



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Juha Tuomisto

Sähköajoneuvot moottoriurheilukeskuksessa

Kehittyvä Botniaring -hanke

Opinnäytetyö

Kevät 2023

Insinööri (AMK), Konetekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Insinööri (AMK), Konetekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Auto- ja työkonetekniikka

Tekijä: Juha Tuomisto

Työn nimi: Sähköajoneuvot moottoriurheilukeskuksessa: Kehittyvä Botniaring -hanke

Ohjaaja: Heikki Järvi

Vuosi: 2023

Sivumäärä: 38

Liitteiden lukumäärä: 0

Työn toimeksiantajana oli Kurikan kaupunki, jonka alueella toimivan moottoriurheilukeskus Botniaringin laajennushankkeen yhteydessä haluttiin ottaa huomioon moottoriurheilukeskuksen tarpeet tulevaisuudessa sähköajoneuvojen osalta. Työn tavoitteena oli selvittää turvallisuusnäkökohtia ja huomioonotettavia asioita sähköajoneuvojen yleistyessä kilpailuissa. Toisena tavoitteena oli antaa arvio tarvittavista resursseista ja muutostöistä moottoriurheilukeskuksen alueelle, jotta sähkökäyttöisillä kilpa-ajoneuvoilla kilpaileminen olisi turvallista ja sujuvaa.

Työssä esitellään teoriaa litiumioniakuista ja niitä käyttävistä sähkö- ja hybridiajoneuvoista, sähköajoneuvojen onnettomuuksien ja tulipalojen riskeistä sekä riskien hallitsemisesta ja ehkäisemisestä. Työssä esitellään akuston sammutustapoja ja sammutukseen soveltuvia aineita. Tutkimus toteutettiin hakemalla tarvittavat materiaalit ja kokoamalla niistä tärkeimmät seikat yhteen selkeään järjestykseen aihealueittain. Tutkimuksessa esiteltiin myös vaihtoehtoisia ympäristöystävällisiä tulevaisuuden energiamuotoja litiumioniakkuihin ladattavan sähkövirran rinnalle ja arvioitiin niiden soveltuvuutta kilpa-ajoneuvojen käyttöön.

Työn tuloksena saatiin moottoriurheilukeskuksen tarpeisiin sopiva kattava selvitys siitä, mitä sähköajoneuvojen turvallinen ja sujuva kilpailutoiminta edellyttää.

¹ Asiasanat: Sähköauto, täyssähköauto, moottoriurheilu, paloturvallisuus, akkupalo

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Degree programme: Mechanical Engineering

Specialisation: Automotive and Work Machine Engineering

Author: Juha Tuomisto

Title of thesis: Electric vehicles in the motorsports center

Supervisor: Heikki Järvi

Year: 2023

Number of pages: 38

Number of appendices: 0

The thesis was commissioned by the city of Kurikka. The motorsports center Botniaring operates in Kurikka. Due to the center's development project, its future needs with electric vehicles had to be determined. The purpose of the thesis was to study safety aspects and things to note and to give an assessment of the necessary measures to make it possible to compete safely with electric racing vehicles.

The thesis introduces lithium-ion battery technology and the electric and hybrid vehicles that use them as a power source. The thesis investigated the risks of hybrid and electric vehicles in accidents, fire situations and ways to prevent risks. The study also investigated alternative environmentally friendly forms of energy instead of energy stored in a battery and evaluated their suitability for racing vehicles.

The result of the thesis is a comprehensive report on the motorsports center's needs for a safe competition operation of electric vehicles.

¹ Keywords: Electric vehicle, battery electric vehicle, motorsport, fire safety, battery fire

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä	2
Thesis abstract	3
SISÄLTÖ	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo	6
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	7
1 JOHDANTO	8
1.1 Työn tausta	8
1.2 Työn tavoite.....	8
1.3 Työn rakenne	9
1.4 Toimeksiantajan esittely	9
2 SÄHKÖAJONEUVOT JA TURVALLISUUS	11
2.1 Sähkö-, sähköhybridi- ja polttomoottoriajoneuvot.....	11
2.2 Sähkö- ja hybridiajoneuvotyypit.....	12
2.3 Akkuteknologia	13
2.4 Sähköajoneuvojen lataus	14
2.4.1 Lataustavat	14
2.4.2 Latauslaitteisto ja -verkko	15
2.5 Sähköautot vakuutusyhtiöiden näkökulmasta	15
2.6 Sähkö- ja hybridiajoneuvojen määräaikaikaskatsastus.....	17
3 ONNETTOMUUS- JA TULIPALOTILANTEET	18
3.1 Toiminta onnettomuustilanteessa.....	18
3.2 Toiminta tulipalotilanteessa	19
3.3 Sammutustapa ja sammutusaineet	20
3.4 Sammutus- ja jäähdytysvesien loppusijoitus	21
4 VAIHTOEHTOISET TULEVAISUUDEN ENERGIAMUODOT	23
4.1 E-Fuel.....	23
4.2 Vetyajoneuvot.....	23
4.3 Kondensaattori virtalähteenä.....	24

