, että hengästyminen (korrelaatio  $-0,52$ ) ja raskaus (korrelaatio  $-0,56$ ) korreloivat jonkin verran Cooperin testin tuloksen kanssa. Olettaen, että Cooperin testi mittaa henkilön yleiskuntoa, voidaan päätellä, että henkilön nousunopeus kokeessa riippuu enemmän kävelytyylistä kuin yleiskunnosta, mutta huonokuntoisemmat hengästyvät enemmän ja kokevat nousun raskaampana kuin hyväkuntoiset. Toisin sanottuna: henkilöt eivät sopeuta nousunopeuttaan sen perusteella, mikä heidän kuntonsa on.



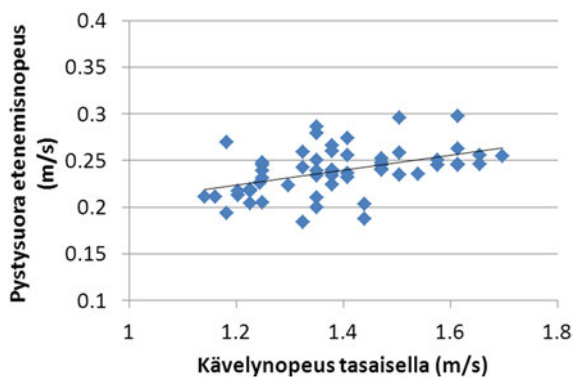
**Kuva 36.** Koe PT1: Henkilöiden saapuminen eri tasanteille ylöspäin kävellessä.

**Taulukko 20.** Ohittaminen ylöspäin kävellessä kokeessa PT1.

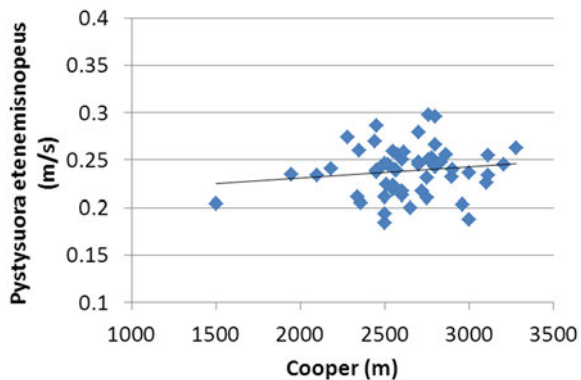
Ohitettujen lkm.	0	1	2	3	4
Ohittajien lkm.	51	6	1	0	2

**Taulukko 21.** Keskimääräinen pystysuora etenemisnopeus ylöspäin käveltyessä kokeessa PT1.

Kerrosten välinen pystysuora nopeus (m/s)							
	1.–2. krs	2.–4. krs	4.–6. krs	6.–8. krs	8.–10. krs	10.–11. krs	1.–11. krs
<b>Keskiarvo</b>	0,36	0,25	0,24	0,23	0,22	0,22	0,24
<b>Keskihajonta</b>	0,09	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02

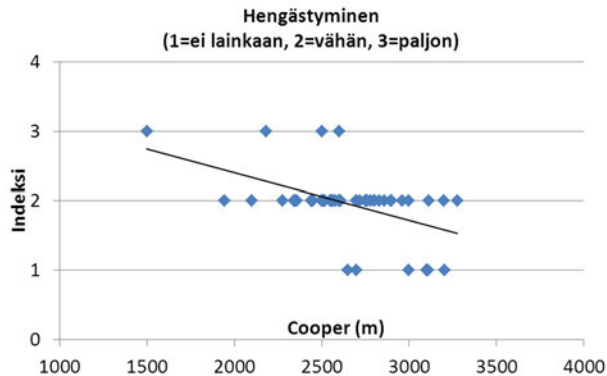


**Kuva 37.** Pystysuoran etenemisnopeuden (noustessa) riippuvuus tasaisella kävelmisen nopeudesta (korrelaatio 0,45).

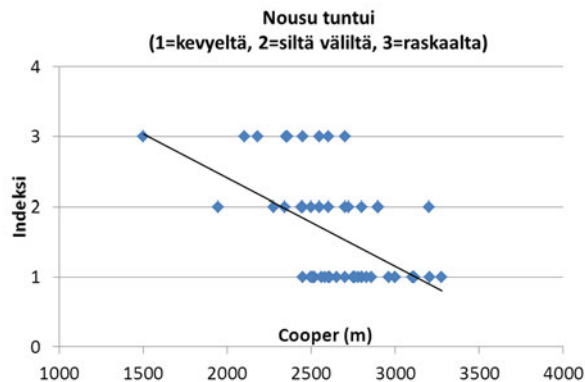


**Kuva 38.** Pystysuoran etenemisnopeuden (noustessa) riippuvuus Cooperin testin tuloksesta (korrelaatio 0,14).





**Kuva 39.** Koehenkilöiden kokemus hengästyisestä nousun aikana välittömästi kokeen jälkeen jaetun kysymyslomakkeen perusteella.



**Kuva 40.** Koehenkilöiden kokemus nousun raskaudesta välittömästi kokeen jälkeen jaetun lomakkeen perusteella.

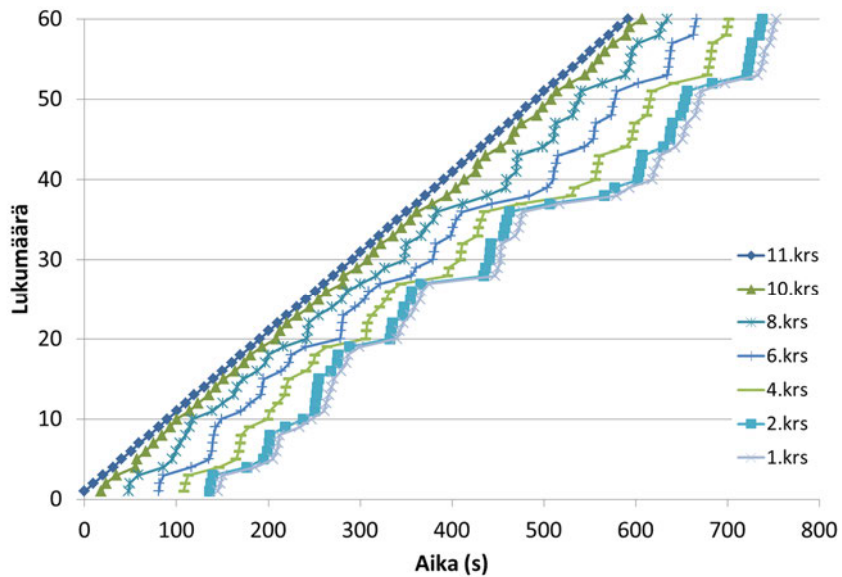
#### Koe PT2: Kävely yksitellen kierreportaita alas

Henkilöt lähetettiin portaisiin yksitellen kymmenen sekunnin välein, ohjeena ”kävely yksitellen omaan tahtiin”. Kokeen eteneminen on esitetty kuvassa 41. Kuvasta nähdään, että kokeen edetessä ryhmittymistä tapahtuu vielä voimakkaammin kuin ylöspäin kävellessä. Ohittaminen oli hieman yleisempää kuin noustessa (Taulukko 22). Pystysuorat etenemisnopeudet eri kerrosväleillä on esitetty taulukossa 23. Havaitaan, että alaspäin käveltyessä keskimääräinen etenemisnopeus pysyy koko matkan suunnilleen samana lukuun ottamatta alimpia kerroksia, joissa tapahtuu äkillinen vauhdin lisääntyminen. Myös hajonta pysyy koko matkan suunnilleen samana.

Kuvissa 42 ja 43 on esitetty koehenkilöiden pystysuoran etenemisnopeuden riippuvuus tasaisella kävelemisen nopeudesta ja Cooperin testin tuloksesta. Ha-

#### 4. Porraskokeet

vaitaan, että pystysuora etenemisnopeus riippuu jonkin verran tasaisella kävelemisen nopeudesta, mutta ei juuri lainkaan Cooperin testin tuloksesta.



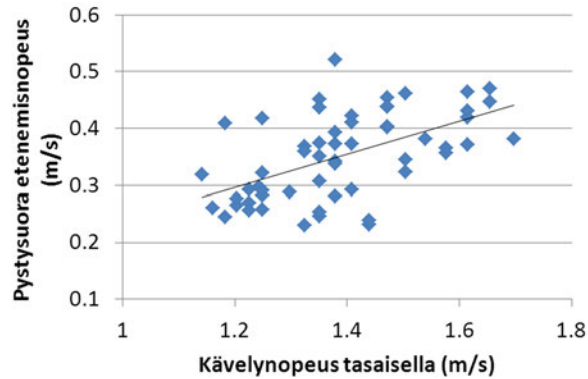
**Kuva 41.** Koe PT2: Henkilöiden saapuminen eri tasanteille alaspäin kävellessä.

**Taulukko 22.** Ohittaminen alaspäin kävellessä kokeessa PT2.

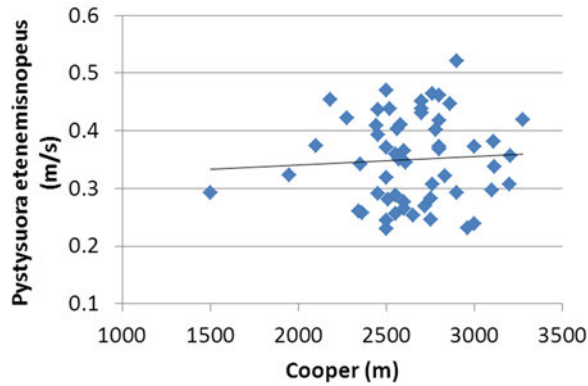
Ohitettujen Ikm.	0	1	2	3	4
Ohittajien Ikm.	42	8	4	3	2

**Taulukko 23.** Keskimääräinen pystysuora etenemisnopeus eri kerrosväleillä alaspäin käveltäessä.

	Kerrostenvälinen pystysuora etenemisnopeus (m/s)						
	11.–10. krs	10.–8. krs	8.–6. krs	6.–4. krs	4.–2. krs	2.–1. krs	11.–1. krs
<b>Keskiarvo</b>	0,36	0,37	0,36	0,34	0,33	0,44	0,35
<b>Keskihajonta</b>	0,08	0,1	0,17	0,08	0,07	0,1	0,07



**Kuva 42.** Pystysuoran etenemisnopeuden (laskeutuessa) riippuvuus tasaisella kävelemisen nopeudesta (korrelaatio 0,55).



**Kuva 43.** Pystysuoran etenemisnopeuden (laskeutuessa) riippuvuus Cooperin testin tuloksesta (korrelaatio 0,08).

#### 4.5.3 Pelastusopiston B-rakennus

Taulukossa 24 on esitetty kerrosten korkeudet Pelastusopiston B-rakennuksen portaissa. Pelastusopiston B-rakennuksessa suoritettujen kokeiden tulokset esitetään seuraavaksi.

**Taulukko 24.** Mittauspisteiden korkeudet Pelastusopiston B-rakennuksen portaissa.

Kerros	1	2	3
Korkeus	0 m	3,6 m	7,1 m

#### 4. Porraskokeet

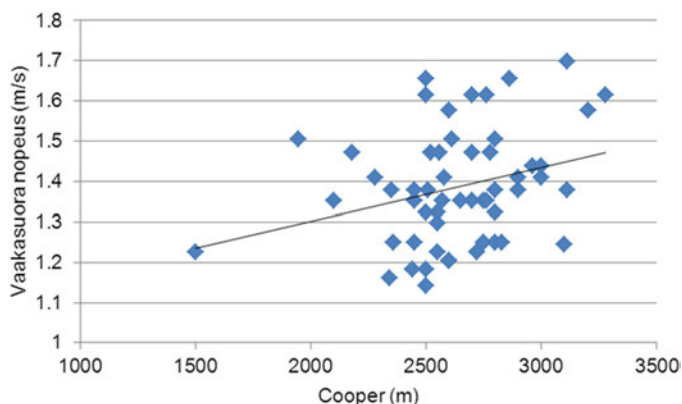
---

##### Koe PO0: Tasaisella käveleminen 3. kerroksen käytävällä

Pelastuslaitoksen B-rakennuksen 3. kerroksen käytävällä mitattiin tasaisella kävelemisen nopeutta valoporttien avulla. Tulokset on esitetty taulukossa 25. Kuva 44 on esitetty tasaisella kävelemisen nopeus suhteessa Cooperin testin tulokseen. Korrelaatiota ei juuri havaita. Kyseessä oli lyhyt matka (6,6 m), joten voidaan olettaa, että henkilön kävelynopeus riippuu enemmän kävelytyylistä kuin kunnosta.

**Taulukko 25.** Kävelynopeus tasaisella.

<b>Keskiarvo</b>	1,39 m/s
<b>Keskihajonta</b>	0,14 m/s



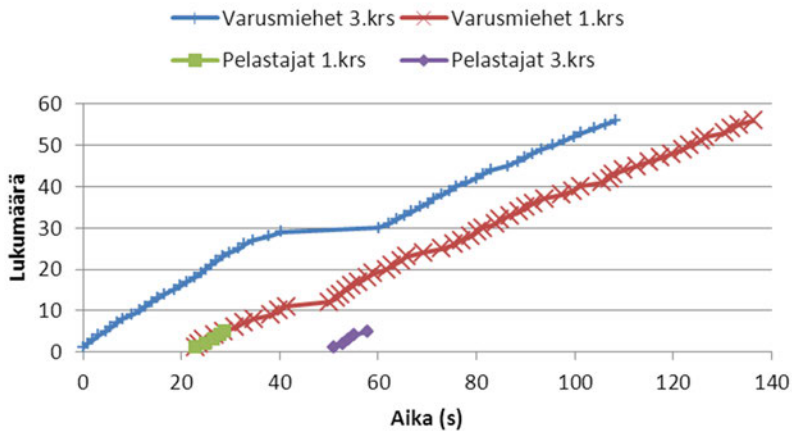
**Kuva 44.** Tasaisella kävelemisen nopeus suhteessa Cooperin testin tulokseen.

##### Koe PO1: Vastavirtaus (letkuselvitys ylös, varusmiehet alas)

Kokeessa varusmiehet laskeutuivat jonossa 3. kerroksesta 1. kerrokseen. Kun ensimmäinen varusmies tuli ovesta ulos, pelastajat lähtivät vastavirtaan tekemään letkuselvitystä alhaalta ylöspäin. Pelastajien tullessa portaisiin varusmiehet käytännössä pysähtyivät päästääkseen pelastajat ohitse. Varusmiesten ja pelastajien pystysuorat nopeudet kokeen aikana on esitetty taulukossa 26. Kokeen eteneminen on esitetty kuvassa 45. Kuvasta nähdään, että n. 40 sekunnin kuluttua kokeen aloituksesta varusmiesten muodostama jono pysähtyy eikä uusia varusmiehiä pääse 3. kerroksesta enää portaisiin ennen kuin pelastajat n. 20 sekunnin kuluttua ovat poistuneet.

**Taulukko 26.** Varusmiesten ja pelastajien keskimääräiset pystysuorat etenemisnopeudet kokeen aikana.

Henkilöryhmä/suoritus	Pystysuora etenemisnopeus	
	Keskiarvo	Keskihajonta
Varusmiehet / kävely jonossa portaita alas	0,25 m/s	0,05 m/s
Pelastajat / letkuselvitys portaita ylös	0,25 m/s	0,01 m/s



**Kuva 45.** Kokeen PO1 eteneminen.

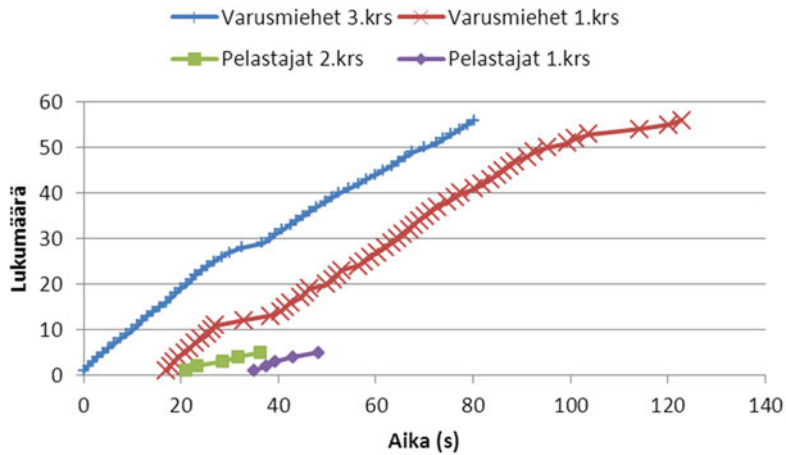
Koe PO2: Myötävirtaus (varusmiehet alas, pelastaminen alas)

Kokeessa varusmiehet laskeutuivat portaita 3. kerroksesta 1. kerrokseen. Jonon ollessa portaissa pelastajat alkoivat suorittaa pelastamista myötävirtaan 2. kerroksesta 1. kerrokseen. Varusmiesten ja pelastajien pystysuorat nopeudet kokeen aikana on esitetty taulukossa 27. Kokeen eteneminen on esitetty kuvassa 46.

**Taulukko 27.** Varusmiesten ja pelastajien pystysuorat etenemisnopeudet kokeen aikana.

Henkilöryhmä/suoritus	Pystysuora etenemisnopeus	
	Keskiarvo	Keskihajonta
Varusmiehet / kävely jonossa portaita ylös	0,29 m/s	0,07 m/s
Pelastajat / pelastaminen portaita alas	0,29 m/s	0,04 m/s

#### 4. Porraskokeet



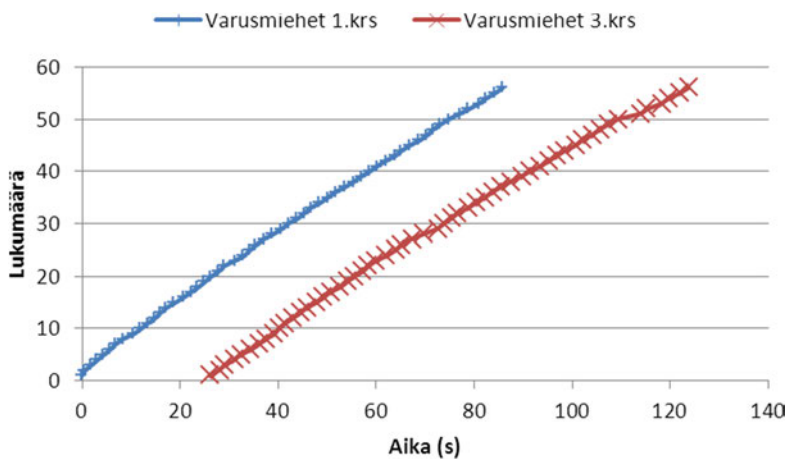
**Kuva 46.** Kokeen PO2 eteneminen.

#### Koe PO3: Kävely portaita ylös jonossa (varusmiehet)

Kokeessa varusmiehet nousivat portaita 1. kerroksesta 3. kerrokseen. Varusmiesten pystysuorat nopeudet kokeen aikana on esitetty taulukossa 28. Kokeen eteneminen on esitetty kuvassa 47.

**Taulukko 28.** Varusmiesten pystysuorat etenemisnopeudet kokeen aikana.

Henkilöryhmä/suoritus	Pystysuora etenemisnopeus	
	Keskiarvo	Keskihajonta
Varusmiehet / kävely jonossa portaita ylös	0,23 m/s	0,02 m/s



**Kuva 47.** Kokeen PO3 eteneminen.

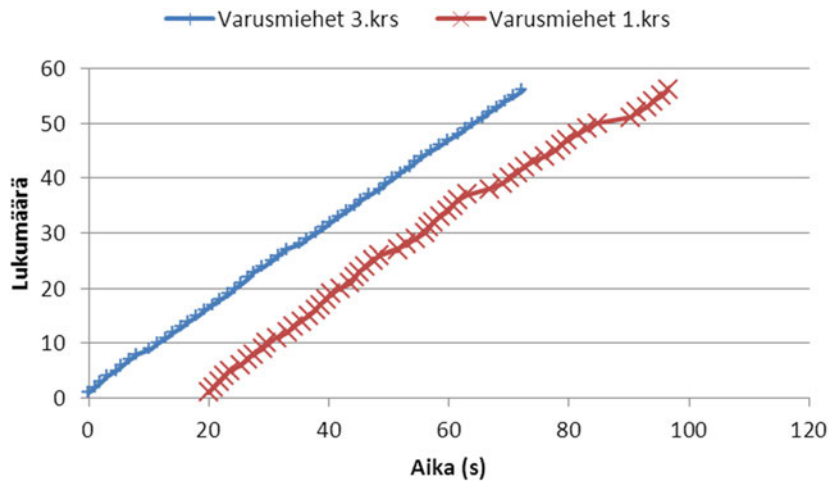
Koe PO4: Kävely portaita alas jonossa (varusmiehet)

Kokeessa varusmiehet laskeutuivat portaita 3. kerroksesta 1. kerrokseen. Varusmiesten pystysuorat nopeudet kokeen aikana on esitetty taulukossa 29. Kokeen eteneminen on esitetty kuvassa 48.

**Taulukko 29.** Varusmiesten pystysuorat etenemisnopeudet kokeen aikana.

Henkilöryhmä/suoritus	Pystysuora etenemisnopeus	
	Keskiarvo	Keskihajonta
Varusmiehet / kävely jonossa portaita alas	0,37 m/s	0,04 m/s

#### 4. Porraskokeet



**Kuva 48.** Kokeen PO4 eteneminen.

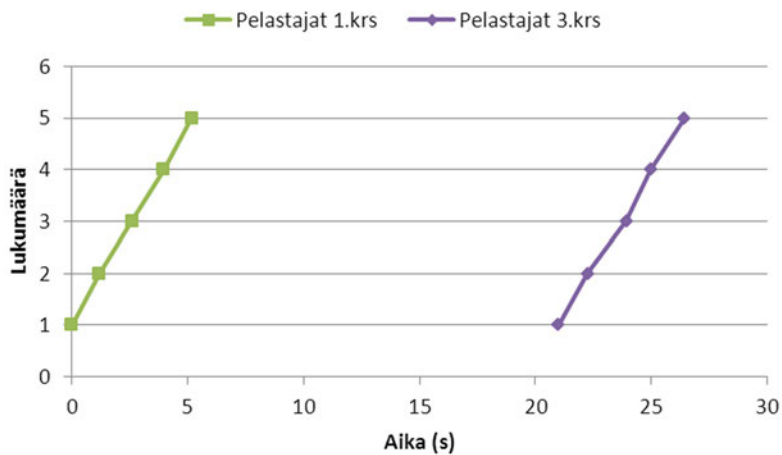
#### Koe PO5: Letkuselvitys ylös ilman vastavirtausta

Kokeessa pelastajat tekivät letkuselvitystä portaita ylös 1. kerroksesta 3. kerrokseen. Pelastajien pystysuorat nopeudet kokeen aikana on esitetty taulukossa 30. Kokeen eteneminen on esitetty kuvassa 49.

**Taulukko 30.** Pelastajien pystysuorat etenemisnopeudet kokeen aikana.

Henkilöryhmä/suoritus	Pystysuora etenemisnopeus	
	Keskiarvo	Keskihajonta
Pelastajat / letkuselvitys ylös ilman vastavirtausta	0,33 m/s	0,002 m/s





**Kuva 49.** Kokeen PO5 eteneminen.

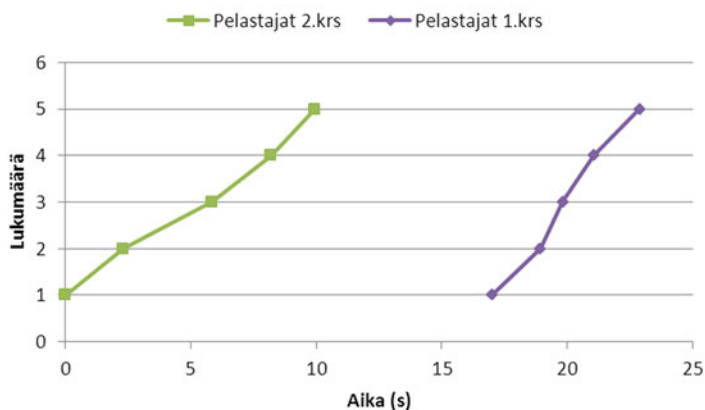
#### Koe PO6: Pelastaminen alas ilman myötävirtausta

Kokeessa pelastajat suorittivat pelastustoimintaa portaita alas 2. kerroksesta 1. kerrokseen. Pelastajien pystysuorat nopeudet kokeen aikana on esitetty taulukossa 31. Kokeen eteneminen on esitetty kuvassa 50.

**Taulukko 31.** Pelastajien pystysuorat etenemisnopeudet kokeen aikana.

Henkilöryhmä/suoritus	Pystysuora etenemisnopeus	
	Keskiarvo	Keskihajonta
Pelastajat / pelastaminen alas ilman vastavirtausta	0,49 m/s	0,06 m/s

#### 4. Porraskokeet



Kuva 50. Kokeen PO6 eteneminen.

#### 4.5.4 Lippumäki

Lippumäen portaikossa videokameroita asennettiin taulukossa 32 esitetyille korkeuksille. Ajanotto suoritettiin lisäksi sekuntikellolla portaiden alku- ja loppupäässä. Kellot ja kamerat synkronoitiin. Kokeeseen osallistui 61 henkilöä, joista 54 oli varusmiehiä ja loput 7 opiskelijoita. Koehenkilöt jaettiin kolmeen ryhmään. Yksi ryhmä kerrallaan noudettiin aulasta ja opastettiin uimahallin läpi portaikon alapäähän. Koehenkilöt lähetettiin yksi kerrallaan 10 s välein portaisiin, joita pitkin noustiin ylätasanteelle. Koko ryhmän (n. 20 henkilöä) saavuttua ylätasanteelle heidät lähetettiin lyhyen lepotauon jälkeen 10 s välein takasin alas. Portaiden alapäästä heidät opastettiin takaisin aulaan. Kokeiden tulokset esitetään seuraavissa kohdissa.

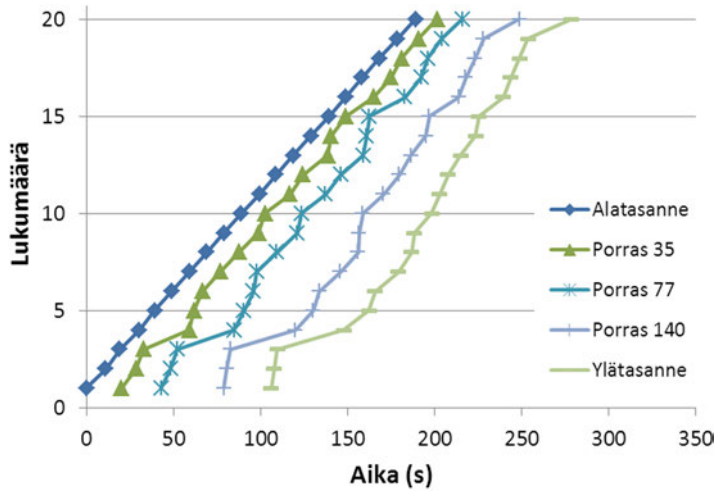
Taulukko 32. Mittauspisteiden korkeudet Lippumäen portaikossa.

Taso	Korkeus (m)
Ylätasanne	33,1
Porras 140	24,6
Porras 77	13,6
Porras 35	6,2
Alatasanne	0

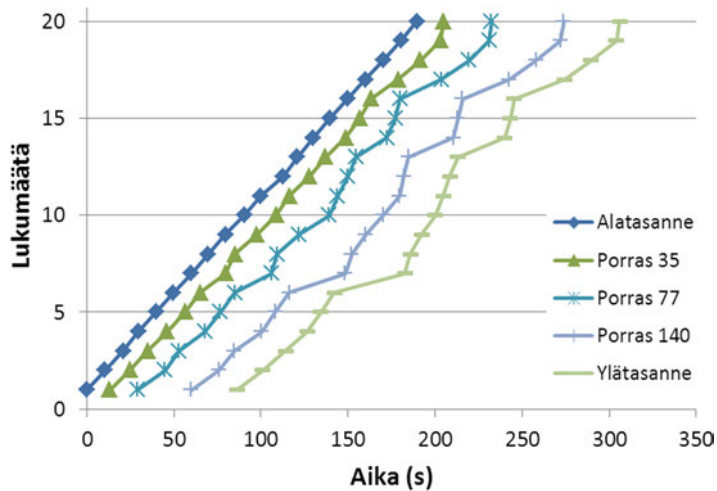
#### Kokeet LM1, LM3, LM5: Kävely yksitellen kierreportaita ylös (ryhmät 1–3)

Nousukokeiden LM1, LM3 ja LM5 eteneminen on esitetty kuvissa 51–53. Taulukossa 33 on esitetty keskimääräinen pystysuora etenemisnopeus eri korkeuksilla. Havaitaan, että nopeus hidastuu n. 15 % ja hajonta pienenee kiipeämisen edetessä. Kuten Puijolla, nytkin nousunopeus hidastuu aluksi voimakkaammin ja myöhemmin

hitaammin. Kuvissa 54 ja 55 on esitetty koehenkilöiden pystysuoran etenemisnopeuden riippuvuus tasaisella kävelemisen nopeudesta ja Cooperin testin tuloksesta. Havaitaan, että pystysuora etenemisnopeus riippuu jonkin verran tasaisella kävelemisen nopeudesta, mutta ei lainkaan Cooperin testin tuloksesta.

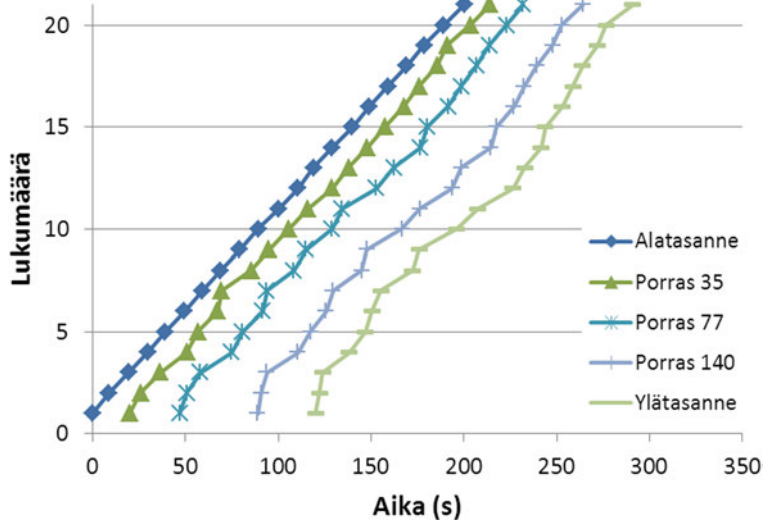


**Kuva 51.** Koe LM1: Henkilöiden (ryhmä 1) saapuminen eri tasanteille ylöspäin kävellessä.



**Kuva 52.** Koe LM3: Henkilöiden (ryhmä 2) saapuminen eri tasanteille ylöspäin kävellessä.

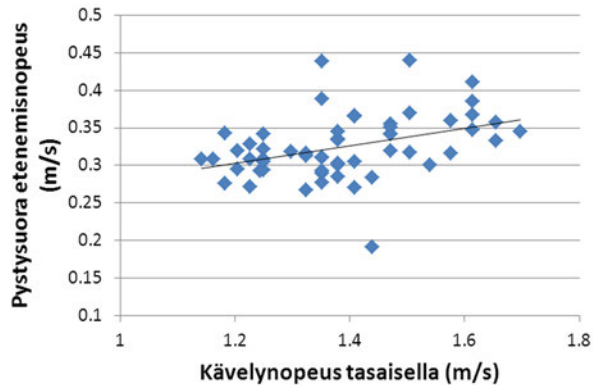
#### 4. Porraskokeet



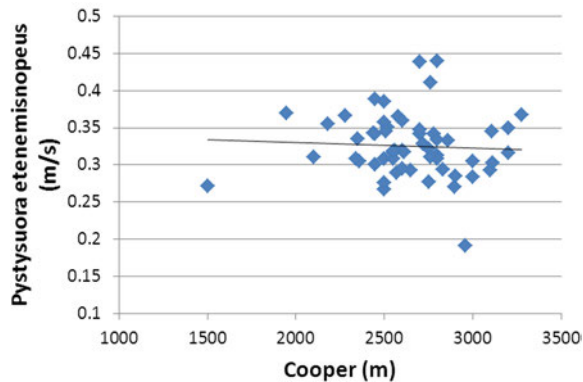
**Kuva 53.** Koe LM5: Henkilöiden (ryhmä 3) saapuminen eri tasanteille ylöspäin kävellessä.

