

TIIVISTELMÄ

Tämä raportti on syntynyt ongelmapohjaisen paloteknisten riskien hallinnan (PBR) kurssilla, jonka tämän raportin tekijä on suorittanut paloinsinööriin oppilaana Lundissa. Kurssin tavoitteena on toteuttaa ja ratkaista suurehko tehtävä opiskeluaikana hankittujen tietojen avulla. Raportissa arvioidaan erilaisten sumusuihkuputkien tehokkuutta palokaasujen jäähdyttämisessä.

Projektin taustalla on raportin tekijän Tukholman palolaitoksella kesällä 1999 tekemä työ, joka koski pelastusajoneuvojen varustusta. Silloin tuli esiin tiettyä kritiikkiä nykyään käytössä olevista suihkuputkista, Fogfightereista.

Tämän projektin tavoitteena on tutkia, onko erilaisten palonsammutukseen tarkoitettujen sumusuihkuputkien välillä ratkaisevia eroja. Tutkimuksessa tutkitaan kuumien palokaasujen jäähdytystä huonepalossa. Raporttia voidaan toivottavasti käyttää aineistona hankittaessa uusia suihkuputkia Tukholman palolaitokselle.

Raportissa käsitellään myös sellaisia näkökohtia kuten huolto, kestävyys sekä taloudellisuus.

Työ on tehty osittain tietokonesimulaatioiden avulla ja osittain täysmittakaavaisten sammutuskokeiden ja mittausten muodossa. Tietokonesimulaatiot käsittelevät ajateltua palotapahtumaa sen tutkimiseksi, kuinka kauan aikaa kutakin polttoainelatausta voidaan käyttää kokeissa. Lisäksi sammutusprosessia simuloidaan Fire Demand Model -ohjelmalla, jotta todellisia mitattuja arvoja voidaan verrata simuloituihin arvoihin. Pisarakoon vaikutusta koskeva herkkyysoanalyysi on myös tehty Fire Demand Model -ohjelmalla.

Täysmittakaavaiset sammutuskokeet on suoritettu Tukholman palolaitoksen harjoituslaitoksen paloharjoitustalossa Ågestassa Tukholman eteläpuolella. Mitatut arvot ovat sammutukseen kulunut aika, hetkelliset virtaukset ja käytetyn veden kokonaismäärä. Suihkuputkien paine ja virtaus mitattiin, jotta niitä voidaan verrata valmistajan antamiin arvoihin ja tehdä niiden perusteella johtopäätöksiä sammutustuloksista. Suihkuputkien suihkutuskuviojakaumat on tehty Valtion testauslaitoksessa (SP) Boråsissa. Nämä tulokset on myös kytketty sammutustuloksiin.

Fire Demand Model -ohjelmalla tehtyjen simulointien tulokset osoittavat, että pisarakoko vaikuttaa vain vähän tuloksiin. Simuloidun sammutustapahtuman ja sammutuskokeista saatujen arvojen vertailu osoittaa, että ohjelmalla on vaikea simuloida sisällä tapahtuvaa sammutusta. Tulokset eroavat toisistaan merkittävästi. Simuloinneissa saadaan parhaat tulokset suihkuputkista, joiden virtaukset ovat suurimmat. Tämä ei vastaa sammutuskokeiden tuloksia.

Sammutuskokeista saadut tulokset osoittavat, että suuren suihkuputkipaineen ja hyvän suihkutuskuvion omaavat suihkuputket ovat parempia kuin suihkuputket, joiden virtaus on suuri, mutta joiden suihkuputkipaine on alhainen ja suihkutuskuvio huono.

TFT Ultimatic -suihkuputkella saadaan sammutuskokeissa paras tulos palokaasujen jäähdyttämässä. Tämän voidaan olettaa johtuvan siitä, että se pitää yllä sen suihkuputkipaineen, jolla sen on tarkoitus toimia. Testatuista putkista sen suihkutuskuvio on symmetrisin. Virtaus alueella, joka on kytkettynä Fire Demand Modeliin, on riittävä tätä skenaariota varten. Sammutukseen kuluu aikaa 29 sekuntia.

Seuraava suihkuputkien ryhmä on välillä 33–47 sekuntia. Nämä ovat Protek 322 sekä 366, uusi Fogfighter, Quadrafog 150 ja Akron Turbojet. Aikansa puolesta ne ovat huonompia kuin TFT Ultimatic, mutta niiden tulos on kuitenkin melko hyvä. Myös veden kokonaiskulutus on suurempi kuin TFT Ultimaticilla. Näillä putkilla virtaus, suihkuputkipaine tai suihkutuskuvio on huonompi tai ne kaikki ovat huonommat kuin TFT-putkella. Siksi tämän voidaankin olettaa olevan syynä siihen, että niillä ei päästä samoihin suoritusarvoihin.

Kolmannen suihkuputkien ryhmän muodostavat Quadrafog 500, käytetty Fogfighter sekä Unifire APG. Näiden suihkuputkien sammutusajat ovat välillä 55–79 sekuntia, jota voidaan pitää huonompana verrattuna muihin yleensä ja erityisesti TFT Ultimaticiin. Quadrafog 500 -putken suihkutuskuvio on erittäin huono ja suihkuputkipaine alhainen, minkä vuoksi sen tuottamaa suurta vesimäärää ei voida käyttää hyväksi. Käytetyn Fogfighterin suihkutuskuvio on huono, mutta sen mitattu suihkuputkipaine on suhteellisen hyvä, 5,8 bar. Unifire APG:n suihkutuskuvio on erittäin huono ja virtaus alhainen, alle 100 l/min, mistä syystä sammutusajasta tulee pitkä. Ottaen huomioon, että virtaus on niinkin alhainen kuin se on, voidaan tulosta pitää silti varsin hyvänä. Tämä johtuu korkeasta suihkuputkipaineesta, joka tuottaa pienempiä vesipisaroita.