5	MOOTTORIURHEILUN NYKYISET TURVALLISUUSSÄÄDÖKSET ONNETTOMUUKSIEN VARALTA.....	25
5.1	Pelastusvalmius kilpailussa	25
5.2	Pelastushenkilökunnan käytössä olevat välineet.....	25
6	SÄHKÖAJONEUVOT KILPARADOILLE	26
6.1	Katsastus	26
6.2	Indikaattori turvalliselle autolle.....	27
6.3	Kilpailu.....	27
6.4	Kilpa-ajoneuvojen kuljetus ongelmatapauksissa	27
6.5	Jäähdytysalueet	28
6.6	Tulipalon sammutus	28
6.7	Vaihtoehtoiset energiamuodot moottoriurheilussa.....	29
7	SÄHKÖAJONEUVOJEN LATAUS MOOTTORIURHEILUKESKUKSESSA	30
7.1	Kilpa-ajoneuvojen latauspisteet varikolla.....	30
7.2	Varikolla tapahtuva kevyen liikenteen ajoneuvojen lataus.....	30
7.3	Yleisön ja muun siviililiikenteen lataus parkkipaikoilla	31
7.4	PRT-testiradan lataustarpeet	31
7.5	Ajoneuvojen latauksen sähköverkko	32
7.6	Lataus- ja jäähdytysalueiden sijoittelu	32
8	YHTEENVETO JA POHDINTA.....	34
	LÄHTEET	36

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. Botniaringin moottoriurheilukeskuksen ilmakuva sekä suunnitelma kiihdytysradasta	10
Kuva 2. Suunnitelma kiihdytysradasta ja latausalueiden ym. sijoittelusta	33
Taulukko 1. Eri käyttövoimien osuudet ensirekisteröinneistä vuosittain.....	11
Taulukko 2. Esimerkkiajoneuvojen vakuutusten hinnat	16

Käytetyt termit ja lyhenteet

Kiihdytysrata	Pitkä ja suora rata, joka on tarkoitettu ajoneuvon kiihtyvyyden mittaamiseen.
Moottorirata	Kilpailukäyttöön tai muuhun moottoriurheiluun rakennettu mutkaisista ja suorista osuuksista koostuva ajorata, jonka alku- ja loppupisteet kohtaavat tehden siitä kierroksia ajettavan.
Suko-pistorasia	Tavanomainen 230 voltin jännitteen kotitalouspistorasia

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Liikenne, tai tarkemmin sanoen liikenteessä käytettävät ajoneuvot ovat muuttumassa alati kiihtyvällä tahdilla käyttövoimanaan erilaisia fossiilisia polttoaineita käyttävistä ajoneuvoista akkuihin varastoitavaa sähkövirtaa käyttäviksi. Tästä kehityksen suunnasta johtuen voidaan pitää todellisuutena sitä, että myös moottori- ja kiihdytysradoilla käytettävä kalusto muuttuu ennen pitkää ainakin osittain sähkökäyttöiseksi.

Sähkökäyttöisten ajoneuvojen riskeistä ja vaaroista onnettomuustilanteissa on niin ajoneuvojen käyttäjillä kuin pelastushenkilökunnallakin huomattavasti vähemmän kokemusta verrattuna polttomoottorikäyttöisen ajoneuvon onnettomuuden vaatimiin pelastustoimiin. Sähkökäyttöisen ajoneuvon voimanlähteenä on akku, joka syttyessään aiheuttaa voimakkaan ja myrkyllisiä palamistuotteita aiheuttavan tulipalon, jonka sammutusmenetelmät eroavat tavanomaisen polttomoottorikäyttöisen ajoneuvon sammuttamisesta jonkin verran. Myös kuljettajan pelastamiseen vaurioituneesta ajoneuvosta liittyy riskejä, jotka pelastushenkilökunnan täytyy ymmärtää ja välttää oikealla toiminnallaan pelastustilanteessa.

Moottoriurheilussa onnettomuuden todennäköisyydet ovat tieliikennettä suurempia kilpailutilanteiden ja huomattavasti suurempien tilannenopeuksien vuoksi. Tästä johtuen onnettomuuksia tapahtuu mitä todennäköisimmin kilparadoilla myös tulevaisuudessa, myös sähkökäyttöisillä kilpa-ajoneuvoilla. Varautuminen näiden ajoneuvojen onnettomuuksiin ja tulipaloihin on ensiarvoisen tärkeää, jotta moottoriurheilukeskuksessa voidaan järjestää tulevaisuudessa kilpailuja ja muita alueen elinvoimaa kasvattavia tapahtumia vaaditut turvallisuusehdot täyttäen.

1.2 Työn tavoite

Työn tavoitteena on tutkia ja kerätä tietoa sähkökäyttöisten ajoneuvojen turvallisuusnäkökohtia onnettomuus- ja tulipalotilanteiden osalta, sekä selvittää, miten näiden aiheuttamiin riskeihin tulisi varautua. Tavoitteena on soveltaa haettua tietoa sähkökäyttöisistä ajoneuvoista moottoriurheilun käyttöön ja selvittää vaadittavia resursseja ja toimenpiteitä

turvalliseen sähköajoneuvojen käyttöön niin rata- kuin varikkoalueellakin. Tavoitteena on tutkia onnettomuustilanteessa huomioonotettavia asioita ja pelastushenkilökunnalta vaadittavia ominaisuuksia sekä sähköajoneuvon tulipalon hallintaan ja sammutukseen liittyviä seikkoja. Tutkimuksen tuloksia voidaan käyttää esiselvityksenä alueen kehittämishankkeen suunnittelussa tulevaisuuden kilpa-ajoneuvojen osalta.