**Taulukko 33.** Keskimääräinen pystysuora etenemisnopeus eri korkeusväleillä ylöspäin mentäessä (kokeiden LM1, LM3 ja LM5 yhdistetty tulos).

Korkeus	Pystysuora nopeus ylös (m/s)				0–33 m
	0–6 m	6–14 m	14–25 m	25–33 m	
Keskiarvo	0,39	0,35	0,32	0,30	0,33
Keskihajonta	0,08	0,08	0,04	0,03	0,04



**Kuva 54.** Pystysuoran etenemisnopeuden (noustessa) riippuvuus tasaisella kävelymisen nopeudesta (korrelaatio 0,39).



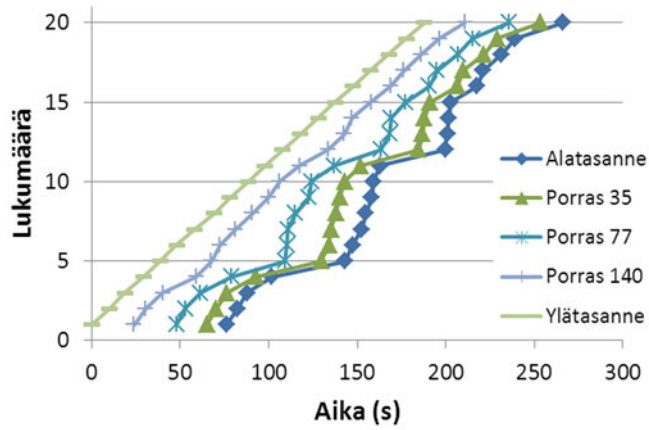
**Kuva 55.** Pystysuoran etenemisnopeuden (noustessa) riippuvuus Cooperin testin tuloksesta (korrelaatio  $-0,07$ ).

Kokeet LM2, LM4, LM6: Kävely yksitellen kierreportaita alas (ryhmät 1–3)

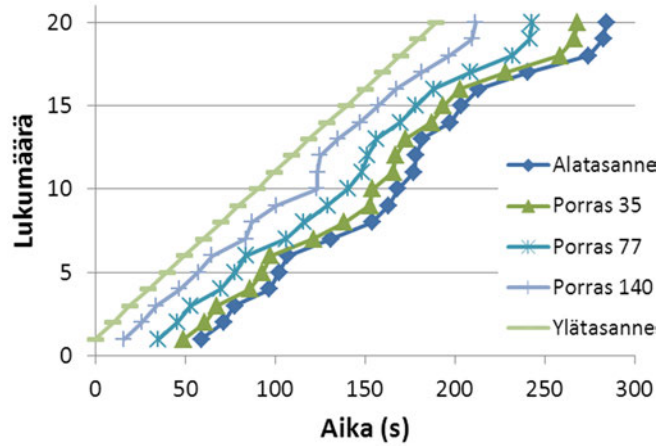
Kokeiden LM2, LM4 ja LM6 eteneminen on esitetty kuvissa 56–58. Taulukossa 34 on esitetty keskimääräinen pystysuora etenemisnopeus eri korkeuksilla. Tulosten perusteella laskeutumisnopeudessa ei voida havaita trendiä, vaan se vaihtelee täysin satunnaisesti eri mittausväleillä. Hajonta pysyy suunnilleen vakiona.

#### 4. Porraskokeet

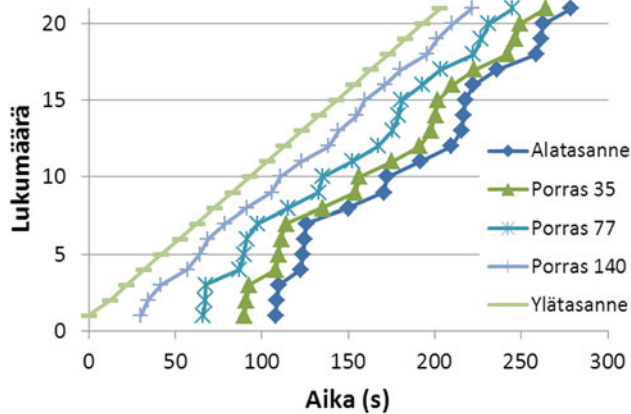
---



**Kuva 56.** Koe LM2: Henkilöiden (ryhmä 1) saapuminen eri tasanteille alaspäin kävellessä.



**Kuva 57.** Koe LM4: Henkilöiden (ryhmä 2) saapuminen eri tasanteille alaspäin kävellessä.



**Kuva 58.** Koe LM6: Henkilöiden (ryhmä 3) saapuminen eri tasanteille alaspäin kävellessä.

**Taulukko 34.** Keskimääräinen pystysuora etenemisnopeus eri korkeusväleillä alaspäin mentäessä (kokeiden LM2, LM4 ja LM6 yhdistetty tulos).

Korkeus	Pystysuora etenemisnopeus (m/s)				33–0 m
	33–25 m	25–14 m	14–6 m	6–0 m	
Keskiarvo	0,43	0,47	0,41	0,48	0,44
Keskihajonta	0,10	0,09	0,08	0,10	0,07

## 4.6 Kyselykaavakkeen tulokset

Pelastusopiston letkutornissa suoritettujen kokeiden yhteydessä ei käytetty kysymyskaavakkeita. Muiden kokeiden yhteydessä käytetyt kysymyskaavakkeet on esitetty liitteessä A. Kysymyskaavakkeiden tulokset on esitetty seuraavissa luvuissa.

### 4.6.1 Puijon torni

Puijon tornissa kyselykaavakkeet jaettiin välittömästi suoritettujen kokeiden jälkeen. Nousukokeen jälkeen lomakkeet täytettiin ylhäällä olevassa kahvilassa, laskeutumisen jälkeen alhaalla olevalla parkkipaikalla. Lomakkeiden tulokset on esitetty taulukoissa 35 ja 36.

Havaitaan, että ohittaminen oli vähäistä: 85 % ei ohittanut noustessa ketään. Alas mennessä ohittaminen oli hieman yleisempää: 70 % ei kuitenkaan tällöinkään ohittanut ketään. Useimmat hengästyivät noustessa (83 % vähän, 7 % paljon). Laskeutuessa 65 % ei hengästynyt lainkaan. Useimmat astuivat joka portaalle (noustessa 80 %, laskeutuessa 83 %), mutta jotkut harppoivat tai käyttivät molempia tyylejä. Kaiteen käyttö oli yleisempää noustessa (42 % vähän, 10 % paljon) kuin laskeutuessa (92 % ei lainkaan).

#### 4. Porraskokeet

**Taulukko 35.** Kokeen PT1 (portaita ylös) jälkeen jaetun lomakkeen tulokset.

Montako henkilöä ohitit portaita noustessasi?	0 henkilöä 85 %	1 henkilöä 10 %	2 henkilöä 2 %	3 henkilöä 0 %	4 henkilöä 3 %
Hengästyitkö?	En lainkaan 10 %	Vähän 83 %	Paljon 7 %		
Nousu tuntui?	Kevyeltä 48 %	Raskaalta 20 %	Joltain muulta <sup>1</sup> 32 %		
	<sup>1</sup> Siltä väliä, hyvältä, sopivalta, hapotti, kramppasi, juttelin, kylmä.				
Kävelytyyli portaissa?	Astuin joka portaalle 80 %	Harjoin 12 %	Muu <sup>2</sup> 8 %		
	<sup>2</sup> Edellisten väliä, kaveri oli reppuselässä, olin reppuselässä.				
Käytitkö kaidetta?	En lainkaan 48 %	Vähän 42 %	Paljon 10 %		
Muita huomioita: Kylmä, pohkeet kramppasivat, jaloissa hapotti, nilkkavamman hidasti menoa, juttelin kavereiden kanssa, ei vaikeaa.					

**Taulukko 36.** Kokeen PT2 (portaita alas) jälkeen jaetun lomakkeen tulokset.

Montako henkilöä ohitit portaita noustessasi?	0 henkilöä 70 %	1 henkilöä 14 %	2 henkilöä 7 %	3 henkilöä 5 %	4 henkilöä 4 %
Hengästyitkö?	En lainkaan 65 %	Vähän 28 %	Paljon 7 %		
Lasku tuntui?	Kevyeltä 96 %	Raskaalta 2 %	Joltain muulta <sup>1</sup> 2 %		
	<sup>1</sup> Pikkuisen hapottaa.				
Kävelytyyli portaissa?	Astuin joka portaalle 82 %	Harjoin 16 %	Muu <sup>2</sup> 2 %		
	<sup>2</sup> Käytin molempia tyyliä.				
Käytitkö kaidetta?	En lainkaan 92 %	Vähän 8 %	Paljon 0 %		
Muita huomioita: Paljon kevyempi kuin nousu, hienot maisemat, kipeä nilkka hidasti.					

#### 4.6.2 Pelastusopiston B-rakennus

Pelastusopiston B-rakennuksen portaissa kyselykaavakkeet jaettiin vasta kaikkien kokeiden suorittamisen jälkeen. Lomakkeiden tulokset on esitetty taulukoissa 37 ja 38.

Havaitaan, että useimpien poistujien mielestä jonossa liikkuminen hidasti kulkemista (vähän 65 %, paljon 24 %). Vastavirtauskokeessa poistujat kokivat pelastajien toiminnan haittaavan poistumista huomattavasti enemmän (vähän 58 %, paljon 22 %) kuin myötävirtauskokeessa (vähän 36 %, paljon 4 %). Ahdistavaksi tilanteen koki vastavirtauskokeessa 16 % (14 % vähän, 2 % paljon) ja myötävirtauskokeessa 4 % (vähän)

Pelastajista 83 % koki vastavirtauksen haittaavan letkuselvitystä ja hidastavan portaissa kulkemista. Myötävirtauskokeessa portaissa liikkumisen koki hidastuvan vain 33 % vastaajista, mutta 67 % oli kuitenkin sitä mieltä, että myötävirtaus haittasi pelastustoimintaa.



Yleisesti havaittiin, että vastavirtaustilanteessa poistujat väistivät sisäkaarteeseen ja pysähtyivät, myötävirtaustilanteessa poistujat ohittivat sisäkaarten kautta. Myötävirtaukseen liittymisen koettiin hidastavan portaisiin etenemistä.

**Taulukko 37.** Kokeiden PO1–PO6 jälkeen varusmiehille (poistujat) jaetun lomakkeen tulokset.

Käytikö kaidetta?	En lainkaan 73 %	Vähän 25 %	Paljon 2 %
Hidastiko jonossa liikkuminen kulkemista?	Ei lainkaan 13 %	Vähän 65 %	Paljon 22 %
<b>Vastavirtauskoe:</b>			
Hidastiko pelastajien vastaantulo portaissa liikkumista?	Ei lainkaan 18 %	Vähän 58 %	Paljon 24 %
Oliko tilanne ahdistava?	Ei lainkaan 84 %	Vähän 14 %	Paljon 2 %
Muita huomioita: –			
<b>Myötävirtauskoe:</b>			
Hidastiko pelastajien toiminta portaissa liikkumista?	Ei lainkaan 60 %	Vähän 36 %	Paljon 4 %
Oliko tilanne ahdistava?	Ei lainkaan 96 %	Vähän 4 %	Paljon 0 %
Muita huomioita: –			

**Taulukko 38.** Kokeiden PO1–PO6 jälkeen pelastusopiston opiskelijoille (pelastajat) jaetun lomakkeen tulokset.

<b>Vastavirtauskoe:</b>			
Hidastiko vastavirtaus portaissa liikkumista?	Ei lainkaan 17 %	Vähän 83 %	Paljon 0 %
Haittasiko vastavirtaus letkuselytystä?	Ei lainkaan 17 %	Vähän 83 %	Paljon 0 %
Muita huomioita: Poistujat väistivät sisäkaarteeseen ja pysähtyivät, tila oli ahdas.			
<b>Myötävirtauskoe:</b>			
Hidastiko myötävirtaus portaissa liikkumista?	Ei lainkaan 67 %	Vähän 33 %	Paljon 0 %
Haittasiko myötävirtaus pelastustoimintaa?	Ei lainkaan 33 %	Vähän 67 %	Paljon 0 %
Muita huomioita: Liittyminen poistuvaan virtaukseen hitaampaa kuin ilman poistujia, poistujat ohittivat sisäkaarten kautta.			

#### 4. Porraskokeet

##### 4.6.3 Lippumäki

Lippumäessä kyselykaavakkeet jaettiin vasta kaikkien kokeiden suorittamisen jälkeen. Lomakkeiden tulokset on esitetty taulukossa 39.

Tuloksista käy ilmi, että pimeys haittasi jonkin verran portaissa liikkumista, varsinkin laskeutuessa. Useimmat hengästyivät noustessa (70 % vähän, 5 % paljon) mutta eivät laskeutuessa (85 % ei lainkaan). Kaidetta käytettiin noustessakin vain vähän, koska kaide oli huono. 85 % ei ohittanut ketään noustessa tai laskeutuessa. Harppominen oli harvinaisempaa kuin Puijolla, mikä varmaankin johtui portaiden jyrkkyydestä.

**Taulukko 39.** Kokeiden LM1–LM6 jälkeen jaetun lomakkeen tulokset.

Yleistä:					
Haittasiko pimeys portaissa liikkumista?	En lainkaan 39 %		Vähän 59 %		Paljon 2 %
Kävely portaita ylös:					
Montako henkilöä ohitit portaissa?	0 85 %	1 10 %	2 5 %	3 0 %	4 0 %
Hengästyitkö?	En lainkaan 25 %		Vähän 70 %		Paljon 5 %
Nousu tuntui?	Kevyeltä 51 %		Raskaalta 28 %		Joltain muulta <sup>1</sup> 21 %
	<sup>1</sup> Normaalityltä, vähän raskaalta, siltä väliltä, hapotti vähän.				
Kävelytyyli portaissa?	Astuin joka portaalle 82 %		Harppoin 11 %		Muu <sup>2</sup> 7 %
	<sup>2</sup> Käytin molempia tyylejä.				
Käytitkö kaidetta?	En lainkaan 80 %		Vähän 16 %		Paljon 3 %
Muita huomioita: Huono kaide, pimeys haittasi vain alas mennessä, raskaampi kuin Puijo, 1 kipeä nilkka, portaiden pituus yllätti.					
Kävely portaita alas:					
Montako henkilöä ohitit portaissa?	0 85 %	1 7 %	2 7 %	3 1 %	4 0 %
Hengästyitkö?	En lainkaan 85 %		Vähän 15 %		Paljon 0 %
Lasku tuntui?	Kevyeltä 100 %		Raskaalta 0 %		Joltain muulta <sup>1</sup> 0 %
	<sup>1</sup> Pikkuisen hapotti.				
Kävelytyyli portaissa?	Astuin joka portaalle 87 %		Harppoin 11 %		Muu <sup>2</sup> 2 %
	<sup>2</sup> Käytin molempia tyylejä.				
Käytitkö kaidetta?	En lainkaan 89 %		Vähän 11 %		Paljon 0 %
Muita huomioita: Pakkasvaatteet olivat liikaa, kuuma, portaiden viivoitus aiheutti pyörrytystä, 1 kipeä nilkka.					

## 4.7 Pohdintaa

Kaikkien kokeiden keskeiset tulokset on koottu taulukkoon 40. Tulosten perusteella voidaan tehdä seuraavia havaintoja:

- Ylöspäin kävellessä pystysuora nopeus on portaiden jyrkkyydestä ja pituudesta riippuen n. 11–28 % tasaisella kävelemisen (vaakasuorasta) nopeudesta.
- Alaspäin kävelemiselle vastaava suhdeluku on 18–35 %.
- Vastavirtaus hidastaa letkuselvitystä portaita ylös 24 %.
- Myötävirtaus hidastaa pelastamista portaita alas 41 %.
- Poistujien etenemistä portaita alas letkuselvitys hidastaa 32 % ja pelastaminen 22 %.

**Taulukko 40.** Koetulokset koottuina. Nopeudet ovat yksittäisten koehenkilöiden etenemisnopeuksien keskiarvoja ja tasaisella kävelemisen nopeutta lukuun ottamatta pystysuoria nopeuksia. Keskiarvojen vaihteluväli johtuu nopeuden muuttumisesta portaiden pituuden suhteen. Pelastusopiston B-rakennuksen portaat olivat lyhyet, ja nopeudet edustavat keskinopeutta koko matkalta.

Koe	Tulos
Pelastusopiston letkutorni, pelastajat varusteineen	ylös 0,15–0,22 m/s alas 0,25–0,26 m/s
Puijon torni	ylös 0,22–0,36 m/s alas 0,33–0,44 m/s
Pelastusopiston B-rakennus: tasaisella käveleminen	1,39 m/s
Pelastusopiston B-rakennus: vastavirtaus	letkuselvitys ylös 0,25 m/s poistuminen alas 0,25 m/s
Pelastusopiston B-rakennus: myötävirtaus	pelastaminen alas 0,29 m/s poistuminen alas 0,29 m/s
Pelastusopiston B-rakennus: poistuminen	ylös 0,23 m/s alas 0,37 m/s
Pelastusopiston B-rakennus: letkuselvitys	ylös 0,33 m/s
Pelastusopiston B-rakennus: pelastaminen	alas 0,49 m/s
Lippumäki	ylös 0,30–0,39 m/s alas 0,41–0,48 m/s

Lippumäessä havaitut pystysuorat etenemisnopeudet ovat samaa luokkaa Yeon ja Hen (2009) tulosten kanssa; heidän tutkimuksessaan aikuisten miesten pystysuora etenemisnopeus oli ylöspäin mentäessä keskimäärin 0,32 m/s (Lippumäessä 0,30–0,39 m/s) ja alaspäin mentäessä 0,42 m/s (Lippumäessä 0,40–0,48 m/s). Pystysuorat etenemisnopeudet eri portaissa olivat selvästi erilaiset sekä noustessa että laskeutuessa. Tämän täytyy johtua portaiden geometriasta. Porraskorkeus oli sekä Puijon tornissa että Lippumäessä n. 17 cm, mutta Puijon tornin

portaissa kaarre oli selvästi laajempi ts. kaltevuus oli vähäisempi kuin Lippumäessä. Tästä voisi päätellä, että jyrkemmissä portaissa pystysuora nousu- ja laskeutumisnopeus on suurempi, mikä on Fujiyaman ja Tylerin (2004) havaintojen kanssa yhtenevä tulos.

Kaikissa kokeissa (lukuun ottamatta Pelastusopiston B-rakennuksen lyhyttä portaita) havaittiin etenemisnopeuden hidastuminen (letkutorni 32 %, Puijo 33–39 %, Lippumäki 15 %) portaiden pituuden suhteen noustessa. Hidastuminen oli aluksi voimakkaampaa ja väheni kokeen edetessä. Laskeutuessa vastaavaa hidastumista ei havaittu, vaan sen sijaan havaittiin nopeuden kasvu portaiden loppupäässä (loppukiri). Kokeissa esiintyi myös poistujien ”ryhmittymistä”, kun hitaampien edelle syntyi pidempiä välejä ja vastaavasti nopeammat saivat edellisiä kiinni. Ohittaminen oli palautteen perusteella melko vähäistä. Alaspäin mennessä ryhmittymisen oli vielä voimakkaampaa kuin ylöspäin mentäessä, joten ryhmittymisen ei yksin selitä nousunopeuksien hidastumista.

Pystysuora etenemisnopeus vaikuttaisi riippuvan jonkin verran henkilön tasaisella kävelemisen nopeudesta, mutta ei juuri lainkaan Cooperin testin tuloksesta. Painon ja pituuden suhteen ei havaittu minkäänlaista lineaarista riippuvuutta. Hengästyminen ja kokemus nousun raskaudesta näyttivät riippuvan Cooperin testin tuloksesta. Olettaen, että Cooperin testi mittaa henkilön yleiskuntoa, voidaan päätellä, että henkilön nousunopeus kokeessa riippuu enemmän kävelytyylistä kuin yleiskunnosta, mutta huonokuntoisemmat hengästyvät enemmän ja kokevat nousun raskaampana kuin hyväkuntoiset. Toisin sanottuna: henkilöt eivät sopeuta nousunopeuttaan sen perusteella, mikä heidän kuntosensa on.

Vastavirtauskokeessa pelastajien tullessa portaisiin varusmiehet väistivät sisäkaarteeseen päästääkseen pelastajat ohitse ulkokautta ja varusmiesten muodostama jono pysähtyi, kunnes pelastajat olivat poistuneet portaita. Pelastajat kokivat vastavirtausilanteessa letkuselvityksen tekemisen ahtauden vuoksi hankalaksi. Vastavirtaus hidasti letkuselvitystä portaita ylös suunnilleen saman verran (24 %) kuin Kratchmanin (2007) tutkimuksessa (25–28 %). Myötävirtausilanteessa jonoon liittymisen koettiin hidastavan portaisiin etenemistä.

Havaintona koejärjestelyistä voidaan todeta, että kokeet sujuivat hyvin, mutta koehenkilöiden motivaation vuoksi olisi ollut hyvä informoida heitä etukäteen paremmin siitä, miksi kokeita tehdään. Nyt kaikki eivät suhtautuneet kokeisiin riittäväällä vakavuudella, vaan saattoivat kesken kokeen ryhtyä esim. kantamaan toisiaan reppuselässä; osa koehenkilöistä myös pyrki kerääntymään ryhmiksi ja juttelemaan kokeen aikana. Toisaalta näin saattaisi tapahtua todellisessakin poistumistilanteessa, varsinkin jos havaintoa palosta ei olisi, vaan poistuminen tapahtuisi pelkän hälytyksen perusteella.

## 5. Käytävällä suoritettut vastavirtauskokeet

### 5.1 Taustatietoa yliopisto-opiskelijoiden käytölle poistumiskokeissa

VTT:ssä on kehitetty vuodesta 2004 lähtien FDS+Evac-poistumismallia (Korhonen ym. 2005, Hostikka ym. 2007, Korhonen & Hostikka 2009), joka on sisällytetty tulipalon simulointiohjelmistoon Fire Dynamics Simulator (FDS) (McGrattan ym. 2007). Viime aikoina poistumismallia on laajennettu lisäämällä siihen ihmisten vastavirtausta kuvaava alimalli (Heliövaara ym. 2012a). Poistumislaskentamallin kehittäminen vaatii jatkuvaa mallin ja todellisuuden välistä vertailua, ja tämän vuoksi VTT:n tutkijoille on kertynyt kokemusta poistumistilanteiden havainnoinnista ja hyvin kontrolloitujen poistumiseen liittyvien kokeiden järjestämisestä.

Muutama vuosi sitten tehtiin yliopisto-opiskelijoilla poistumiseen liittyviä kokeita EVACDATA-projektissa (Rinne ym. 2010). Tässä hankkeessa opiskelijoilla tehtävät kokeet olivat vain pieni osa koko hankkeesta, mutta hankkeessa huomattiin tällaisten kokeiden tekeminen suhteellisen vaivattomaksi ja nopeaksi ja ennen kaikkea kustannustehokkaaksi tavaksi hankkia varsin hyvin kontrolloitua materiaalia menetelmäkehityksen tueksi. Koska edellisen hankkeen aikana luotiin valmiiksi hyvät kontaktit Aalto-yliopiston (aikaisemmin Teknillinen korkeakoulu) puolelle, päätettiin TULPPA-hankkeeseen liittää mukaan myös yliopisto-opiskelijoilla tehtäviä kokeita.

Teknillisen korkeakoulun (TKK) systeemianalyysin laboratorion järjestämien tilastollisen matematiikan kurssien opiskelijoita käytettiin EVACDATA-projektissa koehenkilöinä kokeissa, joissa tutkittiin ovenvalintaa ja motivaation vaikutusta siihen (Heliövaara ym. 2012b). Kokeissa käytettiin TKK:n päärakennuksen (Ota-kaari 1, Espoo) toisen kerroksen käytävää, jossa on luokkahuoneita. Isoon luokkaan johti samalta suoralta käytävältä kolme ovea, joista tosin vain kahta käytettiin kokeessa. Opiskelijat järjestettiin käytävälle jonkin matkan päähän ovista ja tämän jälkeen heidät laitettiin kävelemään luokkaan käytettävissä olevien kahden oven kautta. Tapahtuma videoitiin, ja lisäksi opiskelijoilla oli kädessään paperinen ”repäisy-pinkka” satunnaisesti arvotuista lähtöpaikoistaan. Näin saatiin helpolla myös dokumentoitua lähtöjärjestyksen vaikutus luokkaan saapumiseen, eikä tätä tarvinnut tehdä ihmisiä videolta tunnistuen. Tehdyistä kokeista saatiin hyviä tuloksia, ja

itse koetilaisuus eteni hyvin jouhevasti, eli parikymmentä toistoa ehdittiin tehdä alle tunnissa. Opiskelijat täyttivät myös kyselykaavakkeen, ja sen perusteella opiskelijoilla ei ollut suurempaa valittamista kokeen järjestelyistä tai muusta vastaavasta, eli he voisivat olla vastaavassa mukana jatkossakin. Myös professori Harri Ehtamo piti kokeista ja sen tuloksena syntyneistä julkaisuista, ja hänen kanssaan sovittiin jo silloin, että vastaavan tyyppisiä kokeita voidaan myös jatkossa tehdä.

Keväällä 2012 koesuunnittelun kurssia systeemianalyysin laboratoriossa (Aalto-yliopiston perustieteiden korkeakoulu) luennoi Juha-Matti Kuusinen, joka oli myös mukana näissä aikaisemmissa kokeissa sekä järjestämässä niitä että kirjoittamassa aiheesta tieteellistä julkaisua (Heliövaara ym. 2012B). Koska systeemianalyysin laboratorion opetukseen kuuluvat mm. koesuunnittelun kurssi ja erilaisia tilastollisen analyysin kurseja, voi kokeissa syntyvää aineistoa käyttää kursseilla esimerkiksiaineistona laskuharjoituksissa sekä harjoitustöissä. Lisäksi etenkin koesuunnittelun kurssilla voidaan käyttää koeasetelmaa esimerkkinä, johon oppilaat joutuvat suunnittelemaan eri toistojen järjestyksen ja muitakin asioita, joilla voidaan parantaa kokeen tilastollisia ominaisuuksia eli vähentää systemaattisia virheitä yms. Näiden seikkojen vuoksi päätettiin siis TULPPA-hankkeessa suorittaa myös koesarja käyttäen Aalto-yliopiston opiskelijoita koehenkilöinä.

Aalto-yliopiston opiskelijoilla tehtävien kokeiden suunnittelun lähtökohtana oli luokkaa 50–100 opiskelijan käyttäminen. Määrä arvioitiin kurssien osallistujamäärien ja aikaisemmassa EVACDATA-hankkeessa tehdyn vastaavan koejärjestelyn osallistumisaktiivisuuden perusteella. Hyvän osallistumisaktiivisuuden varmistamiseksi tälläkin kertaa päätettiin kokeisiin osallistuvia opiskelijoita palkita ylimääräisellä tenttipisteellä kurssien loppukokeessa sekä jakamalla osallistujille opiskelijalounaslippu. Kokeiden pitoajaksi valikoitui helmikuu erinäisten käytännöllisten seikkojen perusteella. Kokeiden järjestelyn vaivattomuuden takia näissä opiskelijakokeissa tarkasteltavana kohteena pitää olla varsin yksinkertainen geometria, joka löydetään valmiina läheltä opiskelijoiden päivittäistä ”reviiriä”. Käytännössä tutkittiin Aalto-yliopiston Otaniemen kampuksen rakennuksia ja varsinkin Otakaari 1 -rakennuksen mahdollistamia geometrioita niin, että tarvittavat valmistelut (erilaiset kevyet seinäkkeet, ovien poisto ja vaihto, ovipumppujen vaihto yms.) olisivat minimissään.

Mahdollisen kokeen geometrian valinnassa päädyttiin siihen, että tutkitaan jotakin tilannetta, jota ei muuten TULPPA-hankkeessa tutkita, mutta joka liittyisi kuitenkin läheisesti hankkeen muihin kokeisiin ja jolla olisi alaan liittyvän kirjallisuuden perusteella hyödyllistä uutta ja tarpeellista kokeellista tietoa. Ihmisjoukon kulkemista käytävissä ja vastaavissa tiloissa on tutkittu paljonkin, mutta varsin vähän on kiinnitetty huomiota tilanteisiin, joissa ihmisiä kulkee kahteen tai useampaan eri suuntaan tällaisissa geometrioissa, jos ei tarkastella jalankulkijoita normaalissa kaupunki- tai joukkoliikenneasemaympäristössä. Ihmisjoukkojen kulkien toisiaan vastaan syntyy heidän liikkeeseensä yleensä spontaania järjestystä eli ihmiset pyrkivät muodostamaan spontaaneja kaistoja. Kaistanmuodostusta on tutkittu kokeellisesti jonkin verran, mutta hyvin kontrolloituja kokeita ei ole tehty kovinkaan montaa. Yleensä on havainnointu jotakin todellista tilannetta, esimerkiksi

jalankulkijoita ruuhka-aikoina. Kirjallisuudessa on muutamia kokeita, joissa on tehty hyvin kontrolloiduissa oloissa kokeita ihmisten liikkumisesta toisiaan vastaan eli tutkittu ns. ”vastavirtatilannetta” (Kretz ym. 2006b, Isobe ym. 2004a). Molemmissa kokeissa käytettiin koehenkilöinä yliopistojen opiskelijoita ja lisäksi henkilökuntaakin. Näiden kahden kokeen tulokset ovat keskenään ensi näkemältä ristiriitaisia sen suhteen, kuinka sulavaa on ihmisten liikkuminen toisiaan vastaan. Osaltaan tätä ristiriitaa selittää kokeiden jonkin verran erilainen koasetelma, jossa toisessa koehenkilöillä oli varsin paljon aikaa (noin 40 m matka) valmistautua vastaantulijoiden kohtaamiseen, kun taas toisessa tapauksessa eri suuntiin matkaavat ryhmät olivat kiinni toisissaan jo lähtötilanteessa. Koska vastavirtatilanne liittyy myös suoraan VTT:ssä kehitettävän FDS+Evac-poistumislaskentaohjelmiston kehitystyöhön, jo varsin aikaisessa vaiheessa päätettiin keskittyä kahden eri suuntaan kulkevan ihmisjoukon kulkemiseen rajatussa tilassa. Tyypillisesti poistumisen mitoituksessa ei tällaisia tilanteita oleteta esiintyvän, mutta käytännössä kylläkin ihmiset liikkuvat moneen suuntaan eri syistä. Yhtenä esimerkkinä vaikka henkilökunnan rooli matkustaja-aluksissa, joissa henkilökunnan tehtävänä on tarkastaa hyttialueiden tyhjeneminen eli he joutuvat kulkemaan vasten pelastusasemille kiirehtiviä matkustajia. Tämän taustan perusteella päätettiin tehdä opiskelijoilla kokeita, joissa he kävelisivät toisiaan vastaan käytävägeometriassa.

