

Sisekaitseakadeemia

Päästekolledž

Mart Käit

**KÕRGKORDSE VAHTKUSTUTUSE KASUTUSELE
VÕTMINE EESTI PÄÄSTETEENISTUSES**

The Application of High Expansion Foam Firefighting in the Rescue Service in Estonia

Lõputöö

Juhendaja:

Kirsti Mikk

Sotsiaalteaduste magister

Tallinn 2007

ANNOTATSIOON

Lõputöö on kirjutatud teemal „Kõrgkordse vahtkustutuse kasutusele võtmine Eesti päästeteenistuses”. Töö on 45 lehel, kirjutatud eesti keeles, eesti ja inglise keelse kokkuvõttega. Lõputöö koostamisel on kasutatud 30 allikat, millest 17 on inglise keeles, 10 eesti keeles, kaks rootsi keeles ja üks soome keeles. Lõputöö koosneb kahest osast ning sisaldab kuut joonist ja ühte tabelit. Töö paremaks mõistmiseks on esitatud kaheksa lisa. Uurimismeetodina on kasutatud teoreetilisi meetodeid.

Lõputöö märksõnadeks on: rahvusvahelised juhised kõrgkordse vahtkustutuse kasutusala, taktika ja ohtude kohta; vajaliku vahupealevoolu arvutamise tabel; kõrgkordse vahu kasutamine kolmel reaalsel tulekahjul ja sellest tehtavad järeldused; vajalikud investeeringud kõrgkordse vahtkustutuse juurutamiseks Eestis.

Lõputöö eesmärkideks on: peamiste, valdkonda puudutavate juhendite ja informatsiooni koondamine lõputöösse nii, et seda saaks edaspidi kasutada abimaterjalina kõrgkordse vahtkustutuse teostamisel; päästetööde juhile vahupealevoolu arvutamise tabeli koostamine ja kõrgkordse vahtkustutuse Eestis rakendamiseks tehtavate investeeringute kirjeldamine.

Tulemuseks on nõuandeid, juhendeid ja investeeringuid sisaldav töö, mis on abiks kõrgkordse vahtkustutuse kasutusele võtmisel ja rakendamisel Eesti päästeteenistuses.

SISUKORD

MÕISTETE SELGITUS	5
TABELITE JA JOONISTE LOETELU	6
1. KÕRGKORDNE EHK KERGVVAHT	9
1.1. Kõrgkordne ehk kergvaht	9
1.2. Teisaldatavad kõrgkordse vahu moodustajad ehk kervahuagregaadid	10
1.2.1. Vedelikturbiiniga kergvahuagregaadid	11
1.2.2 Sisepõlemismootoriga ringiaetava ventilaatoriga kergvahuagregaadid.....	14
1.3. Vahuained, mis sobivad kõrgkordse vahu moodustamiseks.....	16
1.4. Kõrgkordse vahu kasutusala	17
1.4.1. Ruumide täitmine kergvahuga	18
1.4.2. Vedelgaaside aurustumise tõkestamine ning vedelgaaside tulekahju lokaliseerimine kõrgkordse vahuga	19
1.4.3. Teiste ohtlike kemikaalide aurustumise tõkestamine	21
1.5. Kõrgkordse vahtkustutuse taktika.....	21
1.5.1. Vajaliku vahukoguse ja vahu pealevoolu arvutamine	23
1.5.2. Õhu väljatõmbeava	25
1.5.3. Ukseadapter.....	26
1.5.4. Tuule mõju	26
1.5.5. Vahukatte lagundamine	27
1.5.6. Vahtu sukeldumine	27
2. KÕRGKORDSE VAHTKUSTUTUSE KASUTUSELE VÕTMINE EESTI PÄÄSTETEENISTUSES	28
2.1. Tulekahjud, kus on kasutatud kõrgkordset vahtkustutust	28
2.1.1 Tööstushoone keldri tulekahju Sael, Tule tn 30.....	29
2.1.2. Laeva tulekahju Tallinnas, Kopli tn 103.....	32
2.1.3 Pööningutulekahju kustutamine Rootsisis.....	33
2.2. Vajaliku vahupealevoolu arvutamise tabel	36
2.3. Investeeringud vahenditesse	37
2.3.1 Kergvahumoodustajad	37
2.3.2 Vahuaine varu	38

2.4. Ettevalmistus ja kooolitus	38
2.5. Ohud kergevahuga töötamisel.....	39
KOKKUVÖTE	41
SUMMARY	43
KASUTATUD KIRJANDUS	44
LISA 1 Kõrgkordne ehk kergvaht.....	Error! Bookmark not defined.
LISA 2 Vedelikturbiiniga varustatud kergvahuagregaat. Eest- ja külgvaade.....	47
LISA 3 Kergvahuagregaadi tööpõhimõte.....	48
LISA 4 Vedelgaasi tulekahju kustutamine.....	49
LISA 5 Öhu väljatõmbeava paiknemine ruumide täitmisel kergvahuga.....	50
LISA 6 Tulekahju skeemid aadressil Tule tn 30.....	51
LISA 7 Kergvahurünnak keldri tulekahjul, Tule tn 30.....	52
LISA 8 Arvutustabel vajaliku vahu pealevoolu leidmiseks.....	53

MÕISTETE SELGITUS

A – klassi vahuaine – vahuaine, mis koostiselt on sobilik kasutamiseks A – klassi ehk tahkete ainete, nagu puit, paber, tekstiil, tulekahjudel. See vahuaine ei ole sobiv kasutamiseks B – klassi ehk põlevvedelike tulekahjudel

FFF vahuaine – kilet moodustav sünteetiline vahuaine

Atsetüleen – põlevgaas. Kasutakse keevitusel, kuumutamisel, lõikamisel jne

B – klassi vahuaine – vahuaine, mis koostiselt on sobilik kasutamiseks B – klassi ehk põlevvedelike, nagu bensiin, õli, lahustid, tulekahjudel

BLEVE – lühend inglise keelsest sõnast Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion¹
Tõlgituna tähendab see keeva vedeliku aururõhu suurenemisest tingitud plahvatust

Emulsioon – vahuaine ja vee segu

Kantav dosaator – päästeteenistustes kasutatav vahuaine dosaator, mis on oma mõõtmetelt väike ja kerge käsitleda. Ühendakse tavaliselt voolikuliinide vahele

Mehhaaniline vaht – päästeteenistustes kasutatava kustutusvaht, mis saadakse vahuaine, vee ja õhu füüsilisel segamisel²

Metaan – nn ”maagaas”. Kergesti süttiv

NFPA – riiklik tulekaitse assotsiatsioon. Üle 81 tuhande liikme maailmas.

Operatiivkorrapidaja – päästetööde juht

Pindpinevus – on nähtus, kus vedeliku pinnakiht käitub kui elastne kile³. Madalama pindpinevusega vaht suudab paremini tungida ainete pooridesse

Polaarsed põlevvedelikud – põlevvedelikud, mis lahustuvad hästi vees ehk imevad endasse vett⁴. Näiteks alkohol, atsetoon jne. Kustutamiseks kasutakse eri vahuaineid

Propaan – põlevgaas

Vahuaine doseerimine – kindla koguse vahuaine segamine vette. Segamine toimub spetsiaalse segistiga – vahuaine dosaatoriga. Enamkasutatud on 1%, 3% ja 6% segamine

Vahuaine viskoossus – vahuaine voolavus⁵

Vahukordsus – emulsiooni mahu ja sellest moodustunud vahu suhe. Vahukogus, jagatud emulsioonikogusega, võrdub vahukordsus

¹ IFSTA. Principles of Foam Fire Fighting. Oklahoma State University. 2003, 340

² sama, 346

³ Vikipeedia entsüklopeedia. <http://et.wikipedia.org/wiki/pindpinevus>

⁴ Hyttinen, V. Palofysiika. Tammer Paino OY. 2000, 112

⁵ Vikipeedia entsüklopeedia. <http://et.wikipedia.org/wiki/viskoossus>

TABELITE JA JOONISTE LOETELU

Joonis 1. Kergvahuvoolikuga varustatud agregaat.....	11
Joonis 2. Kergvahuagregaat Fomax 7.....	12
Joonis 3. Mini Fomax.....	13
Joonis 4. Ülerõhuventilaatorile paigaldatav Rosenbauer Foam Generator.....	14
Tabel 1. Ülerõhuventilaatorile paigaldatavate vahumoodustajate näitajad.....	14
Joonis 5. Foam-Quick kergvahumoodustajaga varustatud ülerõhuventilaator Swefan 24..	15
Joonis 6. Ukseadapteriga varustatud kergvahuagregaat.....	26

SISSEJUHATUS

Erinevate maade päästeteenistused ja teadusasutused teevad aastast-aastasse pingutusi, et leida sobivaim ja odavaim vahend tulekahjude üle kontrolli saavutamiseks. Mehhaanilise vahu areng algab 1930 –st aastatest. 50 –tel arendati välja sünteetiline detergent vahuaaine, mis võimaldas moodustada kõrge kordsusega vahtu⁶. Kõrgkordne vahtkustutus leiab tänapäeval üha rohkem kasutamist. See on olnud edukas kasutamisel ruumide täitmisel, kus on varjatud põlengud; ohtlikud ained (gaasiballoonid, kütusemahutid jne); kuumuse tõttu lagunenud laekonstruksioonid; või muud sellised ruumid, kus ohud välistavad otsese tulekustutusrünnaku. Samuti rakendatakse edukalt kõrgkordset vahtkustutust suurtel tulekahjudel, kus on piiratud veeressursid või vedelgaasilekkest põhjustatud põlemisel, mille kustutamiseks on kergvahurünnak üks väheseid võimalusi saada tuli edukalt kontrolli alla.

Kuigi taasiseseisvumisest alates on päästeala Eesti Vabariigis jõudsalt arenenud, ei ole siiani Eesti päästeteenistuses toimima saanud nõuetekohast kõrgkordset vahtkustutust. Kergvahuseadmeid on Eestis vaid üksikud. Aastal 2002 soetas tollaegne Tallinna Tuletõrje- ja Päästeamet kergvahuagregaadi *Turbex Mk II*. Nüüdseks juba peaaegu 5 aastat kasutusel olnud agregaati on rakendatud kahel tulekahjul, kus see on end suuremal või vähemal määral ka õigustanud. Kuid kindlasti ei saa neid kergvahuoperatsioone kirjeldada kui efektiivseid ja ressursisäästlikke, sest arvesse ei võetud erinevaid rahvusvaheliselt tunnustatud kergvahtkustutuse juhendeid ja aspekte. See on lihtsalt tingitud päästjate vähesest sellealasest informeeritusest. Kõrgkordse vahtkustutuse kohta eesti keelne kirjandus praktiliselt puudub. Tõsi, raske on leida ka muus keeles kogu seda ala hõlmavat kokkuvõtlikku kirjatükki. Vajalik info tuleb kokku koguda mitmetest erinevatest erialaraamatutest ja interneti kodulehekülgedelt.

Hüpotees: kõrgkordse vahtkustutuse kasutusele võtmine Eesti päästeteenistuses on vajalik seoses teatud liiki tulekahjude kustutamisega, kus tavapäraste kustutustehnikate kasutamine ei ole efektiivne või on isegi ohtlik. Investeering kõrgkordsete vahuseadmete hankimiseks ei

⁶ Wieder, M., Smith, C.M., Brakhage, C. Principles Of Foam Fire Fighting. First Edition. Oklahoma State University. 1996, 28

ole suur, kui võtta arvesse kustutusainete kokkuhoidu, mida need seadmed võimaldavad suurte tulekahjude kustutamisel.

Eesmärgiks on koondada peamine kõrgkordset vahtkustutust puudutav informatsioon oma lõputöösse nii, et seda saaks edaspidi kasutada abimaterjalina eduka kõrgkordse vahtkustutuse teostamiseks. Sealhulgas koostada arvutustabel, mis vastavalt sisestatud andmetele, arvutab vajaliku kergvahu pealevoolu. Rakendada Eestis rahvusvahelistele normidele ja juhenditele põhinev kõrgkordne vahtkustutus ning kirjeldada selleks tehtavaid vajalikke soetusi ja välja tuua nende maksumus.

Uurimismeetodiks on rahvusvahelistel andmetel ja juhenditel ning realselt asetleidnud tulekahjude vaatlusel rajanev analüüs kõrgkordse vahtkustutuse rakendamisest Eesti päästeteenistuses, vastavalt rahvusvahelistele normidele.

Töö muudab aktuaalseks asjaolu, et Eestis on toimunud viimastel aastatel kiire majanduslik areng. Selle tulemusena kerkivad üha uued ja suuremad tööstushooned, tehaseruumid ja laod. Aina rohkem kasutakse tootmises erinevaid ohtlikke kemikaale, sealhulgas ammoniaaki ja kloori. Vedelgaas ei ole oma tähtsust odava energiaallikana minetanud ning suuri vedelgaasimahuteid on peaaegu kõikjal Eestis. Maailmapraktika näitab, et tulekahjud ja kemikaalilekked sellistel objektidel ei ole harvad.

1. KÕRGKORDNE EHK KERGVVAHT

1.1. Kõrgkordne ehk kergvaht

Päästealal kasutatav tulekustutusvaht koosneb kolmest komponendist – veest, vahuainest ja õhust. Veest ja vahuainest moodustunud vahumulle täidab õhk. Õhu kogust vahus näitab vahukordsus. Teise sõnaga, vahukordsus näitab vahuaine ja vee segu (emulsiooni) koguse ja saadava vahukoguse suhet ehk mitu korda rohkem vahtu saab selle valmistamiseks kasutatud emulsiooni mahust. Vahukordsuse järgi liigitakse tulekustutusvahud kolmeks⁷:

Madalkordne ehk raskevaht – kordsus 1 – 20. Sisaldab vahtudest kõige vähem õhku ja on seega kaalult raske. Kasutatakse peamiselt vahu heitmiseks pikkade vahemaade taha. Kuna madalkordne vaht sisaldab palju vett, saab seda kasutada ka tugeva joalöögi andmiseks.

Keskkordne ehk poolraskevaht – kordsus 21 – 200. Sisaldab enam õhku kui raskevaht ja seetõttu moodustab katvale pinnale kuni 2 meetri paksuse vahukihi. Poolraskevaht sobib eelkõige suurte põlevvedelike tulekahjude kustutamiseks. Samuti saab kasutada ka väiksemate ruumide vahuga täitmiseks.

