

Opinnäytetyö (YAMK)

Kemiantekniikka ja Bioteknologia

2023

Satu Stenfors

# Sähköautopalojen sammutusjätevesien keräys



Opinnäytetyö (YAMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Insinööri (YAMK) Kemianteikka ja Bioteknologia

2023 | 57 sivua

Satu Stenfors

## Sähköautopalojen sammutusjätevesienkeräys

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tutkia, tarvitaanko tulevaisuudessa sähköautopalojen sammutusjätevesien keräämistä. Sähköauto paloissa on havaittu, että käytettävä sammutusveden määrä on moninkertainen verrattuna tavalliseen henkilöautoon.

Sammutusjätevesiin liittyviä säädöksiä sekä sähköautojen toimintaperiaatteita on tutkittu erilaisten kirjallisuuslähteiden kautta. Opinnäytetyön tavoitteena on ollut tutkia, tarvitaanko tulevaisuudessa parkkialleissa huomioida sammutusjätevesien keräämistä ja mitä tällainen käytännössä tarkoittaisi.

Opinnäytetyön tulemana todettiin, ettei sammutusjätevesiä tarvitse kerätä parkkialleista. Opinnäytetyössä laadittiin myös sammutusjätevesisuunnitelma. Samaista sammutusjätevesisuunnitelman pohjaa voidaan käyttää muissakin kohteissa kuin vain parkkialleissa.

Asiasanat:

Sähköauto, litiumioniakku, sammutusjätevesi

Master's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Master of Chemical Engineering and Biotechnology

2023 | 57 pages

Satu Stenfors

## Fire-fighting wastewater collection from electric car fire

The aim of the present Master's thesis is to investigate whether there is a need to collect fire-fighting wastewater from extinguishing electric car fires in the future. It has been discovered that extinguishing electric car fires requires much more water compared with normal car.

The regulations related to fire-fighting wastewater and the operating principles of electric cars have been studied through various literature sources.

The study investigates whether it is necessary to collect fire-fighting wastewater from parking garages in the future and what this would mean in practice.

The study results show that there is no need to collect fire-fighting wastewater from parking garages. A fire-fighting wastewater plan was also prepared for future use as part of the study. The same plan can be used in other locations in addition to parking garages.

Keywords:

Electric vehicle, Li-ion battery, Fire-fighting wastewater

# Sisältö

<b>1 Johdanto</b>	<b>7</b>
<b>2 Tulipalojen sammutusjätevedet</b>	<b>9</b>
2.1 Sammutusjätevedet	9
2.2 Sammutusjätevesien leviämisen estäminen	10
2.3 Sammutusjätevesien keräämisen suunnittelu	11
2.4 Sammutusjätevesien koskeva lainsäädäntö	12
2.5 Parkkihallit ja sammutusjätevesien hallinta	15
<b>3 Sähköautot, hybridautot ja akkutekniikka</b>	<b>16</b>
3.1 Täyssähköauto (BEV battery electric vehicle)	16
3.2 Ladattava hybridi (PHEV Plug-in hybrid electric vehicle)	18
3.3 Sähköautojen ja ladattavien hybridien akkutekniikka	19
3.4 Sähköautojen ja polttomoottoriautojen erot	20
3.5 Akkuperhe	21
3.6 Latausasemat	22
<b>4 Sähköautot Suomessa</b>	<b>24</b>
<b>Palaminen</b>	<b>28</b>
4.1 Palamisilmiö	28
4.2 Litiumioniakun palaminen ja lämpöryntäminen	29
<b>5 Sähköauton litiumioninakun sammuttaminen ja sammuttamisen aikana irtoavat kemikaalit</b>	<b>31</b>
5.1 Sammutusmenetelmät	31
5.2 Sammutusjätevesien päästäminen jäteveteen	33
<b>6 Sammutusjätevesisuunnitelma</b>	<b>36</b>
6.1 Kappale Yleistä	36
6.2 Kappale Palotekniset laitteistot	37
6.3 Kappale Sammutusjätevesien talteenoton syyt	37

6.4 Kappale Vaarallisten kemikaalien, jätteiden sekä palavien materiaalien varastojen kuvaus	38
6.5 Kappale Sammutusjäteveden talteenotto	38
6.6 Kappale Sammutusveden tarve sekä määrä	38
6.7 Kappale Sammutusjäteveden määrä	41
6.8 Kappale Sammutusjätevesien käsittely	45
6.9 Kappale Toimintaohjeet	45
6.10 Kappale Liitteet	46
<b>7 Sammutusjätevesi suunnitelma parkkihalliin</b>	<b>47</b>
7.1 Yleistä	47
7.2 Palotekniset laitteistot	47
7.3 Sammutusjätevesien talteenoton syyt	48
7.4 Vaarallisten kemikaalien, jätteiden sekä palavien materiaalien varastojen kuvaus	48
7.5 Sammutusveden talteenotto	49
7.6 Sammutusveden tarve sekä määrä	49
7.7 Sammutusjäteveden määrä	50
7.8 Sammutusjätevesien käsittely	50
7.9 Toimintaohjeet	51
7.10 Liitteet	51
<b>8 Tarvitseeko sammutusjätevesiä kerätä sähköautopalojen yhteydessä?</b>	<b>52</b>

## **Kuvat**

Kuva 1 Täyssähköauton rakenne (U.S. Department of Energy, 2020)	17
Kuva 2 Ladattava hybridin rakenne (U.S. Department of Energy, 2020)	19
Kuva 3 Litiumioniakkukennon perusrakenne akun purkautuessa (Solarbuy,2021)	20
Kuva 4 liikennekäytössä olevat henkilöautot käyttövoimittain syyskuu 2022 (Liikennefakta, 2022)	24

Kuva 5 Täyssähköautojen sekä ladattavien hybrerien määrän kasvu 2021–2022 (Teknologiateollisuus, 2022)	25
Kuva 6 TEN-T verkosto Suomessa (Väylävirasto, 2022)	26
Kuva 7 Palamisen perusedellytykset (Presto, 2022)	28
Kuva 8 Lämpöryntäyksen vaiheet (Wattalps, 2020)	29
Kuva 9 Litiumioniakun sammutus auton ulkopuolelta. Akkujen päälle on asennettu lämpölevy, joka sulaa tulipalossa. Akut sijaitsevat yleensä auton takaosassa, jolloin lämpölevy on sijoitettu penkkien väliin. (Proposals for the improvement of the safety of first and second responders, s.46)	33
Kuva 10 Litiumioniakun sammutus auton ulkopuolelta. Litiumioniakkujen sammutus sekä jäähdytys onnistuu joko taka- tai sivuikkunoiden kautta. (Proposals for the improvement of the safety of first and second responders, s.46)	33

## **Taulukot**

Taulukko 1 Sprinklerilaitteistojen mitoitusperusteet Suomessa	40
Taulukko 2 Tulipalon sammuttamiseen tarvittavalle ajalle, sammutusvesivirralle, sammutusvesivuolle ja sammutusvesimäärälle palavan alueen pinta-alan funktiona	44

# 1 Johdanto

Autokannan uusiminen tulee tulevaisuudessa olemaan ajankohtaista, sillä tavoitteena on, että manner-Suomessa liikenne muutetaan nollapäästöiseksi vuoteen 2045 mennessä ja lopetetaan fossiilisten liikennepolttoaineiden myynti Suomessa. (Teknologiateollisuus, 2022)

Autokanta tulee muuttumaan fossiilisten liikennepolttoaineiden lopettamisen seurauksena ja tällä hetkellä markkinoilla sopivin tulevaisuuden liikenneväline käyttää liikkumiseen sähköä.

Suomessa sähköautokanta kasvaa vuosittain ja sähköautoissa käytetään virranlähteenä lähtökohtaisesti litiumioniakkuja. Litiumioniakut ovat ehjänä turvallisia ja niissä tarpeellinen akkukapasiteetti liikuttamaan autoa pitkiäkin matkoja yhdellä latauksella.

Mutta mikäli sähköauton akku syttyy palamaan, niin auton sammuttaminen on vaikeaa. Sähköautopalon sammuttamiseen ja akuston jäähdyttämiseen tarvittava vesimäärä on suuri. Akustoon levinnyt tulipalo ei välttämättä edes sammu ensimmäisellä kerralla, vaan vaatii pitkäaikaisen jäähdyttämisen. Pieni vesimäärä kiihdyttää akussa olevaa paloa ja tavalliset käsisammuttimet (jauhesammutin tai CO<sub>2</sub> -sammutin) eivät tehoa akussa olevaan paloon. (Pirkanmaan pelastuslaitos, 2022)

Suomessa tapahtui vuonna 2021 yhteensä 12208 tulipaloa, johon kuuluivat rakennuspalot, rakennuspalovaarat, maastopalot, liikennevälinepalot ja muut tulipalot. Liikennevälinepalojen osuus oli 2179. Näistä 13 tulipalossa oli mukana täyssähköauto tai hybridi-auto. (Pronto, 2022) Yllä olevista luvuista on nähtävissä, ettei sähköautopalot ole kovin yleisiä, mutta niitä kuitenkin on. Pronon tilastosta ei käynyt ilmi, kuinka monessa tapauksessa tulipalo oli levinnyt akustoon.

Koska tulipalossa käytettävä vesimäärä on suuri, niin tämän opinnäytetyön ideana on pohtia, tarvitseeko tulevaisuudessa kerätä parkkihallien tulipalossa sammutusjätevesiä.

Onko mahdollista, että sammutusjätevesien mukana sähköautopaloista valuu ympäristöön ja vesistöihin vaarallisia aineita? Mitä keinoja on sähköauto palon sammuttamiseen? Miten luodaan toimiva sammutusjätevesisuunnitelma? Onko tarvetta pohtia tulevaisuudessa parkkihalleille sammutusjätevesisuunnitelmaa?

Opinnäytetyössä käsitellään ensiksi yleisesti nykyistä sammutusjätevesiin liittyviä tulkintoja sekä asetuksia. Tämän jälkeen käydään läpi sähköautoja, niiden rakennetta ja miten ne ovat yleistyneet Suomessa. Kolmas isoin asia, mitä käydään läpi, on tulipalo, litiumioniakkujen käyttäytyminen tulipalossa ja sammuttaminen. Näiden kaikkien lopputuotoksena pohditaan sammutusjätevesisuunnitelmaa.

Opinnäytetyö on suurimmalta osalta kirjallisuuskatsaus ja liitteenä oleva osuus on tarkoitus kehittää sammutusjätevesien keräämiseen tehtävää asiakirjaa.

## 2 Tulipalojen sammutusjätevedet

Pelastuslaitos käyttää tulipalojen sammuttamiseen pääsääntöisesti vettä. Vesi on luontoystävällinen ja tehokas aine, jota on helposti saatavilla Suomessa. Veden pääasiallinen vaikutus tulipalon sammuttamisessa on jäähdytys, mutta esimerkiksi huoneistopalossa se myös tukahduttaa. Tulipaloa sammutettaessa pystytään rikkomaan vesi pieniksi pisaroiksi pelastuslaitoksen käyttämällä kalustolla. Nämä pisarat sitovat itseensä lämpöä tehokkaaksi. Esimerkkinä: yhdestä litrasta vettä muodostuu noin 1700 litraa 100 asteista vesihöyryä. Vesihöyry syrjäyttää vastaavan määrää ilmaa sekä savua huoneistopalossa. Tämän lisäksi höyrystynyt vesi nostaa painetta palotilassa ja heikentää ulkoilman pääsyä tilaan sisään. (Palofysiikka, 2011 s.97)

Joissakin tilanteissa käytetään erilaisia sammutusvaahtoja, jos katsotaan, ettei tavallinen vesi riitä tulipalon sammuttamiseen. Tällaisia paloja ovat muun muassa erilaiset polttonestepalot, esimerkiksi kerosiinipalo sammutetaan sammutusvaahtoa käyttäen. (Palofysiikka, 2011 s.97)

Sammutusveden tarve sekä mahdollisesti käytettävä sammutusvaahto riippuvat palavasta aineesta, paloalueen pinta-alasta, kuinka paljon palavaa ainetta on yhdellä neliömetrillä, palotehosta, riittävät hapen saannista palotilaan sekä palossa vapautuvasta lämpöenergiasta aikayksikköä kohden. (Länsi-Uudenmaa pelastuslaitos, 2013)

### 2.1 Sammutusjätevedet

Tulipaloissa sammuttamiseen käytettävästä vedestä osa imeytyy tai höyrystyy palokohteen rakenteisiin (kuten seinä- tai lattiarakenteet) tai muuhun mahdolliseen irtaimistoon (kuten kalusteet). Vettä, joka jää näkyvästi esille pinnoille tai maaperään, kutsutaan sammutusjätevedeksi.

Suomessa turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes) vaatii sammutusjäteveden hallintasuunnitelman, mikäli kyseessä on vaarallista kemikaalia teollisesti käsittelevä tai varastoiva laitos. Ympäristösuojeluviranomainen voi vaatia sammutusjäteveden hallintasuunnitelman osana ympäristölupaa. Sammutusjätevesien hallintasuunnitelma voi olla osa ympäristönsuojelulain tarkoittamaa ennalta varautumissuunnitelmaa. Myös Pelastusviranomainen laatii ulkoisen pelastussuunnitelman turvallisuusselvitystä

edellyttävän sen käytön kohteisiin siten, että ottaa huomioon sammutusjätevesien hallinnan. (Kemikaalivuotojen ja sammutusjätevesien hallinta, 2019 s.19)

Sammutusjätevesien hallintasuunnitelma perustuu siihen, että sammutusjätevesien mukana saattaa levitä ympäristöön haitallisia kemikaaleja, jotka voivat aiheuttaa maaperän, pohjaveden ja vesistön pilaantumista. Sammutusjätevesiin voi joutua ympäristölle vaarallisia tai haitallisia yhdisteitä myös muissa kuin kemikaalien käsittelyä ja varastointia harjoittavissa laitoksissa, kuten esim. jätteiden käsittelyssä, satamissa ja ratapihoilla. (Kemikaalivuotojen ja sammutusjätevesien hallinta, 2019 s.19)

Suomessa pohjavesimuodostumat ovat herkkiä pilaantumaan, sillä pohjavesien muodostumat ovat pieniä ja niitä suojaava maakerros on yleensä vettä johtava sekä ohut. Pohjavedet virtaavat maa- sekä kallioperässä omia reittejään, eivätkä kunnioita tonttien rajoja. Luonnontilainen pohjavesi on Suomessa pääosin niin hyvälaatuista, että sitä voi käyttää sellaisenaan ilman erillistä veden käsittelyä. (Pohjaveden suojele,2020)

## 2.2 Sammutusjätevesien leviämisen estäminen

Mikäli on tiedossa, että toiminnanharjoittajan kiinteistöissä käsitellään tai säilytetään erilaisia kemikaaleja tai vaarallisia aineita, niin Suomessa kemikaalilainsäädännön mukaan toiminnanharjoittajan on estettävä sammutusjätevesien leviämistä hallitsemattomasti ympäristöön tai jätevesipuhdistamoille. Leviämisen ehkäisemiskeinoja ovat esimerkiksi rakenteelliset ratkaisut. Tällaisia rakenteellisia ratkaisut voivat olla kiinteät sekä valmiiksi toiminnanharjoittajan kiinteistössä olevat rakenteet tai ne voivat olla siirrettäviä rakenteita. (Kemikaalivuotojen ja sammutusjätevesien hallinta, 2019 s.19)

Kiinteänä ratkaisuna pidetään erilaisia hälytínjärjestelmillä varustettuja kaivoja, huoneita tai vallitiloja. (Kemikaalivuotojen ja sammutusjätevesien hallinta, 2019 s.6)

Huoneiden käyttö vaarallisten kemikaalien säilytyspaikkana huomioidaan mahdollisesti jo rakennusvaiheessa, jolloin huoneeseen tehdään allastus. Allastuksella tarkoitetaan sitä, että tilaan johtava ovi tai muu mahdollinen aukko on sisätiloissa 10 cm korkeammalla lattiapinnasta ja ulkotiloissa 15 cm korkeammalla maanpinnasta. (Kemikaalivuotojen ja sammutusjätevesien hallinta, 2019 s.7)

Allastetuissa tiloissa ei normaalisti ole viemäriä, jolloin mahdollinen vuoto kerätään pois pumppaamalla tai kemikaalille sopivalla imeytysaineella. Mikäli huoneessa on kaivo, niin viemärin sulkuventtiili pidetään kiinni. Viemäri voidaan tarvittaessa johtaa suoraan myös omaan keräilyaltaaseen tai -kaivoon. Keräilyaltaaseen tai -kaivoon suositellaan asennettavaksi mittalaite, joka antaa hälytyksen, kun sinne tulevan neste ylittää pinnankorkeudelle asetetun tason. (Kemikaalivuotojen ja sammutusjätevesien hallinta, 2019 s.15)

Vallitila on yleensä ulkona sijaitseva suuren kemikaalimäärän ympärille rakennettava valli tai muu este, jonka sisäpuoli tehdään nestetiiviiksi. Vallitilan riittävä tiiveys saadaan aikaiseksi tiivisasfaltilla, betonilla tai HDPE-kalvolla. (Kemikaalivuotojen ja sammutusjätevesien hallinta, 2019 s.15)

