

Sisekaitseakadeemia

Päästekolledž

Janno Pajupuu

ÜLERÕHUVENTILATSIOONI EFEKTIIVSUS SISETULEKAHJU  
KUSTUTAMISE ALGFAASIS

Lõputöö

Juhendaja:

Feliks Angelstok, PhD

Tallinn 2011

# ANNOTATSIOON

## SISEKAITSEAKADEEMIA

Kolledž: Päästekolledž	Kuu ja aasta: Mai 2011
Töö pealkiri: Ülerõhuventilatsiooni efektiivsus sisetulekahju kustutamise algaasis	
Töö autor: Janno Pajupuu	Olen nõus oma lõputöö kättesaadavaks tegemisega elektroonilises keskkonnas.  Allkiri:
<p>Lühikokkuvõte: Antud lõputöö on kirjutatud teemal "Ülerõhuventilatsiooni efektiivsus sisetulekahju kustutamise algaasis". Töö põhiosa maht on 40 lehekülge ning töös on 13 joonist. Töö on kirjutatud eesti keeles, võõrkeelne kokkuvõte on inglise keelne.</p> <p>Eestis ei kasutata ülerõhuventilatsiooni süsteemselt, olgugi, et selle teostamiseks vajalik varustus on olemas igal päästeautol. Antud lõputöö eesmärgiks on selgitada ülerõhuventilatsiooni kasutamise mõju sisetulekahju kustutamise algaasis - eesmärgi saavutamiseks viis autor läbi intervjuu Ühendkuningriikide taktikalise ventilatsiooni eksperdiga, jälgis mõningaid demonstratsioone ning analüüsis Ameerika Ühendriikides ning Ühendkuningriikides läbi viidud katsete tulemusi. Iga katse oli läbi viidud kaks korda identsetes tingimustes - üks katse naturaalse ventilatsiooniga, teine ülerõhuventilatsiooni kasutades - autor võrdles katsete tulemusi ning nendele toetudes tegi oma järeldused ülerõhuventilatsiooni kasutamise efektiivsusest.</p> <p>Oma töös teeb autor ettepaneku koostada õppematerjal hilisemaks ülerõhuventilatsiooni taktikalise juhendi koostamiseks ning lülitada ülerõhuventilatsiooni süsteemne õpetamine Eesti päästeala õppeasutuste õppekavasse.</p>	
Võtmesõnad: ülerõhuventilatsioon, ülerõhuventilaator, sisetulekahju, suitsu ja põlemisgaaside eemaldamine	
Võõrkeelsed võtmesõnad: positive pressure ventilation, blower, compartment fire, smoke removal	
Säilitamise koht: Sisekaitseakadeemia raamatukogu	
Kaitsmisele lubatud	
Kolledži direktor: Margus Möldri	Allkiri:
Vastab lõputöö nõuetele	
Juhendaja: Feliks Angelstok	Allkiri:

# SISUKORD

<b>ANNOTATSIOON .....</b>	<b>2</b>
<b>SISUKORD .....</b>	<b>3</b>
<b>MÕISTETE JA LÜHENDITE LOETELU .....</b>	<b>5</b>
<b>SISSEJUHATUS.....</b>	<b>6</b>
<b>1. ÜLERÕHUVENTILATSIOONI ÜLDISELOOMUSTUS .....</b>	<b>8</b>
1.1. ÜLERÕHUVENTILATSIOONI ÜLDPÕHIMÕTTED .....	8
1.2. ÜLERÕHUVENTILATSIOONI AJALUGU .....	9
1.3. ÜLERÕHUVENTILATSIOONI TEOSTAMINE .....	9
1.4. ÜLERÕHUVENTILATSIOONIGA SEOTUD MÜÜDID.....	11
<b>2. VENTILATSIOONISEADMED JA LISAD.....</b>	<b>12</b>
2.1. ÜLERÕHUVENTILAATORID .....	12
2.1.1. Veorihmaga ülerõhuventilaatorid.....	12
2.1.2. Otseülekandega ülerõhuventilaatorid .....	13
2.1.3. Elektrimootoriga ülerõhuventilaatorid .....	13
2.1.4. Hüdraulilised veemootoriga ülerõhuventilaatorid.....	14
2.2. VENTILAATORITE LISASEADMED.....	14
2.3. ERINEVAID ÜLERÕHUVENTILAATORITE TIIVIKUID .....	15
2.3.1. Traditsiooniline propellerite tekitatud õhukoonus.....	15
2.3.2. Turbotehnoloogial põhinev õhukoonus .....	16
2.3.3. Lineaarse õhuvoolu tehnoloogia.....	17
2.3.4. ÜRV soovituslikud tehnilised parameetrid .....	17
<b>3. TÖÖ UURIMUSLIK OSA.....</b>	<b>19</b>
3.1. INTERVJUU ÜLERÕHUVENTILATSIOONI EKSPERDIGA .....	19
3.1.1. Metoodika.....	19
3.1.2. Püstitatud eesmärkide täitmine.....	20

3.1.3. Järeldused .....	22
3.2. KATSETE ANALÜÜS .....	22
3.3. KATSED VÄIKESES RUUMIS (NIST) .....	23
3.3.1 Katse kirjeldus .....	24
3.3.2. Katse tulemused.....	25
3.3.3. Katse analüüs.....	27
3.4. KATSED MITMEKORRUSELISES TREENINGHOONES 1 (NIST).....	27
3.5. KATSED MITMEKORRUSELISES TREENINGHOONES 2 (NIST).....	29
3.6. KATSED MITMEKORRUSELISES TREENINGHOONES 3 (NIST).....	31
3.7. KATSED ÜHENDKUNINGRIIGI PÄÄSTEKOLLEDŽIS.....	34
<b>KOKKUVÕTE.....</b>	<b>35</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>37</b>
<b>VIIDATUD ALLIKATE LOETELU .....</b>	<b>38</b>
<b>TABELITE JA JOONISTE LOETELU .....</b>	<b>40</b>
<b>LISA 1. INTERVJUU KÜSIMUSED SUURBRITANNIA ÜLERÕHUVENTILATSIOONI EKSPERDILE .....</b>	<b>41</b>
<b>LISA 2. VÄIKSES RUUMIS TOIMUNUD KATSETE TEMPERATUURIMUUTUSED .....</b>	<b>43</b>
<b>LISA 3. SUITSU JA PÕLEMISGAASIDE LEVIK MITMEKORDSES TREENINGHOONES (KATSE 1) .....</b>	<b>44</b>
<b>LISA 4. HAPNIKUSISALDUS MITMEKORDSES HOONES.....</b>	<b>45</b>
<b>LISA 5. ÜHENDKUNINGRIIGI PÄÄSTEKOLLEDŽIS KATSETE TEMPERATUUR JA NÄHTAVUS .....</b>	<b>46</b>
<b>LISA 6. ASE TULEKOLDE JAOKS TREENINGHOONES .....</b>	<b>47</b>
<b>LISA 7. VIDEOMATERJALID KATSEST VÄIKESES RUUMIS.....</b>	<b>48</b>

## MÕISTETE JA LÜHENDITE LOETELU

ÜRIV – ülerõhuventilaator

ÜV - ülerõhuventilatsioon

Sisenemisava/sisselaskeava – ava väliskeskkonna ja hoone vahel, mille kaudu sisenetakse (tavaliselt uks)

Väljalaskeava – ava, mille kaudu lastakse väliskeskkonda hoone põlemisgaasid (aken või ka päästjate poolt tekitatud ava)

NIST – National Institute of Standards and Technology – USA Riiklik Standardite ja Tehnoloogia Instituut

## SISSEJUHATUS

Päästeteenistuse peaesmärgiks on elude päästmine, selleks on Päästeteenistuses olevatel päästeautodel ka vastav varustus. Autodel olevat tehnikat on palju ning ruum on nende jaoks piiratud, seega peab iga varustuselement end õigustama. Süvenedes ülerõhuventilatsiooni kasutamise võimalustesse, on selge, et ülerõhuventilaatoreid saaks kasutada kordades efektiivsemalt, kui seda tehakse praegu - kasutatakse taktikat, mis on jäänud aastakümnete jooksul muutumatuks, samas kui on lisandunud uusi varustuse elemente (nt infrapuna termokaamera), mis lihtsustavad päästetöid ning mille kombineerimisel ülerõhuventilatsiooniga saaks parema tulemuse.

Päästeautodel olevaid ülerõhuventilaatoreid kasutatakse valdavalt ainult ruumide tuulutamiseks kustutustööde lõppfaasis – ei olda kindlad ülerõhuventilatsiooni mõjust tulekahju arengule - kuidas käitub tulekahju ning kuidas muutuvad keskkonnatingimused võimalikele kannatanutele ja päästjatele.

Eriti oluline on uurida kas ülerõhuventilatsiooni kasutamine tulekahju kustutamise algfaasis jahutab ruume ning suurendab hingatava õhu kontsentratsiooni võimalikele kannatanutele, kuna tehnika arenedes on muutunud ka väga palju hoonete sisustuse materjalid: ruumides leidub väga palju plaste ja muid sünteetilisi materjale, mis eraldavad põledes väga mürgiseid ühendeid ning mille põlemiskoormus on suur – põlemiskoormus on suurenenud neli korda võrreldes 1950ndatega (Garcia, Kauffmann ja Schelble, 2006:44).

Antud lõputöö aktuaalses seisnebki selles, et üle kümne aasta on olnud olemas varustus ülerõhuventilatsiooni teostamiseks tulekustutustööde algfaasis, samas kui iga aastaga muutub tulekahju poolt tekitatud keskkond inimorganismile aina vaenulikumaks, kuid siamaani pole üheselt selgeks tehtud, kas ülerõhuventilatsiooni kasutamine on efektiivne ja õigustatud. Autori hinnangul tuleb selgus tuua võimalikult kiiresti, kuna antud meetodi tõhusaks osutamisel võib see päästa paljusid elusid.

Kõigele lisaks on veel levinud müüt, et ülerõhuventilaatori kasutamine tulekahjude kustutamise algfaasis suurendab oluliselt tuleohtu ning riskid selle kasutamisel on liiga suured mistõttu neid kustutusrännaku teostamisel ei kasutata.

Käesolevale lõputööle püstitati **hüpotees**: Ülerõhuventilatsiooni kasutamine ei intensiivistata tulekahju levikut ega muuda potentsiaalse tulekahju ohvri tervislikku seisundit halvemuse poole.

Lõputöö **eesmärk** on uurida ning võrrelda ÜV-d ja loomulikku ventilatsiooni ning selgitada kas ÜV kasutamine tulekahju algfaasis on efektiivne.

Autor usub, et tänu käesolevale lõputööle saadakse aru ülerõhuventilatsiooni kasutegurist kustutamise algfaasis ning väljatöötatud taktikaliste juhendite puhul hakatakse laiemalt kasutama ülerõhuventilatsiooni kustutusrännaku teostamisel.

# 1. ÜLERÕHUVENTILATSIOONI ÜLDISELOOMUSTUS

## 1.1. Ülerõhuventilatsiooni üldpõhimõtted

Ülerõhuventilatsiooni (edaspidi: ÜV) põhimõte füüsikalise mõistes põhineb Pascali seadusel - rõhk avaldub kinnises anumast mistahes anuma osas võrdselt, st rõhk on igal pool on sama. Juhul kui anumast mingis punktis rõhk tõuseb siis tõuseb rõhk võrdselt ka igas teises anuma punktis.

Näiteks võib võtta korteritulekahju. Korteritulekahju puhul pääseb valla väga palju energiat ning see tõstab ruumi üldist temperatuuri. Temperatuuri tõustes gaasid paisuvad ning sellest tulenevalt nende tihedus väheneb. Kui gaasid on aga piiratud ruumis, siis temperatuuri tõus tekitab ka ruumi rõhu tõusu. Ruumis olevad gaasid hakkavad liikuma madalama rõhuga alasuunas. Need rõhumuutused tingivad põlemisgaaside väljumise ning värske õhu sisenemise ruumi. See õhtuvahetus võib olla tingitud hoone enda ebatihedustest, planeerimata ventilatsioonist või taktikalisest ventilatsioonist. (Hartin 05.03.2011)

ÜV antud lõputöö kontekstis on ruumi ventileerimine kasutades selleks päästeautodel olevaid mehhaanilisi ülerõhuventilaatoreid (edaspidi: ÜRV), tekitades ruumides ülerõhu ning surudes välja põlemisgaasid ning suitsu. ÜRV poolt tekitatud rõhk ületab tule poolt tekitatud rõhku ligi neljakordselt (Garcia jt 2006:126). Töös pööratakse tähelepanu ülerõhuventilaatorite kasutamisele kustutusrünnaku ajal, paralleelselt voolikuliinidega hargnemisel, mitte harjumuspäraselt kustutusrünnaku lõppedes ruumide suitsust vabaks ventileerimiseks.