Kõrgkordne ehk kergvaht – kordsus üle 201. Kergvaht ehk kõrgkordne vaht (inglise k. high expansion foam) sisaldab vahuliikidest kõige enam õhku (Lisa 1). Sellise vahu kordsus on tavaliselt vahemikus 201 kuni 1000, kuid võib olla isegi 2000 ja rohkem⁸.

Sellise õhukoguse lisamiseks emulsioonile ei piisa enam tavalistest vahumoodustajatest, vaid kergvahu valmistamiseks on tarvis spetsiaalset seadeldist – kergvahumoodustajat ehk kergvahuagregaati (Lisa 1).

Suur õhusisaldus annab kergvahule väikseima vahutiheduse, kui seda on raske- ja poolraskevaht. Seoses sellega ei ole kergvaht mõeldud kasutamiseks välitingimustes, sest isegi nõrk tuul lõhub hõlpsasti vahupatja. Erandtingimustes siiski kasutakse kõrgkordset

⁷ Wieder, M., Smith, C.M., Brakhage, C. Principles Of Foam Fire Fighting. First Edition. Oklahoma State University. 1996, 75

⁸ Rosander, M., Giselsson, K. Skumboken. GIRO-brand AB. 1993, 5

vahtu ka kemikaalilekete ja kütuseloikude katmiseks. Eelkõige on kõrgkordne ehk kergvaht ettenähtud ruumide täitmiseks vahuga. Kergvahu eeliseks on see, et saab täita ka kõrgeid ruume. Inglismaal on õnnestunud täita isegi 65 meetri kõrgune ruum⁹.

1.2. Teisaldatavad kõrgkordse vahu moodustajad ehk kervahuagregaadid

Kergvahuagregaat ei ole vahujoatoru, vaid mootoriga seadeldis. Teisaldatavate kergvahumoodustajate põhikomponentideks on ventilaator, düüsid ja võrk¹⁰ (Lisa 2). Samuti peab olema agregaadil suur õhu sissevõtuava. Koonusekujulises võrgus seguneb düüsidest pihustatav emulsioon (vahuaine vesilahus) ventilaatorist tuleva täiendava õhuga. Selle tulemusel moodustub kõrge kordsusega vaht. Veega varustab kergvahuagregaati tuletõrjepump. Kuni 10 bar –se rõhuga emulsioon suunatakse mööda voolikuliine agregaadid düüsidesse ja sealt edasi võrgule. Võrgus seguneb õhk emulsiooniga ning moodustub vaht (Lisa 3). Kasutatakse ka kergvahuagregaate kuhu on vahuainedosaator juba sisse ehitatud (Lisa 2). Sellisel juhul pole tarvis vaeva näha vahuaine täpse doseerimisega tuletõrjeauto pumbas või kantava dosaatoriga, vaid piisab kui pumbast tuleb ainult vesi. Vahuaine lisatakse veele kergvahuagregaadi dosaatoris. Tuleb ainult toimetada vahuainemahutid agregaadid juurde.

Teisaldatavad kergvahumoodustajad jagunevad ventilaatori jõuallika poolest kaheks¹¹ (Lisa 3):

- a) vedelikuga ringiaetav ventilaator ehk vedelikturbiin;
- b) elektri- või sisepõlemismootoriga ringiaetav ventilaator.

Erinevalt mootoriga käitatavast puhurist on vedelikturbiini jõuallikaks tuletõrjepumbast tulev vesi. Selline tööpõhimõte tagab kergvahuagregaadi sõltumatuse energiaallikast (elekter, kütus) ja teeb seadme sädemevabaks. Sädemekindlus võimaldab sellise kergvahumoodustaja paigutamist ruumidesse, kus on gaaside süttimise oht. Samuti töötab agregaat ka suitsuses keskkonnas. Samas ei ole sellise ehitusega kergvahumoodustajast tulev vaht kuigi suure rõhu

⁹ Hyttinen, V. Palofysiika. Tammer Paino OY. 2000. 115

¹⁰ Turbex Mk II, <http://www.angusfire.co.uk/utdfs/ws-404/Assets/3159-3%20Turbex%20Mk2.pdf>. 22.02.07

¹¹ Hyttinen, V. Palofysiika. Tammer Paino OY. 2000, 146

all ja seega ei ole kasutatav üle 10 meetri kõrguste ruumide täitmiseks ning pikema vahemaa peale suunamiseks. Parima tulemuse saab sellise vahuagregaadiga juhul, kui vaht saab valguda allpool olevale tasapinnale, näiteks keldrisse. Seevastu elektri- või sisepõlemismootoriga varustatud kergvahumoodustaja suudab vahujoale anda juba 4 bar- se rõhu, mis võimaldab vahupatja kergitada 20 meetrini ja rohkem¹².

Kergevahuagregaadil pole kindlat joapikkust, vaid vaht lihtsalt valgub seadmest välja. Kui soovitakse, et vaht ulatuks teatud kaugusele, tuleb agregaadil külge ühendada spetsiaalne suure läbimõõduga kergevahuvoolik. Õhukesest polüetüleenist kergevahuvoolikud on kuni 30 m pikad (Joonis 1).



Joonis 1¹³. Kergvahuvoolikuga varustatud agregaat

1.2.1. Vedelikturbiiniga kergvahuagregaadid

Fomax 7 ja Turbex Mk II

Need kaks analoogset, vedelikturbiiniga kergvahuagregaati, on päästjate hulgas hinnatud eelkõige oma lihtsuse ja kerge kaalu poolest (joonis 2). Samas on tegemist ka vahutootlikkuse poolest küllaltki arvestatavate seadmetega, mille toodetav vahumaht ulatub 200 m³ minutis.

¹² Hyttinen, V. Palofysiika. Tammer Paino OY. 2000, 146-147

¹³ Dafo Brand AB. <http://www.dafo.se/PDF/Rmtrl/skumrask-eng.pdf>. 12.03.07



Joonis 2¹⁴. Kergvahuagregaat Fomax 7

Fomax 7¹⁵ ja Turbex Mk II¹⁶ näitajad:

Kaal – 52 kg

Mõõdud – 630 x 500 x 330 mm

Minimaalne töö rõhk – 4 bar

Maksimaalne töö rõhk – 10 bar.

Ventilaatori pöörded – 4 bar – 1400 rpm; 10 bar – 2350 rpm.

Vahusamba maksimaalne kõrgus – 10 m

Vahukordsus – 500 – 1100 (Fomax 7 kuni 1200)

Veekulu – 180 - 315 l/min

Vahuainekulu – kuni 4,5 l/min

Vahuaine doseerimine – u 1,5 %

Vahu tootlikkus – kuni 200 m³ /min

Liitmikud – 51 mm.

Mõlemad margid on varustatud erilise *by-pass* (möödalaske) süsteemiga, mis võimaldab agregaadiga edukalt töötada kõrge vasturõhuga situatsioonides, näiteks vahupadja kõrgeks kasvatamisel (ruumi täitmisel kuni 10. meetrini)¹⁷ (Lisa 2). Mida kõrgemaks tõuseb vahupadi, seda enam on takistatud vahu vaba väljavool kergvahuagregaadist. Kui vaht ei saa vabalt väljuda ja kui agregadi düüsid pihustavad võrgule endises mahus emulsiooni, siis tulemuseks on emulsiooni üledoseerimine ehk liiga "mürg" vaht. Selline üledoseerimine kahandab märgatavalt vahukordsust, mistõttu on vahupadja kasvatamine häiritud. *By-pass*

¹⁴ Rosenbauer Fire&Safety Equipment. 12.03.07

www.rosenbauer.com/index.php?USER=2c628d23ca4e50c0db0e9815372c30f2&node_id=64&key=53

¹⁵ sama

¹⁶ Turbex Mk II. <http://www.angusfire.co.uk/utdfs/ws-404/Assets/3159-3%20Turbex%20Mk2.pdf>. 12.03.07

¹⁷ sama

süsteem võimaldab kergvahuagregaadist välja lasta liigse emulsiooni. See annab seadme kasutajale võimaluse muuta vahtu kas märjemaks või kuivemaks.

Tähtsaks lisafunktsiooniks on võimalus neid agregate kasutada tulekahjuaegsel või tulekahjujärgsel ventileerimisel. Kuna ventilaatorit ajab ringi vesi ja puudub puhast õhku vajav sisepõlemismootor, siis saab selliseid kergvahuagregate lisaks ülerõhulisele tuulutusele edukalt rakendada ka alarõhulisel tuulutusel. Agregaadilt eemaldakse võrk ja möödalaske (*by-pass*) väljundisse ühendakse voolik, millega suunatakse ventilaatorit ringi ajav vesi tagasi pumpa (Lisa 2). Sellisena saab kergvahuagregaadi paigutada isegi täielikult suitsu täis keskkonda, kartmata, et agregaat seiskub. Samuti saab, erinevalt sisepõlemismootoriga ventilaatoritest, seadeldisega ka ruumidest suitsu välja imeda. Selleks tuleb ühendada kergvahuaregaadi õhu sissevõtuavasse spetsiaalne sünteetiline voolik, mille teine ots paigutakse raskesti ventileeritavasse suitsusesse ruumi (näiteks keldrisse). Selline 7,6 meetri pikkune ventileerimisvoolik on seadme lisavarustuses. Alarõhulise ventileerimise võimsus kergvahuagregaatidel *Fomax 7* kui *Turbex Mk II* on 7 bar juures 285 m³ minutis¹⁸.

Eelpoolkirjeldatud kergvahuagregaatide väiksemad variandid on *Mini Fomax* (Joonis 3) ja *Mini Turbex*. Samal tööpõhimõttel töötavad vahumoodustajad on küll väiksema vahutootlikkusega, kuid kaalult kergemad ja mõõtmetelt väiksemad.



Joonis 3¹⁹. Mini Fomax

¹⁸ Turbex Mk II. <http://www.angusfire.co.uk/utcfs/ws-404/Assets/3159-3%20Turbex%20Mk2.pdf>. 12.03.07

¹⁹ Rosenbauer Fire&Safety Equipment. 12.03.07

www.rosenbauer.com/index.php?USER=2c628d23ca4e50c0db0e9815372c30f2&node_id=64&key=53

Seetõttu on nii *Mini Fomax* kui *Mini Turbex* hõlpsalt paigaldatav tuletürje- ja pääste põhiautodele. *Mini Turbexi* toodetav vahukogus 8,4 bar rõhu juures ulatub 94 m³ minutis, vahukordsusega 360²⁰. *Mini Fomaxi* näitajad on samadel tingimustel 135 m³ vahtu minutis²¹.

1.2.2 Sisepõlemismootoriga ringiaetava ventilaatoriga kergvahuagregaadid

Foam-Quick ja Rosenbauer Foam Generator

Vahumoodustaja *Foam-Quick* on ettenähtud paigaldamiseks ülerõhuventilaatorile *Swefan 24''* (joonis 5), mille õhutootlikkus on 31000 m³ ja kaal 40 kg. *Rosenbauer Foam Generator* (joonis 4) paigaldakse ülerõhuventilaatorile *Fanenergy V24*, mille õhutootlikkus on 36100 m³ tunnis ja kaal 54 kg.



Joonis 4²². Ülerõhuventilaatorile paigaldatav agregaat Rosenbauer Foam Generator

Tabel 1. Ülerõhuventilaatorile paigaldatavate vahumoodustajate näitajad

	<u>Foam-Quick²³</u>	<u>Rosenbauer Foam Generator²⁴</u>
--	--------------------------------	---

²⁰ 2002. Vahtkustutus. Loengukonspekt. Väike-Maarja Päästekool, 6

²¹ Mini Fomax. 12.03.07

<http://www.macronsafety.com/content/Product.asp?ForumID=233&ForumName= Foam+Equipment>

²² Rosenbauer Fire&Safety Equipment. 12.03.07

http://www.rosenbauer.com/index.php?USER=657ed00ef6773f13c6f6772fe7907bed&node_id=7088

²³ Dafo Brand AB. <http://www.dafo.se/PDF/Rmtrl/skumrask-eng.pdf>. 12.03.07

²⁴ Rosenbauer Fire&Safety Equipment. 12.03.07

http://www.rosenbauer.com/index.php?USER=657ed00ef6773f13c6f6772fe7907bed&node_id=7088

Vee vooluhulk	200 l/min	200 l/min
Töörõhk	6 bar	6 bar
Vahu kordsus	300:1 kuni 800:1	300:1 kuni 800:1
Vahu tootlikkus	60 – 160 m ³	50 – 140 m ³
Vahuaine doseerimis %	3 %	3 %
Kaal	9 kg	12 kg
Mõõdud	630 x 170	630 x 160 mm
Ühendatava vahuvooliku diameeter	760 mm	650 mm

Ruumi säästmiseks tuletorje-päästeautodel on ülerõhuventilaatorile paigaldatav kergvahuagregaat hea valik. Reeglina kuulub päästeauto põhivarustusse üks või mitu ülerõhuventilaatorit, mida kasutakse ruumide ventileerimisel. Kergvahumoodustajad nagu *Foam-Quick* ja *Rosenbauer Foam Generator* on ülerõhuventilaatorile hõlpsalt kinnitatavad vahuseadmed. Nad on mõõtmetelt väikesed ja kerged käsitleda. Kergvahumoodustaja paigaldakse kiirkinnitustega ülerõhuventilaatorile. Vahumoodustajale asetakse U-profiiliga kinnitusi kasutades võrk. Vahu suunamiseks saab kasutada nii vahuvoolikut kui ukseadapterit (joonis 2 ja 3). Vahu kordsuse määrab ära ventilaatori kiirus, kuid ei ole soovitatav ületada $\frac{3}{4}$ täisvõimsusest²⁵. Samuti on oluline suunata eemale ventilaatori mootori heitgaasid, et need ei häiriks kvaliteetse vahu moodustumist. Heitgaaside suunamiseks on lisavarustusena saadaval 5 meetri pikkused voolikud.



Joonis 5²⁶. Foam-Quick kergvahumoodustajaga varustatud ülerõhuventilaator Swefan 24''

²⁵ Dafo Brand AB. <http://www.dafo.se/PDF/Rmtrl/skumrask-eng.pdf>. 12.03.07

²⁶ sama

Kergvahuagregaadi hooldus on vajalik teostada pärast igat kasutamist, kus moodustati vahtu. Hooldus seisneb agregaaadi korralikus, puhta veega läbipesus. Esmatähtis on kergvahuagregaadi dosaatori läbipesu, sest kuivanud vahuaine tõttu võib dosaator lakata töötamast. Dosaatori läbipesuks asendakse vahuainemahuti veeanumaga ja lastakse agregaadil töötada nagu vahtu moodustades. Vahuaine asemel imeb seade läbi dosaatori puhast vett. Läbipesu on edukalt sooritatud kui läbi võrgu ei tule enam vahusegust vett. Ka võrk on soovitatav eraldi veega loputada ja kuivatamiseks agregaaadi küljest eemaldada.