Siirrettäviä ratkaisuja ovat erilaiset altaat, kontit, kaivosulkumatot, rajaavat puomit ja erilaiset imeytysaineet/-matot. Altaat sijoitetaan kemikaalien alapuolelle, jolloin mahdollisessa tulipalotilanteessa tai muussa mahdollisessa tilanteessa rikkoutuneen pakkauksen sisältö sekä siinä käytetty sammutusvesi valuu altaaseen, eikä leviä hallitsemattomasti ympäristöön. (Kemikaalivuotojen ja sammutusjätevesien hallinta, 2019 s.15)

Kaivosulkumatolla ja kaivotulpilla pystytään sulkemaan pihassa olevat hulevesikaivot ja tällä estää kemikaalien tai vaarallisten aineiden valuminen viemäriverkostoon. (Kemikaalivuotojen ja sammutusjätevesien hallinta, 2019 s.15)

Imeytysaineet voidaan karkeasti jaotella kolmeen ryhmään: orgaaniset, epäorgaaniset ja synteettiset imeytysaineet. Imeytysaineen valinnassa täytyy tunnistaa kemiakaalien ominaisuudet, jotta ei synny lisävahinkoja. (Kemikaalivuotojen ja sammutusjätevesien hallinta, 2019 s.16)

### 2.3 Sammutusjätevesien keräämisen suunnittelu

Sammutusjätevesien keräämisen suunnittelu on toiminnanharjoittajan tehtävä. Toiminnanharjoittajalla on oltavat suunnitelma, menetelmät, laitteistot ja osaava henkilökunta saastuneen sammutusjäteveden keräämiseen ja käsittelymiseen. Sammutusjätevesien keräämistä suunniteltaessa tulee huomioida, ettei järjestelmä voi perustua vain pelastuslaitoksen toimintaa. (Kemikaalivuotojen ja sammutusjätevesien hallinta, 2019 s.19)

Pelastuslaitoksen ensisijaisina tehtävinä on onnettomuustilanteissa uhkaavan onnettomuuden torjuminen, onnettomuuden uhrien ja vaarassa olevien ihmisten, ympäristön ja omaisuuden suojaaminen ja pelastaminen sekä tulipalojen sammuttaminen ja vahinkojen rajoittaminen. Pelastuslaitoksella on kuitenkin mahdollisuus tehdä ratkaisuja sammutusjätevesien keräämiseen ja ympäristön suojelemiseksi. (Pelastustoimi, 2019)

Tulipalon jälkivahingon torjunta, kuten sammutusjätevesien hallinta kuuluu mukaan kohteen omistajalle. Pelastustoimen johtaja määrittelee, koska jälkivahingon torjunnan voi aloittaa ja ilmoittaa siitä kohteen omistajalle. (Pelastuslaki 379/2011 40§).

## 2.4 Sammutusjätevesien koskeva lainsäädäntö

Suomessa onnettomuus- tai poikkeustilanteissa pelastus-, ympäristö- sekä kemikaalilainsäädäntö ohjaavat sammutustöiden jälkeisten tilanteiden hallintaa sekä näistä mahdollisesti aiheutuvia ympäristövahinkoja, niihin varautumista, selvittämistä ja jälkitoimenpiteitä.

Sammutusjätevesien keräämistä koskeva ohjeistus perustuu seuraaviin lakeihin ja asetuksiin:

- Pelastuslaki 379/2011
- Jätelaki 646/2011
- Ympäristönsuojelulaki 527/2014
- Laki vaarallisten kemikaalien ja räjähteiden käsittelyn turvallisuudesta 390/2005
- Valtioneuvoston asetus vaarallisten kemikaalien käsittelyn ja varastoinnin valvonnasta 685/2015
- Valtioneuvoston asetus vaarallisten kemikaalien teollisen käsittelyn ja varastoinnin turvallisuusvaatimuksista 856 / 2021

(Sammutusjätevesien hallinta ja niiden ympäristövaikutukset, 2018)

### **Pelastuslaki 379/2011**

Pelastuslain tavoitteena on parantaa ihmisten turvallisuutta ja vähentää onnettomuuksia. Lain pääperiaatteet ovat, että onnettomuuden tapahduttua tai uhatessa 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§)

Pelastuslaissa on pykälässä 14 maininta koskien rakennuksen omistajan ja haltijan sekä toiminnan harjoittajaa, jossa todetaan, että vaaratilanteessa ympäristöä, omaisuutta ja henkilöitä tulee suojasta.

Pelastuslain pykälä 15 käsittelee pelastussuunnitelmaa. Pelastussuunnitelmat tehdään kohteisiin, jossa toiminta poikkeaa normaalista toiminnasta tai kohteisiin, mitkä on listattu Valtioneuvoston asetus pelastustoimesta 1§:ssä.

### **Jätelaki (646 / 2011)**

Jätelain (646/2011) tarkoituksena on 1 §:n mukaisesti edistää luonnon varojen käytön kestävyttä sekä kiertotaloutta. Lain tarkoituksena on myös vähentää jätteiden määrää sekä haitallisuutta sekä edistää ja ehkäistä sitä, ettei jätteistä tai jätehuollosta aiheudu vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle. Jätelain ensimmäisessä pykälässä otetaan kantaa myös jätehuoltoon sekä roskaamisen ehkäisyyn.

Jätelain (646/2011) pykälässä 12 käsitellään jätteen haltijan velvollisuuksia olla tietoinen jätteen alkuperästä, määrästä, lajista, laadusta. Lisäksi otetaan kantaa siihen, että jätteen käsittelijän on oltava tietoinen jätteen ominaisuuksista ja mahdollisista ympäristö- ja terveysvaikutuksista ja tarvittaessa annettava näitä koskevat tiedot muille jätehuollon toimijoille. Pykälän 12 momentissa 1 todetaan, että jätteen haltijalla on velvollisuus seurata sekä tarkkailla jätteen ja jätteen käsittelyn ympäristö- ja terveysvaikutuksia ja myös huomioida jätteen koostumusta ja sen alkuperää.

Jätelain (646/2011) pykälässä 13 § käsitellään jätteen hylkäämistä ja hallitsematonta käsittelyä. Jätteestä tai sen huollosta ei saa aiheutua vaaraa tai haittaa terveydelle. Pykälässä mainitaan, että jätehuollon periaatteena on käyttää parasta mahdollista tekniikka ja noudattaa ympäristön kannalta parasta käytäntöä.

### **Ympäristönsuojelulaki (527/2014)**

Ympäristönsuojelulain (527/2014) 1§ mukaan tarkoituksena on lähtökohtaisesti kolme asiaa. Ensimmäisen on, ettei ympäristö pilaannut ja ehkäistä ympäristövahinkoja. Toisena pykälässä mainitaan, että tulee turvata terveellinen sekä monimuotoinen ympäristö ja kolmantena pykälässä todetaan, että jätteiden määrää sekä haitallisuutta tulee vähentää ja jätteistä aiheutuvaa haitallista vaikutusta tulee ehkäistä.

Ympäristönsuojelulaissa (527/2014) on kirjattu pykälän 6 selvillä olovelvollisuus. Toiminnanharjoittajan on oltava tietoinen toimintansa ympäristöriskeistä sekä -vaikutuksista. Toiminnanharjoittajan on tiedettävä, miten ympäristöriskejä ja -vaikutuksia voidaan hallita, ehkäistä sekä rajoittaa.

Ympäristönsuojelulain (527/2014) 7 pykälässä käsitellään toiminnanharjoittaja toimintaa ja sitä, että toiminta tulee järjestää niin, että ympäristön pilaantuminen voidaan ehkäistä ennakolta. Mikäli toiminnalla on mahdollista pilata ympäristöä tai viemäriverkostoa, niin se on kokonaan ehkäistävä tai rajoitettava mahdollisimman vähäiseksi.

Lain 15 pykälässä käsitellään ennalta varautumisvelvollisuutta. Pykälässä todetaan, että toiminnan harjoittajan on ennalta varauduttava onnettomuuksiin ja muihin epätavallisiin tilanteisiin, jotka ovat vaaraksi terveydelle tai ympäristölle. Toiminnanharjoittajan on myös varauduttava rajoittamaan onnettomuustilanteesta aiheutuvia seurauksia.

Pykälässä 16 käsitellään maaperän pilaamiskieltoa sekä pykälä 17 pohjaveden pilaamiskieltoa. Kummassakin pykälässä todetaan, ettei maaperään tai pohjaveteen saa jättää tai päästä jätettä, joka pilaa maaperän tai pohjaveden.

Ympäristönsuojelulain pykälän 20 mukaan ympäristön pilaantumisen vaaraa aiheuttavassa toiminnassa on noudatettava huolellisuus- ja varovaisuusperiaatetta, sekä ympäristön kannalta mahdollisimman hyvän käytännön periaatetta (20 §).

Ympäristönsuojelulain pykälä 27 käsittelee luvanvaraisesta toimintaa. Ympäristölupa on oltava toiminnalla, jolla on vaara aiheuttaa ympäristön pilaantumista. Näistä toiminnoista säädetään 27 §:n lisäksi lain liitteen I taulukoissa 1 ja 2 sekä liitteessä III. Ympäristöluvan 52 §:n mukaan on annettava tarpeellisia määräyksiä ympäristön pilaantumisen ehkäisemiseksi. Tähän kuuluvat muun muassa määräykset toiminnasta häiriö- ja poikkeustilanteissa sekä varautumisesta onnettomuuksien ehkäisemiseksi ja seurausten rajoittamiseksi.

## **Laki vaarallisten kemikaalien ja räjähteiden käsittelyn turvallisuudesta 390/2005**

Lain tarkoituksena on ehkäistä ja torjua vaarallisten kemikaalien sekä räjähteiden valmistuksesta, käytöstä, siirrosta, varastoinnista, säilytyksestä ja muusta käsittelystä aiheutuvia henkilö-, ympäristö- ja omaisuusvahinkoja. Lain tarkoituksena on lisäksi edistää yleistä turvallisuutta.

Lain 10§ pykälässä käsitellään sitä, että toiminnanharjoittajan on ryhdyttävä kaikkiin tarpeellisiin toimenpiteisiin onnettomuuksien välttämiseksi ja tästä mahdollisten seurausten rajoittamiseksi, jotka koske ihmisen terveyttä, ympäristöä tai omaisuutta.

Lain 15§ käsitellään rakennuksia ja rakenteita. Pykälässä todetaan, että rakenteet tulee suunnitella ja rakentaa niin, että rakennuksessa mahdollisen sattuvan tulipalon aikana tulipalon seuraukset voidaan rajoittaa mahdollisimman pieneksi.

Valtioneuvoston asetus vaarallisten kemikaalien käsittelyn ja varastoinnin valvonnasta 685/2015 ja Valtioneuvoston asetus vaarallisten kemikaalien teollisen käsittelyn ja varastoinnin turvallisuusvaatimuksista 856 / 2021 koskee puhtaasti tuotantolaitosten toimintaa.

### **2.5 Parkkihallit ja sammutusjätevesien hallinta**

Parkkihallit eivät kuulu kappaleessa 2.1 esitettyihin Tukes:n tai ympäristösuojeluviranomaisen kohteisiin, joihin pitää laatia sammutusjäteveden hallintasuunnitelma sekä niiden kerääminen. Kappaleessa 2.4 on käyty läpi lait ja asetukset, joihin sammutusjäteveden hallintasuunnitelma sekä sammutusjätevesien kerääminen pohjautuvat. Lakien ja asetuksen perusteella parkkihallien sammutusjätevesien hallitsemiseen ja keräämiseen voidaan katsoa sopivaksi ainakin Pelastuslain 1§ sekä 14§. Näissä pykälissä on mainittu, että ympäristölle aiheutuvat haitat ihmisten toiminnasta tulee olla mahdollisimman pienet. Ympäristönsuojelulain 1§, 6§ ja 15§ todetaan, että ympäristövahinkoja sekä ympäristön pilaantumista tulee ennalta ehkäistä mahdollisuuksien mukaan.

### 3 Sähköautot, hybridautot ja akkutekniikka

Markkinoilla on olemassa erilaista hybridimallia autoista sekä täyssähköautoja (BEV). Hybridit pohjautuvat hybridisoinnin määrään, eli siihen miten voimakkaasti kumpaakin voimanlähdettä pystytään hyödyntämään. Hybridimalleja on esimerkiksi: Hybridi (HEV), kevythybridi (MHEV) ja ladattava hybridi (PHEV). (Pörhö, 2022)

Lähtökohtaisesti kaikkien hybridautojen toiminta perustuu samaan, eli autossa on vähintään kaksi erityyppistä voimanlähdettä esimerkkinä polttomoottori ja sähkömoottori. (Pörhö, 2022)

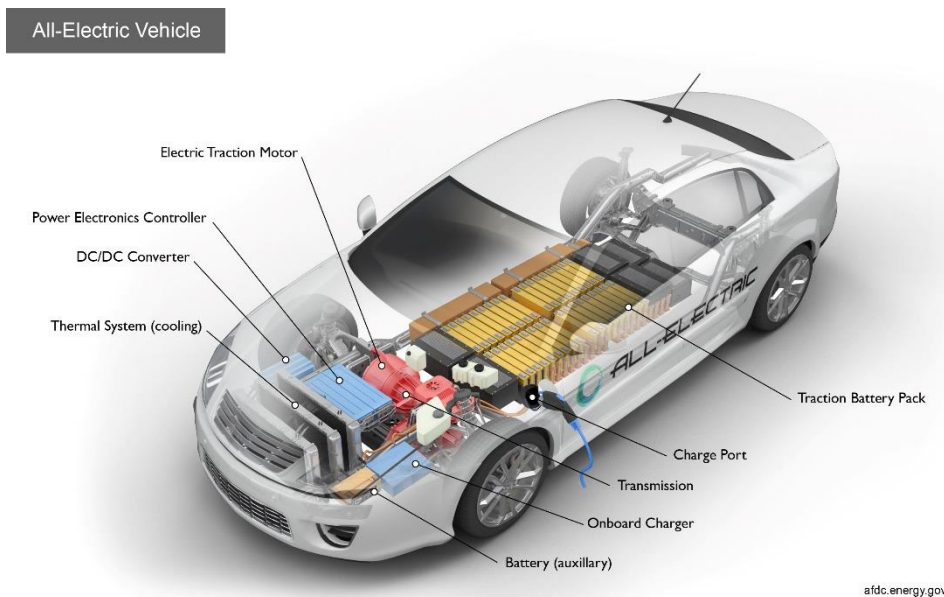
Hybridillä (HEV Hybrid Electric Vehicle) tarkoitetaan perinteistä hybridautoa, jota ei voida ladata pistokkeesta. Autossa on poltto- sekä sähkömoottori, jotka yhdessä muodostavat auton voimanlähteen. Autojen akku latautuu liikkeelle lähdöstä, sekä ajon aikana tapahtuvista pysähdyksistä sekä liikkeelle lähdöstä. Autolla pystyy ajamaan pieniä matkoja pelkällä sähköllä. Akun teho vaihtelee autosta riippuen ja on noin yhden kW:n luokkaa. (Pörhö, 2022)

Kevythybridillä (MHEV mild hybrid electric vehicle) tarkoitetaan autoa, jossa on polttomoottorin lisäksi pieni ajoakku ja sähkömoottori. Akun teho on noin 10 kW. Tämän kokoinen akku ei mahdollista pelkästään sähköllä ajamista. Sähkömoottori ja ajoakku avustavat auton käynnistyksessä sekä kiihdytyksissä, mutta polttomoottori on koko ajan käytössä. Ajoakun ja sähkömoottorin on tarkoitus pienentää moottorin rasitusta ja laskea käytettävän polttoaineen määrää. (Pörhö, 2022)

#### 3.1 Täyssähköauto (BEV battery electric vehicle)

Täyssähköauton selvimmät rakenteelliset erot verrattuna tavalliseen polttomoottori käyttöiseen autoon ovat moottorissa ja energiavarastossa. Täyssähköauton voimanlähteenä toimivat sähkömoottori ja energiavarastona akusto. Kuvassa 1

on esitetty sähköauton rakenne. (Sähkötieto ry s.11)



Kuva 1 Täyssähköauton rakenne (U.S. Department of Energy, 2020)

Lähtökohtaisesti täyssähköauton rakenne on mutkaton: tavallisen polttomoottorin tilalle on asennettu sähkömoottori, joka saa energiansa ajoakusta taajuusmuuntajan (inverterin) kautta. Auton akuissa energia on varastoitu suljettuihin kennoihin, jotka voidaan ladata ulkopuolisesta sähköenergiälähteestä. (Sähkötieto ry s.11)

Autossa ei ole monivälityssuhteista vaihdelaatikkoa tai mekaanista kytkintä, sillä sähkövääntökäyrä on tasainen laajalla kierroslukualueella. Tämän takia autot ovat yleensä automaattivaihteistoisia. Sähköautoissa ei myöskään tarvita polttomoottorin vaatimaa tyhjäkääntiä. Tyypillisesti kuitenkin sähköautoissa on tasauspyörästö sekä alennusvaihde. Mikäli täyssähköauto on nelivetoinen, niin etu- ja taka-akselilla on molemmilla oma moottori. (Sähkötieto ry s.11)

Täyssähköautoissa ei synny samanlaista polttomoottorin käyttöisen auton aikaan saamaa lämpöä liikkumisen sivutuotteena riittävästi lämmittämään auton ohjaamoja. Siten ohjaamoja lämmitetään sähkölämmittimellä. Osassa autoja on myös ilmalämpöpumppu, jolla ulkoilmaa ja sekä autosta tulevaa vähäistä hukkalämpöä voidaan käyttää ohjaamon lämmittämiseksi. Joissakin sähköautoissa on myös polttoainekäyttöinen lisälämmitin. (Sähkötieto ry s.11)

Täyssähköautossa edellytetään myös ohjauselektroniikkaa. Tämä elektroniikka ylläpitää tehonsäädön sekä järjestelmän toiminnan ohjaamisen. Apulaitteet, kuten lämmitys- ja ilmastointilaitteet sekä ohjaus- ja jarrutehostin tarvitsevat myös toimiakseen sähköä.