Joonis 1. Ülerõhuventilatsiooni üldpõhimõte (autor)



## 1.2. Ülerõhuventilatsiooni ajalugu

Kuigi jutud ja arutelud ülerõhulise ventilatsiooni taktikast olid liikvel juba alates 1950ndatest, loeb autor oma töös ülerõhuventilatsiooni alguseks aastat 1973, mil hakkas ringlema kiri uudsest kasutusele võetavast rõhulisest ventilatsioonist Los Angeles'i tuletõrjekomandodes. Uudse ventilatsioonitaktika puhul paigutatakse ventilaatorid hoonest väljapoole. Hoonele tekitatakse kaks ava – üks värske õhu sissepuhumiseks, teine põlemisgaaside hoonest väljumiseks. Siiski koheselt ei hakatud uut ventilatsioonitaktikat välja töötama ning möödus kümme aastat enne kui kirjutati ajakirjas American Fire Journal artikkel ÜV eelistest. 1984ndal aastal, pärast nimetatud artikli lugemist tehti Austinis, Texas (USA) katse mille tulemus näitas ÜV suurt efektiivsust. Aasta hiljem ehitati Austinis spetsiaalne mobiilne ülerõhuventilatsiooni agregaat, milleks oli kastiga sõiduauto, mille kasti paigaldati 1,5 meetrise läbimõõduga propeller mille ajas pöörlema Volkswageni sõiduauto mootor. Kuna see agregaat (Smokebuster) oli hoonete tulekahjudel väga efektiivne, siis levis ülerõhuventilaatori selline kasutamine kiiresti ka mujale Ameerika Ühendriikidesse ning varsti sealt edasi ka Euroopasse. (Mittendorf, J. 25.02.2011)

Ameerika Ühendriikides on seega selline taktika juba veerand sajandit vana ning on levinud sealt paljudesse teistesse riikidesse. Samuti ollakse antud taktikast teadlikud ka Eestis, kuid erinevatel põhjustel ei ole seda taktikat laialdaselt kasutatud, hoolimata faktist, et kõik vajalikud töövahendid selleks on juba enam kui kümme aastat olemas olnud ning samuti on lisandunud uusi varustuselemente, mis seda taktikat toetavad.

## 1.3. Ülerõhuventilatsiooni teostamine

Ülerõhuventilatsiooni kasutamisel tulekahju kustutamise algfaasis paigutatakse hoone sisenemisava juurde (tavaliselt välisuks) ülerõhuventilaator ning see käivitatakse, kusjuures peab jälgima, et ülerõhuventilaatori asend oleks sisenemisavaga risti (st õhuvoolu ei juhita hoonesse). Samal ajal on päästjad valmis sisenema hoonesse/ruumi ning ootavad meeskonnavanema käsku sisenemiseks (Garcia jt 2006:117). Olenevalt taktikast avatakse/tekitatakse väljalaskeava enne päästjate hoonesse sisenemist (päästjad sisenevad hoonesse/ruumi nii, et põlemisgaasid nende ees taanduvad) või tekitavad selle päästjad, kes

ise sisenevad tulekahju ruumi. Antud lõputöös ei uuri autor ülerõhuventilatsiooni erinevaid taktilisi nüansse ning erinevusi vaid analüüsib ÜV rakendamisega kaasnevaid muutusi. Pärast väljalaskeava tekitamist tuleb pöörata ÜRV nii, et see puhub õhku hoonesse. Hoonesse sisenevatel päästjatel peab KINDLASTI kaasas olema kustutusvahend (soovitavalt survestatud voolikuliin).

Pärast tulekolde kustutamist, ajal, mil veel ÜRV töötab, peavad päästjad kindlasti viibima ruumis kus on/oli tulekolle, eesmärgiga kustutada tulekolle või jälgida, et ei tekiks järelsüttimisi.

Väljumisava tegemisel on oluline:

- teha ava võimalikult tulekolde lähedale
- olemasoleva väljumisava (aken) puhul selle kasutamine ning vajadusel selle suuremaks tegemine
- sobiva ava puudumisel tekitada ava. Ava tekitab päästja tuginedes oma otsustusele ning kogemusele. Kui ventilatsiooni tulemus ei ole positiivne, siis on soovituslik kasutada infrapuna termokaamerat, et leida parem asukoht väljumisavale.
  - Kui väljumisava ei anna soovitud tulemusi, siis tekita lähedal olevasse alasse (kõrvalruumi) uus väljumisava.
  - Kui ka siis ei ole ventilatsioon efektiivne, siis kontrollida naaberkorruseid. Samuti tuleb arvestada, et keldripõlengu puhul tuleb suure tõenäosusega tekitada mitu sisenemisava.
- võimalusel kasutada aknaid uste asemel, kuna uks hoiab kinni põlemisgaase ning kuumust ning tuues need ka põranda tasemele.

Kui sisenemisava on tehtud alasse, mis ei ole tulekahju poolt kaasatud, siis ei ole ka karta tule levikut sinna. Suure hulga värsket õhku jahutav mõju on piisav, et takistada tule levikut sinna alasse. (Garcia jt 2006:126)

#### 1.4. Ülerõhuventilatsiooniga seotud müüdid

*Ülerõhuventilatsiooni kasutamine sisetulekahju kustutamise algfaasis annab vastupidise efekti soovitud – õhuvool aitab levida tulel ruumidesse, kus enne ei põlenud.*

Tegelikkuses, kui taktika on korrektselt rakendatud ning väljalaskeava olemas, siis liiguvad põlemisgaasid väljalaskeava suunas (teevad seda ka ilma ÜRV-ta, kuna väliskeskkonas on madalam rõhk, kuid ÜRV kiirendab tunduvalt) selle asemel et levida teistesse ruumidesse.

*Nimetatud kustutustaktika kasutamise puhul tulekahju väljub kontrolli alt, kui tuli on levinud hoone konstruktsioonis olevate tühimikeni (tapid, talad, sarikad). Sama oht on ka puitkarkassiga hoonete puhul, kui tuli pääseb seinte sisse.*

Tegelikkuses sellist ohtu ei ole, kuna tuli liigub alale, kus on madalam rõhk. Eeldades, et need tühimikud on kinnised (st hoonel ei ole ehitusvigu) siis ei teki neis ka alarõhku. Need tühimikud võivad küll põleda, kuid nende põlemisintensiivsus on sama mis ülerõhuventilaatori mittekasutamisel.

(Garcia ja Kauffmann 05.03.2011)

## 2. VENTILATSIOONISEADMED JA LISAD

### 2.1. ÜLERÕHUVENTILAATORID

Tulekustutus- ja pääste töödel kasutamise eesmärgina on loodud väga palju erinevaid ülerõhuventilaatoreid. Paljud neist, mida kasutatakse ÜV-l põhineva kustutusrännaku teostamisel on niivõrd suure tootlikkuse ning võimsusega, et nende jaoks on eraldi autod mis neid sündmuskohale toovad. Antud töös keskendutakse ÜRV-dele, mis on oma mahult väiksemad ning mis on spetsiaalselt väljatöötatud kasutamiseks kustutus- ja päästetööl ning mahuvad päästeautodele.

Kõikidel allpool nimetatud ÜRV-del on sama tööpõhimõte – jõuallika mõjul ajada ringi tiivikut mis omakorda tekitab suunatud õhu liikumist. Oluline on igat tüüpi ÜRV juures nende tootlikkus, mis on välja toodud m<sup>3</sup>/min, kuna operatiivteenistuses on tootlikkus minutis palju mõistetavam – saab ruumi ruumala arvestades palju selgemalt aru kui suure osa on ÜRV ühe minutiga võimeline ventileerima. Lisaks juhtub harva kui ventilaator töötab tund või rohkemgi).

#### 2.1.1. Veorihmaga ülerõhuventilaatorid

Veorihmaga ÜRV-de puhul on bensiinimootor paigutatud raami allaossa, suurendades raskuskeskme langetamisega stabiilsust, ka on mootori eluiga pikem kui otseülekandega mootoril, kuna võllile mõjuvad pinged on väiksemad. Veorihma ülekande aitab vähendada ka ÜRV vibratsioone – ÜRV ei „jaluta minema“. Tootlikkus jääb vahemikku 470 kuni 716 m<sup>3</sup>/min. (Tempest Technology Corporation 05.03.2011)

Joonis 2. Veorihmaga ÜRV ([www.tempest-edge.com](http://www.tempest-edge.com))



### 2.1.2. Otseülekandega ülerõhuventilaatorid

Otseülekande puhul on tiivik paigaldatud otse bensiinimootori võlli külge, vähenadades sellega ÜRV massi ja suurust. Otseülekandega ÜRV -i tööga kaasneb tugev vibratsioon. Tootlikkus jääb vahemikku 340 kuni 471 m<sup>3</sup>/min. (Tempest...05.03.2011)



Joonis 3. Otseülekandega ÜRV ([www.tempest-edge.com](http://www.tempest-edge.com))

### 2.1.3. Elektrimootoriga ülerõhuventilaatorid

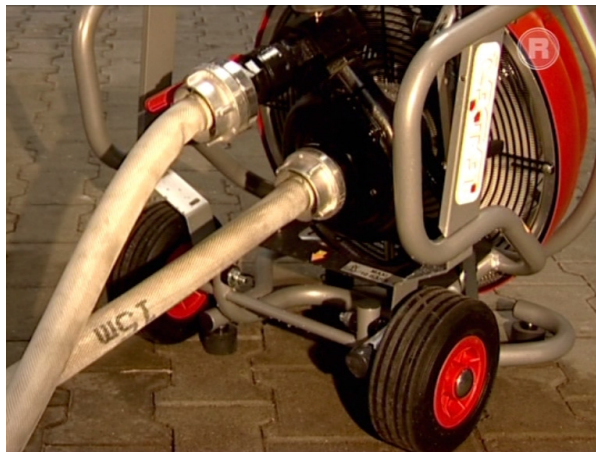
Ehituselt ja tööpõhimõttelt sarnane bensiinimootoriga ÜRV-dega, kui töötab elektrimootoriga – ÜRV-i saab paigaldada ka suitsusesse keskkonda ning ta ei eralda oma töös CO gaase. Eeldab tööks elektrivoolugeneraatori olemasolu. Elektrimootoriga ÜRV-sid on ühe kiirusega, muudetava kiirusega ning sädemevabad. Toon välja ühekiiruselise ÜRV näitajad – 80 kuni 436 m<sup>3</sup>/min. (Tempest...05.03.2011)



Joonis 4. Elektrimootoriga ÜRV ([www.tempest-edge.com](http://www.tempest-edge.com))

#### 2.1.4. Hüdraulilised veemootoriga ülerõhuventilaatorid

Otse veemootori mootori võllile on kinnitatud antistaatiline tiivik. Mootorit ajab ringi läbi mootori juhitud vesi ning ÜRV tootlikkus sõltub mootoris juhitud vee survest. Tootlikkus jääb vahemikku 145 kuni 736 m<sup>3</sup>/min. ÜRV miinuseks on tema piiratud liigutamine sündmuskohal – ÜRV ümberpaigutamist piiravad veega täidetud survevoolikute raskus ning pikkus.



Joonis 5. Hüdraulilise veemootoriga ÜRV (Retten DVD nr 3)

Kõikide ÜRV tootlikkuste vahemik hõlmab mitut mudelit, millest väiksema tootlikkusega mudelit ületab kõige tootlikum mudel mitmekordselt. Üldiselt on ÜRV-d vastavalt tüübile vaid mõne erineva jõuallikaga, tootlikkust tõstavad muud tehnoloogilised ja konstruktsiooni erinevused.

## 2.2. Ventilaatorite lisaseadmed

### Veeudu rõngas

ÜRV-dele on võimalik paigaldada veeudu rõngas, mis lisab puhutava õhule vett tekitades veeudu, mis jahutab maha ümbritseva keskkonna. Sobib hästi ka tolmu ning aerosoolide maha surumiseks. Olenevalt jaotrust on tootlikkus 2-20 liitrit tunnis.

