



SAVONIA
AMMATTIKORKEAKOULU

Tekniikka

Palopäällystön koulutusohjelma

**SAMMUTUS- JA PELASTUSTOIMINTA OLKILUTO 3 -YDINVOIMALAN PUTKI- JA
KAAPELITUNNELEISSA**

Joni Toivo

SAVONIA-AMMATTIKORKEAKOULU - TEKNIikka, KUOPIO		
Koulutusohjelma Palopäällystön koulutusohjelma		
Tekijä Joni Toivo		
Työn nimi Sammutus- ja pelastustoiminta Olkiluoto 3 -ydinvoimalan putki- ja kaapelitunneleissa		
Työn laji	Päiväys	Sivumäärä
Opinnäytetyö	28.3.2019	32 + 46
Työn valvoja	Yrityksen yhdyshenkilö	
vanhempi opettaja Juha Ronkainen	palomestari Eerik Nurmi	
Yritys Teollisuuden Voima Oyj		
Tiivistelmä		
<p>Olkiluoto 3:n kaupallinen sähköntuotanto alkaa tämänhetkisen aikataulun mukaan tammikussa 2020. Ydinvoimalaitos on aina haastava kohde palokunnalle. Erilaiset ohjeet ja kohdekortit helpottavat pelastustoimintaa haastavassa kohteessa.</p> <p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli laatia ohje Teollisuuden Voima Oyj:n laitospalokunnalle sammutus- ja pelastustoiminnasta Olkiluoto 3 -ydinvoimalan putki- ja kaapelitunneleissa. Ohjeen pohjalta laadittiin putki- ja kaapelitunneleiden kohdekortit, jotka ovat hyödynnettävissä sammutus- ja pelastustoiminnan aikana.</p> <p>Opinnäytetyö oli toiminnallinen opinnäytetyö, johon kuului toiminnallisena osuutena ohjeen ja kohdekorttien laadinta sekä raporttiosuus. Raportissa keskityttiin ydinlaitoksen palontorjunnan toteuttamiseen ja sitä ohjaavaan lainsäädäntöön ja ohjeisiin sekä sammutus- ja pelastustoimintaan vaikuttaviin osa-alueisiin, kuten selvitysmalleihin ja savunpoistoon.</p>		
Avainsanat ydinvoimala, pelastustoiminta, tunneli, toimintaohje, palontorjunta		
Luottamuksellisuus julkinen		

SAVONIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES		
Degree Programme Fire Officer (Engineer)		
Author Joni Toivo		
Title of Project Firefighting of Cable and Pipe Ducts at Olkiluoto 3 Nuclear Power Plant		
Type of Project Final Project	Date 28th March, 2019	Pages 32 + 46
Academic Supervisor Mr Juha Ronkainen, Senior Instructor	Company Supervisor Mr. Eerik Nurmi, Executive Fire Officer	
Company Teollisuuden Voima Oyj		
Abstract <p>Electricity production at Olkiluoto 3 nuclear power plant begins in January 2020 according to the current schedule. The start-up of the new nuclear power plant poses challenges for the fire brigades in the region and causes, among other things, different training needs. Rescue operations at a challenging nuclear power plant environment are facilitated by various instructions and target information cards.</p> <p>The aim of this final project was to create procedures for the nuclear plant fire brigade of Teollisuuden Voima Oyj to be used at rescue operations in the pipe and cable ducts at Olkiluoto 3. The second aim was to create target information card system based on procedures, which can be used effectively during rescue operations.</p> <p>The report section of this final project focus on the implementation of firefighting at the nuclear facility and on the legislation and guidelines governing it and on firefighting and rescue operations, such as hose deployment and smoke ventilation of Olkiluoto 3 cable and pipe ducts. The functional part of this final project includes preparation of a procedures and target information cards. For example, different types of hose deployments were tested for this final project.</p>		
Keywords nuclear power plant, rescue operations, tunnel, procedure, fire protection		
Confidentiality public		

SISÄLTÖ

KÄSITTEET	6
1 JOHDANTO	8
2 TOIMINTAYMPÄRISTÖN ESITTELY	9
2.1 Teollisuuden Voima Oyj	9
2.2 Olkiluoto 3	10
2.3 Laitospalokunta	12
3 YDINLAITOKSEN PALONTORJUNTA OHJAAVA LAINSÄÄDÄNTÖ	13
3.1 Ydinenergialaki	13
3.2 Maankäyttö- ja rakennuslaki	13
3.3 Pelastuslaki	14
3.4 Ydinlaitoksen palontorjunta -ohje	15
4 PALONTORJUNTA YDINVOIMALASSA	16
4.1 Syvyyspuolustusperiaate	16
4.2 Paloanalyysit	17
4.3 Rakenteellinen palontorjunta	18
4.4 Aktiivinen palontorjunta	19
5 TULIPALOT PUTKI- JA KAAPELITUNNELEISSA	21
5.1 Tunneleiden rakenteellinen palontorjunta	21
5.2 Tunnelipalon ominaispiirteitä	22
5.3 Paloriskit	23
5.4 Selvitysmallit	24

	5
5.5 Savunpoisto	28
6 POHDINTA	29
6.1 Opinnäytetyön tulokset	29
6.2 Oma oppiminen ja jatkosuunnitelmat	30
LÄHTEET	31
LIITTEET	33

KÄSITTEET

Aktiivinen palontorjunta täydentää passiivista laitoksentilasuunnitteluun, palo-osastointiin ja palonkestäviin rakenteisiin liittyvää palontorjuntaa. Aktiiviseen palontorjuntaan kuuluvat muun muassa paloilmoin- ja sammutusjärjestelmät, savunpoistojärjestelmät, turvavalaistus sekä operatiivinen palontorjunta. (YVL B.8. STUK, 2013.)

Palontorjunnan syvyyspuolustusperiaatteen tarkoitus on estää palon syttyminen, havaita ja sammuttaa palo nopeasti, estää palon kehittyminen ja leviäminen sekä rajoittaa palon vaikutukset siten, että ydinlaitoksen turvallisuustoiminnot voidaan toteuttaa luotettavasti palon vaikutuksista huolimatta. (YVL B.8. 2013, 3.2.1)

Palotuuletus on palokunnan palon aikana suorittama savutuuletus, jossa rakennuksesta poistetaan ensisijaisesti lämpöä, mutta myös savua. (Savola. 2010, 41)

Pelastussukelluksella tarkoitetaan savu-, kemikaali- ja vesisukellusta. (Pelastussukellusohje. 2007, 2)

Pelastustoimintaan kuuluu hälytysten vastaanottaminen, väestön varoittaminen, uhkaavan onnettomuuden torjuminen, onnettomuuden uhrien ja vaarassa olevien ihmisten, ympäristön ja omaisuuden suojaaminen ja pelastaminen, tulipalojen sammuttaminen ja vahinkojen rajoittaminen sekä edellä mainittuihin tehtäviin liittyvät johtamis-, viestintä-, huolto- ja muut tukitoiminnot. (Pelastuslaki 379/2011, 32 §)

Savusukelluksella tarkoitetaan paineilmahengityslaitteiden ja asianmukaisten suojavaarusteiden avulla tehtävää sammutus- ja pelastustyötä. Tämä työ edellyttää tunkeutumista palavaan ja rajattuun sisätilaan, jossa on savua. (Pelastussukellusohje. 2007, 2)

Suurjännite on yli 1,0 kV (> 1000 voltin) sähköjännite. Suurjännitteiset kohteet aiheuttavat erityisiä työturvallisuusriskejä, minkä vuoksi ne on huomioitava sammutus- ja pelastustoiminnassa. (Toivo 2018, 4.1)

Säteilyturvakeskus (STUK) on sosiaali- ja terveysministeriön hallinnonalaan kuuluva Suomen säteilyvalvonnasta ja ydinturvallisuusvalvonnasta vastaava viranomainen. Säteilyturvakeskuksen toiminta-ajatukseksi on ihmisten, yhteiskunnan, ympäristön ja tulevien sukupolvien suojeleminen säteilyn haitallisilta vaikutuksilta. (YVL B.8. STUK, 2013.)

Säteilyvalvonta-alueella tarkoitetaan ydinlaitoksen aluetta, jolla on noudatettava erityisiä turvaohjeita säteilyltä suojaamiseksi ja jonne pääsyä valvotaan. (YVL B.8. STUK, 2013.)