Täyssähköautoissa on usein informaationäyttöjä, joista ajaja pystyy tutkimaan ajotapansa, jäljellä olevan toimintasäteen sekä apulaitteiden käytön vaikutuksen energiankulutukseen.

Sähköautoja on hankittavissa erilaisilla akuston kapasiteeteilla. Esimerkkejä alla akun kapasiteeteista ja niiden ajomatkoista:

- 20–30 kWh akku riittää 150–250 kilometrin matkaan
- 40–60 kWh akku riittää 300–450 kilometrin matkaan
- 75–95 kWh akulla saattaa päästä 500 kilometriä.

Akkujen energiatiheys on pienempi kuin polttomoottorikäyttöisten autojen, joten tämä selittää toimintamatkojen pituutta. Litiumakun energiatiheys noin 0,1 kWh/kg. Joten jo 500 km toimintasädettä varten autoon tarvitaan noin 500 kg suuruinen akku. (Motiva, 2022)

Sähköautoissa käytetyt nesteet ovat jäähdytysneste, jarruneste sekä tuulilasin pesuneste. (Tesla, 2022)

### 3.2 Ladattava hybridi (PHEV Plug-in hybrid electric vehicle)

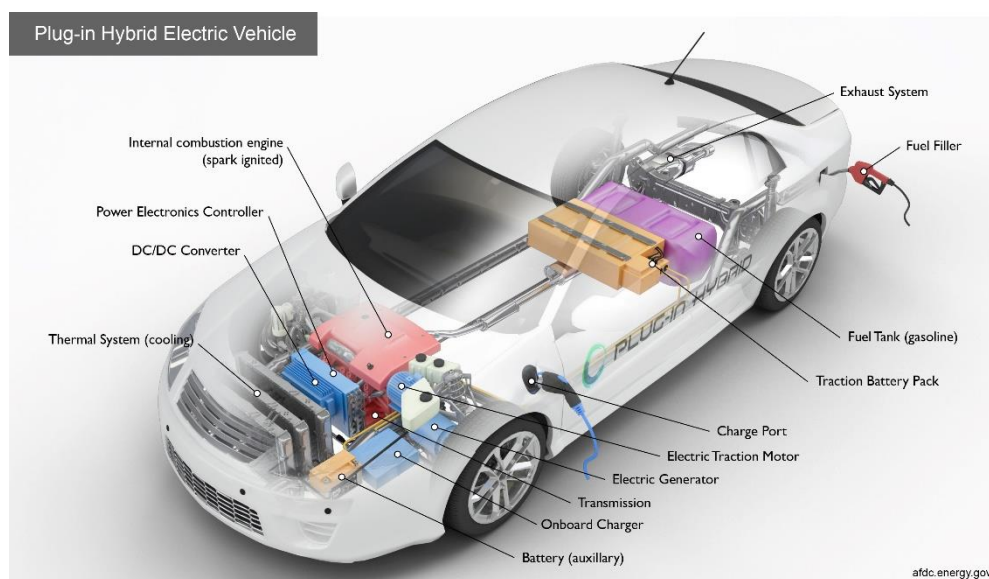
Ladattava hybridi on auto, joka käyttää liikkumiseen kahta eri voimanlähdettä. Voimanlähteenä toimivat yleisesti sähkö sekä polttomoottori.

Ladattavan hybridiauton perusrakenne on saman kuin tavallisessa autossa, mutta autossa on lisäksi ajoakku sekä tehokas sähkömoottori. Ladattava hybridiauto mahdollistaa ajamisen pelkällä sähköllä, niin kauan kuin akussa riittää energiaa. (Sähkötieto ry s.13)

Kuvassa 2 näkyy ladattavan hybridiauton rakenne. Autossa on yleensä etuakselin päällä tavallinen polttomoottori ja taka-akselin päällä ladattava sähkömoottori. Ladattava hybridi on siis rakennettu täysin tavallisen polttomoottori käyttöisen auton pohjalle. Ladattavat hybridit painavat enemmän kuin verrattuna normaaliin polttomoottoriseen autoon tekniikkaansa ja autossa olevien sähköakkujen takia. Auton nesteistö on samanlainen kuin tavallisessa polttomoottoriautossa.

Ladattavissa hybrideissä on tavallinen vaihdelaatikko ja riippuen automallista, niin näihin on mahdollisuus saada etu-, taka- tai neliveto. (Moottori, 2022)

Normaalissa hybridiautossa sähkömoottorin teho on noin 60–170 kW. Auton akkuun voidaan ladata lisää energiaa verkkovirasta. Auton toimintasäde riippuu akun koosta ja ajotavasta. (Motiva, 2020)



Kuva 2 Ladattava hybridin rakenne (U.S. Department of Energy, 2020)

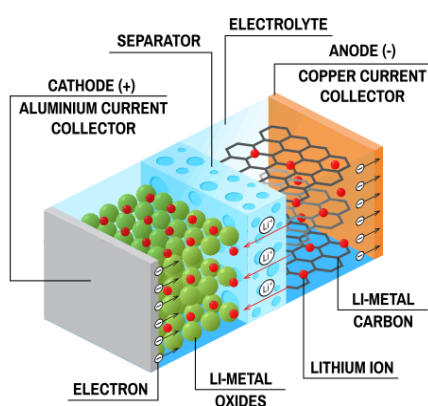
### 3.3 Sähköautojen ja ladattavien hybridien akkutekniikka

Täyssähköautoissa ja ladattavissa hybrideissä yleisesti käytetty akkutyyppe on litiumioniakku. Tätä akkutyyppeä käytetään silloin, kun akulta vaaditaan keveyttä ja energiatiheyttä. (Presto,2022)

Litiumioniakkukkeno koostuu anodista (negatiivinen elektrodi), katodista (positiivinen elektrodi) ja niiden välissä olevasta elektrolyyttiliuoksesta. Katodin ja anodin välissä on myös huokoinen separaattorikalvo, joka päästää lävitseen litiumionit. Tämä kalvo ei kuitenkaan johda sähköä, vaan pitää katodin ja anodin erillään toisistaan.

Yhdessä akussa voi olla yksittäisiä kennoja kymmenestä kappaleesta yli sataan kappaletta. Näitä kennoja voi kytkeä sarjaan tai rinnan, riippuen siitä onko tarve kasvattaa kapasiteettia ja/tai virranantokykyä. Suurissa litiumioniakkujärjestelmissä käytetään sekä sarjaan- että rinnankytkentää. Aluksi muutama kenno kytketään rinnan lohkoksi ja näistä muodostetaan sarja kytkemällä ne toisiinsa. (Litiumioniakkutekniikka, 2022 s.60)

Anodin tyypillinen materiaali on grafiitti ja katodin materiaalina toimii useimmiten jonkinlainen metallioksidi. Varsinaisesti akun mekanismi perustuu siihen, että akun purkautuessa anodista hapettumisen yhteydessä vapautuu elektroneja. Kyseiset elektronit siirtyvät katodiin. Tämä muodostaa liikkeessaan sähkövirtaa. Katodille tulevat elektronit aiheuttavat pelkistymisreaktion, jolloin katodilla olevat ionit vastaanottavat elektroneja. Kuvassa 3 on esitetty akun purkautuminen. Akun latauksessa periaate on täysin sama, mutta reaktiot tapahtuvat päinvastaiseen suuntaan. (Greencycle, 2020)



Kuva 3 Litiumioniakkukennon perusrakenne akun purkautuessa (Solarbuy,2021)

### 3.4 Sähköautojen ja polttomoottoriautojen erot

Täyssähköauton ja polttomoottoriauton selkein ero on se, millä energiamuodolla auto liikkuu ja mitä konepellin alta löytyy. Täyssähköauto käyttää liikkumiseen autoon asennettua sähkömoottoria, joka saa energiansa ajoakusta taajuusmuuntajan kautta. (Sähkötieto ry s.11) Täyssähköauton toiminta periaatetta on kuvattu tarkemmin kappaleessa 3.1.

Polttomoottoriautossa on moottori, jossa polttoaineen polttamisesta saadaan energiaa ja tämä muutetaan liikkeeksi. Moottorin lisäksi polttomoottoriautossa on auton vaatimat nesteet sekä polttoainetankki. (U.S. Department of Energy, 2020)

Kun verrataan täyssähköautoa ja polttomoottori autoa muuten keskenään, niin samaa täysin yhteistä näillä kahdella ovat esimerkiksi kitkajarrut, alustan rakenne, käytännössä kaikki 12V jännitteellä toimivat järjestelmät: viihdejärjestelmät, ajovalot, istuimien lämmitys, mahdolliset muut pienitehoiset lämmittimet sekä pistorasiat. (Blogi: Miten sähköauto eroaa polttomoottoriautosta? 2022)

Voidaan siis todeta, ettei täyssähköautojen ja polttomoottoriautojen rakenne ja sisusta poikkea toisistaan merkittävästi.

### 3.5 Akkuperhe

Puhuttaessa litiumioniakuista tulee muistaa, että kyseessä on laaja akkuperhe, ei siis yksittäinen akku. Litiumioniakut valitaan siten, että ne palvelevat parhaalla mahdollisella tavalla käyttökohdettaan. Näissä litiumioniakuissa vaihtelee akkukemia. Akkukemialla tarkoitetaan yleensä akun katodin aktiivianetta. Katodinmateriaalin lisäksi akunkennon ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa elektrolyytin lisäaineistuksella. Nämä lisäaineistukset ovat kennovalmistajien liikesalaisuuksia. (Litiumioniakkuteknikka, 2022 s.30)

Alle on koottu yleisimpiä akkukemioita, litiumioni akkujen hyviä ja huonoja puolia sekä mahdollinen käyttökohde.

#### **Litiumrautafosfaatti (LPF)**

LPF-kennoja voidaan purkaa hyvin suurella virralla ja ovat suhteellisen turvallisia. LPF-kennoja käytetään esimerkiksi käsityökaluissa, Teslan edullisimmissa malleissa sekä venekäytössä. (Litiumioniakkuteknikka, 2022 s.30)

#### **Litiumkoboltti (LCO)**

LCO on vanhin litiumioniakkukemia, jota käytettiin jo 1990-luvulla videokameroiden ja matkapuhelinten akkuna. Akkukennostolla on suurehko energiatiheys sekä matalahko hinta. (Litiumioniakkuteknikka, 2022 s.32)

#### **Litiumnikkelioksidi (LNO)**

LNO on harvinaisempi akkukemia. LNO-kennoissa on hyvä turvallisuustaso, mutta syklikesto on huonohko. (Litiumioniakkuteknikka, 2022 s. 33)

#### **Litiummangaanioksidi (LMO)**

LMO on edullinen ja siinä on hyvä ominaisenergia. Huonona puolena esiintyy huono syklikesto. LMO-kennoja käytetään esimerkiksi käsityökaluissa. (Litiumioniakkuteknikka, 2022 s. 33)

### **Nikkelikobolttialumiini (NCA)**

NCA on korkea energiatiheys, mutta kallis. NCA-kennojen huonona puolena ovat huonohko syklikestävyys, nopea kapasiteetin lasku korkeassa lämpötilassa sekä lämpöryntäysalttius. Autovalmistaja Tesla on käyttänyt NCA-akkukemiaa pitkään. (Litiumioniakkuteknikka, 2022 s. 33)

### **Nikkelimagnaanikoboltti (NMC)**

NMC sopii erittäin moneen tarkoitukseen. Suuri energiatiheys ja hyvin virranantokyky. Kohtuullisen turvallinen sekä suhteellisen edullinen. Ei yksittäistä selvää heikkoutta. NMC suostuin akkukemia sähköautojen akuissa. (Litiumioniakkuteknikka, 2022 s. 33)

### **Litiumtitanaatti (LTO)**

LTO:ssa on suuri virrankesto sekä poikkeuksellisen erinomainen syklikesto. Akkukemialtaan myös turvallinen. LTO:n huonona puolena ovat matala kennojännite, korkea hinta sekä huono ominaisenergia ja energiatiheys. Näitä akkuja käytetään kohteissa, joissa akun paino sekä koko eivät ole ratkaiseva tekijä, mutta lataus- sekä purkunopeus ovat. Esimerkiksi kaupunkibussit, jolla on latauspiste pääte pysäkillä. Käytetään myös lääketieteellisissä laitteissa, jossa kennon turvallisuus on tärkeä ominaisuus. (Litiumioniakkuteknikka, 2022 s. 34)

Litiumioniakkujen ominaisuuksissa puhutaan ominaisenergiasta ja energiatiheyksistä. Ominaisenergialla tarkoitetaan kapasiteettia massayksikköä kohden (Wh/kg) ja energiatheydellä taas kapasiteettia tilavuusyksikköä kohden (Wh/l). (Litiumioniakkuteknikka, 2022 s.23)

## 3.6 Latausasemat

Sähköautojen latausasemien rakentaminen perustuu SFS 6000 (Pienjännitesähköasennusten standardisarja) ja erityisesti SFS 6000-7-722:2022 (Pienjännitesähköasennukset. Osa 7-722: Erikoistilojen ja -asennusten vaatimukset. Sähköajoneuvojen syöttö) vaatimukseen. (Sesko, 2021 s.7)

Lataustavat on jaettu viiteen eri lataustapaan:

-Peruslataus (lataustapa 3, mode 3)

- Hidas lataus (lataustapa 2, mode 2),
- Teholataus (lataustapa 4, mode 4),
- Kevyiden sähköajoneuvojen lataus (lataustapa 1, mode 1)
- Sähköajoneuvon johdoton lataus. (Sesko, 2021 s.7)

Näistä peruslataus on suositeltavin sähköauton lataustapa 3. Sähköautolle syötetään vaihtosähköä ajoneuvolle sopivalla latausjohdolle standardin SFS-EN 62192 mukaisen tyyppin 2 sähköautopistorasiasta. Latausvirta voi olla 3x63 A ja sillä saavutetaan maksimissaan 43 kW latausteho. (Sesko, 2021 s.8) Tällä lataustavalla auton akun saa täyteen noin 1.2 tunnissa. (Motiva,2021)

Hidasta latausta (lataustapa 2) käytetään, kun ei ole varsinaista sähköauton lataustapaa 3 ja sen mukaista pistorasiaa tai ajoneuvopistoketta, niin voidaan käyttää hidasta lataustapaa. Sähköautoon syötetään vaihtosähköä auton lähellä olevasta kotitalouspistorasiasta tai teollisuuspistorasiasta. Kotitalouspistorasiat on kuitenkin usein suojattu johdonsuojakatkaisijalla ja 10A sulakkeella. (Sesko, 2021 s.8). Ajallisesti lataus kestää 8-12 tuntia (Motiva, 2021)

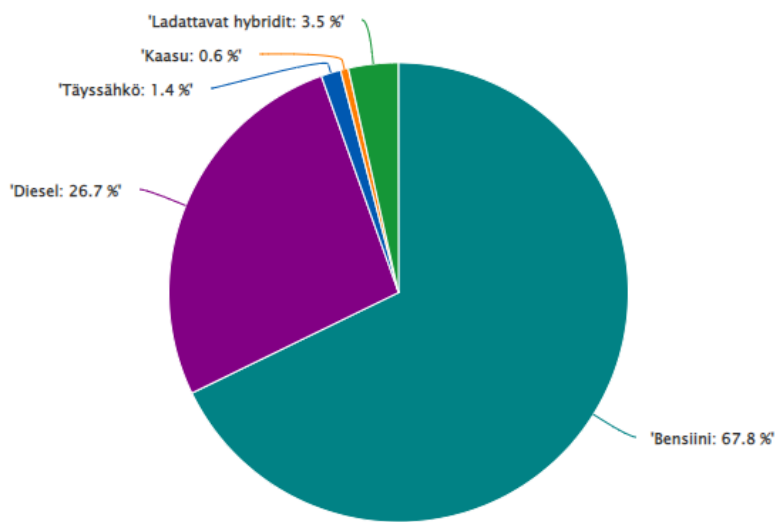
Teholatauksessa (lataustapa 4) sähköauton akuston syötetään tasasähköä suurella virralla auton ulkopuolisesta tasasähkölaturista. Teholataus tunnetaan myös pikalatauksena. Nykyisten teholatureiden autoon syöttämät tasavirrat ovat satoja ampeereita ja lataustehot vaihtelevat 50 - 350 kW. (Sesko, 2021 s.8) Pikalatauksella sähköauton latauksessa kestää 15-30 min, jolloin saavutetaan noin 80% varausaste akulle (Motiva,2021)

Kevyiden sähköajoneuvojen, kuten sähköskootteri, lataus voidaan tehdä tavanomaisesta maadoitetusta 230v kotitalouspistorasiasta. Pistorasia tulee olla kiinteä sekä suojattu 30mA vikavirtasuojalla. (Sesko, 2021 s.8)

Sähköauton johdoton lataus kehittyy koko ajan. Ideana on, että sähköajoneuvoja voidaan ladata myös johdottomasti siirtämällä energiaa induktiivisesti tienpintaan tai muuhun alustaan (esimerkiksi parkkiruutuun) upotetun käämin ja ajoneuvon alle asennetun käämin välillä. Sähköauton lataus siis onnistuisi tulevaisuudessa auton ollessa parkissa tai liikkeessä. Tällöin ei enää tulisi haastetta latauksen kestosta. (Sesko, 2021 s. 8)

## 4 Sähköautot Suomessa

Manner-Suomessa oli syyskuun 2022 lopussa noin 2,81 miljoonaa liikennekäytössä olevaa henkilöautoa. Käyttövoimallisesti bensiini (67,8 %) ja täyssähköautoja ja ladattavia hybridejä liikenteessä on tällä hetkellä 4,9 % autoista. Kuvassa 4 on esitetty tarkemmin Manner-Suomessa olevat henkilöautot käyttövoimittain.