(Tempest...30.03.2011)

Veeudu rõnga kasutamisel tuleb arvestada, et hoones, millesse veeudu puhutakse, ei tohi olla kannatanuid. Seda põhjusel, et kui temperatuur ületab 150°C ning atmosfääris on ka niiskust, siis on kannatanu ellujäämise võimalus nullilähedane (Garcia jt 2006:11). Samuti on katsed näidanud, et veeudu ei kandu ÜRV-st väga kaugemale, kuna pihustatavad veesakesed on liiga väikesed ning seetõttu ei lendu need väga kaugemale (Boath 05.04.2011)



Joonis 6. Veeudu rõngas ([www.tempest-edge.com](http://www.tempest-edge.com))

### **Kõrgkordse vahu element**

Võimalik on ÜRV-dele paigaldada ka kõrgkordse vahu element, kuid enamjaolt toodetakse vahugeneraatoreid siiski ühtse seadmena. Antud lõputöö seisukohalt pole vahuseadmed aktuaalsed ning nendel rohkem ei peatuta.

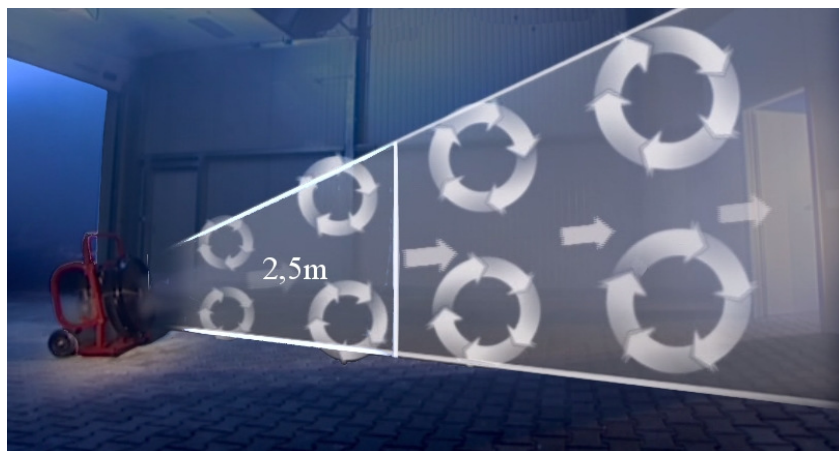
## **2.3. Erinevaid ülerõhuventilaatorite tiivikuid**

Lisaks erinevatele ajamitüüpidele on oluline arvestada ka sellega, millist õhuvoolu antud ÜRV tekitab, kuna erinevatel tüüpidel on erinevad taktikalised nüansid ning neid on oluline teada nende kasutamisel.

### **2.3.1. Traditsiooniline propellerite tekitatud õhukoonus.**

ÜRV-d, mis kasutavad propelleritega tekitatud õhukoonuseid on hetkel enimkasutatavad maailmas, seda seetõttu, et teised tehnoloogiad on lihtsalt niivõrd uued. Antud õhukoonusega ÜRV kasutamisel saab maksimaalse efekti kasutades seda 2,5m kaugusel sisenemisavast. Seda põhjusel, et antud õhuvoolul tekivad juba kohe alguses turbulentsid, mis aeglustavad puhutava õhu liikumiskiirust ning mida võimendavad kõikvõimalikud ebatasasused (näiteks

maapinnal). 2,5m on kaugus kus õhuvoolu hulk ja turbulentside tekitatud kiiruse kadu on optimaalne (sisenemisava omakorda tekitab veel lisaturbulentse ning seetõttu vähenebki sissepuhutava õhu hulk liiga kaugale paigutades). (Retten DVD nr 3 2009). Lisaks tuleb antud ÜRV-d paigutada nii, et õhukoonus kataks terve sisenemisava – kuna sisenemisavad on enamjaolt kandilised ning õhukoonuse ristlõige on ümmargune, siis ca  $\frac{1}{3}$  õhust ei jõua hoonesse/ruumi. Seega on õhukadu antud tüüpi ventilaatoril juba väga suur ning lisaks tuleb arvestada, katsete tulemusena on selgunud, et ükski ÜRV tüüp ei suuda tagada täielikku katet sisenemisavale (st isegi juhul kui ventilaatori paigutus on ideaalne väljub õhku/põlemisgaase ka sisenemisavast) (Boath 05.04.2011)

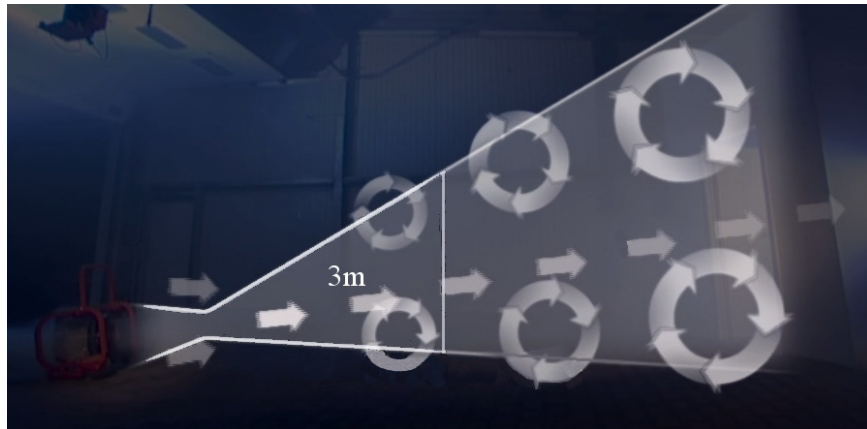


Joonis 7. Traditsiooniline õhukoonus (Retten DVD)

### 2.3.2. Turbotehnoloogial põhinev õhukoonus

Selline ÜRV töötab ejektori põhimõttel. ÜRV tekitab õhukoonuse, mis alguses kitseneb mitte ei laiene. Alas, kus õhukoonus kitseneb (ca 1m ulatuses pärast ÜRV-d), tekitab see ejektori efekti ning haarab kaasa lisaõhku, mille tõttu suureneb sissepuhutava õhu hulk kuni 15%. Antud õhukoonust kasutades tekivad turbulentsid alles 2m kaugusel ning maksimaalse efekti saab ÜRV paigutamisel 3m kaugusele sisenemisavast. (Retten 2009)

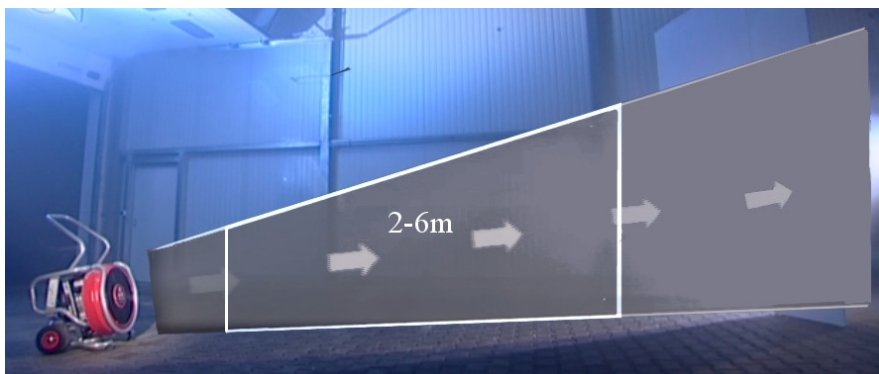




Joonis 8. Turbotehnoloogial põhinev õhukoonus (Retten DVD)

### 2.3.3. Lineaarse õhuvoolu tehnoloogia

Sellel ÜRV-l on turbiini labasid optimeeritud nii, et turbulents tekib minimaalselt ning seetõttu tekib sirge ja lineaarne õhuvool. Turbulents tekib alles 3m pärast kuid see ei mõjuta õhuvoolu. Parima efekti saamiseks tuleb paigutada ÜRV 2-6m kaugusele sisenemisavast. Selline suur vahemik on hea, kuna võimalus, et ÜRV paigutatakse valele kaugusele on väike. Ka nimetatud ÜRV tüübi puhul toimib ejektori efekt ning lisaks ei ole vaja katta tervet sisenemisava õhukoonusega. ÜRV sobib hästi ka trepikodade ventileerimiseks ning ei kaota tootlikkuses ka tugevalt kaldu töösendis. (Retten 2009)



Joonis 9. Lineaarse õhuvooluga ülerõhuventilaator (Retten DVD)

### 2.3.4. ÜRV soovituslikud tehnilised parameetrid

Ülerõhuventilaatori hankimisel peaks lisaks eelmainitud tehnoloogiatele järgima ka muid aspekte, milleks on:

- ÜRV-l peaks olema võimalikult vähe nuppe/lüliteid/kraane, et tagada kasutuslihtsus
- ÜRV peab olema suuteline töötama kaldus olekus
- soovitatav tootlikkus oleks 425-566 m<sup>3</sup>/min
- tiiviku labad oleksid võimalikult suure diameetriga – mida suuremad labad, seda rohkem õhku liigutatakse. Tiivikud peaksid olema ühe tükis ning alumiiniumist (tagab väga hea vastupidavuse)
- tiivik peaks olema ümbritsetud kattega, mis kaitseb tiivikut ning parandab tootlikkust
- ÜRV peaks olema võrdlemisi kerge kaaluga, et seda oleks kerge transportida
- ÜRV peaks olema täispuhutavate rehvidega, et seda oleks kerge transportida
- ÜRV peaks olema OHV-mootoriga, et vähendada CO tekkimist mootori tööst
- Väljalaske pikendused ei ole olulised (kuigi mitmed firmad neid pakuvad), kuna ÜRV poolt toodetud CO ei ole märkimisväärne võrreldes tulekahju poolt toodetud CO-ga.

(Garcia jt 2006:90-91)

### 3. TÖÖ UURIMUSLIK OSA

ÜV efekti täpsemaks uurimiseks külastas autor ajavahemikul 04.04.2011-06.04.2011 Euroopa Liidu Ekspertide vahetuse programmi raames Suurbritanniat, kus intervjueris taktikalise ventilatsiooni eksperti.

Ühendkuningriikides veedetud aeg (1,5 päeva) jäi liiga lühikeseks, et läbi viia täpseid ning põhjapanevaid katseid, kuid sellest hoolimata sai autor heita pilgu sealsetele treeningtingimustele ning arutada mitmeid taktikat ja varustust puudutavaid küsimusi kohaliku eksperdiga.

Kuna katsete läbiviimise võimalus langes ära, siis lisaks intervjuule viidi läbi mõned demonstratsioonid, mis võrdlesid erinevate tehnoloogiatega ÜRV-de omadusi töösituatsioonis. Töö uurimuslikus osas toob autor välja intervjuu ÜV eksperdiga ning analüüsib erinevaid varasemalt läbi viidud katseid.

#### 3.1. Intervjuu ülerõhuventilatsiooni eksperdiga

Parema ülevaate saamiseks ÜV-st intervjueris autor Suurbritannias ÜV eksperti Jeff Boath'i.

Parema ülevaate saamiseks ÜV-st külastas autor Suurbritannias asuvat Tyne & Wear'i maakonna tulekustutus- ja päästetööde treeningkeskust Sunderlandis. Autor intervjueris Sunderlandis taktikalise ventilatsiooni eksperti Jeff Boath'i, kes töötab sealses Tuletõrje- ja Päästeteenistuse treeningkeskuses ÜV instruktorite koolitajana.

##### 3.1.1. Metoodika

Autor kasutas intervjuus eelnevalt koostatud küsimustikku (Lisa 1), mis oli eelnevalt saadetud ka intervjueeritavale. Intervjuu ei olnud rangelt küsimustikule orienteeritud ning seetõttu ei olnud vestlus lineaarse ja loogilise ülesehitusega – st vestluse käigus arutati ka muid küsimusi, probleeme ning taktikat, mis ei olnud eelnevalt planeeritud.

Vestluse käigus tutvustas intervjeeritav erinevaid kasutusel olevaid ÜRV-d ning selgitas ÜV kursusel läbiviidavaid katseid – autor tutvus hoonega kus viiakse läbi ka meeskondade (mitte ainult instruktorite) koolitus ning kuidas demonstreeritakse ÜV-d nii, et kõik saavad seda „omal nahal“ tunda.

Intervjuu leidis aset 05.04.2011 Suurbritannias Tyne and Wear-i maakonnas Sunderlandi Tuletõrje- ja Päästeteenistuse treeningkeskuses.