Fogfighterin tulokset eivät ole parhaat, mikä on tutkimuksen kannalta kiinnostavaa, koska monet pelastuslaitokset käyttävät tätä suihkuputkea. Asiaan vaikuttavat kuitenkin muutkin tekijät, kuten käsiteltävyys ja taloudellisuus. Tässä testissä uusi Fogfighter antoi kaasuvaihevaikutusta tarkasteltaessa paremman tuloksen kuin käytetty. Yleisten johtopäätösten tekeminen käytetystä ja uudesta mallista pelkästään kahden mallin vertaamisen jälkeen on liikaa vaadittu. Asiaa pitäisi kuitenkin tutkia tarkemmin.

Suihkuputkien erot sammutuskokeissa ovat minuutin aikavälillä. Voidaan olettaa, että erot kasvavat kun kohteena on voimakkaampi palotapahtuma. Tulokset muotoutuvat silloin todennäköisesti vielä selvemmiiksi.

1. JOHDANTO

Lundin teknillisen korkeakoulun paloinsinööriin opiskelijoiden on suoritettava ongelmapohjaisen paloteknisten riskien hallinnan kurssi (PBR-kurssi), joka on opiskelijan loppu työ opintojen aikana. Opiskelijan on tässä työssä käytettävä hyväkseen opiskelun aikana hankkimiaan tietoja.

Tämä raportti on tulos Lundin teknillisen korkeakoulun paloinsinööriin tekemästä opinnäytteestä. Raportissa käsitellään erityyppisiä palonsammutukseen tarkoitettuja sumusuihkuputkia, joita on tällä hetkellä markkinoilla. Raportti sisältää tuloksia palonsammutuskokeista, paine- ja virtausmittauksista, suihkutuskuvioiteista ja tietokonesimulaatioista.

1.1 Tausta

Suoritettuani pelastusautojen varustusta koskevan yleisen tutkimuksen Tukholman palolaitoksella kesällä 1999, /3/, tuli esiin muun muassa monia näkökohtia siitä sumusuihkuputkesta, Fogfighterista, jota tässä organisaatiossa käytetään nykyään. Suuri osa kyselyyn osallistuneista ei pitänyt Fogfighteria optimaalisena työskentelyn kannalta. Syynä oli muun muassa käsiteltävyys, tehokkuus ja taloudellisuus. Yhtenä näkökohtana esitettiin myös, että Fogfighterin suoritusarvot eivät pysyneet sen ikääntyessä ja kuluessa. Fogfighter on ollut markkinoilla useita vuosia, ja useimmat Ruotsin palolaitokset käyttävät pääasiassa sitä. On kuitenkin lisättävä, että monet palolaitokset harkitsevat nykyään muiden mallien hankkimista. Tukholman palolaitos uusii parhailiaan pelastusautojensa varustusta, ja yllä mainittu tutkimus on kuulunut osana tähän työhön. Tähän työhön liittyen päätettiin tehdä syvällisempi arviointi markkinoiden johtavista sumusuihkuputkista.

1.2 Tavoite

Tämän työn tavoitteena on tutkia, onko nykyään markkinoilla olevien erilaisten sumusuihkuputkien välillä joitakin ratkaisevia eroja. Tämä käsittää sellaisten erojen tutkimista, jotka koskevat sammutusteknistä vaikutusta, suihkutuskuvioita, painetta ja virtauksia. Muitakin tekijöitä kuten kestävyyttä, huoltoa ja taloudellisuutta tutkitaan myös tietyiltä osin.

1.3 Menetelmä

Palokaasujen jäähdytykseen, paineeseen ja virtauksiin liittyvää paloteknistä vaikutusta tutkitaan täysmittakaavaisten kokeiden avulla Tukholman palolaitoksen harjoituskentällä Ågestassa aivan Tukholman ulkopuolella. Suihkutuskuvioita tutkitaan Valtion testauslaitoksessa Boråsissa. Palotapahtumaa ja sammutusprosessia koskevat tietokonesimuloinnit tehdään erilaisten tähän tarkoitettujen ohjelmien avulla.

1.4 Mittaukset

1.4.1 Paine

Suihkuputkessa oleva paine tarkistetaan painemittareiden avulla sen toteamiseksi, että valmistajien suosittama työpaine saavutetaan. Suihkuputkipaine yhdistetään myös sammutuskokeista saatuihin tuloksiin.

1.4.2 Virtaukset

Suihkuputkien työvirtaukset tutkitaan ja tarkastetaan, pitävätkö toimittajan ilmoittamat virtaukset kyseisellä työpaineella paikkansa.

Lisäksi sammutuskokeissa mitataan hetkelliset virtaukset ja tutkitaan, kuinka nopeasti lämpötila laskee ajan ja virtauksen suhteen. Kokonaisvirtaus mitataan jokaisessa kokeessa ja tutkitaan, kuinka paljon vettä on kulunut pysäytyskriteerien saavuttamiseksi kunkin suihkuputken osalta.

1.4.3 Lämpötila

Palohuoneen lämpötila mitataan kaikkiaan kahdeksalla kiinteästi ja siirrettävästi asennetulla lämpöelementillä. Nämä mittaukset ovat perustana sille, milloin sammutusprosessi käynnistetään ja pysäytetään. Lisäksi ne rekisteröidään virtausmittausten kanssa tulosten vertaamista varten.

1.4.4 Tehon kehittyminen

Tehon kehittymistä palohuoneessa ei ole mahdollista mitata, koska siihen tarvittavaa laitteistoa ei ole saatavissa.

1.4.5 Painon väheneminen

Polttoaineen painon vähenemistä ei mitata, koska sitä ei ole tarkoitus tutkia tässä työssä.