1.3. Vahuained, mis sobivad kõrgkordse vahu moodustamiseks

Kõrgkordse ehk kergvahu moodustamiseks sobib vaid sünteetiline vahuaine. Sünteetilisel vahuainel on madalast viskoossusest tulenevalt hea doseeritavus ja omadus "hästi vahutada" ehk moodustada kõrget vahukordsust. Kervahuagregaadis saab kasutada nii A-klassi kui ka B-klassi sünteetilisi vahuaineid. Siiski tuleb arvesse võtta, et sünteetilisest vahuainest moodustunud kõrgkordne vaht sisaldab vähe vett ja on seega nõrgema jahutamismomadusega ning kuumusele vähem vastupidav, kui näiteks madalkordsed proteiinvahud²⁷. Proteiinvahuainete kasutamine kergvahuagregaatides on aga vastunäidustatud. Proteiinvahuaine on oma madala vahukordsuse tõttu mõeldud eelkõige kasutamiseks madalkordse ehk raskevahuna. Samuti takistab selle vahuaine kõrge viskoossus vahuagregaadi dosaatoril õige vahekorraga emulsiooni moodustamist.

Nõuded kõrgkordsele vahuainele²⁸

- Kõrgkordse vahuaine doseerimiskogus on ettenähtud 1 % kuni 3 %;
- Stabiilne ja kestev õhumullide struktuur;
- Sobilik kasutamiseks nii puhta veega kui mereveega;
- Sobilik kasutamiseks standardsete seadmetega;
- Sobilik kasutamiseks koos pulberkustutitega.

²⁷ Colletti, D. Class A Foam – Best Practice For Structure Firefighters. Lyon`s Publishing 1998, 50

²⁸EVS-ISO7203-2:1998. Kesk ja kõrgkordsed vahuained veega mittesegunevate põlevvedelike kustutamiseks.

Vahuainete ladustamine ja käsitlemine

Säilitamiseks kasutada võimalusel mahuteid, millega vahuaine valmistaja poolt kohale transporditi. Soovitavalt peaksid mahutid olema valmistatud roostevabast terasest (tüüp 304L või 316), kõrge tihedusega polüetüleenist või tugevdatud fiibrist²⁹. Põhiliseks probleemiks vahuainete säilitamisel on korrosioon. Kuna sünteetilise vahuaine pH on ligikaudu 7, võib see reageerida nii mahutite kui torustikega. Mahutid peavad olema õhukindlalt suletud. Vastasel korral aurustuvad vahuainest ära vajalikud kemikaalid, mistõttu vahuaine ei ole enam nõutava viskoossusega või kaob külmakindlus. Samuti pole lubatud vahuainet segada mõne teist tüüpi vahuainega.

Säilitamiseks on soovitatavad temperatuurid 2°C kuni 49°C. Vahuaine ei tohi külmuda (välja arvatud spetsiaalsed vahuained, mis ei kaota külmudes oma omadusi). Külmutumise järel võib mahuti alaosas olev vahuainekiht anda teistsuguse kvaliteediga vahtu kui mahuti ülaosas asetsev vahuainekiht. Tuleb jälgida, et kui tekib mahuti põhja külmutumise järel valget või pruuni sadet, siis on vahuaine suure tõenäosusega riknenud. Külmunud vahuainet tuleb üles sulatada aeglaselt, toa temperatuuril, ja pidevalt segades. Sünteetilistel vahuainetel võib pikalt seistes eralduda koostisest mõni keemiline komponent. Seetõttu tuleb suuremates mahutites vahuainet segada regulaarselt³⁰.

1.4. Kõrgkordse vahu kasutusala

Kõrgkordsel vahtkustutusel on mitu eelist tavapärase vesikustutuse ees:

- kõrgkordne ehk kergvaht sisaldab väga vähe vett ja seetõttu kaasnevad kergvahuga kustutamisel väiksemad veekahjud;
- suure koguse vahu moodustamiseks kasutakse vaid vähesel määral vett ja vahuainet. Nii saab lokaliseerida ja kustutada suuri tulekahjusid, kulutamata liigselt kalleid kustutusvahendeid;
- väike inimressursikulu. Kergvahuagregaadi käsitlemisel piisab kahest päästjast;

²⁹ Foam Concentrates MSDS. <http://www.kidde-fire.com/utcfs/Templates/Pages/Template-66.html>. 16.03.07

³⁰ Hyttinen, V. Palofysiika. Tammer Paino OY. 2000. 115

- kergvahtu saab edukalt kasutada ruumides, kus on rohkelt elektroonikat. Massachusetts'i Tehnoloogia Instituudis viidi läbi rida katseid kergvahuga. Katsete tulemuste põhjal leiti, et vähese veesisaldusega kergvaht ei kahjusta üldse või kahjustab minimaalselt elektroonikaseadmeid. Kui vaht lagunes, sai seadmeid hõlpsalt puhastada ja seejärel uuesti kasutada³¹;
- kergvahul on väike elektrijuhtivus. Kui pinge on alla 250 V, on oht praktiliselt olematu³².

Kõrgkordse ehk kergvahu peamised kasutusala on³³:

- ruumide täitmine;
- vedelgaaside tulekahju lokaliseerimine;
- ohtlike kemikaalide ja vedelgaasi aurustumise tõkestamine;
- erandkorras suurte põlevvedelikuloikude katmine.

1.4.1. Ruumide täitmine kergvahuga

Oma suure mahu tõttu sobib kergvaht eelkõige ruumide täitmiseks. Ruumide täitmine kergvahuga võetakse ette juhul, kui ühel või teisel põhjusel ei soovita rakendada tavapäraseid kustutusmeetodeid ning kui on olemas või luuakse vastavad eeldused. Kergvahuga täitmist kasutatakse ruumides, kus suitsusukeldumise teostamine pole võimalik või on äärmiselt keeruline, näiteks madala laega pööningutel, keldrites, punkrites, kaablitunnelites, laevade masina- ja lastiruumides, kemikaalide ladudes, lennuki angaarides, kaevandustes jne. Samuti on kergvahuga täitmine õigustatud ruumides, kus asuvad näiteks kuumenenud gaasiballoonid või ohtlikud ained.

Kergvahuga ruumide täitmine on sobivaim järgnevatel juhtudel:

- Varjatud põlengud;
- Piiratud veeressursid;

³¹ Jet-X Generator. <http://www.ansul.com/AnsulGetDoc.asp?FileID=8319>. 17.03.07

³² Rosander, M., Giselsson, K. Skumboken. GIRO-brand AB. 1993, 87

³³ IFSTA. Principles of Foam Fire Fighting. Oklahoma State University. 2003, 58

- Kui kuumus, suits, lagunevad ehituskonstruktsioonid või muud sellised ohud välistavad otserünnaku;
- Kui tuleb täita ohtlikke aineid sisaldav ruum.

Kergevahuoperatsioon on ka nn tavaliste põlengute puhul tihtipeale end õigustanud. Näiteks plekk-katusega hoonete tulekahjud. Plekk-katuste aluste ruumide põlemisele on iseloomulik, et põleng kulgeb pikka aega samas ruumis, kuna plekkplaadid ei põle kergesti läbi. Ka kustutamine väljaspoolt on seetõttu raskendatud. 1990-ndatel aastatel on Rootsis kergvahuga edukalt kustutatud mitu pööningupõlengut. Vaht on juhitud pööningule vaid mõne katusesse tehtud augu kaudu. Lisaks on kasutatud kindlustamiseks vaid üksikuid käsivahujoatorusid. Need tulekahjud kustutati edukalt ja riskeerimata päästjate ohutusega. Kuna kergvaht sisaldab väga vähe vett, siis veest tingitud kahjustused olid minimaalsed või puudusid hoopis³⁴.

1.4.2. Vedelgaaside aurustumise tõkestamine ning vedelgaaside tulekahju lokaliseerimine kõrgkordse vahuga

Vedelgaaside, nagu propaan ja metaan, lekete puhul saab kergvahuga kattes vähendada nii gaasi süttimisohu kui ka edukalt lokaliseerida juba süttinud tulekahju. Kattes kergvahuga välja voolanud vedelgaasi, takistab see õhuline vahukiht olulisel määral gaaside aurustumist. On tõestatud, et kõrgkordse vahuga suudetakse edukalt kontrollida kuni 111 m² piiratud alal (näiteks vedelgaasi mahutit ümbritsev vallitise ala) toimuvat vedelgaasi lekkest tulenevat tulekahju³⁵. Siinkohal on muidugi kriitilise tähtsusega aeg, mil vahurünnakut alustatakse. Mida kauem rünnaku algusega venitakse, seda kõrgemaks tõuseb temperatuur tulekoldes ja suuremaks muutub oht, et gaasimahuti rebeneb plahvatuse tulemusena (BLEVE) või tuli levib kõrvalasuvatele objektidele. *The National Fire Protection Association* (edaspidi NFPA) nõuete kohaselt peab vahurünnak olema arvestatud sellise võimsusega, et 2 minuti jooksul on ohtlikud objektid kaetud vähemalt 0,6 meetrise vahukihiga. Vahuaine ja veevaru peab jätkuma vähemalt 12 minutit kestvaks katkematuks vahurünnakuks³⁶.

³⁴ Rosander, M., Giselsson, K. Skumboken. GIRO-brand AB. 1993, 83

³⁵ NFPA 11A. 2002. Standard for Low-, Medium-, and High-Expansion Foam Systems, 8.1420.1

³⁶ sama, 8.139.3.3.1

Vedelgaasi leketsest tingitud tulekahjude kustutamine ei ole edukas tavapäraste kustutusvahenditega nagu vesi ja madalkordne vaht. Vastupidi, nende kasutamine sellistel tulekahjudel kiirendab vedelgaasi aurustumist ja muudab põlemise intensiivsemaks. Mahutis või balloonis oleva propaani rõhk tõuseb üle normaalatmosfääri rõhu kohe, kui temperatuur tõuseb üle keemistemperatuuri -42°C ³⁷. Metaanil on sama näitaja - $161,5^{\circ}\text{C}$ ³⁸. Kui suunata niivõrd madala temperatuuriga vedelgaasile vee või madalkordse vahu juga, siis gaas reageerib ägedalt, sest soojus liigub vedelikult vedelgaasile ja toimub ülikiire aurustumine. Seega puudub igasugune kustutusefekt ja mis veel hullem, tulekahju ägeneb, tingituna kiirest aurustumisest³⁹. Vett võib siiski kasutada kõrvalmahutite jahutamiseks, kuid seda tuleb teha äärmise ettevaatusega.

Vedelgaaside tulekahjusid uuriv instituut Ameerika Ühendriikides, Texas A&M University's Emergency Services Training Institute, on aastaid otsinud efektiivsemaid mooduseid vedelgaaside tulekahjude kontrolli alla saamiseks ja likvideerimiseks. Katsetuste käigus on leitud, et vedelgaaside lekkest põhjustatud tulekahjude lokaliseerimiseks on parim vahend kergvahurünnak. Lekkiva vedelgaasi aurud ei liigu koheselt ümbruskonda, vaid jäävad esialgu maapinna lähedale kuni lahjenevad. Kui aur soojeneb, hakkab see vertikaalselt üles kerkima. Kõrgkordse vahu eeliseks on oma mahu kohta väike veesisaldus. Sellistel puhkudel on nõutav vahukordsus 500:1⁴⁰, mis tähendab, et vahu kogumahu on vaid 1/500 osa vedelikku. Väikse veesisalduse tõttu kergvahu ei teki kokkupuutel vedelgaasiga äkilist aurustumist. Teostades kergvahurünnakut vedelgaasiloigule, tekib gaasi madala temperatuuri toimel vahu ja vedelgaasi kokkupuute kohale jääne vahukiht, millest hakkavad imbuma läbi gaasiaurud (Lisa 4). Sellega saadakse vedelgaasi aurustumine kontrolli alla. Samuti vähendab külmunud kergvahukiht sellise tulekahju soojuskiirgust kuni 50 %⁴¹. Vahust tekkinud jääkiht on piisavalt kerge, et püsida vedelgaasi pinnal ning piisavalt tugev, et kaitsta ülalpool asetsevat paksemat vahukihti hävimise eest. Gaasiaurud tõusevad vertikaalselt üles ja pääsevad atmosfääri läbi vahupatja moodustunud jääste kanalite. Hoides pidevalt üleval nõutud kergvahukihti, saab nii kontrollida põlengut kuni vedelgaasi ärapõlemiseni.

³⁷ 2002. Tulekustutustööd. Gaasipõlengud. [Loengukonspekt] Väike-Maarja Päästekool

³⁸ Drysdale, D. Tulekahju dünaamika. John Willey&sons. 1998, 188

³⁹ Fischer, R.D. Hazards of Liquefied Natural Gas, www.firetactics.com

⁴⁰ Department Of Transportation (2004) Emergency Response Guidebook. www.firefighting.org. 17.03.07

⁴¹ White, D. LNG hot spot. 2005. Frontiers. 13

Samas kergvahuga üksi ei suuda me sellist tulekahju likvideerida. Lõplikuks kustutamiseks võetakse appi veel kustutuspulber ja seda pihustavad seadmed. Kustutuspulbri pihustamise eeldus on siiski see, et pihustamine leegile toimuks võimalikult lähedalt. See saab olla võimalik vaid siis, kui kergvaht on vähendanud soojuskiirgust tasemeni, kus päästjatel on võimalik ligineda tulekahjule vajaliku kauguseni.

1.4.3. Teiste ohtlike kemikaalide aurustumise tõkestamine

Kergvahtu saab edukalt kasutada ka erinevate ohtlike ainete, nagu ammoniaak, aurustumise tõkestamiseks keskkonda. Ka sellistel juhtudel, peab vahukordsus olema 500:1⁴². Vahupadjaga kaetakse ühtlaselt mahutist välja lekkinud kemikaali loik. Nii lokaliseeritakse kemikaali aurustumine ja võidetakse lisaiega keemiasukeldumise ettevalmistamiseks ning lekke kõrvaldamiseks. Siiski on tähtis arvestada tuulega, mis võib õhulise kergvahu lihtsalt ohtlikult ainelt ära kanda.