Intervjuu eesmärkideks oli:

- tutvuda Suurbritannia ÜV väljaõppega
- selgitada erinevate ÜRV-de ning lisaseadmete plussid ja miinused ning brittide eelistused varustuse suhtes
- selgitada ÜV ebakorrekse kasutamise tagajärjed
- selgitada välja olukorrad, mille puhul ÜV-d ei kasutata
- selgitada välja, millised on soovituslikud väljalaskeavade suurused ÜV kasutamise puhul

### **3.1.2. Püstitatud eesmärkide täitmine**

Vestluse käigus selgus, et enamus Suurbritannia päästekomandosid kasutavad võimalusel ÜV-d. Selle nimel on aastaid vaeva nähtud ning olgugi, et alguses oli päästjate tasandil tugev vastuseis, siis koolituste käigus, kus päästjad said veenduda ÜV-i efektiivsuses ning proovida erinevate avade kaudu ventileerimist, kadus ka vastumeelsus ja hirm antud taktika kasutamise kohta. Enne koolituse läbimist ei ole meeskondadel lubatud ÜV-d tulekahju kustutamise algfaasis kasutada. Lisaks toimuvad ka regulaarsed harjutused treeninghoones. ÜV koolituse kursuse käigus kasutatakse elavat tuld ning tekitatakse olukord, kus tulekahju oli puhkefaasis, st on reaalne tagasitõmbe tekkimise võimalus.

Tagasitõmbe oht ongi üks suuremaid ohte, mille puhul kaalutakse tugevalt ÜV-i kasutamist, selgitas Boath. Võimalusel püütakse väljaspoolt tekitada väljalaskeava, et tulekahju viia üle vabapõlemisfaasi, mis on päästja seisukohalt palju ohutum, kuna see on etteaimatav. Kui see ei osutu võimalikuks, siis ÜV-d ei kasutata. Boath rõhutas, et väljalaskeava tekitamine aknaklaasi purustamise kaudu peaks olema viimane võimalus, kuna purustatud akna puhul

kaob ära ÜV dünaamika – pärast aknaklaasi lõhkumist ei pruugi olla võimalik seda ruumi ventilatsiooniprotsessist eraldada, st ventilatsioon käib kindlasti läbi selle akna ning juhul kui pärast selgub, et see aken ei ole parim võimalikest väljalaskeavadest, siis ei ole võimalik seda sulgeda ning edasine ventilatsioon ei ole nii efektiivne kui oodatud. Lisaks pärsib see pärast tulekahjut teiste ruumide ventileerimise, mis otseselt ei ole põlenud, kuid mis on täidetud suitsuga.

Boath-i selgitab, et ventilatsiooni ei teostata kindlasti juhul, kui põleva ruumi aknal on inimene, sest vastasel juhul surutakse kõik kuumus ja põlemisel tekkinud mürgised gaasid kannatanu suunas, muutes ta olukorra järsult halvemaks. Samuti ei teostata ÜV-d juhul, kui suitsusukeldumist teostav meeskond asub tulekahju ja väljalaskeava vahelisel alal.

Intervjueeritava sõnul kasutatakse Suurbritannias nii tavalisi (propeller tüüpi) kui ka lineaarse õhuvooluga ÜRV-sid, kuid eelistatumaks on lineaarse õhuvooluga ÜRV-d, kuna on selgunud, et tegelikult ei suuda propeller tüüpi ülerõhuventilaatorid tagada täielikku kaetust sisselaskeavas – ülaosas on ikka null- või lausa negatiivne rõhk. Selle asemel eelistatavad nemad (britid) lineaarse õhuvooluga ÜRV-sid, mille puhul on sissepuhutava õhu hulk suurem (sissepuhutav õhk haarab kaasa lisaks 15% õhku) ning ukse ette paigutamisel ei ole kauguse määramine tähtis. Samuti lisas Boath, et lineaarse õhuvooluga ÜRV-d on praegusel hetkel tunduvalt odavamad võrreldes näiteks propeller-tüüpi ÜRV-dega.

Boath mainis ka, et väljalaskeavade tegemisel on oluline teada, mis tüüpi ÜRV-d kasutatakse – lineaarse õhuvooluga ÜRV-de puhul on sisselaske- ja väljalaskeava ideaalne suhe 1:2, kuid ventilatsioon toimib ka siis kui väljalaskeava suurus on märgatavalt erinev. Tema sõnul peab tavaliste ÜRV-de puhul peab see suhe olema 2:1.

Mis puutub lisaseadmetesse, siis ekspert ei pidanud neid vajalikus, tähtis on vaid ÜRV. Näiteks ÜRV mootori väljalasketoru pikendust Suurbritannias ei kasutata, kuna hoonesse puhutav ÜRV poolt toodetud CO hulk on tühine ning lisaks hakkab väljalasketoru pikendus segama ning kustutusrännaku alustamisel kulutab see väärtuslikku aega. Samuti oleks tema arvates selle autosse paigutamine niigi piiratud ruumi raiskamine. Veeudu rõnga ja hüdraulilise veemootori mittekasutamise põhjuse on autor juba eelnevalt välja toonud (antud intervjuu põhjal).

### 3.1.3. Järeldused

Antud intervjuu põhjal järeldas autor, et ÜV kasutamine tulekustutamise algfaasis on oma olemuselt lihtne, kuid selle kasutuselevõtt mõnevõrra komplitseeritum – ei piisa vaid taktika mõistmisest ning mõnest demonstratsioonist – kindlasti peab meeskondadele läbi viima erinevaid ÜV harjutusi kasutades selleks suitsusukeldumise harjutusmaja, kusjuures majja tekitatakse reaalne tulekahju olukord (mitte ei kasutata külma suitsu või köeta maja kuumaks). Intervjuus selgus, et luues reaalse tulekahjuga sarnased tingimused, oskavad päästjad paremini hinnata tulekahju iseloomu ning ÜV rakendamise võimalust. Kuna katsed peavad toimuma elava tulega, siis on oluline, et kursus toimuks võimalikult kontrollitud olukorras ning selle instruktor peab olema põhjalike teadmistega ÜV-st, et näha ette ning selgitada erinevaid olukordi. Väike-Maarja Päästekooli harjutusväljakul asuv konteinerimaja on sobilik ÜV harjutusteks, kui sinna luua ase tulekolde jaoks (LISA 6).

Uute ÜRV-de hankimisel peaks valima kindlasti lineaarse õhuvooluga ÜRV-d, kuna nende näitajad on paremad praegu Eestis kasutusel olevad ÜRV-d ning ka nende paigutus sündmuskohal on lihtsam. Hinna poolest on lineaarse õhuvooluga ÜRV-d ca 30% odavamad kui muud tüüpi ventilaatorid. Samuti saab nõuda tootjafirmadelt demonstratsioone ning ka näidisekspemplare, et proovida nende kasutamist teenistuses (autor ei soovi ühtegi firmat esile tõsta ning seetõttu jätab firmanimed mainimata).

## 3.2. Katsete analüüs

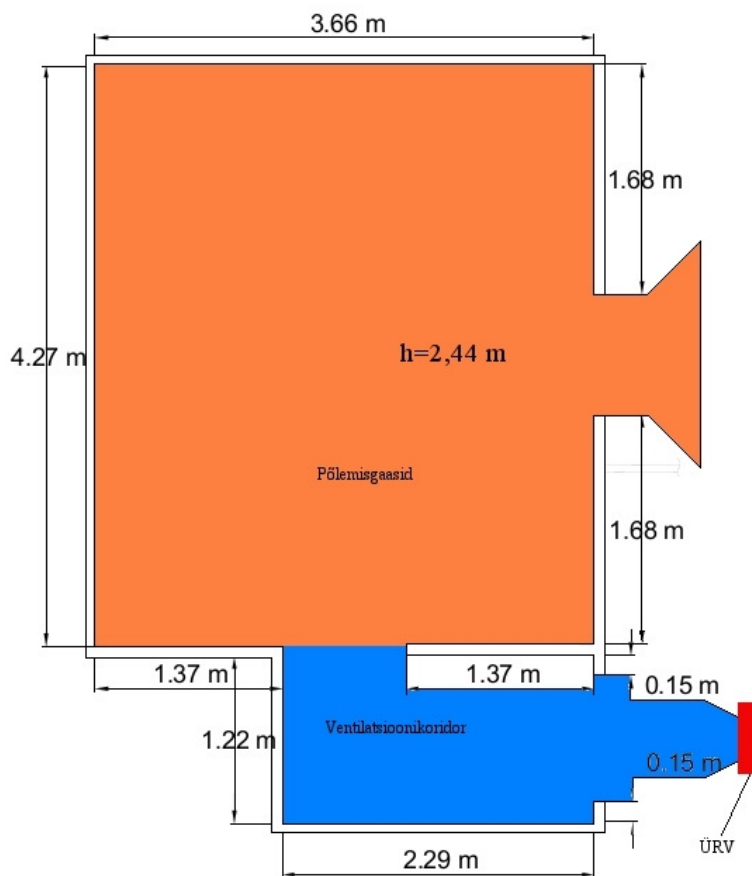
ÜV efekti uurimiseks sai autor Suurbritannia taktikalise ventilatsiooni eksperdilt Jeff Boathilt erinevate Suurbritannias ja Ameerika Ühendriikides (edaspidi: USA) läbi viidud katsete tulemusi, mida autor järgnevalt kirjeldab ja analüüsib.

ÜV ja loomuliku ventilatsiooni võrdluseks toob autor välja USA-s tehtud katsete tulemused (Kerber, S., Walton, W.D., 2005) (Kerber, Walton, 2006), kuna nende katsete tingimused on täpselt välja toodud ning on uuritud ÜV ning loomuliku ventilatsiooni erinevusi. Katsed toimusid USA Riiklikus Stantardite ja Tehnoloogia Instituudis. Lisaks analüüsitakse kõrghoone ülerõhustamise katsete (Kerber, Madrzykowski, Stroup 2007) ning Suurbritannias Moreton-In-Marsh-s läbi viidud katsete tulemusi (Bowser, Turpin, Sproat, 1998).

Kõik katsed toimusid ruumides, mis olid hermeetilised (va sisselaske- ja väljalaskeavad), st nende põhjal ei saa ennustada tulekahju arengut näiteks vanades puumajades, mille seisukord ei ole teada või hoonetes millel on olulised ehitusvead, mille tõttu on gaaside liikumine ettearvamatu. Küll saab nende katsete põhjal oletada tulekahju käitumist betoonkonstruktsioonidega korterelamutes või muudes hoonetes, mille puhul on selge, et hoone on tehniliselt korras.

### 3.3. Katsed väikeses ruumis (NIST)

Katsed toimusid NIST (USA Riiklik Standardite ja Tehnoloogia Instituut) laboris, millesse oli konstrueeritud ruum, mille ühe seina keskel oli aken (väljalaskeava) ning teise seina keskel oli uks, mis avanes.



Joonis 10. Katse plaan väikeses ruumis (Kerber jt 2005:22)

Toa sisustuseks oli narivoodi koos madratsitega, polsterdatud tool, raamaturiiul ning laud, millel oli arvuti. Põrand kaeti vaibaga. Kokku oli põlevmaterjali 250kg.

Mõlemat tüüpi katsete puhul olid sisustus ning põlevmaterjali hulk sama, erinevus seisnes ainult ventileerimise tüübi poolest. ÜV puhul kasutati elektriajamiga 18tollise läbimõõduga reguleeritava kiirusega ÜRV-d, mille maksimum tootlikkus oli ligi 400 m<sup>3</sup>/min. ÜRV paigutati 2,44m kaugusele sisselaskeavast (uksest) ning ukse õhukoonusega katmiseks oli ÜRV 15° nurga all.

Katsete mõõtmiseks kasutati K-tüüpi bi-metall temperatuuriandureid. Rida temperatuuriandureid paigutati ruumi keskele laest 0,025 m, 0,30 m, 0,61 m, 0,91 m, 1,22 m, 1,52 m, 1,83 m, 2,13 m allapoole. Koridori ukseavast paigutati andurid 0,025 m, 0,30 m, 0,61 m, 0,91 m, 1,22 m,

1,52 m, 1,83 m allapoole. Ruumi ukseavasse paigutati andurid 0,3m kõrgusele põrandast, 0,3m allapoole ukse ava ülemist äärt ning üks andur ukseava keskele. Lisaks paigutati väljumisavasse kuus andurit (0,3m kaugusel mõlemast akna äärest kõrgustel 0,15m, 0,61m ja 1,07m).

Lisaks paigutati laborisse neli kaamerat (kaks ruumis sees, üks sisenemisava juurde ning teine väljumiava juurde). Videod katsest on toodud välja LISA 7-s.