1.4.6 Ulkoiset olosuhteet

Kokeet pyritään järjestämään mahdollisimman pitkälle siten, että ulkoiset olosuhteet kuten lämpötila, tuulen nopeus ja tuulen suunta eivät pääse vaikuttamaan sammutusprosessiin.

1.5 Tulosten järjestäminen

Eri ratkaisujen sammutusteknisessä vaikutuksessa olevat mahdolliset erot tutkitaan ja yritetään todeta, mikä vaikuttaa tehokkuuteen eniten. Työ tehdään tämän raportin tekijän, Lundin teknillisen korkeakoulun (palotekninen osasto), ja Tukholman palolaitoksen välisenä yhteistyönä.

1.6 Rajaukset

Kokeissa on tarkoitus tutkia suihkuputkien sammutustehokkuutta kaasuvaihevaikutuksen (palokaasujen jäähtymisen) osalta ja sitä, mitkä tekijät siihen vaikuttavat. Polttoaineen pintajäähtymisen tehokkuutta ei tutkita. Raportin tavoitteena ei ole antaa täydellistä vastausta siitä, mikä tekee tietyistä suihkuputkista tehokkaampia kuin muista. Eri testeihin perustuva pohdiskelu osoittaa kuitenkin asiaan vaikuttavia syitä.

2. KOKEET JA SIMULOINNIT

Lundin teknillisen korkeakoulun paloteknisellä osastolla ja valtion eri pelastuskouluissa toimivien henkilöiden, Tukholman palolaitoksen henkilöstön sekä samaan aikaan kokeita Ågestan harjoituslaitoksella suorittaneen Anders Palmin, Bi-96, kanssa käytyjen keskustelujen jälkeen päätettiin lopullisesti, kuinka testit tehtäisiin. Niitä kuvataan seuraavassa luvussa. Kaikkia käytettävissä olleita suihkuputkia, ks. kuvat 2.1 ja 2.2, ei ole testattu kaikissa kokeissa käytännön olosuhteiden ja muiden syiden takia. Näistä on selvitys erillisten kokeiden kohdalla.

Kaikkiaan 13 kappaletta suihkuputkia:

TA Fogfighter, käytetty
TA Fogfighter, uusi
Unifire 10 C
Unifire APG
Unifire Jet Set
Unifire Output 12
TFT Ultimatic
Quadrafog 150
Quadrafog 500
Protek 322
Protek 366
Viper Select
Akron Turbojet

Kuva 2.1: Kaikki tutkimukseen sisältyneet suihkuputket. Ne ovat vasemmalta oikealle samassa järjestyksessä kuin viereisen sarakkeen luettelossa ylhäältä alas, käytettyä Fogfighteria lukuun ottamatta. Huomaa liipaisimien muotoilu.

Kuva 2.2: Samat suihkuputket toisesta kulmasta. Huomaa pistoolikahvojen muotoilu.

Suoritettut kokeet ja simuloinnit ovat:

sammutuskokeiden simulointi Fire Demand Model -ohjelmalla (ks. 3 luku sekä liite B).

palotapahtuman simulointi (liite A)

sammutuskokeisiin sisältyneiden suihkuputkien suihkuputkipaineiden ja virtausten mittaus

suihkutuskuvioiden tutkimus

täysmittakaavaiset sammutuskokeet.

Näitä selostetaan seuraavissa luvuissa lukuun ottamatta liitteessä A kuvattavaa palotapahtuman simulointia.

3. FDM-LASKELMAT

3.1 Kuvaus

FDM tarkoittaa Fire Demand Model -tietokoneohjelmaa, jolla simuloidaan vaikutuksen kohteena ollutta tulipaloa, ts. palotapahtumaa, johon sammutusprosessi vaikuttaa. Ohjelmaa kuvataan ja arvioidaan seikkaperäisesti osaraporteissa /6/, /7/ ja /8/. Syöttöparametrien ja tulostetiedostojen selitykset ovat liitteessä B.

Näiden simulointien tavoitteena on toisaalta tutkia sitä, kuinka paljon vettä on suunnilleen käytettävä, että palo saadaan sammumaan. Nämä simuloinnit on tehty ennen sammutuskokeita. Sammutuskokeiden suorittamisen jälkeen tehtiin simulointeja sen selvittämiseksi, ovatko Fire Demand Model -ohjelmalla saadut tulokset yhtäpitäviä sammutuskokeista saatujen tulosten kanssa.

Simuloinnit käsittävät ennen sammutuskokeita tehtyjä testikokeita, joissa käytettiin virtauksena 300 l/min ja vesipisaroiden pisarakokona 0,7 mm. Rakenteiden syöttötiedot on otettu siitä paloharjoitustalon tilasta, jossa kokeet suoritettaisiin. Tulipalon syöttötiedot on arvioitu aiotusta latauksesta, mutta ne poikkeavat jonkin verran myöhemmistä simuloinneista, jotka tehtiin sammutuskokeiden jälkeen.

Sammutuskokeiden suorittamisen jälkeen tehtiin herkkyysanalyysi pisarakoon vaikutuksesta Fire Demand Model -ohjelmalla. Tämä oli tarpeen, koska pisarakokojakautumien saaminen valmistajilta osoittautui erittäin vaikeaksi. Näissä kokeissa on kaikki parametrit pidetty muuttumattomina lukuun ottamatta pisarakokoa, jota on muutettu 0,1 mm:stä 1 mm:iin. Osaraportissa /7/ pisarakooksi valitaan noin 0,6–0,7 mm pienpaineputkien osalta, minkä vuoksi testeissä päätettiin olla käyttämättä yli 1 mm:n pisarakokoa.

Lopuksi tehtiin 12 uutta FDM-simulointia kustakin kokeisiin kuuluneesta suihkuputkesta mitatuilla virtauksilla ja suihkuputkipaineilla.