Tavanomainen savusukellustehtävä tarkoittaa tilannetta, jossa savusukellustehtävä voidaan aloittaa turvallisesti, jos pelastusyksikössä on vähintään neljä savusukelluskelpoista henkilöä. Mikäli savusukellus aloitetaan 1+3-vahvuisella pelastusyksiköllä, savusukellusparin toimintaa turvaavan suojarin muodostaa yksikönjohtaja ja konemies siihen saakka, kunnes pelastustoiminnan johtaja määrää muun suojarin. (Pelastussukellusohje. 2007, 2)

Turvallisuuslohkolla tarkoitetaan sellaisia fyysisesti toisistaan eroteltuja tiloja ja niiden sisältämiä laitteita ja rakenteita, joihin sijoitetaan kunkin turvallisuusjärjestelmän yksimöninkertaisuusperiaatetta toteuttava osa. (YVL B.8. STUK, 2013.)

Vaativa savusukellustehtävä tarkoittaa yleisesti tilannetta, jossa savusukellustoiminta suoritetaan esimerkiksi maanalaisissa tiloissa, tunneleissa tai niihin verrattavissa tiloissa. Vaativassa savusukellustehtävässä toiminta-aika pidentyy etenemisen tai tilan laajuuden takia ja toimintaympäristön hahmottaminen on vaikeaa. (Pelastussukellusohje. 2007, 2)

Ydinlaitos on ydinenergialla sähköä tuottava voimalaitos tai ydinjätehuoltoon liittyvä laitos. (YVL B.8. STUK, 2013.)

Ydinturvallisuusohje (YVL- ohje) on Säteilyturvakeskuksen (STUK) ydinenergialain (990/1987) 7 § perusteella antamat yksityiskohtaiset turvallisuusvaatimukset riittävän turvallisuustason varmistamiseksi. (Ydinenergialaki 990/1987, 7 §)

1 JOHDANTO

Olkiluoto 3:n rakentaminen aloitettiin vuonna 2005 ja kaupallisen sähköntuotannon on suunniteltu alkavan alkuvuodesta 2020. Uusi voimalaitosyksikkö asettaa uusia haasteita ja koulutustarvetta ydinvoimalaa operoivan Teollisuuden Voima Oyj:n laitospalokunnalle. Tämä opinnäytetyö keskittyy sammutus- ja pelastustoimintaan Olkiluoto 3:n putki- ja kaapelitunneleissa ja vastaa osaltaan uuden laitoksen tuomiin haasteisiin.

Tämä opinnäytetyö on toiminnallinen, ja sen tavoitteena on tuottaa ohje Teollisuuden Voima Oyj:n laitospalokunnalle sammutus- ja pelastustoimintaan Olkiluoto 3 -ydinvoimalan putki- ja kaapelitunneleihin. Ohjeessa käsiteltävät putki- ja kaapelitunnelit yhdistävät eri rakennuksia toisiinsa, ja niiden kautta kulkee putkia ja kaapeleita, jotka liittyvät ydinvoimalan varmennettuihin turvallisuusjärjestelmiin sekä normaaleihin prosessijärjestelmiin. Tunnelit ovat pituutensa, rakenteensa, maanalaisen sijaintinsa sekä hankalahkon saavutettavuutensa vuoksi haastavia kohteita palokunnalle tulipalotilanteissa.

Tarkoituksena on tuottaa ohje, jossa käsitellään sammutus- ja pelastustoimintaan vaikuttavia tekijöitä kuten hyökkäysreitit, ilmanvaihtoa, savutuuletusta sekä palo-osastointia. Ohjeen lisäksi on tarkoitus tuottaa jokaisesta putki- ja/tai kaapelitunnelista kohdekortti, joka on riittävän helposti ja nopeasti luettavissa ja helposti hyödynnettävissä sekä sammutus- ja pelastustoimintaa edeltävässä tiedustelussa että sammutus- ja pelastustoiminnan aikana.

Tässä opinnäytetyöraportissa käsitellään seikkoja, joilla on vaikutusta toimintaohjeen syntymiseen. Luvussa 2 käsitellään Olkiluoto 3:a operoivaa yritystä, Teollisuuden Voima Oyj:tä, Olkiluoto 3:a sekä Teollisuuden Voima Oyj:n laitospalokuntaa. Luvussa 3 käsitellään keskeistä lainsäädäntöä ja ohjeita, jotka vaikuttavat ydinlaitoksen palontorjunnan suunnitteluun ja toteuttamiseen. 4. luvussa käsitellään ydinlaitoksen palontorjunnan periaatteita ja toteutustapoja. Luvussa 5 käsitellään Olkiluoto 3:n putki- ja kaapelitunneleita ja niissä tapahtuvaa sammutus- ja pelastustoimintaa kuten esimerkiksi tunnelipalon ominaispiirteitä, paloriskejä, selvitysmalleja ja savutuuletusta. Viimeisessä luvussa pohditaan opinnäytetyön tavoitteiden saavuttamista, tuloksia sekä erilaisia kehittämis- ja jatkotutkimusvaihtoehtoja.

2 TOIMINTAYMPÄRISTÖN ESITTELY

2.1 Teollisuuden Voima Oyj

Teollisuuden Voima Oyj (TVO) on suomalainen energiayhtiö, joka tuottaa sähköä kahdella ydinvoimalalla Eurajoella Olkiluodossa. TVO perustettiin vuonna 1969 tuottamaan ydinvoimalla edullista sähköä omistajilleen, suomalaisille teollisuusyrityksille ja kunnille. TVO tuottaa tällä hetkellä noin kuudesosan Suomessa kulutettavasta sähköstä. TVO:n suurin omistaja on 58,5 prosentin osuudella Pohjolan Voima Oy. (TVO Oyj a.)

Olkiluoto 1 aloitti sähkön tuottamisen syyskuussa 1978 ja Olkiluoto 2 vuonna 1980. Olkiluoto 1 ja Olkiluoto 2 ovat lähes identtisiä ja tyypiltään kiehutusvesireaktoreita, joiden nettosähköteho on noin 890 MW. Laitoksia on modernisoitu useasti käyttöiän aikana. Viimeisin modernisointi tehtiin vuosien 2017-2018 aikana. Modernisointien myötä laitokset ovat saaneet uuden käyttöluvan seuraavaksi kahdeksikymmeneksi vuodeksi. Kaikki kolme Olkiluodon ydinvoimalaitosta näkyvät kuvassa 1. (TVO Oyj b.)



Kuva 1. Ilmakuva Olkiluodon ydinvoimalaitoksista (TVO Oyj)

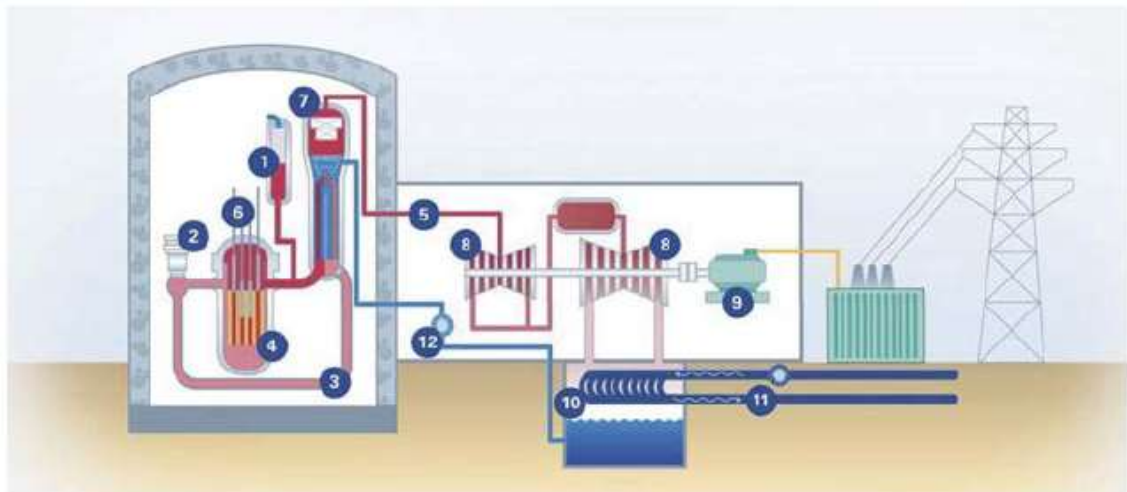
Posiva on Teollisuuden Voima Oyj:n ja Fortum Power and Heat OY:n omistama asiantuntijaorganisaatio, joka vastaa omistajiensa ydinjätteen loppusijoituksesta (Posiva Oy a). Posiva rakentaa Olkiluotoon käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitosta, joka aloittaa TVO:n Olkiluodon voimalaitosten (OL1, OL2 ja OL3) ja Fortum Power and Heat OY:n Loviisan ydinvoimalaitosten (Loviisa 1 ja Loviisa 2) loppusijoittaminen tämänhetkisen aikataulun mukaisesti 2020-luvulla. (Posiva Oy b.)