Põlemisgaaside kiiruse mõõtmiseks paigutati väljumiava juurde gaaside liikumise kiiruse mõõteseade. (Kerber jt 2005:6-8)

### **3.3.1 Katse kirjeldus**

Põlemisprotsessi algatamiseks kasutati tikutoosi, mis oli paigutatud narivoodi alumisele madratsile ning mis süüdati elektriliselt.

Süütamise hetkel oli aken suletud ning ainuke hapnikuallikas lisaks ruumile endale oli koridor. Tulel lasti põleda kuni tekkis pistleegi (flashover) oht ning hapnikuvarud olid piiratud. Kui tulekahju oli sellises faasis mõne hetke olnud, avati väljaspoolt aken ning lasti ruumil ventileeruda. Mõlemal juhul ventileeriti ruumi 345s pärast süütamist. Kummagi katse käigus ei püütud tulekollet kustutada.



Ülerõhuventilatsiooni puhul pandi ÜRV tööle 5s pärast akna avamist ning ÜRV töötas täisvõimsusel 23min. (Kerber jt 2005:8)

### **3.3.2. Katse tulemused**

#### **Nähtavus**

Mõlema katse puhul oli tulekahju areng akna avamise hetkel sarnane – pistleek esines ca 280s pärast tulekahju algust ning nähtavus puudus täielikult ca 288s pärast tulekahju algust. ÜRV-d kasutades taastus nähtavus (kaamera fokuseeris toa nurka kus asus narivoodi) 181s pärast akna avamist, loomulikku ventilatsiooni kasutades taastus nähtavus alles 395s pärast akna avamist.

Mõlema katse puhul jälgiti põlemisgaaside liikumist koridoris pärast 300s möödumist tulekahju algusest. Kummagi katse puhul ei olnud enne akna avamist näha koridoris leeke, küll aga musta suitsu. 10s pärast akna avamist väljusid leegid koridori uksest. ÜRV surus kogu põlemise koridorist tagasi põlevasse ruumi 516ndaks sekundiks (st pärast ÜRV käivitamist võttis see aega 130s). Loomuliku ventilatsiooni puhul oli leeke näha koridoris veel 1200ndal sekundil.

Ülerõhuventilatsiooni puhul oli leekide ulatus aknast 1,83m kauguseni, samas kui loomuliku ventilatsiooni puhul oli selleks kauguseks 0,91m. (Kerber jt 2005:8-9)

#### **Temperatuur ruumis**

Mõlema katse puhul tõusis enne ventileerimise alustamist temperatuur ca 800°C-ni. Pärast pistleegi esinemist langes hapnikuvaeguse tõttu temperatuur ca 700°C-ni. Kui alustati ventileerimist ÜRV-ga, siis ruumi ülaosas tõusis gaaside temperatuur hetkeks 800°C-ni, langes kiiresti 550°C-ni ja seejärel tõusis hüppeliselt maksimumtemperatuurini 980°C. See temperatuur püsis väga lühikest aega ning langes järjepidevalt 400°C-ni (0,8°C/s) (Lisa 2).

Loomuliku ventilatsiooni puhul olid temperatuurimuutused palju sujuvamad – pärast ventilatsiooni algust tõusis temperatuur maksimumini (1050°C). Järgnevad 300s oli temperatuur ca 1000°C (Joonis 10). Kui temperatuur lõpuks langema hakkas oli selle kiirus sama mis ÜV puhul. (Kerber jt 2005:10)

#### **Temperatuur ukseaval**

ÜV rakendamisel tõusis temperatuur kiiresti 1000°C-ni ukse ülaosas, 800°C-ni keskosas ning allosas 550°C-ni. Kui ÜRV surus värske õhu ruumi, langes temperatuur ning tegi seda kuni hetkeni mil ÜRV välja lülitati. Pärast ÜRV välja lülitamist temperatuur tõusis veidi. (See tõus on tõestus ÜRV jahutavast efektist).

Loomuliku ventilatsiooni puhul olid temperatuurid kõrgemad kui ÜRV-d kasutades. Ligi 300s pärast ventilatsiooni alustamist tõusis temperatuur ukse üla- ja keskosal 1000°C-ni. Alaosa tõusis hetkes 700°C-ni kuid langes 200°C-ni samal ajal kui ruumis veel põles. Temperatuur langes aeglaselt 700ndaks sekundiks 100°C-ni. (Kerber jt 2005:10-11)

### **Temperatuur aknaavas**

Olenevalt ventilatsioonitüübist sõltus ka temperatuur märgatavalt. ÜV-d kasutades oli temperatuur ühtlasem, kuna gaaside liikumine oli ühesuunaline – gaasid väljusid kogu akna ulatuses, samas kui loomuliku ventilatsiooni puhul sisenes akna alumisest kolmandikust värsket õhku ruumi.

Gaaside temperatuur ÜRV-d kasutades oli 900-1100°C, loomulikku ventilatsiooni kasutades oli temperatuur ülaosas 1000°C ning alumises osas 600°C. ÜRV-d kasutades saavutati maksimumtemperatuur 200 sekundiga, loomuliku ventilatsiooni puhul kulus 400s. (Kerber jt 2005:11)

### **Temperatuur koridoris**

ÜV-d alustades oli koridori temperatuur 700°C, kuid surudes värsket õhku ruumi ning tekitades ühesuunalise gaaside liikumise, langes temperatuur kiiresti ning ei ületanud kogu katse jooksul 200°C-i (koridori alumise osa temperatuur oli 25°C).

Loomuliku ventilatsiooni puhul mängis jällegi rolli ruumi ventileerimine ka ukse kaudu, st toimus gaaside liikumine mitmes suunas. Koridori ülaosas oli temperatuur vahemikus 600-900°C pärast ventilatsiooni alustamist. (Koridori alaosas oli temperatuur ca 100°C) (Kerber jt 2005:11)

### **Gaaside liikumiskiirus**

ÜRV kasutamisel oli gaaside liikumiskiirus 5-20m/s. 20m/s saavutati hetkel, mil aken avati ning lülitati sisse ÜRV. Seejärel langes gaaside liikumiskiirus aeglaselt 5m/s-ni. Olukorras, kus ruumis tulekahjut ei olnud, saadi gaaside liikumiskiiruseks ÜRV-d kasutades 5m/s.

Loomuliku ventilatsiooni puhul oli akna ülaosas suurim gaaside liikumiskiirus 12m/s, keskel 7m/s ning alaosas -2m/s (st gaasid liikusid ruumi sisse).

180s pärast ventilatsiooni alustamist oli ÜRV-d kasutades keskmine gaaside liikumiskiirus 14m/s, loomuliku ventilatsiooni puhul 5,5m/s. (Kerber jt 2005:12)

### **3.3.3. Katse analüüs**

Antud katse väikeses ruumis näitab selgelt, et ÜV-d kasutades paraneb olukord tulekahju ruumis kiiresti – langeb temperatuur ning paraneb nähtavus. Silmas tasub pidada ÜV-le iseloomulikke tunnuseid – pärast ventilatsiooni alustamist temperatuur hetkeks tõuseb väga kõrgeks – sellel ÜV-le iseärase omaduse tõttu ei tohiks järeldada, et antud ventilatsioonitaktika intensiivistab tulekahju. Kindlasti on petlik ka väljalaskeava agressiivsus – mida kiiremini (agressiivsemalt) suits ja põlemisgaasid ruumist väljuvad, seda kiiremini paraneb olukord ruumis.

Katses selgus ka, et päästjate töötsoon (nagu eelnevalt mainitud, ei tohi päästjad jääda tulekolde ja väljalaske ava vahele, seega võib eeldada, et päästjate asukoht oleks ruumi koridori poolses osas) ei ole niivõrd vaenulik, kui kasutada ÜV-d – seda illustreerib hästi nii koridori temperatuur kui ka gaaside liikumiskiirus ning suund – kuumus ja põlemisgaasid suunatakse päästjatest eemale.

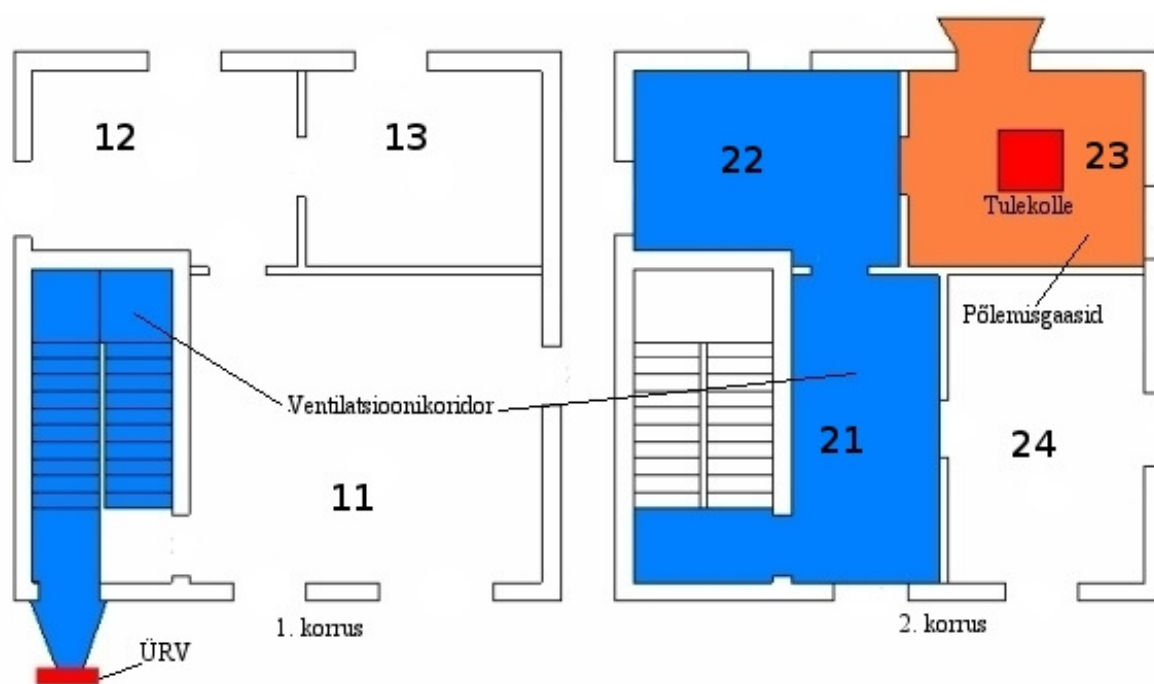
## **3.4. Katsed mitmekorruselises treeninghoones 1 (NIST)**

Kerber ja Walton tegid 2006a ka seeria katseid suitsusukelduse treeninghoones, jälgides tulekahju arengut juhul kui ventileeritakse esimese korruse trepikoja uksest ning tulekahju on teisel korrusel. Tähele tasub panna, et antud katsete läbiviimisel jälgiti puhtalt ventilatsiooniga seotut, st tulekolle lasti lõpuni ära põleda, mitte ei kustutatud.

Autor toob välja konfiguratsiooni, kus tulekahju on ruumis 12 (Joonis 12). Antud ruumide asetus on ideaalne - ÜV teostamiseks tuleb võimalusel alati valida väljalaskeava nii, et põlemisgaasid pääseksid põlevast ruumist otse välja läbimata muid (tulekahjust puutumata) ruume.

Antud katsetes oli põlevmaterjaliks 6 euroalust, mis olid täidetud kuiva heinaga (kogukaal ca 110kg). Tulekahjul lasti areneda nii, et kõik ventilatsiooniavad (uksed, aknad jms) olid suletud ning kui saavutati olukord, mil oli hapnikuvaeguse tundemärgid (jälgiti kaameratega), avati sisse- ja väljalaskeavad. Olenevalt katsest kasutati loomulikku või ÜV-d.

(Kerber jt 2006:16-18). Lisa 3-s on näidatud suitsu ja põlemisgaaside levik antud katse korral mõlemat ventilatsioonitüüpi kasutades.



Joonis 11. Katse 1 plaan mitmekordses treeninghoones (Kerber jt 2006:21)

Loomuliku ventilatsiooni puhul oli testi maksimaalne temperatuur 550°C, ÜRV-d kasutades 780°C. Ruumis 22 oli ÜV-d kasutades temperatuur 50°C kõrgem kui loomuliku ventilatsiooni kasutades. Teistes ruumides olid mõlema katse puhul temperatuur sama.