3.2 Tulokset

Fire Demand Model -ohjelmalla ennen sammutuskokeita tehdyn simuloinnin tuloksista voidaan todeta, että optimaalinen sammutusvirtaus osuu välille 220–280 l/min, ks. diagrammi 3.1. Sammutusprosessi simuloidaan niin, että se ei ala ennen kuin kolmen minuutin kuluttua. Siten sammutuksen vertailuaika on jossakin 1–2 minuutin välillä tällä virtausvälillä. Pienemmillä virtauksilla sammutusajasta tulee kohtuuttoman pitkä, samalla kun virtauksen suurella lisäämisellä ei saada mainittavasti lyhyempää sammutusaikaa. Simuloinnin mukaan sammutuksen alaraja on arviolta noin 200 l/min.

Kuten taulukosta 6.1 voidaan selkeästi todeta, on TFT Ultimatic -suihkuputken tulos ajallisesti paras. Muiden suihkuputkien tulokset ovat jossakin määrin huonompia. Huomattava on, että Quadrafog 500:n tulos on suhteellisesti huono, ja se on kokeiden huonoin.

| SUIHKUPUTKI | KESKIVIRTAUS (L/MIN) | LÄMPÖTILAN ALENEMISAIKA (S) | KOKONAISSVESI-MÄÄRÄ (L) |
|---------------|----------------------|-----------------------------|-------------------------|
| AKRON | 375 | 33 | 206 |
| QUADRAFOG 500 | 366 | 79 | 482 |
| UNIFIRE APG | 91 | 55 | 83 |
| TFT ULTIMATIC | 283 | 29 | 137 |
| QUADRAFOG 150 | 195 | 43 | 140 |
| PROTEK 366 | 268 | 47 | 210 |
| PROTEK 322 | 246 | 29 ⁴ | 120 |
| FOG, UUSI | 292 | 37 | 180 |
| FOG, KÄYTETTY | 304 | 58 | 294 |

Taulukko 6.1: Veden virtaustulokset sammutuskokeista

Taulukkoa 6.1 koskevat asiakirjat ovat liitteessä H yksityiskohtaisine selityksineen. Ajallisesti TFT Ultimaticin tulos on paras. Protek 322:n aikatieto on sama, mutta sen osalta sammutusyritys on valitettavasti keskeytetty liian aikaisin, minkä seurauksena korjattu loppulämpötila on 222 °C sen sijaan, että se olisi 170 °C:n kuten muilla suihkuputkilla. Siten Protek 322:n kokonaisajan on oltava huomattavasti pitempi, minkä vuoksi veden kokonaiskulutuksen on myös oltava olennaisesti suurempi. Quadrafog 500:n tulokset poikkeavat huomattavasti muiden suihkuputkien tuloksista. On huomattava, että Unifire APG:n tulos on vertailukelpoinen huolimatta huomattavasti pienemmästä veden virtauksesta. Ajallisesti se ei ole paras, mutta veden kokonaismenekki on pienin, 83 litraa. Koska TFT Ultimatic selviytyy sammutusvaatimuksesta nopeasti, se kuluttaa testatuista suihkuputkista toiseksi vähiten vettä, kaikkiaan 137 litraa. Myös Quadrafog 150 selviytyi hyvin verrattuna muihin suihkuputkiin huolimatta huomattavasti pienemmästä virtauksesta. Kokonaisvirtaus on periaatteessa samanlainen kuin TFT Ultimaticilla, mutta vertailuaika on huomattavasti pitempi.

Liitteessä C on laskettu kullekin suihkuputkelle K-kerroin paine- ja virtaustestejä käyttäen. Nämä laskelmat ovat myös liitteessä G.

⁴ Protek 322 on ainoa suihkuputkista, jolla liian aikaisin keskeytetyn sammutuskokeen takia ei päästä 170 °C:n keskilämpötilaan. Ajan tulee siksi olla pitempi, mutta kuinka paljon pitempi, jää arvailujen varaan. Käytetyn veden kokonaismäärän arvosta tulee siksi myös ilmoitettua suurempi.

6.9 Tulosten tarkastelu

Suihkuputkien vertailuajat poikkeavat merkittävästi Fire-Demand Model -ohjelmalla saatuihin tuloksiin verrattuina. Kuten sivulla 22 esitetystä tarkastelusta mainitaan, otetaan Fire Demand Model -ohjelmassa vain vähäisessä määrin huomioon suihkuputkipaine ja sen myötä myös pisarakoko. Tämän voidaan olettaa olevan yhtenä syynä siihen, että tulokset poikkeavat toisistaan. Sellaiset suihkuputket kuten esim. Protek selviytyvät sammutuskokeista hyvin muihin verrattuina, mitä simuloinnit eivät osoittaneet. Parhaimmat tulokset Fire Demand Model -ohjelmassa saatiin niistä suihkuputkista, joiden virtaukset olivat suurimmat. Tämä ei ole ollenkaan yhtäpitävää sammutuskokeista saatujen tulosten kanssa. Tosin Akron Turbojetin tulos on hyvä, mutta samalla Quadrafog 500:n tulos on huonoin. Pienen virtauksen omaavat suihkuputket, kuten Unifire APG ja Quadrafog 150 selviytyvät hyvin vertailussa, vaikka niiden virtausero on useita satoja litroja minuutissa ja vaikka ne FDM-ohjelman mukaan eivät pystyneet ylipäänsä täyttämään sammutusvaatimusta.