1.3 Työn rakenne

Johdanto sisältää työn taustan, tavoitteen, rakenteen ja yritysesittelyn. Teoriaosuudessa 2. ja 3. luvussa tutkitaan akkuteknologiaa, sekä akkuja voimanlähteenään käyttävien sähköajoneuvojen turvallisuusseikkoja latauksen, onnettomuuksien ja tulipalojen osalta. Luku 4. esittelee litiumioniakkuihin ladattavalle sähköenergialle vaihtoehtoisia käyttövoimia tulevaisuutta ajatellen. Teoriaosuuden luvussa 5 tutustutaan lyhyesti myös moottoriurheilutapah- tumia ja -kilpailuja koskeviin nykyisiin turvallisuusmääräyksiin. Luvussa 6 kerrotaan opin- näytetyön tuloksina edellytykset ja erityistoimenpiteet ja -huomiot sähkökäyttöisten kilpa- ajoneuvojen turvalliseen ajattamiseen Botniaringin moottoriurheilukeskuksessa. Seitse- männessä luvussa perehdytään sähköajoneuvojen lataukseen alueella. Luvussa 8 on työn yhteenveto ja pohdintaa.

1.4 Toimeksiantajan esittely

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Kurikan kaupunki. Kurikka sijaitsee Etelä-Pohjan- maan maakunnassa rajanaapurikuntinaan Ilmajoki, Karvia, Kauhajoki, Kihniö, Laihia, Maa- lahti, Närpiö, Parkano, Seinäjoki ja Teuva. Aukkaita Kurikassa oli vuoden 2022 marras- kuussa 19 929 (Tilastokeskus, i.a.), ja pinta-alaa yhteensä 1743,91 km² (Maanmittauslai- tos, 2022).

Työ suoritetaan Kurikan kaupungin alueella sijaitsevalle Botniaringin moottoriurheilukes- kukselle. Botniaring on yksi Suomen viidestä suuresta moottoriurheilukeskuksesta, ja se sijaitsee entisen Jurvan kunnan alueella (Botniaring, i.a.). Botniaringin moottorirata on ra- kennettu vuonna 1989, ja sen pitkällä rataosuudella on pituutta 4014 metriä. Moottoriurhei- lukeskuksen alueelle on rakenteilla myös kiihdytysrata vaasalaisen ajoneuvoharrastajayh- distys Sunrise Cruisers ry:n toimesta (kuva 1).



Kuva 1. Botniaringin moottoriurheilukeskuksen ilmakuva sekä suunnitelma kiihdytysradasta (Sunrise Cruisers, i.a.).

2 SÄHKÖAJONEUVOT JA TURVALLISUUS

2.1 Sähkö-, sähköhybridi- ja polttomoottoriajoneuvot

Sähköajoneuvo on ajoneuvo, jonka liike-energia tuotetaan osittain tai kokonaan ulkoisesta lähteestä ladattavan sähkövirran avulla. Sähkömoottorin käyttämä sähkövirta on nykypäivän sarjavalmisteisissa tieliikennekäyttöön valmistetuissa sähköajoneuvoissa varastoitu litiumioniakkuihin, jotka on sijoitettu ajoneuvon mahdollisimman turvalliseen ja matalan painopisteen mahdollistavaan sijaintiin polttomoottoriajoneuvon polttoainetankin tavoin. Sähköauton akusto painaa noin 300–500 kilogrammaa ajoneuvon tyypistä riippuen, joten sähköauton omamassa on useimmiten kokoluokkansa vastaavan polttomoottorikäyttöisen automallin omamassaa huomattavasti suurempi (Linja-Aho, 2022, s. 68).

Sähköajoneuvot on luokiteltu täyssähköajoneuvoihin (BEV) ja ladattaviin hybridiajoneuvoihin (PHEV, EREV) (SESKO, 2021, s. 6). Lisäksi sähkökäyttöisiä ajoneuvoja ovat sähköpolttomoottorihybridiajoneuvot, joita ei ole mahdollista ladata ulkoisesta lähteestä, kuten verkkovirrasta (HEV). Tämä latausmahdollisuuden puute johtaa siihen, että ei-ladattavia hybridiajoneuvoja ei voida kutsua varsinaisesti sähköajoneuvoiksi, vaikka teknologia voimalinjan osalta on kuitenkin lähes identtinen ladattavan hybridiajoneuvon kanssa. Sähköpolttomoottorihybridiajoneuvossa käyttövoimana toimii sähkön ja polttoaineen yhdistetty käyttö, jolloin polttomoottori tuottaa sähkömoottorin käyttämää sähkövirtaa ja varastoi sitä ajoneuvon akkuihin. Täyssähköajoneuvossa ei ole lainkaan polttomoottoria tuottamassa sähkövirtaa, vaan käyttövoimana käytetty sähkö on ladattu ajoneuvon akustoon.

Täyssähköajoneuvon moottori ei tuota lainkaan paikallispäästöjä polttomoottorin tavoin, mikä on sähkömoottorin huoltovapauden ja edullisten käyttökustannusten lisäksi kiihdyttänyt sähköajoneuvojen kehitystä ja markkinaosuutta merkittävästi viime vuosina etenkin henkilöautokaupassa (Autoalan tiedotuskeskus, i.a.). Tämä markkinaosuuden nousu käy ilmi Suomessa ensirekisteröityjen henkilöautojen käyttövoimatilastosta (taulukko 1).

Taulukko 1. Eri käyttövoimien osuudet henkilöautojen ensirekisteröinneistä vuosittain (Autoalan Tiedotuskeskus, i.a.)