0,61m kõrgusel, kõrgusel kus võivad olla eeldatavad kannatanud, oli maksimaalne temperatuur loomuliku ventilatsiooni puhul ruumis 23 180°C, ÜV-d kasutades 370°C (seda ilmselt seetõttu, et ÜRV tekitatud õhuvool paiskas ruumi atmosfääri segamini, st kadus neutraaltsoon). Mõlemal juhul oli temperatuur niivõrd kõrge, et kannatanud oleksid ruumis ellujäämise piiril.

1,22m kõrgusel, päästja töökõrguses, oli temperatuur ruumis 23 vastavalt 500°C ja 725°C (jällegi, ÜV-d kasutades oli temperatuur kõrgem). Ka antud kõrgusel oli temperatuur mõlemal juhul üle päästja taluvusläve (300°C). (Kerber jt 2006:16-18)

Ruumi hapnikusisaldus langes mõlema katse käigus tulekahju ruumis 5%-ni, ventilatsiooni käigus oli ruumi allosas ning 10%-ni ruumi ülaosas ning 15%-ni alaosas. ÜV-d kasutades tõusis ruumi hapnikusisaldus loomulik 21%-ni märgatavalt kiiremini kui loomuliku ventilatsiooni puhul (Lisa 4a). (Kerber jt 2006:21-22)

Gaaside liikumiskiiruste suhe erinevate ventilatsioonitüüpide puhul oli analoogne väikses ruumis läbi viidud katsega, kiirused olid küll mõnevõrra väiksemad, kuna tegemist oli suurema mahuga hoonega, mis ei võimaldanud õhul niivõrd kergesti liikuda.

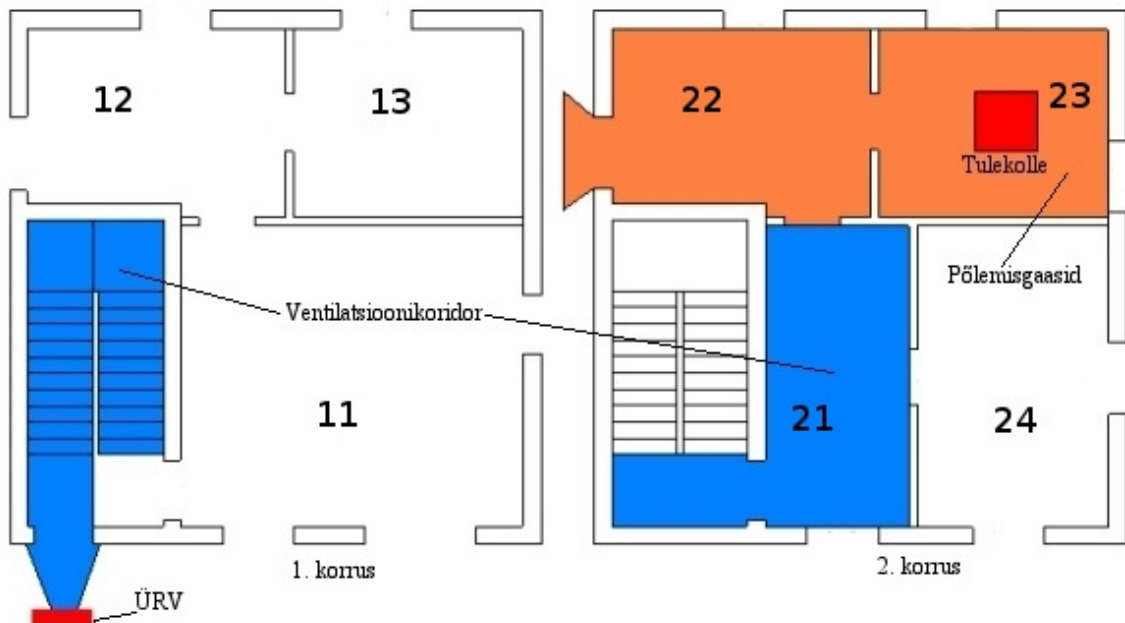
Antud katsest võib järeldada, et ÜV puhul on tulekahju käitumine väga agressiivne – nii päästjatele, kannatanutele kui ka ümbritsevale keskkonnale, kuid tasub jällegi arvesse võtta, et antud katses ei püütudki tulekollet likvideerida. Kui arvestada sellega, et tulekolle oleks kustutatud pärast ventilatsiooni alustamist siis oleks ära jäänud kuumuse ning mürgiste ühendite eraldumine ruumi ning ventilatsiooni agressiivsus oleks väljendunud suitsu ja põlemisgaaside kiires eemaldamises. On mõeldamatu, et reaalses situatsioonis kasutataks ÜV-d ilma kustutusvahendite rakendamiseta (olenevalt olukorrast võib selleks olla ka esmakustutusvahend). Kuna antud katses oli näha, et kõrgusel, kus võivad olla kannatanud, oli temperatuur ületanud juba piiri, mille puhul on ellujäämise võimalus väga väike (ca 150°C), siis seda enam peaks arvestama ÜV rakendamisega, et tagada võimalikult kiiresti värsket õhu juurdepääsu, temperatuuri langust ning nähtavuse paranemist, mis tagab selle, et päästjad leiavad kannatanu kiiresti ning kannatanule on tagatud hingamiskõlbulik õhk.

Täpsemad tulemused nähtavuse paranemise kohta toob autor välja Moreton-In-Marsh-s läbi viidud katse toel.

### 3.5. Katsed mitmekorruselises treeninghoones 2 (NIST)

2006a läbi viidud katsete seerias jälgisid Kerber ja Walton ka tulekahju käitumist juhul, kui ventilatsioon ei ole läbi viidud korrektselt. Tulekahju on samas ruumis, mis eelmisel katsel, kuid väljalaskeava ei ole mitte tulekahju ruumis, vaid sellele eelnevas ruumis. Ventilatsioon on ebakorrekne, kuna ventileeritakse läbi ruumi, mis on tule poolt jäänud puutumata (ruum

21) (Joonis 13). Nagu ka eelmises katses, ei püüta ka selles katses tuld kustutada vaid jälgitakse tulekahju käitumist vastavalt ventilatsiooni mõjudele.



Joonis 12. Katse 2 plaan mitmekorruselises treeninghoones (ebakorrektn) (Kerber jt 2006:42)

Tulekahju ruumis oli katse käigus loomuliku ventilatsiooni puhul maksimaalne temperatuur 759°C ning ÜV puhul 900°C. Ruumis 22 tõusis temperatuur 469°C-ni loomuliku ventilatsiooni käigus, ÜV-d kasutades oli maksimaalne temperatuur 452°C. Ruumis 21 tõusis temperatuur loomuliku ventilatsiooni käigus 571°C-ni ning ülerõhuventilatsiooni käigus 259°C-ni. (Kerber jt 2006:42)

0,61m kõrgusel, kus võivad olla eeldatavad kannatanud, oli mõlema katse puhul temperatuur kolderuumis väga kõrge (üle 600°C) ning ruumis 22 oli temperatuur inimorganismi taluvuspiiril.

1,22m kõrgusel oli temperatuurkolderuumis loomuliku ventilatsiooni puhul 748°C ja ÜV puhul 859°C. Ruumis 22 oli temperatuurid vastavalt 314°C ja 330°C. Mõlemal juhul üle päästja taluvuspiiri. (Kerber jt 2006:43)

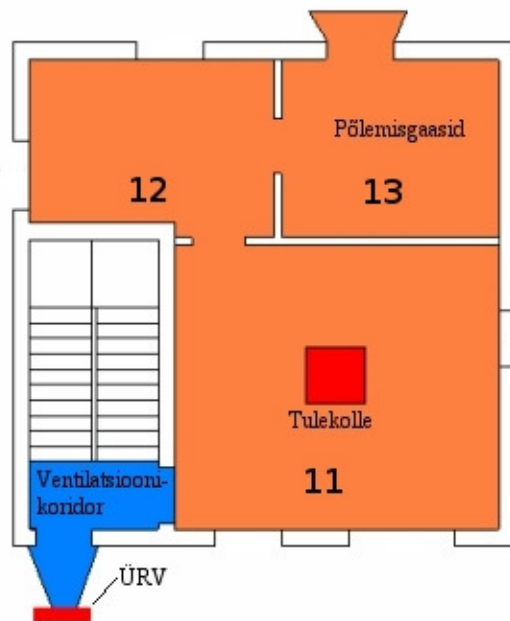
Antud katsest võib järeldada, et ülerõhuventilatsioon intensiivistas tulekolde põlemist (temperatuur oli kõrgem), nagu võib ka eeldada, kuna ruumi puhutava õhu hulk on tunduvalt

suurem kui loomuliku ventilatsiooni puhul. Ventileerimiseks kasutatavas ruumis oli temperatuur mõlema katse puhul sama, st ÜRV kasutamine seal ruumis mingit erinevust ei toonud. Täpsemalt tasub ruumi 21, mida kasutati ventilatsioonikoridorina – loomuliku ventilatsiooni puhul oli seal temperatuur 300°C kõrgem kui ÜV-d kasutades – seda seetõttu, et loomuliku ventilatsiooni puhul ei olnud gaaside liikumine ühesuunaline ning põlemisgaasid levisid ka ventilatsioonikoridorina kasutatavasse ruumi. ÜV-d kasutades oli gaaside liikumine aga ühesuunaline ning seetõttu oli ka nimetatud ruumis madalam temperatuur.

Nagu ka eelpool mainitud, siis ka selles katses ei püütud tulekollet kustutada. Kui võtta võrdluseks olukorra, kus reaalne tulekahju oleks samasuguse skeemiga hoones ning ka tulekolle oleks samas kohas, siis esiteks, ilma igasuguse kahtlusega oleks päästjatel kaasas kustutusvahend (survestatud voolikuliin) ning tule kustutamiseks alustatakse esimesel võimalusel. Teiseks, ruumis 22 (nagu katse näitas, oli kannatanute eeldatavas asukohas temperatuur kannatanute jaoks kriitiline) teostatakse kindlasti kontroll enne ventilatsiooni alustamist ning kannatanud viidaks ohutusse kohta. Kolmandaks, antud olukorras on ruumi ventileerimine niikuinii vältimatu – seega, isegi kui ei ole ideaalsed tingimused, peaks kaaluma ÜV rakendamist, kuna antud katse näitas selgelt, et lisaks päästjate töötingimuste parandamisele väheneks otseselt ka suitsukahjustused hoonele põlemisgaaside leviku piiramise tõttu.

### 3.6. Katsed mitmekorruselises treeninghoones 3 (NIST)

Katse 3 on oma olemuselt sarnane katse 2-ga – ventilatsioon viiakse läbi tingimustes, mille puhul ventileerimise käigus põlemisgaasid läbivad tulest puutumata ruume (ebakorrektselt) (Joonis 13). Nagu ka eelmistes katses, ei püüta ka antud katses tuld kustutada.



Joonis 13: Katse 3 plaan mitmekorruselises treeninghoones (Kerber jt 2006:33)

Mõlema katse käigus oli maksimaalne temperatuur tulekahju ruumis ligi 600°C.

0,61m kõrgusel oli loomuliku ventilatsiooni puhul kõrgeim temperatuur tulekahju ruumis 151°C ning kõrvalasuvas ruumis (ruum 12) 106°C. Mõlemate ruumide temperatuur ületas inimorganismi taluvuspiiri. Ventilatsiooniavaga ruumis (ruum 13) oli kõrgeim temperatuur 98°C, napilt alla inimorganismi taluvuspiiri. ÜV puhul olid maksimaalne temperatuur tulekahjuruumis 151°C ning teistes ruumides 173°C (ruum 12) ja 159°C (ruum 13). ÜV puhul oli kõikides ruumides temperatuur üle inimorganismi taluvuspiiri ning ca 50°C kõrgem kui loomuliku ventilatsiooni puhul.

Päästjate töökõrgusel (1,22m) oli temperatuur ruumis 11 loomuliku ventilatsiooni puhul ligi 150°C kõrgem kui ÜV puhul, kuid mõlema puhul oli see üle päästja taluvuslääve (300°C). Teistes ruumides oli temperatuur ÜV-d kasutades madalam, kuid mõlema katse puhul alla 300°C.

Temperatuuri tõus oli loomuliku ventilatsiooniga 1.41°C/s ning ÜV-ga 1.11°C/s.



Gaaside liikumine oli analoogne eelmiste katsetega – loomuliku ventilatsiooniga oli gaaside liikumine kahesuunaline ja aegsam (1-1,5m/s), ÜV-d kasutades oli gaaside liikumine ühesuunaline, kiirusega keskmiselt 3m/s.