Suihkuputkipaineen ja sammutustuloksen välinen kytkentä ei ole yksiselitteinen. Virtauksia ja suihkutuskuvioiteista saatuja tuloksia on pohdittava. TFT Ultimaticin sammutustulos on paras ja sen suihkuputkipaine on yhtäpitävä valmistajan ilmoittaman kanssa, tosin virtauksella 250–300 l/min. Tämän suihkuputken suihkutuskuvio on myös paras. Muita suihkuputkia, joiden suihkuputkipaine on kaikkien oikeaksi työpaineeksi ilmoittama noin 7 bar, ovat molemmat Protek-putket. Niiden virtaukset ovat pienemmät ja suihkutuskuviot huonommat. Protek 322 alentaa lämpötilaa nopeammin alussa, mutta pyrkii tasoittumaan ja lähenemään Protek 366:ta lopussa. Kuten jo mainittiin, Protek 322:n koe keskeytettiin kuitenkin liian aikaisin, minkä vuoksi tämän suihkuputken ja muiden putkien vertailu on vaikeaa.

Pienvirtausputkien sammutustulokset ovat hyviä, vaikka virtaukset ovat vajaat 100 l/min Unifire APG:n kohdalla ja 150–200 l/min Quadrafog 150:n kohdalla. Suihkuputkipaine ylittää kummassakin tapauksessa 8 bar, minkä vuoksi vesipisarat ovat pieniä ja niiden lämmön absorbointikyky hyvä /4/. Näin siitäkkin huolimatta, että suihkutuskuviot eivät ole parhaat.

Fogfighter-mallien tulokset poikkeavat toisistaan ajallisesti. Kummankin putken virtaus on suunnilleen sama. Suihkuputkipaineet eivät poikke toisistaan erityisen paljon, ero on 0,4 bar. Uuden mallin suihkutuskuvio on sitä vastoin huomattavasti parempi. Tämän voidaankin olettaa olevan syynä siihen, että tämän suihkuputken tulos on parempi näistä kahdesta.

Suurimmat virtaukset ovat Quadrafog 500- ja Akron Turbojet -suihkuputkillä. Kummankin suihkuputken virtauksen arvo ylittää 350 l/min. Kummankin suihkuputkipaine on myös noin 3 bar. Akron-putken suihkutuskuvio on sitä vastoin huomattavasti parempi kuin Quadrafog-putken. Akron-putken tulos on ajallisesti toiseksi paras testatuista. Suuren virtauksen takia pysäytyskriteerin saavuttamiseen kuluu kuitenkin runsaat 200 litraa vettä. Tässä tapauksessa samoin kuin Fogfighter-putkien välisessä vertailussa suihkuputket ovat jokseenkin samanarvoisia. Suihkutuskuviot poikkeavat toisistaan huomattavasti, minkä voidaan olettaa olevan syynä siihen, että Akron-putken tulos on niinkin paljon parempi. Se, että sen tulos pienemmästä paineesta huolimatta on parempi Fogfighteriin verrattuna, selittynee sillä, että se syöttää noin 75 l/min enemmän vettä, vaikkakin Akronilla vesipisaroista tulee suurempia.

On vaikeaa yksiselitteisesti osoittaa, mikä vaikuttaa tuloksiin eniten. Varmuudella voidaan kuitenkin sanoa, että TFT Ultimaticin tulokset ovat hyvät suihkuputkipaineen ja suihkutuskuvion osalta ja että sen vedenkulutus on hyvä. Tämän voidaan olettaa olevan syynä siihen, että se on testin paras suihkuputki. Muiden suihkuputkien tulokset ovat ainakin jossakin määrin hyviä riippuen siitä, että virtaus, suihkuputkipaine tai suihkutuskuvio tai ne kaikki eivät ole yhtä hyviä kuin TFT Ultimaticilla. Vertailtaessa Akron- ja Quadrafog 500 -putkia, joiden kummankin maksimivirtaus on 500 l/min ja jotka toimivat ilman paineautomaatiikkaa, on Akron-putkella hyvä suihkutuskuvio ja suuri virtaus, mutta huonompi suihkuputkipaine, kun taas Quadrafogilla on pelkästään suuri virtaus. Tätä virtausta ei kuitenkaan voida hyödyntää huonon suihkutuskuvion ja pienen suihkuputkipaineen takia, joten tuloksesta tulee huono.

Kokoavasti voidaan todeta, että suuri virtaus ei ole vastaus palokaasujen jäähdyttämiseen, vaikkakin erilaisten tulipalojen torjumiseen vaaditaan tietty määrä vettä. Ratkaisevaa on se, kuinka saatavilla oleva vesi ohjataan tulipaloon. Suihkuputken tehokkuuden kannalta on ratkaisevaa, että vesi voidaan siirtää pois palohuoneesta vesihöyrynä sen absorboitua lämmön kuumista palokaasuista sen sijaan, että se valuisi lattiaa pitkin jäähdytystehon jäädessä vähäiseksi.