Kuva 4 liikennekäytössä olevat henkilöautot käyttövoimittain syyskuu 2022 (Liikennefakta, 2022)

Suomessa autokantaa on tarkoitus muuttaa vuoteen 2030 siten, että fossiilisia öljypohjaisia polttoaineita käytäviä autoja vähennettäisiin ja ne korvattaisiin uusiutuvilla sekä vähäpäästöisillä vaihtoehdoilla, kuten sähköautoilla. Tällä puolitettaisiin kasvihuonepäästöjä vuoden 2005 tasosta.

Tavoitteena on myös, että liikenne muutetaan nollapäästöiseksi vuoteen 2045 mennessä ja lopetetaan fossiilisten liikennepolttoaineiden myynti Suomessa.

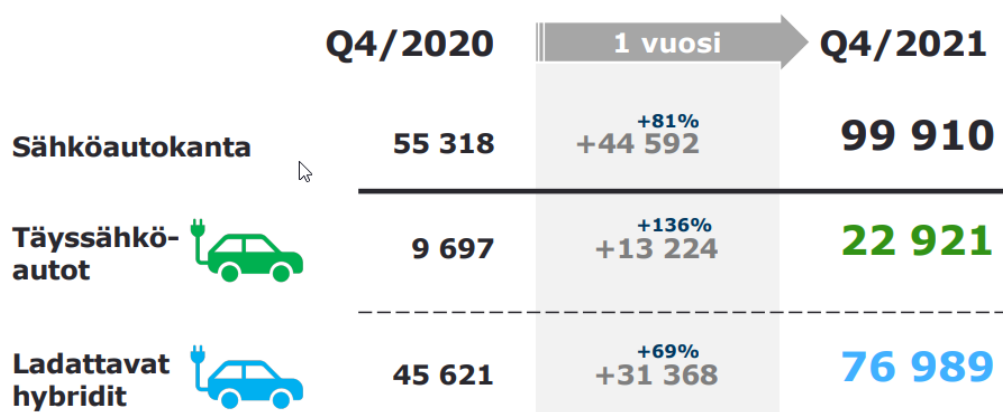
Tavoitteena on, että vuonna 2030 Suomessa olisi 700 000 sähköautoa, josta vähintäänkin puolet olisi täyssähköautoja ja 4600 raskaankaluston sähköajoneuvoa.

Sähköautokannan kasvaessa, myös latausinfraalle on asetut tavoitteita vuodelle 2030. Tavoitteena on, että jokaiselle täyssähköautolle löytyy yön yli tapahtuva latauspiste sekä

vähintäänkin pikalatausasema 1/100 sataa täyssähköautoa kohden. (Teknologiateollisuus, 2022)

Teknologiateollisuus julkaisee neljännesvuosittain katsauksen, josta käy ilmi sähköautojen määrän sekä niiden latauspaikkojen kehittyminen Suomessa.

Q3 / 2021 ja Q3 / 2022 välissä Suomen täyssähköauto kanta kasvoi 136 % ja ladattavien hybridien määrä kasvoi 69 %. Vuodessa liikenteeseen tuli täyssähköautoja lisää 13224 ja ladattavia hybridejä 31368. Kuvassa 5 on esitetty tarkemmin sähköautokannan kehitys.



Kuva 5 Täyssähköautojen sekä ladattavien hybridien määrän kasvu 2021–2022 (Teknologiateollisuus, 2022)

Ladattavien hybridien ja täyssähköauto kannan kasvaessa myös latauspaikkojen määrä on kasvussa. Latauspaikkoja on ollut Q3/2021 1302 ja vuodessa kehitystä on tapahtunut 25 %. 4/2022 latauspaikkoja on 1623 kappaletta. Asiointilatauspisteitä tuli vuodessa lisää 1327 ja pika- suurteholatauspisteitä 324. (Teknologiateollisuus, 2022)

Latausverkoston kasvattamisella on tarkoitus tukea liikenteen murrosta. Esimerkiksi S-ryhmällä on tarkoituksena kasvattaa latausasemien määrää ja vuonna 2025 ABC-latausasemia on tavoitteena olla noin 1000 kappaletta. (SOK, 2022). Myös sähköautojen latauslaitteita valmistava Kempter on tehnyt sopimuksen Nesteen kanssa ja Neste aikoo rakentaa omien liikenneasemiensa yhteyteen suurteholatausta tarjoavan verkoston. Tällä hetkellä Nesteellä on yli 800 liikenne- ja automaattiasemaa. (HS, 2022)

TEN-T (The Trans-European Transport Network) verkkoa on tavoitteena kehittää koko ajan. Suomen tämänhetkinen TENT-verkosto on esitetty kuvassa 6. Punainen reitti kuvassa oleva

kuvaa nykyistä ydinverkkoa, eli tärkeiden yhteyksien ja solmukohtien verkostoa. Harmaa reitti on taas kattava verkosto, eli tavallinen maantie.



Kuva 6 TEN-T verkosto Suomessa (Väylävirasto, 2022)

Vuoteen 2025 mennessä on tarkoitus kehittää ydinverkkoa siten, että latauskenttiä henkilöautoille on 60 kilometrin välien. Latauskentän yhteen laskettu teho on vähintään 300kW ja vähintään yhdeltä latausasemalta saadaan ulos 150kW. Vuoteen 2030 latauskenttien etäisyys pysyy samana, mutta kentän yhteenlaskettu teho on 600 kW ja vähintään kahdelta latausasemalta saadaan ulos 150kW. (Teknologiateollisuus, 2022)

Vuoteen 2030 on tarkoitus myös kasvattaa kattavaa verkkoa eli muuta kuin ydinverkkoon kuuluvia alueita, siten että latauskenttiä henkilöautoille on 60 kilometrin välien. Latauskentän yhteen laskettu teho on vähintään 300kW ja vähintään yhdeltä latausasemalta saadaan ulos 150kW. Vuoteen 2035 latauskenttien etäisyys pysyy samana, mutta kentän yhteenlaskettu

teho on 600 kW ja vähintään kahdelta latausasemalta saadaan ulos 150kW. (Teknologiateollisuus, 2022)

Kappaleessa 3.5 Latausasemat on käyty läpi eri lataustapoja ja niiden kestoja. Mikäli latauskentille saadaan yksi 150kW latausasema, niin tämä tarkoittaa pikalataus. Pikalatauksen kesto on noin 15-30 minuuttia, jolloin saavutetaan akkuun 80% kapasiteetti. Latauskenttien lisääminen tuo ajamiseen viihtyvyyttä sekä mahdollisuuden päästä suoraan latauspaikalle ilman jonottamista.

Yllä olevien lukujen kautta voi spekuloida, mikäli latauskenttien ja -asemien määrä kasvaa nykyiseltään edellä mainituilla tavoilla, niin sähköauton hankinta on helpompaa. Latauskenttien ja -asemien tavoitettavuus ei ole enää tulevaisuudessa esteenä sähköauton hankinnalle ja tätä kautta voi todeta Suomen sähköautokannan kasvavan.

# Palaminen

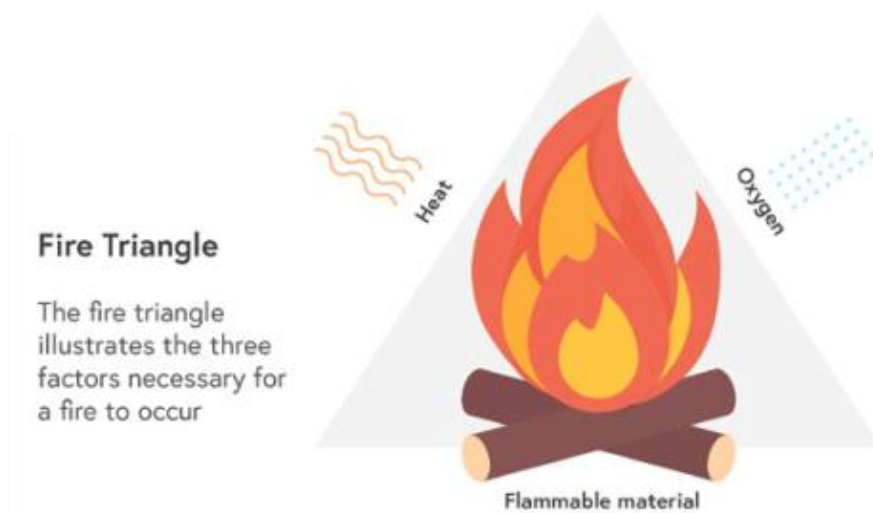
## 4.1 Palamisilmiö

Tulipalon määritelmä on seuraava: tulipalo on tapahtuma, jossa tuli aiheuttaa tai uhkaa aiheuttaa vahinkoa. Palamisen määritelmä on taas: palaminen on aineen yhtymistä happeen siten, että syntyy korkea lämpötila ja valoilmio. (Palofysiikka, 2011, s.14)

Palaminen voi tapahtua liekehtimällä tai hehkupalona. Liekehtivässä palossa kemialliset reaktiot tapahtuvat kaasussa, kun taas hehkupalossa palo tapahtuu jähmeän polttoaineen pinnalla. Useasti palon aikana tapahtuvat molemmat reaktiot: puun syttyessä palamaan, ensin se pyrolysoituu ja palaa liekehtien. Tämän jälkeen hiili palaa hehkulla. (Palofysiikka, 2011, s.14)

Liekehtivän palon neljä perusedellytystä ovat riittävä lämpötila, happi (ilma), polttoaine sekä häiriintymätön ketjureaktio. Hehkupalon kolme perusedellytystä ovat lämpötila, happi (ilma), polttoaine. (Palofysiikka, 2011, s.17)

Palamisilmiöön tarvitaan palamisen perusedellytykset ja näiden kaikkien ilmiöiden tulee olla samanaikaisesti voimassa. Jos perusedellytyksistä joku puuttuu, niin palaminen estyy. Kuvassa 7 on esitetty palamisen perusedellytykset (Palofysiikka, 2011, s.17)

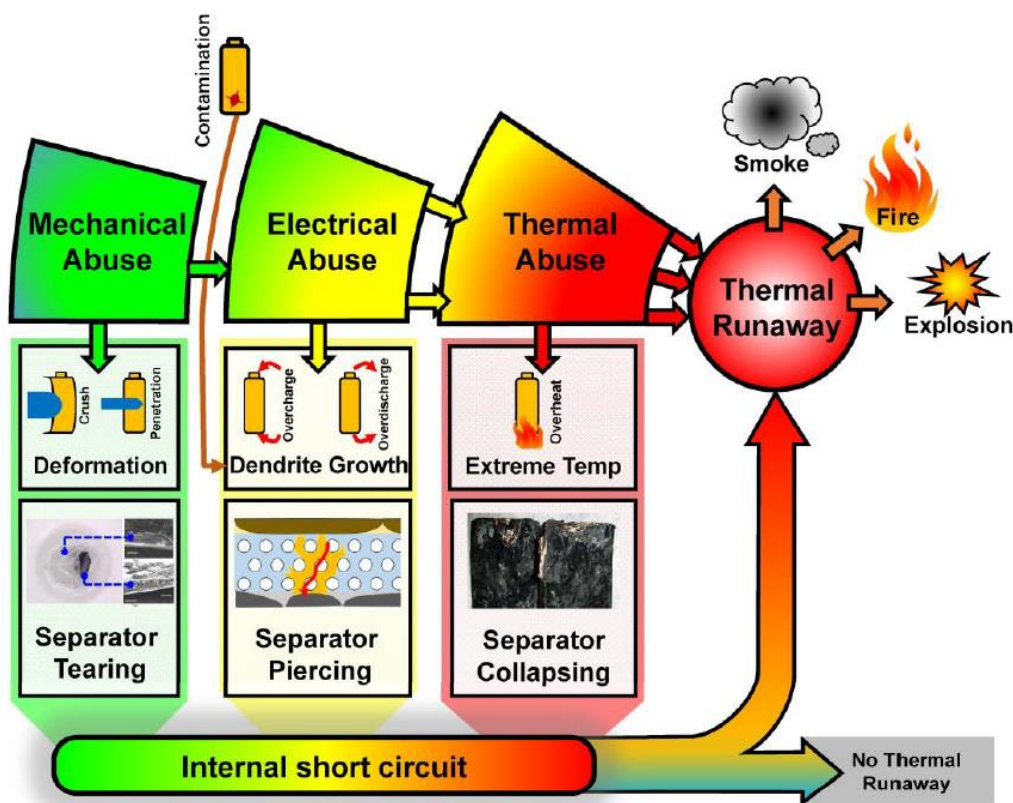


Kuva 7 Palamisen perusedellytykset (Presto, 2022)

## 4.2 Litiumioniakun palaminen ja lämpöryntääminen

Lähtökohtaisesti ehjä litiumioniakku on turvallinen käyttää. Mikäli litiumioniakku pääsee kuitenkin vaurioitumaan, niin akkuun saattaa tulla oikosulkuun ja tämän seurauksena akku voi syttyä palamaan. Vaurioituneessa akussa voi käynnistyä ns. lämpöryntäys (engl. thermal runaway), jonka yhteydessä kennot lämpenevät itsestään ja syttyvät palamaan. (Presto, 2022).

Lämpöryntäyksellä tarkoitetaan ilmiötä, jossa prosessin tai komponentin lämpötilan nousu aikaan saa lisää lämpötilan nousua, mikä johtaa loppujen lopuksi hallitsemattomaan lämpötilan nousuun. (Litiumioniakkutekniikka, 2022 s.76)



Kuva 8 Lämpöryntäyksen vaiheet (Wattalps, 2020)

Litiumionikennon tapauksessa noin 80 °C lämpötilassa anodin SEI-kerros alkaa hajota. (Litiumioniakkutekniikka, 2022 s.76) SEI-kerros (solid electrolyte interphase) on monimutkainen kerros, joka muodostuu akkuihin, kun niitä käytetään ja ladataan. Kerroksen rakenne muistuttaa mosaiikkia, jossa on orgaanisia ja epäorgaanisia osa. (Kemiakemi, 2020)

Hajoamisreaktio on eksotermien eli lämpöä tuottava, kuten 100–120 °C lämpötilassa tapahtuva elektrolyytin hajoaminen. Elektrolyytti muodostaa hajotessaan useita kaasuja, kuten hiilivetyjä, hiilidioksidia ja -monoksidia (häkää) sekä vetykaasuja. Lämmön nousun jatkuessa yli 120°C lämpötilaan, separaattori sulaa, mikä mahdollistaa anodin ja katodin välisen oikosulun, mikä puolestaan ruokkii lämmön nousua entisestään. (Litiumioniakkuteknikka, 2022 s.76)

130–150 °C lämpötilassa katodimateriaali hajoaa voimakkaan eksotermisena reaktiona, joka tuottaa lisäksi happea. Tämän hapen vapautuminen voi johtaa myöhemmin kennon syttymiseen. (Litiumioniakkuteknikka, 2022 s.76)

Kun reaktio nousee yli 150–180 °C, niin reaktio ylläpitää itse itseään. Mikäli akku koostuu useista kennoista, niin lämpöryntäys voi edetä kennosta kennoon ketjureaktiona. Edellä mainitut lämpötilat ovat suuntaa antavia ja tarkat lämpötilat riippuvat kennossa käytetyistä materiaaleista. (Litiumioniakkuteknikka, 2022 s.76)

Lämpöryntäyksen alulle panija voi olla esimerkiksi:

- Kennon sisäinen oikosulku (valmistusvirhe akussa.
- Mekaaninen isku.
- Akun väärinkäytöstä johtuva ylikuumentuminen.
- Tulipalo tai viereisen akkukennon lämpöryntäys.
- Akkuhallintajärjestelmän vika.