### 5.2 Vastavirtakokeiden asetelma

Yliopisto-opiskelijoilla tehtyjen kokeiden oli tarkoitus antaa lisävalaistusta ihmisryhmien kulkemiseen toisiaan vastaan käytävägeometriassa, sillä kirjallisuudessa esiintyvissä tutkimuksissa on eroavaisuuksia toisistaan (Kretz ym. 2006b, Isobe ym. 2004a). TULPPA-hankkeessa tehdyissä kokeissa päädyttiin käyttämään mutkallista käytävää, jotta koehenkilöt eivät näkisi vastaantulevia henkilöitä kovin kaukaa etukäteen, sillä käytännössä juuri tämä erotti edellä mainitut kirjallisuudesta löytyvät kokeet toisistaan. Nyt tehtävä koe olisi siis asetelmaltaan kirjallisuudessa esitettyjen kokeiden puolivälissä. Koehenkilöt olisivat lähes täydessä vauhdissa ennen vastavirran kohtaamista, mutta he eivät voisi valmistautua siihen etukäteen, koska vastavirta tulee nurkan takaa. Koasetelmassa koehenkilöt jaettiin kahteen osaan, enemmistöön ja vastaantulevaan vähemmistöön, ja heidät sijoitettiin aluksi käytävän mutkan molemmin puolin yhtä etäälle mutkasta. Kokeissa oli käytettävissä yhteensä 83 opiskelijaa, joista 35 valittiin satunnaisesti muodostamaan enemmistöryhmän ensimmäinen koeosio ja loput 48 opiskelijaa jaettiin satunnaisesti neljään neljän ja neljään kahdeksan hengen vastavirtaryhmään. Kokeissa pääryhmä käveli käytävästä toiseen ja takaisin useaan kertaan, mutta vastaantuleva pienryhmä vaihdettiin joka kerta, jotta koehenkilöiden oppimisesta aiheutuvaa virhettä tuloksiin voitiin pienentää ja satunnaisten vaihteluiden merkitystä vähentää koosuunnittelun oppien mukaisesti. Kutakin pienryhmää käytettiin kokeissa vain kerran (yhteensä kahdeksan koetta: neljä neljän ryhmää ja neljä kahdeksan ryhmää) ja tämän jälkeen pienryhmistä koottiin satunnaisesti uusi 35 henkilön pääjoukko ja ylitsejääneistä pienryhmäläisistä ja aikaisemmasta pääjoukosta arvottiin uudet pienryhmät

ja toistettiin kyseiset kahdeksan koetta satunnaisessa järjestyksessä tilastollisen virheen pienentämiseksi. Vastavirtaryhmät ohjeistettiin aina ennen kunkin kokeen alkua toimimaan joko itsenäisinä henkilöinä taikka neljän hengen muodostamina pienryhminä, jolloin koehenkilöitä ohjeistettiin pysymään yhtenäisenä joukkona. Jos kahdeksan henkilön muodostaman vastavirtaryhmän piti toimia yhtenäisenä joukkona, tällöin tämä kahdeksan hengen joukko ohjeistettiin muodostamaan kaksi neljän hengen alijoukkoa, jotka kumpikin pyrkivät pysymään kasassa. Tällöin kokeen valvojat asettivat kahdeksan hengen ryhmän alkuasetelmaan siten, että samaan aliryhmään kuuluvat henkilöt olivat yhdessä. Jotta aliryhmät erottuisivat toisistaan videokuvissa, jaettiin toiselle neljän hengen aliryhmälle lippalakit niissä kokeissa, joissa tämä oli tarpeellista.

Pääjoukko ja kulloinkin käytettävä vastavirtaryhmä lähtivät liikkeelle käytävien lattiaan teipatuilta lähtöviivoilta, jotka olivat 4,3 m etäisyydellä käytävien risteyksestä. Tämä muutaman metrin matka on riittävä, jotta toisiaan vastaan kävelevien ryhmien etuosat ovat päässeet täyteen vauhtiinsa ennen toistensa kohtaamista mutkassa, jolloin ryhmillä ei olisi juurikaan aikaa ennakoita, ohittavatko toisensa oikealta vai vasemmalta. Käytettäväksi geometriaksi valittiin Aalto-yliopiston Ota-kaari 1 -rakennuksessa (entinen TKK:n päärakennus) toisessa kerroksessa oleva käytävä luokahuoneen U261 kohdalla, jonka havainnekuva on esitettyä kuvassa 59. Kuvassa 60 on muutama valokuva käytävästä. Tämä käytävän osa sijaitsee rakennuksen niin sanotulla uudella puolella, joka koostuu kerroksista, joissa on kaksi samansuuntaista pitkää käytävää ja niitä yhdistäviä yhdyskäytäviä. Luonnokuvassa pystysuorassa oleva käytävä on pitkä käytävä ja siitä vasemmalle lähtee yhdyskäytävä, joka johtaa toiselle pitkälle käytävälle, jonka varressa on fysiikan laboratorion ja systeemianalyysin laboratorion henkilökunnan huoneita.

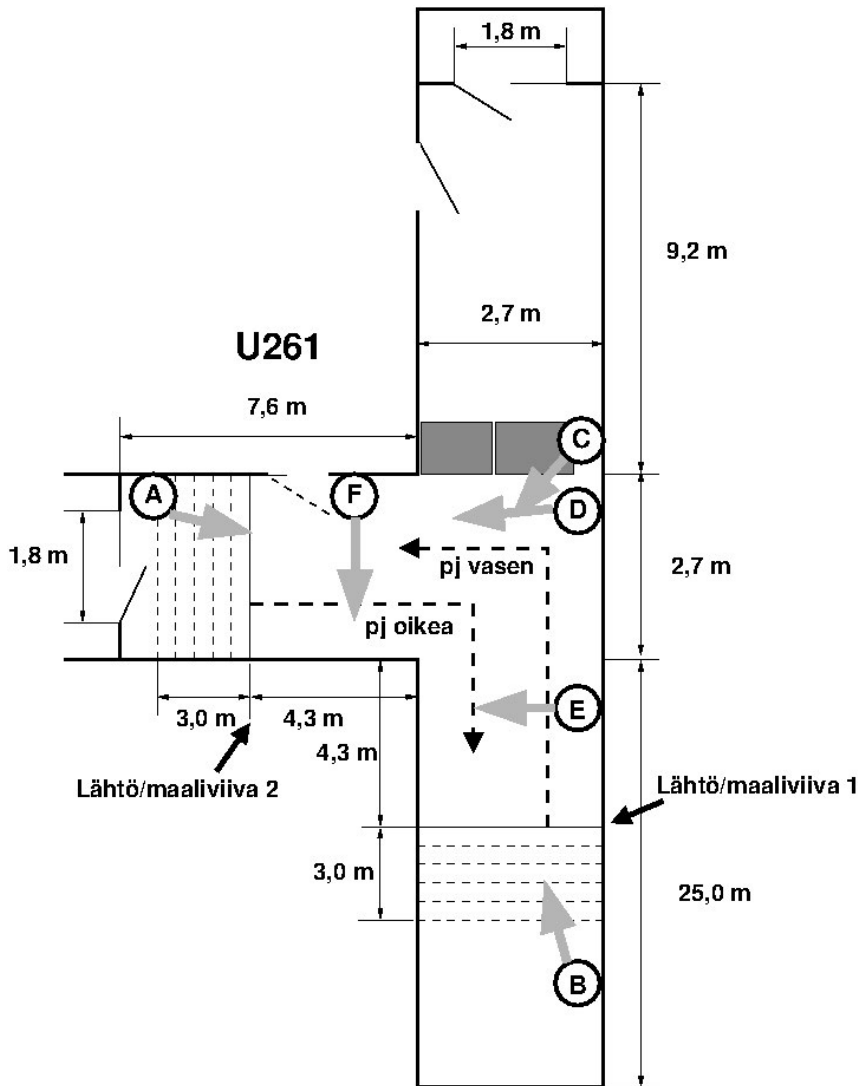
Valittu kokeiden suorituspaikka täyttää varsin monia tämän hankkeen koesuunnitteluvaiheessa listatuista toivottavista ominaisuuksista. Koegeometrian läheisyydessä on luokkatila (U261), jota käytettiin kokeen aikana opiskelijoiden informoimiseen, tavaroiden säilyttämiseen, opiskelijoiden "välivarastona" ja kokeen jälkeiseen palautetilaisuuteen, jossa opiskelijat täyttivät paperisen kyselylomakkeen. Koe järjestettiin maanantaina klo 16–19 eli koesuunnittelun kurssin luentoai-kanana, joten kurssin käyttöön varattu luentosali (K) oli myös käytettävissä kokeen aikana. Luentosali on rakennuksen uuden puolen siinä päädyssä ensimmäisessä kerroksessa, jossa systeemianalyysin laboratorio sijaitsee, ja näin sali on varsin lähellä kokeen suorituspaikkaa. Tätä luentosalia käytettiin opiskelijoiden informointiin ennen koetta, eli koehenkilöinä käytettävät opiskelijat kerääntyivät saliin normaaliin luennon alkuaikaan klo 16.15, jonka jälkeen opiskelijoille kerrottiin taustaa kokeesta ja kokeen kulun yleispiirteet. Tarkempi kuhunkin yksittäiseen koeosioon liittyvä "käskynjako" tehtiin luokahuoneessa U261 ja käytävällä kullekin ryhmälle.

Käytävätilassa on alas laskettu katto, jonka rakenteisiin videokamerat oli helppo kiinnittää. Lisäksi osa kameroista seisoj kolmijaloilla käytävien risteyksessä kokeen kannalta ylimääräisessä käytävänhaarassa, joka oli tukittu pöydillä. Käytävätila oli riittävän korkea, eli kamerat saatiin selvästi koehenkilöiden päiden yläpuolelle. Käytävän seinät jatkuivat aina kattoon saakka, eli käytävä poikkeaa sellaisesta avonaisesta kulkukäytävästä, jollaista Duisburgissa tehdyissä kokeissa



käytettiin (Kretz ym. 2006b). Tämä seikka helpottaa osaltaan tulosten käsittelyä, sillä avonainen käytävä ei ole välttämättä kovin hyvä tarkkojen numeroarvojen saamiseen, sillä (ominais)virtausnopeuksien laskentaa vaikeuttaa avonaisen käytävän efektiivisen leveyden määrittäminen, sillä hartioilla ja ehkä myös kynnärpäillä on tilaa kaiteiden yläpuolella eli avonaisessa käytävässä voidaan kävellä lähempänä seiniä.

Aalto-yliopiston opiskelijoille tehdyissä kokeissa käytetty geometrian kaaviokuva on esitetty kuvassa 59. Kokeissa käytettyjen käytävien leveys on 2,7 m. Lähtöviivat oli merkattu lattiaan teipillä 4,3 m päähän käytävän nurkasta molemmin puolin. Molempien lähtöviivojen taakse oli lattiaan teipatuin viivoin tehty viisi 0,6 m levyistä lähtökarsinaa, joihin pääjoukon opiskelijat sijoitettiin satunnaisesti aina erikseen käyttämällä hyväksi opiskelijoille jaettuja repäisyypinkkoja, joihin oli satunnaisesti arvottu lähtökarsinoiden numerot. Pääryhmän opiskelijat saatiin mahtumaan yhdyskäytävälle niin, etteivät yhdyskäytävän (vaakasuora käytävän osa kuvassa 59) lasiset palo-ovet haitanneet opiskelijoiden asettumista paikoilleen. Kameroiden paikat sekä koeasetelman muut dimensiot ovat myös esitettyinä kuvassa 59. Kuvaan on myös merkattu nuolet havainnollistamaan pääjoukon kulkusuuntaa eli se, mitä tarkoitetaan vasemmalle ja oikealle kaartavalla pääjoukolla.



**Kuva 59.** Käytetty koegeometria Aalto-yliopiston opiskelijoilla tehdyissä vastavirtauskokeissa. Koepaikka oli Aalto-yliopiston rakennuksen Otakaari 1 (entinen TKK:n päärakennus) niin sanotun uuden puolen toisessa kerroksessa luokkatilan U261 läheisyydessä.



**Kuva 60.** Kuvia Aalto-yliopiston rakennuksen Otakaari 1 käytävästä, jossa vastavirtakokeet tehtiin. Vasemmalla kuva pitkän käytävän päästä otettuna (kuvassa 59 ylhäällä) ja oikealla kuva on otettu yhdyskäytävän lasiovilta kohti pitkää käytävää (kuvassa 59 vasemmalla) ja luokkahuoneen U261 avoin ovi näkyy tässä kuvassa vasemmalla.

### 5.3 Vastavirtakokeiden tavoitteet

TULPPA-projektin lisäksi vastavirtakokeilla haluttiin olevan käyttöä opetustarkoituksessa, eli materiaalista pitäisi saada Aalto-yliopiston systeemianalyysin laboratorion kurssilaisille tilastollista aineistoa, jota voidaan käyttää eri kursseilla esimerkkiaineistona. Alla on lista siitä, mitä tietoa kokeista pyrittiin saamaan ulos ja miksi.

- Ominaishenkilövirtoja käytävässä. Näitä tuloksia voitaisiin verrata kirjallisuudesta löytyviin tuloksiin (varsinkin, kun ei ole vastavirtaa eli ns. nollakokeiden tulokset). Käytävän mutka aiheuttaa kuitenkin kuljetun matkan laskemiseen epätarkkuutta, eli luotettavampia tuloksia saadaan, kun tarkastellaan pääjoukon kulkemista jonkin tietyn viivan (kuten lähtö- tai maaliviiva) yli eikä verrata kokonaisaikoja lähtöviivalta maaliviivalle.
- Virtauksen hidastuminen vastavirran suuruuden mukana eli neljä vai kahdeksan vastaantulijaa. Vastavirtaryhmien käyttäytymisen, yksilöinä vai pienryhmän osana, vaikutus virtauksen hidastumiseen.
- Tutkitaan, näkyykö merkkejä koehenkilöiden oppimisen vaikutuksesta koetuloksiin, eli eroavatko ensimmäisen kahdeksan kokeen tulokset jälkimmäisistä

kahdeksasta kokeesta, joissa pääjoukon muodostivat ensimmäisten kokeiden vastavirtaryhmäläiset ja vanhasta pääjoukosta muodostettiin uudet vastavirtaryhmät.

- Sisäkaarten suosiminen eli miten pääjoukon kääntymissuunta (oikealle taikka vasemmalle) vaikuttaa? Käytetty koeasetelma mahdollistaa tämän tutkimisen, sillä pääjoukko käveli ensin yhteen suuntaan, minkä jälkeen vastavirtaryhmä vaihdettiin ja pääjoukko asetui äskeisen maaliviivan taakse uusiin satunnaisiin lähtöasetelmiin. Tällöin siis pääjoukon kulkusuunta vaihtui.
- Kvalitatiivinen analyysi henkilöiden sivuuttamisen sujuvuudesta, muodostuuko kaistoja vai ei, yms.

### 5.4 Vastavirtakokeiden kulku

Kokeissa Aalto-yliopiston opiskelijoita laitettiin kävelemään käytävässä toisiaan vastaan. Geometria oli kuvan 59 esittämään käytävien risteykseen tehty L:n muotoinen mutka, joka saatiin tukkimalla T-risteyksen yksi osa pöydillä. Kokeissa tutkittiin pienehkön (neljä tai kahdeksan henkilöä) vastaantulijajoukon vaikutusta suurehkon (35 henkilöä) joukon liikkumiseen. Alustavien ennakoilmoittautumisten perusteella päätettiin tehdä neljä neljän hengen ja neljä kahdeksan hengen pienryhmäkoetta. Tällöin pienryhmiin tarvittaisiin yhteensä 48 koehenkilöä, sillä samoja koehenkilöitä ei haluttu käyttää eri kokeissa, jotta saatava aineisto sopisi paremmin tilastolliseen analyysiin. Alustavasti pääjoukon suuruudeksi haluttiin noin 50 henkilöä, mutta tästä jouduttiin hieman tinkimään, koska koetilaisuuteen saapui yhteensä vain 83 opiskelijaa.

Aluksi pääjoukko koottiin käytävään lähtö- ja maaliviivan 1 taakse, ja pillin vihellyksestä joukko lähti etenemään vasemmalle kaartuen kohti yhdyskäytävässä olevaa lähtö- ja maaliviivaa 2. Tämän jälkeen pääjoukon muodostavat opiskelijat asetettiin lähtö- ja maaliviivan 2 taakse ja heidän lähtöpaikkansa sekoitettiin. Jälleen pillin vihellyksestä lähdettiin liikkeelle, nyt kohti lähtö- ja maaliviivaa 1 eli pääjoukko kaartoi mutkassa oikealle. Nämä kaksi koetoistoa toimivat ns. nollakokeina, eli näissä ei ollut vastaantulijoita ollenkaan vaan haluttiin tietoa käytettävien koehenkilöiden normaalista etenemisestä käytävätilassa, jotta varsinaisten vastavirtakoetoistojen tuloksia voitaisiin suhteuttaa käytettyyn koehenkilöryhmään nähden. Eri suuntiin kulkevat opiskelijajoukot lähtivät liikkeelle samaan aikaan pillin vihellyksestä. Eri suuntiin kulkevat ryhmät törmäsivät siis toisiinsa käytävän mutkassa, jolloin koehenkilöt eivät näe kovin kaukaa vastaantulijoita, joten he eivät osanneet ennakoida tulevaa väistöä kunnolla. Tämän ilmiön havaittiin käytännössä toteutuvan kokeissa, ja se on myös nähtävissä kokeista otetuissa videotallenteissa, joissa näkyy toistosta riippuen enemmän taikka vähemmän koehenkilöiden arpomista siitä, sivuttaako vastaantulijan oikealta vai vasemmalta puolelta, kun muuten päädyttäisiin nokkakolariin.

Koetilaisuus alkoi opiskelijoiden osalta kokoontumisella maanantaina 13.2.2012 klo 16.15 luentosalin K, joka on Aalto-yliopiston rakennuksen Otakaari 1 (entinen

TKK:n päärakennus) ns. uuden puolen aulassa ensimmäisessä kerroksessa. Siellä opiskelijoille kerrottiin TULPPA-projektin taustoista sekä pari vuotta aikaisemmin tehdyistä vastaavan tyyppisistä kokeista (Rinne ym. 2010), joiden tuloksena syntyi tieteellinen artikkeli (Heliövaara ym. 2012). Näin motivoitiin koehenkilöitä. Tämän jälkeen opiskelijoille esitettiin kokeissa käytettävä geometrian pohjakuva ja sen avulla nopeasti kokeiden kulku keskittyen etenkin siihen, kuinka eri koetoistojen välillä vastavirtaryhmiä asetellaan lähtöpaikoilleen, sillä pääjoukon osalta toiminta oli varsin selkeää. Koehenkilöille selitettiin seuraavat asiat kokeen kulusta:

- Jako aluksi kahteen ryhmään:
  - Ensimmäiset 48 henkilöä ohjataan luentosalista K luokkahuoneeseen U261, ja he saavat numerolapun lähtiessään salista K (ensimmäiset kahdeksan vastaantulevaa pienryhmää,  $4 \times 4 + 4 \times 8 = 48$  henkilöä). Numerolapuilla osallistujat jaetaan kahdeksaan pienryhmään. Lisäohjeita annettaisiin pienryhmäläisille luokkahuoneessa U261.
  - Loput 35 henkilöä muodostavat ensimmäisten kahdeksan toistokokeen pääryhmän, ja heidät kuljetetaan luokkahuoneen U261 kautta (laukut, takit yms. "lukkojen taakse") käytävään valmistautumaan nollakokeisiin.
- Pääjoukko käytävään nollakokeita varten:
  - Tämä joukko kävelee aluksi edestakaisin käytävässä normaalisti pillin vihellyksin lähetettynä. Ensimmäiselle vasemmalle kaartaen ja sen jälkeen oikealle kaartaen, jotta saataisiin selville pääryhmän kulkunopeus ilman vastavirtausta (ns. "nollakoe").
  - Nollakokeiden jälkeen kullekin pääryhmäläiselle jaetaan lähtöpaikkalappu (kahdeksan lappua per opiskelija), joilla satunnaistetaan opiskelijoiden lähtöpaikat tehtävissä kahdeksassa toistossa, jotka eroavat toisistaan vastavirtaryhmän mukaisesti. Lähtöpaikat on jaettu lähtöviivojen taakse viiteen 0,6 m kokoiseen karsinaan, jotka on merkitty lattiaan teippauksin.
- Kahdeksan varsinaisen toistokokeen jälkeen vaihdetaan vastavirtaryhmä pääjoukon kanssa päittäin pitäen huoli siitä, että uuteen vastavirtaryhmään, joka kootaan luokkaan U261, tulee tasan 48 oppilasta, 13 oppilasta ensimmäisestä vastavirtaryhmästä kuuluisi siis myös jälkimmäisessä kahdeksan kokeen sarjassa vastavirtaryhmään.
- Tämän jälkeen uudelle pääjoukolle jaetaan lähtöpaikkapinnat seuraavaa kahdeksan kokeen sarjaa varten.
- Uuden ryhmäjaon jälkeen tehdään uudestaan sama kahdeksan kokeen sarja, tosin eri järjestyksessä koeasetelman satunnaistamisen vuoksi. Ennen toista kahdeksan kokeen sarjaa ei tehtäisi nollakokeita.
- Kokeiden jälkeen opiskelijat täyttävät luokkahuoneessa U261 palautelomakkeen, joka on tämän julkaisun liitteessä A. Tämän lisäksi opiskelijat antavat erillisellä paperilapulla osoitetietonsa, jotta heille voidaan tarvittaessa postittaa lounaslippu palkkioksi kokeeseen osallistumisesta, mikäli he eivät hakisi sitä seuraavalta luennolta.

Kokeet menivät ohjeistuksen mukaisesti ja ne pysyivät hyvin aikataulussa. Kaikki 16 toistokoetta sekä nollakokeet saatiin suoritettua alle tunnissa. Opiskelijoiden informoimiseen, koepaikkaan siirtymiseen, kokeiden suorittamiseen sekä kokeen jälkeiseen palautekyselyyn kului opiskelijoilta kaikkiaan noin puolitoista tuntia.

Koejärjestelyistä vastasi neljä henkilöä (kolme VTT:stä, yksi Aalto-yliopistosta), joilla kului tunnin verran laittaa koekäytävä valmiiksi kokeita varten ja kokeiden jälkeen purkaminen sujui joutuisasti puolessa tunnissa. Kamerat (6 kpl) asennettiin käytävän mutkaan kolmijaloilla (kamerat C ja D), ja käytävissä ne olivat ripustettuna alaslasketun katon rakenteisiin (kamerat A ja F yhdyskäytävässä ja B ja E pitkässä käytävässä). Kokeiden suorittaminen ei vaatinut rakennustöitä, ja muutenkin vaadittavat valmistelut olivat vähäisiä. Koetta varten luokkahuoneen U261 koekäytävään aukeava ovi nostettiin pois saranoiltaan, jotta se ei olisi tiellä käytävässä. Lisäksi käytävän lattiaan merkattiin lähtö- ja maaliviivat maalarinteipillä sekä niiden taakse 0,6 m etäisyyksille vastaavat viivat, jotka osoittivat pääjoukon lähtöpaikkakarsinat. Lisäksi käytävän seiniin teipattiin mittaviivoja (0,5 m välein käytävän nurkasta), jotta näitä voitaisiin käyttää videoanalyysijä tehtäessä. Tämän lisäksi valmisteluvaiheessa keitettiin kahvia termoskannuihin, jotta luokkahuoneessa U261 odottavien opiskelijoiden motivaatio saataisiin pysymään korkealla koko kokeen keston ajan. Koska käytävät muodostavat T-risteyksen, kannettiin luokkahuoneesta U261 myös kaksi pöytää valmisteluvaiheessa tukkimaan kokeen kannalta ylimääräinen käytävän osa, jolloin saatiin muodostettua haluttu L:n muotoinen mutka vaivattomasti.

### 5.5 Vastavirtakokeiden tulokset

#### 5.5.1 Vastavirtakokeiden kyselykaavakkeiden analyysi

Kun kaikki kokeet, kaksi nollakoetta ja kaksi kahdeksan sarjaa varsinaisia toistokokeita, oli tehty, opiskelijat täyttivät palautekyselyn, jossa kysyttiin heidän taustatietojaan sekä ajatuksia kokeen kulusta ym. Taustatiedoista kyseltiin sukupuoli, ikä sekä arvio omasta kunnosta. Kokeeseen liittyviä kysymyksiä oli muutamaa eri kategorialla. Toisissa kyseltiin yleistä koejärjestelyistä, kuten "oliko koetilanne ahdistava", "oliko kokeen kesto liian pitkä" ja vastaavia kysymyksiä, joiden tuloksilla ei ole suoraa merkitystä kokeen tuloksille tehtävään analyysiin. Nämä kysymykset olivat enemmän tietoa kokeen järjestäjille siitä, mitä parannettavaa jatkossa olisi, jos tällaisia kokeita suoritetaan. Toisen selvän kategorian muodostivat kysymykset, joissa selvitettiin, vaikuttivatko esimerkiksi toistojen määrät koehenkilöiden käytökseen eli tapahtuiko heidän mielestään oppimista ja kuinka motivoituneita opiskelijat olivat noudattamaan annettuja ohjeita (pienryhmäkäyttäytyminen ym.).

Koehenkilöistä 59 (71 %) oli miehiä ja 24 (29 %) naisia. Ikäjakautuma ikäryhmittäin oli seuraava: 7 % 18–20-vuotiaita, 23 % 21–22-vuotiaita, 27 % 23–24-vuotiaita ja loput 43 % 25-vuotiaita taikka vanhempia. Oman kävelynopeutensa arvioi olevan normaali 40 %, nopeahko 54 % ja hitaahko 6 %. Koehenkilöistä 96 % arvioi annettujen ohjeiden olleen melko taikka erittäin selvät, joten koehenkilöiden

informoinnin voidaan sanoa onnistuneen hyvin ennen koetta. Myös kokeen keston olivat kaikki koehenkilöt yhtä poikkeusta lukuun ottamatta tyytyväisiä, eikä koetta myöskään pidetty ahdistavana, sillä vain kaksi vastaajaa piti sitä melko ahdistavana. Suurin osa (73 %) koehenkilöistä arveli, ettei kokeiden toistaminen vaikuttanut heidän käyttökseen kokeiden aikana. 93 % koehenkilöistä sanoi pyrkiensä käyttäytymään vastavirtaryhmässä tehtävänantoa noudattaen parhaansa mukaan taikka suunnilleen, jos olivat osallisena tällaisessa tehtävänannossa. Palautteen perusteella voidaan olettaa, että eri toistojen välillä ei tapahtunut juurikaan koehenkilöiden oppimisilmiöitä, eli lähtöoletuksena koetulosten tilastollisessa analyysissä voidaan pitää sitä, että oppimista ei tapahtunut merkittävässä määrin.

### 5.5.2 Videoanalyysin tulokset vastavirtakokeille

Aalto-yliopistossa tehdyt vastavirtakokeet videoitiin käyttämällä kuutta digitaalista videokameraa, joiden paikat on merkitty kuvaan 59. Videotallenteet katsottiin läpi VLC Player -ohjelmalla ja videoista kerätyt tulokset on esitetty taulukossa 41 ja kuvassa 61. Taulukkoon on koottu videotallenteista katsotut ajat sille, milloin ensimmäinen pääjoukkoon kuuluva henkilö ylittää maaliviivan, milloin viimeinen pääjoukkoon kuuluva henkilö ylittää maaliviivan, milloin ensimmäinen vastavirtaryhmään kuuluva henkilö ylittää maaliviivan sekä milloin viimeinen vastavirtaryhmään kuuluva henkilö ylittää maaliviivan. Kaikki ajat ovat aikoja kyseisen toistokokeen pillin vihellyksestä.

Lisäksi taulukkoon 41 on laskettu pääjoukon ominaishenkilövirta maaliviivan yli eli montako henkeä sekunnissa käytävän leveysmetriä kohden ylittää maaliviivan. Tämä ominaisvirta on keskimääräinen virta, sillä se on laskettu vähentämällä viimeisen ylittäjän ajasta ensimmäisen ylittäjän aika. Käytännössä (ominais)virta maaliviivan yli on pieni pääjoukon ensimmäisten ja viimeisten henkilöiden kohdalla, joten maksimivirtaukset ovat jonkin verran taulukossa esitettyjä arvoja suuremmat.

Vastavirtakokeissa haluttiin tutkia vastaantulijoiden lukumäärän, heidän käyttäytymisensä sekä mutkan suunnan vaikutusta liikkumisen sujuvuuteen. Haluttiin siis tutkia kolmen muuttujan vaikutusta ja kukin muuttuja valittiin sellaiseksi, että se voi saada kaksi eri arvoa kokeissa, jolloin tarvittavien toistojen määräksi saatiin  $2^3$  eli kahdeksan toistoa hieman eri ohjeistuksella. Yksi varioitavista muuttujista oli pääjoukon käännöksen suunta, joka luonnostaan tulee geometriasta, eli joko oikealle taikka vasemmalle oleva L-mutka riippuen siitä, kummalta lähtö- ja maaliviivalta pääjoukko lähti liikkeelle. Toinen varioitava muuttuja oli vastavirtaryhmän suuruus, jolle valittiin arvoiksi neljä ja kahdeksan. Enempää vaihtoehtoja ei käytännön syistä (opiskelijoiden lukumäärä, kokeisiin käytettävissä oleva aika) voitu valita. Kolmantena varioitavana suurena oli vastaantulijoiden käyttäytyminen, jossa oli kaksi vaihtoehtoa: vastaantulijat joko käyttäytyivät yksilöinä tai pyrkivät pysymään toisten vastavirtaan kulkevien mukana kuten ystävykset taikka perheenjäsenet keskenään. Mikäli vastavirtaryhmä koostui neljästä henkilöstä, kaikki neljä pyrkivät pysymään keskenään yhdessä, mikäli näin käskettiin. Kun vastavirtaan kulki kahdeksan henkilöä ja heitä käskettiin pysymään yhdessä, tämä kahdeksan hengen joukko

## 5. Käytävällä suoritettut vastavirtauskokeet

jaettiin kahteen neljän hengen alijoukkoon, jotka keskenään pyrkivät pysymään yhdessä.

