

**PELASTUSLAITOKSEN VARAUTUMINEN SÄHKÖAUTOPALLOIHIN
MAANALAISSA PYSÄKÖINTILAITOKSISSA**



Ylemmän ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Visamäki, Teknologiaosaamisen johtaminen YAMK

Syksy 2020

Joonatan Suosalo

Teknologiaosaamisen johtaminen
Visamäki

Tekijä	Joonatan Suosalo	Vuosi 2020
Työn nimi	Pelastuslaitoksen varautuminen sähköautopaloihin maanalaisissa pysäköintilaitoksissa	
Työn ohjaaja	Mika Vartiainen	

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tutkia pelastuslaitoksen varautumista sähköautopaloihin maanalaisissa pysäköintilaitoksissa. Työssä nostetaan esille keskeiset sammutus- ja pelastustoiminnassa huomioitavat seikat sähköautopaloista, jotka tapahtuvat maanalaisissa pysäköintilaitoksissa. Lisäksi opinnäytetyössä käsitellään sähköautojen latauspisteiden sijoittamista maanalaiseen pysäköintilaitokseen paloturvallisuuden näkökulmasta.

Opinnäytetyön teoreettinen viitekehys perustuu pääosin ulkomaisiin tutkimusraportteihin ja työssä on kartoitettu kyselytutkimuksen avulla Euroopan eri kaupunkien pelastuslaitosten kokemuksia ja toimintamalleja koskien sähköautopaloja. Teoreettisen viitekehysten ja kyselytutkimuksen pohjalta on laadittu ohje sammutus- ja pelastustoiminnan johtamisesta sähköautopaloissa maanalaisissa pysäköintilaitoksissa sekä paloturvallisuusohje sähköautojen latauspisteiden sijoittamisesta maanalaisiin pysäköintilaitoksiin.

Sähköautopalot, erityisesti maanalaisessa toimintaympäristössä, aiheuttavat poikkeuksellisia haasteita pelastuslaitoksille. Keskeiset haasteet aiheutuvat litiumioniakkujen uudelleensyttymisriskistä ja tulipalojen aiheuttamista kemiallisista altisteista. Tuloksissa nousee esille soveltuvien paloturvallisuusohjeiden puute valtakunnallisesti. Tämä aiheuttaa sen, että eri pelastuslaitokset käsittelevät latauspisteiden sijoittamista eri vaatimuksilla. Työssä nostetaan esille myös keskeisiä aihealueeseen liittyviä kehittämis-kohteita ja jatkotutkimusaiheita, jotka liittyvät mm. kaluston ja koulutuksen kehittämiseen.

Avainsanat akkupalo, maanalainen pysäköintilaitos, pelastuslaitos, sähköauto

Sivut 82 sivua, joista liitteitä 13 sivua

Master's Degree in Technology Competence Management
Visamäki

Author	Joonatan Suosalo	Year 2020
Subject	Preparedness of rescue department for electric vehicle fires in underground parking facilities	
Supervisor	Mika Vartiainen	

ABSTRACT

The goal of this thesis project was to examine the preparedness of rescue department for electric vehicle fire incidents in underground parking facilities. The key points of emergency operations and firefighting in case of electric vehicle fires in an underground parking facility are presented here. In addition, the placement of electric vehicle charging stations in underground parking facilities is addressed in terms of fire safety.

The theoretical framework of this work was based on foreign research reports, while a questionnaire study was used to assess the experiences and practices of rescue departments of different European cities with electric vehicle fires. Based on this information, instructions were written in this project on supervising emergency operations and firefighting on the electric vehicle fire incidents inside underground parking facilities and placement of underground charging stations.

Electric vehicle fires, especially in an underground environment, cause exceptional challenges for rescue departments. The essential risks with these fires are the re-ignition of lithium-ion batteries and chemical exposures. The results of this work indicate a nationwide lack of applicable fire safety instructions for this type of incidents. This has caused rescue departments to regulate the placement of the charging stations with differing prerequisites. Further areas of development and research as to the equipment as well as in training are also discussed in this paper.

Keywords Battery fire, Electric vehicle, Rescue Department, Underground parking facility

Pages 82 pages including appendices 13 pages

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	SÄHKÖAUTOT JA LATAUSPISTEET.....	4
2.1	Sähköautot Suomessa.....	4
2.2	Sähköautojen litiumioniakustot.....	5
2.2.1	Täyssähköautot.....	7
2.2.2	Hybridiautot.....	7
2.3	Latauspisteet.....	8
2.3.1	Säädökset.....	8
2.3.2	Eri lataustavat.....	9
2.3.3	Latauspisteiden turvallisuus.....	10
3	SÄHKÖAUTOJEN LITIUMIONIAKKUPALOT.....	11
3.1	Terminen karkaaminen.....	13
3.2	Tulipalojen syyt.....	15
3.2.1	Akkukennon sisäinen oikosulku.....	16
3.2.2	Akkukennon ulkoinen oikosulku.....	16
3.2.3	Mekaaninen vaurioituminen.....	16
3.2.4	Lataus.....	17
3.2.5	Akun purkautuminen.....	17
3.2.6	Altistuminen korkeille lämpötiloille.....	18
3.3	Paloteho.....	18
3.4	Kemialliset altisteet.....	20
4	SAMMUTUS- JA PELASTUSTOIMINTA SÄHKÖAUTOPALOISSA MAANALAISSISSA PYSÄKÖINTILAITOKSISSA.....	22
4.1	Pelastustoiminnan johtaminen sähköautopaloissa maanalaisissa pysäköintilaitoksissa.....	23
4.1.1	Resurssit.....	26
4.1.2	Yhteistoiminta muiden toimijoiden kanssa.....	27
4.2	Sähköautopalon sammuttaminen maanalaisissa pysäköintilaitoksissa.....	28
4.2.1	Tunnistaminen.....	29
4.2.2	Sammuttaminen.....	30
4.2.3	Palaneen sähköauton hinaus.....	32
4.3	Työturvallisuus.....	34
4.3.1	Altistuminen.....	35
4.3.2	Suojautuminen.....	35
4.4	Maanalaiset pysäköintilaitokset.....	36
4.4.1	Palotekniset vaatimukset maanalaisissa pysäköintilaitoksissa.....	37
4.4.2	Tulipalojen erityispiirteet maanalaisessa pysäköintilaitoksessa.....	39
5	TUTKIMUKSEN TOTEUTUS.....	41
5.1	Tutkimusmenetelmä.....	41
5.2	Kohderyhmän ja tutkimusaineiston kuvaus.....	42
5.3	Tutkimuksen suorittaminen.....	43
5.4	Tutkimustulosten analysointi.....	44

5.5	Luotettavuuden arviointi.....	45
6	EUROOOPAN ERI PELASTUSLAITOSTEN VARAUTUMINEN SÄHKÖAUTOPALOIHIN...	47
6.1	Yleisiä havaintoja	47
6.2	Kyselyn vastaukset	47
6.3	Kyselytulosten analysointi	51
7	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA	53
7.1	Tulokset suhteessa tutkimustietoon.....	54
7.2	Kehittämiskohteet.....	55
7.3	Jatkotutkimusaiheet.....	57
7.4	Johtopäätökset	59
7.5	Pohdinta	61
	LÄHTEET.....	63

LIITTEET

Liite 1	Kyselylomake
Liite 2	Ohje sähköautopalosta maanalaisessa pysäköintilaitoksessa
Liite 3	Muistilista pelastustoiminnan johtajalle sähköautopaloihin maanalaisissa pysäköintilaitoksissa
Liite 4	Paloturvallisuusohje sähköautojen latauspisteiden sijoittamisesta maanalaiseen pysäköintilaitokseen

1 JOHDANTO

Sähköautojen määrä sekä niiden latausinfra kasvavat Suomessa kovaa vauhtia. Autokannan ollessa suhteellisen uutta, ovat sähköautoille tapahtuneet tulipalot kuitenkin vielä hyvin harvinaisia. Maailmalla tapahtuneiden tulipalojen perusteella voidaan kuitenkin todeta, että sähköautojen palot ovat pelastustoimelle hyvin haastavia ja pitkäkestoisia tilanteita.

Keväällä 2019 Lahdessa paloi autoliikkeen pihassa sähköauto. Autoa sammutettiin perinteisin menetelmin vedellä. Palon sammumisen jälkeen ajoneuvo syttyi kuitenkin vielä kaksi kertaa uudestaan. Uudelleen syttymisen aiheutti se, että tulipalo oli päässyt auton litiumioniakustoon, joka puolestaan aiheutti termisen karkaamisen akustossa. Tämä aiheutti dominoefektin akustossa, sytyttäen aina viereisen akun palamaan. (Pelastustieto, 2019)

Edellä mainitun mukaisesti on selvää, että sähköautojen palot ovat pelastustoimelle poikkeuksellisia tilanteita. Lahden tapauksessa tilannetta helpotti se, että tulipalo tapahtui ulkoilmassa, autoliikkeen pihassa. Näin ollen tulipalon seurannaisvaikutukset jäivät verrattain pieniksi. Tapauksen jälkeen pelastusalalla nousi vilkas keskustelu siitä, että mitkä ovat toimintamallit, jos jotain vastaavaa tapahtuu esimerkiksi maanalaisessa pysäköintilaitoksessa.

Esimerkiksi pääkaupunkiseudulla pysäköintitiloja rakennetaan kasvavassa määrin maan alle, koska maanpäällisestä rakennustilasta on pulaa. Maanalaiset tilat ovat pelastustoiminnan kannalta aina haastavia, koska poistumis- ja hyökkäysreitit ovat monimutkaisempia, savunpoiston toteutus on haastavampaa ja itse palokohdetta ei monesti pystytä nopeasti paikallistamaan. VTT:n tekemien tutkimusten perusteella liikennetiloiissa (esim. pysäköintiluolat) on keskimäärin noin 6 syttymää vuodessa miljoonaa neliometriä kohden (Helsingin kaupunkiympäristön toimiala, 2018, s. 18). Esimerkiksi pelkästään Helsingissä on yli 400 erillistä kallioon rakennettua maanalaisista tilaa (Helsingin kaupungin kaupunkisuunnitteluvirasto, 2017).

Sähköautojen ja niiden litiumioniakustojen tulipaloista on olemassa paljon akateemista tutkimusta. Näiden tutkimusten ongelmana on se, että itsessään nämä tutkimukset eivät hyödytä pelastustointia riittävästi, koska niiden lähestymistapa on hyvin teoreettinen.

Kuten todettua – Suomessa sähköautopaloja ei ole tapahtunut muutamia yksittäistapauksia lukuun ottamatta. On kuitenkin selvää, että autokannan sähköistyessä ja vanhetessa myös paloriskit kasvavat. On siis tärkeää, että pelastustoimi varautuu riittävän proaktiivisesti tällaisiin tilanteisiin. Pelastuslaitokset toimivat suurissa kaupungeissa minuutin lähtövalmiudessa ympäri vuorokauden. Tämän vuoksi on tärkeää, että erilaisiin onnetto-

muustilanteisiin tulee olla laadittuna niin kutsutut ”perus-operaatiomallit”, jotta erilaisia tilanteita voidaan ruveta hoitamaan mahdollisimman tehokkaasti ja tarkoituksenmukaisesti – valmiiden toimintamallien pohjalta.

Ilmastonmuutos on globaali megatrendi. Osana ilmastonmuutoksen hillitsemisen toimenpiteitä, pienipäästöisiä käyttövoimaratkaisuja ja liikenteen päästöjen vähentämistä tuetaan voimakkaasti, minkä vuoksi myös sähköautojen osuus autokannasta tulee kasvamaan. Pelastustoimen tulee olla etupainotteisesti mukana tässä muutoksessa, koska selvää on, että se aiheuttaa merkittävän osaamistarpeen pelastustoimen operatiiviselle kentälle. Osaamisen johtamisen kannalta onkin keskeistä, että pelastustoimi seuraa ympärillään tapahtuvia muutoksia ja reagoi niihin asianmukaisesti. Tämän työn tarkoituksena onkin vastata tähän yhteen pieneen megatrendin aiheuttamaan osaamisen johtamisen tarvealueeseen.

Sähköautopalot – erityisesti maanalaisissa pysäköintilaitoksissa aiheuttavat merkittävän haasteen myös pelastustoiminnan johtamiselle. Tällä hetkellä aiheesta ei ole laadittuna yksiselitteistä toimintaohjetta, vaan varautuminen tällä hetkellä perustuu enimmäkseen olettamuksiin sähköautopaloista. Jotta tällaisissa tilanteissa pystytään huomioimaan henkilöturvallisuus, työturvallisuus sekä ympäristötekijät – onkin keskeistä laatia etukäteisohjeistusta näihin poikkeaviin onnettomuustilanteisiin.

Toinen keskeinen peruste aiheen valinnalle on se, että sähköautojen latauspisteiden sijoittamisesta maanalaisiin pysäköintilaitoksiin ei ole olemassa minkäänlaista ohjeistusta arkkitehdeille ja paloteknisille suunnittelijoille. Työn toinen keskeinen tavoite onkin laatia suuntaviivoja huomioitaville paloturvallisuuseikoille, kun suunnitellaan ja rakennetaan sähköautojen latauspisteitä maanalaisiin tiloihin.

Opinnäytetyö pohjautuu kolmeen keskeiseen tutkimuskysymykseen:

1. Mitkä ovat huomioitavat tekijät sähköautopalon turvallisessa sammuttamisessa maanalaisessa pysäköintilaitoksessa?
2. Mitkä ovat pelastustoiminnan johtajan huomioitavat seikat sähköautopalon sammuttamisessa maanalaisessa pysäköintilaitoksessa?
3. Mitä huomioitavia paloturvallisuustekijöitä sähköautojen latauspisteiden asentaminen aiheuttaa maanalaisessa pysäköintilaitoksessa?

Tutkimuskysymysten pohjalta muodostetaan kokonaiskäsitys ja johtopäätökset, joiden tavoitteena on vastata näihin kysymyksiin. Kysymyksiin karotetaan vastauksia teoreettisessa viitekehyksessä ja kyselytutkimuksessa.

Teoreettisen viitekehyksen ja kyselytutkimuksen perusteella työn pääta-
voitteena on laatia kaksi eri ohjetta pelastustoimen käyttöön. Työn liit-
teiksi tulevat ohjeet ovat:

1. Pelastuslaitoksen ohje sähköautopalojen sammutus- ja pelastustoi-
minnasta maanalaisissa pysäköintilaitoksissa
2. Paloturvallisuusohje sähköautojen latauspisteiden sijoittamisesta
maanalaiseen pysäköintilaitokseen

Ohjeiden ensisijainen tarkoitus on tulla pelastustoimen sisäiseen käyttöön.
Ohjeet kuitenkin lähtökohtaisesti eivät sisällä salassa pidettävää tietoa,
joten niiden hyödyntäminen esimerkiksi uudisrakennusten suunnittelu-
työssä on myös mahdollista.

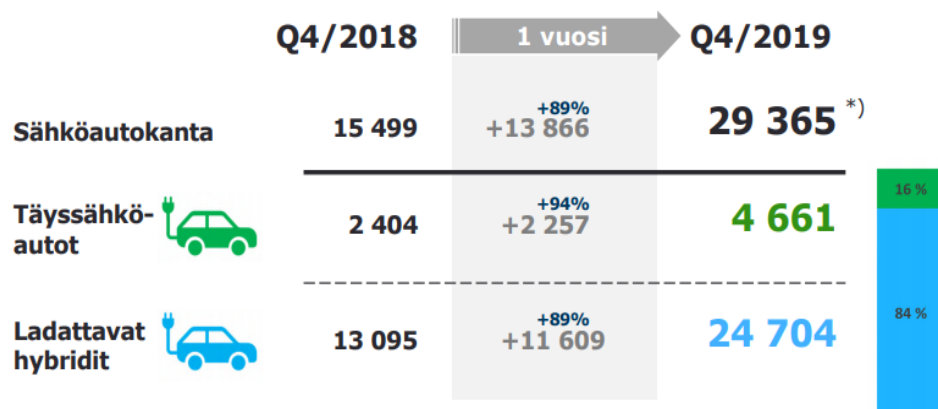
2 SÄHKÖAUTOT JA LATAUSPISTEET

Valtioneuvoston selonteossa kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030 on asetettu yhdeksi keskeiseksi tavoitteeksi fossiilisten öljypohjaisten polttoaineiden korvaaminen uusiutuvilla ja vähäpäästöisillä vaihtoehdoilla. Tavoitteena on, että Suomessa olisi vuonna 2030 yhteensä vähintään 250 000 sähkökäyttöistä autoa. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2017, ss. 58-59)

2.1 Sähköautot Suomessa

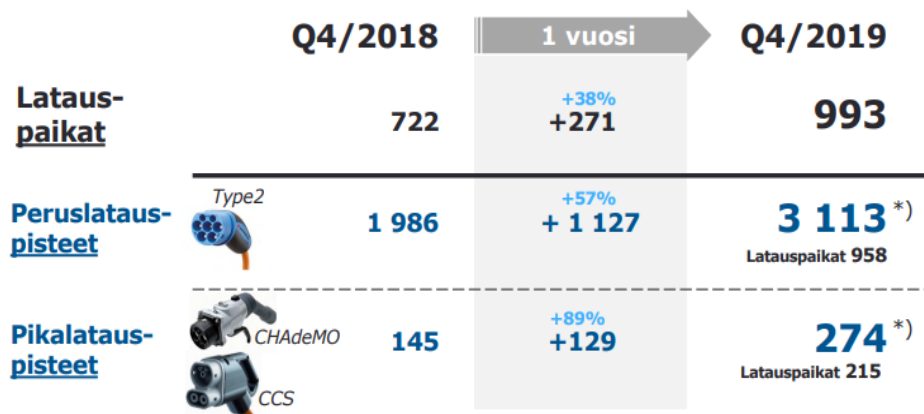
Teknologiateollisuus julkaisee neljä kertaa vuodessa sähköisen liikenteen tilannekatsauksen. Tilannekatsauksesta käy ilmi, kuinka sähköautojen ja niiden latauspisteiden määrä on kehittynyt Suomessa.

Vuonna 2019 sähköautokanta kasvoi melkein 14 000 uudella ajoneuvolla. Sähköautokannalla tarkoitetaan täyssähköautoja sekä ladattavia hybridejä. Käytettynä maahantuoduista autoista sähköautojen osuus oli noin 14 prosenttia. (Teknologiateollisuus, 2020)



Kuva 1. Sähköautokannan kasvu 2018 – 2019 (Teknologiateollisuus, 2020)

Sähköautokannan kasvaessa vastaavasti myös latausinfra- kanta kasvaa. Vuoden 2019 lopussa latauspaikkoja Suomessa oli vajaat 1000 kappaletta. Näissä paikoissa latauspisteitä oli yhteensä vajaat 3500 kappaletta. (Teknologiateollisuus, 2020)



Kuva 2. Latauspaikkojen määrän kasvu 2018 – 2019 (Teknologiateollisuus, 2020)

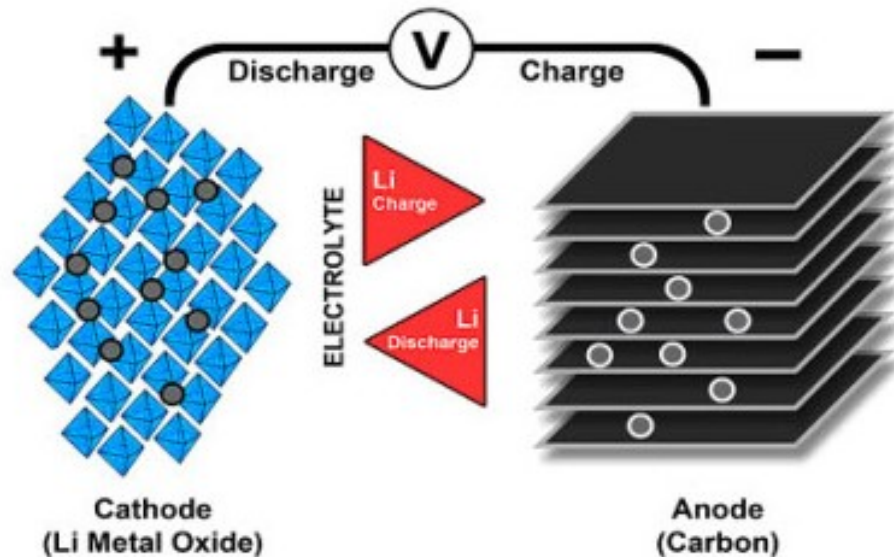
Sähköautokannan ja latauspisteinfran nopeaa kasvua Suomessa selittävät useat tekijät. Keskeisinä tekijöinä voidaan pitää valtion hankintatukea täys-sähköauton ostajille, sekä latausinfrastruktuuria asuinrakennusten sähköautojen latauspisteiden asennusta varten. (Teknologiateollisuus, 2020)

2.2 Sähköautojen litiumioniakustot

Modernien sähköautojen energialähteenä toimii pääsääntöisesti litiumioniakut. Niiden etuina muihin akkuteknologioihin ovat pitkä käyttöikä, suuri energian varastointikyky ja korkea tehokkuus suhteessa akkujen kokoon. (Amon ym., 2019, s. 20)

Sähköautopaloista puhuttaessa on tärkeä tunnistaa, että sähköauton tulipalossa suurin riski ja eroavaisuus ”perinteiseen” autopaloon on tulipalo, joka on päässyt vaurioittamaan sähköauton akustoa (litiumioniakkuja). Uudelleen syttyminen, nopea ja pitkäkestoinen palotapahtuma, korkeat lämpötilat sekä sammuttamisen vaikeus ovat tekijöitä, jotka tekevät sähköauton akkupaloista erityisen haastavan pelastustoimelle. (Gong ym., 2017, ss. 1-2)

Litiumioniakku on yleistermi eri akuille. Litiumioniakkuja on useita eri tyyppisiä, jotka eroavat toisistaan käytetyn akkukemian eli käytettyjen raaka-aineiden osalta. Yhteistä kaikille on kuitenkin se, että varaus siirtyy akun anodin ja katodin välillä litiumionina. Yleistäen voidaan sanoa, että käytetty kemia vaikuttaa myös akun turvallisuuteen. Turvallisuus kulkee usein hinnan kanssa käsi kädessä - mitä halvempi akku on, sen halvempia komponentteja sen valmistuksessa on jouduttu käyttämään. (Bröckl ym., 2017, s. 7)



Kuva 3. Litiumioniakun toimintaperiaate (Battery University, 2018)

Litiumioniakku koostuu negatiivisesta (anodi) ja positiivisesta (katodi) elektrodista, sekä elektrolyytistä. Elektrolyytin tehtävänä on eristää positiivinen ja negatiivinen elektrodi. Täten se mahdollistaa litiumionien liikku-
misen anodin ja katodin välillä. Varsinaisesti akun toiminta perustuu siihen, että akun purkautuessa negatiivisesti varautuneesta anodista hapet-
tumisen yhteydessä vapautuu elektroneja. Nämä kulkevat positiivisesti va-
rautuneeseen katodiin, muodostaen kulkiessaan sähkövirtaa. Katodille
saapuvat elektronit aiheuttavat pelkistymisreaktion, jolloin katodilla ole-
vat ionit vastaanottavat elektroneja. Akun latauksessa periaate on täysin
sama, mutta reaktiot tapahtuvat päinvastaiseen suuntaan. (Greencycle, 2020)

Litiumioniakkuja voi olla useissa eri muodoissa. Tyypillisiä akkumuotoja
ovat esimerkiksi sylinterimäiset akut (paristot), pehmeäkuoriset pussiken-
not ja prismaattiset akut. Monissa isommissa akuissa on kytketty yhteen
suuri määrä kennoja. Esimerkiksi tasapainolaudassa voi olla muutama
kymmenen kennoa, kun taas sähköauton akustossa tuhansista kymmeniin
tuhansiin kennoihin. (Meurman & Niemi, 2018, s. 3)

Vahingoittumaton litiumioniakku on käytössä turvallinen, mutta vaurioitu-
minen voi aiheuttaa akun oikosulun ja tulipalon. Vaurioituminen voi aiheu-
tua esimerkiksi ylilatautumisen, lämpötilan vaihtelun tai mekaanisen vau-
rioitumisen johdosta. Vaurioituminen voi käynnistää akussa niin sanotun
termisen karkaamisen, jonka yhteydessä kennot lämpenevät itsestään ja
syttyvät palamaan. (Vilmi, 2019)

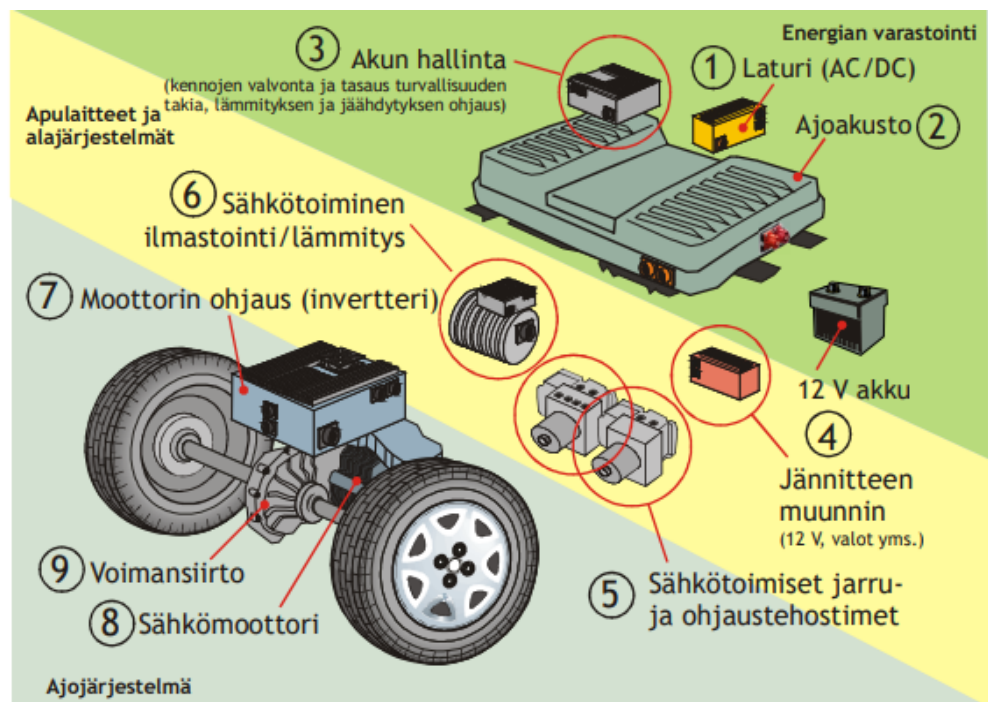
Litiumioniakuissa on käytössä erilaisia teknisiä ratkaisuja, joilla pyritään vä-
hentämään akkujen käytöstä ja latauksesta aiheutuvia riskejä. Keskeisin
tekninen ratkaisu on "Battery Management System", joka on sähköinen
järjestelmä, jolla estetään akun ylilatautuminen tai akun varauksen lialli-

nen purkautuminen. Muita teknisiä ratkaisuja ovat esimerkiksi erilaiset sulakkeet ja vastaavat liiallista virrankulkua rajoittavat järjestelmät, erilaiset mekaanista kulumista estävät järjestelmät ja koteloinnit sekä mahdollisesti sisäiset akkujen jäähdytysjärjestelmät. (Bröckl ym., 2017, s. 7)

2.2.1 Täyssähköautot

Täyssähköautoista (EV) puhuttaessa vakiintuneen terminologian mukaan kyseessä on auto, jonka ainoa polttoaine on verkosta ladattava sähkö. Täyssähköauton pääkomponentit ovat (Nylund, 2011, s. 42):

- akusto hallintajärjestelmään
- tehoelektroniikka ja ohjausjärjestelmä
- sähkömoottori
- laturi akuston lataamiseen.