2.2 Olkiluoto 3

Olkiluoto 3 on rakenteilla oleva EPR (European Pressurized water Reactor) -tyyppinen ydinvoimala, jonka suunniteltu nettosähköteho on 1600 MW. Voimalaitos toimitetaan TVO:lle avaimet käteen -periaatteella. Laitoksen toimittaa konsortio, jonka muodostavat AREVA GmbH, AREVA NP SAS ja Siemens AG. Olkiluoto 3:n rakentaminen alkoi

vuonna 2005, ja alkuperäisen aikataulun mukaan sen piti aloittaa kaupallinen sähköntuotanto vuonna 2009. Tämänhetkisen aikataulun mukaan kaupallisen sähköntuotannon on tarkoitus alkaa tammikuussa 2020. Suunniteltu käyttöikä on 60 vuotta. (TVO Oyj c.)

Olkiluoto 3 koostuu useista eri rakennuksista, jotka jaetaan kolmeen kokonaisuuteen: reaktorilaitokseen, turbiinilaitokseen sekä apu- ja tukirakennuksiin. Olkiluoto 3:n tyyppisessä ydinvoimalassa on lämmönsiirtoon kaksi piiriä: Primääripiirissä kiertää reaktorin kuumentamaa vettä, joka johdetaan höyrystimiin. Sekundääripiirissä oleva vesi höyrystyy pyörittäen turbiinia ja generaattoria, joka tuottaa sähköä. Olkiluoto 3:n toimintaperiaate on esitetty kuvassa 2. Olkiluoto 3:ssa on useita rinnakkaisia turvallisuusjärjestelmiä, joiden tehtävänä on varmistaa laitoksen turvallinen käyttö kaikissa olosuhteissa. (TVO Oyj d. 2016, 46 - 75.)



Kuva 1. Painevesireaktorin toimintaperiaate. Painevesilaitoksessa on lämmönsiirtoon kaksi erillistä piiriä. Paineistimen (1) avulla korkeassa paineessa pidettävä vesi kiertää pääkiertopumppujen (2) avulla primääripiirissä (3) ja luovuttaa reaktorin (4) tuottaman lämmön sekundääripiirille (5) höyrystimessä (7). Reaktorin tehoa säädetään säätöelementeillä (6). Sekundääripiirin paine on huomattavasti primääripiirin painetta pienempi, joten sekundääripiirin vesi kiehuu höyrystimessä. Höyrystimessä syntynyt vesihöyry pyörittää turbiinia (8). Turbiini pyörittää samalle akselille kytkettyä generaattoria (9), joka tuottaa sähköä. Turbiinista tuleva höyry jäähdytetään takaisin vedeksi lauhduttimessa (10) meriveden (11) avulla. Lauhdevesi syötetään takaisin höyrystimeen syöttövesipumpulla (12), ja lämmennyt merivesi palautetaan mereen.

Kuva 2. Painevesireaktorin toimintaperiaate (TVO Oyj d. 2016, 46.)

2.3 Laitospalokunta

Ydinturvallisuusohjeen B.8 kohdan 3.5.3 mukaan ydinvoimalassa on oltava riittävä operatiivinen palontorjuntavalmius, jolla tarkoitetaan laitoksen välittömässä läheisyydessä olevan laitospalokunnan, ydinlaitoksen henkilöstön ja alueellisen pelastustoimen pelastustoimintaa. Ydinvoimalaitosalueella tai sen välittömässä läheisyydessä on oltava laitospalokunta, jonka vahvuus on vähintään 1+3 henkilöä. Heidän tulee täyttää pelastussukellusohjeen vaatimukset. (YVL B.8. STUK, 2013.)

Teollisuuden Voima Oyj:n laitospalokunta koostuu noin 50 henkilöstä. Työvuoroja on viisi, ja ne koostuvat 1+6 henkilöstä. Työvuorojen lisäksi palokunnassa työskentelee pääsääntöisesti arkipäivisin 9 henkilöä erilaisissa johto-, asiantuntija- ja huoltotehtävissä. TVO:lla on oma hälytyskeskus ja koko alueen kattava automaattinen paloilmoitinjärjestelmä, jotka välittävät hälytykset laitospalokunnalle. Paloasema sijaitsee ydinvoimala-alueella keskeisellä paikalla, ja sieltä käsin palokunta vastaa kaikkiin TVO:n alueella tapahtuviin onnettomuuksiin. Tarvittaessa hälytetään lisääpua hätäkeskuksen kautta. Palokunta toimii Satakunnan pelastuslaitoksen sopimuspalokuntana Olkiluodon alueella sattuvissa onnettomuuksissa. (Nurmi 2018, 26.)

Laitospalokunnalla on käytössään nykyaikainen ja toimiva pelastuskalusto, joka koostuu sammutusautosta R SA 971, pelastusautosta R SA 975, miehistöautosta R SA 977, veneestä R SA 978, vahingontorjuntaperävaunusta R SA 9791 ja vaahtonesteperävaunusta R SA 9792. Ajoneuvojen lisäksi palokunnan käytössä on runsaasti muuta kalustoa, jota on sijoitettu riskiperusteisesti Olkiluodon alueelle. (Nurmi 2018, 15.)

3 YDINLAITOKSEN PALONTORJUNTAA OHJAAVA LAINSÄÄDÄNTÖ

Tässä luvussa käsitellään keskeisiä lakeja, asetuksia ja ohjeita, jotka vaikuttavat ydinlaitoksen paloturvallisuuteen ja palontorjuntaan.

3.1 Ydinenergi laki

Ydinenergi laki 990/1987 1 § säätelee ydinenergian käyttöä. Lain tarkoituksena on pitää ydinenergian käyttö yhteiskunnan kokonaisedun mukaisena ja ennen kaikkea turvallisena. Lain tarkoituksena on myös estää ydinaseiden levittäminen ja valmistaminen. Laki säätelee ydinjätehuoltoa ja ydinenergian käytön luvanvaraisuutta.

Ydinenergi lain 990/1987 toisessa luvussa (7a § - 7r §) säädetään turvallisuutta koskevia asioita. Ydinenergian käyttö on toteutettava niin turvallisesti, kuin käytännön toimilla on mahdollista. Turvallisuustoiminnot on toteutettava toisistaan riippumattomilla suojauksilla syvyysuuntaisen turvallisuusperiaatteen mukaisesti. Turvallisuuden on aina oltava etusijalla ydinlaitoksen käytössä ja rakentamisessa.

3.2 Maankäyttö- ja rakennuslaki

Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999 säätelee kaikkea Suomessa tapahtuvaa rakentamista. Lain tavoitteena on luoda edellytykset hyvälle elinympäristölle ja edistää kestävä kehitystä. Maankäyttö- ja rakennuslain nojalla tarkempaa säätelyä rakentamisesta on muun muassa maankäyttö- ja rakennusasetuksessa, jossa säädetään rakentamiseen liitty-

vistä lupakäytännöistä. Rakentamisen yksityiskohtaisesta säätelystä on ohjeistettu rakentamismääräyskokoelmassa. Rakentamismääräyskokoelman osassa E1, Rakenteellinen paloturvallisuus, ja E2, Tuotanto- ja varastorakennusten paloturvallisuus, on säädelty rakennusten palo- ja poistumisturvallisuuteen liittyvistä asioista. Olkiluoto 3:n rakentamisessa on noudatettu E1 ja E2 määräyksiä niiltä osin, kun asiasta ei ydinvoimalaan liittyen ole annettu tarkempia ohjeita. Ydinvoimalan palontorjunnasta on ohjeistettu tarkemmin Säteilyturvakeskuksen Ydinturvallisuusohjeessa B.8.

3.3 Pelastuslaki

Pelastuslain 379/2011 tavoitteena on vähentää onnettomuuksia ja parantaa ihmisten turvallisuutta. Tavoitteena on myös, että onnettomuuden uhatessa ihmiset pelastetaan ja vahinkoja rajoitetaan. Pelastuslain kolmannessa luvussa säädelään toiminnanharjoittajan sekä rakennuksen omistajan ja haltijan vastuista, joihin kuuluu muun muassa palo- ja poistumisturvallisuudesta huolehtiminen, laitteiden kunnossapito, omatoiminen varautuminen sekä pelastussuunnitelman laatiminen ja ylläpito.