(Litiumioniakkuteknikka, 2022 s. 77)

Käytännössä litiumakussa on siis itsessään kaikki palamiseen tarvittavat edellytykset:

- riittävä happi, joka syntyy akun katodin metallioksidoista,
- palava aine, joka saadaan itse akusta sen ympäröivistä materiaaleista
- riittävä lämpö, joka syntyy lämpöryntäyksen seurauksena

(Presto, 2020)

## **5 Sähköauton litiumioniakun sammuttaminen ja sammuttamisen aikana irtoavat kemikaalit**

Kuten kappaleessa 5.1 mainittiin, niin litiumioniakku pystyy itse tuottamaan tarvittavan palamisreaktion.

Sähköautoissa tilannetta hankaloittaa myös se, että sähköautojen litiumioniakut ovat suuret. Sen lisäksi ne ovat hankalasti tavoitettavissa (kuva 1), vesitiiviitä ja kerran sammutettu akkupalo voi syttyä pitkään ajan jälkeen uudelleen. Esimerkkinä maaliskuussa 2019 autoliikkeen pihassa sähköauto syttyi tuleen uudelleen kaksi kertaa sen jälkeen, kun oli luultu, että palo oli saatu hallintaan. (Litiumioniakkutekniikka, 2022 s.92)

Sähköauton akkupaloissa on olennaista pyrkiä jäähdyttämään akkua vedellä mahdollisimman paljon, tämän takia sammutustöihin tarvitaan tuhansia litroja vettä. Yleisestikin on todettu, että tämänhetkisen käytännön- sekä tutkimustiedon perusteella on todettu, että parhaiten soveltuva aine litiumioniakun sammuttamiseen on vesi. (Litiumioniakkutekniikka, 2022 s.92)

Litiumioniakku palot eivät ole jokapäiväisiä tapahtumia, joten tämän takia niiden palokäyttäytymisestä ei ole niin yksityiskohtaista tietoa. (Litiumioniakkutekniikka, 2022 s.92)

### **5.1 Sammutusmenetelmät**

Pienten akkujen, kuten kannettavien pienelektroniikan tai kevyen sähköisen liikkumisvälineen akun, sammuttaminen on useimmiten helppoa ja sen pystyy hoitamaan maallikkokin. Akun voi tarvittaessa upottaa veteen tai sähköisen liikkumisvälineen siirtää turvalliseen paikkaan palamaan loppuun. Esimerkiksi puhelimen litiumioniakun palaminen tapahtuu hyvinkin nopeasti, kun puhelimessa ei ole akkukennoa vaan yksi akku. (Litiumioniakkutekniikka, 2022 s.89-90)

Sähköauton sammuttaminen on haastavampaa. Savuavaa tai palavaa sähköautoa on vaikea liikuttaa ja litiumioniakkujen sijainnin takia akkupaloa on työläs sammuttaa. (Litiumioniakkutekniikka, 2022 s.96)

Tällöin autoa ja litiumioniakkuja yritetään jäähdyttää pensselöimällä alustaa ja auton kylkiä vedellä, jolloin palo saadaan hallintaan ja mahdollisesti sammumaan. Tällöin auton

siirtäminen pois esimerkiksi parkkihallista onnistuu ja mahdollinen uudelleen syttyminen on helpompi hallita. (Litiumioniakkutekniikka, 2022 s.96)

Tavallisen sammuttamistaktiikan lisäksi sähköautopalon ja litiumioniakun sammuttamiseen on kehitetty erinäisiä menetelmiä. Samaan aikaan jatkuvaa kehitystyötä tehdään edelleen. Alla on käyty läpi nykyisiä menetelmiä. (Litiumioniakkutekniikka, 2022 s.96-97)

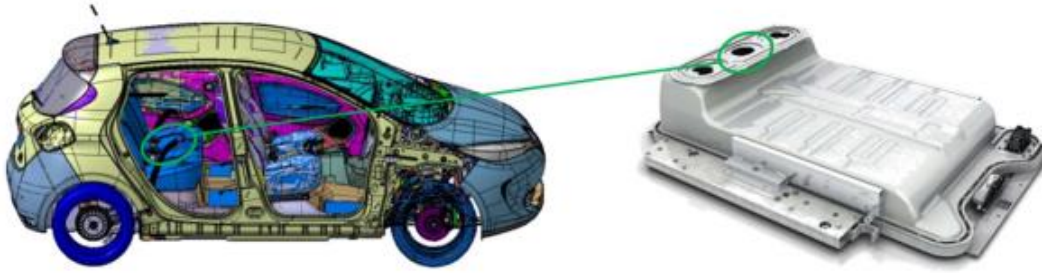
Helsingin pelastuslaitos on kehittänyt siirrettävän alustasprinklauksen, jolla saadaan jäähdytettyä akustoa alhaaltapäin sammutuksen yhteydessä. Alustasprinkleriin on tehty letkuyhteys, jolla saadaan syötettyä vettä auton alle sijoitettavaan alustasprinkleriin. (Litiumioniakkutekniikka, 2022 s.97)

Sähköauton ympärille saadaan rakennettua oma sammutusvesiallas, jonka avulla auto voidaan upottaa veteen ja tämän avulla saada palo hallintaan. (Litiumioniakkutekniikka, 2022 s.97)

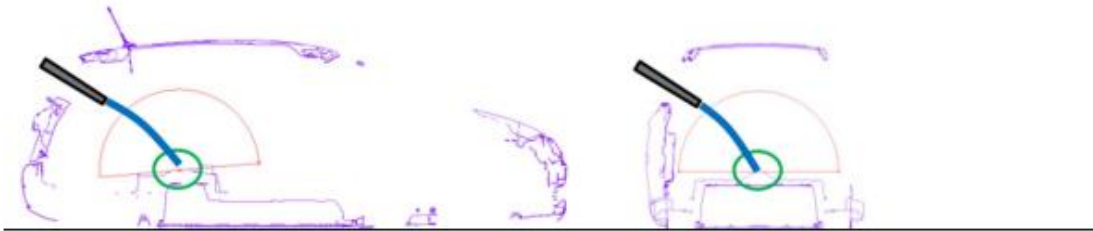
Myös erilaisia sammutuskontteja on tehty, johon palava auto voidaan joko nostaa tai vetää sisään. Kontti täytetään vedellä ja tällä saadaan palo hallintaan. Auton upottamisesta veteen on kiistelty ja esimerkiksi Teslan pelastusohjeesta käy ilmi, ettei autoa olisi suotava upottaa veteen. (Litiumioniakkutekniikka, 2022 s.97)

Pelastusopisto on kehittänyt sammutuspeitteen, joka on muodoltaan enemmänkin huppu kuin peite. Huppu vedetään palavan auton päälle ja hupussa olevan letkuyhteyden avulla huppuun pystytään syöttämään vettä. Hupussa on myös alareunassa kaulus, joka kerää osan sammutusvedestä talteen. (Pelastustieto, 2021)

Autovalmistajat ovat myös heränneet siihen, että sähköautojen litiumioniakkuja on vaikea sammuttaa. Renault on kehittänyt järjestelmän missä vettä voidaan syöttää akkukennostoon ulkopuolelta. Akkukennoston päälle on asennettu lämpölevy, joka sulaa tulipalossa ja avaa täten pääsyn akkutilaan. (Proposals for the improvement of the safety of first and second responders, s.46)



Kuva 9 Litiumioniakun sammutus auton ulkopuolelta. Akkujen päälle on asennettu lämpölevy, joka sulaa tulipalossa. Akut sijaitsevat yleensä auton takaosassa, jolloin lämpölevy on sijoitettu penkkien väliin. (Proposals for the improvement of the safety of first and second responders, s.46)



Kuva 10 Litiumioniakun sammutus auton ulkopuolelta. Litiumioniakkujen sammutus sekä jäähdytys onnistuu joko taka- tai sivuikkunoiden kautta. (Proposals for the improvement of the safety of first and second responders, s.46)

## 5.2 Sammutusjätevesien päästäminen jäteveeteen

Sähköautopalojen sammutusvesistä ei ole tehty montaa tutkimusta, mutta vuonna 2020 julkaistussa sveitsiläistutkimuksessa mitattiin yhden 4kWh akkumoduuliin sammuttamiseen ja jäähdyttämiseen käytetyn veden myrkkypitoisuuksia. Lopputuloksena oli se, että raja-arvot ylittyivät kummassakin sammutusvaiheessa. Sammutusveden raja-arvot ylittyivät 20-70 kertaisesti ja jäähdyttämiseen käytetyn veden raja-arvot ylittyivät 30-100 kertaisesti. (Risk minimisation of electric vehicle fires in underground traffic infrastructures s.47-48)

Helsingin seudun ympäristöpalveluilla (HSY) ei ole litiumpitoisuuksille raja-arvoa, mutta nikkeli on. Nikkelin raja-arvo on 0,5 ml/l. Sveitsiläistutkimuksessa nikkeliä löytyi sammutusvedestä 36 mg/l ja jäähdytysvedestä 55mg/l. Jotta päästäisiin suositeltuihin raja-arvoihin niin, vettä tulisi laimentaa sata kertaisesti ennen kuin sen voisi laskea HSY:n

ilmoittamien raja-arvojen perusteella jäteveden sekaan. (Litiumioniakkutekniikka, 2022 s.100-102)

Pelastusopistolla tehtiin tutkimus vuonna 2021 litiumioniakun sammuttamisesta akkupaloon soveltuvilla sammuttimilla. Samassa tutkimuksessa tutkittiin myös pienen mittakaavan testillä veteen liuenneita kemikaaleja ja veden pH arvoa polttokokeessa. Testissä poltettiin pieni nikkeli-mangaani-kobolttioksidi kenno. Polttokokeita oli useista ja testeissä oli 10 kennoa/testi, joiden laskennallinen teho oli 9,62 Wh/kenno. (Litiumioniakkupalon sammuttaminen akkupalosammuttimilla, 2021, s. 6)

Kennot upotettiin polttokokeen jälkeen seitsemään litraan ionivaihdettua akkuvettä useaan otteeseen. Akkuedestä tutkittiin veteen absorboituneiden fluoridin, nikkelin, koboltin, mangaanin ja perfluoroalkyyliyhdisteiden olemassaolo sekä veden pH. (Litiumioniakkupalon sammuttaminen akkupalosammuttimilla, 2021, s. 22)

Testissä todettiin, että nikkeli ylitti raja-arvon, joka on annettu jätevedelle. Sama havainto tehtiin Sveitsissä tehdyissä testeissä. Tämä lisäksi myös mangaanin ja koboltin pitoisuudet upotusvedessä olivat 24 - 470 -kertaisia juomaveden laatuvaatimuksiin verrattuna. Testistä vedestä löytyi myös perfluorioktanosulfonaattia, perfluoro-oktaanihappoa, perfluoroheksaanihappoa, perfluoroheptaanihappoa, perfluorodekaanihappoa ja perfluorononaanihappoa. Näiden raja-arvot ylittyivät annetun ympäristönormipitoisuuden (EQS) 0,00013 ng/ml merivedessä. (Litiumioniakkupalon sammuttaminen akkupalosammuttimilla, 2021, s. 6, 23-24)

Kuten aiemmin on jo todettu, niin sähköautopalo on harvinainen tapahtuma. Jos auto palaa isossa parkkiihallissa tai ulkona, niin sammutusjätevesien päästäminen muiden jäte- ja hulevesien sekaan ei todennäköisesti aiheuta ongelmia ainakaan suuren paikkakunnan jäteveden puhdistamalla. (Litiumioniakkutekniikka, 2022 s.102)

Mikäli sähköauto on jouduttu upottamaan konttiin, niin kontissa oleva jäteveden hallinta on huomattavasti helpompaa. Jätevesi voidaan laskea viemäriverkostoon voimakkaasti laimennettuna tai toimittaa suoraan vaarallisen jätteen käsittelylaitokselle. (Litiumioniakkutekniikka, 2022 s.102)

Yhteenvedona voi todeta, että litiumioniakun palaminen on harvinaista. Kuitenkin, kun litiumioniakku syttyy palamaan, niin kappaleessa 4.2 on todettu, että litiumioniakussa ovat kaikki palamaiseen tarvittavat edellytykset lämpöryntäyksen seurauksena. Lisäksi

sähköauton akut ovat sijoitettu auton keskiosaan matkustajien jalkojen alapuoliseen tilaan. Nämä kaksi yhtälöä tekevät jo sähköautopalon sammuttamisesta sekä jäähdyttämisestä haasteellista. Kappaleessa 5.1 on käyty erilaisia sammutusmenetelmiä läpi sekä todettu, että sähköautopaloon käytettävä vesimäärä on mittava. Veteen liukenevien kemikaalien määrää on tutkittu jonkin verran esimerkiksi Sveitsissä. Voi ajatella suuren vesimäärän laimentavan sammutusjätevesiä ja Suomessa kuitenkin HSY on todennut, että sähköautopalosta aiheutuvat sammutusjätevedet voidaan päästää jätevesiin.

## 6 Sammutusjätevesisuunnitelma

Sammutusjätevesisuunnitelman laadinta perustuu Tukesin (Turvallisuus- ja kemikaalivirasto) tai ympäristösuojeluviranomaisen määräykseen. Sammutusjätevesisuunnitelma tulee osaksi kohteen sisäistä pelastussuunnitelmaa esimerkiksi omana liitteenään. (Kemikaalivuotojen ja sammutusjätevesien hallinta, 2019 s.19)

Sammutusjätevesisuunnitelman sisältö, tarkkuus sekä laajuus määräytyvät sen perusteella, millaista haittaa sammutusjätevedet voivat aiheuttaa maaperässä, vesissä tai jätevedenpuhdistamolla. (Kemikaalivuotojen ja sammutusjätevesien hallinta, 2019 s.19)

Sammutusjätevesiin liittyviä yleisiä asioita sekä lainsäädäntöä on käsitelty tämän opinnäytetyön kappaleessa 2.

Tässä osassa opinnäytetyötä käsitellään sitä, minkälainen on hyvä sammutusjätevesi suunnitelma, mitä siihen kuuluu ja miten sellainen rakennetaan. Kappaleissa avataan otsikossa mitä kyseinen kappale käsittelee ja otsikon alle on avattu kappaleen sisältöä.

Sammutusjäteveden hallintasuunnitelman pohjana on käytetty Tukes "Kemiakaalivuotojen ja sammutusjätevesien hallinta" -opasta. Opas on julkaistu vuonna 2019.

Kappaleessa 8 on tehty kuvitteellinen sammutusjätösuunnitelma helsinkiläiseen parkkihalliin.

### 6.1 Kappale Yleistä

Yleistä kappaleessa esitellään sammutusjätevesisuunnitelman kohde. Osiossa käydään läpi kohteen yleiset tiedot ja lyhyt kuvaus toiminnasta. Yleisiä tietoja ovat esimerkiksi osoitteet ja minkälainen kiinteistö on kyseessä.

Yleistä osassa on hyvä käydä läpi kohteen paloteknisiä määritelmiä, kuten käyttötapa, suurin palo-osaston pinta-ala ja paloluokka. Edellä mainitut palotekniset määritelmät tulevat Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta (848/2017) sekä siitä laaditun muistion perusteella.

Käyttötapa, suurin palo-osaston pinta-ala ja paloluokka on määritelty rakennuskohteelle ennen rakentamisen aloitusta esimerkiksi paloteknisen suunnittelija tai arkkitehdin toimesta. Näitä arvoja ei siis tarvitse alkaa itse määrittelemään sammutusjätevesisuunnitelmaan. Mikäli rakennus on olemassa oleva, joka muutetaan sammutusjätevesisuunnitelmaa tarvitseväksi kohteeksi, niin palotekniset määräykset löytyvät aiemmasta rakennusluvasta.

## 6.2 Kappale Palotekniset laitteistot

Kohteen suunnittelun aikana määritellään, mitkä paloteknisistä laitteistoista tarvitaan kohteessa. Paloteknisten laitteiston tarve määritellään Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta (848/2017) sekä siitä laaditun muistion perusteella ennen rakentamisen aloittamista.

Paloteknisen laitteistojen tarkoituksena on havaita mahdollinen tulipalo aikaisessa vaiheessa, ilmoittaa havaittu palo eteenpäin mekaanisesti ja mahdollisesti rajoittaa palon leviämistä irtaimistosta tai kiinteistöstä toiseen.

Paloteknisiin laitteistoihin luetaan sähköverkkoon kytketty palovaroitin, paloilmoin, hätäkeskukseen kytketty paloilmoin sekä automaattinen sammutuslaitteisto.

Suunnittelua helpottamaan on otettu tarvittaessa mukana sprinklerisuunnittelija ja sähkösuunnittelija. Sprinklerisuunnittelija osaa mitoittaa kohteeseen tulevat laitteistot, tarvittavan vesimäärän tai oman sprinklerivesialtaan sekä mahdolliset paineenkorotus pumput. Sprinklerisuunnittelu perustuu standardeihin tai erillisiin suunnitteluohjeisiin. Sähkösuunnittelija vastaa paloilmoinnista ja sen toteuttamisesta. Paloilmoinnituksen suunnittelu perustuu Paloilmoinnituksen suunnittelu, asennus ja ylläpito 2019 (2019) ST-ohjeistoon.

## 6.3 Kappale Sammutusjätevesien talteenoton syyt

Talteenoton syyt avataan tässä kohdassa. Syytä ovat esimerkiksi vesistöt, pohjavesialue, tärkeät luontokohteet tai halu välttää myrkyllisten aineiden pääsy jätevesien mukana ympäristöön. Tähän vaikuttaa myös Tukesin tai ympäristösuojeluviranomaisen lausunnot.