Vuosi	Diesel	Bensiini	Ei-ladattava hybridi	Ladattava hybridi	Sähkö	Metaani
2015	35,70 %	60,90 %	2,60 %	0,40 %	0,20 %	0,10 %

2016	33,20 %	61,60 %	3,90 %	1,00 %	0,20 %	0,10 %
2017	30,40 %	59,50 %	7,20 %	2,20 %	0,40 %	0,40 %
2018	23,80 %	60,60 %	9,80 %	4,10 %	0,60 %	1,00 %
2019	18,30 %	59,30 %	13,60 %	5,20 %	1,70 %	1,90 %
2020	13,25 %	47,29 %	19,42 %	13,72 %	4,40 %	1,91 %
2021	8,53 %	31,23 %	28,54 %	20,45 %	10,31 %	0,92 %
2022	6,63 %	23,56 %	31,47 %	19,79 %	17,79 %	0,73 %

2.2 Sähkö- ja hybridi ajoneuvotyypit

BEV, A Battery-Powered Electric Vehicle, eli täyssähköauto. Autossa on sähkömoottori, joka ottaa sähkövirtansa ajoneuvon akustosta, jotka ladataan ulkoisesta lähteestä latauspistokkeen kautta (SESKO, 2021, s. 6). Akuston kapasiteetti on keskimäärin 50–90 kWh. (Motiva, 2022).

FCEV, A Fuel Cell Electric Vehicle, eli polttokennohybridi auto. Polttoaineena toimii vety, jonka avulla tuotetaan sähköenergiaa sähkömoottorille (SESKO, 2021, s. 6).

EREV, An Extended Range Electric Vehicle, eli sarjahybridi auto. Auton ulkoisesta latauspistokkeesta ladattavaa akustoa voidaan ladata myös auton polttomoottorilla, jolloin auton toimintamatkaa saadaan lisättyä akuston sähkövarauksen loppuessa (Linja-Aho, 2021, s. 57).

PHEV, A Plug-In Hybrid Electric Vehicle, eli ladattava rinnakkaishybridi auto. Liike-energia tuotetaan sähkö- tai polttomoottorilla tai tilanteen vaatiessa molemmilla. Auto ei vaadi toimiakseen polttomoottorin energiaa, mutta akkuvirran loppuessa tai kuormituksen kasvaessa polttomoottorin tuottama energia mahdollistaa ajon jatkumisen (Linja-Aho, 2021, s. 55).

HEV, A Hybrid Electric Vehicle, eli hybridi ajoneuvo, jossa yhdistyvät sarja- ja rinnakkaishybridiominaisuudet. Autossa on akku, jota ladataan pelkän polttomoottorin tuottaman ylimääräisen energian ja jarrutusenergian avulla ilman ulkoista latausmahdollisuutta. Matalissa nopeuksissa akuston varauksen ollessa riittävä, polttomoottoria ei tarvita liikkumiseen (Linja-Aho, 2021, s. 57).

MHEV, *Mild Hybrid Electric Vehicle*, eli kevythybridiajoneuvo. Autossa on jarrutus- ja tyhjäkäyntienergiaa talteen ottava sähkömoottori, joka avustaa polttomoottoria kiihdytystilanteissa vähentäen polttoaineenkulutusta ja päästöjä. Autossa on 48 voltin järjestelmä sähkömoottorille, ja sillä ei ole mahdollista ajaa pelkkää sähköä voimanlähteenä käyttäen (SEG Automotive, i.a.).

2.3 Akkuteknologia

Johtavana akkutyypinä nykypäiväisissä sähkölaitteissa akkuporakoneista sähköautoihin on litiumioniakku suhteellisen kevyen massan ja pitkän käyttöikänsä vuoksi (Linja-Aho, 2022, s. 19, 21). Litiumioniakku taipuu puhekielessä usein muotoon litiumakku. Nämä kaksi nimitystä eivät kuitenkaan tarkoita samaa, vaan litiumioniakku on kehittyneempi askel vanhemmasta epästabiilista litiumakusta. Litiumioniakku on hiljalleen syrjäyttänyt raskaamman ja heikkotehoisemman lyijyakun, joka on ollut aiemmin akkutyypinä myös ensimmäisissä versioissa sähkökäyttöisistä ajoneuvoista.

Litiumioniakku koostuu negatiivisesta ja positiivisesta elektrodista (anodi ja katodi), sekä elektrolyyttiliuoksesta (Linja-Aho, 2022, s. 28). Elektrolyytti eristää positiivisen ja negatiivisen elektrodin mahdollistaen litiumionien liikkumisen anodin ja katodin välillä. Akun toiminta perustuu siihen, että akun purkautuessa negatiivisesti varautuneesta anodista vapautuu hapettumisen yhteydessä elektroneja, jotka liikkuvat positiivisesti varautuneeseen katodiin, muodostaen liikkeessaan sähkövirran. Katodiin saapuvat elektronit saavat aikaan pelkistymisreaktion, jolloin katodilla olevat ionit vastaanottavat elektroneja. Akkua ladattaessa toimintaperiaate on sama, mutta reaktiot tapahtuvat vastakkaiseen suuntaan.

Linja-Ahon (2022, s. 20) mukaan litiumioniakku on monella tavalla muita markkinoilla olevia akkutyyppejä, kuten lyijy- tai nikkelimetallihydridiakkuja, parempi. Litiumioniakuilla on kuitenkin muihin akkutyyppeihin verraten myös heikkouksia. Useimmissa litiumioniakuissa käytetään harvinaisia maametalleja, jotka lisäävät akun valmistuskustannuksia ja täten hankintahintaa. Valmistus vaatii myös suuria ja kalliita laitteita. Litiumioniakkujen hinta on laskenut merkittävästi 2010-luvulla, mutta edelleen korkea hinta näkyy erityisesti sähköautoissa, joissa akkuja tarvitaan useiden kymmenien kilowattien energiakapasiteetin varastointimiseksi.