Pelastuslaissa (379/2011, 48 §, 78 §.) säädelään myös pelastustoimen vastuista, jotka ydinvoimalan kohdalla eivät poikkea verrattuna muuhun suureen teollisuuskohteeseen verrattuna. Pelastuslaitos laatii ja ylläpitää Olkiluodon alueen ulkoisen pelastussuunnitelman. Pelastussuunnitelmaa ei ole laadittu erikseen yksittäiselle ydinvoimalalle, vaan kaikki Olkiluodon alueella olevat ydinvoimalat ja loppusijoituslaitos on käsitelty samassa ulkoisessa pelastussuunnitelmassa. Pelastuslaitos suorittaa myös sille pelastuslain 78 §:n perusteella kuuluvia valvontatehtäviä Olkiluodon alueella säännöllisesti.

3.4 Ydinlaitoksen palontorjunta -ohje

Säteilyturvakeskus on viranomainen, joka valvoo säteily- ja ydinturvallisuutta Suomessa. Ydinenergialain 990/1987 7 §:n mukaan Säteilyturvakeskus antaa tarkat turvallisuusvaatimukset ydinenergian käytöstä. Ydinturvallisuusohjeet (YVL-ohjeet) ovat tällaisia ohjeita. Ydinlaitoksen palontorjuntaa käsitellään ydinturvallisuusohjeessa B.8. Ohjeessa säädellään muun muassa ydinlaitoksen palontorjunnan suunnitteluperusteista, tarvittavista asiakirjoista, käytön aikaisesta paloturvallisuudesta sekä Säteilyturvakeskuksen valvontamenettelyistä. Ydinlaitoksen palontorjuntaa ja YVL B.8 -ohjeen vaatimuksia on käsitelty tarkemmin luvussa 5. (YVL B.8. 2013, 1 - 5.)

4 PALONTORJUNTA YDINVOIMALASSA

Tässä luvussa käsitellään ydinvoimalan palontorjuntaa yleisesti. Ydinvoimalan palontorjunta jaetaan useaan eri osaan, jotka yhdessä toimiessaan takaavat riittävän paloturvallisuustason ydinvoimalassa.

4.1 Syvyyspuolustusperiaate

Ydinvoimalan palontorjunta perustuu syvyyspuolustusperiaatteeseen, joka jakautuu neljälle tasolle (YVL B.8. 2013, 3.2.1):

- a. Palon syttymisen estäminen
- b. Palon nopea havaitseminen ja sammuttaminen
- c. Palon kehittymisen ja leviämisen estäminen
- d. Palon vaikutusten rajoittaminen siten, että turvallisuustoiminnot voidaan suorittaa luotettavasti.

Syvyyspuolustusperiaatteen tarkoituksena on estää tulipalon haitalliset vaikutukset ydinturvallisuudelle. Ydinvoimalan turvallisuudesta vastaa aina useampi peräkkäinen järjestelmä ja toiminto, joiden tarkoituksena on estää onnettomuuksien syntyminen ja lieventää niiden vaikutuksia eri tasoilla. (Rinta-Filppula 2016, 14.).

Palon syttymisen estämisen keinoja ovat palokuormien ja syttymislähteiden kuten tulitöiden hallinta. Esimerkiksi Olkiluodon ydinvoimalaitoksilla palokunta myöntää kaikki tulityöluvat ja tarkastaa tulityöpaikat ennen tulitöiden alkamista ja niiden päätyttyä. Myös kaikki ylimääräinen palava materiaali kuten puinen kuormalava tai kaapelikela, joka vieään ydinvoimalaan, tarvitsee palokunnalta luvan. Myös varastointi on luvanvaraista, ja esimerkiksi palavat nesteet tulee säilyttää palosuojakaapeissa. Laitteiden oikeanlainen huolto ja kunnossapito ennaltaehkäisevät palojen syttymistä.

Palon nopeaksi havaitsemiseksi ydinvoimalat on varustettu koko laitosalueen kattavalla automaattisella paloilmoitinjärjestelmällä. Paloilmoitinta ei ole kytketty hätäkeskukseen vaan ydinvoimalan omaan hälytyskeskukseen. Myös palokunnan käytössä on paloilmoitinlaitteen graafinen näyttöpäätte, jonka avulla palon paikallistamien on nopeaa. Suuret palokuormakeskittymät on suojattu kiinteillä sammutusjärjestelmillä kuten sprinklerillä tai kaasusammutusjärjestelmällä.

4.2 Paloanalyysit

Ydinvoimalan palontorjunnan toimivuuden varmistamiseksi on tehtävä erilaisia paloanalyysyjä. Paloanalyysit voidaan jakaa karkeasti kahteen osaan: deterministiset paloanalyysit ja todennäköisyyspohjainen paloriskianalyysi, palo-PRA. Tulipalon aiheuttamia vaurioita arvioidaan deterministisillä analyyseillä ja vaurioiden merkitystä ydinturvallisuudelle todennäköisyyspohjaisen paloriskianalyysin avulla. Deterministisiä paloanalyysyjä ovat esimerkiksi rakenteelliset analyysit, toiminnalliset paloanalyysit, palosimulointianalyysit, rakenteiden lämpiämistä, osastointia ja kantokykyä koskevat analyysit sekä jonkin tilan tai laitteen lämpötilan nousua koskevat analyysit. (YVL B.8. 2013, 3.3.1.)

Deterministisen paloanalyysin tarkoituksena on osoittaa, että ydinvoimalan palontorjunta on riittävää ja että ydinvoimala voidaan saattaa turvalliseen tilaan kaikissa mahdollisiksi arvioiduissa palotilanteissa. Olennaista determinististen paloanalyysien laadinnassa on tunnistaa turvallisuuden kannalta tärkeät kohteet ja arvioida tulipalon vaikutukset näihin kohteisiin. (IAEA. 1998 3.) Determinististen paloanalyysien tulokset toimivat lähtötietoina todennäköisyyspohjaiselle paloanalyysille. Suojarakennukselle, valvomolle ja automaatiojärjestelmille on laadittava omat paloanalyysit. (YVL B.8. 2013, 3.3.2.)

Todennäköisyyspohjainen paloriskianalyysi, palo-PRA, on ydinvoimalaitoksen riskianalyysin yhteyteen tehtävä paloriskianalyysi, jossa arvioidaan palotaajuutta, palon seurauksena syntyviä häiriötilanteita ja niiden seurauksia. Tulipalo ydinvoimalassa voi aiheuttaa

alkutapahtuman. Sillä tarkoitetaan tapahtumaa, joka voi johtaa odotettavissa oleviin häiriöihin tai onnettomuuksiin. Alkutapahtumat voivat muodostaa tapahtumaketjun, joka johtaa ydinpolttoaineen vaurioitumiseen. Paloriskianalyysin tarkoituksena on löytää ne tulipaloista johtuvat alkutapahtumat ja tapahtumaketjut, jotka saattavat johtaa ydinpolttoaineen vaurioitumiseen. (Rinta-Filppula 2016, 40 ja Sandberg 2004, 127.)

4.3 Rakenteellinen palontorjunta

Ydinvoimalan palontorjunta perustuu ennen kaikkea rakenteelliseen palontorjuntaan, jonka tärkein tehtävä on estää mahdollisen tulipalon leviäminen ydinvoimalassa. Rakenteellisen palontorjunnan osalta noudatetaan Rakentamismääräyskokoelman E1 ja E2 vaatimuksia, joita on YVL-ohjeissa joiltain osin kiristetty. Yksityiskohtaista sääntelyä on annettu muun muassa rakennusten paloluokitukselle ja erottelulle, turvallisuuslohkojen paloerottelulle sekä palo-osastoinnille. Suojarakennukselle, kaksoissuojarakennuksen väli-tilalle, valvomolle ja varavalvomolle sekä uloskäytävillä ja varateille annetaan tarkempia ohjeita rakenteelliseen palontorjuntaan liittyen.

Olkiluoto 3 -ydinvoimalassa turvallisuusjärjestelmät on jaettu neljään turvallisuuslohkoon. Turvallisuuslohkojen paloluokkavaatimukset ovat vähintään palomuurin tasoa seinien ja katon osalta eli vähintään EI-M 120. Myös ovien ja muiden läpivientien on täytettävä sama luokkavaatimus kuin muidenkin rakenneosien. (YVL B.8. 2013, 3.4.3.)