**Taulukko 41.** Vastavirtakokeiden tulokset pääjoukon sekä vastaantulijajoukon maaliviivan ylittämiseksi. Pääjoukolle on laskettu keskimääräinen ominaisvirtausnopeus maaliviivan yli jakamalla joukon henkilömäärä käytetyllä ajalla (viimeisen ja ensimmäisen erotus) sekä käytävän leveydellä (2,7 m). Kaikkiaan tehtiin 16 koetta, joissa kokeissa 1–8 oli koko ajan sama pääjoukko ja kokeissa 9–16 vastaavasti samana pysyvä pääjoukko. Vastaantulijaryhmä vaihtui aina uudeksi jokaiseen kokeeseen. Kokeita tehtiin eri variaatioissa, ja variaation tunnuksessa esiintyvät merkit tarkoittavat seuraavaa: (i) vastavirtaryhmän henkilöt käyttäytyivät itsenäisesti, (r) vastavirtaryhmän henkilöt pyrkivät pysymään koossa pienryhmänä, (o) pääjoukko kaartoi oikealle, (v) pääjoukko kaartoi vasemmalle, (4) neljä vastaantulijaa, (8) kahdeksan vastaantulijaa.

koe	variaatio	Pääjoukko			Vastaantulijat	
		ensimmäinen (s)	viimeinen (s)	virtaus (1/s/m)	ensimmäinen (s)	viimeinen (s)
1	io8	5,68	15,20	1,36	9,76	14,56
2	rv4	5,92	15,48	1,36	10,08	11,76
3	ro4	5,36	14,96	1,35	9,24	11,48
4	iv8	6,72	15,16	1,54	7,60	12,16
5	io4	5,64	14,96	1,39	9,20	11,36
6	iv4	6,76	15,16	1,54	9,04	11,20
7	ro8	6,16	15,40	1,40	9,76	12,92
8	rv8	7,88	16,72	1,47	9,00	12,56
9	rv4	6,08	15,88	1,32	11,88	13,20
10	ro8	7,84	16,76	1,45	9,04	13,00
11	iv4	6,24	14,88	1,50	9,20	11,76
12	io4	5,68	15,40	1,33	9,68	12,80
13	rv8	7,32	17,52	1,27	11,04	17,12
14	io8	6,36	16,80	1,24	8,96	14,12
15	iv8	7,64	15,92	1,57	9,08	13,68
16	ro4	6,08	14,80	1,49	9,12	11,48

Ennen varsinaisia 16:ta toistokoetta tehtiin ensimmäisellä pääjoukolla niin sanottu nollakokeet, eli pääjoukko käveli kertaalleen käytävän mutkan edestakaisin: Aluksi pääjoukko lähti pillin vihellyksestä liikkeelle lähtöviivalta 1 eli kaartoi vasemmalle, ja tämän jälkeen joukko asetui lähtöasetelmiin lähtöviivalle 2 ja pillin vihellyksestä lähti ja kääntyi oikealle käytävän mutkassa. Näiden kahden nollakokeen tulokset ovat hyvin lähellä toisiaan, ja tässä esitetään vain näiden nollakokeiden keskimääräiset tulokset. Ensimmäinen henkilö ehti maaliviivalle 4,90 s pillin vihellyksen jälkeen ja viimeinen 13,98 s kuluttua vihellyksestä, eli pääjoukko virtasi maaliviivan



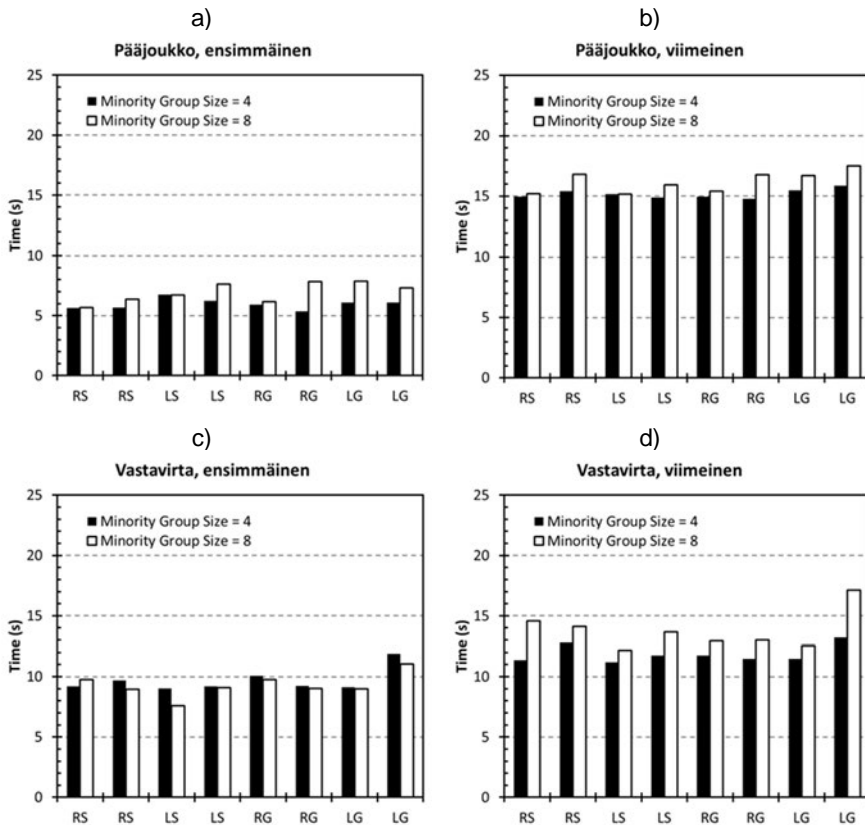
yli 9,08 s kuluessa. Se vastaa ominaishenkilövirran arvoa 1,43 1/s/m (35 henkilöä, 2,7 m leveä käytävä). Tämä ominaisvirtaus on varsin tyypillinen arvo ominaishenkilövirroille (SFPE 2008).

Koehenkilöt liikkuvat kuitenkin varsin joutuisasti kokeessa: ensimmäisinä maaliiviivan ylittäneiden keskimääräinen nopeus kiihdytysvaihe mukaan lukien on ollut hitaimmillaankin noin 1,76 m/s, jossa matkaksi on laskettu lyhin reitti seinää pitkin eli kaksi kertaa 4,3 m matka. Käytävän keskilinjaa (mutkassa neljännesympyrää pitkin) kuljettaessa nopeudeksi saataisiin 2,19 m/s, eli koehenkilöjoukon kävelynopeus on selvästi suurempaa kuin kirjallisuudessa esiintyvät keskivertonopeudet aikuisille (SFPE 2008). Tämä on varsin tyypillistä hyvin homogeeniselle ja hyväkuntoiselle koehenkilöjoukolle, eikä näistä kokeista saatavia tuloksia pidä sellaisenaan käyttää rakennuksien mitoituksessa vaan tuloksia pitää suhteuttaa huomioiden käytetty koehenkilöp populaatio. Eri toistokokeiden välisiä suhteellisia muutoksia tarkasteltaessa ei käytetyllä koehenkilöp populaatiolla toivota olevan suurta vaikutusta tulosten yleistettävyyteen ainakaan kvalitatiivisessa mielessä. Tehdyissä kokeissa havaittuja ilmiöitä voidaan olettaa tapahtuvan yleensäkin ihmisjoukkojen vastavirtatilanteissa.

Se, että ominaisvirtauksille ei saatu vastaavasti kirjallisuudessa esiintyviä tyypillisiä arvoja suurempia arvoja suurista kävelynopeuksista huolimatta, johtuu todennäköisesti toisiaan kompensoivista ilmiöistä (ominais)henkilövirrassa. Tämä johtuu suoraan (ominais)henkilövirran määritelmästä. Jos henkilövirrassa kaikki etenevät samalla nopeudella ja ihmistiheys on vakio, on henkilövirta suuruudeltaan henkilötiheys kerrottuna kävelynopeudella. Tämä vastaavuus on voimassa keskimäärin myös epätasaisille kävelynopeuksille ja tiheyksillekin. Suuri kävelynopeus tarkoittaa yleensä sitä, että kävelyaskeleet ovat reippaan pituisia ja niitä otetaan varsin tiheästi. Tällöin etäisyys edellä (ja takana) kävelijään muodostuu varsin suureksi, jotta askeleet saataisiin hyvin sopimaan ja lisäksi ihminen haluaa tilaa eteensä sen verran, että voi reagoida edessä olijan liikkeisiin. Suurella vauhdilla tämä tarkoittaa suuria ihmisten välisiä etäisyyksiä, eli tällöin ihmistiheys on pieni. Nopeus kasvaa, mutta tiheys pienenee. Vastaava ilmiö esiintyy pienillä nopeuksilla, eli kun kävelynopeudet ovat pieniä (hitaat etenijät taikka ruuhkasta johtuva nopeuden aleneminen), ihmistiheys kasvaa. Tässä mielessä käytävien mitoitus on varsin kestäväällä pohjalla, sillä suurehkokkaan vaihtelut eivät muuta kovinkaan jyrkästi (ominais)henkilövirtaa käytävissä. Sama pätee myös portaikkojen mitoitukseseen, jossa kävelynopeus ja ihmistiheys käyttäytyvät vastaavasti. Portaikkojen tapauksessa tosin ihmistiheys ei käyttäydy aivan yhtä jatkuvasti kuin käytävien tapauksessa, sillä porraskelmat muodostavat varsin luonnollisen rajoituksen ihmisten sijoittumiselle ruuhkaiseen portaikkoon. Oviaukkomitoituksessa ei vastaavaa eri tekijöiden kompensoivaa ilmiötä tapahdu vastaavissa määrin. Kun suuri määrä ihmisiä poistuu oviaukon kautta, muodostuu oviaukon eteen ruuhkaa, jossa ihmisten nopeus käytännössä putoaa lähelle nolaa eli ihmiset jonottavat (epämääräisessä kasassa) ovelle. Näin ihmistiheys nousee suureksi ihmisten luontaisista kävelynopeuksista riippumatta. Lähinnä vain ihmisten koko ja mahdollisesti myös heidän kulttuurinsa vaikuttavat siihen, kuinka tiheässä kasassa pois pääsyä odotetaan. Lisäksi tietenkin itse tilanne vaikuttaa tähän tiheyteen eli siihen, kuinka kovasti

## 5. Käytävällä suoritettut vastavirtauskokeet

ihmiset haluavat tilasta pois (normaali poistuminen vaikkapa teatteriesityksen jälkeen, palohälytys, terroriuhkkaus). Ovikokeissa käytettyjen koehenkilöiden yksilöllisillä ominaisuuksilla voi siis olla huomattava vaikutus saataviin oven kapasiteetteihin. Mikäli koehenkilöt ovat nuoria ja terveitä, he kiihdyttävät varsin nopeasti ovelta kohti nopeahkoa kävelynopeuttaan, jolloin virtaus ovesta muodostuu suureksi. Vastaavasti hitaahkot kävelijät (esim. vanhukset) kiihdyttävät todennäköisesti hitaammin (vähemmän voimaa) kohti hitaampaa kävelynopeuttaan, eli virtaus oven läpi muodostuu paljon pienemmäksi kuin reippaasti etenevillä nuorukaisilla.



**Kuva 61.** a) Pääjoukon ensimmäinen henkilö maaliviivalla. b) Pääjoukon viimeinen henkilö maaliviivalla. c) Vastavirtaryhmän ensimmäinen henkilö maaliviivalla. d) Vastavirtaryhmän viimeinen henkilö maaliviivalla. Ajan nollakohtina on käytetty kunkin toistokokeen pillin vihellystä. Vastavirtaryhmän koon neljä tulokset on esitetty mustin pylväin ja koon kahdeksan tulokset valkoisin pylväin. R/L viittaa joko oikealle (R) taikka (L) vasemmalle kaartavaan pääjoukkoon. S/G viittaa yksilölliseen (S) taikka ryhmäkäyttäytymiseen (G) vastaantulijaryhmissä. Ensin on esitetty ensimmäiseen kahdeksaan toistoon kuuluva tulos ja heti sen jälkeen vastaava tulos jälkimmäisistä kahdeksasta toistosta.

Kuten kuvasta 61 näkyy, ei eri koevariaatioilla näyttäisi olevan juurikaan eroa keskenään, ainoastaan vastavirtaryhmän henkilömäärällä on vaikutusta koehenkilöiden maaliviivan ylitysaikoihin. Suurempi vastaantulijoiden määrä hidastaa sekä pääjoukon ensimmäisen että viimeisen henkilön maalilinjan ylitysaikoja. Samanlainen vaikutus on vastaantulijajoukon lukumäärällä viimeisen vastaantulijan maaliviivan ylitysaikaan, mikä on varsin luonnollista. Sen sijaan vastavirtaryhmän koolla ei näytä juurikaan olevan vaikutusta ensimmäisen vastavirtaryhmän henkilön maaliviivan ylitykseen. Vastavirran kärjessä oleva henkilö siis kulkee pääjoukon läpi samaan tapaan välittämättä takana seuraavista muista vastavirtaan kulkijoista. Myöskään pääjoukon mahdollinen sopeutuminen vastavirtaan ei vaikuta ensimmäiseen vastavirtaan kulkijaan. Vastavirtaan kulkija kohtaa aina samanlaisen tilanteen, eli häntä vastaan tulee 35 henkilön joukko, eivätkä vastavirtaan kulkijan takana olevat seuraajat juurikaan vaikuta "tienraivaajan" kulkemiseen. Pääjoukon kulkemiseen vastavirran suuruudella on merkitystä, sillä pääjoukon ensimmäiset henkilöt joutuvat hidastamaan enemmän vauhtiaan, kun vastaan tulee isompi ryhmä eli käytävän mutkaan muodostuu ruuhkaisu tilanne. Pääryhmän henkilöiden kävelyvauhti pienenee, mutta henkilöitiheys nousee, jolloin ihmisvirtaus ei juurikaan muutu. Tämä nähdään tarkastamalla pääryhmän maaliviivan ohikulkuaikoja, jotka nollakokeessa olivat keskimäärin 9,08 s ja varsinaisissa toistokokeissa vastavirran kanssa 9,22 s ja 9,24 s neljän ja kahdeksan vastavirtaan tulijan tapauksissa. Ihmistihyden nouseminen ja ihmisten sopeutuminen vastavirtaan (kehon kääntäminen, kaistojen muodostuminen yms.) kompensoivat siis varsin tehokkaasti vastavirran hidastavan vaikutuksen käytetyillä vastaantulijoiden lukumäärillä.

Taulukossa 42 on esitetty taulukon 41 tuloksista laskettuja keskiarvoja ja keskihajontoja eri toistokoejoukoille. Koehenkilöiden mahdollista taipumusta oppia kokeen kulkua ja sitä kautta muuttaa käyttäytymistään kokeiden aikana voidaan tarkastella tutkimalla koko koesarjan keskiarvoja ensimmäisellä (kokeet 1–8) ja toisella (kokeet 9–16) pääjoukolla tehtyjen kokeiden keskiarvoihin. Jälkimmäinen pääjoukko näyttäisi olleen hitusen hitaampi kuin ensimmäinen, mutta ero on varsin pieni eikä se ole tilastollisesti merkittävä, mikä havaitaan vertaamalla eroa keskihajontoihin. Selvempi ero nähdään kokeiden välillä, joissa vastavirtaryhmän suuruus on eri. Kun vastaan tuli kahdeksan ihmistä, pääjoukon ensimmäinen ja viimeinen henkilö tulivat maaliin noin sekunnin hitaammin kuin tapauksissa, joissa vastaan tuli vain neljä henkilöä.

Vastavirtajoukon ensimmäisen henkilön maaliin saapumiseen ei vaikuta vastavirtaryhmän koko, eli vastavirtaryhmän ensimmäisillä henkilöillä jokainen koetoisto näytti samalta: vastaan tuli aina 35 henkilön muodostama yhtenäinen joukko, jonka läpi piti luovia parhaansa mukaan. Vastavirtaryhmän koko vaikutti tietenkin siihen, koska vastavirtaryhmän viimeinen henkilö pääsi maaliviivalle, ja tässä eroa on noin kaksi sekuntia neljän ja kahdeksan vastavirtaan kulkijan välillä.

Pääjoukon läpäisyajoissa maaliviivan yli ei nähdä eroa eri toistokoejoukkojen välillä. Jos pääjoukon ensimmäinen saapui maaliin hitaasti, tällöin myös pääjoukon viimeinen saapui myöhään perille. Pääjoukon muoto tuntui säilyvän eri kokeissa samanlaisena. Huomaa, että läpäisy aika on käytännössä sama asia kuin taulukossa 41 oleva virtaus, sillä jälkimmäinen saadaan läpäisyajasta jakamalla se

## 5. Käytävällä suoritettut vastavirtauskokeet

---

pääjoukon henkilömäärällä 35 ja käytävän leveydellä 2,7 m. Tehtyjen kahden nollakokeen tuloksien keskiarvo läpäisyajalle on 9,08 s ja ensimmäisen ja viimeisen henkilön ajoille 4,90 s ja 13,98 s. Vastavirta ei siis juurikaan muuta läpäisyaikaa, mutta pääjoukon saapuminen perille hidastuu hieman, noin puolitoista sekuntia. Pieni vastavirtajoukko näyttäisi aiheuttavan pääjoukon kulkuun pienen hetkellisen hidastuksen.

Aalto-yliopistossa tehtyjä kokeita voidaan verrata Duisburgissa vuonna 2006 tehtyihin kokeisiin 1,98 m leveässä käytävässä (Kretz ym. 2006), jossa kaksi ryhmää olivat aluksi 20 m päässä toisistaan käytävässä ja lähtivät sitten yhtä aikaa kävelemään toisiaan vastaan. Näissä kokeissa oli käytössä 67 koehenkilöä, jotka olivat pääsääntöisesti Duisburg-Essenin yliopiston opiskelijoita. Käytävä leveni 0,98 m korkeudella molemmin puolin 0,40 m, eli tämä lisäsi käytävän tehollista leveyttä hieman, sillä koehenkilöiden kehon yläosille ja käsille oli tilaa enemmän kuin 1,98 m. Heidän tuloksensa nollakokeelle eli vain yhteen suuntaan kulkeva ryhmä oli noin 14 s maaliviivan läpäisyajalle, kun käytettiin 33–34 koehenkilöä. Kun vastaan tuli neljä taikka kuusi vastaantulijaa, pääjoukon läpäisy aika oli noin 15 s.

Lisääntyvä vastavirran osuus kasvatti läpäisyajoja, mutta näitä ei voi suoraan verrata nyt tehtyihin kokeisiin, koska ”pääjoukon” koko vaihteli Saksassa tehdyissä kokeissa vastavirran suuruuden mukaan, sillä isompi vastavirtaryhmä teki pääjoukosta vastaavasti pienemmän. Näissä kokeissa tehtiin pääjoukon koolla noin 33 henkilöä (32–34 henkilöä) sarja kokeita, joissa vaihdeltiin vastaantulijoiden osuutta nolasta aina pääjoukon kokoon saakka. Tuloksena oli regressisuora, joka antaa pääjoukon koolle 33 henkilöä maaliviivan läpäisyajaksi sekunneissa  $t = 11,559 X + 13,552$ , missä  $X$  on vastavirtaryhmän osuus kaikista kokeeseen osallistuneista henkilöistä (eli  $X$  vaihtelee välillä 0,0–0,5 ja 0,5 tarkoittaa sitä, että vastavirtajoukko on yhtä iso kuin pääjoukko). Tätä kaavaa käyttämällä saadaan Aalto-yliopiston henkilömäärillä (35 hengen pääjoukko, neljän ja kahdeksan hengen vastavirtajoukot) läpäisyajoiksi 15,63 s neljän vastavirralla ja 16,65 s kahdeksan vastavirralla eli noin sekunnin ero vastavirran suuruuden mukaan. Aallon nollakokeille Duisburgin kaava antaa läpäisyajaksi 14,37 s. Huomattavaa on se, että nämä arvot ovat noin 2 m leveälle käytävälle ja Aallon kokeissa käytävä oli 2,7 m leveä, eli edellä olleet arvot on kerrottava noin tekijällä 0,741, jotta ajat ovat vertailukelpoisia keskenään. Muistettava on kuitenkin se, että Duisburgin kokeissa käytävä leveni 0,98 m korkeudella lattiatasosta, eli käytävän efektiivistä leveyttä on mahdotonta sanoa tarkalleen. Käytävän leveyksillä korjatut arvot Aallon kokeille ovat 11,6 s, 12,3 s ja 10,6 s neljän ja kahdeksan henkilön vastavirralla sekä nollakokeelle. Nollakokeiden perusteella näyttäisi siltä, että Aallossa opiskelijat olivat hieman nopeampia (ominaishenkilövirta maaliviivalla 1,43 1/s/m) kuin Duisburginssa (1,24 1/s/m).

Duisburgin kokeista on myös raportoitu pääjoukon viimeisen aika maaliviivalla vastaavanlaisella korrelaatiolla kuin läpäisyajallekin ja tämä on  $t = 13,234 X + 19,389$ , missä  $X$  on vastavirtaryhmän osuus kokonaishenkilömäärästä. Aallon kokeille saataisiin tällä korrelaatiolla aikaeroiksi neljän ja kahdeksan vastavirralla 1,07 s ja 1,93 s enemmän kuin nollakokeen arvo. Aallon koetuloksissa vastaavat erot ovat 1,21 s ja 2,21 s, eli ne ovat hyvin sopuinnassa Duisburgissa havaittujen aikojen kanssa. Näiden kahden eri kokeellisen tutkimuksen erot pääjoukon

läpäisyajoille selittyvät käytännössä sillä, että Duisburgin kokeissa pääjoukon ensimmäisten henkilöiden nopeudet eivät käytännössä hidastuneet juuri lainkaan kokeissa, sillä vastaantulijat näkivät toisensa jo kaukaa ja osasivat varautua tulevaan sivuustilanteeseen valitsemalla puolen, jolta sivuuttaminen tapahtuisi. Toisin sanoen koehenkilöt muodostivat kaistat jo hyvissä ajoin. Kaistojen muodostumisessa oli nähtävissä selvästi myös oikeanpuoleisen liikenteen vaikutus, eli osallistujat suosivat hyvin vahvasti oikeanpuoleista liikennettä. Aalto-yliopiston tiloissa tehdyissä kokeissa pääjoukon ensimmäiset henkilöt eivät pystyneet vastaavasti varautumaan vastaantulijoihin, jolloin he joutuivat hidastamaan vauhtiaan vastaantulijoiden väistämiseksi.

**Taulukko 42.** Vastavirtakokeiden tuloksista laskettuja keskiarvoja (ka.) ja hajontaja (ha.) pääjoukon sekä vastaantulijajoukon maaliviivan ylittämiseksi. Pääjoukolle on esitetty myös läpäisy aika maaliviivalla eli viimeisen ja ensimmäisen henkilön aikojen erotus. Kaikkiaan tehtiin kaksi ns. nollakoetta ja 16 varsinaista vastavirtakoetta, joissa kokeissa 1–8 oli koko ajan sama pääjoukko ja kokeissa 9–16 vastaavasti samana pysyvä pääjoukko. Taulukkoon on lisäksi eritelty tiedot niistä kokeista, joissa vastavirtajoukon koko oli neljä ja kahdeksan vastaantulijaa. Muilla koemuuttujilla (oikealle taikka vasemmalle kaartuva pääjoukko, vastavirtaryhmän motiivi pysyvä yhtenäisenä ryhmänä) keskiarvot eivät poikkea toisistaan, joten niitä on turha esittää.

kokeet	Pääjoukko			Vastaantulijat	
	ensimmäinen (s)	viimeinen (s)	läpäisy aika (s)	ensimmäinen (s)	viimeinen (s)
1–16 ka.	6,46	15,69	9,23	9,48	12,82
1–16 ha.	0,82	0,83	0,65	0,95	1,53
1–8 ka.	6,26	15,38	9,12	9,21	12,25
1–8 ha.	0,82	0,57	0,49	0,76	1,11
9–16 ka.	6,65	16,00	9,34	9,75	13,40
9–16 ha.	0,82	0,97	0,80	1,10	1,75
8 vastaan ka.	6,95	16,19	9,24	9,28	13,76
8 vastaan ha.	0,84	0,89	0,78	0,98	1,57
4 vastaan ka.	5,97	15,19	9,22	9,68	11,88
4 vastaan ha.	0,43	0,37	0,55	0,95	0,72
nollakoe ka.	4,90	13,98	9,08	–	–

## 5.6 Pohdintaa vastavirtakokeista

Varsinaisten vastavirtakoetoistojen tuloksista nähdään, että eri toistojen väliset erot ovat kovin pieniä, joten vastavirtakokeiden tavoitteiden asettelussa (luku 5.3) mainittujen asioiden osalta ei juuri muuta voida sanoa kuin se, että vastavirtaryhmän koon kasvattaminen neljästä kahdeksaan hidastaa enemmän pääjoukon

läpipääsyä. Lisääntyvä vastavirran määrä hidastaa pääjoukon etenemistä kokonaisuutena, eli pääjoukon ensimmäisten hidastuminen näkyy tietenkin myös pääjoukon hännillä. Kvantitatiivisten tulosten ja videoista havaittujen ilmiöiden perusteella voidaan sanoa, että vastavirran lisääminen hidastaa hieman spontaanien kaistojen muodostumista eri suuntiin kulkevien joukkojen sivuuttaessa toisensa. Isompi vastavirtaryhmä muodostaa leveämmän tulpan pääjoukolle, jonka läpi se yrittää luovia, ja tämä vie aikaa enemmän kuin pienemmän vastavirtaryhmän kohtaamisessa kuluu aikaa.

Nollakokeiden tulokset pääjoukon ominaisvirralle maaliviivan yli ovat hyvin sopusoinnussa alan kirjallisuuden kanssa. Tätä tulosta osaltaan selittää se, että eri tekijät kompensoivat toisiaan varsin tehokkaasti ihmisten virtauksessa käytävätyyppisissä geometrioissa. Kun ihmiset kävelevät suurella vauhdilla, vaativat he eteensä ja taaksensa enemmän tilaa kuin ollessaan ruuhkaisemmassa tilanteessa, jossa nopeudet ovat pienempiä. Näin ollen ihmistiheys on pienempi ihmisten liikkuesssa suurella nopeudella kuin ruuhkissa, ja koska ihmisvirtauksen suuruus riippuu näiden kahden tekijän tulosta, tosen tekijän kasvua kompensoi toisen tekijän pieneneminen.

Nyt tehtyjen vastavirtakokeiden tulokset ovat varsin samankaltaisia kuin Saksassa vuonna 2006 tehtyjen kokeiden tulokset (Krezt ym. 2006b). Eroa näyttäisi olevan hieman koehenkilöiden nopeuksissa, eli ilman vastavirtaa Aalto-yliopiston tiloissa tehdyissä kokeissa näyttäisi ihmisten liikkuminen olevan hieman nopeampaa kuin Saksassa tehdyissä kokeissa. Mutta molemmissa kokeissa havaittiin vastavirtauksen olevan varsin sujuvaa, eli sivuutustilanteessa kaistat muodostuvat varsin tehokkaasti; tosin nyt tehdyissä kokeissa ”lyödään päät vastakkain” aluksi, koska mutkan takia ei voida tehdä sivuutuksessa tarvittavaa väistöä etukäteen ja tämä hidastaa pääjoukon ensimmäisten henkilöiden liikkumista hetkellisesti. Väliillä tätä hidastumista ei juurikaan tapahtunut eli vastaantulijat onnistuivat väistämään toisensa varsin luontevasti, mutta tämä ei näy taulukoiduissa ajoissa merkittävästi, sillä väliillä pääjoukko kiersi ulkokautta eli käveltävänä oli keskimääräistä pidempi matka ja sujuvan väistön säästämä aika hukattiin pidempänä kävelymatkana.

Vastavirtaan tulijoiden motivaatiolla (yksilöinä taikka pyrkimys kulkea yhdessä muiden kanssa) ei näytä olevan saadun aineiston perusteella suurtakaan vaikutusta tuloksiin. Samaten koehenkilöiden oppimisella ei näyttäisi olevan vaikutusta tuloksiin kuten ei myöskään pääjoukon kulkusuunnalla (oikealle taikka vasemmalle kaartuen). Koesarja oli todennäköisesti liian lyhyt, jotta näitä eroja saataisiin aineistosta tilastollisesti näkyviin, ja vaikka tilastollinen analyysi antaisikin eroja eri tilanteiden väliillä, ei näillä kuitenkaan käytännön tilanteissa olisi juurikaan merkitystä, koska havaitut erot olisivat kovin vähäisiä.

## 6. Näkyvyyden heikkenemiseen liittyvät kokeet

### 6.1 Kirjallisuuskatsaus näkyvyyden heikkenemiseen liittyvistä kokeista

Näkyvyyden vaikutusta poistumiseen on tutkittu aikaisemmin, ottaen tyypillisesti huomioon

- valaistustason vaikutuksen (normaaliolosuhde, hätävalaistukselle annetut tasot, täysi pimeys)
- savun vaikutuksen (vaikutus näkyvyyteen [savun tiheys], ärsyttävyys, psykologinen tekijä)
- erilaisten valaisu-, huomio- ja merkintäratkaisujen vaikutuksen (valaisu ja havaittavuus).

Kokeellisissa tutkimuksissa on käytetty joko yksittäisiä henkilöitä tai ryhmäpoistumista. Kun koehenkilöitä on useampia, erilaiset ryhmädynamiikan ilmiöt alkavat vaikuttaa poistumisstrategioihin ja päätöksentekoon.

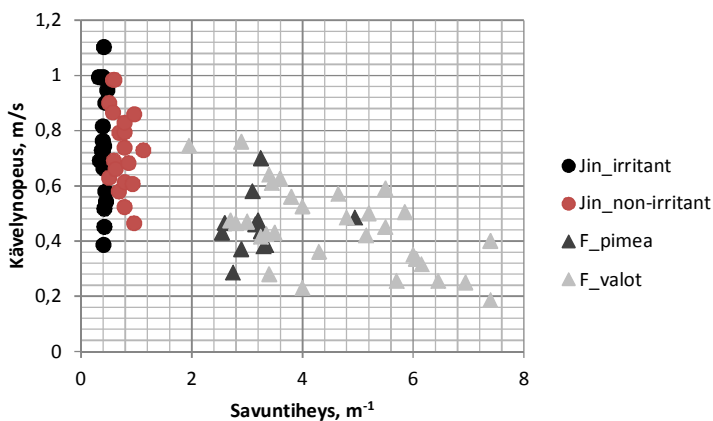
Isobe (2004b) tutki yksittäisten henkilöiden ja ryhmän poistumista huoneesta, kun henkilöiden silmät oli peitetty ja siten näkeminen kokonaan estetty. Havaittiin, että henkilön tullessa seinän luo tämä käytti sitä itsensä paikallistamiseen ja yleensä seurasi seinänviertä oviaukolle. Henkilöiden kohdatessa nämä muodostivat ryhmiä ja poistuivat yhdessä. Huomattiin, että koehenkilöiden käytöstä ja poistumisstrategiaa ohjasivat kuulohavainnot, joita syntyi, kun joku löysi oven ja poistui sitä käyttäen.