1.5. Kõrgkordse vahtkustutuse taktika

Kõrgkordset vahtkustutust kasutakse juhul kui ei ole võimalik või on ohtlik rakendada tavapäraseid kustutusmeetodeid. Kergvahtu kasutades hoitakse kokku inimressurssi ja kustutusaineid.

Hoonete sisesed tulekahjud kustutakse ruumi täitmisel vahuga. Vaht pidurdab soojuskiirguse levimist ja takistab hapniku juurdepääsu põlemisele. Kui ruumi temperatuur langeb, tõmbuvad põlemisgaasid kokku. Tavaliselt hakkab siis väljastpoolt imbuma õhku sisse, et kompenseerida kokkutõmbunud põlemisgaase. Kergvahu pideval lisamisel aga seda ei juhtu, ülerõhk säilib ja väljast tulev õhk ei pääse sisse. Ruumi juhitud vaht sisaldab muidugi ka õhku, mis vabaneb vahu lagunemisel, kuid seda pole tule alalhoidmiseks piisavalt⁴³.

⁴² Eriksson, L. Skum Släckeffekt, vätskor, generatorer, system och taktik. SBF Brandförsvarsförningen 1984

⁴³ Rosander, M., Giselsson, K. Skumboken. GIRO-brand AB. 1993, 86

Tulekahju soojuskiirguse mõjul lagundakse osa vahust. Lagunemisel aurustub suur osa vahus sisalduvast veest, mis neelab suurel hulgal soojuskiirgust. Vesi, mis satub vahu lagunemisel põlevatele pindadele, omab vahuainest tuleneva madala pindpinevuse tõttu paremaid jahutus- ja määrgamisomadusi kui tavaline kustutusvesi⁴⁴.

Samas tuleb arvestada, et kergvaht sisaldab vähe vett ja palju õhku ning on seega kuumusele vähe vastupidav. Kergvahuga tulekahju kustutamine seisneb võimalikult suures koguses vahu suunamisel põlemisele. Sõltuvalt tulekahju soojuskiirgusest, hävineb suur hulk vahtu ruumi sisenedes, kuid jätkuvalt piisava vahuhulga lisamisel kustutakse lõpuks tulekahju. Seega on väga oluline leida tulekahjule ja ruumi suurusele vastav vahuhulga pealevool.

Kergvahu moodustamisel on oluline pidada silmas ka vahukordsust. Vahukordsust 500:1 on soovitatav kasutada vedelkütuste ja kemikaalide tulekahjude kustutamisel, kuna suurema kordsusega vahus puudub piisav hulk jahutamiseks vajalikku vett. Kordsusega 1000:1 ja rohkem vaht on sobilik A-klassi tulekahjudel, peamiselt ruumid täitmiseks⁴⁵.

Kergvahuagregaadi paigaldamisel tuleb jälgida seadme õiget kaugust tulekahjust, et suits ja põlemisgaasid ei satuks agregaat. Kuna kergvahuagregaadi õhu sissetõmbeava juurde tekib seadme töötamisel alarõhk, siis tulekahjule liiga lähedale paigaldades imetakse suits läbi agregaad. Selle tulemusena kannatab vahu kvaliteet. Ka kergvahuagregaadid, millel on sisepõlemismootor, on varustatud voolikuga, mis juhivad heitgaasid seadmest eemale. Sellise vooliku pikkus on tavaliselt u 5 meetrit.

Ruumide täitmisel kergvahuga peab:

- leidma ja rakendama tulekahjule ja ruumi suurusele vastava vahuhulga pealevoolu;
- veenduma, et vahuga täidetavas ruumis oleks piisava suurusega õhu (suitsu ja põlemisgaaside) väljatõmbeava⁴⁶;

⁴⁴General foam info. <http://www.buckeyef.com/Foam-Division/DataSheets/Engineering/High-Expansion-Systems.pdf>. 20.03.07

⁴⁵High expansion foam equipment. 20.03.07

<http://www.kiddecanada.com/utcfs/ws463/Assets/Turbex%20MkII%20Datashet.pdf>

⁴⁶Rosander M, Giselsson K. Skumboken. GIRO-brand AB. 1993, 116

- kasutama ukseadapterit, mis sulgeb tõhusalt avause, mille kaudu vaht ruumi viiakse. Samas hoiab adapter kergvahuagregaadi piisaval kaugusel tulekahjust, et suits ja põlemisgaasid vahu moodustamist ei häiriks⁴⁷;
- võimalusel vahurünnakut teostama allatuult;
- kontrollima, et ruumi seintes või põrandas ei oleks lisaavausi, mille kaudu vaht võib välja valguda. Vahu väljavalgumise takistamiseks tuleb need kinni katta. Kui katmiseks kasutakse võresid, siis võre silma suurus peab olema vähemalt 5 mm⁴⁸.

1.5.1. Vajaliku vahukoguse ja vahu pealevoolu arvutamine

Arvutamisel põhinetakse asjaolul, et vaht hävineb (tõmbub kokku) vastavalt tulekahju soojuskiirgusele. Tavaline vahu hävimine normaalse soojuskiirguse juures on 0,1 m/min. Kui soojuskiirguse tase on ~10 kW/m², siis hävimine on 0,2 m/min. Kiirgusel ~20 kW/m² võib tõusta 0,4 m/min, olenevalt vahuainest, leegist ja vahukorsusest⁴⁹. Võimalusel sooritatakse kombineeritud rünnak pulbrijoaga, mis aitab edukalt soojuskiirguse alandamisele, kuid tuleb jälgida, et pulbrijuga ise ei riku vahupatja. Ka kokkupuude polaarsete kemikaalidega hävitab vahtu. Vajalik vahu pealevool arvutakse valemiga⁵⁰:

$$R = \frac{V}{T} \cdot C_N \cdot C_L,$$

, kus

R [m³/min] vajalik vahutootlikkus

V [m³] täidetav maht, tavaliselt hoone ruumala

T [min] vahurünnaku aeg, keskmiselt 5 min. See on aeg, mille jooksul peab vähemalt 0,6 meetrine vahukiht katma põlevmaterjali. NFPA juhendi kohaselt sõltub arvestuslik vahurünnaku aeg põlevmaterjalist⁵¹:

a) vedelgaasid – 2 min

b) põlevvedelikud - 3 min

⁴⁷ sama, 115

⁴⁸ Hyttinen, V. Palofysiika. Tammer Paino OY. 2000, 120

⁴⁹ High expansion foam. www.firetactics.com/1014pdf. 15.05.06

⁵⁰ NFPA 11A. 2002. Standard for Low-, Medium-, and High-Expansion Foam Systems, 8.123.58.2.2

⁵¹ Sama, 8.124

- c) väikese tihedusega põlevmaterjalid (vahtkumm, vahtplastik jne) – 4 min
- d) tihedad põlevmaterjalid (paberirullid, jõupaber jne) – 5 min
- e) kummirehvid, puit, tekstiil – 6 min

CN [-] vahupadja hävimise (kahanemise) koefitsent. Võttes aluseks, et vajalik vahupadja paisumine on 1 m/min, CN = 1.1 ruumides, kus ei ole tulekahju. Keskmise soojuskiirgusega ja suitsuga täitunud ruumides, CN = 1.2 ja kõrge soojuskiirgusega ruumides CN = 1.4. (NFPA soovib võtta keskmiseks koefitsendiks CN = 1.15). Koefitsenti CN saab alandada, kui eelnevalt jahutada põlemis keskkonda.

CL [-] lekke koefitsent. Lekkeks loetakse tavaliselt vahu väljavoolu ruumi avaustest nagu aknad ja uksed. Samas võib vahulekke all määratleda ka vahupatja lõhkuv pulbrijuga kombineeritud kustutusrännakul ja vahtu hävitavad polaarsed vedelikud. Koefitsent ei saa olla vähem kui 1.0. Kui leke puudub, siis loetakse koefitsendiks CL = 1.0. Tavaliste hoonete puhul, kui avaused on korralikud suletud, ei ületa lekkekoefitsent 1.2-e. Kindlasti on päästetööde juhil selle koefitsendi määramine keerukas ja nõuab kogemust. Kahtluse korral on arukas arvestada suurema vahulekkega.

Rootsis läbi viidud katsete tulemused näitasid, et ruumi täitmisel peab kergvahu pealevool olema nii suur, et vahukate pakseneks 1 m minutis⁵². NFPA soovib, et vahuainet ja vett jätkuks katkematuks vahurünnakuks 25. minuti jooksul või 4 korda sellises mahus, kui palju oli tarvis ruumi täitmiseks, et katta ruumis asuvad põlevad objektid vähemalt 0,6. meetrise vahukihiga. Samas ei tohi see ajaliselt olla vähem kui 15 minutit katkematut vahurünnakut. Vahuaine ja vee varu tuleb planeerida nii, et vahupatja saab üleval hoida (korrastada) nõutud mahus (vähemalt 0,6 meetrit üle ruumis asuvate objektide) mitte vähem kui 60 minutit⁵³. Vahupadja üleval hoidmine tähendab seda, et kui on teostatud nõuetekohane katkematu vahurünnak, siis hoitakse vahupadi nõutud tasemel veel vähemalt 60 minutit, et takistada tulekahju hoogustumist (juhul kui vahurünnak tulekahju ei kustutanud) või uuestisüttimist. Samuti aitab selline vahupadja korrastamine edukalt kustutada ka konstruktsioonide vahel olevad hõõgpõlemised, kuna vahu pindpinevus on väike ja võimaldab emulsioonil tungida

⁵² Rosander, M., Giselsson, K. Skumboken. GIRO-brand AB. 1993, 84 - 85

⁵³ NFPA 11A. 2002. Standard for Low-, Medium-, and High-Expansion Foam Systems, 8.124.10.4

sügavale materialide pooridesse. Vahupadja ülevalhoidmine ei eelda katkematut vahu andmist ruumi, vaid seda lisatakse juhul, kui vahupadi hävineb alla nõutud mahu.

Seega, kergvahuvahurünnakut planeerides tuleb arvesse võtta, et:

- Vahupadja paksus peab olema vähemalt 1,1 korda nii kõrge kui kõrgeimal objekt (näiteks ladustatav kaup laoruumis), kuid mitte vähem kui 0,6 meetrit;
- Vahurünnaku arvestuslik kestvus peab olema 2 kuni 6 min sõltuvalt põlevmaterjalist ja hoone ehitusest (tavaliselt 5 min);
- Vahuaine ja vee varu peab jätkuma kergvahu agregaaadi katkematuks tööks 25 minuti jooksul või 4 kordne vahurünnakuks vajaminev vee ja vahuaine hulk, kuid mitte vähem kui 15 min;
- Vahupadja tuleb üleval hoida (täiendada) vähemalt 60 minutit.

1.5.2. Õhu väljatõmbeava

Kui teha kergvahurünnak ruumi, mis on absoluutselt hermeetiline, lõppeks vahuoperatsioon sellega, et ruumis tekiks ülerõhk ja vaht hakkaks pressima tagasi kergvahuagregaati. Selleks, et vaht edasi liiguks, peab õhk pääsema ruumist välja. Õhu väljatõmbeava asukoht määrab ära, mis suunas vaht levima hakkab. Seetõttu peaks väljatõmbeava paiknema vahu sisseviimise (õhu juurdevoolu) ava suhtes diametraalselt vastassuunas (Lisa 5).

Tulekahjust tingituna tekib ruumis ülerõhk ja vaht püüab levida ruumist välja. Kui soovitakse täita hooneosa vahuga võimalikult kõrgelt, tuleb teha ruumi ülaossa avaus, kust põlemisgaasid ja õhk välja pääsevad. Nii kerkib vahupadi avause suunas. Kui tulekahju on vaid hoone ühes osas, tuleb avaus teha tulekolde taha või selle kohale, et vaht jõuaks sihtmärgini (Lisa 5).

Õhu väljatõmbeavade pindala kokku peab olema sama suur või veidi väiksem kui kergevahuvooliku või ukseadapteri pindala⁵⁴. Kui väljatõmbeava puudub, ei pääse õhk ruumist välja ja hakkab tagasi suruma. Kui väljatõmbeava on liiga suur, tekib liigne õhuvool,

⁵⁴ Rosander M, Giselsson K. Skumboken. GIRO-brand AB. 1993, 86

mis ei lase tekkida ülerõhul. Tavaliselt on tööstus- ja laoruumides väljatõmbeavasid piisavalt. Olenevalt olukorrast tuleb neist osa avada või sulgeda. Probleemsed võivad olla keldritulekahjud, kus tavaliselt piisava suurusega avaused puuduvad.

1.5.3. Ukseadapter

Süntheetilisest või tekstiilmaterjalist paisuvaid kergevahuvoolikuid ehk ukseadapereid kasutakse parema tulemuse saamiseks hoonete täitmisel vahuga⁵⁵ (joonis 6). Ukseadapteri funktsiooniks on paisuda voolikusisese rõhu surve, kuni terve õhu juurdevooluava, näiteks ukseava või aken, on suletud. Seejärel adapter avaneb ja paiskab vahu ruumi, tekitades ülerõhu.



Joonis 6⁵⁶. Ukseadapteriga varustatud kergvahuagregaat

1.5.4. Tuule mõju

Kergvahurünnakut tuleb planeerida nii, et kergvahuagregaat ja õhu väljatõmbeava oleksid võimalikult allatuult. Tuule mõju sageli alahinnatakse. Ükski kergvahuagregaat ei tööta vastutuules arvestatud tootlikkusega⁵⁷. Samuti on oht, et vastutuulega võib vaht sattuda tagasi agregaat. See pärsib oluliselt vahuagregaadi tööd ning on oht, et siseõlemismootoriga agregaat jääb lihtsalt seisma. Samuti peab veenduma, et enne kui

⁵⁵ Dafo Brand AB. <http://www.dafo.se/PDF/Rmtrl/skumrask-eng.pdf>. 08.04.07

⁵⁶ sama

⁵⁷ Rosander M, Giselsson K. Skumboken. GIRO-brand AB. 1993, 86

kergvahuagregaat välja lülitakse, ei valguks kõrge vahupadi tagasi. Vastasel korral takistab agregaati valgunud vaht selle käivitamist.

1.5.5. Vahukatte lagundamine

Kui vahuga täidetud ruumis saab mõni inimene vigastada või puudub side, tuleb vahukate kiiresti lagundada, leidmaks vigastatu. Parim võimalus selleks on kasutada pihustatud veejuga. Samuti saab hea tulemuse ülerõhuventilaatoriga, mis läbi vahu lükates purustab vahu oma tiiviku labadega.