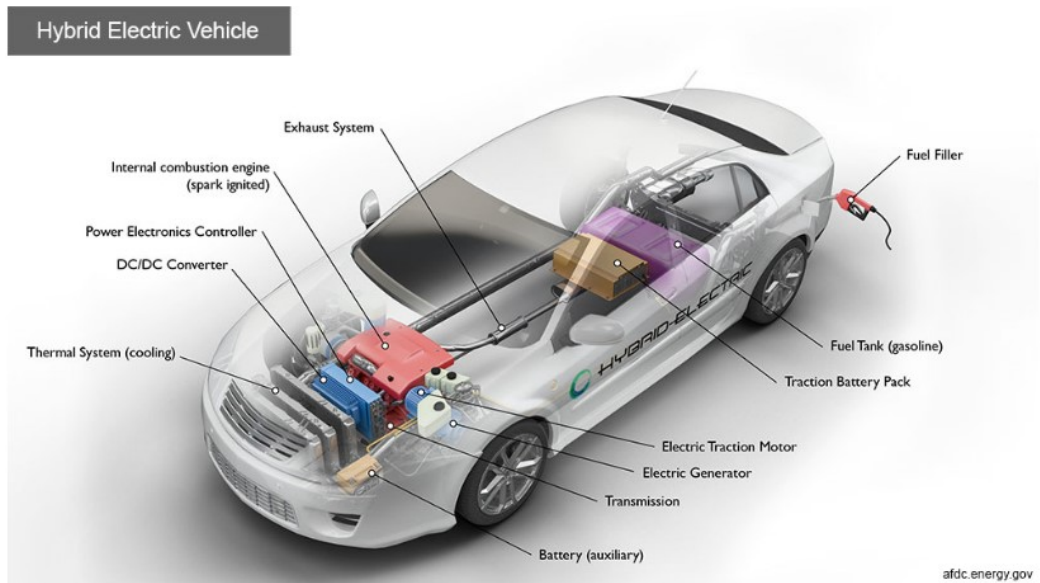
Kuva 4. Täyssähköauton ajojärjestelmä (Nylund, 2011, s. 43)

Täyssähköauton akuston suuruus on tyypillisesti 20-100 kWh. Yksittäisen litiumioniakun kennon jännitetaso on suuruusluokkaisesti 3-4 V. Akkukennot kytketään toisiinsa siten, että akkupaketin kokonaisjännite on tyypillisesti 300-400 V. (Nylund, 2011, s. 44)

2.2.2 Hybridiautot

Hybridiauto (HEV) tarkoittaa autoa, jossa on kaksi eri voimanlähdettä. Tyypillisin hybridimalli on poltto- ja sähkömoottorin yhdistelmä. Polttomoottorin tilalla energianlähteenä voi olla myös jokin muu energiamuoto, esimerkiksi kaasu. Hybridiautoissa sähkömoottori toimii yleensä kahteen

suuntaan: jarrutuksissa se toimii generaattorina, joka lataa akkuja ja kiihdyttäessä se purkaa akkuihin varastoitua energiaa. (Motiva Oy, 2019a)



Kuva 5. Hybridiauton ajojärjestelmä (U.S. Department of Energy, 2020)

Ladattavan hybridin (PHEV) energiavarastot voidaan ladata verkkovirralla, jolloin mahdollistetaan pelkällä sähköllä ajamisen toimintasäde useiksi kymmeniksi kilometreiksi. Tavanomaiseen ajossa latautuvaan hybridiin verrattuna ladattavassa hybridissä akkupaketin koko on isompi. (Motiva Oy, 2019b)

Ei-ladattavissa hybridiautoissa on noin 1 kWh:n akku, kun taas ladattavissa hybridiautoissa tyypillisesti noin 10kWh:n akku. Ei-ladattavissa hybridiautoissa pieni akkukoko riittää, koska akkua tarvitaan käytännössä vain jarrutusenergian talteenottoon ja liikkeellelähdon avustamiseen. (Korhonen ym., 2019, s. 14)

2.3 Latauspisteet

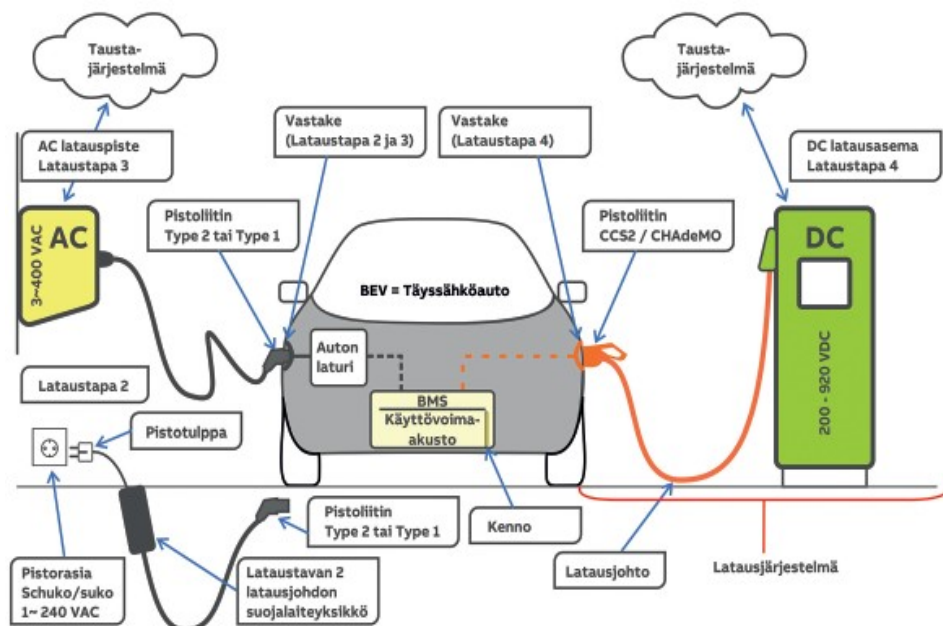
2.3.1 Säädökset

Sähköajoneuvojen lataamiseen käytettävissä sähköverkoissa ja niiden suunnittelussa on noudatettava pienjänniteasennuksia käsittelevässä standardisarjassa SFS 6000 esitettyjä perusvaatimuksia. Tämän lisäksi standardissa SFS 6000-7-722 annetaan erityisvaatimuksia sähköajoneuvojen lataamiseen tarkoitetuille asennuksille. Tämän lisäksi on useita erilaisia suosituksia ja ohjeita koskien esimerkiksi sähköasennusten turvallisuutta. (SESKO ry, 2019, s. 1)

2.3.2 Eri lataustavat

Sähköautojen lataukseen käytetyt lataustavat määritellään standardissa EN 61851-1. Suomessa suositellaan ensisijaisesti käytettävien lataustapojen 3 ja 4. Lataustavat määräytyvät jännitteen, virran sekä lataustavan mukaan (SESKO ry, 2019, s. 1):

- Lataustapa 1: Kevyiden ja pienitehoisten sähköajoneuvojen (sähköpolkupyörät, -skootterit yms.) lataustapa. Syötetään vaihtosähköllä tavanomaisesta maadoitetusta 230 V kotitalouspistorasiasta, joka on suojattu kiinteään asennukseen kuuluvalla 30 mA vikavirtasuojalla. (SESKO ry, 2019, s. 2)
- Lataustapa 2: Hidas lataustapa. Käytetään sähköauton lataukseen, mikäli käytössä ei ole varsinaista sähköauton latauspistettä. Lataustavassa ajoneuvo liitetään latauspisteeseen latausjohdolla, jossa on ohjauksen ja suojalaitteyksikkö. Syötetään vaihtosähköllä kotitalouspistorasiasta tai teollisuuspistorasiasta. (SESKO ry, 2019, s. 2)
- Lataustapa 3: Niin kutsuttu ”peruslataus”. Tarkoittaa sähköajoneuvon latausta siihen tarkoitettuun kiinteästi asennettuun latauslaitteeseen, jossa on sähköajoneuvon lataukseen tarkoitettu pistorasia tai kaapeli ja pistoke. Vaihtosähköverkosta latausvirta voi olla 6 A – 63 A, jolloin saavutetaan latausteho 1,4 kW – 43 kW. (Sähkötieto ry, 2018, s. 3)
- Lataustapa 4: Niin kutsuttu ”teholataus”. Sähköajoneuvo kytketään vaihtosähkönsyöttöön käyttäen ajoneuvon ulkopuolista laturia. Laturi syöttää tasasähköä. Teholatureiden autoon syöttämät tasavirrat ovat satoja ampeereita ja lataustehot yleisesti välillä 22 – 150 kW (SESKO ry, 2019, s. 2). (Sähkötieto ry, 2018, s. 3)



Kuva 6. Latausjärjestelmien ja sähköautojen termit ja käsitteet (Sähkötieto ry, 2019, s. 10)

2.3.3 Latauspisteiden turvallisuus

Latauspisteitä suunniteltaessa ja asentaessa tulee selvittää syöttävän sähköjärjestelmän nykyinen kuormitus ja erityisesti se, että voidaanko järjestelmään liittää uutta kulutusta vai onko sähköliittymää muutettava. Turvallisuuskulmasta on keskeistä kartoittaa syöttävän sähköjärjestelmän kunto esimerkiksi mittauksin ja keskusten lämpökuvauksin. (SESKO ry, 2019, s. 3)

Kuten edellä mainittua – yksinkertaisin sähköauton latauspiste on normaali, vikavirtasuojalla varustettu yksivaiheinen pistorasia. Tämä lataustapa on kuitenkin tarkoitettu sähköautojen lataamiseen tilapäisesti, koska tavanomaiset autolämmityspistorasiat ja muut kotitalouspistorasiat eivät sovellu jatkuvaan käyttöön teknisten rajoitusten vuoksi. Näin ollen latauspisteiksi suositellaankin erityisesti sähköautojen lataukseen suunniteltuja latausasemia (lataustavat 3 ja 4). (Sähkötieto ry, 2018, s. 4)

Jokainen yksittäinen latauspiste tulee suunnitella omaksi virtapiirikseen, eli oman ylivirta- ja vikavirtasuojan taakse. Tällä keinolla varmistetaan siitä, että yhden latauksen häiriössä sillä ei ole vaikutusta muihin latauksiin. Latauskäyttöön suunnitelluissa latauspisteissä tulee olla suojaus, joka estää vikatilanteissa syötön auton akusta jännitteettömään verkkoon. (Sähkötieto ry, 2018, s. 4)

Suuremmissa latausjärjestelmissä (esim. pysäköintilaitokset) latauspisteitä varten varataan yleensä oma ryhmäkeskus/-keskukset, joista syötetään vain sähköautojen latausasemia. Vaihtoehtoisesti voidaan sähköautojen latauspisteitä palvelevat ryhmät laittaa pää-/tai nousukeskukseen oman etukojeen taakse. (Sähkötieto ry, 2018, s. 4)

Syöttöjen suunnittelussa on varauduttava mm. kuormituksen ohjaukseen, mittauksen järjestämiseen ja etähallintaan. Turvallisuussyistä voi olla tarpeen myös liittyä erilaisiin kiinteistöautomaatio- tai paloturvallisuusjärjestelmiin, kuten vaikkapa paloilmoinjärjestelmiin. Paloilmoinjärjestelmä voidaan ohjelmoida siten, että sen reagoidessa alkavaan paloon automaattikka voi keskeyttää autojen latauksen. Latausjärjestelmän kaapelointi lisää myös tilojen palokuormaa ja etenkin maanalaisissa tiloissa suositellaan käytettäväksi palonkestäviä kaapeleita, niiden halogeenien puutteen ja vähäisen savunmuodostuksen vuoksi. (SESKO ry, 2019, ss. 3-4)

Latauspisteitä käyttöönotettaessa kaikille kiinteille asennuksille tulee tehdä sähköturvallisuuslain edellyttämä käyttöönottotarkastus. Puolestaan sähkölaitteiden (eli latausaseman) toimintatarkastus tulee toteuttaa laitevalmistajan ohjeiden mukaan, pois lukien suojalaitteiden testaus, jotka tulee suorittaa erikseen annettujen ohjeiden mukaisesti. Nämä sisältävät esim. oikosulkuvirtamittaukset ja vikavirtasuojan tarkastukset ja mitaukset. (Sähkötieto ry, 2018, s. 5)

3 SÄHKÖAUTOJEN LITIUMIONIAKKUPALOT

Sähköautokanta Suomessa on toistaiseksi verrattain uutta. Tämän vuoksi autot ovat pääsääntöisesti hyväkuntoisia ja säännöllisesti huollettuja. Onkin hyvin vaikeaa arvioida sähkökäyttöisten autojen paloriskiä ja sen todennäköisyyttä. Tämänhetkisen tietämyksen perusteella voidaan kuitenkin todeta, että mitään selvää merkkiä siitä, että sähköautot syttyisivät helpommin palamaan kuin polttomoottorikäyttöiset, ei ole. On siis väärin olettaa, että sähköautoilla olisi suurempi riski palaa kuin polttomoottorikäyttöisillä autoilla. Selvää kuitenkin on, että riski on *erilainen*. (Willstrand, 2020)

Sähköautojen litiumioniakkupaloja raportoidaan maailmalta säännöllisesti. Paloja tapahtuu eri syistä ja eri automerkkeihin ja -malleihin. Oheisessa taulukossa 1. on nähtävissä monikansallisen tutkimusryhmän otantaa, eräistä vuonna 2018 tapahtuneista sähköautojen akkupaloista:

Date	Location	Vehicle	Incident	Comments
Jan [8]	Chongqing, China	Tesla, BEV	Fire in the parked vehicle	Spontaneous ignition
15 Mar [9]	Bangkok, Thailand	Porsche Panamera, PHEV	Fire while being charged	Car's charging cable plugged to socket in the living room without built-in safety systems, and fire spread to the house
18 Mar [10]	Catalonia, Spain	BMW i3 REx, PHEV	Fire in the parked vehicle	Spontaneous ignition
23 Mar [7]	California, USA	Tesla Model X, BEV	Post-crash fire	Fire extinguished on the scene but reignited twice at tow yard 5 days later
May [11]	Anhui, China	Other, BEV	Fire while being charged	
May [11]	Unknown	Yiema, BEV	Fire while being charged	
8 May [12]	Florida, USA	Tesla Model S, BEV	Post-crash fire	Fire initially extinguished quickly but reignited during loading on tow truck and once again at the tow yard.
15 May [13]	Ticino, Switzerland	Tesla, BEV	Post-crash fire	Vehicle hit a barrier, turned over and burst into flames.
20 May [11]	Hangzhou, China	Jiangling, BEV	Fire while being charged	
21 May [11]	Hubei, China	Zhong Tai, BEV	Fire while being driven	Self-ignited without traffic accident
28 May [11]	Shenzhen, China	Other, BEV	Fire while being charged	
4 Jun [11]	Shandong, China	Other, BEV	Fire while being driven	Self-ignited without traffic accident
5 Jun [11]	Beijing, China	Other, BEV	Fire while being charged	
15 Jun [14]	California, USA	Tesla Model S, BEV	Fire while being driven	Fire extinguished on the scene without reignition
12 Dec [15]	Gelderland, Netherlands	Jaguar I-Pace, BEV	Fire in the parked vehicle	The vehicle front was burned but no involvement of the battery pack.
18 Dec [16]	California, USA	Tesla Model S	Fire in the parked vehicle	Fire started at workshop parking lot, and the fire reignited twice.

Taulukko 1. Otanta eräistä sähköautopaloista (Bisschop ym., 2020, s. 3)

Taulukkoon 1. on kasattu otantaa eri palotapahtumista, ei kaikkia vuonna 2018 raportoituja sähköautojen akkupaloja. Taulukosta on hyvin nähtävissä, kuinka moninaisia syttymissyitä akkupaloille on ollut. Huomionarvoista on myös se, että paloja on ollut laajalti eri puolilla maapalloa ja eri valmistajien automerkeissä.

Kansallisen pelastustoimen resurssi- ja onnettomuustietokanta PRONTO:n tilastojen perusteella Suomessa on tapahtunut vuosien 2015 ja 2019 välillä keskimäärin reilut 2000 liikennevälinepaloa vuosittain. Liikennevälinepaloiksi lasketan kaikkien kulkuneuvojen tulipalot. Sähköautojen paloista ei ole saatavilla tilastoa, mutta määrä on todennäköisesti pieni. Viiden vuoden seurantajaksolla tapahtui yhteensä 11 059 liikennevälinepaloa, joista 31 paloa tapahtui maanalaisessa tilassa (tunneli, pysäköintilaitos, yms.).

Vuosi	Tehtävien lukumäärä
2015	2 200
2016	2 262
2017	2 080
2018	2 331
2019	2 186
Yhteensä	11 059

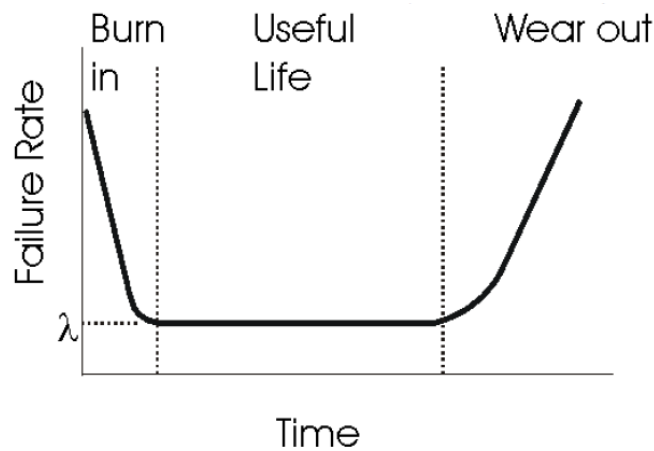
Taulukko 2. Liikennevälinepalojen määrä Suomessa vuosittain (PRONTO, 2020)

Sähkökäyttöisten ajoneuvojen määrän kasvaessa myös niiden tuomat uudenlaiset riskit kasvavat. Ruotsalaisen valtio-omisteisen tutkimuskeskuksen RISE:n projektipäällikön Ola Willstrandin mukaan ei kuitenkaan ole selvää todistusaineistoa siitä, että sähköautoilla olisi korkeampi syttymisriski kuin tavanomaisilla polttomoottorikäyttöisillä autoilla. Willstrandin mukaan riski saattaa olla jopa pienempi. Autopalot monesti aiheutuvat palavan nesteen vuodosta, jonka kuuma pinta sytyttää. Sähköautoissa tällaisia palavia nesteitä ei ole, joten tämä pienentää osaltaan syttymisriskiä. (Willstrand, 2020)

Erinäisten palo- ja polttokokeiden perusteella selvää kuitenkin on se, että mahdollinen sähköautopalo on pelastustoimen silmin huomattavasti haasteellisempi onnettomuustyyppi kuin polttomoottorikäyttöisen auton palo. Yhdysvalloissa vuonna 2013 tehdyissä polttokokeissa huomattiin, että yhden poltetun sähköauton akku syttyi uudelleen palamaan, 22 tuntia sammuttamisen jälkeen. (Blum ym., 2013, s. 185)

Sähköautojen tulipaloista on maailmanlaajuisestikin vain vähän kokemusta. Tätä selittää osittain se, että autokanta on verrattain uutta ja merkihuollettua. Sähköisen autokannan kasvaessa ja vanhetessa voidaan olettaa, että myös tulipalojen määrä lisääntyy. Sähkökäyttöisten laitteiden vikaantumista voidaan kuvata ns. yleisellä vikaantumiskaaviolla. Kaavion

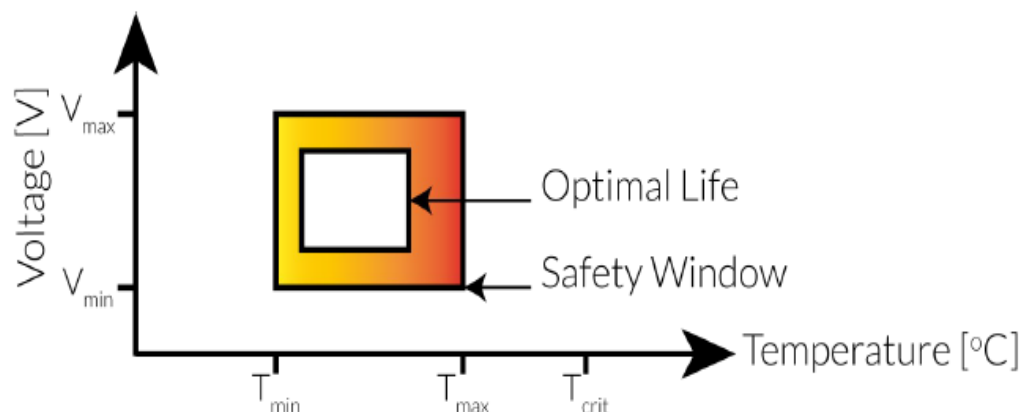
mukaisesti sähkölaitteissa tapahtuu eniten vikoja elinkaaren alku- ja loppupäässä. Kaaviota voidaan soveltuvin osin verrata myös sähköautoihin – keskeinen kysymys lienee, että mikä on sähköautojen ja niiden akustojen käyttökelpoinen ikä (vrt. useful life)? (Carchia, 1999)



Kuva 7. Sähkölaitteiden vikaantumismalli (Carchia, 1999)

3.1 Terminen karkaaminen

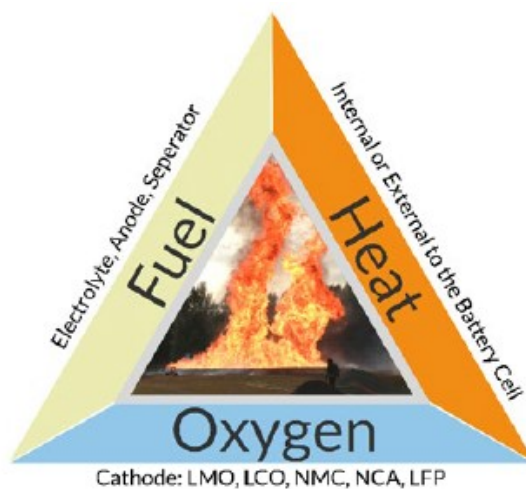
Litiumioniakkupalon syttymissyynä on joko lämpötilan tai jännitteen liiallinen kasvaminen yhdessä akkukennossa. Tämän seurauksena yksittäinen akkukenno voi vapauttaa syttymiskelpoista kaasua, joka aiheuttaa tulipalon tai jopa räjähdysen. Kun lämmön tai jännitteen turvalliset rajat ylitetään, akussa syntyy oikosulku. Tämän seurauksena litiumioniakkuun syntyy olosuhteet, jossa on palavaa materiaalia, hapettajia ja lämpöä tuottava kemiallinen reaktio. (Amon ym., 2019, s. 30)



Kuva 8. Litiumioniakun rajoitettu toimintakapasiteetti (Amon ym., 2019, s. 30)

Kun lämpöä tuottava kemiallinen reaktio tuottaa enemmän lämpöä kuin sitä ehtii vapautumaan, litiumioniakussa alkaa tapahtua niin kutsuttu termisen karkaaminen (lämpökarkaaminen, thermal runaway). Termisen karkaamisen aiheuttaa ketju kemiallisia reaktioita akun sisällä, joiden myötä akun sisälämpötila kasvaa. (Amon ym., 2019, s. 30)

Termisen karkaamisen käynnistymiseen vaadittava lämpötila riippuu käytetystä akkukemiasta. Käytännössä kuitenkin kaikissa litiumioniakuissa on itsessään kaikki palamiseen tarvittavat elementit. Metallinen litium reagoi voimakkaasti palaen ilman kosteuden kanssa, ja alumiinioksidi voi palaa hyvin kuumasti (jopa 2000°C). Metallioksidien sisältämä happi osallistuu paloon metallien pelkistyessä. Litiumioniakkujen riskejä termiselle karkaimiselle ja syttymiselle lisää se, että niissä käytetyt elektrolyytit ovat palavia aineita toisin kuin esim. lyijyakuissa käytetyt elektrolyytit. (Bröckl ym., 2017, s. 9)



Kuva 9. Palamisen elementit litiumioniakussa (Amon ym., 2019, s. 33)

Terminen karkaaminen voi koskettaa pelkästään yksittäistä akun kennoa. Kemiallisen reaktion edetessä kuitenkin syttyneen kennon tuottama lämpö voi sytyttää viereisiä kennoja tuleen. Tästä aiheutuu litiumioniakun ”noidankehä”. Litiumioniakun palon erityisen haastavaksi tekee se, että vaikka näkyvä liekkipalo saataisiin sammutettua, niin kuumasta akusta tulevat höyrystyneet elektrolyyttikaasut voivat syttyä uudestaan päästesään hapen kanssa kosketuksiin. (Amon ym., 2019, s. 9)

Terminen karkaaminen ja sen lämpövaikutukset litiumioniakussa ovat riippuvaisia akun latausasteelle; mitä suurempi on latausaste, sitä matalampi on termisen karkaamisen käynnistymislämpötila. Termisen karkaamisen käynnistymisherkkyteen vaikuttaa myös akun käyttöhistoria ja sen kuoritus. (Välisalo, 2019, s. 6)

Terminen karkaaminen on kolmivaiheinen prosessi (Välisalo, 2019, s. 6):

- Anodiset reaktiot käynnistyvät noin 90 °C lämpötilassa. Kun lämpötila nousee yli 120 °C, kiinteän elektrolyytin rajapintakerroksen hajoaminen seuraa, mikä johtaa elektrolyytin vähenemiseen litioituneessa grafiittinegatiivisessa elektrodissa.
- Termisen karkaamisen lämpöä tuottava reaktio käynnistyy positiivisella elektrodilla, kun lämpötila nousee 140°C. Tässä vaiheessa happea rupeaa kehittymään nopeasti.

- Positiivinen elektrodi hajoaa ja elektrolyytti hapettuu yli 180°C lämpötilassa. Tästä aiheutuu lämpöä tuottava prosessi, jonka lämpötilan nousu saattaa olla jopa 100°C minuutissa.

Pelastusopiston erikoistutkija Marko Hassisen mukaan termisestä karkaamisesta on puolestaan erotettavissa neljä eri askelta reaktioketjusta (Hassinen, 2019, s. 167):

1. Elektrodien pinnalla oleva elektrodien hajoamista estävä SEI-kerros (Solid-Electrolyte Interface) hajoaa eksotermisessä reaktiossa
2. Elektrolyytti ja litioitu grafiitti alkavat reagoida keskenään eksotermisesti, reaktiossa syntyy palamiskelpoisia kaasuja
3. Positiivisen materiaalin ja elektrolyytin eksotermisen reaktion käynnistyy, reaktiosta vapautuu happea akun sisälle
4. Elektrolyytti alkaa hajota ja muodostaa palavia kaasuja.

Sähköautojen akustoissa on termisen karkaamisen riskiä pienentämässä erilaista ohjaus- ja valvontaelektroniikkaa. Näiden tarkoitus on valvoa lataus- ja purkautumisvirtoja sekä akun lämpötilaa. Tämän lisäksi akustoissa on mekaanisia suojauksia, kuten purkausventtiilejä, ulkoista jäähdytystä ja itsekorjaavia eristemateriaaleja. Pääsääntöisesti nämä eri suojamekanismit toimivat, mutta jossain vaiheessa akulle aiheutunut sisäinen tai ulkoinen vaurio voi olla liian suuri kompensoitavaksi, jolloin terminen karkaminen pääsee käynnistymään. (Meurman & Niemi, 2018, s. 7)

3.2 Tulipalojen syyt

Lähtökohtaisesti tavalliset sähköautojen litiumioniakustot eivät ole erityisen herkkiä itsesyttymiselle. Ongelma kuitenkin syntyy silloin kun akustoihin kohdistuu ulkoista lämpöä, mekaanista iskuja tai niitä kohtaan kohdistetaan tavanomaisesta poikkeavaa kuormitusta. (Bisschop ym., 2020, s. 7)

Esimerkiksi kun verrataan tavallista kannettavaa tietokonetta ja sen litiumioniakustoa sähköauton litiumioniakustoon, voidaan havaita, että akustot joutuvat hyvin erilaiselle rasitukselle. Kannettava tietokonetta käytetään yleensä tavanomaisissa olosuhteissa, melko pienellä rasituksella. Sähköauto ja sen akusto puolestaan kuormittuu jatkuvista kiihdytyksistä ja jarrutuksista, muuttuvista keliolosuhteista ja erikuntoisista teistä. Lisäksi sähköautojen akkukapasiteetti on huomattavasti kannettavia litiumioniakustoja suurempi. Voidaan siis tehdä johtopäätös, että sähköauton akustolle on todennäköisempää joutua tilanteeseen, jossa akusto vaurioituu ulkoisesta tai sisäisestä tekijästä johtuen. (Bisschop ym., 2020, s. 7)

Keskeiset paloriskit litiumioniakuissa liittyvät ulkoisiin tai sisäisiin oikosulkuihin, korkeisiin tai mataliin lämpötiloihin, sekä yli- ja alilatautumiseen. Nämä mekanismit voivat aiheuttaa eksotermisen (lämpö tuottavan) reaktion akustossa. Kun lämpötilat nousevat riittävästi tai kun syttymislähde on

olemassa, joka sytyttää akuston vapauttamat kaasut – kaikki palamiseen tarvittavat elementit (vrt. kuva 9) täytyvät. (Amon ym., 2019, s. 32)

3.2.1 Akkukennon sisäinen oikosulku

Akkukennon sisäinen oikosulku tarkoittaa tilannetta, jossa akun sisällä olevien anodin ja katodin välille muodostuu oikosulku. Oikosulku voi syntyä joko virtakollektoriin tai varsinaiseen elektrodiin. Tämän johdosta sisäisiä oikosulun mahdollisuuksia on neljä erilaista, joista yleisin on anodielektrodin ja katodin virtakollektorin välinen oikosulku. Sisäisen oikosulun synnyttyä lämpötila alkaa nousta oikosulkukohdassa. Lämpötilan nousu aiheuttaa vastaavanlaisia kemiallisia reaktioita kuin terminen karkaaminen. (Perttilä, 2020, s. 15)

Sisäinen oikosulku voi aiheutua hyvin nopeasti ja ilman etukäteisvaroitusta. Sisäisen oikosulun voi aiheuttaa valmistusvirhe tai esimerkiksi ulkoinen isku akustoon. Sen seurauksena rupeaa purkautumaan akkuun varastoitua energiaa ulos oikosulkukohdasta. Tämä purkautuminen tuottaa lämpöä – riippuen kuitenkin purkautumistyyppistä ja akun latausasteesta, sisäinen oikosulku ei kaikissa tapauksissa kuitenkaan aiheuta termistä karkaamista. (Amon ym., 2019, s. 34)

3.2.2 Akkukennon ulkoinen oikosulku

Akkukennon ulkoinen oikosulku on yksi keskeinen termisen karkaamisen aiheuttaja. Tämä tapahtuma voi käynnistyä, mikäli akku joutuu alttiiksi suurelle mekaaniselle muodonmuutokselle, iskulle, vedelle, korroosiolle tai sähköiskulle huollon aikana. (Amon ym., 2019, s. 38)

Ulkoinen oikosulku syntyy, kun litiumioniakun navat kytketään toisiinsa pienellä impedanssilla. Ulkoisen oikosulun reaktionopeuteen vaikuttaa akussa olevat turvaominaisuudet ja akun kyky haihduttaa lämpöä. Paloriskiinkin vaikuttaa akun sisäinen resistanssi ja akun varaustila. Pieni sisäinen resistanssi kasvattaa oikosulkuvirtaa ja akun lämpötilaa. Akun varaustila puolestaan vaikuttaa lämpötilan nousuun – mitä korkeampi varaustila, sitä korkeammalle lämpötila voi nousta. Ulkoinen oikosulku synnyttää sisäisen oikosulun tavoin lämpöä. Riippuen reaktion ajallisesta kestosta, voi lämpötilat nousta siten, että terminen karkaaminen käynnistyy. (Perttilä, 2020, s. 14)

3.2.3 Mekaaninen vaurioituminen

Valtaosa käytössä olevista akkukennoista itsessään on verrattain herkkiä ulkoiselle vaurioitumiselle. Sähköautoissa todennäköisin akkua vaurioitava tapahtuma on kolari. Tämän vuoksi sähköautojen akustot ovat hyvin suojattuja tärinältä ja ulkoisilta iskuilta. Tämän johdosta valtaosassa sähköautojen kolareita, akkukennot eivät vaurioidu. Akkukennot ovatkin

yleensä sijoitettu autoissa vahvistettuihin kohtiin, kuten vaikkapa lattian alle. (Bisschop ym., 2020, s. 7)

Vaikka akustot sijoitetaan vahvistettuihin ja jäykkiin kohtiin sähköautoissa, on silti vaara, että akut saavat esimerkiksi lävistävän vaurion kylkikolarissa tai vaikkapa peräänajossa. Myös riittäväenerginen isku auton pohjaan saattaa vaurioittaa akustoa. Riski kolareissa on myös siinä, että sähköauton riittävän nopea vauhdin hidastuminen voi altistaa akut ulkoiselle oikosululle. (Amon ym., 2019, s. 35)