Jeon ym. (2011) tekivät kokeita, joissa yksittäiset henkilöt poistuivat maanalaisesta tilasta pitkän matkan ei-triviaalissa geometriassa, eli kyseessä ei ollut esimerkiksi yksiselitteinen käytävä vaan yhdistelmä leveitä kulkureittejä, portaita ja hallimaisia tiloja. Tässä tutkittiin valaistuksen ja "savun" merkitystä poistumisaikaan, kävelynopeuteen ja varsinaiseen poistumismatkaan. Savun sijasta käytettiin silmien edessä laseja, jossa oli eri valon läpäisyn tason omaavia kalvoja. Nämä oli valittu siten (läpäisymäärät 27 % ja 16 %), että ne vastasivat savuntiheyksiä  $0,13\text{--}0,26\text{ m}^{-1}$  ja  $0,26\text{--}0,60\text{ m}^{-1}$  (viitataan Lambert-Beer rule through the relationship among the luminosity, smoke density and distance -käsitteeseen). Kokeissa käytettiin normaalivalaistusta ja hätävalaistusta sekä mainittuja "savuntiheyksiä" ja havaittiin, että poistumisaika ja kuljettu matka pitenevät merkittävästi valaistuksen heiketessä ja savuntiheyden kasvaessa. Il-

## 6. Näkyvyyden heikkenemiseen liittyvät kokeet

man "savua" henkilöt poistuivat nopeasti kävellen tai juosten. Tästä johtuen nopeudet tasaisilla osuuksilla olivat niinkin suuria kuin 2,91–3,67 m/s (hätävalaistus–normaali-valaistus). Noin 10 m näkyvääsyyttä vastaavissa "savuisissa" olosuhteissa nopeus putosi tasolle 0,96 m/s, ja näkyvääsyyden noin puolittuessa tasolle 5 m havaitut nopeudet olivat luokkaa 0,64 m/s. Osa koehenkilöistä ei vaativimmissa olosuhteissa kyennyt suoriutumaan poistumisesta annetussa ajassa. Merkittävää on, että poistumisajan piteneminen oli kymmenkertainen normaaliolosuhteiden ja vaikeimpien olosuhteiden välillä (koska nopeuden putoamisen lisäksi kuljettu matka piteni).

Frantzich ja Nilsson (2003) seurasivat yksittäisen henkilön liikkumista savuisessa tunnelissa. Kokeissa haettiin myös rinnastusta Jinin (1978) kokeisiin 1970-luvulta suuremmalla savutiheydellä. Koeasetelmissa kokeiltiin myös erilaisten opaste-tyyppien vaikutusta ja havaittavuutta. Savun tiheys kokeissa oli  $2\text{ m}^{-1}$ – $7\text{ m}^{-1}$  ja havaitut kävelynopeudet 0,2–0,9 m/s. Savu oli ärsyttävää valkoista keinosavua (etikkahappoa 15 ppm). Kuvassa 62 esitetään kyseisten kokeiden tuloksia.



**Kuva 62.** Kävelynopeusarvoja eri savutiheyksillä: kokeet savutiheydellä 0,2–1,2 m<sup>-1</sup> (Jin 1978) ja kokeet (Frantzich & Nilsson 2003) savutiheys 2–7 m<sup>-1</sup>.

Nilsson ym. (2009) tarkastelivat ryhmän käyttäytymistä ja poistumista tunnelista, jossa oli kuvitteellinen auto-onnettomuus. Savu oli lähinnä psykologinen tekijä. Kokeessa valaistus oli onnettomuustilannetta vastaavalla tasolla ja poistumisreitimerkinnot vaatimusten mukaiset. Poistuminen oli sujuvaa ja osa koehenkilöistä seurasi muiden toimintaesimerkkiä.

Kobes ym. (2010) tekivät tutkimuksessaan poistumiskokeita hotellissa yöaikaan. Savu oli lähinnä psykologisena keinona käytetty tekijä. Kokeissa tarkasteltiin henkilöiden poistumisreitien valintaan ja huomiokykyyn liittyviä asioita. Aikaisempien tutkimusten mukaan rakennusten geometria ja kulkureittien miellettyvyys vaikuttavat poistumisreitien valintaan enemmän kuin erilaiset opasteet. Tässä tutkimuksessa toteutettiin yllätyksellisiä poistumisharjoituksia henkilöille yöaikaan ja tutkittiin sitä, millä tavoin henkilö hahmottaa olinpaikkaansa ja tekee poistumista tukevia päätöksiä.



Eräs havainto oli, että henkilöt pääsääntöisesti (55 %) käyttivät tuttua pääovea poistumiseen, jos varsinaista välitöntä uhkaa ei ollut läsnä. Kun taas käytävässä oli savua, suurin osa (64,1 %) valitsi lähimmän poistumistien opasteiden perusteella.

Frantzich (1994) kertaa tuloksia tunnettujen savussa tapahtuvien poistumisten osalta. On varsin yleistä, että ihmiset saattavat kulkea pitkiäkin matkoja savun läpi poistuesaan tulipalotilanteessa. Kuitenkin, kuten aiemminkin todettiin, savu saattaa olla myös se tekijä, joka saa henkilön valitsemaan vaihtoehtoisia reittejä ja toimintatapoja, jos primääri poistumisreitti on savuinen. Erilaiset viitearvot näkyvyydelle ja savunhiheydelle perustuvat tutkimuksiin kuten Jin (1978), joka suosittaa, että miniminäkyvyyden pitäisi olla 3–5 metriä silloin, kun voidaan olettaa, että henkilöt tuntevat rakennuksen ja sen poistumisreitit. Tuntemattomassa ympäristössä näkyvyyttä tulisi olla 15–20 metriä. (Rasbash [1975] suosittaa yleisellä tasolla vähintään kymmenen metrin näkyvyyttä.)

Kyselytutkimuksin on kartoitettu tulipalosta selviytyneiden henkilöiden poistumiseen liittyvää toimintaa ja päätöksentekoa. Bryanin (1993) tutkimuksessa MGM Grand Hotel -palosta Las Vegasissa 1980 savu oli yksi merkittävä poistumista vaikeuttava tekijä. Yli puolet pelastuneista joutui kulkemaan pitkiäkin matkoja savun läpi, näkyvyyden ollessa pienemmillään kaksi metriä. Osa kääntyi takaisin todettuaan mahdollisuutensa poistua savun läpi pieneksi. Myös Bryanin (1977) tutkimuksessa havaittiin, että 63 % haastatelluista oli kulkenut savun läpi keskimäärin kymmenen metriä. Savun läpi kulkeista 45 % kulki savussa pidemmän matkan kuin näkyvyyttä oli.

Wood (1972) tutki asuinrakennus-, tehdas-, koulu- ja sairaalapaloista selvinneiden henkilöiden poistumista. Hänen tutkimuksensa mukaan 60 %:ssa tapauksista, joissa poistumisreitillä oli savua, henkilö teki päätöksen kulkea savun läpi. Näistä henkilöistä yli puolet kulki savussa yli kymmenen metriä. 45 % kulki savun läpi pidemmän matkan kuin näkyvyyttä oli. Sukupuoli, rakennuksen tuntemus ja poistumiseen valmentava kokemus vaikuttivat päätöksentekoon.

Tashidan (1975) tutkimuksessa selvisi, että 10 % poistuvista henkilöistä teki päätöksen kääntyä takaisin, kun näkyvyyttä oli yhä enemmän kuin kymmenen metriä. Nämä henkilöt eivät tunteneet rakennusta, josta poistuttiin.

Useissa yhteyksissä on todettu, että tutkittaessa poistumista tilanteessa, jossa heikko näkyvyys tai savu vaarantaa ja vaikeuttaa poistumista, tutkimusten ja selviytysten teko jälkikäteen henkilöiden kertomuksiin ja haastatteluihin perustuen saattaa olla harhaanjohtavaa henkilöiden havaintojen ja aikakäsityksen vääristymisen takia.

Näkyvyyden ja savun vaikutuksesta on rajallisesti kokeellista tietoa. Monet edelläkin mainitut seikat taas vaikeuttavat kertomuksiin perustuvien tutkimustulosten käyttöä. Lisäksi kokeiden pieni määrä ja niissä käytettyjen metodien erilaisuus ja vaihdeltujen parametrien vertailtavuuden ongelmat vaikeuttavat tulosten yhteismitallista arviointia.

## 6.2 Suoritus

### 6.2.1 Yleistä

Tavoitteena on tarkastella oleellisen parametrin (tässä näkyvyys) vaikutusta todelliseen poistumisaikaan, liikkumisnopeuteen ja reitin pituuteen. Tässä oleellinen

parametri tarkoittaa tekijää, joka muodostuu poistumisreitoin tai sen osan kannalta määrääväksi, mitoittavaksi tekijäksi.

Kokeissa käytettäväksi poistumisreitiksi valittiin reitti, joka edusti yleisesti rakennuksissa esiintyviä ratkaisuja. Poistumisreitillä oli ovia sekä portaikko ja varsinainen käytäväosuus. Reitin osuus, jolla testattiin näkyvyyden vaikutusta, oli tavallinen käytävä. Kokeissa ei siis tutkittu suuressa tilassa liikkumista ja reitin etsimistä vaan reitti oli rajattu ja selkeä. Tavoitteena oli tutkia mahdollisimman suoraviivaista liikettä ja näkyvyyden heikkenemisen vaikutusta muuten helpohkolla reitillä osalla.

Vaikka se osa reitistä, jolla näkyvyyttä säädeltiin, olikin melko triviaali, vaikeutta ja psyykkistä kuormitusta lisäsi se, että poistumisreitti kokonaisuudessaan oli hyvin vaikeasti hahmotettavissa suhteessa saapumisreittiin. Tämä tarjosi mahdollisuuden tarkastella reitin tuntemisen vaikutusta poistumisen aikana; osasuorituksissa käytettiin ryhmiä, jotka eivät koskaan aiemmin olleet käyneet tilassa, sekä ryhmää, joka tunsikin kulkureitin ennalta.

Kokeissa käytettiin valkoista keinosavua. Se oli käytännössä hajutonta eikä se aiheuttanut silmien, limakalvojen tai hengitysteiden ärsytystä. Savun ja valaistuksen avulla varioitiin näkyvyyttä ja mahdollisuutta hahmottaa tilaa. Tiedetään, että palotilanteessa syntyvän savun vaikutus poistumisen onnistumiseen voi olla suurempi ärsytyksen kuin näkyvyyden heikentymisen vuoksi. Tätä ei tässä koesarjassa tutkittu. Oletus oli, että pelkän näkyvyyden heikentäminen vaikuttaa poistumisen onnistumiseen ja kävelynopeuteen vähemmän verrattuna tapaukseen, jossa käytetyllä savulla on edellä kuvatuinen ärsytysvaikutus.

Tässä koeasetelmassa ei ole tarkoitus ensisijaisesti arvioida odotettavissa olevia poistumiseen liittyviä suureita mittapisteiden ja mitta-alueen ulkopuolelle vaan käyttää realistisia olosuhteita vastaavia valaistus- ja savutiheysarvoja, joita käyttämällä saadaan tulos siitä, kuinka paljon poistumisen suuret, kuten kokonaisaika tai kävelynopeus, saattavat muuttua olosuhteiden kehittyessä normaalista vaikeaan.

Tässä kohdin on syytä painottaa, että kokeen tarkoitus ei ollut tutkia savun läpi tapahtuvan evakuoinnin tehokkuutta. Tässä ei myöskään pidetä savuista uloskäytävää poistumiseen soveltuvana poistumisreitinä. Poistumiseen tarkoitettujen reitien tulee suunnitella siten, että savun läpi ei tarvitse poistua. Kokeiden tarkoitus oli tuoda esille tukea sille, miksi on ensiarvoisen tärkeää suunnitella ja toteuttaa poistumisreitit siten, että näkyvyyden heikkeneminen ja palokaasuille altistumisen mahdollisuus minimoidaan.

Motivaatio koeasetelmalle oli se, että tiedetään aiempien tutkimusten perusteella, että huomattava osa ihmisistä saattaa yrittää poistumista savun läpi. Tilanteeseen, jossa henkilö saattaa päätyä tällaiseen ratkaisuun, voidaan joutua monesta syystä:

- Savunpoiston mitoituksessa ei ole otettu huomioon toteutuvan uhkan mukaisista savunkertymistä tilaan.
- Savuinen reitti valitaan tuttua reittinä, vaikka mitoitus perustuu vaihtoehtoisen savuttoman reitin olemassaoloon.
- Tilan käyttötavasta johtuen vaihtoehtoinen reitti ei ole käytössä tai todellinen paloriski poikkeaa huomattavasti suunnittelussa oletetusta.

- Savun läpi poistumiselle on suunniteltu vaihtoehto (esim. siirtyminen suojaan osastoituun tilaan, pelastaminen), joka toteutuneessa tilanteessa koetaan uhkaavaksi tai epäedulliseksi.

Vaikka yleinen ohje olisi, että savun läpi ei poistuta, voi syntyvän tilanteen epätavallisuus, ihmisen epätietoisuus tai jonkin tahon suoranaisten laiminlyönti altistaa poistuvan henkilön epäedullisille tai odottamattomille ratkaisuille. Tämä olisi yleisesti hyvä ottaa riskitarkasteluissa mahdollisimman laajasti huomioon, ja tällaisen tutkimuksen on tarkoitus kertoa, miten paljon tällöin saatetaan todellisuudessa poiketa suunnittelu-arvoista ja yleisesti käytetyistä oletuksista esimerkiksi evakuoitajan suhteen.

### 6.2.2 Kokeet

Koesarjassa tutkittiin neljää diskreettiä poistumisolosuhdetta, joissa muuttujana on näkyvyys. Näkyvyys tässä tarkoittaa sitä, missä määrin koehenkilön oli mahdollista hahmottaa ympäristöään, reittitopologiaa ja poistumisopasteita. Haasteellisuuteen vaikutti myös tilan tuntemuksen variointi.

1. Normaaliolosuhde (referenssi): Tässä poistumisreitillä oli normaali poistumisvalaistus (valaisimien määrä, tyyppi ja sijainnit eritelty jäljempänä) ja koehenkilö pystyi hahmottamaan kulkureittinsä tavanomaisesti näkemällä tilaa rajoittavat rakenteet, opasteet jne. Näkyvyyttä rajoittivat vain rakenteet (käytävän kaartuessa yms.). Tässä yhteydessä käytettiin savua uhkakuvan luomiseksi. Koehenkilö pystyi näkemään käytävän ”päästä päähän”.
2. Näkyvyys 10–12 m: Tässä tilan valaistus oli kuten referenssikokeessa, mutta keinosavulla käytävään luotiin mahdollisimman tasainen keinosavu vastaamaan vaimennukseltaan suunniteltua näkyvyyttä. Koehenkilö pystyi hahmottamaan tilaa paikallisesti ja tekemään päätelmiä kauempana mahdollisesti näkyvien opasteiden avulla.
3. Näkyvyys 5–7 m: Tässä tilan valaistus oli kuten referenssikokeessa, mutta keinosavulla käytävään luotiin mahdollisimman tasainen keinosavu vastaamaan vaimennukseltaan suunniteltua näkyvyyttä. Koehenkilö pystyi hahmottamaan tilaa paikallisesti ja tekemään päätelmiä kauempana mahdollisesti näkyvien opasteiden avulla.
4. Näkyvyys 0–0,25 m (pimeä): Tässä tilan valaistus oli katkaistu ja poistumisopasteiden näkemistä häiritsevä savu. Koehenkilö ei paikoitellen pysty näkemään mitään. Valaisevat opasteet näkyivät niiden välittömässä läheisyydessä (< 1 m etäisyydeltä). Tilan hahmottamisessa korostuvat muut tekijät kuin näköaisti.

Reitin tuntemisen vaikutusta tutkittiin suorittamalla kokeet neljällä eri koehenkilöryhmällä, joiden tilantuntemus ja poistumisvalmius vaihtelivat myöhemmin esitettävällä tavalla. Kokeeseen osallistui neljä ryhmää, yhteensä 42 henkilöä. Ryhmä 1

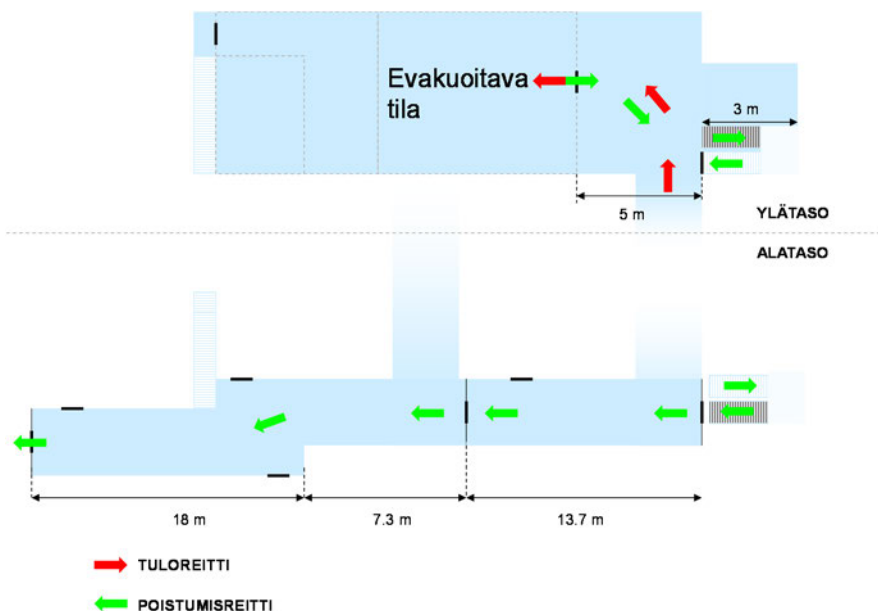
## 6. Näkyvyyden heikkenemiseen liittyvät kokeet

(henkilöt 1–10) suoritti kaikki neljä koetta. Ryhmä 2 (henkilöt 11–22) suoritti vain kokeen 2, ryhmä 3 (henkilöt 23–32) vain kokeen 3 ja ryhmä 4 (henkilöt 33–42) vain kokeen neljä. Yksittäisiä poistumissuorituksia tuli näin ollen yhteensä 72 kappaletta.

### 6.2.3 Koejärjestelyt

Koetilana käytössä oli osa laajempaa kallon sisään rakennettua tilaa (kuva 63). Tilassa oli huoneita ja käytäväverkosto. Kokeessa käytettiin noin 100 m<sup>2</sup> huonetilaa, josta johtaa kaksi vastakkaisilla seinillä sijaitsevaa ovea portaikkoon ja poistumisikäytävälle. Toinen näistä oli poistumiseen käytettävä reitti.

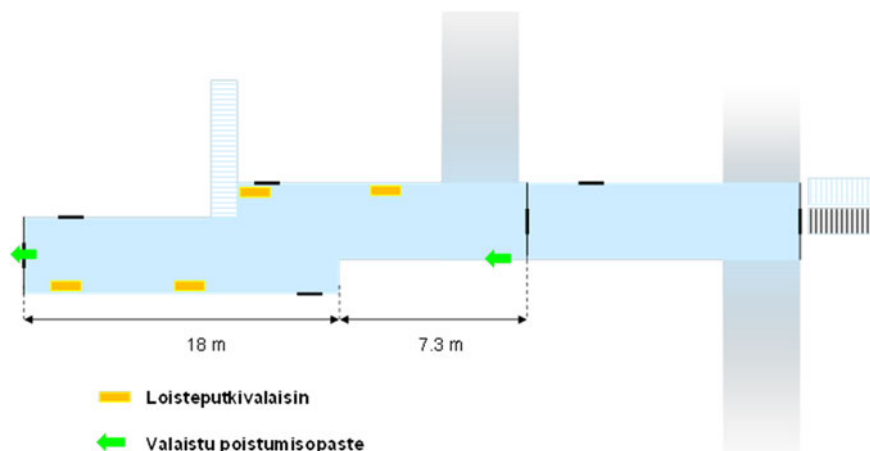
Kuvassa 63 on punaisin nuolin esitetty reitti, jota pitkin koehenkilöt johdatettiin kokoontumistilaan ("Evakuoitava tila"). Tämä saapumisreitti ei kulkenut alatason käytävää (harjoituksen poistumisreitti) pitkin. Uhkakuvana annettiin tieto, että ryhmän käyttämä saapumisreitti ei ole käytettävissä, ja henkilöiden piti tilasta poistuttuaan (samasta ovesta kuin saapuessaan) käyttää vaihtoehtoista reittiä, joka oli tavanomaisin poistumistiemerkinkein osoitettu.



Kuva 63. Kokeessa käytetty tila.

Poistumisreitnin keskimääräinen pituus kokoontumistilan ovelta reitin päässä olevaan aulaan johtavalle ovelle oli noin 54 metriä; kokoontumistilan ovelta ylätasanteen poikki portaikkoon ja tätä pitkin alakäytävän ovelle oli noin 14 metriä. Alatason käytävän ensimmäinen palo-ovien välinen osuus ("savuton osuus") oli noin 14 metriä ja

toinen palo-ovien välinen osuus ("savuinen osuus" käytävää) oli muodostuvan kulumatkan osalta noin 26 metriä pitkä. Reitin varrella olevat poikkikäytävät suljettiin puomein ja aukon peittävin kevytpeittein. Reitillä sijaitsevat muut kuin poistumiseen tarkoitetut ovet lukittiin. Tällä suljettiin pois reitiltä eksymisen vaara ja rajoitettiin savun kulkeutumista muihin tiloihin. Poistumiseen käytetyllä reitillä oli jälkivalaisivia ja valaistuja poistumisopasteita. Varsinaisella "savuisella" osuudella kokeissa 1–3 käytössä olleet kattovalaisimet ja valaistut opasteet on osoitettu kuvissa 64 ja 65.



**Kuva 64.** Valaisimien ja valaistujen opasteiden paikat "savuisella" käytäväosuu-  
della kokeissa 1–3.

Loisteputkivalaisimet olivat 2,4 m lattiatasosta ja 0,2 m irti seinästä. Valaisimissa oli yksi 40 W tehoinen loisteputki. Valaisimen pituus oli 1,2 m. Valaistut poistumisopasteet (kuva 65) olivat tyyppiä "Novar" ja kooltaan 16 cm x 10 cm. Ne oli sijoitettu noin 2,2 m lattiatasosta.



**Kuva 65.** Valaistut poistumisopasteet.

Koe 4 poikkesi aiemmista siten, että siinä ”savuisen” käytäväosuuden valaisimet oli sammutettu ja ainoastaan mainitut poistumisopasteet valaistuja.

### 6.2.4 Koehenkilöille annettu tehtävän ja tilanteen kuvaus

Koehenkilöiden saavuttua kokoontumistilaan saivat he lyhyen tilannekuvaselvityksen ja tehtävänannon. Tämän jälkeen he yksitellen lähtivät, luvan saatuaan, suorittamaan poistumisharjoitusta. Lupa annettiin sen jälkeen, kun edellinen koehenkilö oli päässyt reitin loppuun ja olosuhteet käytävällä vakiintuneet kokeelle määrätyn mukaisiksi.

Tilanneselvitys ja tehtävänanto olivat kaikille ryhmille sama:

”Kyseessä on poistumisharjoitus. Harjoituksen aiheena on asteittain paheneva uhkatilanne, jonka seurauksena se reitti, jota saavuitte ulkoa tähän tilaan, ei ole enää käytettävissä. Teidän tulee luvan saatuanne yksitellen pyrkiä poistumaan tästä tilasta ja tämän oven (osoitetaan: saapumisovi) kautta vaihtoehdolle poistumisreitille, joka on merkitty tavanomaisin poistumisopastein. Tämä on ainoa käytettävissä oleva poistumisreitti tästä tilasta ulos.

Kokeen aikana saatatte kohdata olosuhteita tai tekijöitä, joiden vuoksi ette normaalisti yrittäisi poistumista tätä reittiä käyttäen. Kokeen suorituksen motiivointi on kuitenkin se, että tilanne on muodostunut sellaiseksi, että syystä tai toisesta päätätte parhaanne mukaan yrittää poistumista tätä ainoaa poistumisreittiä käyttäen.

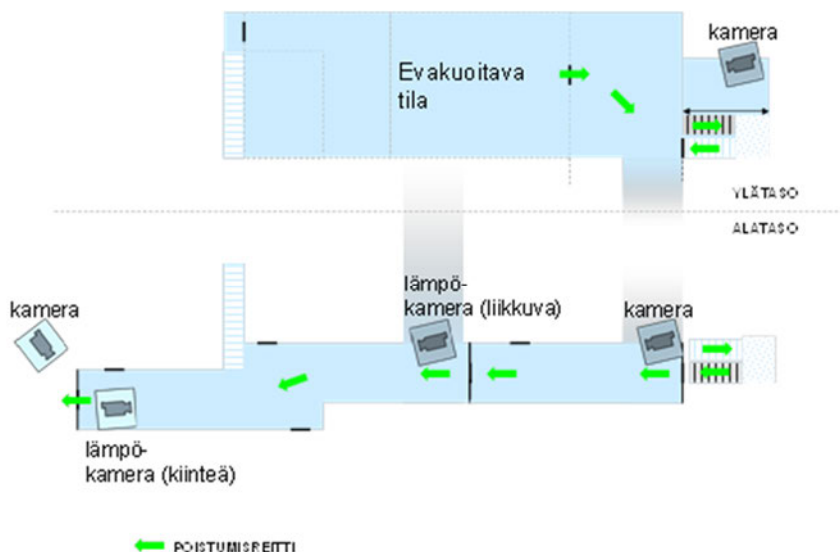
Reitti on tavanomainen uloskäytävä. Poistumiseen tarkoitetut ovet on merkitty opastein, eivätkä ne ole lukossa. Lukitut ovet eivät johda ulos. Pressuilla ja puomeilla peitetyt aukot vastaavat kokeen aikana seiniä, ja siksi niiden kiertäminen tai läpi meneminen ei ole sallittua.

Poistumisreitien varrella on kokeita seuraavia toimitsijoita. He eivät neuvo tehtävän suorittamisessa vaan ovat tarkkailijoita ja turvahenkilöitä. Suorituksen aikana teitä valvotaan kaikilla reitin osuuksilla. Jos kokeen suorituksen aikana jostain syystä koette, että tehtävän suorittaminen muodostuu ylivoimaiseksi, tulee teidän pysähtyä paikoillenne ja ilmoittaa kuuluvalla äänellä KESKEYTÄN. Tällöin teidät toimitetaan välittömästi pois koetilasta.

Paikalla on ensiapu- ja ensivastevalmius.”

### 6.2.5 Havainnointi ja tehtävät

Kokeen kulkua seurattiin videokameroin (ylätasanne, savuton käytäväosuus, savuinen käytäväosuus, tuloaula) ja lämpökameralla (savuinen käytäväosuus), kiinteästi ja nauhoittaen kuvan 66 mukaisista paikoista. Lisäksi toisella savusukeltajista oli mukanaan lämpökamera käsivaraisesti.



**Kuva 66.** Kameroiden paikat poistumisreitillä.

Kokoontumistilassa (tehtävänanto, henkilöiden lähettäminen), ylätasanteella (aikojen kirjaaminen, reitinvalinnan valvonta) ja tuloaulassa (henkilöiden vastaanottaminen, kyselylomakkeiden täyttämisen ohjeistus) olivat kokeen tarkkailijat ja toimitsijat. Käytävän savuisella osuudella oli kaksi savusukeltajaa (tarkkailu, turvahenkilönä toimiminen, savutuksen toteutus). Koehenkilöryhmien saattamisesta koepaikalle ja kokoontumistilaan sekä kuljetuksista kasarmin ja koepaikan välillä vastasivat Karjalan Lennoston kantahenkilökunta ja varusmiesjohtajat. Kokeen toimitsijat ja lennoston edustajat olivat Virve-radiopuhelinyhteydessä keskenään.

### 6.2.6 Koekohtaiset erityisjärjestelyt

Kokeessa koehenkilöinä toimivat varusmiehet. Kokeiden sisällöstä ja tarkoitukselta lähetettiin Karjalan Lennostoon tiedote varuskunnassa tapahtuvaa koehenkilöiden valintaa varten. Tässä yhteydessä kerrottiin myös niistä olosuhteista, joille henkilö altistuu kokeiden aikana. Kokeiden tarkkaa sisältöä tai suunniteltuja tapahtumakulkuja ei voitu kertoa etukäteen, koska kokeiden tarkoituksen saavuttamiseksi koehenkilö sai tiedon kuvitellusta uhkatilanteesta ja tarpeesta toimia vasta suoritustilanteessa, jotta tilanne muodostuisi riittävän realistiseksi ja jotta tehtävät ratkaisut ja toimintapäätökset tapahtuisivat vasta koetilanteessa ja tuolla hetkellä saatavan tiedon perusteella.

Karjalan Lennosto järjesti koepaikalle ensiapu- ja ensivastevalmiuden ja informoi, mikä on tarvittaessa lisävavun kutsumistapa. Kaikkia kokeeseen osallistuvia informoitiin näistä asioista paikan päällä. Näkyvyydeltään rajoittuneella koereitin osuudella oli Pelastusopistolta kaksi ensiaputaitoista savusukeltajaa tarkkailijana.

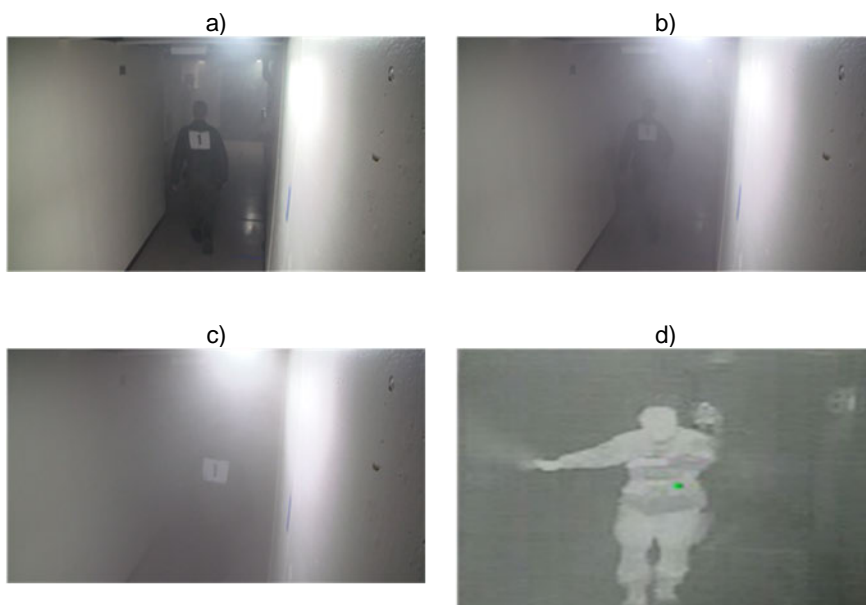
## 6. Näkyvyyden heikkenemiseen liittyvät kokeet

---

Kokeiden aikana koehenkilöitä tarkkailtiin jatkuvasti kaikissa tilanteissa. Silloin kun näkyvyys oli huono, seurasi kaksi "savusukeltajaa" lämpökameroin koehenkilöitä. Jos koehenkilö kokeen jossain vaiheessa olisi kokenut, ettei selviydy tehtävästä, häntä olisi opastettu keskeyttämään suorituksensa ilmoittamalla siitä kokeen toimitsijalle. Pimeässä tai savuisessa tilassa tapahtuva keskeyttäminen opastettiin tapahtuvaksi siten, että henkilö pysähtyy paikoilleen ja kuuluvalla äänellä sanoo "keskeytän", jolloin "savusukeltaja" johdattaa hänet välittömästi pois tästä tilasta. Jos kokeen aikana olisi näyttänyt ilmeiseltä, että saattaa syntyä vaaratilanne tai sattuu tapaturma, kokeen toimitsijat olisivat puuttuneet välittömästi tilanteeseen estääkseen vahingot ja saattaakseen henkilöt turvalliseen tilaan ilmoittaen tästä ja mahdollisesti tarvittavista jatkotoimista välittömästi radiopuhelimella muille kokeen valvojille.