#### 6.4 Kappale Vaarallisten kemikaalien, jätteiden sekä palavien materiaalien varastojen kuvaus

Mikäli kohteessa varastoidaan vaarallisia kemikaaleja, jätteitä tai palavia materiaaleja, niin tästä voidaan tehdä seloste tässä kappaleessa. Seloste voi olla taulukkomuodossa tai vapaasti auki kirjoitettuna.

#### 6.5 Kappale Sammutusjäteveden talteenotto

Talteenotossa kerrotaan millä keinoin sammutusjätevesiä kerätään ja minne ne tarvittaessa johdetaan. Tässä kappaleessa käydään läpi myös mahdollisia viemäröinti- tai allastus järjestelmiä.

Erilaisia keinoja sammutusjäteveden talteenottoon ja hallintaan on käsitelty kappaleessa 2.2.

#### 6.6 Kappale Sammutusveden tarve sekä määrä

Palon suuruus ja vakavuus vaikuttavat siihen, kuinka monta pelastusyksikköä paikalle saapuu. Esimerkkinä alla on käsitelty liikennevälinepaloja maanalaisissa tiloissa ja niiden hälytysvasteita. Hälytysvasteella tarkoitetaan paikalle saapuvien pelastusyksiköiden, muiden mahdollisten viranomaisten määrää. Vasteet jaetaan usein kolmeen ryhmään: pieni, keskisuuri ja suuri. Mitä suurempi vaste on, niin sitä enemmän pelastusyksiköitä saapuu onnettomuus paikalle. (Pelastuslaitoksen varautuminen sähköautopaloihin maanalaisissa pysäköintilaitoksissa 2020, s. 26)

Tuotantolaitoksissa vasteet saa selville alueen pelastuslaitokselta sammutusjätevesisuunnitelman laatimista varten. (Kemikaalivuotojen ja sammutusjätevesien hallinta, 2019 s.19)

Mikäli kyseessä on hälytyksenä "Liikenneväline palo maanalla: pieni", eli liikenneväline savuaa ja on varmuudella sammunut, niin kohteeseen vettä tuovat pelastusyksikkö sekä säiliöauto. (Pelastuslaitoksen varautuminen sähköautopaloihin maanalaisissa pysäköintilaitoksissa 2020, s. 26)

Mikäli kyseessä on "Liikenneväline palo maanalla: keskisuuri", eli yksittäisen henkilöauton palo, niin kohteeseen vettä tuovat kolme pelastusyksikköä sekä säiliöauto. (Pelastuslaitoksen varautuminen sähköautopaloihin maanalaisissa pysäköintilaitoksissa, s. 26)

Mikäli kyseessä on "Liikenneväline palo maanalla: suuri", eli pakettiautoa suuremman auton palo, niin kohteeseen vettä tuovat neljä pelastusyksikköä sekä kaksi säiliöautoa. (Pelastuslaitoksen varautuminen sähköautopaloihin maanalaisissa pysäköintilaitoksissa, s. 26)

Yhden pelastusyksikön tuottama sammutusvesivirta on 5–10 litraa sekunnissa (300–600 l/min). Tämä vesimäärä syntyy yhdestä pääjohdosta, jonka halkaisija on 6 mm sekä yhden tai kahden työsuikun, halkaisijaltaan 42 mm, perusselvityksestä. (Helsingin kaupungin sammutusvesisuunnitelma 2013 s.15)

Tällä sammutusvesivirralla yhden pelastusyksikön säiliön (3000 l) vesi riittää noin 5–10 minuutin tehokkaaseen sammuttamiseen. Mikäli tämä ei riitä sammuttamaan paloa, tulisi kyseisessä ajassa saada lisävesiselvitys sammutusautoon vesijohtoverkosta, säiliöautosta tai luonnonvedenotto paikasta (kuten järvi, joki, lampi). (Helsingin kaupungin sammutusvesisuunnitelma 2013 s.15)

Säiliöautosta syötettäessä lisävettä yhdelle pelastusyksikölle (2 työjohtoa), riittää vesi (3000 l + 10 000 l) yhteensä noin 22 minuutin tehokkaaseen sammutukseen. Mikäli säiliöauton vesimäärä ei riitä tulipalon sammuttamiseen, niin tehdään uusi lisävesiselvitys. Lisävesiselvityksellä saadaan säiliöautoon lisää vettä ja tällainen tehdään yleensä vesijohtoverkosta, toisesta säiliöautosta tai luonnonvedenotto paikasta (kuten järvi, joki, lampi). (Helsingin kaupungin sammutusvesisuunnitelma 2013 s.15)

Automaattisen paloilmoittimen hälytyksestä pelastuslaitoksen sammutustyö alkaa arviolta 10–15 minuutin kuluttua hälytyksestä. Kokemuksesta on kuitenkin havaittu, että pelastuslaitoksen käyttämä sammutusvesimäärä on todennäköisesti pienempi. Sillä edellytyksellä, että palo saadaan sammutettua heti palon alkuvaiheessa. Ajallisesti alkuvaihe on noin 30 minuuttia. (Helsingin kaupungin sammutusvesisuunnitelma 2013 s.15)

Tulee kuitenkin huomioida, että vesimäärän käyttöön liittyy muun muassa pelastushenkilöstön kohdetuntemus, mahdolliset tekniset ongelmat, palokohteen

paikantaminen sekä auton suuruus ja käyttövoima. (Sammutusjätevedet ja ympäristö, 2011 s.40)

Mikäli kohteeseen tulee automaattinen sammutuslaitteisto, niin tämän merkitystä sammutusjätevesimäärään voidaan tutkia taulukon 1 mitoitusperusteiden pohjalta. Käytetty sprinkleriluokka vaikuttaa esimerkiksi siihen paljonko sprinkleristä syötetään vettä minuutissa ja kuinka isoa alaa voidaan sammuttaa.

Taulukko 1 Sprinklerilaitteistojen mitoitusperusteet Suomessa

Sprinkleriluokka	Yksittäisen suuttimen mitoitus			Koko järjestelmän mitoitus	
	Pienin vesivuon tiheys	Suojausala	Suojausalan mitoitus	Suojausala	Suojausalan mitoitus
	l/m <sup>2</sup> min	m <sup>2</sup>	l/min	m <sup>2</sup>	l/min
LH	2,25	21	47	84	225
OH1	5	12	60	72	375
OH2	5	12	60	144	725
OH3	5	12	60	216	1100
OH4	5	12	60	360	1800
HHP1	7,5	9	68	260	2300
HHP2	10	9	90	260	2050
HHP3	12,5	9	113	260	3800

LH sprinkleriluokka on kevyt sprinkleriluokka, jota käytetään kohteissa, missä palokuorma ja palamisherakkyys on pientä. Tällaisia kohteita ovat esimerkiksi koulut, konttorit ja vankilat. (Kiinteät palonsammutusjärjestelmät. Automaattiset sprinklerilaitteistot. Suunnittelu, asennus ja huolto s. 25 ja 119)

OH sprinkleriluokka sisältää kohteita, missä käsitellään tai valmistetaan palokuormaltaan normaaleja tuotteita tai materiaaleja. OH-sprinkleriluokka on myös jaettu neljään eri ryhmään. Ryhmissä vaihtelee suojausala sekä suojausalan mitoitus. Esimerkkikohteita ovat OH1 sairaalat, hotellit ja koulut, OH2 panimot, museot ja paikoitusalueet, OH3 jauhomyllyt, paperitehtaat ja ostoskeskukset ja OH4 elokuvateatterit, konserttitalit ja sahat. (Kiinteät palonsammutusjärjestelmät. Automaattiset sprinklerilaitteistot. Suunnittelu, asennus ja huolto s. 25 ja 119)

HHP sprinkleriluokka sisältää kohteet, missä käsitellään tai valmistetaan palokuormaltaan herkästi palavia tuotteita tai materiaaleja. Palokuorma on myös näissä kohteissa suuri ja palo voi kehittyä nopeasti. Tällaisessa vaihtelee vesivuon tiheys sekä suojausalan mitoitus. Esimerkkikohteita ovat HHP1 tulitikkujen valmistus ja kumituotetehtaat, HHP2 sahat ja

paperikonehallit ja HPP3 henkilö- ja kuorma-autojen kumirenkaat. (Kiinteät palonsammutusjärjestelmät. Automaattiset sprinklerilaitteistot. Suunnittelu, asennus ja huolto s. 25 ja 119)

On huomioitava, että sammutusveden määrään saattaa vaikuttaa sammutusjäteveden talteenoton kapasiteetti, jolloin käytettävän vesimäärän kohdentaminen on mietittävä tarkoin etukäteen. (Kemikaalivuotojen ja sammutusjätevesien hallinta, 2019 s.21)

Sammutusjätevesien talteenottokapasiteetti perustuu suurimpaan paloskenaarioon. Tällä tarkoitetaan sitä, että lasketaan sammuttamiseen ja jäähdyttämiseen käytetty vesimäärä tilaan tai säiliöön, jossa on kemikaaleja sekä vallitila. Tälle laskutavalle ei ole vielä vakiintunutta käytäntöä, mutta tähän voidaan käyttää erilaisia laskutapoja ja kaavoja. (Kemikaalivuotojen ja sammutusjätevesien hallinta, 2019 s.21)

## 6.7 Kappale Sammutusjäteveden määrä

Sammutusjäteveden määrää voidaan mitoittaa Wieneken (1997) tekemällä laskukaavalla. Wieneken on tutkinut ja analysoinut erilaisia tulipaloja, sekä analysoinut Schweitzerin kirjallisuustutkimusta aiheesta. (Sammutusjätevedet ja ympäristö, 2005 s.42).

Alle on avattu kaava.

$$V_{SV} = CA$$

$V_{SV}$  on sammutusvesimäärä,  $A$  on palavan alueen pinta-ala ja  $C$  on verrannollisuuskerroin, jonka arvo on  $1,5 \text{ m}^3/\text{m}^2$ . Yhtälö on voimassa, kun palavan alueen pinta-ala on välillä  $2 \text{ m}^2 < A < 2\,400 \text{ m}^2$ . (Sammutusjätevedet ja ympäristö, 2005 s.42).

Yhtälö on voimassa, kun  $A < 1\,600 \text{ m}^2$ , mutta palavan alueen pinta-alan ollessa suurempi kuin  $1\,600 \text{ m}^2$  tulee verrannollisuuskertoimen  $C$  arvoksi asettaa  $2,5 \text{ m}^3/\text{m}^2$ . Näin muutettu yhtälö on Schweitzerin mukaan voimassa, kun palavan alueen pinta-ala on pienempi kuin  $20\,000 \text{ m}^2$ . (Sammutusjätevedet ja ympäristö, 2005 s.42).

Sammutusvesivuo määritellään seuraavalla yhtälöllä:

$$\dot{v}_{SV}'' = \frac{\dot{V}_{SV}}{A}$$

missä  $\dot{V}_{SV}$  on sammutusvesivirta ja  $A$  on palavan alueen pinta-ala. Jatkoa varten, sammutusvesivuon ja palavan alueen pinta-alan välillä vallitseva yhteys on muotoa:

$$\dot{v}_{SV}'' = C_1 A^s$$

missä verrannollisuuskertoimen  $C_1$  ja eksponentin  $S$  arvoja ei vielä tunneta. (Sammutusjätevedet ja ympäristö, 2005 s.42–43).

Tarvittava sammutusvesimäärä voidaan laskea yhtälöllä:

$$V_{SV} = \dot{V}_{SV} t_s$$

missä  $V_{SV}$  on sammutusvesivirta ja  $t_s$  on sammutukseen tarvittava aika. (Sammutusjätevedet ja ympäristö, 2005 s.44).

Sammutusvesivirran ja sammuttamiseen tarvittavan ajan riippuvuudet eri tekijöistä eivät ole tiedossa, mutta oletetaan, että ne riippuvat palavan alueen pinta-alasta  $A$  seuraavilla tavoilla:

$$\dot{V}_{SV} = \dot{v}_{SV}'' A = C_1 A^s \cdot A = C_1 A^p$$

$$t_s = C_2 A^q$$

missä  $p = s + 1$ . Sijoittamalla yllä olevat yhtälöt tarvittavan vesimäärän yhtälöön, niin saadaan sammutusveden kokonaismääräksi:

$$V_{SV} = \dot{v}_{SV}'' t_s = C_1 A^p \cdot C_2 A^q = C A^r$$

missä  $C = C_1 C_2$  ja  $r = p + q$  Saatu yhtälö on sama kuin Hampurin palokunnan kokemuksiin perustuva yhtälö (8), kun asetetaan  $r=1$ . (Sammutusjätevedet ja ympäristö, 2005 s.44).

Nyt voidaan ratkaista sammutusvesivirran ja sammuttamiseen tarvittavan yhtälöissä esiintyvien parametrien numeroarvot. Käytetään verrannollisuuskertoimen  $C$  numeroarvona Hampurin palokunnan kokemuksiin perustuvaa arvoa 1,5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>, joka vaikuttaa oikealta, kun palavan alueen pinta-ala on pienempi kuin 1 600 m<sup>2</sup>. Tästä saadaan seuraavat tulokset:

$$p = s + 1 = -0,5 + 1 = 0,5$$

$$q = r - p = 1 - 0,5$$

$$C_2 = \frac{C}{C_1} = \frac{1,5 \text{ m}^3 / \text{m}^2}{0,1(\text{m}^3 / \text{min}) \cdot \text{m} / \text{m}^2} = 15 \frac{\text{min}}{\text{m}}$$

Yllä olevan perusteella on kehitetty yhtälöt tulipalon sammuttamiseen tarvittavalle ajalle, sammutusvesivirralle, sammutusvesivuolle ja sammutusvesimäärälle palavan alueen pinta-alan funktioina. Viimeisimpänä esitettyyn yhtälöön voidaan sijoittaa verrannollisuuskertoimen  $C$  numeroarvoksi myös  $2,5 \text{ m}^3/\text{m}^2$ . Tämä arvo on Schweitzerin mukaan oikea, kun palavan alueen pinta-ala on suurempi kuin  $1\,600 \text{ m}^2$  mutta pienempi kuin  $20\,000 \text{ m}^2$ . Tällöin saadaan kertoimen  $C_2$  arvoksi  $25 \text{ min/m}$ . (Sammutusjätevedet ja ympäristö, 2005 s.44–45).

Sammutusjäteveden määräksi arvioidaan puolet sammutusveden määrästä. Laskelmissa voidaan siis käyttää yhtälöä:

$$V_{SJV} = bCA = b'A$$

missä  $b' = bC = 0,5 \cdot 1,5 \text{ m}^3/\text{m}^2 = 0,75 \text{ m}^3 / \text{m}^2$ , kun palavan alueen pinta-ala on pienempi kuin  $1\,600 \text{ m}^2$ , ja  $b' = bC = 0,5 \cdot 2,5 \text{ m}^3/\text{m}^2 = 1,25 \text{ m}^3 / \text{m}^2$ , kun palavan alueen pinta-ala on suurempi kuin  $1\,600 \text{ m}^2$ . (Sammutusjätevedet ja ympäristö, 2005 s.48).

Käyttämällä kaikkia kappaleessa 6.7 esitettyjä yhtälöitä voidaan laskea palon sammuttamiseen tarvittava aika, sammutusvesivirta, sammutusvesivuo, sammutusveden määrä ja sammutusjäteveden määrä. (Sammutusjätevedet ja ympäristö, 2005 s.48).

Yllä olevien tietojen perusteella laadittiin taulukko. Taulukkoon sijoitetaan kohteen pinta-ala, jonka jälkeen taulukko laskee sammuttamiseen tarvittava aika, sammutusvesivirta, sammutusvesivuo, sammutusveden määrä ja sammutusjäteveden määrä.

Taulukossa 2:

- A: tilanpinta-ala
- C: verrannollisuuskerron, kun pinta-ala on alle  $1600\text{m}^2$
- C1: verrannollisuuskerron, jossa arvo on aina sama
- C2: verrannollisuuskerron, kun pinta-ala on  $1600\text{m}^2 - 20000\text{m}^2$
- s,p, r, q ja b ovat määritellyjä kertoimia, jotka pysyvät muuttumattomina

Taulukko 2 Tulipalon sammuttamiseen tarvittavalle ajalle, sammutusvesivirralle, sammutusvesivuolle ja sammutusvesimäärälle palavan alueen pinta-alan funktio.

Perustiedot	Parametri	Arvo	Yksikkö
Tilan pinta-ala	A	1000	m <sup>2</sup>
Verannollisuuskerroin	C	1,5	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>
Verannollisuuskerroin	C <sub>1</sub>	0,1	(m <sup>3</sup> /min)*m/m <sup>2</sup>
Verannollisuuskerroin	C <sub>2</sub>	15,0	min/m
Kerroin	s	-0,5	
Kerroin	p	0,5	
Kerroin	r	1,0	
Kerroin	q	0,5	
Kerroin	b	0,5	
Tulokset			
Sammutusvesivirta	V' <sub>sv</sub>	3,2	m <sup>3</sup> /min
Sammutusvesivuo	v'' <sub>sv</sub>	3,2	l/min/m <sup>2</sup>
Sammutusvesimäärä	V <sub>sv</sub>	1500,0	m <sup>3</sup>
Sammutusaika	t <sub>s</sub>	7,9	h
Sammutusjäteveden määrä	V <sub>sjv</sub>	750,0	m <sup>3</sup>

Kaavassa osa vedestä voi tulla automaattisesta sammutuslaitteistosta ja osa pelastuslaitoksen kalustolta. Sammutusjätevedenmääräksi arvioidaan puolet sammutusveden määrästä. (Sammutusjätevedet ja ympäristö, 2005 s.41–48).