1.5.6. Vahtu sukeldumine

Kergvahu patja sisenemine ei ole soovitatav, sest suhu sattudes on madala pindpinevusega vaht organismile kahjulik. Siiski on võimalik teostada suitsusukeldumise alustel kergvahtu sukeldumist. Nii saab sooritada kombineeritud kustutusrünnaku, kus vaht alandab temperatuuri ruumis sellisele tasemele, et vahtusukeldujad saavad käsijugadega siseneda hoonesse tulekoldele lähemale. Tähtis on seejuures arvestada turvameetmeid. Kuna kergvahu kaotab inimene kergesti orientatsioonivõime, tuleb vahtu sukeldumisel kasutada turvanööri⁵⁸.

⁵⁸ Hyttinen, V. Palofysiika. Tammer Paino OY. 2000. 154

2. KÕRGKORDSE VAHTKUSTUTUSE KASUTUSELE VÕTMINE EESTI PÄÄSTETEENISTUSES

Kuna uute päästetehnoloogiate rakendamine on kulukas, jääb Eesti päästjatel kindlasti veel aastateks peamiseks kustutusvahendiks vesi. Ent ajaga tuleb kaasas käia, teha tutvust ja proovida uusi tulekustutus- ja päästemeetodeid ning võtta kasutusele moodsaid päästevahendeid. Kõrgkordset vahtkustutust on maailmas edukalt kasutatud juba aastaid. Samuti on kergvahuagregaadid jõudnud ka Eestisse (Põhja-Eesti Päästkeskus, Lääne-Eesti Päästkeskus) ja Harjumaal on agregaat kasutatud tulekahjudelgi. Siiski ei saa hetkel rääkida mõtestatust ja arvutustel baseeruvast kõrgkordsest vahtkustutusest Eesti päästeteenistuses. Sedavõrd uudne on veel see kustutusmeetod.

Kõrgkordse vahuga kustutamist ei saa ja ei ole otstarbekas rakendada igapäevaselt tulekahjude kustutamisel. Selleks on kergvahuagregaadi käsitlemine liigselt tülikas. Kui aga on tegemist olukorraga, kus tavapäraste kustutusmeetodite rakendamisest pole kasu või on liigselt ohtlik päästjatele, annab kergvaht peaaegu alati võimaluse hoida tulekahju vähemalt kontrolli all. Seetõttu leiab kõrgkordne vahtkustutus üha rohkem kasutamist päästealal.

2.1. Tulekahjud, kus on kasutatud kõrgkordset vahtkustutust

Tallinna Tuletõrje- ja Päästameti soetatud kervahuagregaat *Turbex Mk II* on kasutusel olnud ligi 5 aastat. Nende aastate jooksul on agregaat kasutatud reaalsel tulekahjudel kahel korral, keldri tulekahjul Saue, Tule tn 30 ja laeva tulekahjul Tallinnas, Kopli tn 103. Järgnevalt analüüsin kergvahuagregaadi kasutamist neil kahel tulekahjul ning lisaks põõningutulekahjul Rootsis. Eesmärgiks on välja tuua puudused, mida tuleb arvestada rahvusvahelistele juhenditele vastava kõrgkordse vahtkustutuse kasutusele võtmisel.

2.1.1 Tööstushoone keldri tulekahju Saue, Tule tn 30

Sündmuse kirjeldamisel on kasutatud abimaterjalidena Häirekeskuse Põhja-Eesti Keskuse 10.02.2006 Tulekustutus - päästemeeskondade ja kiirabiüksuste sündmuskohale väljasõidu protokoll-arvestuskaarti nr 151894240, päästetööde juhi A.Tammiku esildist Põhja-Eesti Päästkeskuse direktorile ja koostatud tulekahju skeeme.

10. veebruar 2006, kell 05.40, sai Häirekeskuse Põhja-Eesti Keskus hädaabikutse tööstushoonesse aadressil Tule 30, Saue, kus pidi põlema tööstushoone. Esialgne väljakutse prioriteet oli HÄIRE 1, välja sõitsid põhiautod Keila 11 ja Nõmme 11, paakauto Keila 21 ning operatiivkorrupidaja Põhja 52⁵⁹. Sündmuskohale jõudes selgus, et põleb tööstushoone esimesel korrusel värvimistsehh ning keldrikorruse laoruum, mis on täis autorehve, puitluseid ja varuosasid. Keldris võis olla nii propaani kui ka atsetüleeniballoone.

Kell 05.57 sündmuskohast ülevaate saanuna hindas operatiivkorrupidaja Harju P 5 situatsiooni HÄIRE 2 + abi vääriliseks. Sündmuskohale alarmeeriti veel üks põhiauto ja eritehnika, sealhulgas vahukonteiner „Vaht 1”⁶⁰. Teostatakse suitsusukeldumist ja tulekustutusteid käsijugadega ja lafetiga. Kell 6.32 teatab operatiivkorrupidaja Harju P 5, et töötab kaks tööloiku. Tööloigus nr 1, esimese korruse värvimistsehhis, on saadud tuli kontrolli alla. Tööloigus nr 2, keldrikorrusel, põlevad autokummid, mis lõhkevad kuumuse käes ning suitsusukeldujad taanduvad keldrikorruselt. Kell 6.58 töötab neli suitsusukeldumispaari, kaks B juga (51 mm läbimõõduga) ja kaks C juga (38 mm läbimõõduga).

10. veebruar 2006.a. kell 08.06 toimub operatiivkorrupidajate valvevahetus. Tulekahju on hõlmanud keldri, pindalaga 800 m² ja kõrgusega 4 m, peaaegu täielikult (Lisa 6). Kelder on täidetud kaubaga umbes 50% ulatuses koguruumist. On selge, et tavapärase kustutusrünnaku ei too tulemust ja on oht, et laekonstruktsioonid hakkavad kuumuse tõttu purunema. Kell 9.45 otsustakse viimase abinõuna alustada kergvahurünnakut ühe agregaadiga *Turbex mk II*.

Kell 10.30 moodustakse staap ja kinnitakse kolm tööloiku (Lisa 6):

⁵⁹ Põhja-Eesti Päästkeskuse direktori käskkiri 09.03.2006, nr 1-1/16 Põhja-Eesti Päästkeskuse väljasõidukord

⁶⁰ sama

- 1 TÖÖLÕIK – tööloigu juhiks Keila P 11, ülesandeks tööstushoone vasaku poolse tiiva kaitsmine tööliinide ning lafetiga;
- 2 TÖÖLÕIK – tööloigu juhiks Nõmme P 11, ülesandeks tööstushoone parema poolse tiiva kaitsmine tööliinide, lafeti ning keskkordse vahugeneraatoriga;
- 3 TÖÖLÕIK – tööloigu juhiks Mustamäe P 63, ülesandeks tööstushoone keskosa (põlev kelder) kaitsmine kergvahugeneraatoriga *Turbex*.

Kergvahuagregaat otsustati paigaldada keldrisse viiva ukse avausse (Lisa 7). Kuna kergvahuagregaaadi komplektist puudus ukseadapter, siis ukseava, mõõtmega 3x3 m, tuli sulgeda käepäraste vahenditega, et vaht ei valguks tagasi välja. Ukse sulgemine siiski täielikult ei õnnestunud ja osaliselt valgus vaht tagasi välja. See omakorda segas kergvahuagregaaadi tööd, sest osaliselt imes see vahtu õhu sissevõtuavasse. Kergvahurünnakuks vajalikud õhu väljatõmbeavad paiknesid keldriruumi laes (esimese korruse põrandal). Avausi oli kolm, mõõtmega 1 m².

Järeldused

Kergvahurünnak kestis sellel tulekahjul kokku 8 tundi. Agregaat kulutas ära selle aja jooksul umbes 15 tuhat liitrit vett ja 2 tuhat liitrit vahuainet. Kas oli kergvahurünnakust kasu? Kas oleks saanud vähendada kergvahurünnakuks kulunud aega?

Operatiivkorrapidaja A.Tammiku sõnul võeti kergvahurünnak ette peamiselt keldri laetalade ebastabiilseks muutumise tõttu. Kergvahust oli suur kasu tulekahju lokaliseerimisel ja vahupadja lagunemisel vabanenud veeaur jahutas laekonstruktsioone niivõrd, et need jäidki püsima.

Selle tulekahju nõutava vahuhulga pealevoolu arvutamiseks võtame aluseks, et keldri ruumala oli $4 \times 800 = 3200 \text{ m}^3$. Pool sellest ruumist oli täidetud asjadega, seega vahuga täidetav ruumala oli 1600 m^3 . NFPA soovitusel kohaselt on arvutusliku vahurünnaku ajaks sellistel tulekahjudel 6 minutit. Kõrge soojuskiirguse tõttu arvestame vahu hävimise koefitsendiks 1,4 ja vahu osalise väljavoolu tõttu lekkekoefitsendiks 1,1.

$$R = \frac{V}{T} \cdot C_N \cdot C_L = \frac{1600}{6} \cdot 1,4 \cdot 1,1 = 411 \text{ m}^3/\text{min}$$

Seega, antud tulekahju edukaks kustutamiseks kergvahuga, oleks 200 m³/min tootlikkusega vahuagregaate pidanud üheaegselt töös olema vähemalt kaks. Ühest agregaadist moodustunud vahu hävitas paljuski tulekahju soojuskiirgus. Tähelepanuväärne oli see, et vaht suutis siiski ühe tunni jooksul täita keldri põrandapinna, kuid ei suutnud tõusta kõrgemale kui 2 meetrit. Tulekahju saadi küll kontrolli alla, kuid ei suudetud lõplikult kustutada.

Lisaks mittevastavale vahu pealevoolule, ei arvestatud tulekahjul ka õhu väljatõmbeavade suurst. Õhu väljatõmbeavade pindala kokku peab olema sama suur või veidi väiksem kui kergvahuvooliku või ukseadapteri suudme pindala. Kui väljatõmbeava on liiga suur, tekib liigne õhuvool, mis ei lase tekkida ülerõhul. Antud juhul oli õhu väljatõmbeavad kokku 3 x 1 m² = 3 m². Võttes arvesse, et kergvahuagregaadi *Turbex mk II* suudme läbimõõt on vähem kui 1 m², siis väljatõmbeavad kokku olid liiga suured. See aspekt ja samuti ukseadapteri puudumine ning ukseava ebakorrektnel sulgemine jättis suured õhuavad ruumi seintesse. Seega ei suutnud tõenäoliselt vahupadi kompenseerida põlemisgaaside kokkutõmbumist ja ei tekkinud piisavat ülerõhku, et takistada edukalt õhu juurdevoolu põlemiskoldesse.

Tulekahjul kulus kergvahurünnakuks ligikaudu 2 tuhat liitrit vahuainet. Vahukonteinerile „Vaht 1” on paigaldatud kergvahuagregaati sobivat sünteetilist vahuainet 1000 liitrit⁶¹, mistõttu mõne tunni pärast oli hädasti vaja vahuainet juurde hankida. Õnneks oli reserve ja suudeti hankida lisaks 1000 liitrit sünteetilist vahuainet. See vahejuhtum näitas siiski asjaolu, et vahuaine piisav reserv on väga oluline.

⁶¹Harjumaa päästeteenistuse direktori käskkiri. 03.jaanuar 2006 Vahuainete arvepidamise ja tagamise korra kehtestamine

2.1.2. Laeva tulekahju Tallinnas, Kopli tn 103

Sündmuse kirjeldus põhineb Põhja-Eesti Päästkeskuse operatiivkorrapidaja M.Sild'i märkmetel ja ütlustel.

30. septembril 2004, kella 9.00 paiku, süttis dokis remondis oleva laeva trümmiruumis isolatsioonimaterjal. Bahama lipu all sõitva, tsementi vedava laeva pikkus oli 95 ja laius 14 meetrit. Trümmiruum, kus tulekahju puhkes, oli mõõtmetega 60 x 10 meetrit ja kõrgusega kuni 3 meetrit. Tulekahju kustutamise tegi keeruliseks asjaolu, et põlemise täpne asukoht ei olnud teada. Kustutusrünnakut alustati tavapärase suitsusukeldumisega, kus kasutati kokku nelja „B” juga (51 mm läbimõõduga). See taktika ei olnud edukas, kuna tulekollle jäi leidmata. Kell 11.16 alustati vahurünnakut keskkordse vahugeneraatoriga M4 (tootlikkusega 400 l/min ja kordsusega 70⁶²) läbi laeva tekil asuva trümmiavause. Kell 11.20 vahurünnak katkestati, sest keskkordne vaht ei jõudnud tulekoldeni. Samuti takistasid vahurünnakut trümmi avause ees olevad tsemendi vibrolabad. Kuna tulekahju ei oldud suudetud pikalt kontrolli alla saada, oli päästetööde juht olukorras, kus tuli rakendada alternatiivseid tulekustutusvõimalusi.

Kell 11.37 alustati kergvahurünnakut läbi 80 x 80 cm trümmiluugi. Eesmärgiks seati kergvahuga ruumi põrandapinna katmine ja seeläbi tulekahju lokaliseerimine. Kasutati ühte kergvahuagregaati Turbex Mk II, vahutootlikkusega kuni 200 m³. Vahurünnak oli planeeritud 15 minutiks. Kohe kergvahurünnakut teostades selgus, et trümmi alaosasse, laeva põhja, on lõigatud rida avausi, mille kaudu hakkas vaht ruumist välja valguma. Kustutusefekt oli minimaalne. Peagi katkestati kergvahurünnak ja jätkati tavapäraste kustutusmeetmetega.

Järeldused.

Üldjuhtudel on kõrgkordne vahtkustutus taolistel laevatulekahjudel üks väheseid võimalusi põlemine kontrolli alla saada. Tavapärase kustutusrünnak laevades on raskendatud keeruka laevaplaneeringu ja kõrge riskikeskkonna tõttu. Sageli on teadmata ka tulekahju täpne asukoht. Lisaks tuleb arvestada asjaolu, et veepeal seisvates laevades võib liigne kustutusvesi

⁶²Rosenbauer Fire&Safety Equipment. 21.04.07

www.rosenbauer.com/index.php?USER=ebb2517ee80c38d3e46d038915e8b9a1&node_id=64&key=52

viia laeva kaldumiseni kreeni või isegi uppumiseni. Seega tuleks kergvahu kasutamist laevatulekahjudel tõsiselt kaaluda.