Kuitenkin mikäli akusto altistuu mekaaniselle muodonmuutokselle, on vaarana sen myötä aiheutuva sisäinen oikosulku ja myöhemmin tulipalo. Mekaaninen vaurioituminen voi aiheuttaa myös vaurion sähköauton suurjännitejärjestelmään, joka puolestaan voi aiheuttaa akuston turvajärjestelmien toimimattomuutta, ja tätä kautta sisäisen oikosulun. (Amon ym., 2019, s. 34)

3.2.4 Lataus

Litiumioniakut on suunniteltu vastaanottamaan ja varastoimaan tietyn määrän energiaa tietyksi ajaksi kerrallaan. Kun nämä ennalta määritetyt rajat ylitetään liian nopean latauksen tai ylilatauksen vuoksi, saattaa akun teho heikentyä tai akku saattaa jopa pettää. Akun lataus määritellään yleensä latausasteen (state of charge, SOC) perusteella. Toimintarajat voivat olla määritelty nimelliskapasiteetiksi, väliltä 0-100%. Yleensä kuitenkin akun täysi kapasiteetti ylittää nimelliskapasiteettinsa, sekä ylä- että alarajassa. (Amon ym., 2019, s. 36)

Ylilataus voi tapahtua, mikäli akkukennon jännitettä seuraava latauksen kontrollointijärjestelmä rikkoontuu tai käytetään esimerkiksi väärentäytystä latauslaitetta. Ylilataus voi aiheuttaa anodimateriaalin aiheuttaman kemiallisen reaktion, joka voi johtaa sisäiseen oikosulkuun. Vastaavasti myös katodilla tapahtuu termistä hajoamista, joka tuottaa lämpöä. (Amon ym., 2019, s. 36)

Akun lataus myös liian kylmässä lämpötilassa voi aiheuttaa paloriskin. Pakkasella litiumioniakustoa ladatessa litium voi saostua li-metalliksi, joka puolestaan lisää oikosulun ja termisen karkaamisen käynnistymisen riskiä. (Bröckl ym., 2017, s. 10)

3.2.5 Akun purkautuminen

Akun liian nopea purkautuminen ja tai akun varauksen purkamisen kokonaan voi myös aiheuttaa akun syttymisen. Tämä voi tapahtua esimerkiksi talvisäilytyksen aikana, mikäli akkua ei ladata ajoittain. (Bröckl ym., 2017, s. 10)

Akun jännitteen laskeminen alle minimijännitteen voi aiheuttaa akun viikaantumisen ja ominaisuuksien heikkenemisen. Kun akun jännite putoaa alle litiumioniakun salliman rajan, alkaa akun sisällä tapahtua hajoamista, jossa vapautuu kaasuja (esim. hiilidioksidi). Kaasujen vapautuminen johtaa akun pullistumiseen. Samanaikaisesti akun anodin kuparisessa kollektorissa tapahtuu kemiallinen reaktio, jossa kupari hapettuu. Mikäli akku ei ladata ja kyseinen kuparin hapettumisreaktio toistuu tarpeeksi usein, voi akun sisälle syntyä sisäisiä oikosulkuja. (Perttilä, 2020, s. 15)

3.2.6 Altistuminen korkeille lämpötiloille

Litiumioniakustot on suunniteltu toimimaan normaaleissa sääolosuhteissa, kovasta pakkasesta aina kuumiin helteisiin. Ihmisten tavoin akut toimivat parhaiten normaalissa huonelämpötilassa. Sään ääripäät heikentävät akun suorituskykyä ja lyhentävät elinkaarta. (Bisschop ym., 2020, s. 7)

Korkeassa lämpötilassa litiumioniakustossa voi tapahtua ei-toivottuja kemiallisia reaktioita, jotka voivat johtaa ylikuumentuneisiin akkuihin. Mikäli akkujen tuuletus pettää, niin lämpötilan noustessa tarpeeksi akuissa käynnistyy terminen karkaaminen. Käytännössä siis, mikäli akuston ulkopuolinen lämpötila on korkeampi kuin akun sisäinen, niin akuston tuuletusjärjestelmä ei enää toimi vaan se rupeaa tuottamaan lisää lämpöä akustoon (Amon ym., 2019, s. 39). (Bisschop ym., 2020, s. 7)

Vastaavasti kylmissä lämpötiloissa akun sisäinen vastus kasvaa. Tämä puolestaan voi aiheuttaa metallien syntyä akun sisällä, mikä kasvattaa tulipalon mahdollisuutta. (Bisschop ym., 2020, s. 7)

3.3 Paloteho

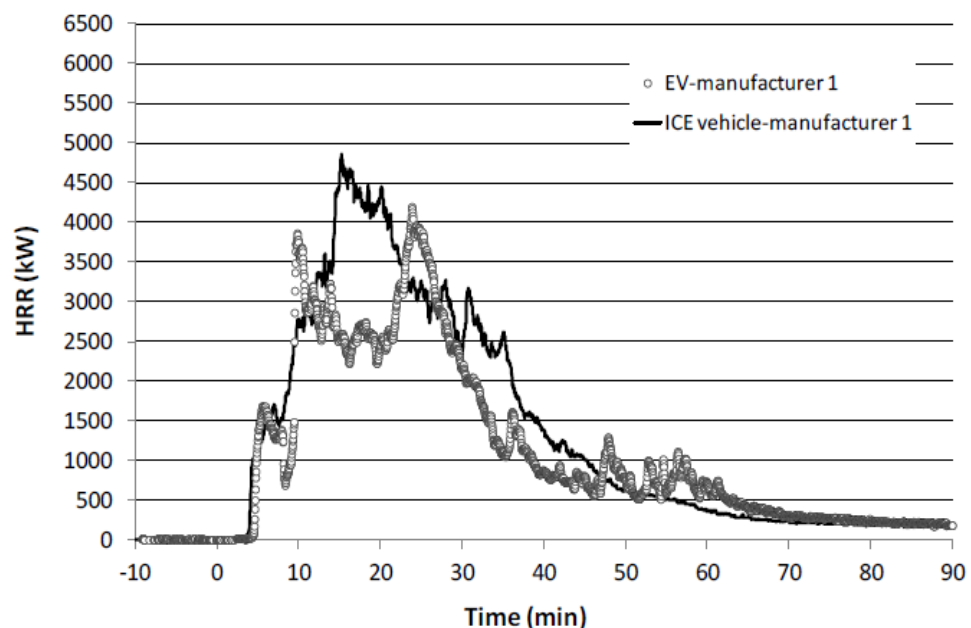
Auton palokuorma sisältää kaiken sen palavan materiaalin mitä auto pitää sisällään. Nykyaikaisten autojen keskeiset palavat materiaalit ovat muovi, verhoilumateriaali ja käytetty polttoaine. Polttomoottorikäyttöisessä autossa palokuormaan vaikuttaa polttoainetankin täyttöaste, kun taas sähköautossa vaikuttaa akuston latausaste. Yleistäen voidaan sanoa, että polttomoottorikäyttöisessä autossa ja sähköautossa palokuorman määrän ja laadun ainoa merkittävä ero on polttoaineessa – sen määrässä ja laadussa. (Bisschop ym., 2020, s. 9)

Sähköautojen akuissa monesti on tarkoituksenmukaista rajoittaa akun koosta ja painoa. Tämä ohjaa autovalmistajia valitsemaan akkukemioita, joiden energiatiheys on mahdollisimman suuri (Hassinen, 2019, s. 166). Tällaiset kemiat ovat kuitenkin paloturvallisuuden näkökulmasta riskialttiimpia, koska suurempi energiatiheys kasvattaa akun suhteellista palotehoa. Sähköautojen palotestejä on tehty maailmalla yksittäisiä, erilaisilla testiparametreilla. Ongelma testien yleistettävyydessä on se, että testit ovat tehty erilaisilla ajoneuvoilla, erilaisissa olosuhteissa ja polttotavat ovat

vaihdelleet. Näin ollen luotettavaa ja yksiselitteistä vastausta sähköautojen palotehoon on mahdotonta antaa. Yleistettävänä havaintona polttotesteissä on kuitenkin havaittu, että latausasteella on selkeä merkitys palotehoon (suurempi latausaste = suurempi paloteho). Toisaalta taas testit osoittavat, että latausasteen korrelaatio lämmön kokonaisvapautumisasteeseen on pienempi kuin palotehoon. (Andersson ym., 2014, s. 209)

Ranskassa on tehty vertaileva tutkimus polttokokeineen tulipalon seurannaisvaikutuksista sähköauton ja polttomoottorikäyttöisen (diesel) auton välillä. Polttokokeissa poltettiin yhteensä neljä autoa, kaksi sähkökäyttöistä täyteen ladattuna ja kaksi polttomoottorikäyttöistä, tankki täynnä. Tutkimuksessa autot sytytettiin palamaan ohjaamosta. Näin ollen tutkimuksen tuloksia sähköautojen osalta ei tutkijoiden mukaan voi välttämättä verrata tulipaloon, jossa palo on lähtenyt sähköauton litiumioniakusta liikkeelle. (Bertana ym., 2014, ss. 3-12)

Ranskan polttokokeiden tuloksissa todettiin, että maksimaalinen paloteho ja lämmön kokonaisvapautumisaste olivat lähellä toisiaan kummassakin autotyypissä. Huomionarvoinen seikka tutkimuksessa oli tosin se, että tutkijoiden mukaan palokäyttäytymiseen vaikuttavat useat auton tekniset ratkaisut, kuten vaikkapa käytetty akkukemia, akun kotelointi sekä muut tekniset suojausratkaisut. (Bertana ym., 2014, ss. 3-12)



Kuva 10. Ranskan polttokokeiden yhden polton vertailu polttomoottorikäyttöisen auton ja sähköauton palotehosta (Bertana ym., 2014, s. 6)

Toisessa polttokokeessa Japanissa poltettiin kaksi vastaavankokoista autoa, sähkökäyttöinen ja polttomoottorikäyttöinen (bensa). Tässä testissä tuloksena oli, että paloteho ja lämmön kokonaisvapautumisaste olivat sähköautossa suurempia kuin polttomoottorikäyttöisessä autossa (sähköauton paloteho 6.3 MW, polttomoottorikäyttöisen auton paloteho 2.1 MW).

Tutkijoiden mukaan kuitenkin palon seurannaisvaikutukset olivat riskimielessä suurin piirtein saman tasoisia kummassakin autotyypissä. (Ogava ym., 2012, ss. 198-205)

Monikansallinen tutkimusryhmä julkaisi 2020 vuoden alussa tutkielman, jossa oltiin perehdytty laajalti sähköautojen litiumioniakkupaloihin. Tutkimusryhmän laskelmien perusteella he totesivat, että olemassa olevan tiedon perusteella sähköautojen palot ovat paloteholtaan verrattavissa polttomoottorikäyttöisten autojen palotehoon. Keskeisinä eroina kuitenkin havaittiin, että sähköauton palo saattaa tuottaa myrkyllisiä kaasuja enemmän kuin polttomoottorikäyttöisen auton palo. Lisäksi akun uudelleensyttymisriskin vuoksi sähköautopalon sammuttaminen on tavanomaista autopaloa haasteellisempaa. Bisschop ym., 2020, s. 30)

3.4 Kemialliset altisteet

Yhdysvalloissa tehtiin vuosina 2012 ja 2013 täysimittaisia sähköautojen polttokokeita. Polttokokeissa havaittiin, että kaikissa testipoltoissa muodostui runsaasti valkoista savua autojen akustoista, niiden purkautuessa. Valkoista savua muodostui monesti myös silloin kun näkyvää savua ei ollut havaittavissa. Savunmuodostusta seurasi yleensä akun syttyminen liekki-paloon. Polttokokeiden perusteella havaittiin, että sähköautojen paloista muodostuu poikkeuksetta merkittäviä määriä ihmisille ja ympäristölle vaarallista savua. Huomionarvoista on toki se, että myrkyllistä savua muodostuu palaessa aina. (Blum ym., 2013, s. 188)

Akkupalon yhteydessä suurin osa palavista kaasuista palaa pois. Kuitenkin tilanteessa, jossa hapen saanti on rajattu, tai muu syy estää palamisreaktion, voi palotilaan kertyä vaarallinen määrä räjähtäviä kaasuja. Tämä voi puolestaan muodostaa sopivan syttymiskelpoisen ilma-kaasuseoksen, joka voi pahimmillaan aiheuttaa räjähdysten, mikäli tilaan tulee riittävä määrä happea esimerkiksi oven aukaisun yhteydessä. (Hassinen, 2019, s. 171).

Toisin kuin lyijyakuissa, litiumioniakuissa ei yleensä ole merkittäviä määriä nestemäistä elektrolyyttiä. Tämän johdosta tulipaloissa tai kolareissa akuista ei vaurioituneenakaan valu ulos merkittäviä määriä vaarallisia kemikaaleja. Kuitenkin on tiedostettava, että akun sisällä olevat kemikaalit ovat myrkyllisiä. Lisäksi halvimmissa litiumioniakuissa saattaa olla nestemäistä elektrolyyttiä, joka on esim. lyijyakkujen rikkihappoa vaarallisempaa. (Bröckl ym., 2017, s. 11)

Sähköautopalojen keskeinen vaaratekijä on termisestä karkaamisesta leviävät myrkylliset palokaasut. Riippuen käytetystä akkukemiasta, seuraavia myrkyllisiä aineita ja yhdisteitä voi vapautua litiumioniakun palosta (Gaia Consulting Oy, 2019, s. 11):

- litiumkobaltiitti, litiumheksafluorofosfaatti, dietyylikarbonaatti, etyleenikarbonaatti, propyleenikarbonaatti, alumiini, kupari, polyvinyyli-deenifluoridi ja bifenyyl

- CO, CO₂, karbonaatit, bentseeni, tolueni, styreeni, bifenyylit, akroleiini
- Fluorideista vetyfluoridi (HF), fosforyylifluoridi ja fosforipentafluoridi
- Vetykloridi HCl.

Keskeisin ja vaarallisin termisessä karkaamisessa vapautuva myrkyllinen aine on vetyfluoridi (HF, fluorivety). Fluorivedyn pitoisuudet ilmassa aiheuttavat silmien ja hengitysteiden ärsytystä. Suuret pitoisuudet (yli 5 ppm, 4mg/m³) fluorivetyhöyryjä voivat aiheuttaa hengitysteiden syöpymisvammoja, keuhkopöhöä ja sydämen rytmihäiriöitä. Fluorivetyhappo imeytyy ihon läpi nopeasti syvälle kudoksiin ja saattaa aiheuttaa jopa kuoleman. (Työterveyslaitos, 2017)

Akuutin kemikaalipäästön aiheuttaman terveysriskin arviointiin käytetään Suomessa yleensä yhdysvaltalaisia akuutin altistumisen raja-arvoja (PAC-arvoja). Yhtenä esimerkkinä AEGL-arvot (Acute Exposure Guideline Level) on määritetty usealle eri altistusajalle. Laskelmien perusteella litiumioniakkupalon kolmen tunnin altistuminen fluorivedylle on yli 10-kertainen AEGL₃-arvoon verrattuna. Myrkyllisyyttä voidaan myös mitata arvioimalla alinta haitalliseksi tunnettua pitoisuutta (HTP-arvo). Kahdeksan tunnin altistuminen on 350-kertainen kahdeksan tunnin HTP_{8h}-arvoon verrattuna. (Laitinen, 2020, ss. 21-22)

Fluorivedyn pitoisuus on eri polttokokeissa vaihdellut, kun on verrattu sähköauton ja polttomoottorikäyttöisen auton palo- ja savukaasuja. Fluorivetyjä kuitenkin muodostuu käyttövoimatyyppistä riippumatta autopalossa. Eräissä polttokokeissa arvioitiin, että sähköauton palossa muodostuu noin kaksinkertainen määrä fluorivetyjä kuin polttomoottorikäyttöisen auton palossa (Bisschop ym., 2020, s. 13). On kuitenkin huomionarvoista, että pitoisuudet ovat hyvin riippuvaisia tilan koosta ja ilmanvaihdosta. Pienessä, huonosti tuulettuvassa tilassa pitoisuudet ovat suuria. On myös havaittu, että litiumioniakkupalossa sammutusveden päästessä akkuihin, fluorivedyn vapautuminen nopeutuu. (Amon ym., 2019, s. 45)

Sähköautojen palossa syntyy myös hiilipohjaisten materiaalien palaessa esim. hiilimonoksidia – aivan kuten polttomoottorikäyttöisen auton palossa. Toistaiseksi ei ole tiedossa, että onko hiilimonoksidit vaarallisempia sähköautopalossa kuin polttomoottorikäyttöisen auton palossa. Arvioita on kuitenkin esitetty, että akusta vapautuvat höyryt ja kaasut palamattomina aiheuttavat vaarallisen yhdistelmän. Palamattomat kaasut saattavat aiheuttaa myös kaasuräjähdyksen, mikäli tilan pitoisuudet kasvavat otollisiksi. (Amon ym., 2019, s. 46)

Akkukemiasta riippuen fluoripohjainen materiaali litiumioniakun sisällä saattaa palaessaan muodostaa myös fosforyylifluoridia (POF₃). Tämä saattaa olla myrkyllisempää kuin fluorivety. Fluorivedyn myrkyllisyys on tutkimustiedon pohjalta hyvin tiedossa, mutta fosforyylifluoridista ei vielä ole tarpeeksi tutkittua tietoa. (Andersson ym., 2014, s. 215)

4 SAMMUTUS- JA PELASTUSTOIMINTA SÄHKÖAUTOPALOISSA MAANALAISSA PYSÄKÖINTILAITOKSISSA

On siis selvää, että litiumioniakun palaessa autopalon sammuttaminen eroaa merkittävästi ”tavanomaisesta” autopalon sammuttamisesta. Tämän vuoksi onkin tärkeää, että pelastustoimi on varautunut näihin poikkeuksellisiin tulipaloihin oikeanlaisilla taktiikoilla, koulutuksella ja kalustolla.

Litiumioniakun palaessa on olemassa tiettyjä yleispäteviä ilmiöitä. Palon sammuttamisen haasteista keskeisimpinä voidaan nostaa esille seuraavat (Gong ym., 2017, s. 2):

- Nopea ja pitkäkestoinen palotapahtuma
- Korkea lämpötila
- Suuri vedenkulutus
- Akuston sammuttamisen/jäähdyttämisen vaikeus, hyvän koteloinnin ansiosta.

Eri sähköautovalmistajat tarjoavat pelastustoimelle ohjeita, kuinka toimia onnettomuus- ja tulipalotilanteissa eri automallien kanssa. Seuraavassa lisätauksessa on muutamia poimintoja Tesla Model 3 – automallin ohjeesta (Tesla Inc, 2019a, s. 22):

- Käytä vettä korkeajänniteakun tulipalon sammuttamiseen
- Akun sammuttamiseen voidaan tarvita noin 3000 gallonaa (11 356 litraa) vettä, jota ruiskutetaan suoraan akkuun sen sammuttamiseksi ja jäähdyttämiseksi
- Akkupalon sammuttaminen voi kestää enimmillään 24 tuntia
- Joissakin tilanteissa on harkittava, annetaanko akun palaa siten, että palokaasuille altistuminen ehkäistään
- Kun ajoneuvossa on ollut tulipalo, koko ajoneuvossa voi olla jännite
- Palavasta tai kuumentuneesta akusta vapautuu myrkyllisiä höyryjä
- Nämä höyryt voivat sisältää haihtuvia orgaanisia yhdisteitä, vetykaasua, hiilidioksidia, hiilimonoksidia, nokea, hiukkasia, jotka sisältävät nikkeliä, alumiinia, litiumia, kuparia, kobolttia ja fluorivetyä.

Sähköauton akkupalo pitää siis merkittävän määrän erilaisia huomioitavia asioita kuin ”tavanomainen” autopalo. Tämä aiheuttaa suuren paineen pelastustoiminnan johtajalle – riskit kun ovat tavanomaista suuremmat niin sivullisille, kuin myös pelastushenkilöstölle.

Maanalaisissa tiloissa sähköautojen akkupalon haastavuus korostuu. Mikäli termistä karkaamista ei saada pysähtymään, niin tulipalo litiumiakustossa voi syttyä uudelleen jopa useita tunteja ensimmäisen sammutusyrityksen jälkeen. Tämän vuoksi onkin keskeistä, että palanut tai palava

auto saataisiin siirrettyä pois maanalaisista tiloista. Haasteena tässä on oikeanlaisen kaluston ja henkilöstön löytäminen tähän operaatioon.

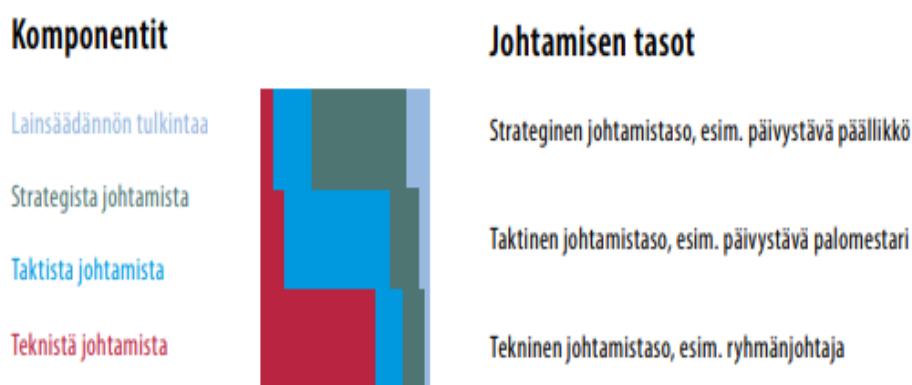
4.1 Pelastustoiminnan johtaminen sähköautopaloissa maanalaisissa pysäköintilaitoksissa

Pelastuslaitosten tehtäviä, vastuita ja velvollisuuksia määritellään pelastuslaissa (379/2011). Pelastuslain tavoitteena on parantaa ihmisten turvallisuutta ja vähentää onnettomuuksia. Lain tavoitteena on myös, että onnettomuuden uhatessa tai tapahduttua ihmiset pelastetaan, tärkeät toiminnot turvataan ja onnettomuuden seurauksia rajoitetaan tehokkaasti niin, että ihmisille, omaisuudelle ja ympäristölle aiheutuvat haitat jäävät mahdollisimman vähäisiksi. (Pelastuslaki 379/2011 § 1)

Pelastustoiminnan johtajalla tarkoitetaan yhden tai useamman pelastusmuodostelman tilanteenaikaista johtajaa (Pelastuslaitosten kumppanusverkosto, 2016, s. 4). Pelastusmuodostelmien johtamistasot muodostuvat johtamisen vaativuuden ja monimutkaisuuden sekä päätöksentekotason kautta. Organisatorisesti päätöksentekojatasoja on tällä hetkellä tyypillisesti kolme (Sisäministeriö, 2018a, ss. 16-17):

- pelastusryhmän johtaja
- päivystäjä palomestari
- päivystävä päällikkö.

Pelastusmuodostelmien koot vaihtelevat eri tehtävien vaativuuden mukaan. Pelastusryhmä koostuu johtajasta, vähintään kolmesta ja enintään seitsemästä henkilöstä sekä tehtävän mukaisista ajoneuvoista ja kalustosta. Pelastusjoukkue koostuu johtajasta ja vähintään kahdesta ja enintään viidestä pelastusryhmästä. Pelastuskomppania koostuu johtajasta, pelastustoiminnan johtajaa avustavasta esikunnasta, vähintään kahdesta ja enintään viidestä pelastusjoukkueesta. Pelastusjoukkuetta johtaa yleensä päivystävä palomestari ja pelastuskomppaniaa päivystävä päällikkö. (Sisäasiainministeriö, 2012, s. 5)



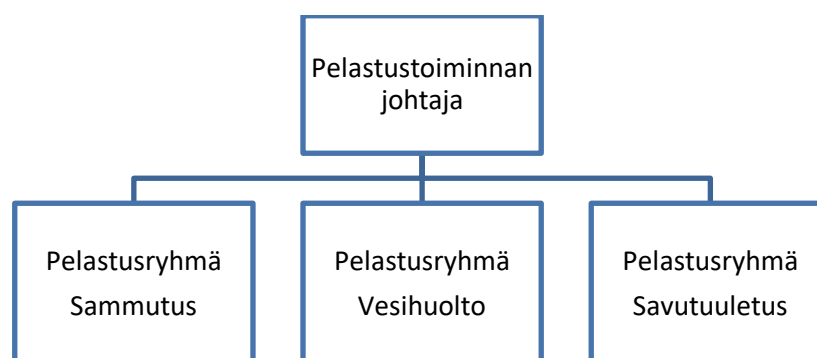
Kuva 11. Pelastustoiminnan johtamisen eri tasot ja niissä käytettävät komponentit (Sisäministeriö, 2018, s. 16)

Pelastustoiminnan johtaja on siltä pelastustoimen alueelta, jossa onnettomuus tai vaaratilanne on saanut alkunsa, jollei toisin ole sovittu. Pelastustoimintaa johtaa pelastusviranomainen. Jos pelastustoimintaan osallistuu useamman toimialan viranomaisia, tilanteen yleisjohtajana toimii pelastustoiminnan johtaja. Yleisjohtaja vastaa tilannekuvan ylläpitämisestä ja toiminnan yhteensovittamisesta. (Pelastuslaki 379/2011 § 34 ja § 35)

Pelastuslaki määrittää pelastustoiminnan johtajalle laajat toimivaltuudet. Lain mukaan tulipalon sammuttamiseksi ja sen leviämisen estämiseksi sekä muun onnettomuuden torjumiseksi ja vahinkojen rajoittamiseksi sekä vaaran välttämiseksi pelastustoiminnan johtajalla on oikeus, jos tilanteen hallitseminen ei muutoin ole mahdollista (Pelastuslaki 379/2011 § 36):

- määrätä ihmisiä suojautumaan
- ryhtyä sellaisiin välttämättömiin toimenpiteisiin, joista voi aiheutua vahinkoa kiinteälle ja irtaimelle omaisuudelle
- määrätä antamaan käytettäväksi rakennuksia, viesti- ja tietoliikenneyhteyksiä ja välineitä sekä pelastustoiminnassa tarvittavaa kalustoa, välineitä ja tarvikkeita, elintarvikkeita, poltto- ja voiteluaineita ja sammutusaineita
- ryhtyä muihinkin pelastustoiminnassa tarpeellisiin toimenpiteisiin.

Pelastustoiminnan johtajan tehtävänä on antaa alaisilleen käskyt ja ohjeet, koordinoita sammutus- ja pelastustoimintaa, päättää tarvittavista lisäresursseista, vastata tiedottamisesta, raportoida muita tarvittavia yhteistointatahoja ja vastata työturvallisuudesta. Pelastustoiminnan johtajan tehtävä on myös vastata käytössä olevien pelastusryhmien toimintajaoituksesta ja niiden vastuualueiden jakamisesta. (Kaukonen, 2005, s. 35)

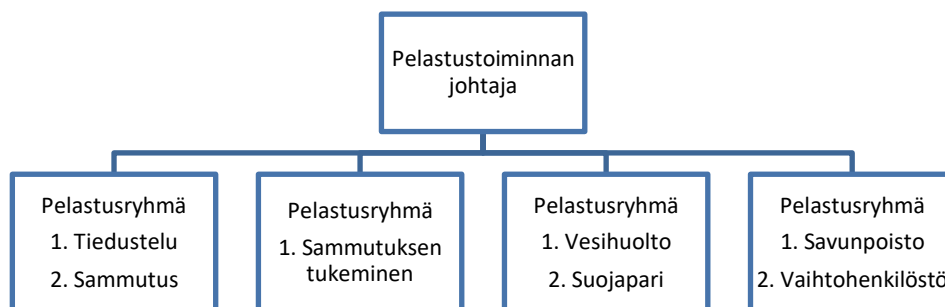


Kuva 12. Esimerkki pelastusjoukkueen toimintajaoituksesta (Kaukonen, 2005, s. 35)

Jos tarkastellaan sähköautopaloa maanalaisessa pysäköintilaitoksessa, niin tarvittava pelastustoiminnan muodostelma on poikkeuksetta vähintään pelastusjoukkue. Mahdollista toimintajaoitusta ja pelastustoiminnan etenemistä voidaan hahmotella Ranskassa tehdystä ohjeituksesta, jossa on kuvattu sähköautopalon sammuttamisen eteneminen (mukailien Cardou ym., 2018, ss. 55-67):

1. Tiedustelu
 - Onnettomuusajoneuvon sijainti
 - Työturvallisuuteen vaikuttavat tekijät
 - Vaarat sivullisille
 - Palon merkkien lukeminen (akkupalo vai ”tavanomainen autopalo”)
 - Onko auto latauksessa, onko latauspisteen virta katkaistavissa
2. Pelasta
 - Palavan ajoneuvon välittömässä läheisyydessä olevat
 - Muut välittömässä vaarassa olevat (esim. pysäköintilaitoksen yksi palo-osasto)
3. Sammuta
 - Sammutushyökkäys vähintään kahdella sammutusparilla
 - Vedensaanti tulee olla varmistettu (paloposti- tai säiliöautoselvitys)
 - Hyödynnettävä paloteknisiä järjestelmiä kuten mahdollista sammutuslaitteistoa tai savunpoistolaitteistoa
 - Savunpoistoa voidaan käyttää harkinnan mukaan ennen kuin palon sammutus on käynnissä
 - Lämpökameraa käytettävä arvioitaessa, että onko palo päässyt sähköauton akustoihin
 - Akkuja pyrittävä jäähdyttämään jatkuvalla vesivirralla (mistä liekki lyö ulos, sinne voi suihkuttaa vettä)
4. Jälkitoimenpiteet
 - Jälkivahinkojen torjunta, sammutusjätevesi huomioiden
 - Poliisin teknisen tutkinnan huomioiminen
 - Pelastushenkilöstön ja palokohteen huolto ja puhdistus
 - Jälkivartiointi niin kauan, kunnes voidaan varmistaa, että akku on jäähtynyt
 - Vaihtoehtoisesti hinaus pysäköintilaitoksesta pois ja sijoitus vähintään 15 metrin päähän muista ajoneuvoista tai rakennuksista.

Kuvassa 13 on esimerkki miltä pelastusjoukkueen toimintajaotus voisi näyttää sähköautopalossa maanalaisessa pysäköintilaitoksessa. Esimerkistä on huomioitava, että siinä olevat tehtäväkokonaisuudet koskevat tilanteen alkuvaihetta. Palon edetessä tulee muita tehtäviä pelastustoiminnan johtajan hoidettavaksi, joita voi olla esimerkiksi paineilmahuollon järjestäminen ja palaneen sähköauton hinaus erikseen määriteltyyn turvalliseen paikkaan.