Palo-osastointi toteutetaan muiden kuin turvallisuuslohkojen osalta Rakentamismääräyskokoelman mukaisesti. Suuria palokuormia tai eri käyttötapoja sisältävät tilat on muodostettava omiksi palo-osastoikseen. Ydinvoimala jaetaan säteilyvalvonta-alueeseen ja säteilyvalvomattomaan alueeseen, jotka tulee aina sijoittaa eri palo-osastoihin. Rakennosien paloluokkavaatimukseen on annettu joitain tiukennuksia Rakentamismääräyskokoelmaan nähden. Paloluokkavaatimus on aina vähintään EI 60, myös ovien ja luukkujen osalta. Lävistävien rakenteiden, kuten kaapeli- tai putkiläpivientien, on aina täytettävä lävistettävän rakenneosan luokkavaatimukset. (YVL B.8. 2013, 3.4.4.)

4.4 Aktiivinen palontorjunta

Ydinlaitoksen aktiivinen palontorjunta voidaan jakaa karkeasti kolmeen osaan: automaattisiin paloilmoitusjärjestelmiin, sammutusvesi- ja sammutusjärjestelmiin sekä operatiiviseen palontorjuntaan, joka koostuu alkusammutuksesta ja palokunnan sammutus- ja pelastustoimista. Vaikka pääpaino ydinlaitoksen palontorjunnassa on passiivisessa palontorjunnassa sekä tulipalojen ennaltaehkäisyssä, on aktiiviselle palontorjunnalle oltava riittävät valmiudet.

Kaikki ydinlaitoksen rakennukset on varustettava automaattisella paloilmoitinjärjestelmällä siten, että palo voidaan havaita nopeasti ja tehokkaasti ja paikantaa vähintään huonetilan tarkkuudella. Käytännössä esimerkiksi Olkiluodossa osoitteellinen paloilmoitinjärjestelmä kattaa kaikki rakennukset. Paloilmoittimen hälytykset on aina ohjattava ydinlaitoksen palokunnalle ja laitosyksikön valvomoon. (YVL B.8. 2013, 3.5.1.)

Ydinvoimalaitos ja muut samalla paikalla olevat ydinlaitokset tulee varustaa sammutusvesisäiliöllä, sammutusvesiverkostolla ja sammutusvesipumppaamalla. Nämä järjestelmät voivat palvella yhtä tai useampaa ydinvoimalaa tai -laitosta, mikäli niiden kapasiteetti on riittävä. Sammutusveteen liittyvät järjestelmät on mitoitettava siten, että niiden kapasiteetti riittää eniten kuluttavan sammutusjärjestelmän, kuten sprinklerin, lisäksi myös palokunnan sammutustoimintaan. Sammutusjärjestelmien suunnittelussa ja mitoituksessa on huomioitava palokuorman suuruus ja laatu sekä rakenteelliset palontorjuntaratkaisut. Sammutusjärjestelmät kattavat yleensä ydinvoimalan sellaiset tilat, jotka sisältävät suuren palokuorman tai ovat muutoin hankala sammuttaa. Sammutusveden poistolle on oltava mahdollisuus vähintään sellaisista tiloista, joihin on asennettu kiinteä sammutusjärjestelmä. (YVL B.8. 2013, 3.5.2.)

Ydinlaitoksen alueella tai välittömässä läheisyydessä tulee olla laitospalokunta. Laitospalokunnan jatkuva vahvuus tulee aina olla vähintään 1+3 päätoimista palontorjuntaan osallistuvaa henkilöä. Palokunnan tulee olla jatkuvassa viiden minuutin lähtövalmiudessa. Laitospalokunta yhdessä laitoshenkilöstön ja lähialueen palokuntien kanssa muodostaa operatiivisen palontorjuntavalmiuden, johon kuuluu edellä mainitun henkilöstön lisäksi riittävä palontorjuntakalusto. (YVL B.8. 2013, 3.5.3.)

Ydinlaitokset ovat pelastuslain 48 §:n mukaisia, erityistä vaaraa aiheuttavia kohteita, joihin pelastuslaitoksen tulee laatia ulkoinen pelastussuunnitelma. Pelastussuunnitelman toteutumista tulee myös harjoitella säännöllisesti. Kaikissa onnettomuuksissa pelastustoimintaa johtaa pelastusviranomainen. (YVL B.8. 2013, 394.)

5 TULIPALOT PUTKI- JA KAAPELITUNNELEISSA

Olkiluoto 3 -ydinvoimalan putki- ja kaapelitunnelit sisältävät sähköntuotantoprosessiin ja turvajärjestelmiin liittyviä komponentteja. Tunneleiden avulla yhdistetään ydinvoimalan eri osissa sijaitsevia järjestelmiä keskenään toimivaksi ydinvoimalaksi. Tässä luvussa käsitellään tulipalon vaikutusta putki- ja kaapelitunneleihin ja sen seurauksena mahdollisesti tehtäviä toimenpiteitä.

5.1 Tunneleiden rakenteellinen palontorjunta

Olkiluoto 3 -ydinvoimalan putki- ja kaapelitunneleihin on sijoitettu turvallisuusjärjestelmien komponentteja, ja näin ollen osa tunneleista kuuluu johonkin turvallisuuslohkoon. Tämä asettaa vaatimuksia tunneleiden palo-osastoinnille. Kaikki putki- ja kaapelitunnelit, jotka sisältävät ainoastaan sähköntuotantoprosessiin liittyviä järjestelmiä, on eroteltu myös omiksi palo-osastoikseen. (Areva NP ym. 2005, 2.1.1.)

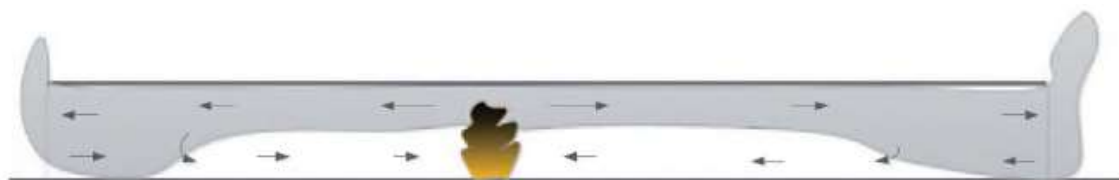
Turvallisuuslohkoihin kuuluvat tunnelit on palo-osastoitu luokkaan EI-120-M. Myös niiden kantavat rakenteet ovat järeät, paloluokkaa R-120. Myös ovet ja seinien putki- ja kaapeliläpiviennit täyttävät samat vaatimukset. Tunnelit, jotka eivät kuulu turvallisuuslohkoihin, on osastoitu myös luokkaan EI-120 ja näitä läpäisevät rakenteet luokkaan EI-60. (Areva NP ym. 2005, 2.1.2.)

Kaikkien tunneleiden ilmanvaihto on toteutettu siten, että tuloilma ohjataan tunneliin jostain toisesta rakennuksesta. Poistoilma ohjataan ulos tunneleista poistoilmapuhaltimella tai painovoimaisesti. Palohälytyksen sattuessa paloilmoin ohjaa tunnelin tuloilman kiinni, mutta poistoilmapuhaltimet jäävät käyntiin. (Toivo 2018, 5.4)

5.2 Tunnelipalon ominaispiirteitä

Tunnelipalot ovat merkittävästi erilaisia verrattuna avoimessa ulkoilmassa tapahtuviin paloihin. Merkittäviä eroja tunnelipalojen ja avoimien ulkopalojen välillä ovat lämmön takaisinheijastuminen tunnelin rakenteista sekä mahdollisen ilmanvaihdon vaikutukset. Takaisinheijastumiseen vaikuttavat liekkikoko, tunnelin sisäpinnan rakenteet, tunnelin poikkileikkausprofiili sekä tunnelin ilmanvaihto. Olkiluoto 3:n kohdalla ilmanvaihdon vaikutukset tulee huomioida, sillä yhtä tunnelia lukuun ottamatta jokaisessa tunnelissa on koneellinen ilmanvaihto. Merkittävin tunnelipalon voimakkuuteen vaikuttava tekijä on tunnelin korkeus, sillä matalissa tunneleissa palon leviäminen eri palokuormien välillä on todennäköisempää kuin korkeissa tunneleissa. Tunnelipalot muodostuvat tyypillisesti happirajoitteisiksi tai polttoainerajoitteisiksi. (Ingason ym. 2015, 2 - 7.)