### 6.3 Tulokset

Kuvassa 67 on kokeen aikana kuvatusta materiaalista koostetut vertailukuvat koeolosuhteista suorituksen ajalta.



**Kuva 67.** Koeolosuhteet. a) Koe 1: näkyvyys vähintään 26 m. b) Koe 2: näkyvyys 10–12 m. c) Koe 3: näkyvyys 5–7 m. d) Koe 4: näkyvyys enintään 0,25 m (lämpökamerakuva).



**6.3.1 Koe 1: näkyvyys vähintään 26 m**

Koe 1 oli normaaliolosuhteissa tapahtunut poistuminen. Tässä kokeessa haluttiin selvittää henkilöiden kävelynopeuksia tavallisessa valaistuksessa. Taulukossa 43 on havaintoihin ja mittauksiin perustuvat keskimääräiset kävelynopeudet.

**Taulukko 43.** Kävelynopeuksia kokeessa 1.

Koehenkilön nro	Kävelynopeus, portaikko ja palo-ovet	Kävelynopeus, suora käytävä (savuton, 13,7 m)	Kävelynopeus, suora käytävä (26 m, näkyvyys > 26 m)
1	1,08	1,53	1,37
2	1,12	1,57	1,53
3	1,08	1,30	1,37
4	1,12	1,21	1,37
5	1,17	1,48	1,37
6	1,0	1,23	1,30
7	1,33	1,63	1,86
8	1,22	1,44	1,44
9	1,22	1,47	1,44
10	1,08	1,37	1,53
<b>Kävelynopeuden keskiarvo (keskihajonta)</b>	<b>1,14</b>	<b>1,43 (0,14)</b>	<b>1,46 (0,16)</b>

**6.3.2 Koe 2: näkyvyys 10–12 m**

Kokeessa 2 näkyvyyttä savuisella käytäväosuudella oli 10–12 m. Ryhmä 1 kulki savuttoman osuuden hiukan nopeammin kuin kokeessa 1 ja savuisen osuuden hiukan hitaammin, mutta erityisesti on huomattavaa, että kävelynopeuksien hajonta tällä osuudella oli suurempi kuin kokeessa 1 (taulukko 44).

## 6. Näkyvyyden heikkenemiseen liittyvät kokeet

**Taulukko 44.** Kokeen 2 kävelynopeudet.

Koehenkilön nro	Kävelynopeus, portaikko ja palo-ovet	Kävelynopeus, suora käytävä (savuton, 13,7 m)	Kävelynopeus, suora käytävä (26 m, näkyvyys 10–12 m)	Koehenkilön nro	Kävelynopeus, portaikko ja palo-ovet	Kävelynopeus, suora käytävä (savuton, 13,7 m)	Kävelynopeus, suora käytävä (26 m, näkyvyys 10–12 m)
11	1,22	1,40	1,30	1	1,17	1,56	1,53
12	1,22	1,63	1,37	2	1,33	1,71	1,53
13	0,90	1,23	1,08	3	1,08	1,52	1,24
14	1,17	1,44	1,30	4	1,12	1,44	0,93
15	0,93	1,21	1,08	5	1,17	1,71	1,24
16	1,00	1,25	1,13	6	1,12	1,51	1,53
17	1,00	1,23	1,13	7	1,40	1,71	2,00
18	1,12	1,56	1,30	8	1,27	1,46	1,44
19	1,22	1,30	1,13	9	1,08	1,36	1,44
20	0,80	1,20	1,08	10	1,04	1,33	1,24
21	1,12	1,44	1,24				
22	1,08	1,37	1,30				
<b>Kävelynopeuden keskiarvo (keskihajonta)</b>	<b>1,06</b>	<b>1,36 (0,14)</b>	<b>1,20 (0,11)</b>		<b>1,18</b>	<b>1,53 (0,14)</b>	<b>1,41 (0,28)</b>

Ryhmä 2 eteni jokseenkin hitaammin niin portaikossa kuin savuttomalla käytävällä, ja savuisella osuudella kävelynopeus putosi 12 % (vrt. ryhmä 1: 8 %).

Kokeessa yksi henkilö (nro 12) kulki kyyryssä koko savuisen osuuden.

### 6.3.3 Koe 3: näkyvyys 5–7 m

Kokeessa 3 efektiivinen näkyvyys oli puolet kokeen 2 näkyvyydestä, 5–7 m. Kokeen suoritti ensimmäisenä ryhmä 3, jonka osalta tulee huomata, että syystä tai toisesta huomattava osa ryhmästä juoksi tai hölkkäsi ainakin osan poistumisreitistä. Tehtävän kuvaus ja ohjeet olivat tälle ryhmälle samat kuin muillekin, mutta tämän ryhmän suoritus poikkesi huomattavasti muista. Taulukossa 45 on esitetty havaittuja kävelynopeuksia. Ryhmän 1 nopeus savuisella osuudella putosi aavistuksen kokeesta 1 ja 2; tässä kokeessa ryhmällä kävelynopeus, saavuttaessa savuttomalta osuudelta savuiselle, pieneni 9 %. Vaikka ryhmällä 3 nopeudet savuttomilla reitin osuuksilla olivat kauttaaltaan korkeimmat ja savuisellakin osuudella ryhmä saavutti lähes saman keskimääräisen nopeuden kuin ryhmä 1 kokeessa, jossa savu ei haitannut näkyvyyttä, huomattakoon, että ryhmän 3 nopeudet savuttomalta

savuiselle osuudelle saavuttaessa putosivat peräti 22 %. Silti ryhmä 3 oli savuisella osuudella nopeampi kuin ryhmän 1 jäsenet, jotka kulkivat reittiä jo kolmannen kerran.

**Taulukko 45.** Kävelynopeuksia kokeessa 3.

Koehenkilön nro	Kävelynopeus, portaikko ja palo-ovet	Kävelynopeus, suora käytävä (savuton, 13,7 m)	Kävelynopeus, suora käytävä (26 m, näkyvyys 5–7 m)	Koehenkilön nro	Kävelynopeus, portaikko ja palo-ovet	Kävelynopeus, suora käytävä (savuton, 13,7 m)	Kävelynopeus, suora käytävä (26 m, näkyvyys 5–7 m)
23	1,40	1,69	1,37	1	1,22	1,61	1,37
24	1,56	1,99	1,44	2	1,40	1,61	1,44
25	1,33	1,61	1,73	3	1,04	1,37	1,24
26	1,65	2,49	1,73	4	1,22	1,44	1,37
27	1,40	1,85	1,24	5	1,12	1,54	1,37
28	1,65	1,73	1,53	6	1,22	1,44	1,37
29	1,27	1,56	1,44	7	1,47	1,69	1,53
30	1,33	1,93	1,18	8	1,27	1,67	1,37
31	1,33	1,67	1,37	9	1,08	1,37	1,44
32	1,47	1,78	1,30	10	1,00	1,54	1,37
<b>Kävelynopeuden keskiarvo (keskihajonta)</b>	<b>1,44</b>	<b>1,83 (0,27)</b>	<b>1,43 (0,19)</b>		<b>1,20</b>	<b>1,53 (0,12)</b>	<b>1,39 (0,08)</b>

Kokeessa savuisen osuuden kulki kyyristyneenä neljä henkilöä (nro 23, 24, 27 ja 28). Yksi henkilö (nro 26) juoksi savuisen osuuden läpi. Neljä henkilöä (nro 1, 3, 5 ja 7) seurasivat edetessään kädellä seinää.

Kokeen 3 jälkeen vertailuryhmää (ryhmä 1) pyydettiin arvioimaan, oliko kokeiden 2 ja 3 olosuhteissa merkittävästi eroa. Kaikki olivat yhtä mieltä siitä, että aistivaraisesti näkyvyys kokeessa 3 oli merkittävästi huonompi kuin kokeessa 2 (5–7 m vs. 10–12 m).

#### 6.3.4 Koe 4: näkyvyys enintään 0,25 m

Kokeessa yksi henkilö (nro 33) selvästi eksyi ja kadotti kulkusuunnan savuisen osuuden keskivaiheilla, mutta onnistui orientoitumaan oikeaan kulkusuuntaan ja löysi poistumisovelle. Tämän henkilön savuisella osuudella käyttämä aika oli selvästi muita pidempi. Kaksi henkilöä (nro 33 ja 34) osuivat savuisen osuuden keskivaiheilla valokatkaisijaan ja valot syttyivät käytävällä. Valo sammutettiin välittömästi, eikä tapauksilla ollut todennäköisesti suurta vaikutusta lopputulokseen, sillä

## 6. Näkyvyyden heikkenemiseen liittyvät kokeet

savun tiheys oli sellainen, että valojen hetkellinen palaminen tuskin suuresti vaikutti osallistujien suoritukseen muuten kuin hämmentävästi. Taulukossa 46 esitetään kokeen 4 tulokset. Savuttoman käytäväosuuden tulokset puuttuvat, koska videokuvista ei saanut riittävällä tarkkuudella otettua väliaikoja koehenkilöiden liikkeestä, mikä johtui huonosta valaistuksesta. Lukuarvot olisivat tällöin sisältäneet huomattavasti virhettä verrattuna muiden kokeiden vastaaviin lukuarvoihin.

**Taulukko 46.** Kävelynopeuksia kokeessa 4.

Koehenkilön nro	Kävelynopeus, portaikko ja palo-ovet	Kävelynopeus, suora käytävä (savuton, 13,7 m)	Kävelynopeus, suora käytävä (26 m, näkyvyys < 0,25 m)	Koehenkilön nro	Kävelynopeus, portaikko ja palo-ovet	Kävelynopeus, suora käytävä (savuton, 13,7 m)	Kävelynopeus, suora käytävä (26 m, näkyvyys < 0,25 m)
33	1,47		0,17	1	1,08		0,59
42	1,17		0,49	2	1,27		0,53
35	1,08		0,35	3	0,90		0,68
36	1,33		0,25	4	1,12		0,54
37	1,04		0,29	5	1,08		0,48
38	1,12		0,33	6	1,08		0,43
39	1,00		0,39	7	1,47		0,46
40	1,40		0,53	8	1,40		0,34
41	0,97		0,28	9	1,17		0,57
42	1,04		0,57	10	1,12		0,52
<b>Kävelynopeuden keskiarvo (keskihajonta)</b>	<b>1,16</b>		<b>0,36 (0,13)</b>		<b>1,17</b>		<b>0,51 (0,09)</b>

Kokeen 4 jälkeen vertailuryhmä (ryhmä 1) kommentoi, että savuisen käytäväosuuden pituus tuntui paljon pidemmältä kuin aiempien kokeiden suorituksen aikana.

### 6.4 Kyselykaavakkeen tulokset

Koehenkilöt täyttivät kyselykaavakkeen välittömästi koesuorituksen jälkeen. Kaavakkeessa kysyttiin, kuinka vaikeana he tehtävää olivat pitäneet (asteikolla 1–5) ja mitkä asiat pääsääntöisesti auttoivat poistumisen suorittamisessa (näkyvä tilan muoto, opasteet, tilan ja reitin tunteminen/oppiminen, seinien/rakenteiden tunnustelu). Osallistujilta kysyttiin myös, olisivatko he todellisessa hätätilanteessa yrittäneet poistua kokeessa käytettyä reittiä siellä vallinneissa olosuhteissa.

Vastauksissa poistumisen apukeinoista ryhmällä 1 painottui odotetusti oppiminen kokeen edetessä, kun taas muilla ryhmillä painottuivat näkyvät apukeinot (opasteet ja tilan muoto) kokeissa 2 ja 3, mutta käsin tunnustellen kulkeminen kokeessa 4 (ja oppiminen ryhmällä 1).

Kokeen vaikeusasteen ryhmä- ja koekohtaiset arviot on esitetty taulukossa 47.

**Taulukko 47.** Kyselykaavakkeen tulokset.

KOE 1	KOE 2	KOE 3	KOE 4
1,4 (Ryhmä 1)	2 (Ryhmä 1)	2,6 (Ryhmä 1)	4,5 (Ryhmä 1)
	1,7 (Ryhmä 2)	1,7 (Ryhmä 3)	3,7 (Ryhmä 4)

Ryhmän 1 antamat arviot ovat biasoituja eli kauttaaltaan korkeampia kuin muiden ryhmien antamat, koska ne rinnastuvat aina edellisiin kokeisiin. Muut ryhmät taas ovat arvioineet olosuhteita ilman verrokkia. Nämä arviot kuitenkin rinnastuvat hyvin siihen, että kokeissa 1–3, noin kolmasosa (30–35 %) arvioi, ettei olisi yrittänyt poistumista kokeen olosuhteissa tositalanteessa. Kokeessa 4 koehenkilöistä 85 % ei olisi yrittänyt poistumista tositalanteessa kokeen olosuhteita vastaavassa tilanteessa.

## 6.5 Pohdintaa

Kokeessa 1 koehenkilöllä kului keskimäärin 43 sekuntia poistumisen aloittamisesta siihen, kun henkilö saapui aulatilaan, joka oli koereitin päätepiste. Kun näkyvyys heikkeni 10–12 metriin, kului koehenkilöllä keskimäärin 46 sekuntia reitin päätepiiteeseen (ryhmällä 1 noin 43 s ja ryhmällä 2 noin 49 s).

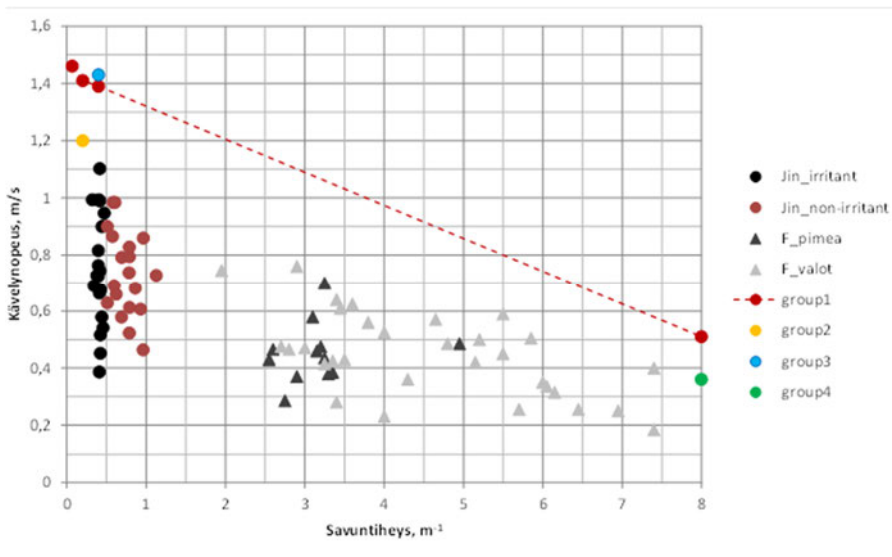
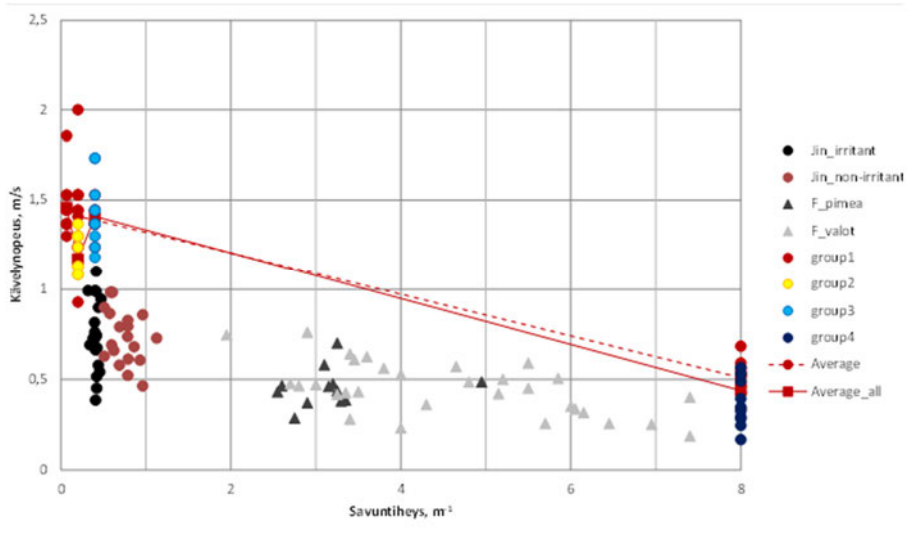
Kokeessa kolme havaittiin keskimääräinen 40 sekunnin poistumisaika (ryhmällä 1 noin 42 s ja ryhmällä 3 vain 38 s), kun näkyvyyttä oli edellisestä kokeesta vain puolet, 5–7 metriä. Tämä selittyy sillä, että noin puolet ryhmän 3 henkilöistä juoksi ainakin osan koereitistä ja vaikka heidän nopeutensa suhteellisesti putosi huomattavimmin heidän saapuessaan savuiselle osuudelle, tämän osuuden pituus koko reitistä oli alle puolet, noin 26/54.

Kun näkyvyyttä kokeessa 4 ei ollut juuri lainkaan savuisella osuudella, kasvoi keskimääräinen poistumisaika 91 sekuntiin ja oli siis referenssiryhmällä 1 (tunsivat reitin entuudestaan) 77 sekuntia ja ryhmällä 4 peräti 106 sekuntia.

Poistumistie oli selkeästi merkitty, ja savuinen osuus, jolla merkintöjen havaitseminen oli epävarmempaa, oli kuitenkin suoraviivainen käytävä. Käytävän leveys ja muoto oli kaikissa kohdin sellainen, että kokeissa 1–3 koehenkilö pystyi lähes jatkuvasti näkemään esimerkiksi seinän ja lattian rajan, joka kiintopisteenä tai suunnanosoitajana varmasti helpotti liikkumista savussa. Näin ollen vasta tämän orientaation menetys hidasti merkittävästi kävelyvauhtia ja toi esiin tilan ennalta tuntemisen hyödyn.

## 6. Näkyvyyden heikkenemiseen liittyvät kokeet

Kuvassa 68 tarkastellaan havaittujen savussa toteutuneiden kävelynopeuksien sijoittumista verrattuna Jinin (1978) ja Frantzichin ja Nilssonin (2003) saamiin tuloksiin.



**Kuva 68.** Ylhäällä: Kokeessa määritetyt kävelynopeudet suhteessa Frantzichin ja Jinin mittaamiin. Alhaalla: Kokeessa määritetyt keskiarvokävelynopeudet suhteessa Frantzichin ja Jinin mittaamiin.

Jinin kokeet osoittivat, että käytettäessä ärsyttävää savua (palava puu) yksilöllinen reaktio savulle lisää havaittujen kävelynopeuksien hajontaa huomattavasti verrattuna ei-ärsyttävään; tässä kuitenkin tulee huomata, että savun aikaansaamiseksi poltettiin polttoöljyä, ja vaikkei se ärsyttävää olisi ollutkaan, on se varmastikin koettu savuna eriaistisen epämiellyttävänä.

Franzich käytti etikkahappoa keinosavun yhteydessä lisäämään ärsyttävyyttä. Lisäksi hänen käyttämänsä geometria oli leveä tunneli, jossa oli esteitä.

Voitaneenkin sanoa, että mitä enemmän savua on ja mitä korkeampi on sen potentiaali sisältää ärsyttäviä komponentteja, sitä pienempiä ja laajemmin hajonneita kävelynopeuksia tullaan altistuneissa havaitsemaan. Varsinkin jos geometria on ei-triviaali. Jos taas tarkastellaan pelkästään näkyvyyden heikkenemistä suhteellisen suoraviivaisessa käytäväympäristössä, voidaan jälleen todeta, että yksilöistä ja heidän valmiuksistaan syntyy hajontaa tuloksissa, ja odotettavasti näkyvyyden pienetessä kohti "täyttä pimeyttä" kävelynopeus lähestyy alan kirjallisuudessa mainittua "konntausnopeutta", 0,3 m/s. Havaitut kävelynopeudet sijoittuvat kuitenkin kuvaajalla ylemmäs kuin Jinin ja Franzichin ärsyttävät savut.

Tämä tarkoittaa sitä, että poistumisen kannalta poistumisaikaan vaikuttavat poistumisreitit toteutus ja sitä kautta mahdollisesti huononevan näkyvyyden vaikutus mieltää tilaa. Mutta koska kaasut ovat ärsyttäviä ja myrkyllisiä, lisääntyy yksilöllisten tekijöiden vaikutus ja kaikkiaan mahdollisuus poistumisen epäonnistumiseen. Lopputuloksen ennustaminen vaikeutuu oleellisesti.

## 7. Yhteenveto

Tässä tutkimuksessa suoritettiin neljä koeasetelmaa, joista kukin oli valittu mm. kirjallisuusselvitysten perusteella ja joita voitiin pitää poistumisturvallisuuden kannalta mitoittavina tilanteina. Koeasetelmat liittyivät ovigeometriaan, portaakkoihin, vastavirtaustilanteisiin ja näkyvyyden heikkenemiseen. Koehenkilöt olivat pääsääntöisesti nuoria opiskelijoita. Fyysisesti raskaimmissa kokeissa koehenkilöiden kuntotaso oli yleisesti ottaen hyvä ja BMI normaali. Kokeet toteutettiin kahdessa vaiheessa, joiden yhteenlaskettu tehollinen kesto oli n. yksi viikko. Tätä edelsivät vaiheet mm. suunnittelun, instrumentoinnin ja rakentamisen osalta. Kokeet toteutettiin käyttäen olemassa olevia geometrioita. Kokeita monitoroitiin videokameroilla ja muilla yksittäisillä teknisillä apuvälineillä. Lisäksi kokeissa oli tyypillisesti n. viisi toimitsijaa, jotka tekivät havaintoja. Tulosten käsittelyssä käytettiin vähäisissä määrin soveltuvia apuohjelmia, mutta suurin osa videoiden analysoinnista toteutettiin manuaalisesti poimien tarvittava laadullinen ja määrällinen informaatio.

Kokeet onnistuivat hyvin ja pysyivät aikataulussa. Kokeiden onnistumista edellytti lukuisten yhteistyötahojen toiminta. Tulokset tarjoavat määrällisen ja laadullisen tietopaketin ennen kaikkea geometrian ja ympäristön vaikutuksesta poistumistilanteeseen. Näitä tietoja voidaan käyttää niin suunnittelussa, mallien kehitystyössä kuin myös pelastustoiminnan tukena. Koeasetelmakohtaiset yhteenvedot esitetään seuraavassa.

Ovikokeissa toteutettiin yhden päivän aikana kuusi erilaista koetta, jotka pitivät sisällään useita toistoja. Kiinnostavina asioina haluttiin selvittää mm. ovilehden muuttuvien ominaisuuksien vaikutusta ovivirtaukseen, jononmuodostusta, ruuhkan ja tungoksen tuntemusta, erilaisten lukkomekanismien käyttöä. Kokeiden osalta voidaan todeta, että toteutuksena kokeet onnistuivat, mutta koehenkilöiden määrä olisi voinut olla suurempi. Vastaavat kokeet olisi hyvä toteuttaa heterogeenisemmillä koehenkilöillä, sillä varsinkin jonossa kulkeminen oli tehokasta ja siihen oletettavasti opittiinkin koepäivän aikana.

Toisaalta oli havaittavissa tiettyjä yleisiä ilmiöitä jonossa kulkemisessa ja sen muodostumisessa: keulan rooli on merkittävä (reitin valinta, kävelynopeus, reagointi, vastavirtaustilanteet), ja muu takana tuleva jono seuraa keulaa hyvinkin vahvasti. Myös edellä olevia agenteja seurattiin halutusti, jolloin pääjonoa saatiin hajotettua (ja suuren massan tilanteessa poistuminen näin ollen tehostuisi). Pelastajien kohtaaminen oviaukossa vastavirtaustilanteessa ei eronnut tavallisten ihmisten



kohtaamisesta, sillä oviaukkovirtausarvot ja ihmisten vastausten perusteella tulkittu käyttäytyminen olivat jokseenkin samoja riippumatta siitä, oliko vastassa pelastaja vai tavallinen ihminen. Geometrisillä esteillä tai kuvioilla lattiassa ei saatu selvää eroa verrattuna tavalliseen tilanteeseen. Tätä asetelmaa etenkin olisi jatkossa hyvä kokeilla suurella heterogeenisemmällä ihmismassalla. Muutamassa kokeessa oppiminen oli havaittavissa: esim. suuren ryhmän koe yhdestä oviaukosta, jossa myös tungosta koettiin selvästi enemmän verrattuna yksittäisten jonojen kokeisiin. Koko päivän kestänyt koesarja on todennäköisesti tehostanut oviaukkojen läpikulkemistä.

Koeasetelmissa, joissa oli pyrkimys avata suljettu ovi (ns. "vasikkaovi"), tulokset olivat odotetun kaltaisia. Ihmiset ovat joko tottuneet kulkemaan avaamalla ainoastaan yhden oven tai kulkemaan jo avatusta ovesta, jolloin käyttäytyminen painottuu siihen, ettei lisälehtiä (vasikkaovea) avata. Myös nopeasti ohimenevä tilanne varsinkin ruuhkassa on haastava lisäovilehtien avaamiselle etenkin jos lukkomekanismi vaatii asteittaista liikkeen pysäyttämistä. Vaakapuomilla varustetut ovilehdet ja niiden käyttö olivat koehenkilöille vielä jokseenkin vieraita. Näihin liittyvät toistot jäivät vähäisiksi, mutta selkeitä vaakapuomin toiminnallisuuteen liittyviä asioita havaittiin kokeista. Vaakapuomien käytön voisi olettaa lisäävän ainakin ruuhkaisessa tilanteessa todennäköisyyttä sille, että joku henkilö sattumalta painaa puomia ja avaa toisenkin ovilehden, jolloin virtaus oviaukon läpi tehostuu.

Vihreän kuvun rikkomiseen liittyvät kokeet yllättivät, sillä tulosten valossa vain 44 % henkilöistä pääsi ovesta läpi rikkomalla kuvun. Vähäisen onnistumisprosentin taustalla on paljon opittua ja omaksuttua tietoa, käyttäytymiseen ja päätöksentekoon liittyviä tekijöitä, joita kaikkia ei tässä koesarjassa pystytty määrittämään. Poistumisharjoituksissa juurikin pitäisi painottaa tätä asiaa ja antaa lupa rikkoa tätä varten suunniteltuja kupuja, jotta ihmiset oppisivat niiden kanssa toimimaan. Laajemmin asiaa tarkastellen vähintään kiinteistön henkilökunnan tulisi olla tietoisia erityyppisten ovimekanismien toimintaperiaatteista poikkeustilanteessa.

Portaisiin liittyvät kokeet suoritettiin neljässä eri kohteessa: Pelastusopiston letkutornissa ja B-rakennuksen portaissa, Puijon tornissa ja Lippumäen uimahallin hätäpoistumistienä toimivissa portaissa. Kaikki kokeet onnistuivat hyvin ja kokeista saatiin arvokasta tietoa poistumiseen ja pelastamiseen liittyvistä tilanteista ja etenemisnopeuksista kierreportaissa. Yleisempiäkin havaintoja voitiin tehdä mm. pitkissä portaissa tapahtuvasta etenemisnopeuden hidastumisesta nousun aikana. Niiltä osin, kuin tuloksia voidaan verrata aikaisempiin tutkimuksiin ts. muissa kuin kierreportaissa tehtyihin tutkimuksiin, saadut tulokset ovat samaa suuruusluokkaa ja päätelmät saman suuntaisia kuin muissa tutkimuksissa. Kierreportaiden tapauksessa etenemisnopeutta suositellaan kuvaamaan pystysuoralla nopeuskomponentilla, koska muut esitystavat (vaakasuora tai kalteva nopeus) eivät ole kierreportaiden tapauksessa yksikäsitteisiä, vaan tulos riippuu laskennassa käytetystä säteestä, joka ratkaisee kävelijän kulkeman matkan pituuden ja reitin kaltevuuden portaissa. Todellisuudessa emme voi tietää, kuinka lähellä portaiden ulkoreunaa kävelijä kulkee, eli emme voi tietää kävelijän kulkeman reitin pituutta tai kaltevan nopeuden suuntaa.

Tutkimuksen keskeisiä havaintoja oli, että pystysuora etenemisnopeus kierreportaissa riippuu suuresti portaiden geometriasta sekä ylös (0,22–0,39 m/s) että alaspäin (0,33–0,48 m/s) mentäessä. Suoritetuissa kokeissa pystysuorat etenemisnopeudet olivat suurempia jyrkissä kuin loivissa portaissa. Etenemisnopeus hidastui ylöspäin mentäessä pitkissä portaissa 15–39 % portaiden pituudesta ja kaltevuudesta riippuen; laskeutumisnopeuksissa vastaavaa trendiä ei voitu havaita. Vastavirtaus hidasti portaita ylöspäin tehtävää letkuselvitystä n. 24 %. Myötävirtaus hidasti portaita alaspäin tehtävää pelastamista n. 41 %. Alaspäin poistuvien henkilöiden eteneminen hidastui vastaavissa tilanteissa n. 32 % (letkuselvitys vastavirtaan) ja n. 22 % (pelastaminen myötävirtaan). Käytännössä poistujat väistivät molemmissa tapauksissa sisäkaarteeseen pelastajien tullessa portaisiin. Poistujien jono pysähtyi sisäkaarteeseen jyrkkyydestä johtuen pelastajien portaissa olon ajaksi. Porraskokeiden tulokset ovat hyödyllisiä mm. maanalaisen rakentamisen ja korkeiden rakennusten turvallisuuden arvioinnissa, kun on tarpeen arvioida henkilöiden pystysuuntaista liikkumista.

Hankkeessa tehtiin myös Aalto-yliopiston opiskelijoilla vastavirtakokeita 2,7 m leveässä käytävässä, jossa suurehkoa pääjoukkoa vastaan käveli alle kymmenen hengen kokoisia vastavirtaryhmiä niin, että joukot kohtasivat toisensa käytävän mutkassa, jolloin ne eivät voineet reagoida toisiinsa ennakolta. Ilman vastavirtausta tehdyissä normituskokeissa ihmisten ominaisvirtaukselle saatu arvo 1,43 l/s/m osuu hyvin yhteen kirjallisuudessa esitettyjen arvojen kanssa etenkin kun muistetaan se tosiasia, että nyt käytössä oli varsin homogeeninen ja hyvin liikkuvista henkilöistä koottu joukko. Varsinaisissa vastavirtakokeissa koeasetelmassa varioitiin vastavirtaryhmän motivaatiota (pysyäkö tiiviinä ryhmänä vai ei), pääjoukon suuntaa mutkassa (oikealle taikka vasemmalle kaartaen) sekä vastavirtaryhmän kokoa (neljä taikka kahdeksan). Vain vastavirtaryhmän koolla nähtiin olevan pientä vaikutusta pääjoukon etenemiseen. Kaiken kaikkiaan pääjoukon eteneminen oli varsin sujuvaa, ja selkeää kaistoittumista oli havaittavissa, eli samaan suuntaan menevät ihmiset pyrkivät seuraamaan toisiaan. Nyt tehtyjen kokeiden havainnot ovat varsin hyvin sopusoinnussa vuonna 2006 Duisburgin yliopistossa tehtyjen kokeiden (Kretz ym. 2006b) kanssa, joissa käytettiin suoraa käytävää, jolloin henkilöt pystyivät väistämään toisiaan jo ennakolta. Näkyvin ero oli pääjoukon ensimmäisten henkilöiden liikkumisen hidastuminen törmätessä vastavirtaryhmään, koska käytävän mutkan takia ei väistöliikettä voitu tehdä ennakolta. Lopputulemana kokeista voidaan sanoa, että pienehkön vastavirtaan kulkevan ryhmän vaikutus pääjoukon liikkeeseen on hyvin vähäistä eli esimerkiksi henkilökunnan (laivat) tehtävistä johtuva vastavirtaus ei juurikaan vaikuta poistuviin henkilöihin vaakasuorissa käytävissä. Portaikoissa tilanne voi olla toinen johtuen porraskaskelmien vaikutuksesta ihmisten mahdollisuuteen väistää toisiaan tehokkaasti.