Õhu väljavooluava, teine trümmiluuk mõõtmetega 80 x 80 cm, oli ruumis vajaliku rõhu saamiseks piisav ja tulekahju puudumisel oleks trümm tõenäoliselt täitunud vahuga. Kuna trümmis oli põlemine ja soojuskiirgus hävitab vahtu, siis tuleb tagada vahu nõutav pealevool. Leiame vajaliku vahuhulga pealevoolu. Trümmiruumi mõõtmed olid $60 \times 10 \times 3 = 1800 \text{ m}^3$. Arvestuslikuks vahurünnaku ajaks võtame keskmise rünnakuaja, 5 minutit, kuna polnud teada, mis põleb. Vahu hävimise koefitsent $C_N = 1,2$. Kergvahurünnakut alustades polnud päästetööde juht teadlik lõigatud avaustest trümmi põhjas, seega kinnise ruumi täitmisel võtame vahulekke koefitsendiks, $C_L = 1,0$.

$$R = \frac{V}{T} \cdot C_N \cdot C_L = \frac{1800}{5} \cdot 1,2 \cdot 1,0 = 432 \text{ m}^3/\text{min}$$

Ühe vahuagregaadiga *Turbex Mk II*, vahutootlikkusega 200 m³/minutis, poleks trümmi piisav vahuga täitmine ja tulekahju likvideerimine tõenäoliselt õnnestunud. Seega taoliste tulekahjude edaspidiseks edukaks kustutamiseks on vajalik ühes päästekeskuses vähemalt kahe kergvahuagregaadi (vahutootlikkusega 200 m³/min) olemasolu. Samuti on hädavajalik sünteetilise vahuaine reservi olemasolu. Antud tulekahju kustutusaine varu NFPA nõuete järgi⁶³ oleks pidanud piisama katkematuks vahurünnakuks 25 minuti jooksul ja vahupadja üleval hoidmiseks 60 minuti jooksul. Kahe *Turbex Mk II* tüüpi kergvahuagregaadi tööks oleks tulnud varuda vahurünnaku tarvis 250 l vahuainet ja 15750 l vett. Vahupadja üleval hoidmiseks oleks vajalik kustutusaine varu olnud 600 l vahuainet ja 37800 l vett. Seega vajalik vahuaine varu pidanuks olema kokku 850 liitrit.

2.1.3 Pööningutulekahju kustutamine Rootsisis

Rootsis, ühes pööningul asetsevas korteris, märgati lae lähedal oleva terastoru lahtisaagimisel suitsu ja kutsuti välja päästjad. Päästjate kohale saabumise hetkeks oli kogu madal pööning täis paksu suitsu ja temperatuur oli tõusnud üsna kõrgeks. Pööningu

⁶³ NFPA 11A. 2002. Standard for Low-, Medium-, and High-Expansion Foam Systems, 8.124.10.4

mõõtmed olid 20 x 20 meetrit ja keskmine kõrgus u 2 meetrit. Kuna tavapärase suitsusukeldumise kasutamiseks oli plekk-katuse all oleval pööningul temperatuur tõusnud ohtlikult kõrgele ja oli oht, et suitsusukeldujate sisenemisel oleks kaasnenud tulekahju kiire arenemine. Otsustati ruum sulgeda ja toodi kohale kergvahuagregaat. Agregaat tõsteti korvtõstukis katusele, seati töökorda ja käivitati. Pööning täideti vahuga pööninguluugi kaudu. Ruumi ventileeriti erinevaid luuke kordamööda avades. Pärast ruumi vahuga täitmist oodati 15 minutit ja puhuti seejärel agregaadi ventilaatoriga suur osa vahust ära. Ülejäänud vaht ventileerus iseenesest, osa imendus pööningul olnud puitmaterjali. Ilmastikutingimused: soe ja selge ilm.

Pööningu põrandapind on 20 x 20 m², so 400 m², ja keskmine kõrgus 2 m. Pööningul ei asetse märkimisväärse suurusega esemeid, mida ruumi mahust maha arvestada. Eesmärk on täita ruum täielikult vahuga. Põlemine ei ole väga intensiivne. Valime koefitsendi CN 1,2. Arvutame vajamineva vahutootlikkuse.

$$R = \frac{V}{T} \cdot C_N \cdot C_L = \frac{800}{5} \cdot 1.2 \cdot 1.0 = 192 \text{ m}^3/\text{min}$$

Seega läheb sellise tulekahju kustutamiseks vaja ühte kergvahuagregaaati vahutootlikkusega vähemalt 200 m³.

Järeldused

Kui selline tulekahju oleks aset leidnud praegusel hetkel Tallinnas või Harjumaal, siis on hea meel tõdeda, et analoogseks kergvahurünnakuks oleks Põhja-Eesti Päästkeskusel vahendeid jätkunud. Olemasolev kergvahuagregaat *Turbex Mk II*, vahutootlikkusega 200 m³, oleks olnud piisav. Selle agregaadi veekulu on 315 l/min ja vahuainekulu u 5 l/min. Vahukordsus ~1000:1 ja vahuaine doseerimine 1,5%. Kuna tegemist oli küllaltki väikse ruumi ja mitte väga kõrgete põlemiskoormustega, siis mõistlik on arvestada NFPA nõudeid vahurünnakule, kus kustutusaine varu peab olema nelja kordne vahurünnakuks kulunud ressursist⁶⁴. Kuna vahurünnak oli arvestatud viieks minutiks, siis:

⁶⁴ NFPA 11A. 2002. Standard for Low-, Medium-, and High-Expansion Foam Systems, 8.124.10.4

- vett $315 \text{ l/min} \times 5 = 1575 \text{ l}$
- vahuaine $5 \text{ l/min} \times 5 = 25 \text{ l}$

Vajalik varu on seega:

- vesi: $4 \times 1575 = 6300 \text{ l}$
- vahuaine: $4 \times 25 = 100 \text{ l}$

Päästeasutuste väljasõidukorra alusel⁶⁵ oleks sellise põõningutulekahjuga tegemist II väljasõiduastme sündmusega, kuhu reageerib vähemalt 2 kuni 3 päästemeeskonda. Põhja-Eesti Päästkeskuses on kõik põhiautod varustatud vähemalt 50 liitri A – klassi sünteetilise vahuainega M 51⁶⁶. Kui sellisele tulekahjule reageerib automaatselt kaks põhiautot, siis vajalik kogus, 100 liitrit sünteetilist vahuainet, on sündmuskohal olemas. Tõsi, puudu jääks kustutusveest, kui arvestada ühe põhiauto veekoguseks maksimaalselt 2500 liitrit. Sellisel juhul tuleks leida veevõtukoht või kutsuda appi lisajõude.

Ka kergvahuagregaadi katusele tõstmine oleks tõenäoliselt õnnestunud korviga varustatud redelautot kasutades. Probleemiks oleks võinud kujuneda olukord, kui agregaat poleks saanud katusele tõsta. Kergvahuagregaadi tõstmine põõninguga samale tasapinnale ja seal käivitamine ei oleks tulnud kõne alla, kuna kasutatavatel tõstuk- ja redelautodel puuduvad vastavad kinnitused või pole piisavalt ruumi agregaadil tööle rakendamiseks.

Veel üheks probleemiks oleks kujunenud operatiivsus. Kuna hetkel asetseb Põhja-Eesti Päästkeskuse ainus kergvahuagregaat Lilleküla keskkomando eraldipaikneva meeskonna juures Mustamäel. Koos konteineriga „Vaht 1” oleks kulunud aega ainuüksi komando väravast väljasõiduks agregaadil vähemalt 15 minutit. Elumaja põõningutulekahju kustutamisel oleks selline viivitamine mõjunud päästetöödele hukatuslikult.

Seega on oluline, et päästeteenistuse põhiautode varustuse hulka kuuluks väiksemõõtmeline ja kergelt käsitletav kergvahuagregaat. See võimaldaks vajadusel kiirelt teostada

⁶⁵ Päästeameti peadirektori käskkiri. 22. jaanuar 2007 Päästeameti kohalike päästeasutuste väljasõidukorra ja väljasõiduplaani kinnitamine

⁶⁶ Harjumaa päästeteenistuse direktori käskkiri. 03.jaanuar 2006 Vahuainete arvepidamise ja tagamise korra kehtestamine

kergvahurünnakut ühe või mitme agregaadiga, laskmata tulekahjul kontrolli alt väljuda. Sobivaimaks selliseks kergvahumoodustajaks oleks ülerõhuventilaatorile kinnitav agregaat - *Foam-Quik*, *Rosenbauer Foam Generator* või muu selline. Sellist tüüpi kergvahuagregaadid on ka oma kaalult kerged ja sobivad seega kasutamiseks tõstukauto või redelauto korvis. Kindlasti eeldaks see spetsiaalse kinnituse tegemist korvile. Kinnituse ehitus pole oluline, kuid tähtis on see, et kergvahuagregaat oleks korvi turvaäärimest kõrgemal. Vastasel juhul ei saa ruuminappuse tõttu agregaadid võrk tööle rakendada, ukseadapterist rääkimata.

2.2. Vajaliku vahupealevoolu arvutamise tabel

Suurtel päästetöödel ja tulekahjudel on päästetööde juhi peamiseks probleemiks suur informatsiooni tulv ja liiga vähe aega otsuste tegemiseks. Seda aluseks võttes koostasid päästetööde juhile, tema töö lihtsustamiseks, kergvahurünnakuks vajaliku vahupealevoolu arvestustabeli (Lisa 8). Tabeli koostasid arvutiprogrammis *Microsoft Excel*, mis on kasutusel enamikes personaalarvutites. Arvutustabeli aluseks võtsid NFPA poolt vahtkustutusele esitatavad nõuded⁶⁷, mis on toodud valemis:

$$R = \frac{V}{T} \cdot C_N \cdot C_L,$$

Arvutusabelis tuleb täita numbritega lahtrid vastavalt tulekustutus- ja päästetööde iseloomule. Lahtris „Vahukogus m³/min” arvutab programm automaatselt, vastavalt sisestatud andmetele, vajaliku vahu pealevoolu m³ minutis. Tabeli paremaks käsitlemiseks lisasin tabelile juurde juhendi, kus märkisin ära üldised andmed lahtrite täitmiseks.

⁶⁷ NFPA 11A. 2002. Standard for Low-, Medium-, and High-Expansion Foam Systems, 8.123.58.2.2

2.3. Investeeringud vahenditesse

2.3.1 Kergvahumoodustajad

Esimene etapp

Nagu tõestas tulekahju aadressil Tule tn 30, tuleks esimese etapina soetada igasse päästekeskusesse vähemalt üks kergvahuagregaat tootlikkusega 200 m³/min, et sarnastel tulekahjudel põlemine kontrolli all hoida. Kergvahuagregaadi Fomax 7 maksumus koos vajalike lisavahenditega (ukseadapter, vahu/suitsuvoolik) on ligikaudu 100 tuhat krooni⁶⁸. Kuna Põhja-Eesti Päästekeskusel on analoogne seade juba olemas, siis esimese etapi maksumus kujuneks 3 x 100 tuhat ehk 300 tuhat krooni.

Teine etapp

Kindlasti ei tohiks piirduda vaid ühe kergvahuagregaadiga päästekeskuses. Tule 30 tulekahju likvideerimine oleks kulgenud kiiremini ja nõudnud vähem kustutusvahendeid, kui oleks rakendatud nõutava vahukogusega kustutusrännak. Nagu selgus, oleks pidanud vahuleket arvestamata nõutav vahukogus olema ligikaudu 600 m³/min. See tähendab, et taolise tulekahju efektiivseks kustutamiseks tuleks muretseda veel kaks sarnast kergvahuagregaati kõikidesse päästekeskustesse. Vahutootlikkus 3 x 200 m³/min on küll kindel seljatagune, kuid *Fomax 7* tüüpi kergvahuagregaatide miinuseks on vähene mobiilsus, sest nende paigutamine põhiautodele on seadme mõõtmete tõttu komplitseeritud. Operatiivsuse tagamiseks tuleks teise etapina soetada väiksemõõtmelised ülerõhuventilaatorile kinnitatavad kergvahuagregaadid nagu *Foam-Quik* või *Rosenauer Foam Generator*. Ligikaudne hind⁶⁹:

- Ülerõhuventilaator *SweFan 24"* 40000.-
- Mootori heitgaaside ärajuhtimise voolik, 5 m 3000.-
- Ukse adapter 24", (kaasas kott transportimiseks) 20000.-
- Installeeritav kergvahusüsteem "*Foam-Quick*" 24" 20000.-
- Õhu / vahu juhtimise voolik diam. 796 mm x 100 m 2000.-

Kokku ligikaudu 85000.-

⁶⁸ Rosenbauer Fire&Safety Equipment Price List. 2006.

⁶⁹ Dafo Equipment Pricelist. 2006

Mõistlik on kaaluda sellist tüüpi kergvahuagregaatide soetamist koos uute ülerõhuventilaatorite hankimisega, näiteks põhiautode ostmisel. Kõikidesse päästekeskustesse tuleks soetada vähemalt kaks sarnast vahuseadet, koos lisavarustusega. Kui jätta arvestusest välja ülerõhuventilaator, mis on nii kui nii vajalik, siis saame ühe vahusüsteemi hinnaks 45 tuhat krooni. Investeering oleks küll mahukas, $4 \times 90000 = 360$ tuhat krooni, kuid nii tagataks päästekeskuses operatiivsus ka sel juhul, kui üks agregaatidest ei oleks töökorras.

2.3.2 Vahuaine varu

Kui vaadelda veelkorra Tule tn 30 tulekahju kustutamist, siis vahuainekulu, tingituna väga pikast vahuagregaadi tööajast, oli äärmiselt suur. Sellel tulekahjul läbis kergvahuagregaati ligikaudu 2000 liitrit vahuainet. See kulu olnuks väiksem, kui kergvahurünnak oleks toimunuks arvutuslikult nõutava vahukogusega ja õiget taktikat järgides. Siiski peaks päästekeskustes olema arvestatav kogus vahuainet varus ainuüksi põhiautode tarbeks. Siinkohal on mõistlik võtta kasutusele ka päästeautodes sünteetilise koostisega vahuaine (S, AFFF). Nii saaks hoida ühist vahuainevaru kergvahuagregaatidele ja päästeautodele. 1000 liitrist vahuainest jätkub ühe kergvahuagregaadi *Fomax 7* või *Turbex MkII* töös hoidmiseks 3 tundi. NFPA arvestuste järgi peaks see olema piisav. 1000 liitri universaalse vahuaine F-15 hind on ligikaudu 17 tuhat krooni⁷⁰.