Tunnelissa muodostuva tulipalo kehittää ympärilleen erilaisia ilmavirran pyörteitä, jotka levittävät lämmintä ilmaa tunnelissa. Mikäli tunnelissa ei ole riittävän tehokasta ilmanvaihtoa, joka ohjaisi savukaasuja tiettyyn suuntaan, savukaasut leviävät palon aiheuttaman ilmavirran mukana. Levitessään pitkän matkan savukaasut jäähtyvät ja jäähtyessään laskeutuvat katonrajasta alaspäin. Savun kerrostumista havainnollistetaan kuvassa 3. Tämä saattaa hankaloittaa tunnelista poistumista merkittävästi. Myös palon havainnointi tunnelin oviaukolta hankaloituu, ilmiöt eivät ole samanlaisia kuten tavallisesti esimerkiksi huoneistopalossa. Tämä hankaloittaa merkittävästi pelastushenkilöstön päätöksentekoa pelastustoimintaan liittyen. (Ingason ym. 2015, 3.)



Kuva 3: Savun kerrostuminen vaakatunnelissa pienellä tai olemattomalla ilmanvaihdolla (Ingason ym. 2015, 6).

Ingason ja Lönnermark käsittelevät teoksessaan *Tunnel Fire Dynamics* ennen kaikkea maantietunneleiden paloja. Olkiluoto 3:n putki- ja kaapelitunnelit eroavat kuitenkin melko paljon päästään avoimista maantietunneleista. Tämän vuoksi tulipalot Olkiluoto

3:n tunneleissa ovat tyypillisemmin happirajoitteisia, kun taas maantietunnelit ovat tyypillisesti polttoainerajoitteisia. Happirajoitteisuutta tukevat myös Olkiluoto 3:n tunneleista laaditut palosimuloinnit, joissa on muun muassa laskettu eri tehoisten palojen paloaikaa. Tunnelit on varustettu automaattisella paloilmajärjestelmällä, joka ohjaa ilmanvaihdon tuloilman kiinni tulipalon havaittuaan. Poistoilmapuhaltimet jäävät käyntiin, mutta palopellit sulkeutuvat, mikäli lämpötila nousee liian korkeaksi. (Areva NP, Siemens AG 2007, 2.4.)

5.3 Paloriskit

Kaapelit ovat olleet merkittävässä roolissa monissa suurpaloissa, sillä ne muodostavat usein ison palokuormakeskittymän ja reitin, jota pitkin palo pääsee leviämään. Kaapelipalot leviävät suuriksi usein siksi, että niitä on niiden sijainnin vuoksi vaikea sammuttaa tai palo havaitaan liian myöhään. Kaapelipalojen ennaltaehkäisyssä olennaisia seikkoja ovat hyvä suunnittelu rakentamisvaiheessa, oikein tehdyt asennukset, säännöllinen kunnossapito sekä ulkoisten syttymislähteiden ja palokuorman hallinta. (Sähkötieto ry. 2016, 20 - 22, 135 - 136.)

Olkiluoto 3:lla käytetyt kaapelit ovat tyypiltään FRNC-kaapeleita (Flame Retardant Non Corrosive-cables), jotka täyttävät standardit IEC 60332-3-23 (Category B), IEC 60754-2 ja IEC 61034-2. Kaapelit eivät ole palamattomia vaan paloa jatkamattomia. Kaapelit siis palavat, mutta sammuvat, kun syttymislähde poistetaan. Tulipalojen vaikutusta muun muassa palo-osastoinnin riittävyteen ja palon leviämiseen ja sitä kautta ydinturvallisuuteen on arvioitu simulointien avulla. (Framatome ANP, Siemens AG 2005, 8.)

VTT on tutkinut Olkiluoto 3:lla käytössä olevien kaapeleiden palamista erilaisilla polttokokeilla, muun muassa 2-m kokeella, jossa kaapelin syttymistä ja palorintaman nopeutta tutkitaan kohonneen ympäristölämpötilan funktiona. Olkiluoto 3:n kaapelitilojen palamista on simuloitu Fire Dynamic Simulator (FDS)-ohjelmalla. Simulointien ja polttoko-

keiden seurauksena palo-osastointi on todettu riittäväksi. Palon leviämisen mahdollistavien olosuhteiden syntyminen suurin vaara on lähellä katonrajaa olevissa kaapelihyllyissä. Tällöin alkupalon on oltava huomattavan iso. FRNC-kaapelin ominaisuuksia olivat esimerkiksi hidas liekkirintaman leviämisenopeus ja pitkä syttymisaika esikuumenuksesta huolimatta. (Säteilyturvakeskus, 2014.)

Olkiluoto 3:n putki- ja kaapelitunneleissa on hyvin vähän syttymislähteitä, todellisuudessa ainoastaan silloin, kun tunneleissa suoritetaan erilaisia kunnossapito- tai muutostöitä. Kaikki ydinlaitoksella tehtävät työt vaativat työluvan. Myös kaikki palovaaralliset työt, kuten tulityöt, ovat luvanvaraisia. Mikäli työkohteella syntyy varaosien tai työvälineiden varastointitarpeita, varastoinnille tulee hakea erikseen lupa laitospalokunnalta. Varastointipaikan palokuormamäärää voidaan rajoittaa tai kieltää kokonaan varastointipaikan sijainnin mukaan. Olkiluoto 3:n putki- ja kaapelitunnelit ovat erityiskohteita, joissa palavan materiaalin varastointia tullaan rajoittamaan. (Katavisto 2016, 13 - 14.)

5.4 Selvitysmallit

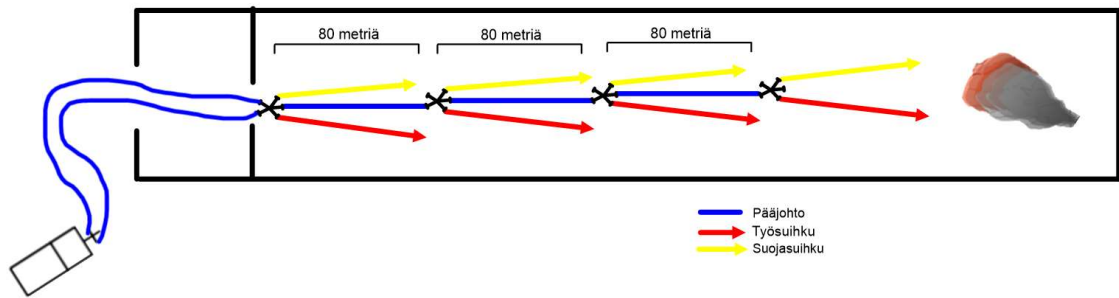
Yleisin palokunnan käyttämä sammutusaine rakennuspaloissa on vesi. Veden sammutusvaikutuksia ovat jäähdytys ja tukahdutus. Yksi kilo vettä sitoo itseensä 2,6 MJ energiaa, mikä jäähdyttää tehokkaasti paloa. Vesi estää myös lämmön siirtymistä liekistä syttyviin pintoihin, mikä vähentää palon leviämistä. Vesi tukahduttaa paloa myös tehokkaasti, yhdestä höyrystyvistä 100°C lämpöisestä vesikilosta syntyy 1700 litraa vesihöyryä. Vesihöyry syrjäyttää tilavuutensa verran happea ja savua. (Hyttinen ym. 2010, 97.)

Sammutukseen tarvittavan veden määrään vaikuttavat useat eri seikat kuten palon koko, käytetty sammutustaktiikka, aukkotekijän koko, palava materiaali sekä se, onko paloa tarvetta rajoittaa vedellä vai riittääkö pelkkä sammutus. Leviämisen estämiseen tarvitaan tyypillisesti 25% palon sammuttamiseen tarvittavasta vesivirrasta. Palokunnan ei aina tarvitse rajoittaa paloa, vaan paloa voidaan rajoittaa myös erilaisten rakenteellisten ratkai-

sujen kuten palo-osastoinnin avulla. Esimerkiksi Olkiluoto 3:n putki- ja kaapelitunneleiden kohdalla palo-osastointi on hyvin järeää, ja sen voidaan oikein toimiessaan olettaa estävän paloa leviämästä. Pelkästään palo-osastointiin ei kuitenkaan tule luottaa, vaan viereiset tilat tulee palokunnan aina varmistaa. (Hyttinen ym. 2010, 200 - 207.)

Yleisin sammutuskytkentä on perusselvitys, jossa pumpulta selvitetään kaksi rinnakkaista letkujohtoa vuorosyöttöjakoliittimelle. Vuorosyöttöjakoliittimeltä selvitetään työjohto sammutusparille ja suojarparille. Näin voidaan varmistaa veden saanti myös letkun rikkoutuessa, mikä lisää merkittävästi sammutusparin työturvallisuutta. (Hyttinen ym. 2010, 227.) Perusselvitys soveltuu sammutuskytkennäksi suurimpaan osaan Olkiluoto 3:n putki- ja kaapelitunneleita muutamia pisimpiä lukuun ottamatta. Perusselvityksen soveltumattomuuteen vaikuttaa ennen kaikkea pisimpien tunneleiden pituus sekä ahdas hyökäysreitti, joka estää sujuvan työvaran selvittämisen savusukellukseen lähdeettäessä.