Näkyvyyden heikkenemiseen liittyvät kokeet tarjosivat geometrian, jossa kukaan koehenkilöistä ei ollut käynyt aiemmin. Kirjallisuuden perusteella vastaavia näkyvyyden heikkenemiseen liittyviä kokeita oli suoritettu aiemmin vain kaksi, jotka nekin poikkesivat toisistaan. Tutkimusilmioina haluttiin tarkastella yksikertaisessa geometriassa (käytävä) asteittain heikentyvän näkyvyyden vaikutusta kävelynopeuteen ja samalla tutkia reitin oppimista. Kokeet suoritettiin yksilötasolla.

Vertailuryhmän (ryhmä 1) suoritusta tarkasteltaessa havaittiin, että absoluuttiset kävelynopeudet pysyivät kokeiden 1–3 välillä jokseenkin samoina, mutta pääsääntöisesti suurempina kuin muilla ryhmillä vastaavissa kokeissa. Samoin kyselyn tuloksista oli pääteltävissä samainen trendi. Tämä selittyy osaksi juuri geometrian oppimisella ja koetilanteeseen totuttamisella. Asteittain heikentyneen näkyvyyden havaittiin laskevan kävelynopeuksia yleisesti ottaen. Muutos kokeiden ääritilanteiden välillä tilan kävelynopeuksissa oli kaikki tulokset huomioiden n. 1,4–1,5 m/s:stä 0,4–0,5 m/s:iin. Lukuarvot ovat aavistuksen suurempia kuin vastaavat alan kirjallisuudessa esitetyt arvot ovat.

## Lähdeluettelo

- Adams, A. P. M. & Galea, E. R. 2010. An Experimental Evaluation of Movement Devices used to assist People with Reduced Mobility in High-Rise Building Evacuations. Paper presented at PED 2010, NIST, Maryland USA, March 8–10, 2010.
- Bassey, E. J., Fiatarone, M. A., O'Neill, E. F., Kelly, M., Evans, J. W., Lipsitz, L. A. 1992. Leg power and functional performance in very old men and women. *Clinical science*, Vol. 82, s. 321–327.
- Boyce, K., Shields, T. & Silcock, G. 1999a. Toward the Characterization of Building Occupancies for Fire Safety Engineering: Capabilities of Disabled People Moving Horizontally and on an incline. *Fire Technology*, Vol. 35, No. 1, s. 51–67.
- Boyce, K. E., Shields, T. J. & Silcock, G. W. H. 1999b. Toward the Characterization of Building Occupancies for Fire Safety Engineering: Capability of Disabled People to Negotiate Doors. *Fire Technology*, Vol. 35, No. 1, s. 68–78.
- Bryan, J. L. 1977. Smoke as a determinant of human behavior in fire situations (Project people) NBS-GCR-77-94. Washington: University of Maryland.
- Bryan, J. L. 1993. An investigation and analysis of the dynamics of the human behaviour in the MGM Grand Hotel fire. Quincy, MA: NFPA.
- Daamen, W. & Hoogendoorn, S. P. 2010. Emergency Door Capacity: Influence of Door Width, Population Composition and Stress Level. *Fire Technology*, Vol. 48, No. 1, s. 55–71.
- Fang, Z.-M., Song, W.-G., Li, Z.-J., Tian, W., Lv, W., Ma, J. & Xiao, X. 2012. Experimental study on evacuation process in a stairwell of a high-rise building. *Building and Environment*, Vol. 47, s. 316–321.
- Frantzich, H. 1994. A model for performance-based design of escape routes. Department of Fire Safety Engineering, Lund Institute of Technology. Report 1011. Lund: Lund University. ISSN 1102-8246, ISRN LUTVDG/TVBB-1011-SE.
- Frantzich, H. & Nilsson, D. 2003. Utrymning genom tät rök: beteende och förflyttning. Department of Fire Safety Engineering, Lund Institute of Technology. Report 3126. Lund: Lund University.
- Frantzich, H., Nilsson, D. & Eriksson, O. 2007. Utvärdering och validering av utrymningsprogram. Report 3143. Lund: Lund University, Department of Fire Safety Engineering. 70 s. ISSN: 1402-3504, ISRN: LUTVDG/TVBB-3143-SE.

- Fujiyama, T. & Tyler, N. 2004. An explicit Study on Walking Speeds of Pedestrians on Stairs. In: 10th International Conference on Mobility and Transport for Elderly and Disabled People, Mamamatsu, Japan, 2004.
- Galea, E. R., Sharp, G., Lawrence, P. J. & Holden, R. 2008. Approximating the Evacuation of the World Trade Center North Tower using Computer Simulation. *Journal of Fire Protection Engineering*, Vol. 18, No. 2, s. 85–115.
- Graat, E., Midden, C. & Bockholts, P. 1999. Complex evacuation; effects of motivation level and slope of stairs on emergency egress time in a sports stadium. *Safety Science*, Vol. 31, s. 127–141.
- Gwynne, S. M., Kratchman, J., Kuligowski, E. D. & Milke, J. A. 2009. Questioning the Linear Relationship Between Doorway Width and Achievable Flow Rate. *Fire Safety Journal*, Vol. 44, s. 80–87.
- Heliövaara, S., Korhonen, T., Hostikka, S. & Ehtamo, H. 2012a. Counterflow Model for Agent-Based Simulation of Crowd Dynamics. *Building and Environment*, Vol. 48, s. 89–100. doi-link: 10.1016/j.buildenv.2011.08.020
- Heliövaara, S., Kuusinen, J.-M., Rinne, T., Korhonen, T. & Ehtamo, H. 2012b. Pedestrian behavior and exit selection in evacuation of a corridor – An experimental study. *Safety Science*, Vol. 50, s. 221–227.
- Hoogendoorn, S. P. & Daamen, W. 2005. Pedestrian behavior at bottlenecks. *Transp Sci*, Vol. 39, No. 2, s. 147–159.
- Hostikka, S., Korhonen, T., Paloposki, T., Rinne, T., Matikainen, K. & Heliövaara, S. 2007. Development and validation of FDS+Evac for evacuation simulations. Project summary report. VTT Tiedotteita – Research Notes 2421. 64 s. Espoo: VTT Technical Research Centre of Finland. ISBN 978-951-38-6981-6.
- IMO. 2007. Guidelines for evacuation analysis for new and existing passenger ships. MSC.1/Circ.1238. International Maritime Organization. 46 s.
- Isobe, M., Adachi, T. & Nagatani, T. 2004a. Experiment and simulation of pedestrian counter flow. *Physica A*, Vol. 336, s. 638–650.
- Isobe, M., Helbing, D. & Nagatani, T. 2004b. Experiment, theory, and simulation of the evacuation of a room without visibility. *Physical Review E*, Vol. 69, No. 6.
- Jeon, G.-Y., Kim, J.-Y., Hong, W.-H. & Augenbroe, G. 2011. Evacuation performance of individuals in different visibility conditions. *Building and Environment*, Vol. 46, s. 1094–1103.

- Jin, T. 1978. Visibility through fire smoke. *Journal of Fire & Flammability*, Vol. 9, s. 135–157.
- Kobes, M., Helsloot, I., de Vries, B., Post, J. G., Oberijé, N. & Groenewegen, K. 2010. Way finding during fire evacuation; an analysis of unannounced fire drills in a hotel at night. *Building and Environment*, Vol. 45, No. 3, s. 537–548.
- Korhonen, T., Hostikka, S. & Keski-Rahkonen, O. 2005. A proposal for the goals and new techniques of modelling pedestrian evacuation in fires. *Proceedings of the 8th International Symposium on Fire Safety Science*. Beijing, China, 18–23 Sept. 2005. Gottuk, D. & Lattimer, B. (eds.). International Association of Fire Safety Science, pp. 557–569.
- Korhonen, T. & Hostikka, S. 2009. *Fire Dynamics Simulator with Evacuation: FDS+Evac Technical Reference and User's Guide*. VTT Working Papers 119. Espoo: VTT Technical Research Centre of Finland. 91 s. ISBN 978-951-38-7180-2. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2009/W119.pdf>.
- Kratchman, J. A. 2007. An investigation on the effects of firefighter counterflow and human behavior in a six-story building evacuation. Master of Science Thesis. University of Maryland.
- Kretz, T., Grünebohm, A. & Schreckenberg, M. 2006a. Experimental study of pedestrian flow through a bottleneck. *J Stat Mech* P10014, s. 1–23.
- Kretz, T., Grunebohm, A., Kaufman, M., Mazur, F. & Schreckenberg, M. 2006b. Experimental study of pedestrian counterflow in a corridor. *J. Stat. Mech.* P10001 (doi:10.1088/1742-5468/2006/10/P10001).
- Kretz, T., Gruenebohm, A., Kessel, A., Kluepfel, H., Meyer-König, T. & Schreckenberg, M. 2008. Upstairs walking speed distributions on a long stairway. *Safety Science*, Vol. 46, s. 72–78.
- Kuligowski, E. D. & Peacock, R. D. 2010. *Building Occupant Egress Data (Report of Test FR 4024)*. [Verkköjulkaisu.] Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology. Saatavissa: [http://www.nist.gov/el/fire\\_research/building-occupant-evacuation.cfm](http://www.nist.gov/el/fire_research/building-occupant-evacuation.cfm).
- McGrattan, K., Hostikka, S. & Floyd, J. 2007. *Fire Dynamics Simulator. User's Guide*. NIST Special Publication 1019. Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology.

- NFPA 130:2007. Fixed Guideway Transit And Passenger Rail Systems. Quincy, MA: National Fire Protection Association. 66 s.
- Nilsson, D., Johansson, M. & Frantzich, H. 2009. Evacuation experiment in a road tunnel: A study of human behaviour and technical installations. *Fire Safety Journal*, Vol. 44, No. 4, s. 458–468.
- Peacock, R. D., Averill, J. D. & Kuligowski, E. D. 2009. Stairwell evacuation from buildings: What We Know We Don't Know. Technical Note 1624. Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology. 16 s. (tammikuu 2009).
- Proulx, G. & Benichou, N. 2010. Photoluminescent Stairway Installation for Evacuation in Office Buildings. *Fire Technology*, Vol. 46, s. 471–495.
- Proulx, G., Tiller, D., Kyle, B. & Creak, J. 1999. Assessment of Photoluminescent Material During Office Occupant Evacuation. Internal Report No. 774. National Research Council, Canada.
- RakMK. 2005a. G1 Suomen rakentamismääräyskokoelma Asuntosuunnittelu. Määräykset ja ohjeet 2005. Ympäristöministeriön asetus asuntosuunnittelusta. 8 s.
- RakMK. 2005b. F1 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Esteetön rakennus. Määräykset ja ohjeet 2005. Ympäristöministeriön asetus esteettömästä rakennuksesta. 10 s.
- RakMK. 2011. E1 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakennusten paloturvallisuus. Määräykset ja ohjeet 2011. 3/11 Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta. 43 s.
- Rasbash, D. J. 1975. International Seminar on Automatic Fire Detection. Aachen.
- Rinne, T., Tillander, K. & Grönberg, P. 2010. Data collection and analysis of evacuation situations. VTT Tiedotteita – Research Notes 2562. Espoo: VTT. 46 s. + liitt. 92 s. ISBN 978-951-38-7673-9. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2010/T2562.pdf>.
- SFPE. 2008. The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. 4th edition. Quincy, MA: National Fire Protection Association.
- SFS-EN 1154:1997. Building hardware – Controlled door closing devices – Requirements and test methods. Brussels: CEN European Committee for Standardization. 30 s.

- SFS-EN 12604:2000. Industrial, commercial and garage doors and gates. Mechanical aspects. Requirements. Brussels: CEN European Committee for Standardization. 26 s.
- SFS-EN 179:2008. Building hardware. Emergency exit devices operated by a lever handle or push pad, for use on escape routes. Requirements and test methods. Brussels: CEN European Committee for Standardization. 65 s.
- SFS-EN 1125:2008. Building hardware – Panic exit devices operated by a horizontal bar, for use on escape routes – Requirements and test methods. Brussels: CEN European Committee for Standardization. 62 s.
- Smith, A., James, C., Richard, J., Langston, P., Lester, E. & Drury, J. 2009. Modelling contra-flow in crowd dynamics DEM simulation. *Safety Science*, Vol. 47, s. 395–404.
- Tashida, S. 1975. Walking in the midst of smoke. Symposium on Physical Psychological and Behavioural Aspects of Fires. Tokyo: Japan Fire Sciences Assoc.
- TENK. 2009. Tutkimuseettinen neuvottelukunta. Humanistisen, yhteiskuntatieteellisen ja käyttäytymistieteellisen tutkimuksen eettiset periaatteet ja ehdotus eettisen ennakoarvioinnin järjestämiseksi. 19 s. Saatavilla osoitteesta: [http://www.tenk.fi/eettinen\\_ennakoarviointi/eettisetperiaatteet.pdf](http://www.tenk.fi/eettinen_ennakoarviointi/eettisetperiaatteet.pdf).
- Wong, L. T. & Cheung, T. F. 2006. Evaluating probable risk of evacuees in institutional buildings. *Safety Science*, Vol. 44, s. 169–181.
- Wood, P. G. 1972. The behaviour of people in fires. Fire Research Note No 953. Fire Research Station.
- Xu, X. & Song, W. 2009. Staircase evacuation modeling and its comparison with an egress drill. *Building and Environment*, Vol. 44, s. 1039–1046.
- Yanagisawa, D., Ayako Kimura, A., Tomoeda, A., Nishi, R., Suma, Y., Ohtsuka, K. & Nishinari, K. 2009. Introduction of frictional and turning function for pedestrian outflow with an obstacle. *Physical Rev. E* 80, 036110.
- Yeo, S. K. & He, Y. 2009. Commuter characteristics in mass rapid transit stations in Singapore. *Fire Safety Journal*, Vol. 44, s. 183–191.



# Liite A: Kyselykaavakkeet

## Ovigeometriaan liittyvien kokeiden kysymykset

### OVI1

VTT, TULPPA-projekti

Kuopio 28.3.2012

#### OVI 1 koe

#### Taustatiedot

1. Numerolapun numero: \_\_\_\_\_, kuuluin ryhmään:  A  B  C
2. Osallistuin kokeeseen  varusmiehenä  Pelastusopiston opiskelijana
3. Ikä: \_\_\_\_\_ vuotta
4. Pituus: \_\_\_\_\_ cm
5. Paino: \_\_\_\_\_ kg
6. Sukupuoli:  nainen  mies
7. Kunto:  huono  kohtalainen  hyvä  erinomainen
8. Cooperin testin tulos \_\_\_\_\_ m (Jos suoritettu viimeisen vuoden aikana)

#### Koeasetelmaan liittyvät kysymykset

Huom! toinen jono = muu kuin lähtöasetelman mukainen pääjoukon jono

9. Kävellessäsi ovea kohti;  
 seurasin edellä kulkevaa alusta loppuun pääjoukossa,  
 kävelin erillään ja yksin,  
 kuljin toisessa jonossa
10. Jononmuodostus;  
 erkanin lähtöasetelmasta ja muodostin toisen jonon omasta aloitteestani,  
 erkanin lähtöasetelmasta ja muodostin toisen jonon edellä kulkevan aloitteesta,  
 en tietääkseni muodostanut toista jonoa tai ollut toisessa jonossa
11. Jos kuljit toisessa jonossa (oma tai toisen aloite); mainitse 1-2 syytä, minkä takia jono mielestäsi muodostui:  
  
\_\_\_\_\_
12. Koitko tungosta oviaukosta kulkemisessa:  en lainkaan  vähän  paljon
13. Muita huomioita:  
  
\_\_\_\_\_

Kiitos osallistumisestasi!

## OVI2

VTT, TULPPA-projekti

Kuopio 28.3.2012

OVI 2 koe

Taustatiedot

1. Numerolapun numero: \_\_\_\_\_, kuuluin ryhmään:  A  B

**Kulkeminen ensimmäisen kerran oviaukosta läpi**

2. Kulkiessani oven läpi;  jouduin avamaan kokonaan kiinni olevan ovilehden,  
 jouduin pitämään auki jo avattua ovilehteä,  en koskenut ovilehteen
3. Käytin oviaukon  vasenta kaistaa,  oikeaa kaistaa
4. Koitko tungosta oviaukosta kulkemisessa:  en lainkaan  vähän  paljon
5. Muita huomioita:

---

---

**Kulkeminen toisen kerran oviaukosta läpi**

1. Kulkiessani oven läpi;  jouduin avamaan kokonaan kiinni olevan ovilehden,  
 jouduin pitämään auki jo avattua ovilehteä,  en koskenut ovilehteen
2. Käytin oviaukon  vasenta kaistaa,  oikeaa kaistaa
3. Koitko tungosta oviaukosta kulkemisessa:  en lainkaan  vähän  paljon
4. Muita huomioita:

---

---

Kiitos osallistumisestasi!

## OVI3

VTT, TULPPA-projekti

Kuopio 28.3.2012

OVI 3 koe

Taustatiedot

1. Numerolapun numero: \_\_\_\_\_, kuuluin ryhmään:  A,  B,  C

**Kulkeminen oviaukosta läpi pienellä ryhmänä**

2. Kuljin oviaukon  keskeltä,  käyttäen vasenta kaistaa,  käyttäen oikeaa kaistaa
3. Koitko tungosta oviaukon kohdalla :  en lainkaan  vähän  paljon
4. Koitko tungosta esteen (laatikoiden) kohdalla :  en lainkaan  vähän  paljon
5. Muita huomioita:

---

---

**Kulkeminen oviaukosta läpi suurena ryhmänä (liikuntasalista käytävälle)**

1. Kuljin oviaukon  keskeltä,  käyttäen vasenta kaistaa,  käyttäen oikeaa kaistaa
2. Koitko tungosta oviaukon kohdalla :  en lainkaan  vähän  paljon
3. Koitko tungosta liikkeellelähtemisen jälkeen kuitenkin ennen oviaukkoa :  
 en lainkaan  vähän  paljon
4. Muita huomioita:

---

---

Kiitos osallistumisestasi!

## OVI4

VTT, TULPPA-projekti

Kuopio 28.3.2012

OVI 4 koe

Taustatiedot

1. Numerolapun numero: \_\_\_\_\_, kuuluin ryhmään:  A,  B,  C

Koeasetelmaan liittyvät kysymykset

2. Käyttäydyin oviaukosta kulkiessani mielestäni niin kuin oikeassa tulipalotilanteessa käyttäytyisin  
 täysin samaa mieltä,  jokseenkin samaa mieltä,  jokseenkin eri mieltä,  
 täysin eri mieltä

jos vastasit "täysin eri mieltä" miten olisit oikeasti käyttäytynyt?

\_\_\_\_\_

3. Muuttuiko toimintamallini kokeen aikana (aikavälillä ennen liikkeellelähtöä ja kohdatessani oven)?  ei lainkaan  vähän  paljon
4. Koitko oven/lukon avaamisen hankalaksi?  en lainkaan  vähän  paljon
5. Muita huomioita:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Kiitos osallistumisestasi!

## OVI5

VTT, TULPPA-projekti

Kuopio 28.3.2012

OVI 5 koe

### Taustatiedot

1. Numerolapun numero: \_\_\_\_\_

### Vastavirtaus muita koehenkilöitä kohdattaessa

1. Koitko tungosta oviaukosta kulkemisessa:  en lainkaan  vähän  paljon
2. Miten pääasiallisesti käyttäydyit ollessasi oviaukon kohdalla (voit vastata useaan kohtaan)?
- hiljensin vauhtia  lisäsin vauhtia  pyrin välttämään kontaktia
- pyrin ottamaan kontaktia  en välittänyt mahdollisesta kontaktista
- seurasin edellä menevää  jäljittelin edellä menevän reaktiota
- katseeni seurasi pääosin vastaantulevaa
3. Muita huomioita:

---

---

### Vastavirtaus palomiehiä kohdattaessa

1. Kohtasin palomiehen oviaukon kohdalla  kyllä  en
- Jos vastasit kyllä, vastaa myös seuraavaan kahteen kysymyksen.
2. Koitko tungosta oviaukosta kulkemisessa:  en lainkaan  vähän  paljon
3. Miten pääasiallisesti käyttäydyit ollessasi oviaukon kohdalla (voit vastata useaan kohtaan)?
- hiljensin vauhtia  lisäsin vauhtia  pyrin välttämään kontaktia
- pyrin ottamaan kontaktia  en välittänyt mahdollisesta kontaktista
- seurasin edellä menevää  jäljittelin edellä menevän reaktiota
- katseeni seurasi pääosin vastaantulevaa
4. Muita huomioita: \_\_\_\_\_

Kiitos osallistumisestasi!

## OVI6

VTT, TULPPA-projekti

Kuopio 28.3.2012

OVI 6 koe

### Taustatiedot

1. Numerolapun numero: \_\_\_\_\_ kuuluin ryhmään:  A  B  C

### Ovilehden avautumisvoimaan liittyvät kysymykset (ensimmäiset)

1. Haittasiko ovilehden jäykkyys (voima) oviaukosta kulkemista?  
 ei lainkaan  vähän  paljon
2. Kuinka paljon helpompaa oli kulkea työntämällä avautuvan ovilehden kautta kuin vetämällä avautuvan ovilehden kautta?  
 en huomannut eroa  vähän helpompaa  paljon helpompaa
3. Kulkiessani oven läpi;  jouduin avamaan kokonaan kiinni olevan ovilehden,  
 jouduin pitämään auki jo avattua ovilehteä,  en koskenut ovilehteen
4. Ryhmityin oviaukkoon nähden pääasiassa  vasemmalle  oikealle
5. Muita huomioita:  
\_\_\_\_\_

### Ovilehden avautumiskulmaan liittyvät kysymykset

1. Haittasiko ovilehden pieni avautumiskulma oviaukosta kulkemista?  
 ei lainkaan  vähän  paljon
2. Kuinka paljon helpompaa oli kulkea työntämällä avautuvan ovilehden kautta kuin vetämällä avautuvan ovilehden kautta (tapaukset, joissa avautumiskulma alle 90°)  
 en huomannut eroa  vähän helpompaa  paljon helpompaa
3. Kulkiessani oven läpi;  jouduin avamaan kokonaan kiinni olevan ovilehden,  
 jouduin pitämään auki jo avattua ovilehteä,  en koskenut ovilehteen
4. Ryhmityin oviaukkoon nähden pääasiassa  vasemmalle  oikealle
5. Muita huomioita:  
\_\_\_\_\_

Kiitos osallistumisestasi!

## Porraskokeisiin liittyvät kysymykset

### Puijo1

VTT/ TULPPA-projekti

Kuopio 27.3.2012

Porraskoe Puijon tornissa

Koe 1: Kävely portaita ylös

1. Numerolapun numero: \_\_\_\_\_
2. Olen  varusmies  Pelastusopiston opiskelija  muu \_\_\_\_\_
3. Ikä: \_\_\_\_\_ vuotta
4. Pituus: \_\_\_\_\_ cm
5. Paino: \_\_\_\_\_ kg
6. Sukupuoli:  nainen  mies
7. Kunto:  huono  kohtalainen  hyvä  erinomainen
8. Cooperin testin tulos \_\_\_\_\_ m (Jos suoritettu viimeisen vuoden aikana)
9. Montako henkilöä ohitit portaita noustessasi: Ohitin \_\_\_\_\_ henkilöä
10. Hengästytkö:  en lainkaan  vähän  paljon
11. Nousu tuntui:  kevyeltä  raskaalta  joltain muulta \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
12. Kävelytyyli portaita ylös:  astuin joka portaalle  harpoin  
Muu: \_\_\_\_\_
13. Käytitkö kaidetta:  en lainkaan  vähän  paljon  
Kommentteja: \_\_\_\_\_
14. Muita huomioita:  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Kiitos osallistumisestasi!

## Puijo 2

VTT/ TULPPA-projekti

Kuopio 27.3.2012

Porraskoe Puijon tornissa

Koe 2: Kävely portaita alas

1. Numerolapun numero: \_\_\_\_\_
2. Montako henkilöä ohitit portaita laskeutuessasi: Ohitin \_\_\_\_\_ henkilöä
3. Kävelytyyli portaita alas:  astuin joka portaalle  harpoin  muu  
Mikä: \_\_\_\_\_
4. Käytitkö kaidetta:  en lainkaan  vähän  paljon  
Kommentteja: \_\_\_\_\_
5. Lasku tuntui:  kevyeltä  raskaalta  joltain muulta  
Miltä: \_\_\_\_\_
6. Hengästyin:  en lainkaan  vähän  paljon
7. Muita huomioita:

---

---

Kiitos osallistumisestasi!



## Lippumäki

VTT/ TULPPA-projekti

Kuopio 27.3.2012

Porraskoe Lippumäessä

Yleistä:

1. Numerolapun numero: \_\_\_\_\_
2. Haittasiko pimeys portaissa liikkumista:  ei lainkaan  vähän  paljon

**Koe 1: Kävely portaita ylös**

1. Montako henkilöä ohitit portaita noustessasi: Ohitin \_\_\_\_\_ henkilöä
2. Hengästytkö:  en lainkaan  vähän  paljon
3. Nousu tuntui:  kevyeltä  raskaalta  joltain muulta \_\_\_\_\_
4. Kävelytyyli portaita ylös:  astuin joka portaalle  harpoin  
Muu: \_\_\_\_\_
5. Käytikö kaidetta:  en lainkaan  vähän  paljon
6. Muita huomioita: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**Koe 2: Kävely portaita alas**

1. Montako henkilöä ohitit portaita laskeutuessasi: Ohitin \_\_\_\_\_ henkilöä
2. Kävelytyyli portaita alas:  astuin joka portaalle  harpoin  muu  
Mikä: \_\_\_\_\_
3. Käytikö kaidetta:  en lainkaan  vähän  paljon
4. Lasku tuntui:  kevyeltä  raskaalta  joltain muulta \_\_\_\_\_
5. Hengästytkö:  en lainkaan  vähän  paljon
6. Muita huomioita: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Kiitos osallistumisestasi!

## Pelastusopisto poistujat

VTT/ TULPPA-projekti

Kuopio 27.3.2012

Porraskoe Pelastusopistolla / Poistujat

(Poistujat = koehenkilöt, jotka poistuvat rakennuksesta portaita pitkin)

Yleistä:

1. Numerolapun numero: \_\_\_\_\_
2. Käytitkö kaidetta:  en lainkaan  vähän  paljon
3. Hidastiko jonossa liikkuminen portaissa kulkemista:  
 ei lainkaan  vähän  paljon

Vastavirtauskoe: Pelastajat suorittavat letkuselvitystä portaita ylös samalla kun ihmisiä poistuu rakennuksesta portaita alas

4. Hidastiko pelastajien vastaanotto portaissa liikkumista:  
 ei lainkaan  vähän  paljon
5. Oliko tilanne ahdistava:  ei lainkaan  vähän  paljon
6. Muita huomioita: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Myötävirtauskoe: Pelastajat suorittavat pelastustoimintaa portaita alas samalla kun ihmisiä poistuu rakennuksesta portaita alas

7. Hidastiko pelastajien toiminta portaissa liikkumista:  
 ei lainkaan  vähän  paljon
8. Oliko tilanne ahdistava:  ei lainkaan  vähän  paljon
9. Muita huomioita: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Kiitos osallistumisestasi!

## Pelastusopisto pelastajat

VTT/ TULPPA-projekti

Kuopio 27.3.2012

Porraskoe Pelastusopistolla / Pelastajat

(Pelastajat = koehenkilöt, jotka suorittavat portaissa pelastustoimintaa)

Vastavirtauskoe: Letkuselvitys portaita ylös samalla kun ihmisiä poistuu rakennuksesta portaita alas

1. Hidastiko vastavirtaus portaissa liikkumista:  ei lainkaan  vähän  paljon
2. Haittasiko vastavirtaus letkuselvitystä:  ei lainkaan  vähän  paljon
3. Muita huomioita: \_\_\_\_\_

---

---

---

---

Myötävirtauskoe: Pelastustoiminta portaita alas samalla kun ihmisiä poistuu rakennuksesta portaita alas

4. Hidastiko myötävirtaus portaissa liikkumista:  ei lainkaan  vähän  paljon
5. Haittasiko myötävirtaus pelstustoimintaa:  ei lainkaan  vähän  paljon
6. Muita huomioita: \_\_\_\_\_

---

---

---

---

Kiitos osallistumisestasi!

## Vastavirtauskokeiden kysymykset

13.2.2012

SAL/Aalto & VTT

Kyselylomake, Aalto-yliopiston rakennus Otakaari 1 ("uusi puoli"), 2. krs, "vastavirtakokeet"

Taustatietoja, näitä ei yhdistetä varsinaisten kysymyksiä vastauksien kanssa, vaan käytetään yleisesti kuvaamaan kokeessa käytetyn ihmisioukon tietoja tyyliin "X % naisia ja (1-X) % miehiä":

I. Sukupuoli (taustatietoa)

nainen  mies

II. Ikä (taustatietoa)

18-20  21-22  23-24  25-

III. Arvio omasta normaalista kävelynopeudesta verrattuna muihin opiskelijoihin noin yleensä Otaniemessä ja/taikka muulla opiskelijakampuksella. (taustatietoa)

Normaali  Hitaahko (minua ohitellaan usein)  Nopeahko (ohittelen muita usein)

Itse kokeeseen ja koejärjestelyyn liittyviä kysymyksiä:

1. Annetut ohjeet olivat

Hyvin epäselvät  Melko epäselvät  Melko selvät  Hyvin selvät

2. Oliko kokeen kesto liian pitkä?

Ei  Kyllä

3. Oliko koetilanne ahdistava?

Hyvin ahdistava  Melko ahdistava  Ei lainkaan ahdistava

4. Vaikuttiko kokeen toistaminen toimintaasi eli opitko jotain toistojen aikana? (Esim. Opit väistelemään vastaan tulijoita entistä sulavammin tms.)

Ei vaikuttanut  Vaikutti

Jos vaikutti, niin miten?

---

---

5. Kuinka erilaiset alkupaikat pääryhmässä (ei siis vastavirtaan kulkevat pienryhmät) vaikuttivat toimintaasi? ("eturivissä", "takarivissä" vai "lauman keskellä"?)