Litiumioniakun elektrolyytti on palavaa materiaalia toisin kuin esimerkiksi lyijyakussa (Linja-Aho, 2022, s. 20). Akun lämpötilan noustessa akkuun ilmenee uusia vikatiloja, jotka lisäävät akun lämpöä entisestään. Lämpötilan edelleen noustessa kenno voi joutua lämpöröyntäykseksi kutsuttuun tilanteeseen, jolloin akku voi syttyä palamaan. Litiumioniakkukenno palaa palavan elektrolyyttinsä vuoksi aggressiivisesti, ja akkupalon sammuttaminen on haastavaa. Litiumioniakku vaatii myös aina suojajärjestelmän ylilatauksen ja ylipurkamisen ehkäisemiseksi. Akku voi vaurioitua pysyvästi, mikäli se altistuu ylilataukselle tai ylipurkamiselle.

2.4 Sähköajoneuvojen lataus

2.4.1 Lataustavat

Sähkökäyttöisillä ajoneuvoilla on erilaisia lataustapoja, jotka jaotellaan käytettävän latausjohdon ja vaadittavan virran ja lataustehon mukaisesti.

Lataustavat (SESKO, 2021, s. 1–2)

- Lataustapa 1, Mode 1
 - Tarkoitettu sähkökäyttöisten kevyiden ajoneuvojen, kuten sähköskootterien ja -potkulautojen lataukseen 230 V suko -pistorasiasta, joka on varustettu 30 mA:n vikavirtasuojalla
- Lataustapa 2, Mode 2
 - Hidas lataus, voidaan käyttää sähköauton lataamiseen väliaikaisesti, mikäli lataustapaa 3 tai 4 ei ole saatavilla
 - Suko -pistorasiasta ladattava, jolloin latausjohtoon integroitu ohjainlaite rajoittaa latausvirran 8 ampeeriin, sillä kotitalouspistorasia ei välttämättä kestä 16 A virransyöttöä
- Lataustapa 3, Mode 3
 - Peruslataus sähköautolle, käytetään yhdessä tyyppin 2 sähköautopistorasiasta
 - Latausvirta korkeintaan 3 x 63 A, latausteho jopa 43 kW
- Lataustapa 4, Mode 4
 - Teholataus /pikalataus, sähköauton akustoa ladataan suurella tasasähkövirralla erillisellä laturilla

- Nykyisten teholaturien latausvirrat satoja ampeereita, latausteho 50–350 kW

2.4.2 Latauslaitteisto ja -verkko

Latauslaitteena suositeltavin on kiinteä latausasema, jonka kuormitus on suunniteltu sähköauton tarvitseman sähkövirran mukaisesti (Suomen Pelastusalan Keskusjärjestö, i.a., s. 23). Ensisijaiseksi vaihtoehdoksi perinteinen suko-pistoke ei sovellu, sillä tämä ei kestä jatkuvan tai suuren tehon latauksen aiheuttamaa kuormitusta, ja pistorasia saattaa ylikuumentua ja aiheuttaa tulipalon. SESKOn (2021, s. 1) mukaan lataustapa 3 on suositeltavin lataustapa. Latausverkon suunnittelussa on otettava huomioon tarvittavien latausasemien määrä ja niiden yhteenlaskettu suurin mahdollinen kuormitus tilanteessa, jossa ilmanlämpötila on vähintään 30 °C. Standardi SFS 6000-7-772 esittää erityiset asennusvaatimukset sähköajoneuvojen lataamiseen käytettäville kiinteistöille.

Sähköajoneuvojen latausasemien suunnittelussa on ollut olennaisen tärkeää, että mahdollisesti lataustapahtuman aikana syttyvä akkupalo ei ole ainoan hätäpoistumistien vieressä. Esimerkiksi parkkihalli, jossa on sähköautojen latauspisteitä, on varustettava riittävän tehokkaalla ilmanvaihtojärjestelmällä, jotta sähköautopalossa vapautuneet myrkylliset kaasut on mahdollista saada mahdollisimman tehokkaasti pois rakennuksesta (Suomen Pelastusalan Keskusjärjestö, i.a., s. 21).

2.5 Sähköautot vakuutusyhtiöiden näkökulmasta

Vakuutusten hintoja tarkasteltaessa kävi ilmi, että sähköajoneuvon liikenne- ja kaskovakuutusten hinnat ovat jonkin verran polttomootoriajoneuvojen vakuutusten hintoja kalliimpia. Tämä käy ilmi autovakuutuslaskureista, joiden mukaan vakuutusten hinnat jakautuvat esimerkkiajoneuvoille taulukon 2 mukaisesti.

Taulukon 2 hinnastot on haettu kahden eri vakuutusyhtiön hintalaskureista. Esimerkkiajoneuvona toimii Peugeot 208 vuodelta 2021, ja sen mallistosta on valittu toisiaan vastaavat bensiini- ja sähkökäyttöiset versiot. Vakuutusyhtiö 1. hinnastossa sekä liikenne- että kaskovakuutusten bonukset olivat 80 %, ja vakuutusyhtiö 2. hinnastossa bonukset olivat liikennevakuutukselle 67 % ja kaskovakuutukselle 70 %. Jokaisen täyskaskovakuutuksen

omavastuuosuudeksi valittiin 200 €. Vuotuisiksi ajokilometreiksi valittiin 10000 km, ajoneuvoja ei omistanut rahoitusyhtiö ja alle 24-vuotiaita kuljettajia ei ajoneuvoilla ollut. Osa- ja täyskaskoissa vakuutuksen hinta sisältää palovakuutuksen.