Tukholman pelastuslaitos käyttää metrotunneleissa tapahtuvissa paloissa selvitysmallia, jossa selvitetään savurajalle ensin normaalisti varmennettu pääjohto, jakoliitin, työsuihku ja suojarparin suihku samalla tavalla kuin perusselvityksessä. Tämän jälkeen selvitetään kuivaa pääjohtoa ja edetään samalla paineistetun työjohdon kanssa rinnalla. Työsuihkun, suojasuihkun ja selvitettävän kuivan pääjohdon sopiva mitta on 80 metriä eli neljä letkunmittaa. Kuivana selvitetyn pääjohdon päähän liitetään jakoliitin. Pääjohto paineistetaan ja jakoliittimeltä selvitetään neljän letkunmitan (noin 80 metriä) mittainen työsuihku ja saman pituinen suojasuihku. Tämän jälkeen selvitetään jälleen neljä letkunmittaa kuivaa pääjohtoa ja siihen liitetään jakoliitin. Tämä toistetaan niin useasti, että päästään riittävän lähelle palokohdetta, jotta sammuttaminen voidaan suorittaa. Tämä selvitysmalli on normaali toimintamalli metrotunnelipaloissa Tukholman pelastuslaitoksella eli niin sanottu Standard Operation Procedures (SOP). (Ahokas 2013, 27).



Kuva 4: SOP-selvitysmalli pitkille selvitysmatkoille.

Laitospalokunta testasi kuvassa 4 esitettyä selvitysmallia Olkiluoto 3:n pisimmässä kaapelitunnelissa. Kokeilussa havaittiin sekä haasteita että positiivisia ja toimivia asioita. Eteneminen kyseisen selvitysmallin kanssa on hidasta, sillä selvitystä on pakko rakentaa toiminnan edetessä. Lisäksi selvitysmalli on erilainen, kuin mihin on totuttu ja vaatii siten harjoittelua helpommissa olosuhteissa. Selvitysmalli vaatii myös runsaasti resursseja, minkä vuoksi sen toteuttaminen on haastavaa. Riippuen selvitysmatkan pituudesta, joka voi olla useamman sadan metrin mittainen, tulee käyttää tuplapulloilla varustettua paineilmahengityslaitetta.

Selvitysmallin hyvinä puolina on sen soveltuvuus pitkille selvitysmatkoille, joissa perusselvityksen tekeminen olisi hankalaa. Letkukitka saadaan myös olennaisesti pienemmäksi. Esimerkiksi pisimmässä tunnelissa selvitysmatka saattaa olla enimmillään noin 340 metriä. Seuraavassa lasketaan, kuinka suuri letkukitka muodostuu, kun käytetään tavallista perusselvitystä tai SOP-selvitysmallia:

Letkukitka lasketaan kaavalla:

$$p_k = \frac{l}{100} * k * V^2 \quad \text{jossa}$$

p_k = letkukitka

l = letkujohdon pituus (m)

V = letkujohdon vesivirta (l/s)

k = kitkakerroin, joka saadaan taulukosta 1 (Hyttinen ym. 2010, 200-207.)

Taulukko 1: Uusien paloletkujen kitkakerroin (Hyttinen ym. 2010, 200-207.)

Letkun sisäläpimitta (mm)	Paloletkun kitkakerroin
150	0,014
110	0,07
76	0,5
63	1,4
51	4,3
42	10
39	17
25	170

Kun tarkastellaan perusselvitystä, tulee letkukitkan suuruuden selvittämiseksi laskea pääjohdon kitkan ja työjohdon kitkan summa. Sen lisäksi tulee huomioida myös hydrostaattisen paineen vaikutusta, jota ei huomioida tässä esimerkissä. Käytetään seuraavissa esimerkeissä vesivirran suuruutta, joka on 5 l/s, ja suihkupainetta, joka on 6 bar.

Tyypillisesti rakennuspaloja sammutettaessa perusselvityksen tekemiseen käytetään yhden letkunmitan verran eli 20 metriä pääjohtoa ja loput työjohtoa. Näin ollen 340 metrin matkalla tarvitaan vähintään 20 metriä pääjohtoa ja 320 metriä työjohtoa. Saadaan pääjohdon letkukitka $p_k = \frac{20}{100} * 0,5 * 5^2$, joka on 2,5 kPa ja työjohdon kitka $p_k = \frac{320}{100} * 10 * 5^2$, joka on 800 kPa. Letkukitkan suuruus on yhteensä 802,5 kPa eli noin 8 bar.

Kun käytetään SOP-selvitysmallia ja selvitetään 300 metriä pääjohtoa ja 40 metriä työjohtoa, saadaan pääjohdon kitka $p_k = \frac{300}{100} * 0,5 * 5^2$, joka on 37,5 kPa ja työjohdon kitka $p_k = \frac{40}{100} * 10 * 5^2$, joka on 100 kPa. Letkukitka on näin olleen yhteensä 137,5 kPa eli noin 1,4 bar.

5.5 Savunpoisto

Tärkeä osa sammutustoimintaa kaapelitunnelin palossa on savunpoisto. Koska Olkiluoto 3 ydinvoimalan putki- ja kaapelitunneleissa ei ole kiinteitä savunpoistojärjestelmiä, poistaa savun palokunta. Tunnelien rakenne on kuitenkin sellainen, että jokaisesta tunnelista pystyy järkevästi toteuttamaan savutuuletuksen palokunnan käytössä olevalla kalustolla. Savunpoisto ja sen vaikutukset on huomioitu myös tunneleista laadituissa palosimuloinneissa. (Areva NP, Siemens AG, 2005, 4.3.)

Putki- ja kaapelitunneleiden ilmanvaihtoa ohjataan paloilmoitinjärjestelmällä siten, että tuloilmapellit suljetaan palohälytyksen seurauksena, mutta poistoilmapuhallin jää päälle ja poistoilmapellit auki. Lämpösulakkeella varustetut poistoilmapellit sulkeutuvat lämpötilan noustessa liian korkeaksi. Viileitä savukaasuja voidaan siis poistaa myös normaalilla ilmanvaihdolla, vaikkei tunneleissa varsinaista savunpoistojärjestelmää olekaan. (Areva NP, Siemens AG, 2005, 4.3.) Poistoilmapuhaltimet voidaan myös tarvittaessa sammuttaa erikseen paikallisesti.

Pitkissä tunneleissa tapahtuu tulipalon lämmön ja ilmanvaihdon toiminnan seurauksena palokaasujen kerrostumista ja kulkeutumista pitkienkin matkojen päähän. Tämä palokaasujen takaisinvirtaus saattaa riittävän voimakkaan palon kanssa johtaa olosuhteisiin, joissa lieskahdus ja yleissyttyminen ovat mahdollisia. Näiden välttämiseksi savutuuletus on aloitettava samaan aikaan sammutustoiminnan kanssa eli on käytettävä niin sanottua palotuuletusta tai hyökkäävää ylipainetuuletusta. Takaisinvirtauksen estämiseksi tulisi savutuulettimilla saatavan ilmavirran nopeuden olla 3 - 3,5 m/s. (Ingason ym. 2015, 3).

6 POHDINTA

Tässä luvussa tarkastellaan opinnäytetyön tuloksia sekä prosessia, jolla tuloksiin päästiin. Pohdin myös erilaisia mahdollisia jatkotutkimusaiheita sekä mahdollisuuksia toiminnan kehittämiseen.

6.1 Opinnäytetyön tulokset

Opinnäytetyösuunnitelmassa asetin tavoitteen tuottaa ohjeen TVO:n laitospalokunnalle sammutus- ja pelastustoiminnasta Olkiluoto 3 -ydinvoimalan putki- ja kaapelitunneleissa sekä ohjeeseen perustuen laatia kohdekortit putki- ja kaapelitunneleista. Tavoitteet saavutettiin ohjeen ja kohdekorttien tullessa julkaistuksi TVO:n dokumenttienhallintajärjestelmässä loppuvuodesta 2018. Opinnäytetyöprosessin pohjalta muotoutui kolme kehityskohtaa.