2.4. Ettevalmistus ja koolitus

Kergvahu kasutusele võtmine eeldab selleks ettevalmistatud päästjaid. On oluline, et kõrgkordne vahtkustutus lülitatakse Sisekaitseakadeemia Päästekolledži Väike-Maarja Päästekooli üldisesse õppeprogrammi. Tegevpäästjate koolitus on otstarbekas läbi viia samuti Sisekaitseakadeemia Päästekolledži Väike-Maarja Päästekoolis, kus on selleks parimad võimalused nii klassiruumide, kui harjutusväljaku näol. Vaatamata sellele, et harjutusväljakul puudub spetsiaalne rajatis, kus praktiseerida kergvahuga ruumide täitmist,

⁷⁰ Rosenbauer Fire&Safety Equipment Price List. 2006

saab siiski püstitatud õppe-eesmärgi täita ka praegust suitsusukeldumismaja kasutades. Jälgida tuleb eelkõige suitsu ja põlevgaaside väljalaskeluukide olemasolu.

Tähelepanu tuleb pöörata ka keskkonnaohutusele, kuna regulaarsete harjutuste käigus satub loodusesse palju mürgist vahuainet. Tänapäeval toodetakse spetsiaalseid õppeotstarbelisi vahuaineid. Selliste vahuainete eripäraks on see, et nende koostisest on eraldatud keskkonnaohtlikud ained. See muudab küll vahuained vähemkvaliteetseteks, nende kustutusomadused ja vastupidavus kuumusele vähenevad, kuid samas tagab oluliselt väiksema mõju loodusele. Selline vahuaine on näiteks *Chemguard Simufoam*. Tähtsamad parameetrid⁷¹:

- võimaldab moodustada erineva kordsusega vahte;
- sisaldab 60 – 80 % vett, keskkonnaohtlike aineid vaid 3 – 6 % mahust;
- säilitamise temperatuur 2 °C kuni 49 °C;
- jäätumisel ei kaota oma omadusi;
- soovitatav doseerimine 3% ja 6%;
- hind ligikaudu 30 kr liiter

2.5. Ohud kergevahuga töötamisel

Päästeteenistuses kergvahtu kasutades peab teadlik olema sedaliiki vahu ohtudest. On teada juhtum, kus inimene on hukkunud, hingates liiga pikka aega sisse kergevahu kohal olevat õhku. Praktikas ei lubata liikuda kergevahus ilma hingamisaparaadita, sest kergevaht põhjustab köhahooge. Samuti tuleks vältida kergvahu silma sattumist, sest vaht on silmi ärritav. Ohutuse tagamiseks tuleb kanda kiivrivisiiri või kaitseprille. Silma saatumisel tuleb loputada ärritatud kohta puhta veega vähemalt 15 minutit⁷². Kergvahupatja sisenemisel tuleb kasutada hingamisaparaati kuna vahu sissehingamine ja neelamine on ohtlik kergvahu madala pindpinevuse tõttu. Suures kergvahupadjas viibimisel võib kaduda orienteerumisvõime, kuna vaht summutab kõik helid ja on läbipaistmatu. Seetõttu tuleb

⁷¹ Simufoam datasheet. 14.04.07

http://www.chemguard.com/home/MSDS_2006/Foam%20Concentrates/Simufoam.pdf

⁷² Ansul Material Safety Data Sheet. http://www.ansul.com/en/Products/foam_prod/foam_list.asp 14.04.07

kergvahtu sukelduda koos vooliku või nõoriga ja vähemalt kahekesi. Kergvahuga pideval kokkupuutumisel on oht, et nahalt kaob õlisus ja nahk muutub kuivaks⁷³.

Kergvaht on biolagundatav. Samas näitab 1989.a. Saksamaal tehtud uuring, et vahuainetes sisalduvad tensiidid ja teatud glükoolid on loodusemürgid⁷⁴. Looduses tapavad need ained baktereid, algloomi, koorikloomi ja kalu. Seega ei ole soovitatav kergvahtu lasta veekogudesse või põhjavette.

⁷³ Ansul Material Safety Data Sheet. http://www.ansul.com/en/Products/foam_prod/foam_list.asp 14.04.07

⁷⁴ Hyttinen, V. Palofysiika. Tammer Paino OY. 2000. 117

KOKKUVÕTE

Maailma päästepraktikas on kõrgkordne vahtkustutus end tõestanud eelkõige ohutu ja ressursisäästliku kustutusviisina. Kõrgkordse vahu kasutamine on sobivaim kui suures ruumis on varjatud põlengud; kasutada on piiratud ressursid; kuumus, suits ja lagunevad ehituskonstruksioonid välistavad otserünnaku või kui tuleb täita ohtlikke aineid sisaldav ruum. Samuti vedelgaaside tulekahjude kustutamisel ja ohtlike kemikaalide aurustumise tõkestamisel on kõrgkordne vahtkustutus tõestanud end efektiivse abivahendina.

Kõrgkordne vahtkustutus on üks selliseid tulekustutustehnoloogiaid, mille rakendamine Eestis on viibinud tingituna peamiselt info vähesusest ja rahanappusest. Tõsi, praeguses Põhja-Eesti Päästkeskuses on väljasõiduvõimeline üks kergvahuagregaat *Turbex Mk II*, millega on teostatud kergvahurünnak ka kahel reaalsel tulekahjul. Siiski tuleb tõdeda, et nendel tulekahjudel, isegi kui saavutati kustutusefekt, ei kasutatud ära kõrgkordse vahu täielikku potentsiaali. Teostatud kergvahurünnakud oleks kindlasti saanud sooritada tulemuslikumalt, kui kasutada oleks olnud piisavalt vahendeid ja juhiseid.

Oma lõputöösse olen koondanud kõrgkordset vahtkustutust puudutava tähtsama informatsiooni eesmärgiga, et antud tööd saab vajadusel edaspidi kasutada abimaterjalina kõrgkordse vahtkustutuse teostamisel. Siin on teavet kõrgkordse vahu vahuainete ja nende säilitamise kohta; kergvahuagregaatide ja nende kasutamise ning kõrgkordse vahu kasutusvaldkondade, nõuete, juhiste ja taktika kohta. Ka arvutiprogrammis Microsoft Excel koostatud arvtustabel, mis sisestatud andmete põhjal leiab tulekahjul vajaliku kergvahu pealevoolu, on heaks abiks päästetöödel kiirete otsuste langetamiseks.

Tööstuse ja merelaevanduse arenedes suureneb oht, et oleme üha enam silmitsi tulekahjudega, kus tulekustutus tavapärase kustutusvahenditega ei ole efektiivne või hoopis välistatud. Et selleks valmis olla, tuleb kiiresti teha soetusi, millega varustada Eesti päästkeskused kergvahuseadmetega. Esimese etapina tuleb soetada hädavajalik kogus, vähemalt üks 200 m³/min tootlikkusega kervahuagregaat ja tuhat liitrit sünteetilist vahuainet igasse päästkeskusesse. Kuna Põhja – Eesti Päästkeskuses on selline kergvahuagregaat juba

olemas, siis vajalik investeering ei ole ületamatult suur – ligikaudu 370 tuhat krooni. Investeering teise etappi oleks samas suurusjärgus, kui hankida igasse päästekeskusse kaks ülerõhuventilaatorile kinnitatavat kergvahuseadeldist, vahutootlikkusega kuni 160 m³/min agregaaadi kohta. Need tulekustutus- ja päästeautole paigaldatavad seadmed kindlustaks operatiivsuse ja vajaliku vahukoguse ka juba suurematel tulekahjudel.

Et muuta Eesti päästeteenistuse töö praegusest veelgi efektiivsemaks, peame suutma ajaga kaasas käia ja olema valmis kõikvõimalikeks keerukateks tulekustutus- ja päästeoperatsioonideks.

SUMMARY

This graduation thesis has been written on the subject “The Application of High Expansion Foam Firefighting in the Rescue Service in Estonia.” The thesis comprises 45 pages, and it has been written in Estonian with a summary in English. The author has used 30 reference sources for the compilation of this paper, 17 of them in English, 10 in Estonian, 2 in Swedish and one in Finnish. The graduation thesis consists of two parts; it includes six figures and a table. In order to facilitate better understanding of the paper, the author has also enclosed eight appendices. The author has applied theoretical methods as the method of study.

The keywords of this graduation thesis are: international guidelines for the usage areas, tactics and dangers of high expansion foam firefighting; the table for calculating the required foam inflow; the use of high expansion foam in three actual fires and conclusions drawn; investments required for the implementation of high expansion foam firefighting in Estonia.

The aims of this graduation thesis were: to collect relevant key instructions and information in this paper with a view of its future applicability as a supporting material in high expansion foam firefighting; to compile the table for the calculation of foam inflow for the marshal of rescue work and to describe the investments required for the implementation of high expansion foam firefighting in Estonia.

The outcome is a paper that includes recommendations, guidelines and investments that would support the usage and implementation of high expansion foam firefighting in the Estonian rescue services.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. Ansul Material Safety Data Sheet. [http:// www.ansul.com](http://www.ansul.com)
2. Dafo Brand AB. <http://www.dafo.se>
3. Dafo Equipment Pricelist. 2006
4. Department Of Transportation (2004) Emergency Response Guidebook. www.firefighting.org
5. Drysdale D. Tulekahju dünaamika. John Willey&sons. 1998
6. Eriksson L. Skum, Släckeffekt, vätskor, generatorer, system och taktik. SBF Brandförsvarsförningen 1984
7. EVS-ISO 7203-2:1998. Kesk ja kõrgkordsed vahuained veega mittesegunevate põlevvedelike kustutamiseks
8. Fischer, R.D. Hazards of Liquefied Natural Gas, www.firetactics.com
9. Foam Concentrates MSDS. <http://www.kidde-fire.com>
10. General foam info <http://www.buckeyef.com>
11. Harjumaa päästeteenistuse direktori käskkiri. 03.jaanuar 2006 Vahuainete arvepidamise ja tagamise korra kehtestamine
12. High expansion foam equipment. <http://www.kiddecana.com>
13. High expansion foam. <http://www.firetactics.com>
14. Hyttinen V. Palofysiika. Tammer Paino OY. 2000
15. IFSTA. Principles of Foam Fire Fighting. Oklahoma State University. 2003
16. Jet-X Generator. [http:// www.ansul.com](http://www.ansul.com)
17. NFPA 11A. 2002. Standard for Low-, Medium-, and High-Expansion Foam Systems
18. Põhja-Eesti Päästkeskuse direktori käskkiri 09.03.2006, nr 1-1/16 Põhja-Eesti Päästkeskuse väljasõidukord
19. Põhja-Eesti Häirekeskus. Tulekustutus- päästemeeskondade ja kiirabibrigaadide sündmuskohale väljasõidu protokoll-arvestuskaart. Väljakutse nr 151894240. 10.02.2006
20. Päästeameti peadirektori käskkiri. 22. jaanuar 2007 Päästeameti kohalike päästeasutuste väljasõidukorra ja väljasõiduplaani kinnitamine
21. Rosander M, Giselsson K. Skumboken. GIRO-brand AB. 1993
22. Rosenbauer Fire&Safety Equipment. <http://www.rosenbauer.com>

23. Rosenbauer Fire&Safety Equipment Price List. 2006
24. Tulekustutustööd.Gaasipõlengud.Loengukonspekt Väike-Maarja Päästekool. 2002
25. Turbex Mk II, <http://www.angusfire.co.uk>
26. Vahtkustutus.Loengukonspekt.Väike-Maarja Päästekool. 2002
27. White D. LNG hot spot. 2005. Frontiers. 13
28. Wieder M, Smith C.M, Brakhage C. Principles Of Foam Fire Fighting. First Edition. Oklahoma State University. 1996
29. Vikipeedia entsüklopeedia. <http://et.wikipedia.org>
30. 2002.Vahtkustutus.Loengukonspekt.Väike-Maarja Päästekool

LISA 1. Kõrgkordne ehk kergvaht



Joonis 1. Kõrgkordse vahuagregaadi moodustatud kõrgkordne ehk kergvaht⁷⁵

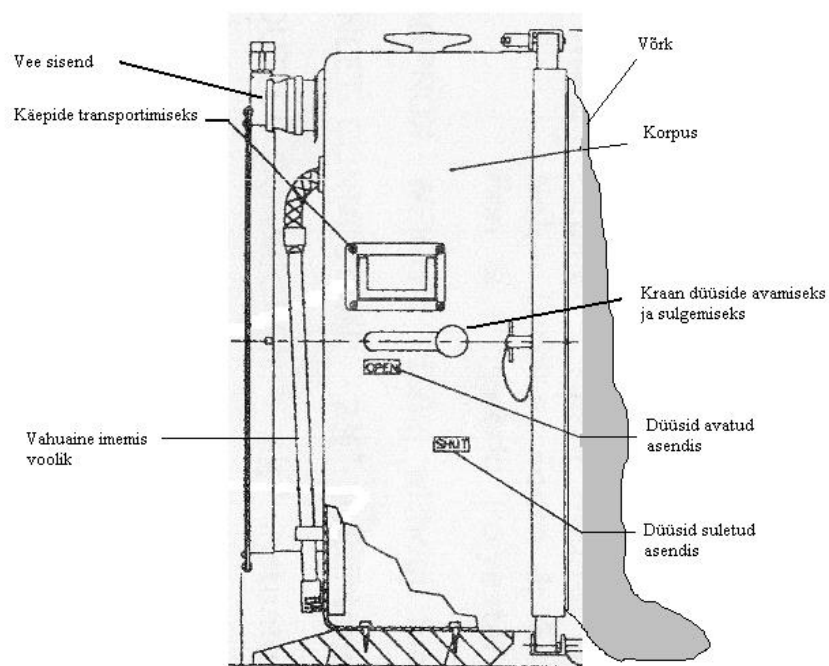
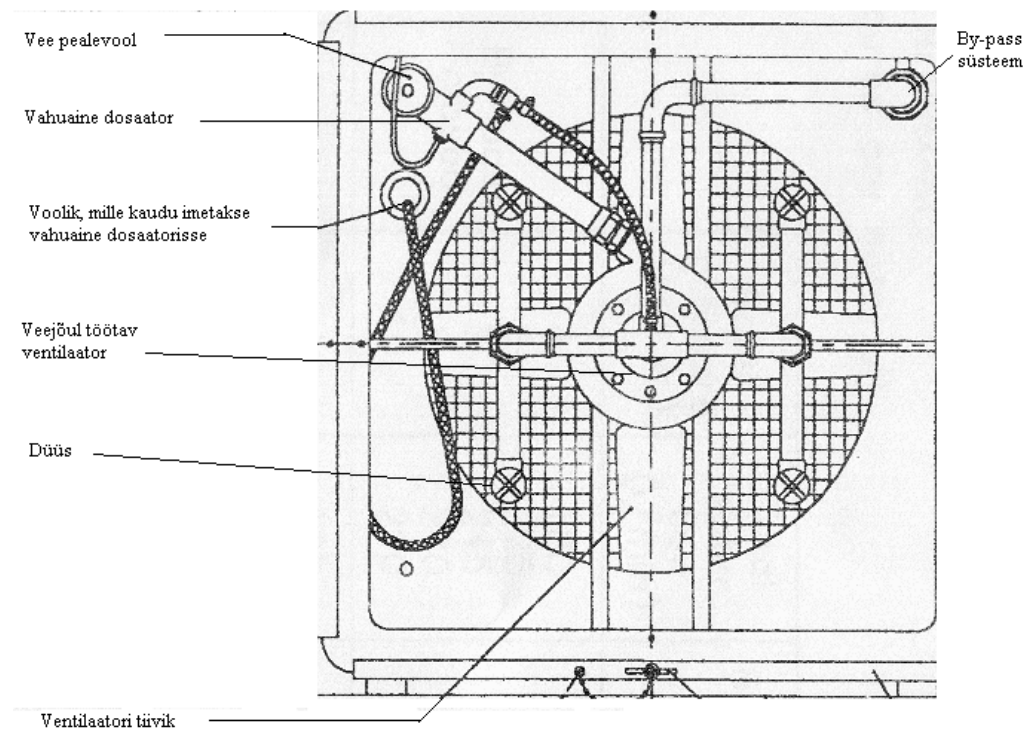