Taulukko 2. Esimerkkiajoneuvojen vakuutusten hinnat (Vakuutusyhtiöiden hintalaskurit, 22.2.2023).

	Sähkö	Bensiini	
Vakuutusyhtiö 1.			
Liikennevakuutus	175,11	150,41	€
Liikenne + Osakasko	389,73	300,06	€
Liikenne + Täyskasko	724,68	539,68	€
Vakuutusyhtiö 2.			
Liikennevakuutus	394,44	358,15	€
Liikenne + Osakasko	469,40	424,52	€
Liikenne + Täyskasko	883,03	770,67	€

Taulukon 2. hinnastosta voidaan päätellä, että sähkökäyttöisen auton vakuutuksien hinnat ovat merkittävästi korkeammat etenkin kaskovakuutuksissa. Hinnastossa eri vakuutusyhtiöiden hinnat eivät ole vertailukelpoisia keskenään erilaisten vakuutusehtojen ja bonuserojen vuoksi, mutta kaksi eri vakuutusyhtiötä on valittu taulukkoon vakuutuksien hintaeron todentamisen tueksi. Sähköauton vakuutuksen korkeampaan keskimääräiseen hintaan vaikuttaa suuremman onnettomuusriskin lisäksi myös huomattavasti korkeampi uuden auton hankintahinta, joka käy ilmi uusien Peugeot 208 -ajoneuvojen hinnastosta (Peugeot, 2023, s. 2).

Liikennevakuutuskeskuksen (LVK) (2019) teettämän selvityksen mukaan sähköautojen omaisuusvahinkojen korvaussummat ovat noin kaksinkertaisia polttomoottoriajoneuvojen vahinkoihin verrattuna korkeampien korjaus- ja lunastuskustannusten sekä suuremman onnettomuustodennäköisyyden seurauksena. Erot sähkö- ja polttomoottoriajoneuvojen välillä näkyvät selvityksen mukaan onnettomuustilastoissa erityisesti suurempien automallien kohdalla.

2.6 Sähkö- ja hybridi ajoneuvojen määräaikaikatsastus

Traficomien määräyksessä määräaikaikatsastuksen arvosteluperusteet (1.11.2022, s. 51–55) määrätään sähkö- ja hybridi ajoneuvojen lisätarkastukset, jonka mukaan sähkö- ja hybridi ajoneuvon akuston muodonmuutokset autovalmistajan ohjeiden sallimista rajoista poiketen johtavat katsastuspäätöksenä ajoneuvon ajokieltoon. Nämä muodonmuutokset voivat johtaa akuston oikosulkuun, joka voi johtaa akuston ylikuumentumiseen ja pahimmillaan tulipaloon. Samaan katsastuspäätökseen johtavat akuston vuodot, valvontajärjestelmän kriittiset toimintahäiriöilmoitukset ja merkittävä korkeajännitejohtimien oikosulkuvaara. Lisäksi hylkäysperusteena on mainittu akuston ja korkeajännitejohtimien eristeiden ja suo-
jien puutteellisuus.

3 ONNETTOMUUS- JA TULIPALOTILANTEET

3.1 Toiminta onnettomuustilanteessa

Sähkökäyttöisten ajoneuvojen onnettomuuksiin tuo Linja-Ahon (2021, s. 100–101) mukaan haasteita korkeajänniteakku, joka luo uudenlaisen syttymisvaaran polttomoottoriauton polttoainejärjestelmään verrattuna. Linja-Aho jatkaa, että onnettomuuksissa, jossa kuljettaja ja matkustajat ovat itse kykeneviä kävelemään autosta ulos, syttymisvaara on todella vähäinen. Korkeajänniteakkujen palo- ja törmäysturvallisuusvaatimukset ovat erittäin korkealla tasolla, eikä rajunkaan törmäyksen seurauksena voida pitää todennäköisenä, että auton akku syttyy palamaan. Poikkeustapauksiakin kuitenkin on, kuten vuonna 2017 sattunut onnettomuus, jossa Teslan kuljettaja törmäsi suurella nopeudella betoniseen kaiteeseen, ja auto syttyi tuleen vain hetkeä myöhemmin, kun kuljettaja oli päässyt vain lievästi loukkaantuneena kävelemään pois autosta (Lambert, 2017).

Yleisesti ottaen ihmisen pelastaminen sähköajoneuvosta ei eroa polttomoottoriajoneuvosta pelastamiseen juurikaan, jos savua tai liekkejä ei ole näkyvissä. Tärkeimpänä huomiona täytyy kuitenkin muistaa se, että sähköajoneuvo voi olla käynnissä ilman polttomoottorista tuttua käyntiääntä, ja auto saattaa lähteä kuljettajaa autettaessa tahattomasti liikkeelle aiheuttaen lisävahinkoja matkustajille, ulkopuolisille ja ympäristöön. Tämän vuoksi olisi ensiarvoisen tärkeää tarkistaa ennen mitään ensiaputoimia, että auton virrat on kytketty pois ja vaihteenvälitsin parkkiasennossa.