Osa ohjeen käyttöönottoa on kohdekorttien ja SOP-selvitysmallin harjoittelu laitospalokunnan harjoituksissa. Selvitysmallia testattiin laitospalokunnan kanssa tätä opinnäytetyötä varten. SOP-selvitysmalli todettiin hyväksi vaihtoehdoksi myös muihin kohteisiin Olkiluodon alueella, esimerkiksi Posivan rakentamaan käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitokseen.

Toinen ohjeen huomio liittyy savutuuletuskaluston kehittämiseen. Hyökkäävä ylipainetuuletus vaatii riittävästi tehokasta savutuuletuskalustoa, joka on sijoitettu oikein. Tämän opinnäytetyön tuloksiin ja kokemuksiin perustuen TVO:n laitospalokunta selvittää erilaisten savutuulettimien soveltuvuutta Olkiluoto 3:n putki- ja kaapelitunneleihin.

Kolmas huomio, joka liittyy vahvasti SOP-selvitysmalliin, on kaluston hankkiminen valmiiksi pisimpiin putki- ja kaapelitunneleihin. SOP-selvitysmallia harjoiteltaessa havaittiin, että aloitettaessa sammutushyökkäystä SOP-selvitysmallilla kuluu paljon aikaa ka-

luston siirtelyyn paloautosta palo-osaston rajalle. Tästä opinnäytetyöstä saadun tiedon perusteella on hankittu letkukalustoa ja se tullaan sijoittamaan pisimpiin tunneleihin. Vaihtoehtona voisi olla myös kuivalinjan rakentaminen tunneliin, jolloin palokunta voisi paineistaa kuivalinjan ja hyödyntää muutoin SOP-selvitysmallin tekniikkaa. Kuivalinja vaihtoehtona tuskin toteutuu, sillä pienet paloriskit yhdessä suurehkon hankinta- ja asennushinnan kanssa eivät merkittävästi paranna paloturvallisuutta.

6.2 Oma oppiminen ja jatkosuunnitelmat

Olen tätä opinnäytetyötä laatiessani tutustunut laajasti erilaisiin ydinlaitoksen palontorjuntaratkaisuihin sekä lainsäädäntöön ja ohjeisiin. Opintojeni aikana olen työskennellyt molemmat kesät TVO:n laitospalokunnassa Olkiluoto 3 -projektin parissa. Olen työskennellessäni tutustunut moniin ydinlaitoksen palontorjuntaan vaikuttaviin menetelmiin käytännössä, mutta vasta opinnäytetyötä laatiessani olen kunnolla perehtynyt toimintaa ohjaavaan lainsäädäntöön ja ohjeisiin. Tätä opinnäytetyötä laatiessani olen saanut tutustua myös laajasti erilaisiin ydinvoimalan sähköntuotantoprosessiin sekä turvallisuusjärjestelmiin.

Tämän opinnäytetyön pohjalta on mahdollisuus useisiin erilaisiin jatkotutkimuksiin, tässä esitettyjä ratkaisuja ei ole luotu vain tätä opinnäytetyötä varten, vaan ne on tarkoitus ottaa käyttöön jokapäiväisessä toiminnassa. Tavoitteena on harjoitella tämän opinnäytetyön liitteenä olevan ohjeen ja kohdekorrttien mukaista toimintaa ja edelleen kehittää olemassa olevia ohjeita ja toimintatapoja. Hyödyllistä olisi esimerkiksi testata Satakunnan Pelastuslaitoksen savutuuletinta haastavissa tunneliolosuhteissa.

LÄHTEET

Ahokas, N. 2013 *Länsimetron rakenteellinen paloturvallisuus ja vesikalusto-selvitys pelastusryhmällä*. Opinnäytetyö. Pelastusopisto. Kuopio.

Areva NP, Siemens AG. 2005 *Fire Hazard Analysis "Cable and Pipe Ducts"*.

Areva NP, Siemens AG. 2007 *Fire Hazard Analysis -Validation of the Fire resistance rating of Tunnels*.

Framatome ANP, Siemens AG. 2005 *Simulation of Fire in representative Tunnel's of OL3*.

Hyttinen, V., Tolonen P., Väisänen T. 2010. *Palofysiikka*. 4. painos. SPEK. Helsinki.

Ingason, H., Kumm, M., Nilsson, D., Lönnemark, A., Claesson, A., Li, Y. Z., Fridolf, K., Åkerstedt, R., Nyman, H., Dittmer, T., Forsen, R., Janzon, B., Meyer, G., Bryntse, A., Carlberg, T., Newlove-Eriksson, L., Palm, A. 2012. *The Metro Project - Final Report*. Mälardalen University Sweden.

Ingason, H., Li, Y.Z., Lönnemark, A. 2015. *Tunnel Fire Dynamics*.

International Atomic Energy Agency. 1998. *Preparation of fire hazard analysis for nuclear power plants*. IAEA. Wien.

Katavisto, V. 2016. *Varastointi ydinvoimalaitoksilla*. Teollisuuden Voima Oyj. Eurajoki

Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999.

Nurmi, E. 2018. *TVO:n laitospalokunnan toimintaohje*. Teollisuuden Voima OYJ. Eurajoki.

Pelastuslaki 379/2011.

Posiva Oy a. Www-dokumentti. Posiva. <http://www.posiva.fi/posiva#.W5KLoWYUlaQ>. 7.9.2018.

Posiva Oy b. Www-dokumentti. Posiva. Posiva Oy a. Www-dokumentti. Loppusijoitus. <http://www.posiva.fi/posiva#.W5KLoWYUlaQ>. 7.9.2018.

Rinta-Filppula, S. 2016. *Ydinvoimalaitoksen palontorjunnan syvyyspuolustusperiaatteen arviointi*. Energia- ja LVI-tekniikan koulutusohjelman diplomityö. Aalto-yliopisto. Espoo.

Sandberg, J. 2004. *Ydinturvallisuus*. Säteilyturvakeskus. Helsinki

Savola, R. 2010. *Savutuuletus pelastustyössä*. Pelastusopisto. Kuopio

Sisäasiainministeriö. 2007. *Pelastussukellusohje*.

Sähkötieto ry. 2016. *Kaapelit ja paloturvallisuus*. ST-käsikirja 39. Helsinki.

Säteilyturvakeskus. 2013. YVL- ohje B.8. Ydinlaitoksen palotorjunta. Helsinki.

Säteilyturvakeskus. 2014. *Olkiluoto 3 – kaapelityypit ja kaapelitilojen palokuormat*, Esittelymuistio.

Toivo, J. 2018. *Sammutus- ja pelastustoiminta Olkiluoto 3-ydinvoimalan putki- ja kaapelitunneleissa*. Teollisuuden Voima Oyj. Eurajoki.

TVO Oyj a. Www-dokumentti. TVO yhtiönä. <https://www.tvo.fi/yhtio>. 7.9.2018.

TVO Oyj b. Www-dokumentti. OL 1 ja OL 2. <https://www.tvo.fi/ol1ol2>. 7.9.2018.

TVO Oyj c. Www-dokumentti. Olkiluoto 3. <https://www.tvo.fi/Ol3>. 7.9.2018.

TVO Oyj d. 2016. *Olkiluoto 3 ydinvoimalaitoksen käyttöluupahakemus*.

Ydinenergialaki 990/1987.

LIITTEET

Toivo, J. *Sammutus- ja pelastustoiminta Olkiluoto 3 -ydinvoimalan putki- ja kaapelitunneleissa*. Toimintaohje, Teollisuuden Voima Oyj. 2018.

Toivo, J. *Sammutus- ja pelastustoiminta Olkiluoto 3 -ydinvoimalan putki- ja kaapelitunneleissa*. Kohdekortit, Teollisuuden Voima Oyj. 2018.

Liitteet on tarkoitettu vain Teollisuuden Voima Oyj:n sisäiseen käyttöön, eivätkä ne siksi ole julkisia.

Esimerkki kohdekortin rakenteesta.

Putki- ja kaapelitunnelin nimi	
Pohjakuva tunnelista sekä tunnelin pituus	
Erityisvaarat	
Esimerkiksi suuret jännitteet tai kaasulinjat	
Hyökkäysreitit	
Ensisijainen	Toissijainen
Tiedot ensisijaisesta hyökkäysreitistä sekä lisävedestä ja tarvittavn letkukaluston määrästä	Tiedot toissijaisesta hyökkäysreitistä sekä lisävedestä ja tarvittavn letkukaluston määrästä
Ilmastoinnin pysäytys	
Tiedot ilmanvaihdon pysäyttämistä varten.	
Savutuuletus	
Tiedot savutuuletuksen toteuttamista varten.	