Kuva 13. Esimerkki pelastusjoukkueen toimintajaotuksesta mukailien ranskalaisten ohjeistusta sähköautopaloon

4.1.1 Resurssit

Hätäkeskuslaitos tuottaa hätäkeskuspalvelut koko Suomeen, Ahvenanmaata lukuun ottamatta. Hätäkeskusten tehtävänä on ottaa vastaan pelastus-, poliisi-, sosiaali- ja terveystoimen toimialaan kuuluvia hätäilmoituksia, sekä muita ihmisten, ympäristön ja omaisuuden turvallisuuteen liittyviä ilmoituksia ja välittää ne edelleen eri viranomais- ja yhteistyötahoille. (Hätäkeskuslaitos, 2020)

Hätäkeskuksen otettua vastaan hätäpuhelun, hätäkeskuspäivystäjä tekee riskinarvioinnin, jonka perusteella määrittyy onnettomuuspaikalle hälytettävät viranomaiset, onnettomuuden tehtävälaji, kiireellisyys ja tarvittava vaste. Riskinarviointi eri tehtävätyyppeihin on tehty yhteistyössä eri viranomais- ja yhteistyötahojen kanssa. Riskiarvioinnin ja käytettävissä olevien resurssien pohjalta muodostuu, hälytysvaste. Hälytysvaste koostuu paikalle hälytetyistä eri tahoista ja yksiköistä. (Insta DefSec Oy, 2015, s. 3)

Eri tehtävälajien määritelmät ja kiireellisyysluokkien kriteeristön määrittelee kukin toimiala erikseen. Mietittäessä sähköautopaloo (liikennevälinepaloo) maanalaisessa tilassa, hälytyksen perusteena oleva tehtävätyyppi on jokin seuraavista (Sisäministeriö, 2018b, ss. 28-29):

1. 414 Liikennevälinepalo maan alla: pieni
 - Liikennevälinepalon epäily maanalaisessa tilassa, savun hajua/käryä, vaaleaa savua auton alta, varmuudella sammunut tai sammutettu palo
 - Ei pelastettavia
2. 415 Liikennevälinepalo maan alla: keskisuuri
 - Yksittäisen pienikokoisen (esim. henkilöauto, pakettiauto, moottoripyörä) liikennevälineen palo maan alla
 - 1 pelastettava
 - Voi olla myös sammunut palo, joka savuttaa edelleen, ei varmuudella sammunut
3. 416 Liikennevälinepalo maan alla: suuri

- Pakettiautoa suuremman liikennevälineen (esim. juna, metro, kuorma-auto, linja-auto) palo maan alla
- Kahden tai useamman liikennevälineen palo
- Leviämisvaara viereisiin ajoneuvoihin
- Pelastettavia 2 tai enemmän.

Kukin pelastuslaitos määrittelee eri tehtävätyyppien perusteella hälytettävän vasteen itsenäisestä. Seuraavassa esimerkkinä Helsingin kaupungin pelastuslaitoksen hälytysvasteet yllä oleviin tehtävälajeihin (Helsingin kaupungin pelastuslaitos, 2015):

- 414 Liikennevälinepalo maan alla: pieni; P, 1, 3, 5
- 415 Liikennevälinepalo maan alla: keskisuuri; P, 1, 1, 1, 3, 5
- 416 Liikennevälinepalo maan alla: suuri; P, P, 100, 1, 1, 1, 1, 3, 3, 5

(P = palomestari, 1 = sammutusyksikkö, 3 = säiliöyksikkö, 5 = pioneeriyksikkö, 100 = johtokeskusyksikkö).

Yllä olevasta voidaan päätellä, että yhden sähköauton palossa hälytettävä vaste todennäköisesti tilanteen alkuvaiheessa on *415 Liikennevälinepalo maan alla: keskisuuri*. Tarkoittaa siis sitä, että käytössä olevat pelastusryhmät vastaavat hyvin kuvan 13 mukaista esimerkkitoimintajaotusta.

4.1.2 Yhteistoiminta muiden toimijoiden kanssa

Kuten aikaisemmin on todettu – pelastuslaki antaa pelastustoiminnan johtajalle laajat toimivaltuudet onnettomuustilanteen hoitamiseksi (Pelastuslaki 379/2011 § 36). Sähköauton palo maanalaisessa pysäköintilaitoksessa onkin tilanne, jossa näitä toimivaltuuksia käytettäneen.

Riippuen maanalaisesta pysäköintilaitoksesta – henkilö- ja omaisuusvahingot voivat onnettomuuden sattuessa olla merkittävät. Nykytrendin mukaisesti suurten asunto- ja liikekompleksien yhteyteen rakennetaan laajoja maanalaisia pysäköintilaitoksia. Näin ollen maanalaisesta pysäköintilaitoksesta voi olla porrashuone- ja muita yhteyksiä, esimerkiksi asuinrakennusten porrashuoneisiin, kauppakeskustiloihin tai vaikkapa hoitolaitostiloihin. Onnettomuustilanteen hallintaan saamiseksi pelastustoiminnan johtajan yksi keskeinen tehtävä on toimia moniviranomaisyhteistyön yhteen sovittajana (Pelastuslaki 379/2011 § 35). Lisäksi pelastustoiminnan johtajan tehtävä on vastata mahdollisista kolmannen sektorin toimijoista ja heidän käyttämisestä pelastustoimintaan – pelastuslain (§ 35) mukaisesti tilanteen yleisjohtaja voi muodostaa avukseen viranomaisten, laitosten ja toimintaan osallistuvien vapaaehtoisten yksiköiden edustajista koostuvan johtoryhmän, ja kutsua asiantuntijoita avukseen.

Keskeisiä yhteistyötahoja maanalaisessa tilassa tapahtuvassa sähköautopalossa voivat olla esimerkiksi seuraavat toimijat:

- hätäkeskus (hälytyksen välittäminen, lisätiedot, vaaratiedottaminen)
- ensihoito (altistuneiden hoitaminen)
- poliisi (tutkinta, liikenteenohjaus)
- järjestyksenvalvojat (alueen eristäminen, kulun rajoittaminen)
- sähkölaitos (sähköpuolen asiantuntija)
- ympäristöviranomaiset (jälkivahinkojen arviointi)
- vesilaitos (sammutusvesien laskeminen viemäriin)
- media (tiedottaminen).

4.2 Sähköautopalon sammuttaminen maanalaisissa pysäköintilaitoksissa

Liikennevälinepalossa maanalaisessa pysäköintilaitoksessa taktisen päätöksenteon tueksi tarvitaan tieto palavasta autosta – onko kyseessä polttomoottorikäyttöinen auto, hybridauto vai sähköauto. Tämä tieto vaikuttaa sammutus- ja pelastustoiminnan aloittamisesta aina tehtävän jälkeiseen huoltoon.

Karkeasti jaettuna sähköautopalon akkupalon hallintaan saamiseen on kaksi eri vaihtoehtoa: termisen karkaamisen pysäyttäminen tai hallittu poltto. Jälkimmäinen ei usein ole mielekäs vaihtoehto, koska palo voi kestää akustosta riippuen tunteja. Näin ollen yksi ratkaisu on palaneen/palavan auton hinaaminen pois pysäköintilaitoksesta. Tämä on monesti haastava matalissa pysäköintilaitoksissa, joihin kaikki hinausautot eivät mahdu. Lisäksi akkujen uudelleensyttymisriskin vuoksi ulkopuolisen hinausauton kuljettajan päästäminen palotilaan voi olla huono ratkaisu.

Mikäli palanut auto saadaan pois maanalaisesta pysäköintilaitoksesta, niin yhdeksi ratkaisuksi eri puolilla maailmaa on otettu käyttöön ns. ”sammutuskontti”, johon palavan sähköauton voi upottaa. Esimerkiksi Teslan Model 3 –automallin valmistajan toimintaohjeessa kehoitetaan varautumaan yli 11 000 litralla sammutusvettä. Lisäksi ohjeen mukaan uudelleensyttymisvaaran vuoksi sammutettua autoa tulisi säilyttää avoimella alueella – 15 metrin päässä mistä tahansa altistuslähteestä. Lisäksi ohjeessa mainitaan, että akkupalon sammuminen voi kestää enimmillään 24 tuntia. Sammutuskontti onkin yksi varteenotettava vaihtoehto, mikäli muut toimenpiteet eivät ole syystä tai toisesta mahdollisia. (Tesla Inc, 2019a, s. 22)



Kuva 14. BMW i8 –sähköauton siirto sammutuskonttiin. (Brandweer Nederland, 2019)

4.2.1 Tunnistaminen

Kuten mainittua – keskeinen tekijä autopalon sammuttamisessa on tunnistaa palava ajoneuvo. Arvioitaessa, että onko palava auto sähkökäyttöinen, helpoin tapa on katsoa auton pysäköintipaikkaa – onko kyseessä sähköauton latauspaikka vai tavanomainen pysäköintipaikka. Myös – riippuen palo- ja savutilanteesta – autossa olevat merkinnät voivat kertoa käytettävän polttoainemuodon.



Kuva 15. Toyotan käyttämä sähköauton merkintä "EV". (PluginCars.com, 2013)

Mikäli arviossa on päädytty siihen, että palon kohteena on sähköauto, niin seuraava arvioitava seikka on palon sijainnissa – onko kyseessä akkupalo vai tulipalo jossain muussa auton osassa? Lisäksi keskeistä on arvioida, että onko akun ulkopuolinen tulipalo voinut nostaa akkupaketin lämpötilaa

niin, että terminen karkaaminen on päässyt käynnistymään. Keskeisiä työkaluja tähän ovat lämpökamera sekä, esim. Crash Recovery System, josta nähdään akkupaketin sijainti autossa.

Sähköauton akkupalolle on olemassa muutamia tyypillisiä piirteitä, joista tulipalon laadun voi arvioida. Seuraavat merkit saattavat johtua litiumioniakkupalosta (Blum ym., 2013, s. 186, Andersson ym., 2014, s. 214 & Hassinen, 2020, s. 7):

- Lämpötilan nousu akustossa, vaikka ulospäin näkyvä liekkipalo on sammutettu
- Suhahtavat tai paukahtavat äänet (syntyvät akkusylinterin sisällä olevien kaasujen purkautuessa, kun akun rakenne pettää paineen noustessa)
- Kaasujen vapautumisesta seuraava valkoinen savu
- Kipinöiden purkautuminen
- Tulipalosta aiheutuvat heitteet
- Akun turpoaminen.

Karkeasti siis jaoteltuna sähköautojen palot voidaan jakaa kahteen:

1. Palo muualla kuin akustossa -> tavanomainen autopalon sammutustaktiikka
2. Palo akustossa -> sähköautopalon sammutustaktiikka.

4.2.2 Sammuttaminen

Litiumioniakkupalossa on tärkeä ymmärtää oikeanlainen sammutustaktiikka ja perusteet sille. Litiumakkuja on periaatteellisesti kahta eri tyyppiä – ladattavia akkuja ja ei ladattavia paristoja. Litiumparistoissa anodimateriaali on litiummetallia, joten vesi ei ole soveltuva sammute. Vaihtoehtoina tällaisessa palossa voivat olla esimerkiksi D-luokan sammute tai vaikkapa hiekka. Sähköautoissa käytettäviin ladattaviin litiumakkuihin vesi on todettu tehokkaimmaksi sammutteeksi. (Hassinen, 2019, s. 163)

Kuvassa 9. on nähtävissä litiumioniakun palamiseen tarvittavat tekijät: palava aine, happi ja sopiva lämpötila. Sähköauton akustossa saattaa olla yli 1000 erillistä akkukennoa, jotka voivat termisessä karkaamisessa osallistua palotapahtumaan. Näin ollen palavan aineen poistaminen ei yleensä ole vaihtoehto sammutustaktisesti. Palotapahtumassa (metallien pelkistyessä) myös happea vapautuu, joten sen poistaminen ei käytännössä ole mahdollista. Näin ollen ainoaksi sammutusvaihtoehdoksi jää lämpötilan lasku siten, että termisen karkaamisen aiheuttama ketjureaktio päättyy.

Palotapahtuma käynnistyy yleensä yksittäisestä akkukennosta, josta se siirtyy lämpötilan noustessa seuraavaan. Riippuen käytetystä akkukemi-

asta, terminen karkaaminen akkukennossa saattaa käynnistyä jo 80 asteessa. Termisen karkaamisen käynnistyttyä yksittäisen akkukennon pintalämpötila saattaa nousta yli 500 asteeseen. Näin ollen selvää on, että jäädytykseen tarvittava vesimäärä on suuri. Mikäli lämpötila ei saada laskettua riittävästi, terminen karkaaminen jatkuu ja lämpötila jatkaa kohoamistaan. (Hassinen, 2019, s. 170)

Tehdyissä palokokeissa ongelmana on ollut se, että ne ovat usein käsittäneet yksittäisen akkukennon palon. Laajamittaisia sähköauton akkupaloja ei ole tutkittu laajemmin. Selvää on kuitenkin se, että sammuttaminen on siis käytännössä akkukennon jäädyttämistä. Ongelmaksi tässä muodostuu se, että akkupaketit ovat yleensä tiiviitä ja hyvin suojattuja. Lisäksi ne sijaitsevat monesti paikoissa, joihin on vaikea päästä käsiksi (esim. sähköauton lattian alla). (Amon ym., 2019, s. 65)

Yhdysvalloissa tehtiin vuoden 2013 aikana hybridi- ja sähköauton akkujen polttokokeita autopalosimulaattorissa. Polttokokeissa havaittiin seuraavat tekijät palon sammuttamisesta (Blum ym., 2013, ss. 186-189):

- Liekkipalon sammuttaminen ei pysäyttänyt termistä karkaamista, kaikissa kokeissa akut syttyivät uudelleen ”ensimmäisen sammutuksen” jälkeen
- Ennen uudelleensyttymistä kuului suhahduksia ja paukahduksia, joita seurasi valkoisen höyryn purkautuminen, tämä jatkui niin kauan, kunnes akkupaketin lämpötila saatiin laskettua niin alas, ettei termistä karkaamista enää päässyt tapahtumaan
- Akkukotelon pinnan jäädyttämisen havaittiin olevan nopeampi sammutuskeino kuin suoran vesisuihkun suuntaaminen palokohteeseen
- Vesi havaittiin hyväksi sammutusaineeksi sen jäädytysvaikutuksen vuoksi
- Yhdessä polttokokeessa akku syttyi 22 tuntia ensimmäisen sammutuksen jälkeen.



Kuva 16. Kuva Yhdysvalloissa tehdystä polttokokeesta (Blum ym., 2013, s. 104)

Ennen sammuttamiseen ryhtymistä on keskeistä arvioida käytettävissä olevat voimavarat. Pelastustoiminnan johtajan tulisi varmistua, että henkilöstö- ja kalustoresurssit ovat riittävät pitkäänkin sammutus- ja jäähdytysoperaatioon. Testeissä on havaittu, että akuista purkautuu helposti syttyviä ja räjähtäviä kaasuseoksia niiden palaessa. Akun palaessa liekillä, osa näistä palaa pois. Mikäli liekipalo sammutetaan eikä jatkuvaa vesivirtaa saada akkuihin – on vaarana, että palotilaan syntyy helposti syttyvä ilma-kaasu –seos. Siksi tärkeää on varmistua ennen sammuttamista riittävästä ilmvirtauksesta (esim. savunpoistojärjestelmät) ja lisäveden saannista (huom. palopostit). (Bisschop ym., 2020, s. 7 & (Amon ym., 2019, ss. 65-66)

Vesi sammutteena siis jäähdyttää akkukennoja tehokkaasti. Vesi sitoo myös hyvin vapautuvia haitallisia palokaasuja. Myös sammutusvaahto on havaittu tehokkaaksi jäähdytysaineeksi (De Rosac, 2018. s. 6). Pitkäkestoisessa sammuttamisessa riittävän vaahtopatjan ylläpito tosin vaatisi paljon vaahtoliuosta, joten sen käytettävyyden on tavanomaista vettä heikompi. Tukahduttavat sammutusaineet (esim. hiekka tai hiilidioksidi) eivät viilennä eikä välttämättä tukahduta litiumioniakkupaloa riittävästi, koska akuissa itsessään on paloa ruokkivia yhdisteitä. (Bröckl ym., 2017, s. 28)

Sähköautojen akut sijaitsevat yleensä auton pohjassa. Tämän vuoksi tehokkaan jäähdytyksen mahdollistamiseksi voi olla tarpeen käyttää erilaisia tunkkeja, joilla autoa saadaan kallistettua siten, että jäähdytys saadaan kohdistettua suoraan auton pohjaan. Kuvassa 17. on esimerkki tämän menetelmän hyödyntämisestä.



Kuva 17. Auton kallistaminen tehokkaan jäähdytyksen mahdollistamiseksi (Archer, 2019)

4.2.3 Palaneen sähköauton hinaus

Sähköauton akkujen uudelleensyöttöriskin vuoksi ensimmäisen sammutuksen jälkeen autoa tulisi jäädä jälkivartioimaan. Eri lähteiden perusteella

uudelleensyntyminen saattaa tapahtua jopa vuorokausi ensimmäisen palon jälkeen – näin ollen ei ole tehokasta pelastustoimen resurssien käyttöä, että kohteeseen jää pelastushenkilöstöä suorittamaan pitkäkestoista jälkivartiointia. Uudelleensyntymisriskin vuoksi palanut auto olisi myös suotavaa saada pois pysäköintilaitoksesta, jotta mahdollinen uusi palo ei aiheuttaisi lisävahinkoa ulkopuolisille tai kiinteistölle.

Maanalaisissa pysäköintilaitoksissa poishinaus on hyvin haastavaa. Haasteita aiheuttavat mm. pysäköintikerrosten matala ajokorkeus, ulosajoramppien jyrkkyys, ahtaat tilat sekä esimerkiksi vaihtelevan tasoiset palotekniset järjestelmät (esim. savunpoisto).

Mahdollinen tulipalo sähköauton akustossa on saattanut myös vahingoittaa auton sähköjärjestelmää, jolla voi olla vaikutuksia sähköisesti toimiviin jarrujärjestelmiin. Esimerkiksi autovalmistaja Tesla ohjeistaa käyttämään rulla-alustoja tai pyörällisiä hinausalustoja, jos auton sähköjärjestelmä ei toimi, eikä sen vuoksi kosketusnäytöstä voida aktivoida Transport-kuljetustilaa. (Tesla Inc, 2019b, s. 30)

Tesla ohjeistaa myös mittaamaan korkeajänniteakun lämpötilaa lämpökameralla ja tätä kautta seuraamaan jäähtymisen etenemistä sammuttamisen jälkeen. Ohjeen mukaan korkeajänniteakussa ei saa olla tulta, savua tai kuumentumista ainakaan tuntiin ennen luovuttamista esimerkiksi hinausliikkeelle. Hinauksen jälkeen autoa tulisi säilyttää vähintään 15 metrin etäisyydellä muista palavista materiaaleista. (Tesla Inc, 2019b, s. 22)

Haasteen palaneen sähköauton hinaukseen tuo myös se, että muut kuin pelastushenkilöstö eivät välttämättä tunnista ja tiedosta sähköauton akkupalon riskejä. Tämän vuoksi hinausliikkeen henkilöstölle tällaiset tilanteet ovat aina hyvin poikkeuksellisia ja pelastushenkilöstön tulisi varmistaa heidän tietoisuus vallitsevista riskeistä. (Amon ym., 2019, s. 52)

Esimerkiksi Saksassa on ohjeistettu erikseen, kuinka pelastushenkilöstön tulisi luovuttaa sähköauto hinausliikkeelle. Ohjeessa otetaan kantaa mm. hinaukseen tunneleiden läpi. Ohjeen mukaisesti pelastushenkilöstön tulisi deaktivoida sähköauton korkeajännitejärjestelmä ennen luovutusta, mikäli tätä ei ole tehty pelastustöiden aikana. Ohjeessa mainitaan myös, että mahdolliset riskitekijät ja toimintaohjeet tulisi luovuttaa hinausliikkeelle kirjallisesti, ei pelkästään suullisesti. (Abert ym., 2014, s. 90)

Yhdysvalloissa on myöskin ohjeistettu toiminnasta sähköautojen hinauksen kanssa. Ohjeen keskeiset huomiotavat seikat ovat (National Highway Traffic Safety Administration, 2012, s. 10):

- Lähesty ajoneuvoa sivuilta, koska moottoriäänien puutteesta johtuen on mahdollista sanoa, että onko auto käynnissä vai ei
- Aseta auto P-vaihteelle, laita käsijarru päälle, sammuta auto ja siirrä avaimet vähintään viiden metrin päähän autosta

- Tarkista autokohtaisesta ohjeesta sopivat kiinnitys-/hinauspisteet
- Vältä kontaktia oransseihin korkeajännitekaapeleihin.

4.3 Työturvallisuus

Sähköautojen litiumioniakkupaloissa on useita työturvallisuuteen vaikuttavia tekijöitä. Palosta aiheutuvat vaarat voidaan jakaa esim. seuraavalla tavalla (Gaia Consulting Oy, 2019, s. 7):

1. Tulipalovaarat
 - Kiivas palotapahtuma
 - Palo saattaa aiheuttaa pistoliekin litiumioniakustosta
2. Kemiaalliset vaarat
 - Akusta purkautuvat nesteet ja kaasut ovat myrkyllisiä
3. Räjähdykset
 - Tulipalosta voi aiheutua räjähdyksiä ja heitteitä, akut voivat myös paineistua ilman tulipaloa
4. Sähköiskuvaarat
 - Sähköisku voi seurata vaurioituneen akun käsittelystä tai akkujen väärinkäytöstä.

Tulipalovaaraa voidaan pitää näistä merkittävimpanä, koska se aiheuttaa myös pelastushenkilöstölle ja sivullisille altistusvaaran termisessä karkamisessa purkautuvien myrkyllisten kaasujen johdosta. Teoriassa räjähdysriski akkupalossa on olemassa, mutta toistaiseksi tiedossa ei ole yhtään tapahtumaa jossa varsinainen räjähdys olisi syntynyt akkupalon yhteydessä. Tämä on kuitenkin mahdollista, jos räjähtämiskelpoisen ilma-kaasu –seoksen pitoisuus pääsee kasvamaan esimerkiksi pienessä, huonosti tuulettussa tilassa. (Abert ym., 2014, s. 96)

Sähköiskuvaara ei tulipalon sammutuksessa ole tämän hetkisen tiedon mukaan merkittävä (Abert ym., 2014, s. 97). Kuitenkin mikäli akku on vaurioitunut merkittävästi, on se huomioitava auton sammuttamisessa ja sen jälkeisessä käsittelyssä. Autovalmistajilla on toisistaan poikkeavia ohjeituksia esimerkiksi auton korkeajännitejärjestelmän katkaisusta ja toimintamalleista tulipalotilanteessa.

Sähköautoista löytyy lähtökohtaisesti pelastushenkilöstölle tarkoitettu ”katkaisusilmukka”, joka estää korkeajännitejärjestelmän virransyötön korkeajänniteakun ulkopuolelle. Onkin tärkeää pyrkiä aina tunnistamaan onnettomuuden kohteena ollut ajoneuvo, jotta pystytään eri tietokannoista arvioimaan onnettomuustilanteen hoitamiseen liittyvät tarvittavat turvallisuustoimenpiteet. Monet autovalmistajat kuitenkin ohjeistavat, että katkaisusilmukan käytöstä huolimatta auton käsittelyssä on aina toimittava siten kuin kaikki korkeajännitekomponentit olisivat jännitteellisiä. (Tesla Inc, 2019a, s. 13)

Tilannearvion perusteella yksi vaihtoehto sähköautopalossa voi olla pidättäytyminen sammuttamisesta, mikäli se on työturvallisuusseikkojen vuoksi perusteltua. Pidättäytyminen voi tulla kyseeseen esimerkiksi siinä tilanteessa, mikäli palo ei uhkaa ihmisiä tai ei palaessaan arvioida aiheuttavan merkittäviä omaisuusvahinkoja. Tällöin pelastustoimi voi antaa auton palaa hallitusti loppuun.

4.3.1 Altistuminen

Kuten aikaisemmin on todettu – sähköauton akkupalossa syntyy merkittävä määrä myrkyllisiä kaasuja. Erityisesti maanalaisissa pysäköintilaitoksissa tämä muodostuu keskeiseksi tekijäksi, kun arvioidaan sammutus- ja pelastustoiminnan työturvallisuutta.

Keskeisin haitallinen kemiallinen altiste litiumioniakkupalossa on fluorivety (HF). Arvioiden mukaan fluorivedyn vapautuminen on jopa kaksinkertainen sähköautopalossa kuin tavanomaisessa polttomootorikäyttöisen auton palossa. Polttokokeissa on havaittu, että fluorivedyn pitoisuus lähtee kasvamaan autopalon siinä vaiheessa, kun varsinainen akkupalo syttyy. Ongelma maanalaisissa tiloissa syntyy, mikäli tilaa ei saada riittävästi tuuletettua esimerkiksi ilmanvaihto- tai savunpoistojärjestelmän kautta. (2019 EV s. 13)

On myös selvää, että vettä käytettäessä kemiallisia altisteita liukenee myös sammutusveteen, joka tekee siitä haitallista. Tämä tulisi huomioida sammutustoiminnassa mahdollisten sammutusvesien talteenoton ja hallinnan suhteen, koska sellaisenaan viemäriin päässyt sammutusvesi saattaa aiheuttaa luonnossa tai jätevedenpuhdistamolla ongelmia. Tutkimuksissa on havaittu, että sammutusveden mukana kulkeutuu mm. vetyfluoridia ja vetykloridia (Blum ym., 2013, s. 188). Tämä tulisi pyrkiä huomiomaan myös sammutus- ja pelastustyön jälkeisessä jälkiraivauksessa ja jälkivahingontorjunnassa.

4.3.2 Suojautuminen

Eri tutkimuksissa ja ohjeissa suositellaan pelastushenkilöstölle sähköauton akkupalon sammuttamiseen tavanomaista paloasua ja paineilmalaitetta (esim. Blum ym., 2013, s. 187 & National Highway Traffic Safety Administration, 2012, s. 9). Erityisesti kuitenkin maanalaisissa pysäköintilaitoksissa on tärkeää arvioida tilan koko ja mahdollisten myrkyllisten kaasujen pitoisuus suljetussa tilassa (esim. mittaamalla).

Pelastusopiston tutkija Juha Laitinen vertaakin litiumioniakkupaloja kemikaalionnettomuuksiin erityisesti, kun toimitaan suljetuissa tiloissa. Laitisen mukaan lähtökohtaisesti suojaustasona toimii tavanomainen paloasu ja paineilmalaitte. Kuitenkin mikäli joudutaan pitkäaikaisesti suljetussa tilassa

suorittamaan sammutus- ja pelastustoimintaa olisi Laitisen mukaan kemikaalisuojapuvun käyttö perusteltua. Lisäksi mikäli joudutaan käsittelemään esim. vuotanutta elektrolyyttiä, tulisi käyttää kemikaalisuojakäsineitä. (Laitinen, 2020, s. 24)

Ruotsin MSB (Swedish Civil Contingencies Agency) on tutkinut, kuinka tavanomainen paloasu pystyy suojaamaan kaasumaisen fluorivedyn läpäisyltä. Tutkimuksessa kävi ilmi, että paloasu suojaa kaasuilta vain noin minuutin ajan ennen kuin se imeytyy puvun läpi ihoon. Tutkimuksessa suositellaankin, että sisätiloissa sähköauton akkupalossa tulisi harkita kaasu-tiiviin kemikaalisuojapuvun käyttöä. (Fredman ym., 2016, ss. 15-16)

Sähköautopalon jälkeen on tärkeää – kuten minkä tahansa tulipalon – huolehtia asianmukaisesta tehtävän jälkeisestä huollosta. Laitinen nostaa seuraavat tekijät esille, jotka tulee huomioida, kun suojaudutaan kemiallisilta vaaroilta sähköautopalon jälkeen (Laitinen, 2020, s. 26):

- Varusteet on riisuttava ja vaihdettava palopaikalla, likaisten varusteiden kuljetus itsesulavissa pusseissa – erillään miehistöstä
- Varusteita huollettaessa on hengitys suojattava käyttäen ABEK-P3 – luokan yhdistelmäsuodattimella varustetta hengityksensuojainta ja kemikaalisuojakäsineitä
- Sammutusvarusteiden ja -asujen pesu on tehtävä mahdollisimman nopeasti altistumisen jälkeen
- Sammutusasujen pesun tulisi sisältää esipesun, kolme varsinaista pesua ja tehokkaan huuhtelun.

4.4 Maanalaiset pysäköintilaitokset

Maanalaiset pysäköintilaitokset ovat aina haastavia kohteita suorittaa sammutus- ja pelastustoimintaa. Keskeinen haaste muodostuu siitä, että tiloissa ei ole suoraan ulkoilmaan nähden minkäänlaisia kiintopisteitä, kuten ovia tai ikkunoita. Tämä puolestaan aiheuttaa sen, että esimerkiksi tulipaloon joudutaan yleensä hyökkäämään ilman tarkkaa tietoa palotilasta tai palon laajuudesta ja voimakkuudesta. Lisäksi pitkät ja monimutkaiset poistumis- ja hyökkäysreitit aiheuttavat haasteen ihmisten evakuoinnissa ja pelastustoiminnassa.

Kohteiden haastavuus ja monimutkaisuus aiheuttavat sen, että pelastustoimi nojaa maanalaisten pysäköintilaitosten sammutus- ja pelastustoiminnassa hyvin paljon kiinteistön omaan palotekniikkaan, kuten esimerkiksi paloilmoin-, sammutus- ja savunpoistojärjestelmiin. Ongelma muodostuu siitä, että eri kohteet ovat rakennettu eri aikakausina, eri suunnittelijoiden toimesta. Näin ollen eri pysäköintilaitosten palotekniset ominaisuudet eroavat toisistaan, eikä mitään yleistä kaavaa eri kohteiden järjestyksestä ole mahdollista luoda.

4.4.1 Palotekniset vaatimukset maanalaisissa pysäköintilaitoksissa

Rakentamista ja sen vaatimuksia Suomessa säätelee Maankäyttö- ja rakennuslaki (132/1999). Rakennusten rakentamisessa, laajentamisessa tai osittain myös korjausrakentamisessa sovelletaan paloturvallisuusvaatimuksissa Ympäristöministeriön asetusta rakennusten paloturvallisuudesta (848/2017).