Euro NCAP (2020) on julkaissut yleisesti saatavilla olevan ilmaisen Euro Rescue -mobiilisovelluksen, johon on koottu yleisimpien Euroopan tieliikenteessä käytössä olevien henkilö- ja pakettiautojen pelastuskortit, jotka ajoneuvovalmistaja on jakeluun saattanut. Korteista selviää ajoneuvon tiedoilla onnettomuustilanteen kannalta keskeisimpien komponenttien, kuten matalajänniteakkujen, turvavyöjen ja niiden ohjainlaitteiden, turvavöiden ja niiden kaasutoimisten kiristimien sekä polttoainesäiliöiden sijainnit. Lisäksi sovelluksen korteista selviää auton suurlujuusteräksisten korirakenteiden sijainnit ja sähkö- ja hybridi-autoja koskien korkeajänniteakkujen ja -kaapelien sijainnit sekä korkeajännitepiirin erotinkytkimen sijainti. Näillä tiedoilla onnettomuuspaikalle saapuva pelastushenkilökunta, tai vaikkapa ensimmäisenä paikalle saapuva siviili pystyy toimimaan turvallisesti tilanteen

vaatimalla tavalla. Sovellus on englanninkielinen, ja pelastuskortit pääsääntöisesti saksankielisiä, mutta selkeän kuvituksen ja käytettävyyden ansiosta sovellusta on mahdollista käyttää ilman edistyneempää kielitaitoa.

Mikäli ajoneuvosta matkustajien pelastamiseen vaaditaan ajoneuvon rakenteiden leikkaamista, täytyy pitää huolta, että auton korkeajännitejohtimet ja -akut pysyvät vahingoittumattomina.

3.2 Toiminta tulipalotilanteessa

Kuten luvussa 2.3 todettiin, sähköauton akuston elektrolyytti on palavaa materiaalia. Sammutettu akkupalo voi Linja-Ahon (2022, s. 92) mukaan syttyä uudelleen joko pian palon sammutuksen jälkeen, tai jopa useiden viikkojen kuluttua sammutuksesta. Palokaasut ovat myrkyllisiä, ja näistä myrkyllisin on fluorivety, joka on luokiteltu tappavaksi nieltynä ja hengitettynä (Työterveyslaitos, 2023). Sähköauton palaminen ei kuitenkaan välttämättä ole aina akuston palo, vaan tulipalo voi alkaa esimerkiksi moottoritolasta tai sisustasta, jolloin palon sammuttaminen ei eroa tavanomaisen polttomoottoriajoneuvon palon sammuttamisesta.

Hollantilaisen palolaitoksen julkaiseman englanniksi tekstitetyn ohjevideon mukaan sähköauton akuston palon tunnistaa auton alta nousevasta mustasta tai harmaasta savusta ja liekeistä, sekä paukkuvista ja suhisevista äänistä tulen edetessä kennosta toiseen (Brandweer Twente, 2020). Akkupalon tunnistusta helpottamaan pelastushenkilökunnalta olisi syytä löytyä lämpökamera, jolla on mahdollista selvittää akuston lämpötila ja savuavan ajoneuvon lämmönlähde, jotta jäähdytystoimet voitaisiin kohdistaa oikeaan paikkaan. Lisäksi palopaikalla palokaasujen analysointiin tärkeä väline on neljän kaasun kaasumittari, joka ilmoittaa palokaasujen räjähdysvaarallisten kaasujen, hapen, hiilimonoksidin ja rikkin vedyn pitoisuudet.

Savuavassa ajoneuvossa olevien henkilöiden ulos saaminen on ensisijainen toimenpide (Brandweer Twente, 2020, 5:10). Mikäli tämä on haasteellista esimerkiksi onnettomuuden seurauksena, on ensimmäinen tehtävä huolehtia henkilöille hengityssuojaimet tai

happilaitteistot hengitysilman takaamiseksi. Ennen palavasta ajoneuvosta pelastamista olisi vältettävä sammutusveden käyttöä mahdollisten sähköiskujen välttämiseksi.

3.3 Sammutustapa ja sammutusaineet

Palavaa tai savuavaa ajoneuvoa on paras lähestyä 45 asteen kulmassa edestäpäin, jolloin mahdollisesti tapahtuva akuston kipinä ja räjähtely epätodennäköisimmin kohdistuu sammutushenkilökuntaan päin (Brandweer Twente, 2020, 3:58). Jäähdytysvesi täytyy suihkuttaa matalalla paineella turvallisen etäisyyden päästä liekkien lähteeseen, eli akkupalossa useimmiten auton alle. Jos palo on levinnyt muualle autoon, täytyy sammutusvettä ohjata myös sinne.

Perinteisen polttomoottoriauton palo sammuu useimmiten minuuttien aikana muutaman sadan vesi- tai vaahtolitrin avulla (Linja-Aho, 2022, s. 92). Sähköauton akuston palo pysyy ylläpitämään itseään ilman ulkoa saatavaa happea, joten tukahduttamalla akkupalon sammuttaminen ei välttämättä onnistu, ja sammuttamiseen täytyy etsiä jäähdyttäviä keinoja. Akuston palon kohdalla tärkein keino tulipalon sammuttamiseen onkin jäähdyttää akustoa mahdollisimman tehokkaasti, jolloin akuston lämpötila laskee riittävälle tasolle ja tulipalo sammuu. Tehokkain tapa jäähdytykseen onkin upottaa auto veteen siten, että ainakin akuston taso jää veden alle. Tähän tarkoitukseen paras mahdollinen ratkaisu on sammutuslava, johon palava auto voidaan nostaa tai työntää, tai vaihtoehtoisesti auton ympärille koottava allas (Schat, 2021). Sammutusaltaan tai -lavan etu on myös, etteivät sammutuksesta lienneet ympäristölle haitalliset kemikaalit pääse ympäristöön, vaan jäävät vesialtaaseen, josta ne on mahdollista kerätä talteen.