Hapniku tase oli loomuliku ventilatsiooni puhul 14% ruumi alaosas ning 12% ruumi ülaosas. Ruumi ülaosas hapnikutase seejärel langes enne kui hakkas tõusma 21%-ni. ÜV-d kasutades tõusis ruumi üla- ja allosas hapnikutase kiiresti 21%-ni ning püsis seal 1-2min enne kui langes (allosas oli langus väike, ülaosas langes 10%-ni) (Lisa 4b).

(Kerber jt 2006:32-34)

Antud katsest tuleb välja, et ÜV-d kasutades oli kõigis ruumides 0,61m kõrgusel temperatuur kõrgem kui loomuliku ventilatsiooni puhul – seda seetõttu, et ÜRV-d kasutades on sissepuhutava õhu kiirus nii suur, et see paiskab segamini ruumi atmosfääri (st ruumi kõrgemas osas olevad kuumemad põlemisgaasid segunevad madalamal olevate jahedamate gaasidega) ning seetõttu on ka 0,61m kõrgusel temperatuur kõrgem kui loomuliku ventilatsiooni puhul (gaaside segunemine ei toimunud nii aktiivselt).

Katsest on näha, et ÜV-d kasutades tõuseb ruumi hapnikusisaldus väga kiiresti 21%-ni ning püsib seal 1-2min, mis tagab võimalikele kannatanutele normaalse hapnikusisaldusega õhu ajavahemikul mil päästjad sisenevad ruumi ning toovad kannatanu hoonest välja, samas kui loomuliku ventilatsiooni puhul taastub hapnikutase normaalseni palju kauem (st võimalike kannatanute juurde jõuab värsket õhk märgatavalt hiljem). ÜV-d kasutades langeb hapnikutase hiljem seetõttu, et hoonesse surutakse piisavalt värsket õhku mis intensiivistab tulekahjut (põlevmaterjali ei kustutatud).

Antud katsest võib järeldada, et kui ÜV-d rakendatakse ebakorrektselt, ei muuda see olukorda halvemaks vaid on isegi kasulikum kui loomuliku ventilatsiooni kasutamine – eeldatavaks kannatanute päästmise hetkeks oli ruumis hingamiskõlbulik õhk. Kui aga arvestada ühe kustutusrännaku normaalset kulgu (st kustutatakse kolle), siis on selge, et suurema gaaside liikumisega toimub ruumi jahutamine ning põlemisgaasidest vabanemine märgatavalt kiiremini kui loomuliku ventilatsiooni puhul.

### 3.7. Katsed Ühendkuningriigi Päästekolledžis

Alljärgnevad katsed viidi läbi Moreton-In-Marsh-i Tuletõrjekolledžis. Sarnaselt eelnevate katsetega jälgiti seal ventilatsiooni efekti ühes ruumis. Ruumina kasutati suitsusukelduse harjutamiseks ettenähtud harjutumaja, põlevamterjalina 8-t euroalust, paberit ning õlgi. Ruumi paigutati 4 temperatuuriandurit – üksteisest 30cm kaugusele ühte rivvi, põrandast 30cm kõrgusele, imiteerimaks võimalikku kannatanut. (Bowser jt 1998:4)

Antud katsetest selgus, et ÜV puhul oli ruumi sisenedes nähtavus 2-3m ning tulekolle oli hetkega leitav. (Lisa 5). 1min pärast tulekahju kustutamist oli nähtavus kogu ruumi ulatuses täielik. (Bowser jt 1998:16-17)

Loomuliku ventilatsiooni kasutades oli ruumis kogu katse ajal halb nähtavus koos suure niiskusega. Kannatanute otsimine oli raske ning 15min. pärast kustutamise algust polnud veel ruum täielikult suitsust ja põlemisgaasidest vaba (Lisa 5). (Bowser jt 1998:20-21)

Antud katsest võib järeldada, et kuna ÜV-d kasutades oli nähtavus hea ja kolde asukoht hetkega märgatav, siis selle tõttu väheneb ka kustutustöödele kuluv aeg – ruumis on piisavalt hea nähtavus et leida võimalikke kannatanuid väga kiiresti ning ka kolle on hetkega nähtav (mis vähendab ka veekahjustuste hulka – veejuga ei lasta ruumis enam-vähem kolde suunas vaid kustutatakse kohe kolle viies veehulga miinimumini).

## KOKKUVÕTE

Antud töö käigus uuris autor ÜV-d, selle ajalugu ning varustust ning erinevate katsete tulemusi, mis võrdlesid loomulikku ventilatsiooni ja ÜV-d. Kuna Eestis ei kasutata ÜV-d tulekahju kustutamise algfaasis süsteemselt, siis käis autor informatsiooni kogumas Suurbritannias, mis on üks juhtivamaid Euroopa riike ÜV kasutamise ning katsete läbi viimise alal.

Suurbritanniast kogutud andmete põhjal (intervjuu ning katsete tulemused, millele tuginevad ka britid) tegi autor analüüsi, milles võrdles ÜV efekti tulekahju kustutamise algfaasis erinevates ruumides ning tingimustes: (erinevad suurused, korruselisus ja taktika korrektsus).

Töös püstitatud hüpotees leidis kinnitust - analüüsi tulemusena selgus, et ÜV rakendamine paralleelselt kustutusrünnakuga on väga efektiivne – suureneb kannatanute päästmise võimalus, päästjate töö muutub paranenud keskkonnatingimuste tõttu efektiivsemaks, vähenevad tule ja kustutusvee põhjustatud materiaalsed kahjud ning väheneb kustutustöödele kuluv aeg.

Autor jõudis antud töö põhjal järgmistele järeldustele:

- ÜV kasutamine kustutusrünnaku algfaasis ei intensiivista tulekahjut
- ÜV kasutamine kustutusrünnaku algfaasis suurendab oluliselt võimalike kannatanute päästmise võimalusi
- ÜV kasutamine kustutusrünnaku algfaasis parandab päästjate töötingimusi ning sellega lühendab tulekustutustöödele kuluvat aega
- ÜV kasutamine kustutusrünnaku algfaasis vähendab märgatavalt tule- ja suitsukahjustusi ning viib miinimumini kustutustööde käigus tekkivad veekahjustused

Autor teeb ettepaneku ÜV süsteemseks kasutuselevõtuks ka Eestis:

- välja töötada õppematerjal hilisema taktikalise juhendi koostamiseks ÜV kasutamiseks tulekahju kustutamise algaasis
- lülitada ÜV süsteemne õpetamine Eesti päästeala õppeasutuste õppekavasse hoone tulekustutustööde peatükki
- analüüsida ÜRV-de tehnilisi näitajaid leidmaks Eesti päästesüsteemile sobivaim ÜRV ja anda soovitusi edasisteks tehnika hangeteks
- analüüsida Eestis kasutuses olevate ÜRV-de tehnilisi näitajaid ja ühtlustada päästeautodel olev ülerõhuventilatsiooni tehnika

## SUMMARY

The topic of the thesis is „The effectiveness of positive pressure ventilation in the beginning of fire attack of compartment fire”. The main body of the thesis consists of 40 pages (48 with annexes). There are 13 figures in the thesis. The paper is written in Estonian.

So far in Estonia positive pressure ventilation has not been used as a common practice in the beginning of the fire attack, although the equipment needed exists in every fire engine. The objective of the thesis is to find out what effect positive pressure ventilation has when used in the beginning of the fire attack – to achieve the goal the author interviewed an tactical ventilation expert in the United Kindgom, observed some demonstrations and analyzed several test conducted in the United States of America and United Kingdom. Each test was conducted twice in identical conditions – one using natural ventilation and the other using positive pressure ventilation – the author compared the results and based on that made his conclusions concerning the effect of positive pressure ventilation.

Based on these studies the author believes that using positive pressure ventilation in certain compartment fires would be beneficial – for increasing the rate of rescue possibility for victims, improving the working conditions for firefighters and shorten the extinguishing time.

Authors suggestion is to indite a standard operating procedure and to add the teaching of positive pressure ventilation to the curriculum of fire extinguishing training system.



Retten DVD nr 3, 2009, Taktische ventilation

Tempest Technology Corporation <http://www.tempest-edge.com/blowers/power.htm> välja  
otsitud 05.03.2011

## TABELITE JA JOONISTE LOETELU

Joonis 1. Ülerõhuventilatsiooni üldpõhimõte.....	8
Joonis 2. Veorihmaga ÜRV.....	12
Joonis 3. Otseülekandega ÜRV.....	13
Joonis 4. Elektrimootoriga ÜRV.....	13
Joonis 5. Hüdraulilise veemootoriga ÜRV.....	14
Joonis 6. Veeudu rõngas.....	15
Joonis 7. Traditsiooniline õhukoonus.....	16
Joonis 8. Turbotehnoloogial põhinev õhukoonus.....	17
Joonis 9. Lineaarse õhuvooluga ülerõhuventilaator.....	17
Joonis 10. Katse plaan väikeses ruumis.....	23
Joonis 11. Katse 1 plaan mitmekordeses treeninghoones.....	28
Joonis 12. Katse 2 plaan mitmekorruselises treeninghoones (ebakorrektne).....	30
Joonis 13: Katse 3 plaan mitmekorruselises treeninghoones.....	32



## LISA 1. Intervjuu küsimused Suurbritannia ülerõhuventilatsiooni eksperdile

Kui Suurbritannias hakati ÜV-d kasutusele võtma, siis milline oli päästjate/meeskonnavanemate tüüpiline reaktsioon? Kas oli mingeid levinud müüte ja hirne ÜV kohta? (Kui oli, siis kuidas tõestasite, et need ei vasta tõele?)

ÜV-d teostades, mis on soovituslik meeskonna suurus (mitu päästeautot)?

Kas ÜV kasutamiseks on vaja eriväljaõpet? Kui jah, kas saate kirjeldada lähemalt seda väljaõpet?

Praegusel hetkel on turul väga palju erinevaid ülerõhuventilaatoreid (erinevat tüüpi mootorid, suurused, tehnoloogiad jne), millised on Suurbritannias valdavalt kasutuses ning millised on Teil (Suurbritannias) eelistatumad? Milline ÜRV oleks Teie valik linnatingimustes?

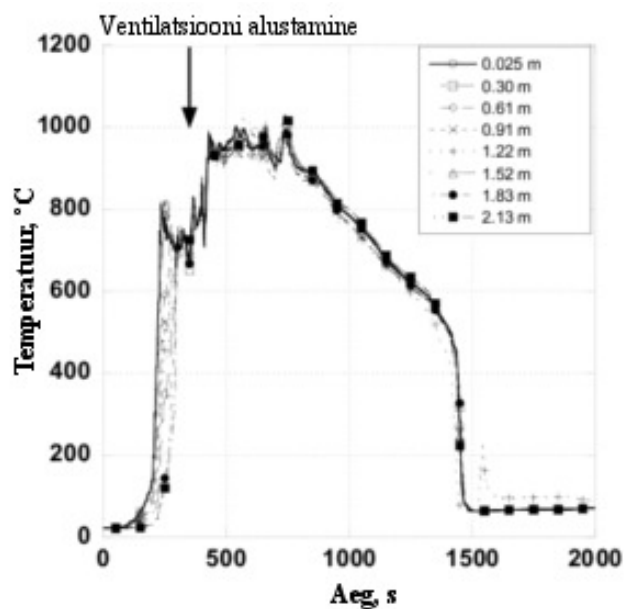
Millest lähtutakse uue varustuse (ÜRV) hankimisel? Kui suur osa otsuse tegemisel moodustab toote hind?

Mida arvate erinevate ÜRV lisaseadmete kohta, näiteks nagu veeudu rõngad? Kas Suurbritannias neid kasutatakse? Mis efekti need kustutustöö käigus annavad (kui kiiresti ja kui suurt ala on võimeline jahutama ning kas tohib kasutada kui hoones võib olla kannatanu)?