7. JOHTOPÄÄTÖKSET JA EHDOTUKSET

- Fire Demand Model -ohjelma vastaa hyvin osaraportissa /7/ selostettuja kokeita. Niissä kokeissa annetut edellytykset poikkeavat tässä raportissa esitettyjen kokeiden edellytyksistä. Osaraportissa /7/ esitetyt kokeet tehtiin muun muassa ulkosammutuksena, joka on ohjelman edellytys. Tässä työssä ei ole tarkoitus tutkia Fire Demand Model -ohjelman luotettavuutta, mutta voidaan kuitenkin todeta, että simuloinnit eivät vastaa kovin hyvin sammutuskokeista saatuja tuloksia, joten luotettavuus sisäsammutuskokeiden osalta on asetettava kyseenalaiseksi. Se, että suihkuputkipaine ja pisarakoko otetaan ohjelmassa kaasuvaihevaikutuksen osalta vain vähän huomioon, on puute, koska näillä tekijöillä on suuri vaikutus. Näin on, koska suuri suihkuputkipaine tuottaa pienempiä vesipisaroita, joilla on parempi lämmön absorbointikyky kuin pienen suihkuputkipaineen tuottamilla suurilla vesipisaroilla. Lisäksi ohjelmassa ei oteta ollenkaan huomioon suihkutuskuvioita, vaan edellytetään täydellistä jakautumaa. On vaikeaa ottaa kantaa siihen, mikä näistä tekijöistä on merkittävin.
- Koska palolaitokset ovat siirtyneet 38 mm:n ohutletkuista 42 mm:n ohutletkuihin, on eräiltä tahoilta tullut huomautuksia, että suihkuputketkin on vaihdettava, jotta lisääntynyt virtaus voidaan ottaa vastaan. Tämä ei pidä paikkaansa, koska paine- ja virtaustestit osoittavat, että maksimivirtaukseltaan 500 l/min:n suihkuputket eivät onnistu saavuttamaan tätä maksimivirtausta toisin kuin Fogfighter, jonka maksimivirtaus on 300 l/min. Lisäksi suihkuputkipaine kärsii, jolloin tuloksena on suuria pisaroita ja huonompi suihkutuskuvio. Suihkuputket, joissa on paineautomaattikka ja joiden maksimivirtaus on 500 l/min, pystyvät pitämään yllä oikeaa painetta kuristetun virtauksen hyväksi. Suihkuputkilla, joiden paine on suuri ja suihkutuskuvio hyvä, saadaan hyvä tulos, kun taas suihkuputkilla, joiden virtaus on suuri, mutta paine pieni ja suihkutuskuvio huono, tulokset ovat huonompia.
- Liitteessä E on tarkat tiedot kaikista suihkuputkilla tehdyistä sammutuskokeista. Jos kunkin suihkuputken kokeita verrataan keskenään, havaitaan, että tulokset ovat hyvin yhtäpitäviä. Tämä tarkoittaa, että kokeet ovat toistettavissa ja että tuloksia on pidettävä hyvin luotettavina.
- Jokainen paloskenaario on enemmän tai vähemmän muista poikkeava. Sammutusprosessit tapahtuvat eri tavoilla ja eri menetelmillä. Suihkuputken käyttöalueiden hajonta on suuri. Nykyään tilanne on se, että samaa suihkuputkea käytetään periaatteessa kaikentyyppisiin tulipaloihin eräänlaisena yleistyökaluna. Pikemminkin pitäisi olla niin, että käytettävissä olisi joukko erilaisia suihkuputkia ja että oikeaa työkalua käytettäisiin oikeassa tilanteessa. Palokaasujen jäähdyttämisessä tehokas suihkuputki ei välttämättä ole oikea työkalu esimerkiksi julkisivun jäähdyttämiseen, jossa voidaan tarvita suuria virtauksia ja pitkää suihkutumatkaa.

- TFT Ultimatic -suihkuputkella saadaan sammutuskokeissa paras tulos palokaasujen jäähdyttämisen osalta. Tämän voidaan olettaa johtuvan siitä, että se pitää yllä sen suihkuputkipaineen, jolla sen on tarkoitus toimia. Testatuista putkista sen suihkutuskuvio on symmetrisin. Virtaus alueella, joka on kytkettynä Fire Demand Modeliin, on riittävä tätä skenaariota varten. Sammutukseen kuluu aikaa 29 sekuntia.
- Seuraava suihkuputkien ryhmä on välillä 33–47 sekuntia. Nämä ovat Protek 322 ja 366, uusi Fogfighter, Quadrafog 150 ja Akron Turbojet. Ajallisesti ne ovat huonompia kuin TFT Ultimatic, mutta niiden tulos on kuitenkin melko hyvä. Kokonaisvedenkulutus on myös suurempi kuin TFT Ultimaticilla. Näillä putkilla virtaus, suihkuputkipaine tai suihkutuskuvio on huonompi tai ne kaikki ovat huonommat kuin TFT-putkella. Siksi tämän voidaankin olettaa olevan syynä siihen, että niillä ei päästä samoihin suoritusarvoihin.
- Kolmannen suihkuputkien ryhmän muodostavat Quadrafog 500, käytetty Fogfighter sekä Unifire APG. Näiden suihkuputkien sammutusajat ovat välillä 55–79 sekuntia, jota voidaan pitää huonompana verrattuna muihin yleensä ja erityisesti TFT Ultimaticiin. Quadrafog 500 -putken suihkutuskuvio on erittäin huono ja suihkuputkipaine alhainen, minkä vuoksi sen tuottamaa suurta vesimäärää ei voida käyttää hyväksi. Käytetyn Fogfighterin suihkutuskuvio on huono, mutta sen mitattu suihkuputkipaine on suhteellisen hyvä, 5,8 bar. Unifire APG:n suihkutuskuvio on erittäin huono ja virtaus on alhainen, alle 100 l/min, mistä syystä sammutusajasta tulee pitkä. Ottaen huomioon, että virtaus on niinkin alhainen kuin se on, voidaan tulosta pitää silti varsin hyvänä. Tämä johtuu korkeasta suihkuputkipaineesta, joka tuottaa pienempiä vesipisaroita.
- Fogfighterin tulokset eivät ole parhaat, mikä on tutkimuksen kannalta kiinnostavaa, koska monet pelastuslaitokset käyttävät tätä suihkuputkea. Asiaan vaikuttavat kuitenkin muutkin tekijät, kuten käsiteltävyys ja taloudellisuus, ks. liite I. Tässä testissä uusi Fogfighter antoi kaasuvaihevaikutusta tarkasteltaessa paremman tuloksen kuin käytetty. Yleisten johtopäätösten tekeminen käytetystä ja uudesta mallista pelkästään kahden mallin vertaamisen jälkeen on liikaa vaadittu. Asiaa pitäisi kuitenkin tutkia tarkemmin.
- Suihkuputkien erot sammutuskokeissa ovat minuutin aikavälillä. Voidaan olettaa, että erot kasvat kun kohteena on voimakkaampi palotapahtuma. Tulokset muotoutuvat silloin todennäköisesti vielä selvemmiksi.