Ennen Ympäristöministeriön asetuksen voimaantuloa rakennusten paloturvallisuusvaatimukset tulivat Suomen rakentamismääräyskokoelman E-sarjasta. E-sarjaa on julkaistu 1976 vuodesta alkaen. Sarjan eri osat käsitelivät eri kokonaisuuksia. Osa E4 käsitteli autosuojien paloturvallisuutta, joita on julkaistu yhteensä neljänä eri vuotena. Kaikki on nyttemmin kumottu, mutta ovat sinänsä sovellettavissa kunkin aikakautensa rakennuksiin.

Esimerkiksi viimeisenä voimassa ollut osa E4 sääti pysäköintilaitosten enimmäispinta-alaa, paloteknistä suojaustasoa, palo-osastointia ja savunpoistoa. Ympäristöministeriön asetuksen tultua voimaan, siirrettiin kaikkien E-sarjan osien sisältö yhden asetuksen alle. Tämä aiheuttaa sen, että arvioitaessa eri aikakausien pysäköintilaitosten paloteknisiä ominaisuuksia on syytä tarkastella sen aikakauden määräyksiä.

Asetuksessa eri rakennukset jaetaan kolmeen eri paloluokkaan P1 (tiukin), P2 ja P3. Nykyvaatimuksia tarkasteltaessa, voidaan nostaa seuraavat keskeiset poiminnot P1-paloluokan maanalaisen pysäköintilaitosten paloturvallisuusvaatimuksista (Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017):

- Palokuormaryhmä (7 §)
 - Autosuojat kuuluvat palokuormaryhmään alle 600 MJ/m²
- Rakenteiden kantavuuden säilyttäminen (12 §)
 - Ylimmässä kellarikerroksessa, P1-paloluokassa kantavien rakenteiden luokkavaatimus R180 (180 minuuttia sortumatta, mitoituspaloissa), tai automaattisella sammutuslaitteistolla R90
 - Ylimmän kellarikerrokseen alapuolella sijaitsevat kellarikerrokset, P1-paloluokassa kantavien rakenteiden luokkavaatimus R240, tai automaattisella sammutuslaitteistolla R180.
- Palo-osastointi (14 ja 15 §)
 - P1- ja P2-paloluokassa rakennuksen eri kerrokset, kellarikerrokset ja ullakko muodostetaan eri palo-osastoiksi (kerrososastointi)
 - P1-paloluokassa maanalaisen autosuojan palo-osaston enimmäisala on:
 - Ilman automaattista palotekniikkaa 1500 m²
 - Automaattisella paloilmoittimella 2250 m²
 - Automaattisella sammutuslaitteistolla 10 000 m²
- Poistumisturvallisuus (32 §)

- Kulkureitin enimmäispituus lähimpään uloskäytävään on yleensä 45 metriä
- Savuilmaisuun perustuvalla paloilmoittimella tai automaattiselle sammutuslaitteistolla matka voi olla enintään 60 metriä.
- Savuilmaisuun perustuvalla paloilmoittimella ja automaattisella sammutuslaitteistolla enintään 70 metriä.
- Sammutusreitti (40 §)
 - Sammutusreittien on oltava kellarikerrokseen sellaiset, että kellarikerrokseen päästään maanpinnan tasolta kulkematta uloskäytävien kautta.
- Palomieshissi (41 §)
 - Palomieshissi on asennettava, kun sisäänkäyntitason alapuolissa tiloissa, kun kellarikerroksen lattian etäisyys ylittää 14 metriä rakennuksen sisäänkäyntitasosta ja kyseisen kellarikerroksen poistumisalueen pinta-ala on yli 800 m²
- Savunpoisto (42 §)
 - Kellarikerroksen tiloista on oltava savunpoistomahdollisuus niin, ettei osastoituja uloskäytäviä eikä osastoituja sammutusreittejä tarvitse käyttää savunpoistoon.
 - Jos perustellut syyt sitä vaativat, savunpoisto on järjestettävä erityistoimenpitein (esim. savunpoistoluukkujen tai -puhaltimien avulla)
- Kiinteä sammutusvesiputkisto (43 §)
 - Rakennus on varustettava kiinteällä sammutusveden siirtämiseen tarkoitetulla putkistolla, kun sisäänkäyntitason alapuolissa tiloissa, kellarikerroksen lattian etäisyys ylittää 14 metriä rakennuksen sisäänkäyntitasosta.

Rakentamis- ja paloturvallisuusmääräyksiä voidaan tarkentaa eri alakohdallisilla standardeilla ja ohjeilla. Esimerkkeinä vaikkapa RT-kortit, ST-kortit ja vaikkapa pelastuslaitosten ohjeet eri paloturvallisuuden osa-alueisiin.

Sähköautojen latauspisteiden sähköturvallisuudesta löytyy SFS 6000 – standardisarjasta omia osia. Lisäksi latauspisteiden asennuksista on julkaistu ohjeita ja suosituksia. Kuitenkaan sähköautojen latauspisteiden asennuksesta, turvallisuudesta ja erityisesti paloturvallisuudesta ei ole erillistä sääntelyä. Tämä on osaltaan aiheuttanut sen, että latauspisteitä on tullut useisiin eri kiinteistöihin ilman, että alueen pelastusviranomaisen on tietoinen niiden asennuksesta. Tietämys latauspisteiden paloturvallisuudesta ja sähköautopalojen paloriskeistä on verrattain vähäistä. Tämän vuoksi eri kohteissa turvallisuusnäkökulmia ei välttämättä ole huomioitu riittävällä tavalla ennen latauspisteiden asennusta.



Kuva 18. Sähköautojen latauspisteitä kauppakeskus REDI:ssä (IGL-Technologies, 2019)

Norjassa julkaistiin vuonna 2016 tutkimusraportti vaihtoehtoisten polttoaineiden käytöstä maanalaisissa pysäköintilaitoksissa. Raportissa suositeltiin seuraavia varautumiskeinoja kaasu- ja sähkökäyttöisten ajoneuvojen liikennöintiin maanalaisissa tiloissa (Bøe, 2016, s. 6):

- Erityisen selkeät ja helppokäyttöiset hyökkäysreitit pelastustoimelle
- Automaattinen sammutuslaitteisto tiloihin, joissa saa pysäköidä sähköautoja
- Sähköautot tulisi pysäköidä lähelle sisääntulo-/ulosajoramppia
- Pysäköityjen autojen vähimmäisväli tulisi määritellä
- Sähköasennusten turvallisuustaso tulisi määritellä.

4.4.2 Tulipalojen erityispiirteet maanalaisessa pysäköintilaitoksessa

Maanalaisissa pysäköintilaitoksissa ja yleisestikin maanalaisissa tiloissa paloturvallisuuden merkitys korostuu siitä syystä, että tulipalossa savu pyrkii leviämään ylöspäin käytettyjä reittejä. Maan alta poistumistiet johtavat lopulta aina ylöspäin. Nämä samat reitit toimivat myös henkilöiden poistumisreitteinä ja vastavuoroisesti myös pelastustoimen hyökkäysreitteinä. (Hostikka ym., 2005, s. 12)

Maanalaisista tiloista poistumisreittien kokonaispituudet muodostuvat helposti suuriksi. Lisäksi kohteen ja reittien hahmottaminen on hankalaa. Monesti maanalaisissa tiloissa joudutaan tekemään erityisjärjestelyjä turvallisen poistumisen takaamiseksi, esimerkiksi erityisten poistumisopasteiden lisäämistä ynnä muuta. (Hostikka ym., 2005, s. 12)

Lisäksi sammutus- ja pelastustoiminnan kannalta haasteen aiheuttaa se, että monesti savu ja lämpö on vaikeampi poistaa kuin maan päällä sijaitsevista rakennuksista. Tämän vuoksi esimerkiksi maanalaisissa pysäköintilaitoksissa ei sallita mitään muuta kuin autojen säilytystä. Ylimääräinen palokuorma mahdollistaa paloteholtaan suurempien palojen syntymisen, joita on maanalaisissa tiloissa syytä pyrkiä välttämään kaikin keinoin.

Autopalon sammuttaminen pysäköintilaitoksessa on haastavaa, riippumatta käytetystä energiamuodosta. Tämä johtuu tulipalon aiheuttamista olosuhteista ja eri pysäköintilaitosten vaihtelevista paloteknisistä ratkaisuista. (Bøe, 2016, s. 6)

Voidaan todeta, että tulipalot kehittyvät maanalaisissa tiloissa täysin samankaltaisesti kuin maanpäällisissä tiloissa. Keskeisin ero muodostuu sammutus- ja pelastustyön vaativuudessa ja myös henkilöiden turvallisen poistumisen takaamisessa. Kummassakin on sama keskeinen ongelma – pidemmät ja moniulotteisemmat poistumis- ja hyökkäysmatkat. Turvallinen poistuminen palotilasta on siis hitaampaa mutta myös pelastustoimen sammutus- ja pelastustoiminta pääsee käynnistymään hitaammin jolloin palo- ja omaisuusvahingoille jää enemmän aikaa syntyä ja kehittyä.

5 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on kehittää työelämää – eli käytännössä tavoitteena on ohjeistaa pelastuslaitosten toimintaa aiheesta, johon ei ole olemassa vakiintuneita käytänteitä. Työn lähtökohtana on soveltaa tutkimuksissa saatua tietoa työelämän kehittämis- ja uudistamistarpeisiin.

Opinnäytetyön tavoitteena on laatia kaksi ohjetta pelastuslaitosten käyttöön. Näin ollen voidaan sanoa, että työ on kehittämispainotteinen. Työssä on tarkoitus kehittää uusia toimintatapoja ja työkäytäntöjä. Osittain toteuttamismenetelmä työlle on toiminnallinen. (Hämeen ammattikorkeakoulu, 2017)

Kokonaisuudessaan opinnäytetyötä ei kuitenkaan voida pitää toiminnallisenä vaan se on osittain myös tutkimuspainotteinen. Jotta työn toiminnallinen osuus (ohjeet) voidaan toteuttaa, tarvitaan tutkimuksellista tietoa, joilla pyritään vastaamaan tutkimusongelman mukaisiin kysymyksiin. Työ on siis sekoitus toiminnallista ja tutkimuksellista opinnäytetyötä. (Hämeen ammattikorkeakoulu, 2017)

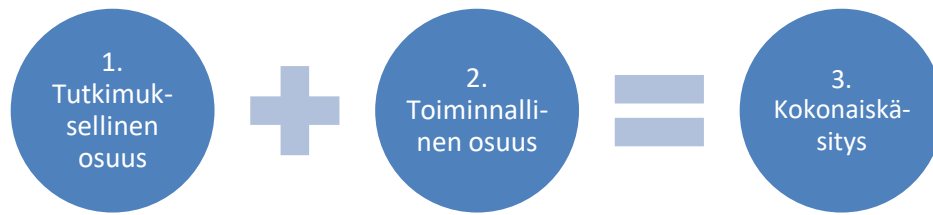
5.1 Tutkimusmenetelmä

Opinnäytetyön tutkimuksellisen osan tutkimusmenetelmä on kvalitatiivinen (laadullinen). Laadullisessa tutkimuksessa on tyypillistä, että tutkimus rakentuu aiemmista tehdyistä tutkimuksista, empiirisistä aineistoista sekä tutkijan omasta ajattelusta ja päätelmistä. (KvantiMOTV – Menetelmäopetuksen tietovaranto, 2016)

Laadullisessa tutkimuksessa pyritään ymmärtämään todellisuutta laadullisen aineiston kokoamisen ja analysoinnin avulla. Laadullisen menetelmän avulla työssä on tavoitteena luoda hajanaisesta tiedosta mielekäs, selkeä, tiivis ja yhtenäinen tutkittavaa ilmiötä kuvaava tietokokonaisuus. (Lapin AMK, 2019)

Opinnäytetyön toiminnallinen osio perustuu työelämälähtöiseen toimeksiantoon. Tavoitteena on tuottaa ohjeistuksia ja kehittämis ehdotuksia tutkittavasta aiheesta pelastustoimen käyttöön. Toiminnallisessa osiossa pyritään soveltamaan tutkimustietoa ja käyttämään tätä hankittua tietoa työelämän kehittämisessä.

Opinnäytetyössä käytettäviä tutkimusmenetelmiä ja niiden välisiä vuorovaikutussuhteita voidaan kuvata seuraavan kuvan avulla:



Kuva 19. Tutkimusmenetelmien väliset vuorovaikutussuhteet

1. Tutkimuksellinen osuus: laadullinen tutkimus tutkittuun tietoon perustuen. Lisäksi aineistonkeruumenetelmänä kyselytutkimus Euroopan pelastuslaitosten varautumismenetelmistä sähköautopaloihin maanalaisissa pysäköintilaitoksissa.
2. Toiminnallinen osuus: työelämälähtöinen osuus, jossa tehdään kehittämis ehdotuksia ja ohjeita pelastuslaitoksille tarvittavista varautumistoimenpiteistä koskien sähköautopaloja maanalaisissa pysäköintilaitoksissa.
3. Kokonaiskäsitys: työn tavoitteena on muodostaa laaja kokonaiskäsitys tarvittavista varautumismenetelmistä. Työn laadullinen tutkimusosuus luo pohjan työelämää kehittävälle toiminnalliselle osuudelle. Yhdessä nämä muodostavat työn tulokset ja johtopäätökset.

Keskeinen syy laadullisen tutkimusmenetelmän valintaan on tutkittavan aiheen luonne. Sähköautot ja etenkin niiden palot ovat pelastuslaitoksille maailmanlaajuisestikin verrattain uusi asia. Laadullisessa tutkimusmenetelmässä erityispiirre on, että tavoitteena ei ole ns. totuuden löytäminen tutkittavasta asiasta. Tutkimuksen tavoitteena on päästä tulkitsemaan tutkittavaa aihetta ja muodostaa kokonaisvaltainen ymmärrys aiheesta. (Vilka, 2015, s. 120)

Tutkimuksen osana käytettiin sähköpostitse toimitettua kyselylomaketta. Kyselylomake on yleensä määrällisessä tutkimusmenetelmässä käytetty aineiston keräämisen tapa (Vilka, 2015, s. 94). Sähköautopaloja käsittelevässä tutkimuksessa keskeistä oli kuitenkin saada kokemuksia laajalti Euroopan eri maista. Myöskään määrä itsessään ei ollut tärkeä tekijä vastauksissa, vaan haluttiin kokemuksia ja *hyviä käytänteitä* laajalti eri maista. Tämän vuoksi sähköpostitse toimitettua kyselylomaketta käytettiin tämän laadullisen tutkimuksen aineiston keräämisessä. Kyselylomakkeen vastauskohdat olivat kaikki avoimia, joten vastausvaihtoehdot eivät olleet etukäteen jäsenneltynä. Vastauksia kuitenkin käsiteltiin strukturoidusti teoreettisen viitekehyksen pohjalta.

5.2 Kohderyhmän ja tutkimusaineiston kuvaus

Keskeisenä tutkimusaineistona käytetään erilaisia tutkimusraportteja ja kirjallisuuslähteitä koskien tutkittavaa aihetta. Aihetta ei olla Suomessa

laajemmalti tutkittu, joten valtaosa teoreettisesta viitekehystä muodostuu ulkomaisista lähteistä. Tällä ei itsessään ole vaikutusta aineiston käytettävyyteen tai sovellettavuuteen Suomessa, koska haasteet pelastuslaitoksille ovat yhteneväiset ympäri maailman.

Tutkimuksen kyselyosuuden kohderyhmänä toimii Euroopan eri pelastuslaitosten henkilöstön muodostama ryhmä; European Fire Services Tunnel Group (EFSTG). Ryhmään kuuluu Euroopan eri kaupungeista pelastusalan asiantuntijoita, jotka ovat työssään erikoistuneet tunneleiden ja maanalaisten tilojen pelastustoimintaan ja palontorjuntaan.

EFSTG kokoontuu vuosittain ja vaihtaa tietoa sekä osaamista jäsenten välillä. Ryhmän luonteeseen kuuluu kysyä apua ja parhaita käytänteitä erilaisista pelastustoimintaan ja palontorjuntaan liittyvistä kysymyksistä. Tämän vuoksi on luontevaa käyttää ko. ryhmää tutkimuksen kohderyhmänä.

Suomessa lainsäädäntö sähköautojen latauspisteiden asentamiselle ja pelastustoimen varautumiskeinot sähköautojen tulipaloille ovat vasta kehityksessä. Tämän vuoksi ei ollut mielekästä ottaa suomalaisia pelastusalan henkilöitä tutkimuksen kohderyhmäksi. Käyttämällä suoria eurooppalaisia yhteyshenkilöitä kohderyhmänä, saatiin tutkimuksen laajuutta parannettua ja tulosten yleistettävyyttä sekä käytettävyyttä kohennettua.

5.3 Tutkimuksen suorittaminen

Tutkimus muodostuu teoreettisesta viitekehystä ja sen pohjalta laaditusta tutkimuskyselystä. Näiden pohjalta laadintaa johtopäätökset, jotka toimivat opinnäytetyön liitteenä olevien ohjeiden pohjana.

Tutkimuskysely lähetettiin EFSTG:n jäsenille sähköpostitse toukokuun 2020 alussa. Sähköpostissa taustoitettiin kyselyn lähtökohtia ja tavoitetta. Sähköpostissa oli linkki Questback –palautteenhallinta-alustalle, johon oli laadittu kymmenen kohdan puolistrukturoitu kyselylomake (katso liite 1). Vastausaikaa kyselylle oli toukokuun loppuun saakka.

Kyselylomakkeen kohdat muodostuvat teoreettisen viitekehysten pohjalta. Teoreettisesta viitekehystä nousi esille keskeisiä haasteita ja kysymyksiä, joita haluttiin kartoittaa Euroopasta.

Kyselylomakkeessa aineisto kerättiin standardoidusti, eli kyselylomake oli kaikille vastaajille saman sisältöinen. Kyselylomakkeessa oli kuitenkin mahdollistaa jättää vastaamatta kohtiin, mikäli niihin ei ollut mitään sanottavaa.

Kysely toteutettiin anonymisti, jotta vastaajat voisivat vastata täysin rehellisesti eri kohtiin kyselylomakkeessa. Vastausten analysoinnissa vastauksia käsitellään pelkästään maan tarkkuudella, jotta vastaukset eivät tietyn pelastuslaitoksen perusteella ole yhdistettävissä kehenkään tiettyyn

henkilöön. Kyselyssä kysyttiin vastaajan kaupunki myös, mutta saatevies-
tissä EFSTG:n jäsenille kerrottiin, että kysely analysoidaan anonyymisti.

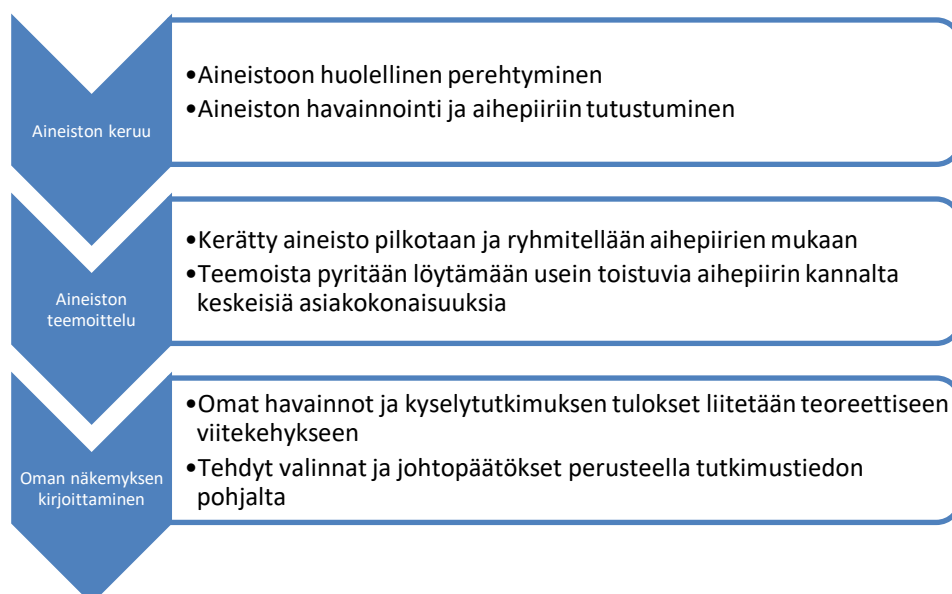
Teoreettinen viitekehys ja kyselyn vastaukset muodostivat tutkimuksen
materiaalin. Näiden pohjalta luotiin opinnäytetyön lopussa tulkinta ja seli-
tys alussa esitettyihin tutkimuskysymyksiin. Varsinainen tulkinta muodos-
tui, kun tutkimusaineisto oli luokiteltu ja sitä oli tulkittu teoreettisen viite-
kehysten avulla. Kaikki työn päätelmät ja tulokset perustuvat tutkimuksen
materiaaleihin. (Vilka, 2015, s. 156)

5.4 Tutkimustulosten analysointi

Opinnäytetyön tulosten analysoinnissa keskeinen tavoite oli saada vas-
tauksia tutkimuksen tutkimuskysymyksiin. Analysoinnin tavoitteena oli
saada erotettua työn aineistosta olennainen sisältö, jolla on merkitystä pe-
lastustoimen varautumismenetelmiin koskien sähköautopaloja maanalai-
sissa pysäköintilaitoksissa.

Laadullisen aineiston analyysiä tehtiin läpi koko opinnäytetyöprosessin.
Analyysin helpottamiseksi ja tulosten jäsentelyn nopeuttamiseksi opinnäy-
tetyöprosessin aikana pidettiin tutkimuspäiväkirjaa, johon kirjattiin työn
tekemisen aikana nousseita havaintoja. Tutkimuspäiväkirjan yhtenä tavoite-
teena oli helpottaa löytämään aineiston ”saturaatiopiste”, eli se piste
jonka jälkeen aineisto ei enää tuota uutta relevanttia tietoa tutkimuskysy-
myksiin. (Kajaanin ammattikorkeakoulu, 2019)

Aineiston sisällönanalyysiä varten käytettiin käsitekarttaa. Käsitekartan
avulla pystyttiin jäsentämään ja hahmottamaan tutkittavan aiheen koko-
naisuutta visuaalisesti. Sen avulla oli tarkoitus saada eroteltua aineistosta
olennaiset ja epäolennaiset seikat työn laatimisen kannalta. Analyysi eteni
seuraavan kuvan mukaisesti (Kajaanin ammattikorkeakoulu, 2019):



Kuva 20. Tulosten analyysin eteneminen

Tämän opinnäytetyön laadullisessa tutkimuksessa ei pyritty tilastolliseen yleistykseseen. Tavoitteena oli muodostaa mahdollisimman laaja käsitys tutkimuskysymysten mukaisista ongelmista. Analyysiä tehdessä kiinnitettiin huomiota kyselyn vastauksissa esiin tulleisiin samankaltaisuuksiin. Lisäksi kyselyn tuloksia peilattiin teoreettiseen viitekehykseen, jotta nämä tukisivat toisiaan.

5.5 Luotettavuuden arviointi

Laadullisen tutkimusmenetelmän käyttö tutkimusmenetelmänä vaatii tutkijalta yleisten eettisten periaatteiden noudattamista ja ymmärtämistä. Tutkimuseettinen neuvottelukunta on julkaisussaan *Ihmiseen kohdistuvan tutkimuksen eettisen periaatteet ja ihmistieteiden eettinen ennakoarviointi Suomessa* jakanut kaikilla tieteenaloilla tutkijaa ohjaavat yleiset periaatteet kolmeen pääkohtaan (Tutkimuseettinen neuvottelukunta, 2019, s. 7):

- Tutkija kunnioittaa tutkittavien henkilöiden ihmisarvoa ja itsemääräämisoikeutta
- Tutkija kunnioittaa aineellista ja aineetonta kulttuuriperintöä sekä luonnon monimuotoisuutta
- Tutkija toteuttaa tutkimuksensa siten, että tutkimuksesta ei aiheudu tutkittavina oleville ihmisille, yhteisöille tai muille tutkimuskohteille merkittäviä riskejä, vahinkoja tai haittoja.

Yleiset eettiset periaatteet muodostivat tämän tutkimuksen perustan. Periaatteissa korostetaan erityisesti tutkittavan henkilön itsemääräämisoikeutta. Käytännön tasolla tämä tarkoitti sitä, että kyselytutkimukseen osallistuva sai päättää itse, osallistuuko tutkimukseen vai ei. Kyselyssä ei myöskään edellytetty kaikkiin kohtiin vastaamista. Eettisten periaatteiden tarkoitus on turvata hyvät tieteelliset käytännöt – tutkimusmenetelmästä riippumatta. (Hyvärinen ym., 2017, k. 20)

Laadullisista tutkimusta tehdessä ei voida puhua samoista tekijöistä kuin määrällisen tutkimuksen luotettavuuden arvioinnissa (vrt. reliabiliteetti ja validius). Laadullisessa tutkimuksessa on kuitenkin keskeistä, että tulosten luotettavuutta ja valitun tutkimusmenetelmän luotettavuutta pystytään arvioimaan. Tämän vuoksi tässä tutkimuksessa onkin pyritty siihen, että tutkija on tutkimuksessaan kuvannut riittävän tarkasti esimerkiksi kyselytutkimuksen toteutustavat ja niiden olosuhteet. Lisäksi tulokset on dokumentoitu, jotta lähdemateriaalia voidaan tarkastella myöhemmin.

Kyselytutkimuksessa tutkimusaineisto muokattiin sellaiseen muotoon, että se on tutkimuksen kommentoijien saatavilla ja tarkasteltavissa. Näin ollen tutkimusta tehdessä otettiin huomioon kaksi luotettavuuden arviointiin liittyvää keskeistä kriteeriä: analyysin arvioitavuus ja uskottavuus. Arvioitavuus tarkoittaa, että lukijalle tarjotaan mahdollisuus seurata tutkijan päättelyä ja kritisoida sitä. (Metodix Oy, 2019, k. 10.2.1)

Laadullista tutkimusmenetelmää käytettäessä pyrittiin siihen, että tutkija pystyy arvioimaan tulkintojen yleistettävyyttä, eli sitä miten tutkimuksen tulokset pätevät todellisuudessa suhteessa tutkittavaan aiheeseen. Tämän vuoksi tutkimuksen laatimisprosessi on pyritty kuvaamaan riittävän tarkasti. Lisäksi kaikki tehdyt valinnat ja johtopäätökset perustuvat teoreettiseen viitekehykseen tai kyselytutkimukseen.

6 EUROOPAN ERI PELASTUSLAITOSTEN VARAUTUMINEN SÄHKÖAUTOPALOIHIN

European Fire Services Tunnel Groupille lähetettyyn kyselyyn vastasi yhteensä kahdeksan henkilöä, seitsemästä eri maasta. Kysely lähetettiin yhteensä 18 eri kaupunkiin, 13 eri maahan. Näin ollen vastausprosentti kaupungeittain oli 44% ja maittain 54%.

Vastauksia tuli Englannista, Hollannista, Irlannista, Norjasta, Tanskasta, Ranskasta ja kahdesta eri kaupungista Ruotsista. Vastaaajien anonymiteetin säilyttämisen vuoksi vastauksia ei eritellä kaupungeittain.

6.1 Yleisiä havaintoja

Laadullisen tutkimuksen näkökulmasta vastausten määrä oli riittävä. Vastauksista pystytään vahvistamaan teoreettisessa viitekehyksessä muodostettuja keskeisiä ongelmakohtia varautumisessa sähköautopaloihin maanalaisissa pysäköintilaitoksissa.

Verrattain kuitenkin vähäistä vastausten määrää selittää osin se, että tutkittava aihe on myös Euroopassa melko uusi, eikä asiaan ole välttämättä varauduttu eri pelastuslaitoksissa. Tämä on saattanut aiheuttaa sen, että mikäli kaupungissa ei ole varauduttu näihin tilanteisiin, ei haluta vastata tämänkaltaiseen kyselyyn. Myös keväällä 2020 vallinnut koronapandemia osaltaan saattoi vaikuttaa vastausten määrään, koska pandemia on pitänyt pelastuslaitokset ympäri Eurooppaa kiireisinä.

Osa vastaajista täydensi vastauksiaan lähettämällä sähköpostitse paikallisia ohjedokumentteja koskien sähköautopaloja. Näitä dokumentteja on osittain hyödynnetty työn johtopäätöksissä ja liitteenä olevissa ohjeissa.

Yleisesti voidaan todeta, että kaikissa kaupungeissa, joista vastaus saatiin, tunnistettiin haasteet sähköautopaloissa maanalaisissa pysäköintilaitoksissa. Ongelma tuntui yleisesti olevan se, että varsinaisia sähköautojen tulipaloja on ollut tämänkaltaisissa tiloissa hyvin vähän, eikä näin ollen kellekään ole kertynyt vielä käytännön kokemusta näistä tilanteista.

Kaikissa vastauksia antaneissa maissa asiaan oltiin paneuduttu ja erilaisia toimintamalleja oltiin luotu tai oltiin luomassa. Myöskin erilaisia mahdollisia kalustohankintoja oltiin useassa maassa miettimässä.

6.2 Kyselyn vastaukset

Vastaukset on kerätty Questback-järjestelmästä sekä sähköpostista. Kuusi vastausta tuli Questback-järjestelmään ja kaksi suoraan sähköpostitse. Vastaukset käsitellään avoin vastauskohta kerrallaan.

Tapahtuneet sähköautopalot

Yleisesti vastauksissa kävi ilmi, että kaikissa vastaajamaissa sähköautopalot ovat harvinaisia. Ainoastaan Tanskassa tulleessa vastauksessa kerrottiin, että siellä oli viisi sähköautopaloa tapahtunut vuonna 2019. Muutoin palot olivat olleet yksittäisiä. Myös Hollannista tulleessa vastauksessa kerrottiin, että maassa sähköautopalot ovat harvinaisia, vaikka sähköautojen määrässä Hollanti on yksi Europan johtavia maita.

Norjasta tulleessa vastauksessa kerrottiin, että 2016 Nissan Leaf –mallinen sähköauto oli palanut. Kokonaisuudessaan sammutukseen jouduttiin käyttämään vastauksen mukaan 20 000 litraa vettä.