Verrattaessa tavallisen polttomoottoriauton ja sähköauton sammutusveden määrää, niin tavallisen henkilöauton sammuttamiseen menee noin 1000 litraa vettä. (Sammutusvesisuunnitelma, 2022) Kappaleessa 5 on todettu, että sähköauton sammuttamiseen menee taas tuhansia litroja. Tarkkoja lukemia laskennallisesta vesimäärästä ei tällä hetkellä ole tiedossa. Pelastuslaitoksen haastattelussa keväällä 2022 selvisi, että vuonna 2019 syttyneessä sähköauton tulipalossa käytetty vesimäärä oli 13 000 litraa. Käytetyn sammutusveden määrä sähköautopalossa on tällöin ollut 13 kertainen verrattuna tavalliseen polttomoottoriauton palamiseen.

Jos arvioidaan sammutusjäteveden määrää Wienekin kaavan avulla, niin sammutusjäteveden määrä on noin puolet käytetystä vesimäärästä autopaloissa.

## 6.8 Kappale Sammutusjätevesien käsittely

Vakavan onnettomuuden jälkeen toiminnanharjoittaja ilmoittaa asiasta kemikaaliturvallisuus- ja ympäristövalvontaviranomaiselle sekä tarvittaessa vesihuoltolaitokselle. Tämän jälkeen valvontaviranomainen voi antaa toiminnanharjoittajalle ohjeita mahdollisesta näytteenottamisesta sekä muista tarvittavista toimenpiteistä. (Kemikaalivuotojen ja sammutusjätevesien hallinta, 2019 s.26)

Esimerkiksi sammutusjäteveden koostumus selvitetään vaadittavien jatkotoimenpiteiden tekemiseksi. Mikäli vedestä ei löydy haitallisia aineita, niin se voidaan päästää jätevesiviemäriin, mikäli jätevedenpuhdistamo näin salli. Mikäli taas sammutusjätevesi sisältää haitallisia aineita, niin se kuljetetaan jatkokäsittelyä varten asianmukaiseen laitokseen puhdistettavaksi, jollei käsittelyä voida tehdä tuotantolaitoksella. (Kemikaalivuotojen ja sammutusjätevesien hallinta, 2019 s.26)

Maaperästä otetaan näytteet tarvittaessa ja näistä näytteistä tutkitaan haitalliset aineet tapauskohtaisesti. Näytteestä tutkitaan PIMA-asetuksen (214/2017) mukaiset aineet sekä mitataan maaperän PH. Pilaantunut maa poistetaan ja viedään asianmukaiseen jätteenkäsittelylaitokseen. (Kemikaalivuotojen ja sammutusjätevesien hallinta, 2019 s.26)

Jos sammutusjätevettä on valunut pinta- tai pohjavesiin, haitallisten aineiden pitoisuudet selvitetään näytteillä, joista analysoidaan esimerkiksi kiintoaineen, ravinteiden, metallien, öljyhiilivetyjen sekä PCB-, VOC-, PAH- ja PCDD/F-yhdisteiden pitoisuudet sekä COD, happipitoisuus, pH ja sähkönjohtavuus. (Kemikaalivuotojen ja sammutusjätevesien hallinta, 2019 s.26)

## 6.9 Kappale Toimintaohjeet

Toimintaohjeet tulevat pääsääntöisesti henkilökunnalle, mutta myös pelastuslaitoksen käyttöön.

Toimintaohjeessa kuvataan henkilökunnalle vastuut, ohjeistukset, koulutukset ja varautumiset työajalla kuin sen ulkopuolella.

Lisäksi käsitellään mahdollisten, miten toimitaan poikkeavassa tilanteessa, kuten erilaisten luonnonilmiöiden aikana ja tulipalosta aiheutuvien haasteiden aikana.

Tässä kappaleessa voidaan tarvittaessa mainita myös sammutusjätevesien talteenottojärjestelmien huoltotarpeista ja -väleistä.

Pelastuslaitoksilla on monia kohteita, joten yksittäiset kohteet eivät jää mieleen. Tällöin tukeudutaan hyviin toimintaohjeeseen, jotka toimitetaan pelastuslaitokselle ennen toiminnan varsinaista aloittamista. Ohjeet laaditaan pelastuslaitoksen kohdekorttiin. Kohdekortista käy ilmi suppeammin kohteen tiedot. Nämä tiedot ovat kuitenkin pelastustoimintaa helpottavia.

#### 6.10 Kappale Liitteet

Sammutusjätevesisuunnitelman liitteenä voi olla asemapiirros tai mahdollisesti jopa tarkempikin piirros kohteesta. Tähän piirrokseen on merkitty sammutusjäteveden hallinnan kannalta keskeisimmät asiat. Näitä ovat esimerkiksi rakennukset, palo-osastot, piha-alueet, alkusammutuskalusto, varastojen sijainnit, viemäreiden ja niiden sijainnit.

## 7 Sammutusjätevesi suunnitelma parkkihalliin

Tässä kappaleessa on laadittu esimerkki sammutusjätevesisuunnitelma käyttäen apuna kappaletta 6. Kohteena on käytetty kuvitteellista parkkihallia Helsingissä. Kursivoivalla tekstillä oleva osuus on tarkoitettu sammutusjätevesisuunnitelmaksi.

### 7.1 Yleistä

Tässä käydään läpi kohteen yleiset tiedot. Tämä sammutusjätevesi suunnitelman on tehty esimerkin omaisesti parkkihalliin.

*Tässä suunnitelmassa käydään läpi parkkihallin sammutusjäteveden talteenottojärjestelyä. Parkkihalli sijaitsee Helsingissä ja on maan alla. Parkkihallin sammutusjäteveden talteenotto järjestelyillä varmistetaan, että sammutusjätevettä pääsee tulipalotilanteissa jäte- tai huleveden sekaan.*

*Parkkihalli on paloluokaltaan P1- luokan rakennus ja se on varustettu automaattisella sammutuslaitteistolla. Parkkihalli on yksi kerroksinen. Suurimman palo-osaston koko on 9000 m<sup>2</sup>.*

*Rakennuksen pääkäyttötarkoitus on parkkihalli. Rakennuksessa on parkkihallia palvelevia teknisiä tiloja, kuten sähköpääkeskus. Rakennuksessa ei varastoida vaarallisia aineita tai palavia nesteitä.*

*Parkkihallin kaivot on varustettu sulkuventtiileillä, lisäksi parkkihallin alla on oma erillinen allas jätevesille.*

### 7.2 Palotekniset laitteistot

Tässä kohtaa tulee miettiä, tarvitaan kohteeseen automaattista sammutuslaitteistoa tai automaattista paloilmoitinta? Millä standardilla automaattinen sammutuslaitteisto tehdään? Mitä vaateita automaattinen sammutuslaitteisto tuo lisää? Riittääkö kunnan vesi vai pitääkö kohteeseen tehdä oma vesivarasto? Miten taataan suuttimissa riittävä paine? Tuleeko kohteeseen automaattista paloilmoitinta? Automaattinen sammutuslaitteisto tarvitsee

palohälytyksen välittäjäksi automaattisen paloilmoittimen. Eli jos kohteessa on automaattinen sammutuslaitteisto, niin kohteeseen tulee myös paloilmoitin.

*Parkkihalli varustetaan automaattisella sammutuslaitteistolla, ympäristöministeriön asetuksen rakennusten paloturvallisuudesta (848/2017) taulukko 5 mukaan. Parkkihallin pinta-ala on 9000 m<sup>2</sup>, se ylittää taulukkoarvon 1500m<sup>2</sup>. Parkkihallin suurin palo-osastokoko voi olla automaattisen sammutuslaitteiston kanssa 10000m<sup>2</sup>. Järjestelmä tehdään SFS-12845-standardin mukaisesti.*

*Vesilähteenä toimii kunnan vesilähde, joka täyttää siltä vaaditut määräykset. Automaattisen sammutuslaitteiston keskus on sijoitettu siten, että sinne päästään suoraan ulkokautta.*

*Sammutteena käytetään parkkihallin tiloissa vettä ja sammutuslaitteistosta on laadittu oma järjestelmäkuvaus. Riittävä paine on taattu dieselpumpulla.*

*Parkkihalliin asennetaan automaattinen paloilmoitin, joka toimii automaattisen sammutuslaitteiston hälytyksen välittäjänä. Laitteisto sisältää: keskuksen, kellot sekä painikkeet.*

### 7.3 Sammutusjätevesien talteenoton syyt

Tässä kuvataan, miksi sammutusjätevedet otetaan talteen.

*Parkkihallin sammutusjätevedet otetaan talteen koska, tällä pyritään ehkäisemään mahdollisesti ihmisille sekä ympäristölle autopaloista muodostuvien myrkyllisten aineiden pääsy jätevesien mukana ympäristöön ja jätevesien sekaan. Esimerkiksi sähköautopaloista akkupalon seurauksena irtoaa nikkeliä ja muita mahdollisia myrkyllisiä aineita.*

### 7.4 Vaarallisten kemikaalien, jätteiden sekä palavien materiaalien varastojen kuvaus

Mikäli kohteeseen tulee kemikaaleja, jätteitä tai palavia materiaaleja, niin tässä kohtaa kuvataan paljon edellä mainittuja, on ja kuinka paljon. Mikäli kohteeseen ei näitä ole, niin voidaan todeta, ettei kohteeseen ole tulossa tai käsitellä kemikaaleja, jätteitä tai palavia aineita.

*Parkkihallissa ei säilytetä tai käsitellä kemikaaleja, jätteitä tai palavia aineita.*

## 7.5 Sammutusveden talteenotto

Kohteessa sammutusveden talteenotto perustuu suunnitteluryhmän ajateltuun malliin, miten on järkevin toteuttaa talteenotto. Sammutusjäteveden talteenoton kapasiteetti perustuu kappaleen "Sammutusveden tarve sekä sammutusjäteveden määrä" -laskentaan. Laskennassa huomioidaan suurin paloskenaario.

Rakennuksen suunnittelussa huomioon sisällä parkkihallissa tapahtuva sammutusveden talteen ottaminen.

*Parkkihallin omat vallimaiset rakenteet estävät osin sammutusjäteveden pääsyn ulkopuolelle. Autopalosta aiheutuvan sammutusjäteveden pääsyä yleiseen vesiverkostoon rajataan niin, että autohallin hulevesiviemärit voidaan sulkea onnettomuustilanteessa tai vedet voidaan ohjata parkkihallin alle rakennettuun erilliseen altaaseen hätätilanteessa. Edellä mainittuja tilanteita varten toteutetaan sulut ja veden ohjaaminen altaaseen ennen jätevesiviemäriin liittymistä kunnalliseen verkkoon.*

*Sammutusjätevedet on mahdollista kerätä talteen imupumppaamalla onnettomuuden jälkeä tarkoitukseen soveltuvalla säiliöautolla ja kuljettaa vedet eteenpäin jätteenkäsittelylaitokselle.*

*Toiminnanharjoittajan tulee ilmoittaa sammutusjätevesimäärästä vesihuoltolaitokselle sekä ympäristövalvontaviranomaiselle. Ympäristövalvontaviranomainen ilmoittaa tarpeellisista jatkotoimenpiteistä.*

## 7.6 Sammutusveden tarve sekä määrä

Sammutusveden tarvetta voidaan tutkia Wienekenin laskukaavan mukaan. Tässä kohtaan voidaan tässä pohtia myös mahdollisesti sitäkin, että tarvitaanko sammutusvettä sisällä ja ulkona rakennusta. Vai riittääkö sammuttaminen pelkästään sisäpuolella kiinteistöä. Vaikka Wienekenin kaavassa on käytetty kohteen suurinta palo-osasto kokoa mitoittavana tekijänä, niin tässä kohtaa voi miettiä esimerkiksi parkkihallissa mahdollisen tulipalon leviämistä ympäristöön. Tässä voi tutkia pienemmänkin alueen sammutusveden tarvetta sekä määrää.

*Sammutusveden tarve ja määrä on tutkittu laskennallisesti käyttäen apuna Wienekenin kaavaa. Sammutusveden tarve sijoittuu vain sisätiloihin, sillä parkkihalli on maan alla.*

*Mitoittava tekijä kaavan käyttämisessä on parkkihallin suurin palo-osasto koko. Parkkihallissa suurin palo-osastokoko on 9000m<sup>2</sup>. Mikäli mitoitetaan koko parkkihallin tarvittava sammutusvesimäärä, niin vettä tarvitaan 22500m<sup>3</sup>.*

*Kohteessa on automaattinen sammutuslaitteisto ja paloilmoin, jotka reagoivat alkavaan paloon nopeasti. Todennäköisempää tällöin on se, että palo ei ehdi leviämään palavasta autosta kovinkaan pitkälle, jolloin voidaan tutkia kolmen parkkiruudun sammutusveden määrää. Yhden parkkiruudun koko on 5 m x 2,5 m (pituus x leveys) ja pinta-ala 12,5m<sup>2</sup>. Tällöin kolmen parkkiruudun pinta-ala on 37,5 m<sup>2</sup>. Sammutusveden määrä on 56,3m<sup>3</sup>.*

*On kuitenkin huomioitava, että mikäli tulipaloon osallistuu sähköauto, niin veden määrä monin kertaistuu. Tavallisen henkilöauton sammuttamiseen on arvioitu riittävän noin 1000 litraa vettä, mutta sähköautopaloissa vesimäärä saattaa olla jopa kymmenkertainen. Sähköautopalossa on riskinä, että palo pääsee akustoon ja tämän seurauksena syntyy lämpöryntäys.*

#### 7.7 Sammutusjäteveden määrä

Tässä kappaleessa käsitellään sammutusjäteveden määrää. Sammutusjäteveden määrää voidaan tutkia Wienekenin laskukaavan mukaan. Sammutusjätevesi on yleensä puolet käytetystä sammutusvedestä. Mikäli halutaan varmuuskerroin, niin prosenttimäärää voidaan kasvattaa esimerkiksi 70 %.

*Sammutusjätevedenmäärää on arvioitu Wienekenin yhtälöllä. Laskennallisesti kohteessa käytettävä sammutusveden määrä on 22500m<sup>3</sup>. Silloin arvioitu sammutusjäteveden määrä on 11250 m<sup>3</sup>. Mikäli mitoitusperusteena käytetään kolmen parkkiruudun pinta-alaa, niin sammutusjäteveden määrä on 28,1 m<sup>3</sup>.*

#### 7.8 Sammutusjätevesien käsittely

Miten sammutusjätevedet käsitellään? Kuka päättää sammutusjäteveden keräämisestä?

*Valvontaviranomainen tekee päätöksen näytteiden ottamisesta ja sammutusjätevedestä otetaan tarvittaessa näytteitä ennen sen jatkokäsittelyä. Näytteiden tulosten perusteella voidaan arvioida, onko sammutusjätevettä mahdollista juoksuttaa verkostoon.*

*Sammutusjätevedet poistetaan tarvittaessa imupumppauksella tarkastuskaivojen tai allastuksesta imureilla ja/tai imeyttämällä imeytysaineisiin, jonka jälkeen sammutusjätevedet kuljetetaan tarkoitukseen soveltuvilla kuljetusautoilla ongelmajätelaitokselle jatkokäsittelyyn.*

## 7.9 Toimintaohjeet

Toimintaohjeet ovat apu henkilökunnalle sekä pelastuslaitokselle.

*Pelastuslaitosta varten parkkilaitokseen on laadittu kohdekortti. Tässä kortissa käydään läpi, että sammutusjätevesille on kaivoissa sulkuventtiilit sekä oma allastus, johon sammutusjätevedet voidaan ohjata. Allastus sekä sulkuventtiilit merkitään selkeillä ja näkyvillä kylteillä.*

*Pelastussuunnitelma täydennetään sammutusjätevesien keräilyohjeella, ja henkilökunta perehdytetään suunnitelmaan. Toimintaohjeet kiinnitetään paloilmoitinkeskuksen yhteyteen.*

## 7.10 Liitteet

Liiteisiin laitetaan kaikki sellainen mistä voidaan ajatella olevan hyötyä sammutusjätevesien keräämisessä ja siihen liittyvässä onnettomuustilanteessa.

*Liitteenä alueen asemakuva ja parkkihallin liitekuva, josta käy ilmi sammutusreitit, palo-osastot, hulevesiviemäreiden sijainnit ja sulut sekä parkkihallin alla oleva allas.*

## 8 Tarvitseeko sammutusjätevesiä kerätä sähköautopalojen yhteydessä?

Tukesin tai ympäristösuojeluviranomaisen määräykseen perustuva sammutusjätevesisuunnitelman laadinta on selkeä. Sammutusjätevesisuunnitelman laadinta koskee lähtökohtaisesti kohteita, joissa käsitellään tai varastoidaan vaarallisia kemikaaleja. Ympäristösuojeluviranomainen voi omalta osaltaan vaatia sammutusjätevesien keräämisen osana ympäristölupaa, jos kohde sijaitsee esimerkiksi pohjavesialueella. Parkkihallit eivät siis kuulu sammutusjätevesisuunnitelman alaisuuteen näiden perusteella.