Arviointi

Suihkuputkia testasi kaikkiaan kolme ohjaajaa. Ulkotestien jälkeen 11 mallista viisi osoittautui sellaisiksi, jotka ylipäänsä olivat kiinnostavia sisällä hallissa tehtäviin testeihin. Lisäksi testattiin myös yksi suurpainesuihkuputki. Koska palohallin tilavuus on suuri, ja sitä on vaikea täyttää palokaasuilla, päätettiin jälkikäteen, että tehtäisiin uusi testi. Tämä testi suunniteltiin tehtäväksi myöhemmässä vaiheessa paloharjoitustalossa. Talo soveltuu lisäksi paremmin, koska siinä pystyy simuloimaan äkillistä sammutusprosessia. Ohjattavuutta voidaan tutkia paremmin, koska rakennuksen rakenne on monimutkaisempi kuin suuren palohallin.

Lisätestiin otettujen viiden suihkuputken valintaa ohjasivat seuraavat kommentit:

- Putkessa on oltava asento, jota voidaan käyttää ohjemerkinä näkyvyyden ollessa olematon, niin että suihkua ohjaava tietää, minkä tyypisellä suihkutuskuvilla hän avaa.
- Suihkutuskuvion säätimen/säätökehän asentojen on oltava lyhyitä. Tiettyjä malleja sai kääntää huomattavasti enemmän suljettu suihku -asennosta suojausmu-asentoon.
- Kahdesta mallista tuli pikemminkin valuva suihku kuin sumua, kun liipaisimella säädetty aukko oli pieni.
- Tietyissä malleissa oleva virtauksen säätökehä erilaisille maksimivirtauksille on tarpeeton. Koettiin, että virtauksen ohjaus oli helpompaa avaamalla liipaisimella aukkoa eri suuruisesti.

Mallit, jolle lisätestit tehtiin, olivat:

- Protek 366
- Protek 322
- Quadrafog 500
- Quadrafog 150
- TFT Ultimatic
- Unifire APG

Palohallissa tehdyt testit vahvistivat aikaisemmin esiin tulleita näkökohtia. Sammutuksen osalta oli vaikeampi havaita mitään eroa. Tätä oli tarkoitus arvioida paremmin myöhemmässä vaiheessa paloharjoitustalossa, kuten aiemmin mainittiin.

Dokumentaatio

Kyselytutkimus haastatteluineen.

Arviointi

Suuressa palohallissa tehdyssä testissä esiin tulleet näkökohdat vahvistuivat paloharjoitustalossa tehdyssä testissä.

Arvosana-asteikolla varustetuista kysymyksistä saaduiksi keskiarvoiksi tuli:

| Malli | Akron Turbojet | Viper Select | Protec 366 | Protek 322 | Quadra-fog 500 | Quadra-fog 150 | TFT Ultimatic | Unifire APG | Unifire Output 12 |
|----------|----------------|--------------|------------|------------|----------------|----------------|---------------|-------------|-------------------|
| Arvosana | 2,78 | 2,89 | 2,32 | 2,29 | 2,86 | 2,86 | 3,93 | 3,68 | 1,00 |

Huomautus: Arvosanat perustuvat neljän henkilön arvioihin. Siksi tuloksien tulkinnessa on joitakin epävarmuustekijöitä. Palomiehet useimmista Tukholman palolaitoksen ryhmistä ovat kuitenkin saaneet testata ohjaajien hyväksymiä malleja, ja mielipiteet ovat suunnilleen samat saatujen tietojen mukaan.

Kysymykseen, pitääkö olla pistoolikahva vai ei, kolme vastasi kyllä. Yksi jätti vastaamatta.

Kysymykseen, pitääkö olla asetettavat, kiinteät maksimivirtaukset kuten esimerkiksi Akron Turbojetissä, kolme vastasi ei. Yksi jätti vastaamatta.

Kysymykseen, tuntuiko jokin suihkuputki paremmalta kuin Fogfighter, vastaukset olivat:

- TFT Ultimatic – kaikki neljä
- Quadrafog 500 – yksi
- Quadrafog 150 – yksi
- Unifire APG – yksi
- Muut pienin muutoksin – yksi.

Kysymykseen, voisivatko he ajatella käyttävänsä jotakin suihkuputkista organisaatiossaan, vastaukset olivat:

- TFT Ultimatic – kaikki neljä
- Quadrafog 500 – yksi
- Quadrafog 150 – yksi
- Unifire APG – yksi
- Muut pienin muutoksin – yksi.

Ohjaajilta saadut kommentit

- *"Kaikki nämä suihkuputket tuntuvat kätevämmiltä kuin Fogfighter painon ja koon takia. Muutamat vaativat säätöä, esim. kartion säätö käy liian kevyesti ja kartion säädössä on tiettyä epäherkkyyttä, mutta pienin muutoksin kaikki olisivat parempia kuin Fogfighter. Suurpaineputki vaikuttaa olevan tehokas sammutuksen kannalta, mutta sen rakenne ei ole ihan kenttäkelpoinen. Henkilökohtaisesti pidän kartion säädön tiettyä hitautta ja normaalisuihkutuskuvion, tyyppi 45°, luotettavaa naksahdusta parempana."*
- *"Suurempi liipaisin TFT Ultimaticiin."*
- *"Unifire APG saisi olla lyhyempi, suojuksen pistoolikahvan ja liipaisimen ympärille, mallia liipaisimen suojuksaari. Suuremmat sumun ja suljetun suihkun väliset asennot."*
- *"Rakentakaa suihkuputki ilman suljettua suihkua."*
- *"Suurempi liipaisin TFT Ultimaticiin, ja se on täydellinen."*
- *"TFT Ultimatic on tarkimmin harkittu ja täydellisin putki muutamin pienin muutoksin, kuten suurempi liipaisin sekä pistoolikahvan tietty muutos, mutta se voittaa jo nyt Fogfighterin monen hevosenmitan verran."*