Useassa vastauksessa nousi esille, että erilaiset akkuvarastot ja pienemmät ladattavat litiumioniakut olivat kyllä aiheuttaneet tulipaloja. Esimerkiksi Rankassa oli tapahtunut tulipalo, jossa energiavarastossa oli syttynyt tulipalo. Energiavarasto sisälsi 400 litiumioniakkua, jotka osallistuivat paloon. Palo oli ollut hyvin voimakas ja sen sammuttaminen oli ollut pitkäkestoista ja sitonut paljon pelastuslaitoksen resursseja. Lisäksi yksi palomies oli loukkaantunut palossa syntyneessä lieskahduksessa.

Toimintamallit sähköautopaloihin maanalaisissa pysäköintilaitoksissa

Tanskasta tulleessa vastauksessa kävi ilmi, että vastauskaupungissa sähköautopaloihin oltiin paneuduttu hyvin syvällisesti. Sammutustaktiikka lähti vastauksen perusteella siitä, että sammuttaminen aloitetaan täysin samankaltaisesti kuin autopalossa yleensä, myös suojaustasona käytetään paloasua ja paineilmalaitetta.

Taktisessa mielessä tanskalaiset lähestyvät sähköautojen paloja joko ”hyökkävällä” tai ”puolustavalla” taktiikalla. Hyökkävää taktiikkaa käytetään, mikäli palo uhkaa ihmishenkiä tai litiumioniakku ei ole mukana tulipalossa. Puolustavaa taktiikkaa käytetään, jos litiumioniakku osallistuu paloon eikä ihmishenkiä ole vaarassa. Tässä taktiikassa varaudutaan paremmin sammutusveden suureen kulutukseen ja huomioidaan tilanteen vaatima suojaustaso.

Tanskan ohjeistuksissa ollaan luotu erilaisia toimintamalleja, riippuen sähköautopalon tilasta ja aiheuttamasta uhasta. Erilaiset toimintamallit sähköautopaloihin on luotu seuraaviin skenaarioihin:

1. Sähköautopalo ulkoilmassa, ei vaaraa ihmisille
2. Sähköautopalo ulkoilmassa, vaara ihmisille
3. Sähköautopalo suljetussa tilassa, ei vaaraa ihmisille
4. Sähköautopalo suljetussa tilassa, vaara ihmisille.

Muissa vastauksissa kävi ilmi, että varsinaisia erillisiä toimintaohjeita ei olla luotu – osassa vastauksia kerrottiin, että ohjeiden luonti on parhaillaan

käynnissä. Vastauksissa kävi kuitenkin selkeästi ilmi, että eri maissa tunnistettiin hyvin sähköauton akkupalon aiheuttamat työturvallisuusriskit ja sen vaikutukset pelastushenkilöstön toimintaan.

Eri maissa tunnistettiin hyvin savunpoiston merkitys osana onnistunutta sammutus- ja pelastustoimintaa. Lisäksi vastauksissa kävi ilmi, että suuriin vesimääriin oltiin varauduttu ja muutoinkin tiedostettiin akkupalon sammuttamisen haasteet ja uudelleensyttymisriski.

Erikoistyökalut ja –varusteet sähköautopaloihin

Tanskassa ja Norjassa on käytössä LUF60 –mallinen sammutusrobotti, jolla pystytään miehittämättömänä käyttämään esimerkiksi palokohteissa, joissa ei ole turvallista pelastushenkilöstön oleskella tai työskennellä. Tanskassa oli alkamassa testit, että onko tämä sammutusrobotti soveltuva sammutus- tai jäähdytyskeino myös sähköautopaloihin.

Myös Ranskassa on sammutusrobotti käytössä. Robotin käytöstä on siellä paljon kokemuksia ja se on esimerkiksi tunneleissa tapahtuvissa onnettomuuksissa mukana hälytysvasteessa.

Vastauksista kävi ilmi, että Tanskassa ja Hollannissa on mahdollisuus vesitiiviin sammutuskontin käyttöön. Tanskassa se oli vastaajakaupungin naapuripelastuslaitoksen omistuksessa ja Hollannissa kontti oli saatavissa kaupallisen toimijan kautta.

Norjassa oli käytössä auton sammutuspeite ja sen hankintaa harkittiin myös Tanskassa ja Ruotsissa. Muutoin vastauksista kävi ilmi, että sähköautopaloja varten ei ainakaan toistaiseksi ole hankittu erikoiskalustoa.

Menetelmät palaneen ajoneuvon hinaukseen pois pysäköintilaitoksesta

Millään vastaajakaupungilla ei ollut erillistä toimintamallia tai kalustoa palaneen auton pois hinaukseen pysäköintilaitoksesta. Useassa vastauksessa kuitenkin tiedostettiin tämä ongelma, mutta kenelläkään ei ollut valmista vastausta ongelman ratkaisemiseen. Norjassa lähtökohta oli käyttää soveltuvaa kaupallista hinausautoa ajoneuvon pois saamiseksi.

Käytettävät suojarusteet

Tanskassa noudatettiin Ruotsin MSB:n (Swedish Civil Contingencies Agency) ohjeistuksia siitä, että sähköauton akkupalossa tavanomainen paloasu suojaa käyttäjäänsä vain viidestä kymmeneen minuuttia savusukelluksessa. Vastauksessa nostettiin esille, että vastaajan henkilökohtainen mielipide on, että näissä tilanteissa tulisi käyttää kaasutiivistä kemikaalisuojapukua niin kauan, kunnes on vedenpitävästi osoitettu, että fluorivety ei ole ongelma litiumioniakkupaloissa.

Norjan vastaajakaupungissa periaate oli se, että suljetuissa tiloissa ja tunneleissa käytetään litiumioniakkupaloissa kaasutiivistä kemikaalisuojapukua. Tavanomaista paloasua käytetään kuitenkin, mikäli on tarpeen suorittaa nopeita, henkeä pelastavia toimenpiteitä.

Ruotsissa varaudutaan kaasutiiviin kemikaalisuojapuvun käyttöön tilanteen sitä edellyttäessä. Muutoin vastauksissa kävi ilmi, että käytössä oli tavanomaiset suojavarusteet, mitä käytetään muissakin tulipalotilanteissa.

Saako pelastuslaitos tiedon uusista, isomman kokoluokan latausjärjestelmistä

Tanskassa ei ole erikseen sähköautojen latausjärjestelmiä koskevaa lainsäädäntöä. Tästä huolimatta tieto uusista järjestelmistä pääsääntöisesti tulee pelastuslaitokselle.

Englannissa paikalliset viranomaiset ottavat pelastusviranomaiset pääsääntöisesti hyvin mukaan eri rakennushankkeisiin. Sama pätee myös Hollannissa, jossa pelastuslaitos on mukana, mikäli kyseessä on korjausrakentamista tai uudisrakentamista.

Ruotsissa kahden eri vastauksen perusteella käytännöt vaihtelivat. Toisessa kaupungissa kaupungin muut viranomaistahot pitävät pelastuslaitoksen tietoisina uusista sähköautojen latausjärjestelmistä, mutta toisessa kaupungissa tietoa saattaa tulla pelkästään satunnaisesti.

Onko paloturvallisuusmääräyksiä latauspisteille maanalaisiin tiloihin

Yhdessäkään vastaajamaassa ei ollut erikseen paloturvallisuutta koskevia määräyksiä sähköautojen latauspisteisiin. Osassa vastaajamaita on laadittua alueellisia paloturvallisuusohjeita, jotka sinänsä eivät ole velvoittavia.

Englannissa oltiin vastaajakaupungissa ottamassa käyttöön kaupungin ja sen pelastuslaitoksen yhdessä laatimaa ohjetta koskien sähköautojen latauspisteitä yleisesti. Ohje on hyvin seikkaperäinen ja siinä otetaan kantaa muun muassa:

- Latauspisteiden yhteydessä olevan pysäköintiruudun kokoon
- Rakenteiden palonkestoon
- Savunpoiston suunnitteluperusteisiin ja mitoitusperusteisiin
- Sähköasennusten vaatimuksiin
- Automaattisten paloilmoinjärjestelmien ja sammutuslaitteistojen vaatimuksiin
- Pelastuslaitoksen opastukseen.

Hollannissa valtiollinen pelastustoimi on laatinut omat ohjeistuksensa sähköautojen latauspisteiden sijoittamisesta erilaisiin pysäköintilaitoksiin. Ohjeissa otetaan kantaa muun muassa:

- Latauspisteiden sijoittamiseen mahdollisimman lähelle ulosajoa ja katutasoa
- Latauspisteiden sijoittamiseen mahdollisimman lähelle ilmanvaihtojärjestelmän poistoilman imupisteitä
- Latauspisteiden virransyötön katkaisumahdollisuuksiin
- Automaattisten paloilmoinjärjestelmien ja sammutuslaitteistojen asentamiseen
- Käyttäjien ohjeistamiseen ja opastamiseen onnettomuustilanteen aikana (esim. pelastussuunnittelussa).

Ruotsissa on suosituksia paikallisella tasolla. Toisessa Ruotsin vastaajakaupungissa otetaan kantaa esimerkiksi:

- Sijoittamiseen mahdollisimman lähelle ulosajoa
- Useampikerroksisessa pysäköintilaitoksessa latauspisteet tulisi sijoittaa maantasokerrokseen tai sen yläpuolelle
- Koneellisen savunpoiston asentamiseen.

Saatu koulutus sähköautopaloista

Ruotsissa on kummassakin vastaajakaupungissa jonkinasteista koulutusta sähköautopaloista ja niiden vaikutuksista maanalaisissa tiloissa. Toisessa kaupungissa jokainen palomies ja palomestari saa käytännön koulutusta. Toisessa kaupungissa koulutus on pelkästään sähköisen esityksen tasolla.

Englannissa koulutus on keskittynyt yleisellä tasolla sähköautopalojen vaaroihin ja niiden tunnistamiseen. Muissa vastauksissa kävi ilmi, että tois- taiseksi koulutusta ei juurikaan ole järjestetty, mutta sitä on eri kaupungeissa suunnitteilla henkilöstölle.

6.3 Kyselytulosten analysointi

Kyselytulokset tukivat hyvin teoreettista viitekehystä. Vastauksia antaneissa kaupungeissa oltiin tunnistettu pääsääntöisesti yhtäläisesti sähköautojen litiumioniakkupalojen tuomat haasteet maanalaisissa pysäköintilaitoksissa.

Kaikissa maissa asia ja ongelmat oltiin tunnistettu, mutta selkeästi eri kaupungeissa oltiin varautumiskeinojen suhteen hyvin eri vaiheissa. Osassa kaupungeja oltiin hyvin pitkällä operatiivisten toimintamallien laatimisessa, kun taas osassa työ oli vasta alkamassa tai kokonaan tekemättä.

Vaatimuksien ja paloturvallisuusohjeistusten osalta maissa ja kaupungeissa oli selkeästi vaihtelua. Hollannin ja Englannin vastauskaupungeissa oltiin laadittu jo hyvin pitkälle viedyt ohjeet paloturvallisuusvaatimuksista. Yleisesti kuitenkin keskeisiä ongelmakohtia oltiin tunnistettu myös muissa kaupungeissa.

Missään maassa ei kuitenkaan ollut mitään täysin valmista sapluunaa sähköautopalojen etukäteisvarautumiseen tai niiden käsittelemiseen onnettomuustilanteiden aikana. Tällä oli varmasti vaikutusta kyselyn vastausprosentissa, koska monessa maassa asiaan ei olla vielä varauduttu välttämättä ollenkaan.

Saaduissa kommentteissa kävi selkeästi ilmi, että kauttaaltaan aiheesta tarvitaan lisää tutkimustietoa ja lisäksi käytännön onnettomuustilanteissa tehtyjä havaintoja. Kommentteissa tuotiin myös muutamaa otteeseen ilmi, että sähköautopaloihin liittyen tarvittaisiin tiiviimpää yhteistyötä niin kansallisella kuin kansainväliselläkin tasolla. Tämä on tärkeää sen vuoksi, että eri pelastuslaitoksissa ei tehtäisi päällekkäistä työtä ja ei tehtäisi esimerkiksi *päällekkäisiä kalustohankintoja*.

Eri maista saadut havainnot tukevat sitä käsitystä, että sähköautot ja niiden akut eivät itsessään ole erityisen herkkiä syttymään. Vastaajilla oli enemmän kokemusta pienempien ladattavien litiumioniakkupalojen tulipaloista, jotka ovat pelastuslaitoksen keinoin helpommin hallittavissa.

Vastauksissa tuotiin myös esille se, että paloturvallisuusmääräykset puuttuvat kokonaan niin kansallisella kuin esimerkiksi Europan tasolla. Tämä vaikeuttaa pelastuslaitosten onnettomuuksien ennaltaehkäisytyötä, koska paikallisesti laadituilla ohjeilla ei ole lain tuomaa mandaattia erilaisen turvallisuusvaatimusten asettamiseen.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Perehtyminen sähköautopaloihin nosti selkeästi esille sen, että aiheesta kaivattaisiin pelastusalalla paljon käytännönläheistä tutkittua tietoa. Litiumioniakkujen polttokokeita on tehty eri mittaluokissa paljonkin, mutta kokonaisia sähköautojen polttokokeita ei yksittäisiä poikkeuksia lukuun ottamatta ole tehty.

Sähköautojen litiumioniakuista liikkuu paljon olettamuksiin perustuvia harhakäsityksiä. Eri tutkimusten mukaan ei ole esimerkiksi syytä olettaa, että sähköauton palotehot ja palokuormat poikkeaisivat merkittävästi polttomoottorikäyttöisestä autosta. Tämänhetkisen tiedon perusteella myöskään sähköautoilla tai niiden litiumioniakuilla ei vaikuttaisi olevan tavanomaista suurempaa syttymisriskiä.

Ruotsin kansallisen tutkimuskeskuksen projektipäällikkö Ola Willstrand käsittelee sähköautopalojen problematiikkaa artikkelissaan ”A lower risk of fire with electric cars?”. Willstrand tuo artikkelissa esille sen, että sähköautopaloja tuodaan paljon mediassa esille, mutta suhteutettuna polttomoottorikäyttöisten autojen paloihin – paloriski saattaa olla jopa pienempi, koska sähköautoissa on huomattavasti vähemmän palavia nesteitä. Willstrand päättää artikkelinsa toteamalla, että sähköautoissa ei ole isompaa paloriskiä verrattuna polttomoottorikäyttöisiin autoihin. Riski on Willstrandin mukaan vain erilainen. (Willstrand, 2020)

Sähköautojen määrä on kasvanut viime vuosina tasaisesti Suomessa. Sähköautopaloihin ei kuitenkaan olla vielä laajemmin varauduttu pelastuslaitoksissa koulutuksen, kaluston eikä ohjeistusten muodossa. Sama trendi näyttää olevan pääsääntöisesti muuallakin Euroopassa. Pelastuslaitosten tulisikin jatkossa pyrkiä etupainoisesti seuraamaan yhteiskunnan ja tekniikan kehitystä ja muutoksia. Nyt jo esimerkiksi sähköautojen latauspisteitä, aurinkopaneeleita ja vaikkapa litiumioniakkuvarastoja on sijoitettu mitä erilaisimpiin kiinteistöihin ympäri Suomea - ja monesti ilman paikallisten pelastusviranomaisten ohjausta ja neuvontaa.

Turvallisen ympäristön ja rakennuskannan kehittymisen näkökulmasta olisikin tärkeää, että pelastuslaitokset tekisivät jatkuvaa toimintaympäristön analyysiä, jossa seurattaisiin esimerkiksi uusien ajoneuvoteknologioiden kehittymistä. Tämän pohjalta tulisi miettiä laajasti henkilöstön osaamista eri tehtävissä ja järjestää tarvittavaa koulutusta ja kalustoa tämän analyysin pohjalta.

Tutkimuksessa nousi selkeästi esille, että sähköautopalot maanalaisissa pysäköintilaitoksissa ovat pelastuslaitosten *päivittäisönnettomuuksista* poikkeavia tilanteita. Tilanteet vaativat uudenlaisia toimintamalleja, suojaustapoja ja ne saattavat sitoa resursseja hyvin pitkäkestoisesti.

Teoreettisen viitekehyksen pohjalta laadittuun kyselytutkimukseen saatiin kahdeksan vastausta eri puolilta Eurooppaa. Toivottavaa toki olisi ollut suurempi vastausmäärä, mutta toisaalta tälläkin määrällä saatiin luotua jonkinlainen läpileikkaus Euroopan eri pelastuslaitosten tilannekuvasta suhteessa varautumisessa sähköautopaloihin maanalaisissa pysäköintilaitoksissa.

7.1 Tulokset suhteessa tutkimustietoon

Kyselytutkimuksen tulokset vahvistivat teoreettisen viitekehyksen perusteella muodostettua kuvaa sähköautopalon haasteista sammutus- ja pelastustoiminnassa. Teoreettisen viitekehyksen pohjalta nousi myös esille paljon näkökulmia, jotka eivät välttämättä Suomessa ole vielä saaneet niin paljoa huomiota. Esimerkkeinä mainittakoon syöpävaarallisten yhdisteiden määrä litiumioniakkupalon sammutuksessa (Fredman ym., 2016, ss. 15-16) ja näissä tilanteissa aiheutuvat ympäristövaikutukset sammutusveden kautta (Blum ym., 2013, s. 188).

Sammutus- ja pelastustoiminnan haasteiden lisäksi keskeinen havainto tässä työssä oli sähköautopalojen paloteho suhteessa polttomoottorikäyttöisten autojen paloihin. Tämän käsityksen yleistettävyyttä voidaan toki kyseenalaistaa, koska sähköautojen täysimittaisia polttokokeita ei ole kovin montaa tehty. Ranskassa tehdyissä polttokokeissa kuitenkin havaittiin, että sähköauton paloteho ei ole niin iso kuin polttomoottorikäyttöisellä autolla – johtuen todennäköisesti palavien nesteiden vähäisestä määrästä. Samassa tutkimuksessa todettiin, että sähköauton akun lataustasolla on merkittävä vaikutus sähköauton palotehoon. (Bertana ym., 2014, s. 6)

Käsitys sähköautojen palotehosta on olennainen, kun mietitään sammutustoimintaa ja siihen soveltuvaa kalustoa. Tämän hetkisen näkemyksen mukaan itse sammutus ei poikkea juurikaan ”tavanomaisesta” autopalosta. Keskeisin eroavaisuus tulee litiumioniakun termisestä karkaamisesta, jonka jäähtytykseen tulee varautua tuhansilla litroilla vettä. (Blum ym., 2013, ss. 186-189)

Kyselytutkimuksessa nousseet havainnot tukivat teoreettista viitekehystä. Euroopan suurissa kaupungeissa eri varautumiskeinoja ollaan pääsääntöisesti vasta luomassa, mutta suuntaviivat eri puolilla Eurooppaa näyttävät olevan samankaltaisia. Teoreettisen viitekehyksen perusteella voidaan todeta, että sähköautopaloihin maanalaisissa tiloissa ei tule ”ylivarautua”. Selvää on kuitenkin se, että nämä tilanteet ovat tavanomaisista autopaloista poikkeavia, joka aiheuttaa sen, että pelastuslaitosten tulee miettiä omat toimintamallinsa etukäteen näihin tilanteisiin.

Teoreettisen viitekehyksen ja kyselytutkimuksen tärkein viesti on se, että sähköautopalo maanalaisissa pysäköintilaitoksissa on vaativa onnettomuustilanne, joka saattaa sitoa pelastustoimen resursseja pitkäkestoisesti.

Näissä tilanteissa on tärkeää, että pelastushenkilöstöllä on tiedossa riittävässä tasolla litiumioniakkupalojen sammutusmenetelmät ja niiden aiheuttamat riskit. Ilman näitä tietoja sammutus- ja pelastustoimintaa ei voida suorittaa riittävän tehokkaasti ja turvallisesti.

Tutkimustiedon perusteella pelastustoiminnan näkökulmasta keskeiset haasteet tämänkaltaisissa tilanteissa liittyvät litiumioniakkupalojen kemiallisiin altisteisiin ja uudelleensyttymisriskiin. Myös kokemukset Euroopasta vahvistivat tätä käsitystä. Nämä tekijät onkin pyritty huomioimaan opinnäytetyön liitteinä olevissa ohjeissa. (Laitinen, 2020, s. 24 & Blum ym., 2013, s. 185)

7.2 Kehittämiskohteet

Tässä kappaleessa nostetaan esille keskeisiä kehittämiskohteita, jotka nousivat opinnäytetyön laadinnassa esille. Kehittämiskohteet ovat pääsääntöisesti suunnattu pelastuslaitoksille:

1. Toimintamallien suunnittelu

Pelastuslaitosten tulisi miettiä alueellisesti omat toimintamallinsa sähköautopaloihin maanalaisissa pysäköintilaitoksissa. Toimintamallien etukäteissuunnittelu on tärkeää, jotta tämänkaltaiset tilanteet pystytään hoitamaan työturvallisesti ja esimerkiksi ympäristötekijät huomioiden. Paikallisissa toimintaohjeissa tulisi miettiä ainakin seuraavia asioita:

- Minkälainen vaste tarvitaan sähköautopaloihin maanalaisissa pysäköintilaitoksissa
- Millä kalustolla palanut sähköauto siirretään maanpinnalle tulipalon jälkeen, käytetäänkö siirtoon pelastuslaitoksen yksiköitä vai paikallisia hinausautoyrittäjiä
- Mihin palanut auto siirretään jälkivartiointiin, sammutuskonttiin vai etukäteen määritettyyn paikkaan jossa mahdollisista palo- ja savukaasuista ei ole sivullisille vaaraa ja sammutusvesien talteenotto on mahdollista
- Mitä suojaustasoa käytetään eri tilanteissa, millä kriteereillä suljetussa tilassa tulee käyttää kaasutiivistä kemikaalisuojapukua
- Kuinka huolehditaan altistumisen vähentämisestä tilanteen jälkeen, millä yksiköllä, ja miten hoidetaan pelastushenkilöstön varustehuolto ja pesu tehtävän jälkeen

2. Koulutuksen järjestäminen henkilöstölle

Sähköautopaloihin tulisi yleisesti varautua riittäväällä koulutuksella. Pelastushenkilöstön tulisi tietää työturvalliset menettelytavat sähköautoaloissa. Lisäksi heidän tulisi osata tunnistaa sähköautopalon merkit ja toimia

näiden merkkien edellyttämällä tavalla. Pelastusyksiköiden esimiesten tulisi pystyä johtamaan sammutustyötä turvallisesti ja lisäksi heidän tulisi ymmärtää pelastusjoukkueiden eri tehtäväkokonaisuudet.

Palomestarisalla on keskeistä tunnistaa eri tehtäväkokonaisuudet ja keskeiset toimintatavat. Pelastustoiminnan johtajan tulee tunnistaa sähköautopalojen työturvallisuus- ja ympäristötekijät.

Palotarkastajien tulisi tunnistaa keskeiset riskit sähköautojen latauksessa. Lisäksi palotarkastajien tulisi tietää erilaiset rakenteelliset ja tekniset varautumiskeinot, joilla pystytään ehkäisemään sähköautopaloja ja ehkäisemään niissä syntyviä vahinkoja ja seurannaisvaikutuksia.

3. Harjoittelu

Tämänkaltaisia tilanteita tulisi toimintamallien luomisen ja koulutuksen lisäksi harjoitella säännöllisesti. Harjoituksissa tulisi kiinnittää huomiota esimerkiksi seuraaviin kokonaisuuksiin:

- Eri suojaustasojen käyttö erilaisissa tilanteissa, kaasutiiviin kemikaalisuojapuvun käyttö sähköautopalossa (lämmönkesto huomioiden)
- Sähköautopalojen tunnusmerkkien tunnistaminen ja erilaisten tietokantojen käyttö esimerkiksi akun sijainnin selvittämiseen
- Altistumisen vähentäminen tilanteen oikeaoppisella purulla, sammutusvarusteiden vaihto ja toimittaminen pesuun, suojautuminen huoltotöiden aikana
- Sammutusveden talteenotto ja viemäriin pääsyn estäminen erilaisissa pysäköintilaitoksissa, esimerkiksi viemärinsulkumattoja ja tulppia käyttämällä.

4. Kalustohankinnat

Sähköautopalo on vain yksi riski, johon pelastuslaitoksen tulee varautua. Riski ei välttämättä ole kovinkaan todennäköinen, mutta silti tilanteisiin tulee varautua tarkoituksenmukaisella kalustolla. Sähköautopalojen sammuttamisessa ja jälkivartioidinnissa puhutaan aina lähtökohtaisesti tunteista, joten esimerkiksi sammutuskontteja ei ole tarpeen hankkia jokaiselle pelastusasemalle. Perusteltua on tehdä alueellista riskienarviointia, jonka pohjalta tehdään kalustohankintoja, jotka palvelevat tarvittaessa isompaakin aluetta.

Keskeinen ongelma sähköautopaloissa on litiumioniakkujen uudelleensytytymisriski. Tämän vuoksi eripuolilla maailmaa on hankittu tarkoitukseen soveltuvia sammutuskontteja, joihin auton voi upottaa. Vaihtoehtoja tälle voi olla riittävän etäisellä paikalla oleva kenttä, jossa sammutusvedet on mahdollista kerätä talteen. Tämänkaltaiseen paikkaan palaneet sähköautot voitaisiin siirtää jälkivartiointiin. Pelastuslaitoksen tehtävä on kuitenkin

varmistua riittävästä sammutusvalmiudesta myös siirron aikana, mikäli akusto syttyy uudelleen palamaan kesken siirtoa.

Toinen keskeinen kalustotarve liittyy palaneen auton poishinaukseen. Alueellisesti tulee miettiä, että tarvitaanko auton siirtoon esimerkiksi siirtoalustoja, joita käyttämällä erikseen määritelty pelastusyksikkö voi hinata palaneen auton maanpinnalle. Vaihtoehtona on käyttää ulkopuolisia hinausautoyrittäjiä, tilanteen niin salliessa.

5. Paloturvallisuusvaatimusten luominen ja yhtenäistäminen

Pelastustoimen tulisi kansallisesti ottaa käyttöön yhteneväiset ohjeistukset ja vaatimukset, jotka koskevat paloturvallisuustekijöitä koskien sähköautojen latauspisteiden sijoittamista yleisesti pysäköintilaitoksiin. Tällä hetkellä vaatimuksia asetetaan paikallisesti eri tavoin. Tämä asettaa kaukalliset toimijat ja eri suunnittelutahot eriarvoiseen asemaan, jos pelastuslaitosten vaatimukset vaihtelevat alueittain.

Suuremmassa kuvassa kaikkien uusiutuvien ja kehittyvien energiamuotojen tuomat riskit tulisi huomioida vähintäänkin pelastuslaitosten ohjeistuksen tasolla. Sähköautojen lisäksi esimerkiksi suuremmat litiumioniakkuvarastot tai aurinkosähkövoimalat aiheuttavat poikkeuksellisia työturvallisuusriskejä pelastushenkilöstölle, mikäli niiden sijoittelussa ei ole huomioitu operatiivisen pelastustoiminnan edellytyksiä.

Vaatimusten yhtenäistämisen näkökulmasta paras ratkaisu olisi, että näihin uusiin riskeihin olisi laadittu valtakunnalliset määräykset tai ohjeet. Näiden laatiminen voisi tapahtua esimerkiksi ministeriöiden tai pelastuslaitosten kumppanuusverkoston kautta. Samalla tulisi arvioida myös esimerkiksi autosuojia koskevien paloturvallisuusmääräysten ajantasaisuutta. Etenkin viime vuosina kaikkien autojen palokuormat ja koot ovat kasvaneet, joten esimerkiksi palokuormaluokat paloturvallisuusasetuksessa eivät enää vastaa todellisuutta.

7.3 Jatkotutkimusaiheet

Aiheesta nousee esille lukematon määrä erilaisia jatkotutkimusaiheita. Keskeisin tarve kuitenkin pelastustoimelle on erilaisten käytännönläheisten testien ja tutkimusten tekemiselle. Seuraavassa on esitetty mahdollisia jatkotutkimusaiheita, jotka soveltuvat esimerkiksi pelastusalan alipäälystökurssin kehittämishankkeiksi tai niiden osiksi:

1. Palaneen sähköauton hinaus maanalaisesta pysäköintilaitoksesta

Tietyissä tilanteissa sähköautopalon muodostaman savun ja uudelleensyttymisriskin vuoksi ulkopuolisen hinausautoyrittäjän päästäminen paloti-

laan ei ole mahdollista tai perusteltua. Tämänkaltaisissa tilanteissa pelastuslaitoksella tulisi olla vaihtoehtoinen suunnitelma palaneen auton poishinaukseen.

Pelastuslaitosten tulisi varautua palaneen sähköauton poishinaukseen omalla henkilöstöllä. Käytännössä tähän on olemassa kaksi vaihtoehtoista toimintatapaa:

1. Hankitaan pelastuslaitoksen käyttöön siirtoalusta/siirtoalustoja, joilla palanut auto voidaan hinata pois pysäköintilaitoksesta. Tämän yhteydessä tulisi määritellä ja testata hinaukseen soveltuva yksikkö. Yksikön tulisi kyetä hinaamaan palanut auto siirtoalustoja käyttämällä, pahimmillaan useiden satojen metrien matkan, jyrkkiä ajoluiskia pitkin.

2. Kartoitetaan alueen hinausautoyrittäjät ja järjestetään pelastushenkilöstölle (pika)koulutus mataliin pysäköintilaitoksiin soveltuvien hinausautojen käytöstä.

Jatkotutkimuksessa olisi syytä kartoittaa kumpaakin vaihtoehtoa ja arvioida niiden hyödyt ja haitat. Lisäksi aihealueeseen liittyen olisi syytä laatia käytännönläheinen koulutuspaketti pelastushenkilöstön käyttöön.