---

---

Käännä

6. Kun tehtävänäsi oli kulkea "vastavirtaan", eli olit 4ihmisen muodostamassa pienryhmässä (joissakin kokeissa kaksi 4 pienryhmää samaan aikaan), ja tehtävänäsi oli pyrkiä menemään ryhmässä vastaantulevan joukon läpi, niin pyritkö saavuttamaan ohjeistuksen mukaisen tavoitteen eli liikkua ryhmän mukana

Parhaani mukaan     Suunnilleen     En lainkaan

7. Kuinka alkupaikkasi vaikutti toimintaasi vastavirtaan kuljettaessa (yksilöinä taikka pienryhmissä)? Pyritkö "johtamaan" joukkoa, jos olit kärkipäässä, ja vastaavasti seuraamaan edessä menijöitä, jos olit muiden takana? Muita vastaavia huomioita käytöksestäsi?

---

---

---

---

8. Vapaamuotoinen palaute (esim. millainen kokemus kokeeseen osallistuminen oli, jne.)

---

---

---

---

---

**Muista täyttää osoitetietosi toiseen lipukkeeseen, että lounaslippu voidaan postittaa sinulle, mikäli et hae sitä seuraavan viikon luennolta!**

Kiitos osallistumisestasi! (VTT ja Systemianalyysin laboratorio/Aalto)

## Näkyvyyden heikentymiseen liittyvät kysymykset

VTT, TULPPA-projekti

Kuopio 30.3.2012

Näkyvyyden vaikutus poistumistilanteessa, KOE no.: \_\_\_\_\_

### Taustatiedot

1. Numerolapun numero: \_\_\_\_\_
2. Ryhmän numero: \_\_\_\_\_
3. Ikä: \_\_\_\_\_ vuotta
4. Pituus: \_\_\_\_\_ cm
5. Paino: \_\_\_\_\_ kg
6. Sukupuoli:  nainen  mies
7. Kunto:  huono  kohtalainen  hyvä  erinomainen
8. Cooperin testin tulos: \_\_\_\_\_ m (jos suoritettu viimeisen vuoden aikana)

### Koeasetelmaan liittyvät kysymykset

9. Kuinka haastavaksi tai vaikeaksi koit *poistumisen* käytettyä reittiä pitkin siellä vallinneissa *olosuhteissa*?  
HELPPO  1  2  3  4  5 VAIKEA  
 6 Keskeytin tehtävän (koska \_\_\_\_\_)
10. Mitkä asiat *pääsääntöisesti auttoivat* poistumisen suorittamisessa?  
 näkyvä tilan muoto  
 opasteet  
 tilan tuntemus, reitin oppiminen  
 kuljin tunnustellen seiniä / rakenteita  
 muu: \_\_\_\_\_
11. Jos olosuhteet olisivat olleet vastaavat *oikeassa hätätilanteessa*, olisitko yrittänyt poistumista nyt käytetyn käytävän läpi?  
 Kyllä  En
12. Oliko poistumisharjoitus *mielestäsi* ahdistava tai henkisesti kuormittava:  
 ei lainkaan  vähän  paljon
13. Muita huomioita: \_\_\_\_\_

Kiitos osallistumisestasi!

Voit jatkaa kääntöpuolelle→

## Liite B: List of figures

Figure 1. The a) correlation of Body Mass Index and Cooper-test results and b) the normal distribution of Cooper-test results of the conscripts. The fit curve parameters (solid line) are  $\mu = 2607$  m ja  $\sigma = 257$  m.

Figure 2. The effect of specific flow (values 0.75, 1.00, 1.25 ja 1.50 pers/m/s) in the relation of saturated evacuation time and number of evacuees according to the national building code of Finland. The codes regulates the door width should be increased by 0.4 m for every 60 people after 120 people.

Figure 3. The illustrations of panic exit devices operated by a horizontal bar and a push pad according to the EN 1125:2008 and EN 179:2008 standards.

Figure 4. The floor plan of the facilities of Finnish Emergency Services College. The red arrows represent the main walking route during the door geometry related experiments No. OVI 1–3 and OVI 5.

Figure 5. The test place in experiments No. OVI 1, 2, 3, and 5 (see the yellow box drawn on the lower corridor).

Figure 6. The test place in experiment No. OVI 4 (yellow boxes) on the upper corridor of the building between two glass doors. A class room is also shown where the evacuees were waiting for their performances.

Figure 7. The test place in experiment No. OVI 6 (yellow box).

Figure 8. The geometry used in test No. OVI 1.

Figure 9. A screen capture from video during test No. OVI 1.

Figure 10. The results of a) group A and b) group B in test No. OVI 1. The results of group A and B are shown with letters “a” and “b”, respectively. The group B included agents that were following instructions to step aside from the main line at a certain point.

Figure 11. The geometry of test No. OVI 2. The longer door leaf length was 84 cm and the shorter 49 cm, respectively. In the middle: a conventional locking device and the right: a horizontal bar device used in the tests.

Figure 12. The results of a) group A and b) group B in test No. OVI 2. The results for the first and the second experiment of group A are shown with letters “a1” and “a2”, respectively. A notation of group B is similar to group A.

Figure 13. The effect of geometry on specific door flows in test No. OVI 3. In figure a) transverse taping on the floor with 60 cm spacing and longitudinal taping (width same as the door width). In figure b) an obstacle (dimensions 41 cm x 60 cm) being in front of the doorway.

Figure 14. Screen captures from test No. OVI 3. Left: an obstacle placed in the middle of the doorway, middle: a test group walking between the longitudinal taping, and right: the test with a big group (all the evacuees) in a starting point and walking towards the doorway.

Figure 15. The results of test No. OVI 3. In figure a) test with a transverse taping on the floor with 60 cm spacing, b) test with a longitudinal taping, and c) test with the big group (all evacuees included).

Figure 16. The locking device and the geometry used in test No. OVI 4. The push button shown in figure was not functioning during tests meaning that an evacuee had to open the door by breaking the green cover (which was used as a seal for the latch).

Figure 17. A demonstration of test No. OVI 4. Upper figure: a floor plan and the geometry of the test. Lower figures: the green cover does not break (left) and the cover breaks (right).

Figure 18. The results of test No. OVI 4 a) & b) time for seeking information for the first time, c) & d) time for passing the doorway, and e) & f) counter if the evacuee grabbed the green cover (1=yes, 0=no). The results in left and right column are for doors had to be opened by pushing and pulling, respectively.

Figure 19. The results of a questionnaire form related to time to seek information or passing the doorway in test No. OVI 4. Figure a), b), and c) show the results to the questions 1, 2, and 3 shown in Table 9, respectively. For instance, number values of an x-axis in figure b) are quantified as follows 1 = "not at all", 2 = "little", 3 = "a lot", when asking "Did you feel congestion at the doorway?".

Figure 20. The geometry and an illustration of counter flow situation in test No. OVI 5. As shown, the longitudinal direction of movement from right to left, was changed during tests.

Figure 21. A counter flow situation between (left) two evacuee groups and (right) one evacuee group and fire fighters. Both approaching groups used the same opened doorway.

Figure 22. The results of test No. OVI 5, where a) two same size groups (17 persons in each, according to Figure 20) and b) fire fighters and one group face in a doorway. A black circle symbolizes the zero test (without counter flow situation), open symbols are for the situations where a right-handed traffic is changed to a left-handed one. In figure c) the first eight tests duration (both directions) and in figure d) a comparison between groups a and b.

Figure 23. On the left side: an arrangement of the test No. OVI 6 and right side: a photograph of the door leaf used.

Figure 24. A screen capture from test No. OVI 6. The door leaf maximum opening angle is limited and the door leaf opening angle is measured continuously.



Figure 25. An example of the data produced in test No. OVI 6. The door opening angle as a function of time is shown for torques 18 Nm (upper) and 77 Nm (lower).

Figure 26. The relations and the results for human flow, torque, and effective door opening angle in test No. OVI 6.

Figure 27. Definitions for linear staircases.

Figure 28. Definitions for spiral staircases.

Figure 29. The hose tower of the Emergency Services College.

Figure 30. Puijo Tower and its staircase.

Figure 31. The layout of the Lippumäki Swimming Hall (not in scale) and its staircase.

Figure 32. The staircase of the office building (building B) of the Emergency Services College.

Figure 33. The ambulance of the Emergency Services College was there just in case.

Figure 34. The clothing of the volunteers from a) the Emergency Services College b) the army.

Figure 35. The equipment of the rescuers in the a) counter-flow experiment b) bypass flow experiment.

Figure 36. Experiment PT1 (walking up the stairs in the Puijo Tower): The arrival of the subjects to the landings when walking up the stairs.

Figure 37. The dependence of the vertical speed (upwards) on the horizontal walking speed (correlation 0.45).

Figure 38. The dependence of the vertical speed (upwards) on the Cooper test result (correlation 0.14).

Figure 39. The subjects' experience about their breathlessness during the rising, based on the question formula that was shared immediately after the experiment.

Figure 40. The subjects' experience about the heaviness of the rising, based on the question formula that was shared immediately after the experiment

Figure 41. Experiment PT2 (walking down the stairs in the Puijo Tower): The arrival of the subjects to the landings when walking down the stairs.

Figure 42. The dependence of the vertical speed (downwards) on the horizontal walking speed (correlation 0.55).

Figure 43. The dependence of the vertical speed (downwards) on their Cooper test results (correlation 0.08).

Figure 44. The dependence of the horizontal walking speed on the Cooper test results.

Figure 45. The progress of the experiment PO1 (counterflow in the stairs of the office building of the Emergency Services College).

Figure 46. The progress of the experiment PO2 (parallel flow in the stairs of the office building of the Emergency Services College).

Figure 47. The progress of the experiment PO3 (evacuees walking up the stairs in the office building of the Emergency Services College).

Figure 48. The progress of the experiment PO4 (evacuees walking down the stairs in the office building of the Emergency Services College).

Figure 49. The progress of the experiment PO5 (clearance with the hose up the stairs in the office building of the Emergency Services College).

Figure 50. The progress of the experiment PO6 (rescue of a person down the stairs in the office building of the Emergency Services College).

Figure 51. Experiment LM1: The arrival of the subjects (group 1) to the landings when walking up the stairs in the Lippumäki Swimming Hall.

Figure 52. Experiment LM3: The arrival of the subjects (group 2) to the landings when walking up the stairs in the Lippumäki Swimming Hall.

Figure 53. Experiment LM5: The arrival of the subjects (group 3) to the landings when walking up the stairs in the Lippumäki Swimming Hall.

Figure 54. The dependence of the vertical speed (upwards) on the horizontal walking speed (correlation 0.39).

Figure 55. The dependence of the vertical speed (upwards) on the Cooper test result (correlation -0.07).

Figure 56. Experiment LM2: The arrival of the subjects (group 1) to the landings when walking down the stairs in the Lippumäki Swimming Hall.

Figure 57. Experiment LM4: The arrival of the subjects (group 2) to the landings when walking down the stairs in the Lippumäki Swimming Hall.

Figure 58. Experiment LM6: The arrival of the subjects (group 3) to the landings when walking down the stairs in the Lippumäki Swimming Hall.

Figure 59. The geometry that was used in the counter flow experiments done using students of the Aalto University. The location was in the vicinity of the class room U261 in the so-called new side of the building Otakaari 1 of Aalto University (formerly Helsinki University of Technology).

Figure 60. Some photos taken at the corridor in the vicinity of the class room U261 of the building Otakaari 1 of Aalto University, where the counter flow experiments were performed. At the left the photo is taken at the end of the long part of the corridor (at the top in Fig. 59) and at the right the photo is taken at the connecting corridor (at the left in Fig. 59), where the open door leaf of the class room U261 is seen on the left.

Figure 61. a) The first person of the majority group at the finishing line. b) The last person of the majority group at the finishing line. c) The first person of the counter flow group at the finishing line. d) The last person of the counter flow group at the finishing line. The reference time (time zero) is the whistle of each trial. The results for the four person counter flow groups is shown as filled bars and for the eight person groups as un-filled bars. R/L refers either to right (R) or to left (L) turning majority group. S/G refers to an individual (S) or to a group (G) behaviour in the counter flow group. The result of the trial done during the first eight trials is shown first and directly after this the corresponding result of the last eight trials is shown.

Figure 62. Measured walking speed values with different extinction coefficient values:  $0.2\text{--}1.2\text{ m}^{-1}$  (Jin) and  $2\text{--}7\text{ m}^{-1}$  (Frantzych).

Figure 63. The geometry used in tests.

Figure 64. The positions of lights and exit signs along the smoky part of the corridor in tests No. 1–3.

Figure 65. Light emitting exit signs used in tests.

Figure 66. The positions of video cameras.

Figure 67. Visibility conditions in different tests a) test No. 1: at least 26 m, b) test No. 2: 10–12 m, c) test No. 3: 5–7 m, and d) test No. 4: up to 0.25 m.

Figure 68. Measured (upper) and average (lower) walking speed values within tests No. 1–4 and the relation of them with respect to values measured by Frantzych and Jin.



## Liite C: List of tables

Table 1. The percentages and classification of evacuees in terms of Cooper-test results.

Table 2. A short literature review of specific flow values.

Table 3. The time schedule of tests No. OVI 1 – OVI 6.

Table 4. The questionnaire results of test No. OVI 1.

Table 5. The setup for test No. OVI 2.

Table 6. The questionnaire results of test No. OVI 2. Left and right side represents evacuees' answers after performed the test for the first and the second time, respectively.

Table 7. The setup for test No. OVI 3.

Table 8. The questionnaire results of test No. OVI 3. Left and right side represents evacuees' answers after performed the single line and the big group tests, respectively.

Table 9. The questionnaire results of test No. OVI 4.

Table 10. The setup for test No. OVI 5.

Table 11. The questionnaire results of test No. OVI 5.

Table 12. The setup for test No. OVI 6 (tests with different torque of door leaf).

Table 13. The setup for test No. OVI 6 (tests with different maximum opening angle of door leaf, torque was constant 30 Nm).

Table 14. The questionnaire results of test No. OVI 6. Left and right side represents evacuees' answers after performed the door leaf torque and the maximum opening angle setups, respectively.

Table 15. The test day schedule.

Table 16. The elevations of the measurement points in the hose tower of the Emergency Services College.

Table 17. The vertical speed of the subjects in the hose tower of the Emergency Services College.

Table 18. The vertical speed of the subjects at intervals in the hose tower of the Emergency Services College.

Table 19. The elevations of the measurement points in the Puijo tower.

Table 20. Bypassing when walking up the stairs in the experiment PT1.

Table 21. The average vertical speed when walking up the stairs.

Table 22. Bypassing when walking down the stairs in the experiment PT1.

- Table 23. The average vertical speed between the floors when walking down the stairs.
- Table 24. The elevations of the measurement points in the stairs of the building B of Emergency Services College.
- Table 25. The horizontal walking speed of the subjects.
- Table 26. The average vertical walking speed of the conscripts and the requers during the experiment.
- Table 27. The average vertical walking speed of the conscripts and the requers during the experiment.
- Table 28. The average vertical walking speed of the conscripts during the experiment.
- Table 29. The average vertical walking speed of the conscripts during the experiment.
- Table 30. The average vertical walking speed of the rescuers during the experiment.
- Table 31. The average vertical walking speed of the rescuers during the experiment.
- Table 32. The elevations of the measurement points in the stairs of the Lippumäki swimming hall.
- Table 33. The average vertical speed of the subjects at different levels when walking up the stairs (combined results of the experiments LM1, LM3 and LM5).
- Table 34. The average vertical speed of the subjects at different levels when walking down the stairs (combined results of the experiments LM2, LM4 and LM6).
- Table 35. The results of the questionnaire after the experiment PT1 (up the stairs of Puijo tower).
- Table 36. The results of the questionnaire after the experiment PT2 (down the stairs of Puijo tower).
- Table 37. The results of the questionnaire to the conscripts after the experiments PO1-PO6 (evacuees in the office building of the Emergency Services College).
- Table 38. The results of the questionnaire to the students after the experiments PO1-PO6 (rescuers in the office building of the Emergency Services College ).
- Table 39. The results of the questionnaire after the experiments LM1-LM6 (Lippumäki swimming hall).
- Table 40. The collected results of the experiments. The speed results are averages of the speed of the subjects. The stairs of the building B of the Emergency Services College were short, so the speed is an average speed of the whole way.
- Table 41. The results of the counter flow experiments at the finishing line for the majority and the counter flow groups. The average specific flow at the finishing line is calculated for the majority group as dividing the number of persons by the passing time (the last minus the first at the finishing line) and by the width (2.7 m) of the corridor. In total sixteen trials were performed, where the trials 1–8 had the same

majority group and the trials 9–16 had also same, but a different majority group than the first eight trials. Each trial has a little bit different set-up and the labelling of these scenarios is as follows: (i) counter flow group persons acting independently, (r) counter flow group persons acting as a member of a small group, (o) majority turned to right, (v) majority turned to left, (4) four counter flow persons, (8) eight counter flow persons.

Table 42. Average times (ka) and standard deviations (ha) for the majority and counter flow groups at the finishing line in the counter flow experiments. Shown is also the passing times for the majority group, i.e., the difference of the times of the last and the first person. In total 16 counter flow trials and two so-called blank experiments were performed, where the trials 1–8 had the same majority group and the trials 9–16 had also same, but a different majority group than the first eight trials. The blank experiments were using the first majority group only. The trials, where the counter flow group size was four or eight, are also shown separately in the table. The average times of the other varied parameters (majority group turned to left/right, counter flow group as individuals/small group) do not differ show these are not tabulated.

Table 43. Walking speeds measured in test No. 1.

Table 44. Walking speeds measured in test No. 2.

Table 45. Walking speeds measured in test No. 3.

Table 46. Walking speeds measured in test No. 4.

Table 47. The questionnaire results of tests No. 1–4.





Nimeke	<b>Mitoittavat tilanteet tulipalon aikaisessa poistumisessa</b> <b>Kokeellinen tutkimus</b>
Tekijä(t)	Tuomo Rinne, Terhi Kling, Peter Grönberg & Timo Korhonen
Tiivistelmä	<p>Tässä julkaisussa esitetään kokeelliseen tutkimukseen perustuen tuloksia ja havaintoja neljästä erilaisesta koeesetelmasta, jotka liittyivät mm. pelastushenkilöstön ja poistuvien ihmisten vastavirtaustilanteisiin ja ihmisten liikkumiseen poistumisturvallisuuden kannalta mitoitavimmissa rakennuksen kohdissa, kuten portaikoissa ja oviaukoissa. Lisäksi hankkeessa tarkasteltiin kulkureittien ja ovien valintaan liittyviä tilanteita ja ihmisten liikkumista näkyvyyden ollessa rajoitettua.</p> <p>Kokeet toteutettiin erillisinä ja valvottuina harjoituksina, joihin osallistui vapaaehtoisia koehenkilöitä (opiskelijoita ja varusmiehiä). Fyysisesti raskaimmissa kokeissa koehenkilöiden kuntotaso oli yleisesti ottaen hyvä ja BMI normaali.</p> <p>Ovikokeissa toteutettiin yhden päivän aikana kuusi erilaista koetta, jotka pitivät sisällään useita toistoja. Kiinnostavina asioina haluttiin selvittää mm. ovilehden muuttuvien ominaisuuksien vaikutusta ovivirtaukseen, jononmuodostusta, ruuhkan ja tungoksen tuntemusta ja erilaisten lukkomekanismien käyttöä. Esimerkiksi jonossa kulkemisessa ja sen muodostumisessa oli havaittavissa, että keulan rooli on merkittävä (reitin valinta, kävelynopeus, reagointi, vastavirtaustilanteet) ja muu takana tuleva jono seuraa keulaa hyvinkin vahvasti. Pelastajien kohtausminen oviaukossa vastavirtaustilanteessa ei eronnut tavallisten ihmisten kohtaamisesta, sillä oviaukkovirtausarvot ja ihmisten vastausten perusteella tulkittu käyttäytyminen olivat jokseenkin samoja riippumatta siitä, oliko vastassa pelastaja vai tavallinen ihminen. Vihreän kuvun rikkomiseen liittyvät kokeet yllättivät, sillä tulosten valossa vain 44 % henkilöistä pääsi ovesta läpi rikkomalla kuvun. Vähäisen onnistumisprosentin taustalla on paljon opittua ja omaksuttua tietoa sekä käyttäytymiseen ja päätöksentekoon liittyviä tekijöitä, joita kaikkia ei tässä koesarjassa pystytty määrittämään. Poistumisharjoituksissa pitäisi painottaa eri turvallisuusratkaisuihin tutustumista siten, että vähintään kiinteistön henkilökunnan tulisi olla tietoisia, tässä tapauksessa, erityyppisten ovimekanismien toimintaperiaatteista poikkeustilanteessa.</p> <p>Portaisiin liittyvissä kokeissa havaintoja voitiin tehdä mm. pitkissä portaissa tapahtuvasta etenemisnopeuden hidastumisesta nousun aikana. Kierreportaiden tapauksessa etenemisnopeutta suositellaan kuvaamaan pystysuoralla nopeuskomponentilla, koska muut esitystavat (vaakasuoja tai kalteva nopeus) eivät ole kierreportaiden tapauksessa yksikäsitteisiä. Tutkimuksen keskeisiä havaintoja oli, että pystysuora etenemisnopeus kierreportaissa riippuu suuresti portaiden geometriasta sekä ylös- (0,22–0,39 m/s) että alaspäin (0,33–0,48 m/s) mentäessä. Suoritetuissa kokeissa pystysuorat etenemisnopeudet olivat suurempia jyrkissä kuin loivissa portaissa. Etenemisnopeus hidastui ylöspäin mentäessä pitkissä portaissa 15–39 % portaiden pituudesta ja kaltevuudesta riippuen; laskeutumisnopeuksissa vastaavaa trendiä ei voitu havaita. Vastavirtaus hidasti portaita ylöspäin tehtävää letkuselytystä n. 24 %. Myötävirtaus hidasti portaita alaspäin tehtävää pelastamista n. 41 %. Alaspäin poistuvien henkilöiden eteneminen hidastui vastaavissa tilanteissa n. 32 % (letkuselytys vastavirtaan) ja n. 22 % (pelastaminen myötävirtaan).</p> <p>Hankkeessa tehtiin myös Aalto-yliopiston opiskelijoilla vastavirtakokeita 2,7 m leveässä käytävässä, jossa suurehkoa pääjoukkoa vastaan käveli alle kymmenen hengen kokoisia vastavirtaryhmiä niin, että joukot kohtasivat toisensa käytävän mutkassa, jolloin ne eivät voineet reagoida toisiinsa ennakoita. Vain vastavirtaryhmän koolla nähtiin olevan pientä vaikutusta pääjoukon etenemiseen. Kaiken kaikkiaan pääjoukon eteneminen oli varsin sujuvaa, ja selkeää kaistoittumista oli havaittavissa, eli samaan suuntaan menevät ihmiset pyrkivät seuraamaan toisiaan. Lopputulemana kokeista voidaan sanoa, että pienehkön vastavirtaan kulkevan ryhmän vaikutus pääjoukon liikkeeseen on hyvin vähäistä, eli esimerkiksi henkilökunnan (laivat) tehtävistä johtuva vastavirtaus ei juurikaan vaikuta poistuvien henkilöihin vaakasuurissa käytävissä. Portaikoissa tilanne voi olla toinen johtuen porrasaskelmien vaikutuksesta ihmisten mahdollisuuteen väistää toisiaan tehokkaasti.</p> <p>Näkyvyyden heikkenemiseen liittyvät kokeet tarjosivat geometrian, jossa kukaan koehenkilöistä ei ollut käynyt aiemmin. Kirjallisuuden perusteella vastaavia näkyvyyden heikkenemiseen liittyviä kokeita oli suoritettu aiemmin vain kaksi, jotka nekin poikkesivat toisistaan. Tutkimusilmioina haluttiin tarkastella yksikertaisessa geometriassa (käytävä) asteittain heikentyvän näkyvyyden vaikutusta kävelynopeuteen ja samalla tutkia reitin oppimista. Kokeet suoritettiin yksilötasolla. Vertailuryhmän (ryhmä 1) suoritusta tarkasteltaessa havaittiin, että absoluuttiset kävelynopeudet pysyivät kokeiden 1–3 välillä jokseenkin samoina, mutta pääsääntöisesti suurempina kuin muilla ryhmillä vastaavissa kokeissa. Samoin kyselyn tuloksista oli pääteltävissä samainen trendi. Tämä selittyi osaksi juuri geometrian oppimisella ja koetilanteeseen totuttamisella. Asteittain heikentyneen näkyvyyden havaittiin laskevan kävelynopeuksia yleisesti ottaen. Muutos kokeiden ääritilanteiden välillä tilan kävelynopeuksissa oli kaikki tulokset huomioiden n. 1,4–1,5 m/s:stä 0,4–0,5 m/s:iin. Lukuarvot ovat aavistuksen suurempia kuin vastaavat alan kirjallisuudessa esitetyt arvot ovat.</p> <p>Tämän tutkimuksen tulokset tarjoavat määrällisen ja laadullisen tietopaketin ennen kaikkea geometrian ja ympäristön vaikutuksesta poistumistilanteeseen. Tietoja voidaan hyödyntää ja käyttää yleisesti poistumisturvallisuuden kehitystyössä ja arvioinnissa, eräänä sovellusesimerkkeinä esim. korkeiden rakennusten ja maanalaisten tilojen suunnittelu.</p>
ISBN, ISSN	ISBN 978-951-38-7906-8 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/publications/index.jsp">http://www.vtt.fi/publications/index.jsp</a> ) ISSN 2242-122X (URL: <a href="http://www.vtt.fi/publications/index.jsp">http://www.vtt.fi/publications/index.jsp</a> )
Julkaisu-aika	Joulukuu 2012
Kieli	Suomi, englanninkielinen tiivistelmä
Sivumäärä	134 s. + liitt. 22 s.
Projektin nimi	TULPPA (Tulipalon aikaisen poistumisen ja pelastamisen ääritilanteita)
Toimeksiantajat	Palosuojelurahasto, Abloy Oy, sisäasiainministeriö, ympäristöministeriö, L2 Paloturvallisuus Oy, VTT
Avainsanat	Spiral stairs, human flow, counter flow, low visibility, evacuation experiments, bottleneck situation, human behaviour, fire fighting, rescue operation
Julkaisija	VTT PL 1000, 02044 VTT, Puh. 020 722 111



Title	<b>On bottleneck scenarios in evacuation design</b> <b>An experimental study</b>
Author(s)	Tuomo Rinne, Terhi Kling, Peter Grönberg & Timo Korhonen
Abstract	<p>This publication represents experimental results and observations of four different setups relating to counter flow situations between fire fighters and evacuees. Human movement and bottle neck situations in stairwells and doorways were also examined. In addition, experiments related to a route choice, door selection, and gradually decreased visibility conditions were carried out.</p> <p>The experiments were conducted separately and under controlled circumstances. The subjects (evacuees) were conscripts and students of Emergency Services College and Aalto University. Physical condition of the subjects was good evaluated in terms of Cooper-test results and body mass index (BMI) values.</p> <p>In door geometry related scenarios six tests were performed. All six tests kept inside several sub-scenarios. Among others, following scenarios were performed: door leafs' effects to human flow, a queue forming, congested situations, and usage of different lock devices. For instance, queue movement and the actions of it (route choice, walking speed, reaction, and counter flow situations) were controlled by the first persons in line. Tests including fire fighters' and subjects' counter flow situations were analogical to two normal subjects' queue counter flow situations in terms of measured human flow values and questionnaire answers. Another test setup showed that the subjects managed to break a green latch cover eight (8) times out of 18 (44%), which can be considered as a poor result. Nevertheless, this result can guide fire drills so that people and staff would notice better all safety devices – especially locking related devices in buildings.</p> <p>In stairwell related experiments, observations were noticed in a vertically long stairs where travelling speed decreased during rise. In spiral stairs, walking speed should be referred as a vertical speed (neither horizontal nor inclined speed) unless exact length of the walking path is known. The quantitative values for vertical walking speed were 0.22–0.39 m/s (upwards) and 0.33–0.48 m/s (downwards). The percentage decrease of vertical walking speed was 15–39 % (upwards) depending on the length and the slope of the spiral stairs. Similar phenomenon was not observed when going downwards. A counter flow situation upwards with normal subjects and fire fighters decreased the fire hose clearance time by 24%. Bypass flow decreased rescue operation duration by 41%. Downward walking speed of evacuees decreased 32% (counter flow) and 22% (bypass flow during rescue operation).</p> <p>Counter flow experiments were carried out also in a corridor, where two minor groups separately walked towards one bigger group. The geometry was set so that the approaching groups did not notice each other because corner blocked the view at the starting point. The minor group size was only parameter affecting bigger group results in terms of walking speed. Other observations were found where people formed lines (i.e. followed others) during tests. The results can be generalized for example situations where staff is moving towards evacuating people. Our results suggest the effect is quite little and the movement of major group does not become disturbed.</p> <p>The experiment related to gradually decreased visibility conditions were performed in geometry that no one evacuee had seen beforehand. In general, only few experiments handling variable visibility conditions were done in literature. All tests were performed at individual level, where first group members carried out four different scenarios in different visibility conditions. Other three groups (2nd–4th) were performing only one test each with constant visibility. First scenario had visibility at least 26 m (group 1), the second 10–12 m (groups 1 and 2), the third 5–7 m (groups 1 and 3), and the fourth up to 0.25 m (groups 1 and 4). Taken into account all the results, the walking speeds varied from 1.4–1.5 m/s (clear conditions) to 0.4–0.5 m/s (visibility up to 0.25 m).</p>
ISBN, ISSN	ISBN 978-951-38-7906-8 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/publications/index.jsp">http://www.vtt.fi/publications/index.jsp</a> ) ISSN 2242-122X (URL: <a href="http://www.vtt.fi/publications/index.jsp">http://www.vtt.fi/publications/index.jsp</a> )
Date	December 2012
Language	Finnish, English abstract
Pages	134 p. + app. 22 p.
Name of the project	TULPPA
Commissioned by	Fire Protection Fund, Abloy Oy, Ministry of the Interior, Ministry of the Environment, L2 Fire Safety Ltd, VTT Technical Research Centre of Finland
Keywords	Spiral stairs, human flow, counter flow, low visibility, evacuation experiments, bottleneck situation, human behaviour, fire fighting, rescue operation
Publisher	VTT Technical Research Centre of Finland P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland, Tel. 020 722 111

## Mitoittavat tilanteet tulipalon aikaisessa poistumisessa

### Kokeellinen tutkimus

Julkaisussa esitetään kokeelliseen tutkimukseen perustuen tuloksia ja havaintoja neljästä erilaisesta koeasetelmasta, jotka liittyvät mm. pelastushenkilöstön ja poistuvien ihmisten vastavirtaustilanteisiin ja ihmisten liikkumiseen poistumisturvallisuuden kannalta mitoitavimmissa rakennuksen kohdissa, kuten portaikoissa ja oviaukoissa.

Lisäksi hankkeessa tarkasteltiin kulkureittien ja ovien valintaan liittyviä tilanteita ja ihmisten liikkumista näkyvyyden ollessa rajoitettua. Tulokset tarjoavat määrällisen ja laadullisen tietopaketin ennen kaikkea geometrian ja ympäristön vaikutuksesta poistumistilanteeseen. Näitä tietoja voidaan käyttää niin suunnittelussa, mallien kehitystyössä kuin myös pelastustoiminnan tukena.

ISBN 978-951-38-7906-8 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)  
ISSN 2242-122X (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