1.3 Huolto

Ågestan varikko

Keskusteluissa Mikael Ekmanin sekä muiden henkilöiden kanssa varikolla, jossa Tukholman palolaitoksen Fogfighterit huolletaan ja korjataan, tuli esiin monia näkökohtia. Yleisesti voidaan sanoa, että Fogfighter vaatii paljon huoltoa ja korjauksia, koska se menee suhteellisen helposti rikki. Tämä vaatii suuren osan henkilöstön työajasta sekä varaosakustannuksia. Fogfighter on teknisesti monimutkainen ja koostuu noin 40–45 eri osasta, mikä tekee siitä herkästi vaurioituvan. Nykyinen tilanne on se, että varikko saa suihkuputket käsiteltäviksi silloin, kun ne ovat menneet rikki sen sijaan, että olisi mahdollisuutta tehdä ennaltaehkäisevää työtä ja ottaa suihkuputket huollettaviksi säännöllisin väliajoin ennen niiden vioittumista. Varikko ei ehdi tehdä tätä nyt, koska suihkuputkia tulee korjattavaksi niin paljon. Vuonna 1999 korjattiin 10–25 suihkuputkea joka kuukausi. Tämä asia pitäisi voida korjata esim. jokaista asemaa koskevalla kiertävällä järjestelyllä tai jollakin muulla ratkaisulla.

Huolto, Revingen pelastuskoulu

Keskusteluissa Revingen pelastuskoulun huoltovarikolla esille tulivat periaatteessa samat näkökohdat kuin Ågestan varikollakin. Heidän näkökohtansa ovat hyvin mielenkiintoisia, koska heillä on ollut mahdollisuus verrata useita tähän tutkimukseen kuuluneista malleista, koska koululla on useita näistä suihkuputkista paloautoissaan. Täälläkin huomautettiin, että Fogfighteria saa huoltaa ja korjata usein, huomattavasti useammin kuin muita malleja. On kuitenkin vaikeaa sanoa, riippuko tämä huonommasta rakenteesta, koska huollossa ei tiedetä, kuinka vanha malli on tai kuinka paljon sitä on käytetty. Se kuitenkin todetaan, että rakenteeltaan sitä muistuttavat mallit on rakennettu huomattavasti vähemmistä osista (5–10 osaa vähemmän) ja että ne vaikuttavat olevan rakenteeltaan vankempia. Tämä tarkoittaa, että muut mallit kuten Protek, Akron, Quadrafog ja TFT ovat kenttäkelpoisempia.

Dafo

Keskustelussa Dafo AB:n Johnny Rydénin kanssa, joka auttoi antamalla useita suihkuputkia ja joka myös myy Fogfightereita sekä varaosia niihin, kävi ilmi, että Fogfighteriin myydään paljon varaosia, mutta että esim. TFT Ultimaticiin on myyty kaksi tai kolme osaa 10 vuoden aikana.

1.4 Taloudellisuus

Taloudellisuuteen sisältyy useita näkökohtia. Toisaalta on otettava huomioon uushankintahinta uusien suihkuputkien mahdollisen hankinnan yhteydessä, toisaalta taas varaosakustannukset ja huolto- ja korjaushenkilöstön pitämisestä johtuvat kustannukset. Huoltohenkilöstöä tarvitaan riippumatta siitä, kuinka paljon suihkuputket vievät aikaa. Heidän työaikansa voitaisiin kuitenkin käyttää muuhun työhön ja antaa heille mahdollisuus olla suihkuputkien huollon eturintamassa. Henkilöstön palkkoja ei tässä tutkita, mutta niihin viitataan yhtenä useista taloudellisista tekijöistä.

Suihkuputkien uushankintahinnat ovat kunkin suihkuputken kohdalla liitteessä C, mutta taulukossa 1.1 on niistä tiivistelmä.

| Malli | Hinta |
|-------------------|--------------|
| TFT Ultimatic | 6 000 kr |
| Fogfighter | 5 050 kr |
| Quadrafog 500 | 4 400 kr |
| Quadrafog 150 | 4 000 kr |
| Viper Select | 3 275 kr |
| Protek 322 | 4 500 kr |
| Protek 366 | 3 500 kr |
| Unifire APG | 2 700 kr |
| Unifire Jet Set | 2 700 kr |
| Unifire Output 12 | 1 940 kr |
| Unifire 10 C | 990 kr |
| Akron Turbojet | 4 500 kr |

Taulukko 1.1: Kaikkien tutkimuksessa käytettyjen suihkuputkien uushankintahinnat.

Varaosakustannuksista voi syntyä suuri erä, jota ei huomata, koska kertasummat ovat pieniä, mutta yhteensä kertyvä summa on huomattava. Tämä käy selväksi Tukholman palolaitoksen osalta, kun varaosakustannukset vuoden 1999 syyskuun ja vuoden 2000 syyskuun välillä osoittautuvat olevan:

50 000 kruunua.

Tämä summa sisältää vain puhtaat varaosakustannukset, eikä siinä ole toimittajan tekemien korjausten kustannuksia.

Tiivistelmä

Muiden suihkuputkien uushankinnasta voi kertasummana syntyä huomattavat kustannukset. On kuitenkin olemassa hyvät mahdollisuudet hankkia nämä kustannukset takaisin sellaisella suihkuputkella, joka vaatii harvoin korjauksia ja vähän huoltoa.