Tutkittaessa sammutusjätevesiä koskevaa lainsäädäntöä, niin ainoastaan Pelastuslaista sekä Ympäristönsuojelualaista löytyy lakipykälä koskien ympäristölle aiheutuvia haittoja ihmisen toiminnasta. Nämä lakipykälät ovat kuitenkin hyvin yleisluonteisia, eikä niitä suoraan voi käyttää ehtona sammutusjätevesisuunnitelman laadintaan tai sammutusjätevesien keräämisiin parkkihalleista.

Tätä opinnäytetyötä varten haastateltiin keväällä 2022 Länsi-Uudenmaan pelastuslaitoksen ja Helsingin pelastuslaitoksen kolmea edustajaa. Haastattelussa käytiin yleisesti läpi sähköautopaloja ja paloihin varautumista Helsingin ja Länsi-Uudenmaan alueella. Kummallakin alueella sähköautopalot ovat olleet yksittäisiä sekä harvoja.

Haastelussa käytiin läpi sammutusvesien määrää ja kummankin pelastuslaitoksen edustajat totesivat, että käytetty vesimäärä sähköautopaloissa on normaalia suurempi. Vaikka vesimäärä onkin suurempi, niin pelastuslaitoksen edustajien vastaukset olivat hyvin samanlaiset. Koska käytetty vesimäärä on suuri, niin mahdolliset pitoisuudet ovat pieniä. Toinen pelastuslaitos ei nähnyt tarvetta sammutusjätevesien keräämiselle ja toinen totesi, että olisi hyvä pystyä keräämään vedet, mutta käytännössä sitä ei tehdä. Kysyttäessä sammutusjätevesisuunnitelman laadinnasta parkkihalliin, toinen pelastuslaitos puolsi ideaa ja toinen taas oli sitä mieltä, ettei sammutusjätevesisuunnitelmaa tarvita.

Vesa Linja-Ahon kirjassa "Litiumioniakkuteknikka" käytiin läpi sammutusjätevesien keräämistä. Tulos kirjassa oli samanlainen kuin pelastuslaitoksen edustajien vastaukset: tällä hetkellä esimerkiksi HSY ei näe tarvetta sammutusjätevedenkeräämiselle

sähköautopaloissa. Maailmalla ei myöskään ole havaittu tarvetta sammutusjätevesien keräämiselle.

Maailmaltakaan ei ole tullut raporttia, jossa sähköauton sammutusjätevedet olisivat aiheuttaneet ympäristövahinkoja tai vedenpuhdistusprosessissa ongelmia. Tammikuussa 2020 Stavangerin lentoasemalla tuhoutui parkkihallin tulipalossa satoja autoja, jossa mukana oli myös sähköautoja. Sammutusjätevettä analysoitaessa ei vedestä löytynyt litiumia. Kobolttiakin löytyi hyvin pieni määrä. (Litiumioniakkuteknikka,2022 s.101)

On todettu, että sähköauton sammuttamiseen käytetään tuhansia litroja vettä. Kun vettä käytetään merkittävä määrä, niin reilusti laimennettuna sammutusjätevedet voidaan laskea jätevesien sekaan viemäriverkoston. Laimennettaessa vedessä olevien kemikaalien määrä pienenee, jolloin jäteveden sekaan ei pääse valtaisa määrä kemikaalia.

Kappaleessa 5.1 on käsitelty sähköautopalojen sammuttamista. Yhtenä vaihtoehtona on esitetty auton upottamista konttiin. Kuitenkin viime aikoina on keskusteltu siitä, että onko sähköautoa todellakin tarpeellista upottaa kokonaan konttiin. On havaittu, ettei akkupaloja välttämättä tunnisteta, jolloin auto upotetaan turhaan. Myös upotuksesta seuraavien sammutusjätevesien kohtalo on tällöin kyseenalaista. (Akkupalokaasut myrkyllisiä, asiantuntijan mukaan "sankaritekoja kannattaa välttää", ja jättää pelastustoimet ammattilaisille, 2022)

Mikäli sammutusjätevesiä aletaan tulevaisuudessa keräämään, niin käytännössä tämä tarkoittaisi kohteisiin rakenteellisten ratkaisuiden tekemistä. Ratkaisuina voi olla esimerkiksi allatus tai suljettavat kaivot.

Parkkihallin alinta kerrosta voidaan myös käyttää sammutusjätevesien keräämiseen sillä Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848 / 2017 mukaan parkkihallin seinät ja katto tehdään tarvikkeista, joiden osallistuminen paloon on hyvin rajoitettua sekä lattia tarvikkeesta, joka ei osallistu paloon lainkaan. Parkkihallit ovat siis kiviaineisia ja ne tehty viettäviksi, jolloin on mahdollista tutkia alimman kerroksen käyttämistä sammutusjätevesien keräämiseen. Ratkaisu vaatii mahdollisuuden hulevesikaivon sulkemiseen. Sammutusjätevedet voidaan pumpata ulkopuolisen toimijan avulla ja kuljettaa jatkokäsittelyyn.

Keväällä 2022 tehdyssä haastattelussa käyttiin läpi hieman myös sähköauton sammutustekniikkaa. Mikäli sähköauto palaa parkkihallissa, niin pelastuslaitos jäähdyttää ja

koittaa sammuttaa palavan auton. Tämän jälkeen auto siirretään pois parkkihallista ulos ja mikäli auto syttyy uudelleen, niin sammutustyöt hoidetaan ulkotiloissa. Parkkihallien ulkotiloista tai niiltä ympäröiviltä katualueita ei kerätä sammutusjätevesiä.

Jos sammutusjätevesien kerääminen tulee pakolliseksi parkkihalleissa, niin tulee ratkaistavaksi, miten toimitaan olemassa olevien parkkihallien kanssa. Esimerkiksi vuonna 2019 valmistuneessa kauppakeskus Triplassa on suurimman parkkihallin palo-osaston koko 17 500 m<sup>2</sup>. Sammutusjätevesien keräämistä ei ole Triplassa otettu huomioon suunnitteluvaiheessa, joten jälkikäteen ratkaisuiden tekeminen voi olla todella vaikeaa.

Autokanta tulee tulevaisuudessa muuttumaan. Latausasemien ja -kenttien määrän kasvaessa myös sähköautojen määrä tulee nousemaan. Kuitenkin Autoala ja akkuteknologia elävät jatkuvassa murroksessa. Esimerkiksi nyt tutkitaan sitä, onko mahdollista korvata akuissa oleva litium. Tällä hetkellä tutkimushanke on käynnissä, jossa tutkitaan mahdollisuutta korvata litiumakut natriumakuilla. Tulevaisuudessa autojen akut saattavat siis olla suola-akkuja. (Talouselämä, 2022)

On myös mahdollista, ettei sähköautoilu tule olemaan se viimeinen vaihtoehto saada liikenne nollapäästöiseksi, vaan löydetään joku parempi vaihtoehto auton liike-energian tuottamiseen.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia pysäköintilaitosten osalta sammutusjätevesien keräyksen nykytilaa ja sähköautojen määrän lisääntymisen vaikutusta sammutusjätevesien keräyksen tarpeeseen. Työn laatijan näkemyksen mukaan, huomioiden opinnäytetyössä käytetty aineisto, ei sammutusjätevesien talteenotto parkkihalleissa ole välttämätöntä lisääntyvän sähköautokannan perusteella. Tämän mukaan pysäköintilaitoksiin ei myöskään tarvitsisi laatia sammutusjätevesisuunnitelmia. Tätä puoltaa lakien ja asetusten yleisluontoisuus, Suomessa ja maailmalla tehdyt havainnot kemikaalipitoisuuksista ja sähköautopalojen harvinaisuus. Myöskään sähköauton täydellistä sammutustekniikkaa ei ole vielä löydetty. Kaikki nämä yhdessä ajavat siihen, että tällä hetkellä sähköautopalot ovat hyvinkin verrattavissa tavalliseen autopaloon, vaikka sammuttamisessa käytetty aika ja vesimäärä ovat suuremmat.

## Lähteet

Autotie (2021). Sähköauton asiointilataamisen ABC uudemmallekin sähköautoilijalle. Haettu 11.9.2022. osoitteesta <https://www.autotie.fi/tien-sivusta/sahkoautoileva-motoristi/sahkoauton-asiointilataamisen-abc-uudemhallekin-sahkoautoilijalle>

Flood, J. Sammutusjätevesien hallinta ja niiden ymäpäristövaikutukset. 2018.

Helsingin pelastuslaitos. Haastattelu 25.5.2022

Helsingin Sanomat (2022) Kempower ja Neste alkavat rakentaa suurteholatauksen runkoverkkoa ympäri Suomea. Haettu 12.11.2022 osoitteesta: <https://www.hs.fi/autot/art-2000009189357.html>

Hyttinen, V.; Tolonen, P.; Väisänen, T. (2011) Palofysiikka

Kemiakemi (2020) Akkuun syntyi ALD-pinnoite hiilidioksidin avulla. Haettu 17.10.2022 osoitteesta <https://www.kemiamedia.fi/akkuun-syntyi-ald-pinnoite-hiilidioksidin-avulla/>

Kuntaliitto. Opas sammutusvesisuunniteman laatimiseksi. 2011.

Linja-Aho, V. (2022) Litiumioniakkutekniikka

Länsi-Uudenmaan pelastuslaitos. Haastattelu 23.5.2022

Länsi-Uudenmaan pelastuslaitos. Sammutusvesisuunnitelma. 2013.

Mellert D (2020) Risk minimisation of electric vehicle fires in underground traffic infrastructures. Haettu 29.12.2022 osoitteesta [https://plus.empa.ch/images/2020-08-17\\_Brandversuch-Elektroauto/AGT\\_2018\\_006\\_EMob\\_RiskMin\\_Undergr\\_Infrastr\\_Final\\_Report\\_V1.0.pdf](https://plus.empa.ch/images/2020-08-17_Brandversuch-Elektroauto/AGT_2018_006_EMob_RiskMin_Undergr_Infrastr_Final_Report_V1.0.pdf)

Motiva. (2020) Hybridiautot. Haettu 8.10.2022 osoitteesta [https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava\\_liikenne\\_ja\\_liikkuminen/valitse\\_auto\\_viisaasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/hybridiautot](https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/valitse_auto_viisaasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/hybridiautot)

Motiva. (2022) Täyssähköauto. Haettu 8.10.2022 osoitteesta [https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava\\_liikenne\\_ja\\_liikkuminen/valitse\\_auto\\_viisaasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/sahkoautot](https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/valitse_auto_viisaasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/sahkoautot)

Motiva. (2021) Sähköauton lataustekniikka ja turvallisuus. Haettu 2.1.2023 [https://www.motiva.fi/motiva/motivan\\_muut\\_verkkopalvelut](https://www.motiva.fi/motiva/motivan_muut_verkkopalvelut)

Motouutiset. (2022) Akkupalokaasut myrkyllisiä, asiantuntijan mukaan "sankaritekoja kannattaa välttää", ja jättää pelastustoimet ammattilaisille. Haettu 5.1.2023 osoitteesta

<https://www.motouutiset.fi/fi/moottoripyorat/uutiset/12216/Akkupalokaasut-myrkyllisi%C3%A4-asiantuntijan-mukaan-sankaritekoja-kannattaa-v%C3%A4ltt%C3%A4%C3%A4-ja-j%C3%A4tt%C3%A4%C3%A4-pelastustoimet-ammattilaisille.htm?ref=newest>

Moottori. (2020) Niin mikä oli: aivan kaikki, mitä sinun tulee tietää hybrideistä. Haettu 28.8.2022 osoitteesta <https://moottori.fi/ajoneuvot/jutut/niin-mika-oli-aivan-kaikki-mita-sinun-tulee-tietaa-hybrideista/>

Pelastuslaki 379/2011. Haettu 11.9.2022 osoitteesta <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110379>

Pelastustieto (2021) Sähköautopalon myrkyt jäävät nyt sammutuspeitteeseen haettu 15.11.2022 osoitteesta <https://pelastustieto.fi/pelastustoiminta/kalusto/sahkoautopalon-myrkyt-jaavat-nyt-sammutuspeitteeseen/#5a11106b>

Pelastustoiminta, 2019. Haettu 11.9.2022 osoitteesta <https://pelastustoimi.fi/pelastustoimi/pelastustoiminta>

Pirkanmaan pelastuslaitos (2022), Sähköauto pelastuslaitoksen näkökulmasta. Haettu 28.10.2022 osoitteesta: [https://www.sil.fi/site/assets/files/4677/wennberg\\_v2.pdf](https://www.sil.fi/site/assets/files/4677/wennberg_v2.pdf)

Pohjanmaan pelastuslaitos (2022), Sammutusvesisuunnitelma. Haettu 5.1.2023 osoitteesta <https://www.pohjanmaanpelastuslaitos.fi/ohjeet/pelastuslaitoksen-ohjeet/ohjeet/sammutusvesisuunnitelma>

Pohjaveden suojele, 2020. Haettu 23.10.2022 osoitteesta <https://www.ymparisto.fi/pohjavedensuojelu>

Presto, 2022. Litiumioniakku ja akkupalot – hallitse paloriskit. Haettu 13.10.2022 osoitteesta <https://www.presto.fi/litiumakku-ja-akkupalot#Eka>

Pronto, 2022. Haettu 1.10.2022 osoitteesta <https://prontonet.fi/Pronto3/online1/OnlineTilastot.htm#>

Pörhö (2022) Mikä hybridauto sopii sinulle: kevythybridi, hybridi, lataushybridi vai sittenkin sähköauto? Haettu 8.10.2022 osoitteesta <https://www.porho.fi/ajankohtaista/hybridauton-valinta/>

SFS-EN 12845 + AC (2015) Kiinteät palonsammutusjärjestelmät. Automaattiset sprinklerilaitteistot. Suunnittelu, asennus ja huolto.

Sesko (2021), Sähköajoneuvojen lataussuositus. Haettu 6.11.2022 osoitteesta [https://sesko.fi/wp-content/uploads/2021/11/SESKO\\_lataussuositus\\_2021-02-17.pdf](https://sesko.fi/wp-content/uploads/2021/11/SESKO_lataussuositus_2021-02-17.pdf)

SOK (2022) S-ryhmän valtakunnallinen ABC-latausverkosto laajenee vauhdilla – yli sata uutta sähköautojen latausasemaa vuoden 2022 aikana. Haettu 11.9.2022 osoitteesta <https://www.sttinfo.fi/tiedote/s-ryhman-valtakunnallinen-abc-latausverkosto-laajenee-vauhdilla-yli-sata-uutta-sahkoautojen-latausasemaa-vuoden-2022-aikanapublisherId=68574024&releaseId=69938208>

Solarbuy (2021) Thermal Runaway and Solar Street Lights: A Helpful Guide haettu 16.10.2022 osoitteesta <https://solarbuy.com/solar-101/thermal-runaway-and-solar-street-lights/>

U.S. Department of Energy. (2020). How Do All-Electric Cars Work? ja How Do Plug-In Hybrid Electric Cars Work? Haettu 8.10.2022 osoitteesta <https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-all-electric-cars-work-hybrid-electric-cars-work>

Talouselämä (41/2022). Sähköauto nielee metallit.

Teknologiaeollisuus. (2022). Sähköisen liikenteen tilannekatsaus Q3/2022. Helsinki: Teknologiaeollisuus.

Tesla Nestesäiliöt (2022). Haettu 23.10.2022 osoitteesta [https://www.tesla.com/ownersmanual/2012\\_2020\\_models/fi\\_fi/GUID-13D13407-8200-46DD-978F-3C5DC70BCC21.html](https://www.tesla.com/ownersmanual/2012_2020_models/fi_fi/GUID-13D13407-8200-46DD-978F-3C5DC70BCC21.html)

Trafi. (2022). Liikennekäytössä olevat henkilöautot käyttövoimittain. Haettu 27.8.2022 osoitteesta <https://liikennefakta.fi/fi/ymparisto/henkiloautot/liikennekaytossa-olevat-henkiloautot-kayttovoimittain>

Tukes (2021). Litiumioniakkupalon sammuttaminen akkupalosammuttimilla. Haettu 27.11.2022 osoitteesta <https://www.pelastusopisto.fi/wp-content/uploads/Loppuraportti-litium-akkupalosammuttimet-Tukes-Pelastusopisto-2021.pdf>

Tukes. Kemikaalivuotojen ja sammutusjätevesien hallinta. 2019.

Valtioneuvoston asetus pelastustoimesta 407/2011. Haettu 11.9.2022 osoitteesta <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2011/20110407>

Vollmachtet, K. (2021) Proposals for the improvement of the safety of first and second responders

Wattalps (2020) Thermal runaway propagation and mitigation. Haettu 16.10.2022 osoitteesta <https://www.wattalps.com/thermal-runaway-propagation-and-mitigation/>

Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 2017/2020