Joonis 2. Vedelkütuse tulekahju kustutamine kõrgkordse vahuga. Gale Street, Long Beach 1980⁷⁶

⁷⁵ <http://images.google.ee/imgres?imgurl=http://www.hdfire.com/PGImages/4-HIGH-EXPANSION-FOAM-GENER.jpg>

⁷⁶ A Photo Album by Jerry Search, www.socalspeedskating.org/firepics/gale.html

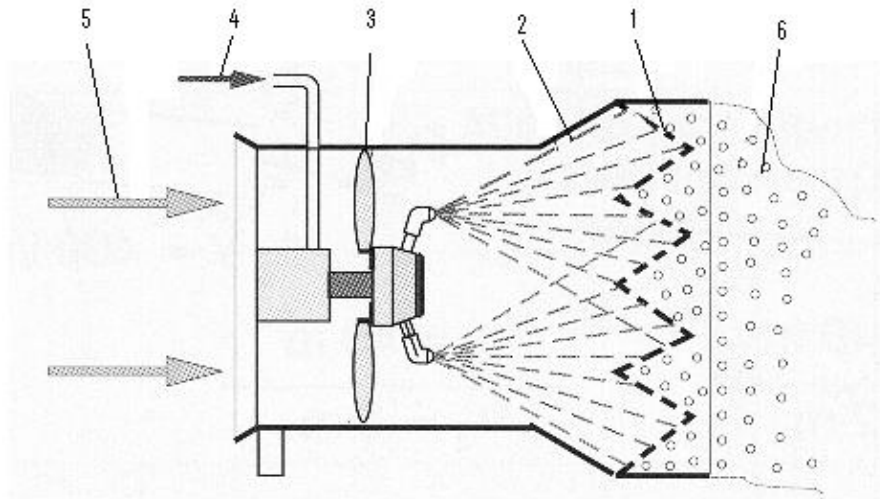
LISA 2. Vedelikturbiiniga varustatud kergvahuagregaat. Eest- ja külgvaade⁷⁷



⁷⁷ Turbex Mk II, <http://www.angusfire.co.uk/utcfs/ws-404/Assets/3159-3%20Turbex%20Mk2.pdf>

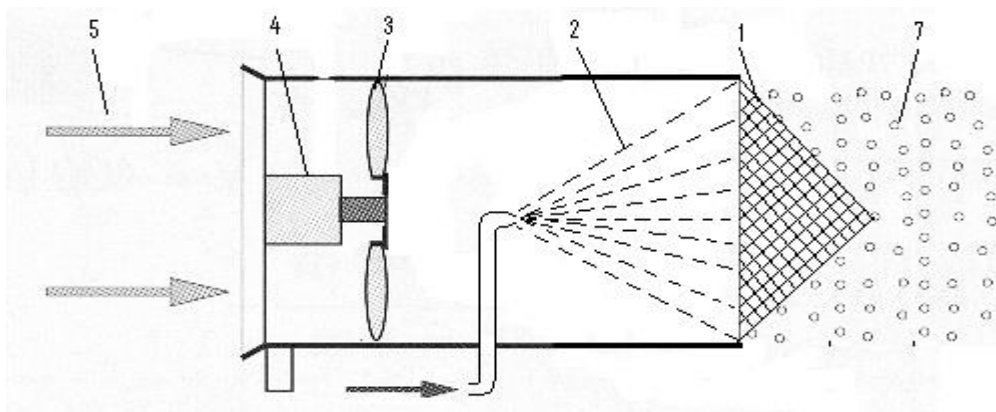
LISA 3. Kergvahuagregaatide tööpõhimõte⁷⁸.

1. Vedelikturbiiniga kergvahuagregaat



1. Võrk 2. Pihustatav emulsioon 3. Ventilaator 4. Õhu peaveool 5. Emulsiooni peaveool 6. Kõrgkordne vaht

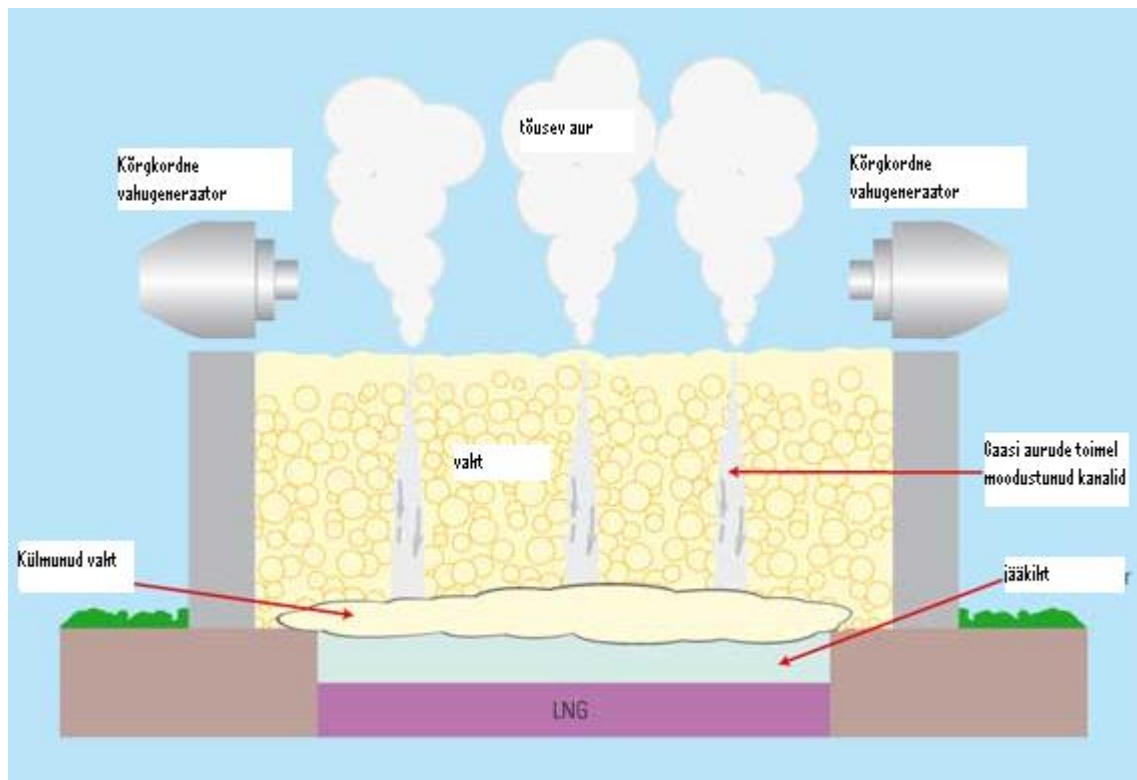
2. Elektri- või sisepõlemismootori kergvahuagregaat



1. Võrk 2. Pihustatav emulsioon 3. Ventilaator 4. Ventilaatori mootor 5. Õhu peaveool 6. Emulsiooni peaveool 7. Kõrgkordne vaht

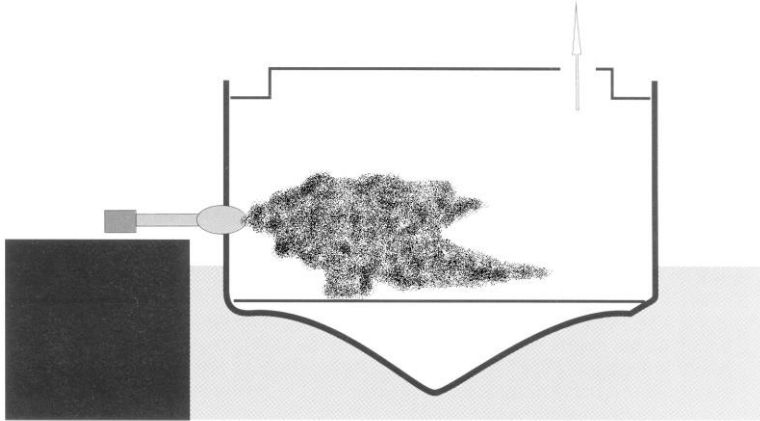
⁷⁸ Hyttinen V. Palofysiika. Tammer Paino OY. 2000, 146-147

LISA 4. Vedelgaasi tulekahju kustutamine kergvahuga⁷⁹

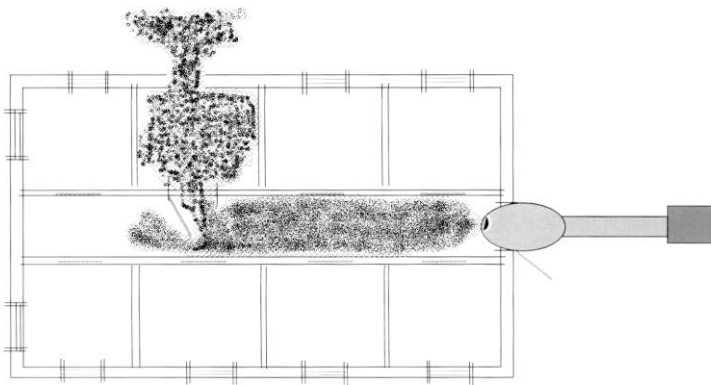


⁷⁹ White D. LNG hot spot. 2005. Frontiers. 13

LISA 5. Õhu väljatõmbeava paiknemine ruumide täitmisel kergvahuga⁸⁰



Joonis 1. Õhu väljatõmbeava paiknemine diametraalselt vastassuunas



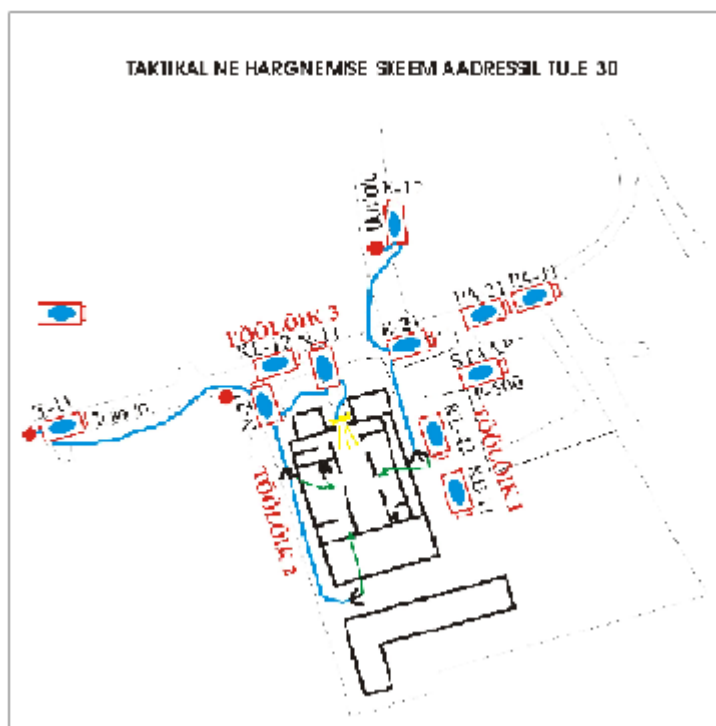
Joonis 2. Kergvahu liikumine ruumi tulekahjul tulekolde taha tehtud avause suunas

⁸⁰ Rosander M, Giselsson K. Skumboken. GIRO-brand AB. 1993, 85

LISA 6. Tulekahju skeemid aadressil Tule tn 30



Joonis 1. Keldrikorruse plaan⁸¹



Joonis 2. Taktikalise hargnemise skeem⁸²

⁸¹ Tammik, A koostatud tulekahjuskeem

⁸² sama

LISA 7. Kergvahurünnak keldri tulekajul, Tule tn 30



A.Tammiku foto

LISA 8. Arvutustabel vajaliku vahu pealevoolu leidmiseks

Ruumala m ³	Rünnaku aeg min	Vahu hävimine C _n	Vahuleke C _i
4000	5	1,4	1

Vahukogus m ³ /min
1120

Ruumala	Kogu ruumalast lahutatakse maht, mille võtab enda alla kaup ja sisustus.
Rünnaku aeg	5 min - üldine 2 min - vedelgaasid 3 min - põlevvedelikud 4 min - väikese tihedusega põlevmaterjalid (poroloon) 5 min - tihedad põlevmaterjalid (paberirullid) 6 min - autorehvid, puit, tekstiil
Vahu hävimine	C _n = 1,1 ruumid, kus ei ole tulekahju C _n = 1,2 keskmise soojuskiirgusega tulekahjud C _n = 1,4 kõrge soojuskiirgusega tulekahjud
Vahuleke	1,0 - leke puudub kuni 1,2 - tavalised hooned ilma avausteta üle 1,2 - sõltuvalt avaustest ruumis (ka polaarsest vedelikest)