2. Vaihtoehtoiset sammutus- ja jäähdytysmenetelmät

Eri tutkimusten ja polttokokeiden perusteella on selvää, että vedellä on tehokkain jäähdytysvaikutus akkupaloon. Jäähdytyksen vaatima vesimäärä saattaa tietyissä tilanteissa olla ongelmallista, joten erilaisia sammutus- ja jäähdytysvaihtoehtoja olisi syytä tarkastella ja mahdollisuuksien mukaan testata. Vaihtoehtoja eri tilanteisiin voisi olla esimerkiksi:

- Cobra-sammutinleikkurin käyttö akkupalossa, selvitettäviä asioita:
 - Mitkä ovat sammutinleikkurin toimintaedellytykset akkupalossa
 - Voiko sammutinleikkuria käyttää työturvallisesti akkupalon sammutukseen ja jäähdytykseen
 - Suojaetäisyydet sammutinleikkurilla työskentelyssä suhteessa akkuihin
- Suurikokoisen läpilyöntisuihkuputken käyttö akkupalossa, selvitettäviä asioita:
 - Löytyykö markkinoilta valmista tuotetta
 - Voiko läpilyöntisuihkuputkea käyttää työturvallisesti akkupalon sammutukseen ja jäähdytykseen
 - Kuinka suuren riskin läpilyöntisuihkuputken käytön aiheuttama oikosulku aiheuttaa
- Suurikokoisen sammutuspeitteen käyttö akkupalossa, selvitettäviä asioita:
 - Minkälaisen syttymiskelpoisen seoksen akkupalo voi muodostaa sammutuspeitteen alle

- Kuinka tehokkaasti sammutuspeite hillitsee palon leviämistä viereisiin autoihin pysäköintilaitoksessa
- Pystytäänkö sammutuspeite asentamaan työturvallisesti

Näiden lisäksi tulisi kartoittaa soveltuvaa kalustoa, jolla sähköautoa pystytään kallistamaan ja tunkkaamaan (katso kuva 17), jotta sähköauton pohjassa akustoa päästään jäähdyttämään tehokkaammin. Kysymykseen voitulla erilaiset tunkit ja kaatoraudat sekä näiden yhdistelmät.

3. Sammutusveden talteenotto

Kuten todettua – sähköauton akkupalon sammutukseen ja jäähdytykseen käytetyt vedet luokitellaan ongelmajätteeksi, siihen liuenneiden kemikaalien vuoksi. Useissa tilanteissa sammutusvesien talteenotto on kuitenkin hyvin haastavaa ja usein jopa mahdotonta.

Jatkotutkimuksessa olisi syytä kartoittaa mahdollisuuksia kerätä sammutusvettä talteen pysäköintilaitoksissa sattuvissa paloissa. Tutkimuksessa tulisi kartoittaa soveltuvaa kalustoa, millä tämä voitaisiin eri alueilla, eri pelastustoimen resursseilla suorittaa. Kalustotarve todennäköisesti on yhdistelmä erilaisia viemärinsulkumattoja, sulkutulppia ja (kemikaalin kestäviä) pumppuja.

4. Soveltuvan suojaustason käyttö

Erilaiset tilanteet erilaisissa pysäköintilaitoksissa vaativat pelastushenkilöstöltä eritasoisia suojaustasoja. Tilanne jossa joudutaan liekillä palavaa autoa sammuttamaan sankassa savupitoisuudessa, edellyttää suojarusteilta kemikaalinkestävyyttä ja palonkestävyyttä. Lähtökohtaisesti pelastustoimen käyttävät suojarusteet suojaavat vain jompaakumpaa vaaraa vastaan.

Erilaisiin tilanteisiin tulisi määritellä soveltuvat suojaustasot, jossa on huomioitu kemikaalin ja lämmön kestot. Tämänkaltaisessa tutkimuksessa voisi selvittää markkinoilla olevien paloasujen ja kemikaalisuojapukujen ominaisuuksia ja mahdollisesti niitä yhdistelemällä löytää kuvatun kaltaisiin tilanteisiin soveltuvat suoja-asuratkaisut. Tässä tulisi pyrkiä huomioimaan myös suojaustason vaikutukset pelastushenkilöstön fyysiseen kuormitukseen ja sitä kautta sammutus-/jäähdytystyön tehokkuuteen ja keston.

7.4 Johtopäätökset

Pelastustoimen on mukauduttava ympäröivän yhteiskunnan muutoksiin. Kiihtyvä kaupungistuminen ja digitalisaatio tulevat nopeuttamaan tapahtuvia muutoksia. Kansalliset ja kansainväliset päästötavoitteet tulevat myös osaltaan nopeuttamaan vaihtoehtoisten, uusiutuvien energiamuotojen käyttöä niin rakennuksissa kuin ajoneuvoissakin.

Yleisellä tasolla katsottaessa, henkilövahingot ovat harvinaisia pysäköintilaitoksissa. Sähköauton litiumioniakkupalo voi kuitenkin aiheuttaa pitkäkestoisen palotapahtuman vuoksi useiden päivien tai viikkojen keskeytyksen eri pysäköintilaitosten toimintaan. Tämä puolestaan saattaa aiheuttaa merkittävät omaisuus- ja keskeyttämisvahingot toiminnanharjoittajille. Tämän vuoksi erilaisia skenaarioita tulisikin miettiä etukäteen kiinteistöjen pelastussuunnittelussa.

Sähköautopaloista puhuttaessa ei ole syytä liioitella niiden aiheuttamaa riskiä. Tämänhetkisen tiedon mukaan sähköauton tulipalon kasvu- ja palotehokäyrä mukailevat hyvin pitkälti polttomootorikäyttöisen auton vastaavia käyriä. Maanalaisissa tiloissa riski onkin hallittavissa, mikäli kiinteistöissä ja pelastuslaitoksissa on varauduttu esimerkiksi liitteenä olevien ohjeiden mukaisesti. Keskeistä tämän vuoksi on, että pelastuslaitokset tekevät tiivistä yhteistyötä alueillansa erilaisissa kiinteistöjen rakennus- ja korjaushankkeissa.

Opinnäytetyön lähtökohtana oli tarkastella haastavaa sähköautopaloo maanalaisessa pysäköintilaitoksessa. Teoreettisen viitekehyksen ja kyselytutkimuksen perusteella on muodostunut käsitys, että litiumioniakkupalo tulisi pyrkiä sammuttamaan paikan päällä pysäköintilaitoksessa. Tämän lisäksi jälkivartiointia tulisi suorittaa vähintään tunnin verran, ennen kuin auto luovutetaan esimerkiksi hinausautoyrittäjän käsittelyyn.

Latauspisteiden asentamista koskevaa paloturvallisuus-sääntelyä tulisi laatia kansallisella tasolla. Tällä hetkellä aiheeseen liittyen ei ole olemassa kattavampaa sääntelyä, joka aiheuttaa eri alueille tulkintaeroja pelastuslaitosten välillä. Tavoitteena tulisi olla se, että eri pelastuslaitokset käsittelisivät latauspisteiden asentamista ja sijoittelua samoista lähtökohdista.

Tarkemman sääntelyn ja ohjeistusten tueksi tarvitaan myös kansainvälistä näkökulmaa. Useissa eri maissa aiheeseen liittyen on laadittu hyvinkin seikkaperäisiä ohjeita. Olisikin järkevää, että kerättäisiin parhaita käytänteitä eri maista. Tämän työn liitteenä oleva paloturvallisuusohjeistus on valtakunnan tasolla ensimmäinen aihetta koskeva ohjeluonnos.

Alueellisesti eri pelastuslaitosten tulisi miettiä omia varautumiskeinoja sähköautojen paloihin liittyen. Erilaiset toimintamallit ja kalustohankinnat tulisi laatia alueen omiin lähtökohtiin perustuen. Se mikä toimii Uudellamaalla, ei välttämättä toimi yhtä hyvin esimerkiksi Lapissa. Työn liitteenä olevia ohjeita voi käyttää tämän työn pohjana.

Kansainvälisellä tasolla tärkeää olisi, että sähköautojen litiumioniakkupaloihin liittyen tehtäisiin laajempimittaisia polttokokeita. Näiden perusteella pystyttäisiin arvioimaan esimerkiksi automaattisten sammutuslaitteistojen vaikutusta sähköautojen litiumioniakkupaloihin. Yksittäisten akkujen tai akkupakettien polttokokeista ei itsessään voi tehdä liian pitkälle vietyjä yleistyksiä.

7.5 Pohdinta

Opinnäytetyön laatiminen edellytti kattavasti erilaiseen lähdeaineistoon tutustumista. Suomessa tutkittavaan aiheeseen ei vielä olla juurikaan perehdytty, jonka vuoksi teoreettinen viitekehys ja kyselytutkimus perustui tutkimuksiin ja kokemuksiin Euroopasta ja muualta maailmasta. Tämän vuoksi opinnäytetyön laadinta oli hyvin aikaa vievä hanke, mutta toisaalta tämä kertoo siitä, että tarve suomenkieliselle tutkimukselle ja koulutukselle on selkeästi olemassa.

Selvää on, että jollain aikavälillä kaikissa pysäköintilaitoksissa tulee olemaan sähköautojen latauspisteitä. Tällä hetkellä sähköautot ja niiden palot ovat harvinaisia tilanteita eri pelastuslaitoksille. Selvää kuitenkin on, että autokannan vanhetessa – palotilanteet tulevat yleistymään ja *arkipäiväistymään*.

Sähköautopalojen yleistyessä ja pelastuslaitosten kokemuksen karttuessa on selvää, että tässä opinnäytetyössä esitetty tieto tulee varmasti *vanhenemaan*. Tällä hetkellä työssä esitetyt johtopäätökset ja laaditut ohjeet perustuvat hyvin pitkälti tutkimustiedon perusteella muodostettuihin johtopäätöksiin. Käytännön tilanteista – etenkin maanalaisessa toimintaympäristössä – on toistaiseksi maailmanlaajuisestikin ilmeisen vähän kokemuksia.

Kehittyvä yhteiskunta tulee muuttamaan riskejä, joihin pelastustoimen tulee varautua. Tässä opinnäytetyössä käsiteltiin rajauksen vuoksi pelkäämään henkilöautojen paloja maanalaisissa tiloissa. On kuitenkin selvää, että esimerkiksi sähköisen linja-auto- ja kuorma-autoliikenteen yleistyessä myös paloriskit moninkertaistuvat ja aiheuttavat uusia haasteita pelastustoimelle.

Maailmalla on raportoitu mittavia tulipaloja maanpäällisistä pysäköintilaitoksista. 2000-luvulla esimerkiksi Englannin Liverpoolissa (2017) ja Norjan Stavangerissa (2020) on tapahtunut merkittävät tulipalot, joissa kummasakin tapauksessa on palanut jopa satoja autoja. Sähköautot eivät näissä onnettomuuksissa ole olleet palon aiheuttajia, mutta on selvää, että pitkäkestoiset litiumioniakkupalot vain kasvattavat suurten palovahinkojen todennäköisyyttä erilaisissa pysäköintilaitoksissa.

Teoriassa myös Suomessa on Liverpoolin ja Stavangerin kaltaiset suurpalot pysäköintilaitoksissa mahdollisia. Etenkin maanpäälliset avoimet pysäköintilaitokset ovat *alttiita* tämänkaltaisille paloille. Maanpäällisissä avoimissa autosuojissa ei suunnitteluratkaisusta riippuen ole välttämättä erillistä savunpoistoa ja koosta riippuen ei välttämättä automaattista sammutuslaitteistoakaan. Tämä yhdistettynä otollisiin tuuliolosuhteisiin, voivat tulipalot kasvaa nopeastikin hyvin voimakkaiksi.

Opinnäytetyön tuloksena laadittiin pelastuslaitosten käyttöön ohjeet operatiiviseen johtamiseen ja latauspisteiden suunnitteluun ja sijoitukseen. Ohjeiden laadinnan pohjana toimi laadittu teoreettinen viitekehys sekä tiedot mitä Euroopasta saatiin kyselytutkimuksessa. Ohjeet ovat sarallaan ainutlaatuisia. Tämän vuoksi ne eivät välttämättä sellaisenaan enää päde muutaman vuoden kuluttua, kun kokemukset ja tieto karttavat pelastusalalla lisää sähköautoista ja niiden latauspisteistä. Toivon mukaan ohjeet toimivat kuitenkin hyvänä pohjana paikallisten toimintamallien ja ohjeistusten laadinnassa.

Kyselytutkimuksessa saatiin vastauksia Euroopan eri maista. Verrattain vähäisen vastausprosentin vuoksi vastaajajoukkoa ei voida pitää Euroopan mittakaavassa edustavana. Laadullisessa tutkimuksessa kuitenkin ei ole tarkoituskaan välttämättä päästä määrälliseen edustavuuteen. Tutkimustulosten kannalta olikin tärkeää saada vastauksia eri maista, eri puolilta Eurooppaa. Vastaukset mm. Norjasta ja Hollannista olivat tutkimuksen kannalta tärkeitä, koska näissä maissa on verrattain laajat sähköautokannat.

Opinnäytetyön rajauksen vuoksi on selvää, että laadittu teoreettinen viitekehys ja laaditut ohjeet eivät itsessään riitä, kun mietitään pelastuslaitosten varautumista sähköautopaloihin maanalaisissa pysäköintilaitoksissa. Etenkin työssä nostetuissa kehittämiskohteissa ja esitetyissä jatkotutkimusaiheissa on paljon vielä tutkittavia ja selvitettäviä aihekokonaisuuksia.

Opinnäytetyön lähtökohtina oli kolme keskeistä tutkimuskysymystä. Kysymykset liittyivät turvallisen sammutustoiminnan suorittamiseen, pelastustoiminnan johtamiseen ja huomioitaviin paloturvallisuustekijöihin. Työn tuloksissa ja laadituissa ohjeissa on pyritty vastaamaan kattavasti näihin tutkimuskysymyksiin. Kaikki tulokset ja johtopäätökset perustuvat lähtökohtaisesti teoreettiseen viitekehukseen ja kyselytutkimukseen. Lähtökohtana olikin tuoda aiheesta oleva teoretieto käyttöön mahdollisimman käytännönläheisesti ja selkeästi.

LÄHTEET

Abert M.; Léost, Y.; Ott, J.; Thomson, R. & Yao, J. (2014). *Recommendations and Guidelines for Battery Crash Safety and Post-Crash Safe Handling*. Eversafe, Everyday Safety for Electric Vehicles.

Amon, F.; Bisschop, R.; Rosengren, M. & Willstrand, O. (2019). *Fire Safety of Lithium-Ion Batteries in Road Vehicles*. Borås: RISE Research Institutes of Sweden AB.

Andersson, P.; Bengt-Erik, M. & Larsson, F. (2014). Battery Aspects on Fires in Electrified Vehicles, Proceedings from 3rd International Conference on Fires in Vehicles – FIVE 2014. Borås: SP Technical Research Institute of Sweden.

Archer, B. (2019). *High Voltage Vehicle Firefighting – Brock Archer*. Haettu 4.6.2020 osoitteesta https://www.youtube.com/watch?v=8n5Wf7TlGrU&feature=emb_title

Battery University. (2018). *How do Lithium Batteries Work?*. Haettu 5.3.2020 osoitteesta https://batteryuniversity.com/learn/article/lithium_based_batteries

Bertana, M.; Lecocq, A.; Marlair, G. & Truchot, B. (2014). *Comparison of the Fire Consequences of an Electric Vehicle and an Internal Combustion Engine Vehicle*. Verneuil-en-Halatte: INERIS – National Institute of Industrial Environment and Risks, France.

Bisschop, R.; Huang, X.; Niu, H. & Sun, P. (2020). *A Review of Battery Fires in Electric Vehicles*. Haettu 11.3.2020 osoitteesta <https://doi.org/10.1007/s10694-019-00944-3>

Blum, A.; Bress, T.; Cotts, B. & Long Jr., R. (2013). *Best Practices for Emergency Response to Incidents Involving Electric Vehicles Battery Hazards: A Report on Full-Scale Testing Results*. Quincy: The Fire Protection Research Foundation.

Bøe, A.; Reitan, N. & Stensaas, J. (2016). *Brannsikkerhet og alternative energibærere: El- og gasskjøretøy i innelukkede rom*. Trondheim: SP Fire Research AS.

Brandweer Nederland. (2019). *BMW i8 te water*. Haettu 12.4.2020 osoitteesta <https://www.brandweer.nl/brandweernederland/nieuws/cases/accubrand-in-auto>

Bröckl, M.; Kontiokari, V.; Pitkämäki, A.; Päällysaho, M. & Raivio, T. (2017). *Selvitys Li-akkujen turvallisuustekijöistä*. Helsinki: Gaia Consulting.

Carchia, M. (1999). *Electronic/Electrical Reliability*. Pittsburgh: Carnegie Mellon University.

Cardou, S.; Delaunay, S.; Deparis, J.; Gentilleau, M.; Gransagne, A. & Peltier, D. (2018). *Guide opérationnel départemental de référence – Interventions d'urgence sur les véhicules*. Vienne: Sapeurs-Pompiers de la Vienne.

De Rosac, A.; Di Barib, C.; Mazzaroc, M.; Morriellod, I. & Russoa, P. (2018). *Effective Fire Extinguishing Systems of Lithium-Ion Battery*. Chemical Engineering Transactions.

Fredman, A.; Hägglund, L.; Tengell, T.; Thors, L.; Tunell, M. & Wingfors, H. (2016). *Nya risker för räddningspersonal vid bränder/gasning av batteripack hos e-fordon*. Umeå: FOI, Totalförsvarets forskningsinstitut, CBRN-skydd och säkerhet.

Gaia Consulting Oy. (2019). *Teollisuuden Litium-ioniakut ja turvallisuus, opas*. Helsinki: Gaia Consulting Oy.

Gong, J.; Luo, W.; Zhou, Z. & Zhu, S. (2017). *Research and Development of Fire Extinguishing Technology for Power Lithium Batteries*. Haettu 4.3.2020 osoitteesta <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705817362689>

Greencycle. (2020) *Litiumakun rakenne ja komponentit*. Haettu 7.3.2020 osoitteesta <https://www.greencycle.fi/page/101/litiumakun-rakenne-ja-komponentit>

Hassinen, M. (2019). *Litium-ioniakustojen palot ja sammutusmenetelmät, Pelastus- ja turvallisuustutkimuksen vuosikirja 2019, artikkelikokoelma*. Kuopio: Pelastusopisto.

Hassinen, M. (2020). *Litiumioniakkujen palot ja niiden sammuttaminen*. Avoin luento 14.1.2020, Länsi-Uudenmaan pelastuslaitos.

Helsingin kaupungin kaupunkisuunnitteluvirasto. (2017). *Maanalainen yleiskaava, Maanalaisen yleiskaavan muutoksen suunnitteluperiaatteet*. Helsinki: Helsingin kaupunki.

Helsingin kaupungin pelastuslaitos. (2015). *Helsinki, vastetaulukko*. Excel-taulukko, 12.1.2015, Helsingin kaupungin pelastuslaitos.

Helsingin kaupunkiympäristön toimiala. (2018). *Maanalaisten toimintojen yleinen turvallisuusselvitys 2018*. Helsinki: Kaupunkiympäristön julkaisuja 2018.

Hostikka, S.; Mikkola, E.; Rinne, T.; Tillander, K. & Weckman, H. (2005). *Henkilöturvallisuuden kehittäminen maanalaisissa tiloissa paloriskejä pientämällä*. Espoo: VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka.

Hyvärinen, M.; Nikander, P. & Ruusuvoori, J. (2017) *Tutkimushaastattelun käsikirja*. Tampere: Vastapaino.

Hämeen ammattikorkeakoulu. (2017). *Opinnäytetyöopas*. Hämeenlinna: Hämeen ammattikorkeakoulu.

Hätäkeskuslaitos. (2020). *Hätäkeskuslaitos – Avun ja turvan ensimmäinen viranomaislenkki*. Haettu 12.4.2020 osoitteesta <https://www.112.fi/hatakeskuslaitos>

IGL-Technologies Oy. (2019). *REDI – 50 MWh Ladattua sähköä vuodessa*. Haettu 17.4.2020 osoitteesta <https://igl.fi/redi/>

Insta DefSec Oy. (2015). *Uusi hätäkeskustietojärjestelmä ERICA*. Haettu 12.4.2020 osoitteesta https://www.112.fi/download/63468_ERICA_esite_high_res.pdf

Kajaanin ammattikorkeakoulu. (2019). *Laadullisen aineiston analyysi ja tulkinta*. Haettu 29.11.2019 osoitteesta <https://www.kamk.fi/fi/opari/Opinnaytetyopakki/Teoreettinen-materiaali/Tukimateriaali/Laadullisen-analyysi-ja-tulkinta>

Kaukonen, E. (2005). *Pelastustoiminnan johtaminen*. Kuopio: Pelastusopisto.

Korhonen, E.; Linja-aho, E.; Mäkinen, J. & Orrberg, M. (2019). *ST-käsikirja 41: Sähköautot ja latausjärjestelmät*. Tampere: Grano Oy.

KvantiMOTV – Menetelmäopetuksen tietovaranto. (2016). *1.2.2 Laadullisen tutkimuksen elementit*. Haettu 25.11.2019 osoitteesta https://www.fsd.uta.fi/menetelmaopetus/kvali/L1_2_2.html

Laitinen, J. (2020). *Korkeajänniteakkukennojen palot – Kemialliset altisteet ja suojautuminen*. Avoin luento 14.1.2020, Länsi-Uudenmaan pelastuslaitos.

Lapin AMK. (2017). *Opinnäytetyön toteuttaminen*. Haettu 25.11.2019 osoitteesta <https://www.lapinamk.fi/fi/Opiskelijalle/Opinto-opas,-AMK-tutkinto/Opinnaytetyoohje/Opinnaytetyon-toteuttaminen>

Metodix Oy. (2019). *Pirkko Anttila: Tutkimisen jalo taito ja tiedon hankinta*. Haettu 15.10.2019 osoitteesta <https://metodix.fi/2014/05/17/anttila-pirkko-tutkimisen-taito-ja-tiedon-hankinta/#10.1%20Tutkimuksen%20luotettavuus>

Meurman, K. & Niemi, S. (2018) *Litiumioniakkujen paloturvallisuus*. Haettu 5.3.2020 osoitteesta <https://tukes.fi/documents/5470659/10576880/Niemi+Meur-man+Litiumioniakkujen+palo-turvallisuus/cce05acc-6b48-e69e-70b6-14c27781b93e/Niemi+Meur-man+Litiumioniakkujen+paloturvallisuus.pdf>

Motiva Oy. (2019a). *Hybridiautot*. Haettu 5.3.2020 osoitteesta https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/nain_liikut_viisaasti/valitse_auto_viisaasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/hybridiautot

Motiva Oy. (2019b). *Hybridiautotyypit* Haettu 5.3.2020 osoitteesta https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/nain_liikut_viisaasti/valitse_auto_viisaasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/hybridiautot/hybridiautotyypit

National Highway Traffic Safety Administration. (2012). Interim Guidance for Electric and Hybrid-Electric Vehicles Equipped With High Voltage Batteries. U.S. Department of Transportation.

Nylund, N-O. (2011). Sähköautojen tulevaisuus Suomessa, Sähköautot liikenne- ja ilmastopolitiikan näkökulmasta. Helsinki: Liikenne- ja viestintäministeriö.

Ogawa, Y.; Sugawa, O.; Suwa, T. & Watanabe, N. (2012). Comparison of Fire Behaviors of an Electric-Battery Powered Vehicle and Gasoline-Powered Vehicle in a Real-Scale Fire Test, Proceedings from 2nd International Conference on Fires in Vehicles – FIVE 2012. Borås: SP Technical Research Institute of Sweden.

Pelastuslaitosten kumppanuusverkosto. (2016). *Pelastustoiminnan käsitteitä*. Haettu 7.4.2020 osoitteesta http://www.pelastuslaitokset.fi/js/upload/Pelastustoiminnan-ksitteit-2_pivitetty-versio-2016.pdf

Pelastuslaki 379/2011. Haettu 7.4.2020 osoitteesta <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110379>

Pelastustieto. (2019). *Sähköauto syttyi kolmesti – akkupalo on arvaamaton ja vaikea sammuttaa*. Haettu 25.11.2019 osoitteesta <https://pelastustieto.fi/pelastustoiminta/operatiivinen-toiminta/sahkoauto-syttyi-kolmesti-akkupalo-on-arvaamaton-ja-vaikea-sammuttaa/#66453c57>

Perttilä, J. (2020). *Litiumioniakkujen vikaantuminen kuluttajaelektronikkalaitteissa*. Kandidaatintyö. Sähkötekniikan tutkinto-ohjelman. Lappeenranta-Lahden teknillinen yliopisto LUT. Haettu 23.2.2020 osoitteesta <https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/160682/Kandidaatintyo-Perttila-Jani.pdf?sequence=1>

PluginCars.com. (2013). Toyota Targets 2020 For 600-Mile Solid State Electric Car Battery. Haettu 12.4.2020 osoitteesta <https://www.plugin-cars.com/toyota-targets-2020-600-mile-solid-state-battery-126712.html>

SESKO ry. (2019). *Sähköajoneuvojen lataussuositus*. Helsinki: Sähkötekni-
sen alan kansallinen standardointijärjestö.

Sisäasiainministeriö. (2012). *Pelastustoimen toimintavalmiuden suunnitte-
luohje*. Helsinki: Sisäasiainministeriö.

Sisäministeriö. (2018a). Ehdotus pelastustoiminnan johtamisen suunnitte-
luperusteiden kehittämiseksi. Helsinki: Sisäministeriö.

Sisäministeriö. (2018b). Pelastustoimen tehtävänkäsittely hätäkeskuk-
sessa, yleisohje, versio 2.0/2018. Helsinki: Sisäministeriö.

Sähkötieto ry. (2018). ST 51.90, Sähköauton lataaminen ja latauspisteiden
toteutus. Espoo: Sähköinfo Oy.

Sähkötieto ry. (2019). ST-käsikirja 41, Sähköautot ja latausjärjestelmät.
Tampere: Grano oy.

Teknologiateollisuus. (2020). *Sähköisen liikenteen tilannekatsaus
Q4/2019*. Helsinki: Teknologiateollisuus.

Tesla Inc. (2019a). *Model 3 – Pelastustyöntekijöiden opas*. Haettu 7.4.2020
osoitteesta https://www.tesla.com/sites/default/files/downloads/Model_3_Emergency_Response_Guide_fi.pdf

Tesla Inc. (2019b). *Model S, 2016+ - Pelastustyöntekijöiden opas*. Haettu
13.4.2020 osoitteesta https://www.tesla.com/sites/default/files/downloads/2016_Model_S_Emergency_Response_Guide_fi.pdf

Tutkimuseettinen neuvottelukunta. (2019). Ihmiseen kohdistuvan tutki-
muksen eettiset periaatteet ja ihmistieteiden eettinen ennakoarviointi
Suomessa. Helsinki: Tutkimuseettinen neuvottelukunta.

Työ- ja elinkeinoministeriö. (2017). Valtioneuvoston selonteko kansalli-
sesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030. Helsinki: Työ- ja elin-
keinoministeriö.

Työterveyslaitos. (2017). *OVA-ohje: Fluorivety ja fluorivetyhappo*. Helsinki:
Työterveyslaitos.

U.S. Department of Energy. (2020). How Do Hybrid Electric Cars Work?. Haettu 28.2.2020 osoitteesta <https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-hybrid-electric-cars-work>

Willstrand, O. (2020). *A lower risk of fire with electric cars?*. Haettu 5.3.2020 osoitteesta <https://www.ri.se/en/our-stories/lower-risk-fire-electric-cars>

Vilka, H. (2015). *Tutki ja kehitä*. Jyväskylä: PS-kustannus.

Vilmi, T. (2019). *Litiumakku sammutetaan jäähdyttämällä*. Haettu 1.3.2020 osoitteesta <https://www.presto.fi/blogi/litiumioniakku-sammutetaan-jaahdyttamalla>

Välisalo, T. (2019). *Firefighting in Case of Li-Ion Battery Fire in Underground Conditions: Literature Study*. Tampere: VTT Oy.

Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta. Haettu 17.4.2020 osoitteesta <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170848>

Kyselylomake

1) City and fire department?

2) Have there been any electric vehicle fires in your area (above or below ground)?

Comments or experiences about electric vehicle fires? Total amount of electric vehicle fires? The causes of fires?

3) Does your fire department have a special approach to electric vehicle fires in underground spaces?

For example – is there any instructions or fires when electric vehicle is involved in underground space? Differences from fires in vehicles with combustion engine?

4) Does your fire department have any special equipment for these situations (for example: extinguishing container, tow truck, fire blanket, etc.)?

5) Is there a tactic for removing a burned vehicle from a parking garage (taking into account the known risk of re-ignition)?

6) Do you use a standard firefighting gear in electric vehicle fires, or are you prepared to wear (for example) chemical protective clothing?

7) Will the fire department be notified of new, more extensive charging systems in parking garages?

For example – are the designers in contact with the fire department?

8) Are there any special fire safety requirements for charging stations in underground spaces?

Are there national or local requirements? Instructions?

9) Have you received training on the subject?

What kind of training?

10) Comments?

Ohje sähköautopaloista maanalaisessa pysäköintilaitoksessa

SÄHKÖAUTOPALO MAANALAISESSA PYSÄKÖINTILAITOKSESSA

1. YLEISTÄ

Sähköauton palo poikkeaa tavanomaisen polttomoottorikäyttöisen auton palosta vain, jos tulipalo on päässyt sähköauton energiavarastoihin – eli akkuihin. Tämänhetkisen tiedon mukaan sähköautot eivät ole erityisen herkkiä syttymään verrattuna polttomoottorikäyttöiseen autoon. Lisäksi niiden palotehon voidaan arvioida olevan jopa polttomoottorikäyttöisen auton paloa pienempi, koska palavien nesteiden määrä on pienempi. Sähköauton palotehoon vaikuttaa merkittävästi auton akuston latausaste (vrt. polttoaineen määrä).

Keskeiset tunnistetut haasteet sähköauton akkupalossa liittyvät vaikeaan sammutettavuuteen ja kemiallisiin altisteisiin. Akkupalon palotapahtumaa kuvataan termiseksi karkaamiseksi. Terminen karkaaminen käynnistyy akkukemiasta riippuen 80 – 120 asteessa. Tässä reaktiossa akku tuottaa palaessaan kaikkia palamiseen tarvittavia elementtejä, joten ainoa sammutuskeino on akkukennojen jäähdyttäminen. Eri testien perusteella veden on todettu omaavan tehokkaimman jäähdyttämisaikutuksen.

Kaikki autopalot tuottavat elimistölle haitallisia palo- ja savukaasuja. Sähköautopaloissa näiden haitallisten pitoisuuksien on havaittu olevan polttomoottorikäyttöisen auton paloja suurempia. Näin ollen pelastushenkilöstön työturvallisuuteen ja altistumiseen tulee kiinnittää sähköautojen paloissa erityishuomioita.

2. RESURSSIT

Sähköautopalo maanalaisessa pysäköintilaitoksessa saattaa sitoa pelastuslaitoksen resursseja useiksi tunneiksi. Siksi on keskeistä, että pelastustoiminnan johtaja huolehtii paikalla olevien resurssien riittävyydestä etupainotteisesti.