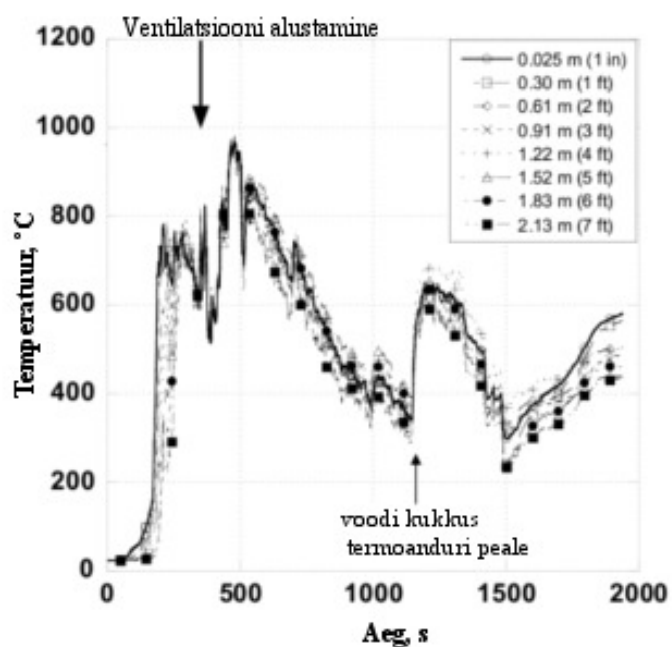
Sündmuskohale jõudes, mis on märgib mida päästetööde juht peab jälgima enne kui otsustab kas kasutada ÜV-d või mitte? Millised on olukorras, mille puhul on ÜV kasutamine tulekahju kustutamise algaasis vastunäidustatud?

Kas olete kuulnud mõnest juhusest kui väljalaskeava on tehtud valesse kohta ning see on viinud dramaatiliste tagajärgedeni?

## LISA 2. Väikses ruumis toimunud katsete temperatuurimuutused

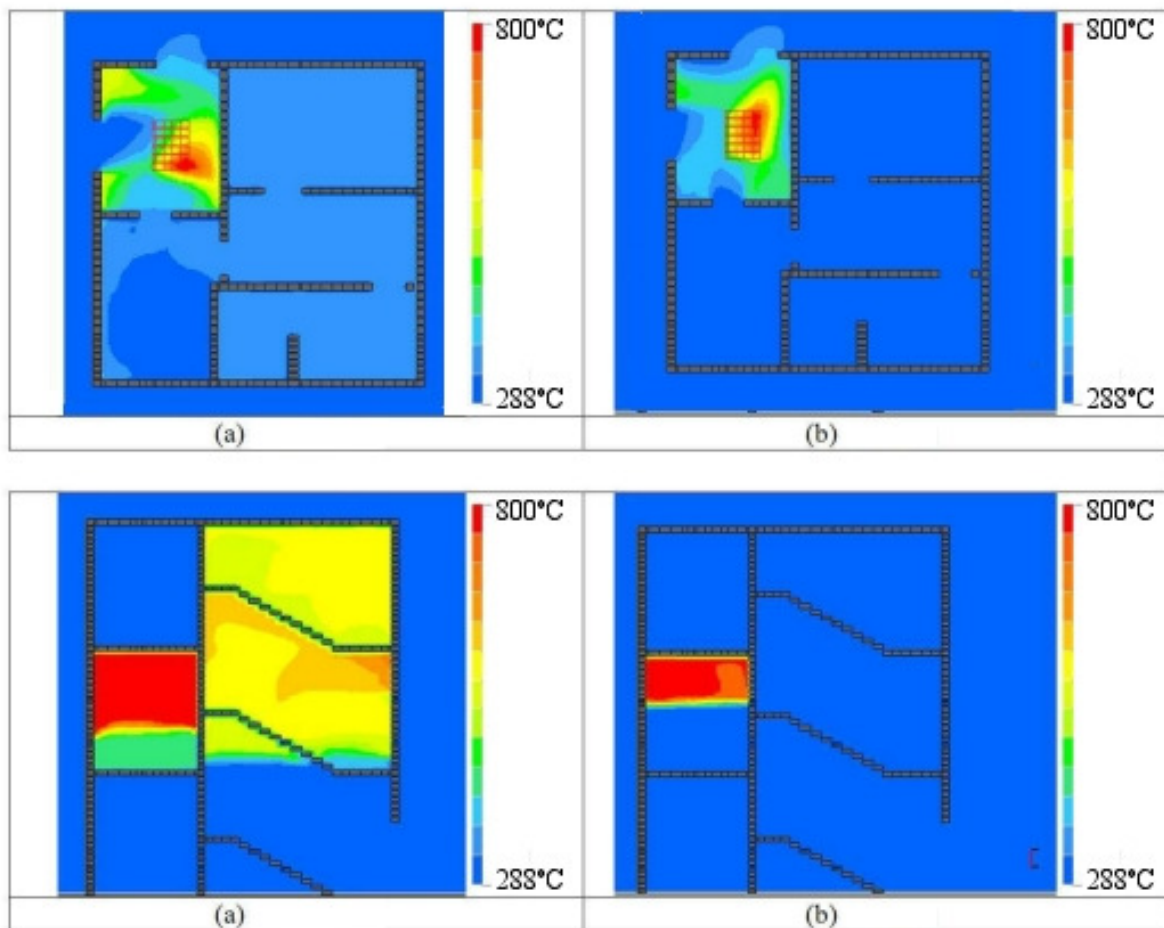


Temperatuur ruumis loomuliku ventilatsiooni puhul (Kerber jt 2005:41)



Temperatuur ruumis UV-d kasutades (Kerber jt 2005:40)

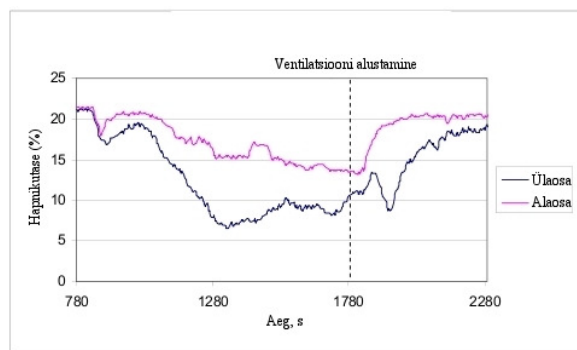
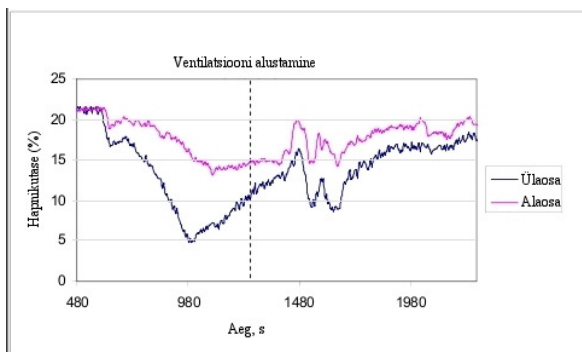
### LISA 3. Suitsu ja põlemisgaaside levik mitmekordses treeninghoones (katse 1)



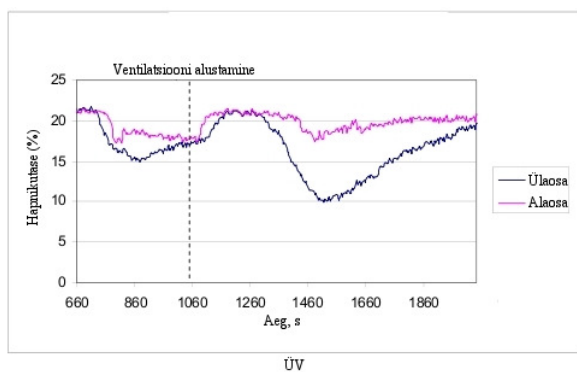
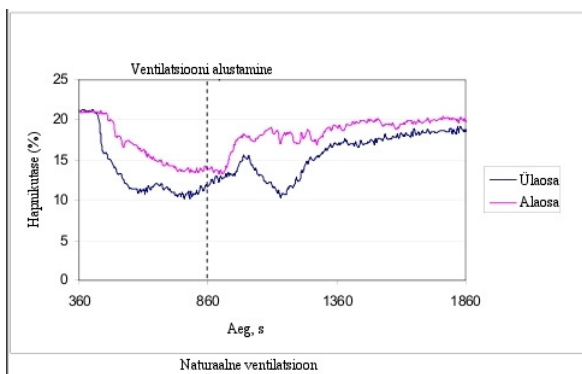
a) Loomulik ventilatsioon

b) ÛV

## LISA 4. Hapnikusisaldus mitmekordses hoones

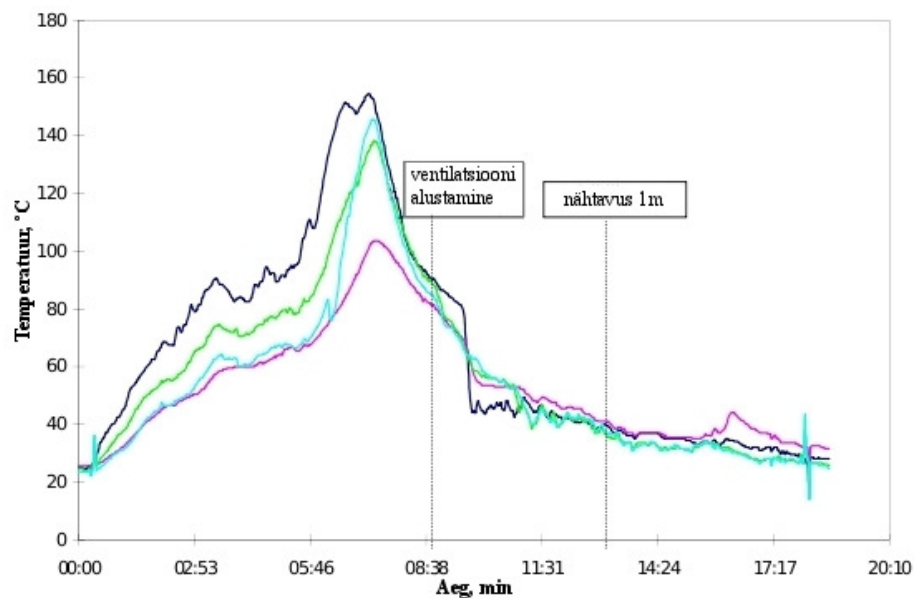


Lisa 4a. Hapnikusisaldus mitmekordses hoones katse 1 korral

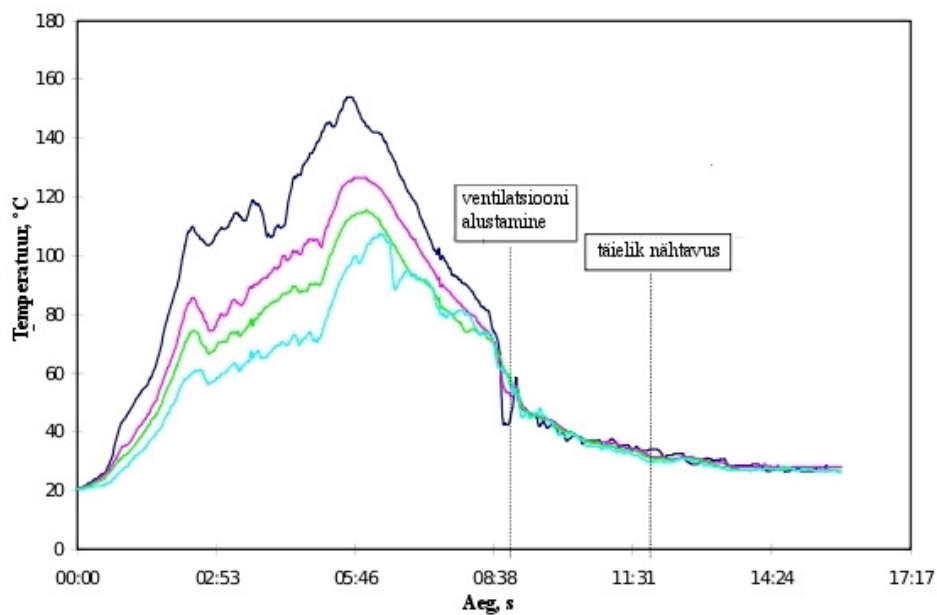


Lisa 4b. Hapnikusisaldus mitmekordses hoones katse 3 korral

## LISA 5. Ühendkuningriigi Päästekolledžis katsete temperatuur ja nähtavus



Temperatuur ja nähtavus loomuliku ventilatsiooni puhul (Bowser jt 1998:21)



Temperatuur ja nähtavus UV-d kasutades (Bowser jt 1998:17)

## LISA 6. Ase tulekolde jaoks treeninghoones



## LISA 7. Videomaterjalid katsest väikeses ruumis

Lisad 7 on videomaterjalina antud tööga kaasas oleval CD-plaadil

Lisa 7a - Katse väikeses ruumis (NIST), kasutades loomulikku ventilatsiooni

Lisa 7b - Katse väikeses ruumis (NIST) kasutades ÜV-d