Sähköauton akkupaloon tarvittava vesimäärä saattaa olla huomattavan suuri. Eri kokemusten perusteella tarvittava vesimäärä voi olla jopa 10 000 l – 20 000 l. Tämän vuoksi pelastustoiminnan johtajan tulee varmistua vedensaannista säiliöautojen ja palopostiselvitysten avulla.

Akkupalo voi syttyä uudelleen jopa 24 tuntia ensimmäisen sammutuksen jälkeen. Tämän vuoksi taktiikkaa valittaessa tulee miettiä, että pyritäänkö akkupalo jäähdyttämään pysäköintitilassa vai pyritäänkö palava ajoneuvo siirtämään ulkoilmaan.

Altistumisen näkökulmasta keskeistä on arvioida se, että joudutaanko pysäköintitilassa työskentelemään suurissa savupitoisuuksissa. Altistumisen vähentämiseksi paloasun ja paineilmalaitteen kanssa suurissa savupitoisuuksissa ei tulisi työskennellä yli 10 minuuttia kerrallaan, vaan suojaustasona tulisi käyttää mahdollisuuksien mukaan kaasutiivistä kemikaalisuojapukua. Tämän vuoksi pelastustoiminnan johtajan tulee altistumisen vähentämiseksi luoda painopisteet sammutus- ja pelastustoiminnalle ja huolehtia riittävästä henkilöstörotaatiosta.

Sammutustoiminta tulisi aloittaa vasta kun riittävät resurssit sammutukseen ovat valmiina (huomioiden lisäveden saatavuus ja suojaparitoiminta). Ensimmäisiä keskeisiä tehtäviä on huolehtia tilojen evakuoinnista ja rajaamisesta siten, että pelastuslaitos pystyisi keskittymään pelkästään palavan sähköauton jäähdytykseen ja sammutukseen.

3. TUNNISTAMINEN

Autopalossa tulisi varmistua palavan auton energiamuodosta. Sähköauton tunnistaa yleensä ulkoisista merkinnöistä (esim. EV) tai viimeistään tietokantojen avulla (esim. Crash Recovery System).

Sähköauton palossa tulee arvioida, onko palo sähköauton akustossa vai muualla autossa. Tilanteen tunnistamisessa voidaan hyödyntää erilaisia tietokantoja arvioidessa sitä, onko palo voinut vahingoittaa auton akkuja. Sähköautojen akut sijaitsevat yleensä hyvin suojattuina auton pohjassa.

Akkupalon tyypillisiä tunnusmerkkejä ovat:

- Sarja poksahduksia (yksittäisen akkukennon kuori pettää akun paisumisen johdosta)
- Akkujen turpoaminen
- Valkoinen höyry/savu auton akuista
- Akkujen lämpötilan nousu (lämpökameralla mitaten)

4. SAMMUTTAMINEN

Vesi on korkean lämmönsitomiskykynsä ansiosta tehokkain sammute akkupalon jäähdytykseen ja sammuttamiseen. Haaste akkupalossa tulee siitä, että vesi tulisi saada suoraan akkuihin, jotka ovat hyvin koteloituja. Osassa sähköautoja on olemassa erillinen sammutusaukko, jonka tulppa sulaa pois termisen karkaamisen käynnistyttyä akuissa. Mikäli sammutusaukkoa ei ole, niin vesivirta tulisi suunnata siihen kohtaan sähköauton akkuja, mistä purkautuu valkoista savua/höyryä tai liekkejä.

Sähköautojen akkupalossa tulee varautua pitkäkestoiseen jäähdyttämiseen ja sammuttamiseen. Tämän vuoksi tiloihin tulee järjestää riittävä savunpoisto pelastuslaitoksen kalustolla tai kiinteistön omilla

järjestelmillä. Pitkäkestoinen akkujen jäädytys tulisi pyrkiä tekemään ilmvirtauksen yläpuolelta, jotta vähennetään pelastushenkilöstön altistumista haitallisille palo- ja savukaasuille.

Akkujen palaessa täytyy tiedostaa, että liekkipalon sammuttaminen ei pysäytä akkujen termistä karkaamista. Terminen karkaaminen on kemiallinen tapahtuma yksittäisessä akkukennossa, jossa muodostuu itsessään kaikkea palamiseen tarvittavia elementtejä (myös happea). Liekkipalossa osa haitallisista kemiallisista altisteista palaa pois, joten liekkipalaa ei tulisikaan sammuttaa ennen kuin kaikki sammuttamiseen tarvittavat resurssit ovat käytettävissä.

Akkujen sammuttamisessa tulee hyödyntää lämpökameraa, jolla tulee tarkkailla akkujen läheisten rakenteiden lämpötilaa ja sen kehitystä sammutustyön edetessä. Jäädytyksen helpottamiseksi autoa voidaan kallistaa esimerkiksi erilaisten tunkkien avulla, jotta vesi saadaan mahdollisimman tehokkaasti akkuihin.

Eri polttokokeiden perusteella voidaan arvioida, että kokonaisuudessaan akkupalon sammutukseen ja jäädytykseen tarvittava vesimäärä on vähintään useita tuhansia litroja. Akkujen jäädyttämistä tulisikin pyrkiä jatkamaan niin kauan, kunnes akkujen lämpötila on saatu lämpökameran perusteella laskettua reilusti alle 80 asteen. Tämän jälkeen tulee siirtyä jälkivartiointivaiheeseen, jossa varmistutaan siitä, että akkujen lämpötila ei pääse nousemaan uudelleen.

Akkupalon jäädytykseen ja sammutukseen käytetty sammutusvesi luokitellaan ongelmajätteeksi. Mahdollisuuksien mukaan sammutusvesi tulisi pyrkiä keräämään talteen ja estämään sen pääsy viemäriverkkoon esimerkiksi viemärinsulkumattojen avulla. Mikäli sähköauton akkupalon sammutukseen käytettyä vettä pääsee viemäriverkkoon, tulee alueen jätevedenpuhdistamolle ilmoittaa asiasta.

5. AJONEUVON SIIRTO

Sähköauton akkupalossa ensisijainen sammutuskeino maanalaisessa pysäköintilaitoksessa on akkujen jäädyttäminen palotilassa. Mikäli tämä ei jostain syystä ole mahdollista tai henkilöturvallisuus huomioiden järkevää, tulee palanut/palava ajoneuvo pyrkiä siirtämään pois pysäköintilaitoksesta.

Palaneen auton hinaus voidaan suorittaa hinausautolla tai pelastuslaitoksen omalla kalustolla. Sähköauton akkupalossa on huomioitavaa, että palo on voinut mahdollisesti vahingoittaa auton sähköjärjestelmää siten, että auton renkaat ovat lukossa (tai palaneet). Tällöin tulee varautua erillisten siirtoalustojen käyttöön.

Mikäli palo on saatu sammumaan ja ympäröiviin tiloihin on saatu riittävä tuuletus käyntiin, voidaan ulkopuolinen hinausautoyrittäjä päästää palotilaan pelastuslaitoksen valvonnassa. Savuisissa tiloissa tai palavaa autoa hinatessa, hinaus tulee suorittaa pelastushenkilöstön toimesta.

Ennen siirtoon ryhtymistä tulee määrittää paikka johon palanut sähköauto siirretään jälkivartiointiin. Mikäli pelastuslaitoksella on käytössään vesitiivis sammutuskontti, siirretään auto siihen. Muutoin siirtopaikka tulisi olla sellainen, jossa sivullisille ei aiheudu palo- ja savukaasuista vaaraa, eikä palo voi levitä muihin autoihin tai rakennuksiin. Lisäksi paikassa tulisi pyrkiä huomioimaan mahdollisten sammutusvesien keräys.

6. TYÖTURVALLISUUS

Sähköauton akkupalosta vapautuu huomattava määrä haitallisia ja syöpää aiheuttavia yhdisteitä. Suojaustasona sähköautopaloissa tulee tiedustelussa ja sammutuksen alkuvaiheessa käyttää tavanomaista paloasua ja paineilmalaitetta. Lähestyminen sähköautopaloon tulee pyrkiä tekemään ilmavirtauksen suunnasta, ”tuulen yläpuolelta”.

Altistumisen vähentämiseksi tulee palotilaan pyrkiä järjestämään tilanteen alkuvaiheessa riittävä savunpoisto. Jäähdytystä ja sammutusta voidaan tehdä pitkäaikaisestikin palotilassa paloasun kanssa, mikäli sitä pystytään suorittamaan ilmavirran yläpuolelta.

Mikäli joudutaan työskentelemään yli 10 minuuttia palo- ja savukaasujen seassa, tulee käyttää kaasutiivistä kemikaalisuojapukua ja paineilmalaitetta. Kemikaalisuojapuvun kanssa tulee huomioida sen heikompi palonkesto, paloasuun verrattuna. Akkupalo voi aiheuttaa myös kuumia metalliheitteitä autosta, mikä tulee huomioida turvallisessa jäähdytys- ja sammutustoiminnassa.

Sähköauton palossa tulee noudattaa autovalmistajan ohjeita sammutus- ja pelastustoiminnasta. Joissain automalleissa valmistaja suosittelee *pelastus-silmukan* katkaisua (rescue loop). Katkaisusilmukalla saadaan auton korkeajännitejärjestelmän virransyöttö akuista katkaistua. Auton käsittelyssä tulee kuitenkin lähtökohtaisesti toimia siten kuin kaikki korkeajännitekomponentit olisivat jännitteellisiä. Työturvallisuuden varmistamiseksi auton latauspiste on myös syytä tehdä jännitteettömäksi.

7. TEHTÄVÄN PÄÄTTÄMINEN

Mikäli sähköauto on sammutettu maanalaisessa pysäköintilaitoksessa, tulee sitä jälkivartioida vähintään tunnin ajan auton sammuttamisen jälkeen. Sammutuksen katsotaan onnistuneen, kun akuston lämpötila on saatu laskettua reilusti alle 80 asteen. Lisäksi akun lämpötila ei saa nousta, eikä akusta saa purkautua savua tai kipinöitä. Jälkivartiointin ajan tilassa

tulee olla jatkuva sammutusvalmius ja akuston lämpötilaa tulee seurata aktiivisesti lämpökameralla.

Jälkivartiointin jälkeen auto voidaan luovuttaa hinausyrittäjälle maanalaisesta pysäköintilasta poissiirtoa varten. Pelastustustoiminnan johtajan tulee varmistua siitä, että auto siirretään tiloista pois ennen kuin jälkivartiointi päätetään. Erikseen määritellyssä paikassa, johon auto siirretään, jälkivartiointia tulisi suorittaa vähintään vuorokauden ajan (esim. kiertovartiointi tunnin välein). Paikka tulisi olla sellainen, että siellä ei ole leviämisvaaraa, mikäli akusto syttyy uudelleen palamaan.

Palotila voidaan luovuttaa käyttäjälle sen jälkeen, kun tila on puhdistettu asianmukaisesti. Huomionarvoista on se, että savu- ja palokaasut sekä sammutusvesi sisältävät haitallisia yhdisteitä, joten tilojen asianmukaisesta puhdistuksesta tulee varmistua.

Pelastushenkilöstön tulee noudattaa tilanteen purkamisessa ”puhtaan paloaseman” periaatteita. Sammutukseen käytetyt varusteet tulee laittaa itsesulaviin pesupusseihin ja henkilöstölle tulee vaihtaa puhtaat väli- ja paloasut. Pesupussit tulee kuljettaa pesuun pelastusyksikön miehistötiloista erillään.

Muistilista pelastustoiminnan johtajalle sähköautopaloihin maanalaisissa pysäköintilaitoksissa

SÄHKÖAUTON TULIPALO

1. PELASTA

- Eristä alue ja pelasta vaarassa olevat
- Estä kulku pysäköintilaitokseen ja ympäröiviin tiloihin
- Yhteistyö poliisin ja kohteen järjestyksenvälvojen kanssa

2. SAMMUTA

- Suorita nopea palavan auton sammutus ilmapirtauksen "yläpuolelta"
- Varmista lisävesi ja suojapari sammutukseen
- Suojaustasona paloasu ja paineilmalaite

3. TUNNISTA

- Tunnista automalli ja käyttövoima, avaa tarvittavat tietokannat
- Mikäli sähköauto palaa, tee latauspiste jännitteettömäksi
- Katkaise pelastus-silmukka mikäli valmistaja suosittelee sitä

4. SAVUNPOISTO

- Järjestä savunpoisto tiloista
- Eristä alue johon savu poistetaan ulkoilmassa

5. ARVIOI TILANNE

- Arvioi, että onko palo päässyt akustoon (akkupalon merkit)
- Käytä apuna tietokantoja akuston sijainnin arviointiin
- Jos akkupalo -> varmista resurssien riittävyys (vähintään kolme sammutusparia, suojapari ja säiliöyksikkö)

6. JÄÄHDYTÄ

- Jäähdytä akustoa sammutusaukon tai savun purkautumissaukon kautta
- Suojaustasona pienissä savupitoisuuksissa paloasu ja pi-laite, suurissa pitoisuuksissa kaasutiivis kemikaalisuojapuku ja pi-laite

7. TARKKAILE

- Arvioi lämpökameran avulla jäähdyttääkö sammutusvesi akustoa
- Muodostuuko akustosta vielä palon merkkejä

8. SAMMUTUSVESIEN TALTEENOTTO

- Akkupaloon käytetty sammutusvesi luokitellaan ongelmajätteeksi
- Estä sammutusveden pääsy viemäriin
- Ilmoita jätevedenpuhdistamolle mikäli sammutusvettä päässyt viemäriin

9. JÄRJESTÄ HINAUS

- Sammuttamisen jälkeen tilassa 1h jälkivartiointi ennen siirtoa
- Arvioi tilan korkeuden perusteella sopiva hinausauto
- Arvioi voiko hinausyrittäjä mennä tiloihin vai suoritetaanko pelastushenkilöstölle pikakoulutus hinausauton käytöstä

10. JÄLKIVARTIOINTI JA TILANTEEN PURKU

- Määritä paikka minne hinattu auto siirretään
- Mikäli sammutuskonttia ei käytettävissä -> 24h jälkivartiointi paikassa, jossa ei leviämisvaaraa mikäli akusto syttyy uudelleen palamaan
- Tilanteen jälkeen altistumisen vähentäminen "puhtaan paloaseman" periaatteiden mukaisesti

TULIPALO SÄHKÖAUTON AKUSTOSSA

Paloturvallisuusohje sähköautojen latauspisteiden sijoittamisesta maanalaiseen pysäköintilaitokseen

PALOTURVALLISUUSOHJE SÄHKÖAUTOJEN LATAUSPISTEIDEN SJOITTAMISESTA MAANALASEEN PYSÄKÖINTILAITOKSEEN

1. YLEISTÄ

Rakennusten paloturvallisuutta säädellään Ympäristöministeriön asetuksessa rakennusten paloturvallisuudesta (848/2017). Asetuksessa otetaan kantaa myös pysäköintilaitosten paloturvallisuusjärjestelyihin.

Sähköautojen latauspisteiden sijoittamisesta ei ole erillisiä paloturvallisuusmääräyksiä tai -ohjeita. Tämän ohjeen tarkoituksena on antaa suosituksia suunnittelijoille ja pelastusviranomaisille eri paloturvallisuustekijöiden huomioimisesta sähköautojen latauspisteiden sijoittamisessa maanalaiseen pysäköintilaitokseen. Ohje sisältää pelastuslaitoksen asiantuntijapäätelmiin perustuvia suosituksia. Ohjeen keskeinen tarkoitus on pyrkiä edistämään turvallista rakentamista.

Tässä ohjeessa annettavat suositukset koskevat uudisrakentamista. Mikäli olemassa olevaan maanalaiseen pysäköintilaitokseen suunnitellaan sähköautojen latauspisteitä, tulisi paloturvallisuusjärjestelyistä neuvotella paikallisen pelastusviranomaisen kanssa.

Sähköautojen akkupalot ovat tavanomaiseen autopaloon verraten haasteellisimpia ja pitkäkestoisempia tilanteita pelastuslaitokselle. Akkupalon tiedetään muodostavan merkittävän uudelleensyttymisriskin, mikäli sitä ei saada jäädytettyä riittävästi. Tämä johtuu siitä, että kuumentuneet akut muodostavat itsessään kaikkia palamiseen tarvittavia elementtejä (happi, lämpö, palava aine ja katkeamaton ketjureaktio). Lisäksi akkupalon tiedetään muodostavan erittäin vaarallisia palo- ja savukaasuja.

Sähköautojen palokuormat ja -tehot voidaan arvioida olevan nykyaikaisissa autoissa verrattavissa polttomoottorikäyttöisten autojen palokuormiin ja -tehoihin. Eräissä polttokokeissa sähköauton paloteho oli jopa pienempi kuin polttomoottorikäyttöisessä autossa, johtuen palavien nesteiden vähäisyydestä. Suurin haaste pelastustoimelle muodostuu sähköauton palossa siitä, että palon sammuttaminen on haastavaa, koska sammutusvesi täytyy saada suoraan akkuihin. Tämän vuoksi on oletettavaa, että sähköautopalon palo on pitkäkestoisempi tapahtuma kuin tavanomaisen polttomoottorikäyttöisen auton palo.

Muun muassa edellä mainittujen tekijöiden vuoksi on tärkeää, että sähköautojen latauspisteitä suunniteltaessa maanalaisiin tiloihin otettaisiin pelastustoiminnan edellytysten näkökulmat huomioon. Näiden näkökulmien

huomioiminen parantaa myös henkilöturvallisuutta ja mahdollistaa pysäköintitilojen tulipalon jälkeisen nopeamman käyttöönoton.

2. LATAUSPISTEIDEN SIOITTAMINEN

2.1 Latauspisteiden sijoittaminen pysäköintilaitoksessa

Sähköautopalon sammuttaminen saattaa edellyttää palaneen tai palavan ajoneuvon uloshinausta pysäköintilaitoksesta. Tämän vuoksi sähköautojen latauspisteet tulisi sijoittaa maantasokerrokseen, helpomman hinauksen mahdollistamiseksi.

Mikäli latauspisteitä sijoitetaan maanalaisiin kerroksiin, tulisi pisteet sijoittaa ulosajoramppien välittömään läheisyyteen. Latauspisteiden sijoittamista tiloihin, joissa on jyrkkiä ajoluiskia pysäköintikerrokseen, tulisi välttää.

Sähköajoneuvojen latauspisteiden on sijaittava vähintään 10 metrin päässä räjähdysvaaralliseksi luokitellusta tilasta (kts. standardi SFS 6000-7-722).

2.2 Pysäköintiruutujen leveys

Mikäli pysäköintilaitosta ei ole varustettu automaattisella sammutuslaitteistolla, tulisi sähköautoille osoitettujen pysäköintiruutujen olla tavanomaista leveämpiä. Tällä osaltaan hidastettaisiin palon leviämistä viereisiin autoihin ja helpotettaisiin ajoneuvon siirtämiseksi tehtäviä pelastuslaitoksen toimenpiteitä. Tavanomaisen pysäköintiruudun leveys on noin 2,5 metriä. Sähköauton latauspisteen pysäköintiruudun leveydeksi suositellaan vähintään 3,5 metriä.

Sähköautojen latauspisteitä ei myöskään tulisi sijoittaa vierekkäin, mikäli tilassa ei ole automaattista sammutuslaitteistoa. Tällä pyritään estämään usean sähköauton samanaikaisen palon syntyminen. Pysäköintiruutujen jaotuksessa latauspisteitä voi olla esimerkiksi joka toisessa ruudussa, siten että kaikkiin ilmansuuntiin nähden latauspisteiden välillä olisi aina pysäköintiruutu tavanomaiselle autolle (vastakkain ja vierekkäin).

3. LATAUSPISTEET

3.1 Latauspisteiden sähköasennukset

Ennen sähköautojen latauspisteiden asentamista tulisi syöttävän sähköjärjestelmän nykyinen kuormitus selvittää. Selvityksessä tulisi huomioida, että voiko järjestelmään liittää uutta kulutusta ja onko kiinteistön sähköliittymää muutettava. Huomioitavia seikkoja ovat liittymisjohdon koko ja kunto, pääsulakkeiden koko, keskuksen kunto ja mitoitusvirta sekä keskuksessa olevat tilat uusille lähdöille. Lisäksi

kiinteistön sähköjärjestelmiin tehdyt muutokset ja lisäykset tulisi tarkastaa valtuutetun sähkö tarkastajan toimesta. (Kts. SESKO sähköajoneuvojen lataussuositus 2019)

Maanalaisissa pysäköintilaitoksissa palokuorman määrä tulisi pyrkiä minimoimaan. Latausjärjestelmän kaapelointiin tulisi käyttää halogeenittomia ja vähäisen savunmuodostuksen Dca-s2d2a2 –luokan kaapeleita.

3.2 Latauspisteiden virransyöttö

Kaikki sähköautoja vaihtosähköllä syöttävät latauspisteet on suojattava mitoitusvirraltaan enintään 30 mA vikavirtasuojilla. Turvallisen sammutus- ja pelastustoiminnan suorittamiseksi, pelastustuslaitos pyrkii tästä huolimatta tekemään tulipalossa paloalueen latauspisteet jännitteettömäksi.

Kaikkien latauspisteiden jännitteettömäksi tekeminen tulisi olla mahdollista yhdestä keskitetystä paikasta ilman, että joudutaan kytkemään sähköt pois kiinteistön pääkatkaisijasta. Laajemmissa pysäköintilaitoksissa latauspisteiden jännitteettömäksi tekeminen voi olla järjestetty esimerkiksi kerroksittain.

Paikka, josta latauspisteet tehdään jännitteettömäksi, tulisi sijoittaa siten, että sinne voidaan kulkea menemättä pysäköintitilaan, jossa latauspisteet sijaitsevat, esimerkiksi mahdollisen paloilmoitin- tai savunpoistokeskuksen yhteyteen. Mikäli kiinteistö on varustettu automaattisella paloilmoittimella, voidaan latauspisteiden jännitteettömäksi tekeminen suorittaa paloilmoittimen ohjaamana.

4. SUOJAUSTASO

4.1 Automaattinen paloilmoitin

Automaattinen paloilmoitin suositellaan asennettavaksi kaikkiin pysäköintilaitoksiin, joissa ladataan sähköautoja. Automaattisen paloilmoittimen avulla alkava palo havaitaan aikaisessa vaiheessa, jonka johdosta sammutus- ja pelastustoiminta päästään aloittamaan aikaisemmin.

Paloilmaisimiksi suositellaan savun ja lämmön yhteisvaikutuksesta ilmaisen antavia monikriteeri-ilmaisimia. Pelkkien savuilmaisimien käyttö ei ole suositeltavaa pysäköintitiloissa pölyn ja pakokaasujen vuoksi, jotka aiheuttavat ilmaisimien likaantumisen vuoksi erheellisiä hälytyksiä.

Automaattinen paloilmoitin tulisi mahdollisuuksien mukaan yhdistää muihin kiinteistöautomaatiojärjestelmiin. Esimerkiksi sisäänajo

pysäköintilaitokseen tulisi sulkeutua automaattisen paloilmotuksen ohjaamana, henkilöturvallisuuden takaamiseksi.

4.2 Automaattinen sammutuslaitteisto

Automaattinen sammutuslaitteisto ei sammuta sähköauton akkupalaa. Sammutuslaitteisto voi kuitenkin estää ja hidastaa palon leviämistä viereisiin autoihin. Sammutuslaitteisto toimiessaan antaa myös lisäaikaa turvalliseen poistumiseen ja helpottaa sammutus- ja pelastustoimintaa

Sähköautojen latauspisteet tulisi huomioida sprinklersuuttimien sijoittelussa. Latauspisteiden yläpuolella suuttimien maksimietäisyys toisistaan tulisi olla enintään kolme metriä. Lisäksi suuttimien laukeamislämpötila tulisi olla 57°C (oranssi kapseli), koska tiedetään, että litiumioniakuissa terminen karkaaminen voi käynnistyä 70°C jälkeen.

Maanalaisissa pysäköintilaitoksissa pelastuslaitoksen toiminta on maanpäällisiin tiloihin verrattuna hitaampaa mm. pitkistä etäisyyksistä johtuen. Tämän vuoksi automaattisen sammutuslaitteiston sprinkleriluokaksi suositellaan OH3-luokkaa, jossa on suurempi mitoitusala kuin yleensä pysäköintilaitoksissa käytetyssä OH2-luokassa.

Pitkäkestoisen palotapahtuman vuoksi palon levämisen estämiseksi tulee vesilähteen luotettavuuteen ja toiminta-aikaan kiinnittää huomiota. Sammutuslaitteiston vesilähteenä tulisi käyttää vähintään varmennettua yksinkertaista (B-luokan) vesilähdettä.

4.3 Alkusammutuskalusto

Sähköauton akkupalaa ei ole mahdollista sammuttaa käsisammuttimella. Akkupalossa muodostuvien myrkyllisten kaasujen vuoksi muiden kuin pelastuslaitoksen riittävillä suojarusteilla varustetun henkilöstön ei tule pyrkiä rajoittamaan tai sammuttamaan sähköauton akkupalaa.

Sähköautojen latauspisteiden läheisyyteen ei ole tarpeellista sijoittaa erityisesti akkupalaa varten tarkoitettuja alkusammutusvälineitä. Maanalaiset tilat, joissa on latauspisteitä, suositellaan kuitenkin varustettavan pikapaloposteilla, jotka ovat tarvittaessa pelastushenkilöstön käyttöönotettavissa nopeaa jäähdytystä varten.

5. SAVUNPOISTO

Sähköauton palossa pelastuslaitoksen keskeiseksi haasteeksi muodostuu akkupalosta vapautuvat haitalliset ja syöpää aiheuttavat yhdisteet. Tämän vuoksi tiloissa, joissa on sähköautojen latauspisteitä, tulisi suosia koneellista savunpoistoa. Koneellisen savunpoiston avulla pelastuslaitos pystyy ohjaamaan palo- ja savukaasuja, joka mahdollistaa turvallisemman sammutus- ja pelastustoiminnan pysäköintitilassa.

Pelastushenkilöstön toimintaedellytyksiä voidaan parantaa pienentämällä savulohkojen kokoa ja lisäämällä imupisteitä kattavasti eri puolille pysäköintilaitosta. Tällä tavoin savun leviämistä pystytään hallitsemaan, joka mahdollistaa palokohteen lähestymisen useasta eri suunnasta.

6. SAMMUTUSVESI

6.1 Sammutusvesiputkistot

Sähköautojen sammuttamisen mahdollistamiseksi maanalaisiin pysäköintilaitoksiin tulisi asentaa kiinteät sammutusvesiputkistot, mikäli etäisyys maanpinnalta kauimmaiseen sähköauton latauspisteeseen ylittää 70 metriä. Sammutusvesiputkiston koko tulee olla DN 80.

Mikäli pysäköintitila on varustettu automaattisella sammutuslaitteistolla, tulisi sammutusvesiputkiston ulosottoina olla kaksi 2":n paloliitin C:tä. Mikäli tilassa ei ole automaattista sammutuslaitteistoa tulisi ulosottoina käyttää kahta 3":n paloliitin B:tä.

6.2 Lisävesijärjestelyt

Pysäköintilaitoksen välittömään läheisyyteen (alle 60 metrin päähän) tulisi järjestää pelastuslaitokselle lisävedensaantimahdollisuus maanpäällisellä palopostilla tai vesiasemalla. Vedentuotto tässä tulisi olla vähintään 1200l/min.

6.3 Sammutusvesien talteenotto

Sähköauton akkupalosta liukenee sammutusveden mukana mm. vetyfluoridia ja vetykloridia, jotka aiheuttavat jätevedenpuhdistamolla ongelmia päästessään sellaisenaan viemäriverkkoon. Pysäköintitilassa, jossa ladataan sähköautoja tulisi suunnitella viemärointi siten, että saastuneiden sammutusvesien pääsy yleiseen viemäriverkkoon olisi estettävissä.

Yksi vaihtoehto on varustaa pysäköintitilat jätevesialtaalla, joka on varustettu tarkoitukseen sopivilla kemikaaliantureilla. Jätevesiallas tulisi mitoitaa vähintään tunnin yhtämittaiselle akkupalon jäähdytykselle, siten että altaan vähimmäiskoko olisi 30 m³ (suihkuputken vedentuotto 500l/min, tunnin ajan). Sammutusjätevesialtaassa tulisi olla mahdollisuus tyhjentää se imuautolla.

7. SAMMUTUS- JA PELASTUSTOIMINNAN EDELLYTYKSET

7.1 Sammutusreitit

Maanalaiseen pysäköintilaitokseen tulisi järjestää pelastuslaitokselle sammutusreitit eri puolilta rakennusta. Sammutusreitit tulisi järjestää

vähintään siten, että mahdollista palokohdetta pystytään lähestymään kahdesta eri suunnasta. Lisäksi, mikäli tilassa on pelkästään yksi savunpoiston imupiste, tulisi ainakin yksi sammutusreitti olla käytettävissä siten, että mahdollista palokohdetta pystyttäisiin lähestymään ilmavirtauksen *yläpuolelta*.

7.2 Ajoluiskat ja ajokorkeudet.

Sähköauton palaessa pelastuslaitos joutuu varautumaan auton uloshinaukseen. Uloshinauksen mahdollistamiseksi pysäköintitilojen vapaan korkeuden tulisi olla vähintään 2,5 metriä. Vapaa korkeus tulisi suunnitella mahdollisimman suureksi (huomioiden esim. putket ja ilmastointikanavat), jotta käytettävissä olisi mahdollisimman usea eri hinausautovaihtoehto. Lisäksi ajoluiskien suunnittelussa tulisi kiinnittää erityistä huomiota luiskien korkeuteen, kaltevuuteen ja mahdollisten mutkien edellyttämään kääntösäteeseen hinauksen osalta.

7.3 Viranomaisverkon kuuluvuus

Maanalaisen pysäköintilaitoksen kaikkiin pysäköintitiloihin, uloskäytäviin ja hyökkäysreiteille tulisi järjestää viranomaisverkon (VIRVE) kuuluvuus.

7.4 Pelastuslaitoksen opastus

Sähköautojen latauspisteet tulisi huomioida kiinteistön opasteissa. Latauspisteet ja niiden virransyötön katkaisu tulisi olla merkitty paloilmoittimen paikantamiskaavioihin ja kohdekorttiin. Mikäli kohteessa ei ole automaattista paloilmoitinta, tulisi kiinteistöön laatia erillinen opaskartta pelastuslaitosta varten.