Pelastusopisto julkaisi raportin litiumioniakkupalon sammutusmenetelmien testauksesta. Raportin kokeissa vertailtiin erilaisten akkupaloihin suunnattujen sammuttimien tehokkuutta, käyttöturvallisuusriskejä, käyttökelpoisuutta alkusammutukseen ja sammutusmenetelmien aiheuttamia päästöjä (Meurman ym., 2021). Sammuttimien verrokkina toimi sammutusaineena vesi, upotussammutuksella ja suihkutettuna. Kokeissa käytettiin 100 Wh (Wattitunnin) litiumioniakkuja, eli noin akkuporakoneen akkua vastaavia kennopaketteja. Testissä sammutus suoritettiin 25 sekunnin kuluttua palon syttymisestä eri menetelmillä, ja tehokkaimmaksi, nopeimmaksi ja päästöttömimmäksi vaihtoehdoksi osoittautui

upotusmenetelmä. Veteen upottaminen osoittautui myös turvallisimmaksi menetelmäksi jopa ilman suojarusteita tai kaasunaamaria. Vesisuihkusammutus aiheutti eniten päästöjä, eikä sammutus tällä tai käsisammuttimilla ollut turvallista ilman suojarusteita. Testissä oli mukana akkupaloihin suunniteltujen sammuttimien lisäksi 6 kg Gloria-vaahdosammutin, joka osoittautui päästöiltään lähes vastaavaksi upotusmenetelmään verraten, ja tehokkuus vastasi tarkoitukseen suunniteltuja käsisammuttimia. Mikään testissä käytetty käsisammutin ei kuitenkaan pystynyt sammuttamaan paloa välittömästi, joten testin akun pienhkö koko huomioon ottaen on todennäköistä, ettei sähköauton 50–100-kertaisesti suuremman akuston palaessa pienillä käsisammuttimilla ole muuta virkaa kuin palon hetkellinen hidastaminen.

3.4 Sammutus- ja jäähdytysvesien loppusijoitus

Akkupalossa, ja etenkin sähköauton akuston tulipalossa, syntyy esimerkiksi fluorivetyä, joten Linja-Ahon (2022, s. 100) mukaan voidaan olettaa, että akkupalon sammutusvedet ovat niin myrkyllisiä, että niiden pääsy luontoon olisi estettävä. Lisäksi veteen saattaa liueta litiumia, kobolttia ja muita metalleja. Suomalaiset jätevedenpuhdistamot eivät ota useinkaan vastaan tulipalojen sammutusvesiä, vaan sammutusvedet täytyy kuljettaa vaarallisten jätteiden käsittelylaitokseen.

Maailmalta ei kuitenkaan ole Linja-Ahon (2022, s. 101) mukaan kerrottu sähköautojen sammutusvesien aiheuttaneen vahinkoa ympäristölle tai ongelmia vedenpuhdistamoissa. Vuonna 2020 Stavangerin lentoaseman pysäköintilaitoksen tulipalossa paloi satoja autoja, joiden mukana myös sähköautoja. Tutkittaessa sammutusjätevesiä näytteistä ei kuitenkaan löydetty litiumia ollenkaan ja vain hyvin pieniä pitoisuuksia kobolttia. Tämän johdosta ei voida kuitenkaan tehdä päätelmää sammutusvesien myrkkypitoisuuksista, sillä Linja-Ahon (2022, s. 101) mukaan onnettomuuden tutkintaraportissa on todettu, ettei tulipalo välttämättä levinnyt ajoneuvojen korkeajänniteakkuihin.

Sveitsissä tutkittiin sammutusvesien myrkkypitoisuuksia 4 kWh litiumioniakun sammutus- ja jäähdytysvesistä (Mellert & Welte, 2020, s. 30–31, 45–48). Sammutusvettä käytettiin 200 litraa ja sammutuksen jälkeen akun jäähdyttämiseen jäähdytysvettä 42 litraa. Sveitsin

lain sallimat teollisuuden jätevesien myrkkypitoisuuksien raja-arvot ylittyivät sammutusveden osalta 20–70-kertaisesti, ja jäähdytysveden osalta 70–100-kertaisesti.

Linja-Aho (2022, s. 101) lisää tutkimukseen, että mikäli 100 kWh akkupaketti hyvin epätoennäköisenä skenaariona palaa jokaisesta moduulistaan, tutkimuksen raportin mukaisella kulutuksella saastunutta sammutusvettä syntyisi 5000 litraa 20–70-kertaisilla, ja jäähdytysvettä 1050 litraa 70–100-kertaisilla myrkkypitoisuuksilla. Jätevesien loppusijoituspaikkana vaarallisten aineiden käsittelylaitoksen rinnalla Linja-Aho (2022, s. 102) mainitsee mahdollisuuden laimentaa sammutus- ja jäähdytysvedet vedellä viemäriverkostoon paikallisia jäteveden myrkyllisten aineiden raja-arvoja noudattaen. Tämä vaihtoehtoinen hävitystapa on huomionarvoinen sen kustannustehokkuuden vuoksi, mikäli paikalliset vesi- ja jätevesimaksut eivät nouse kohtuuttoman korkealle kuljetuskustannuksiin vaarallisten aineiden käsittelylaitokseen verraten.

4 VAIHTOEHTOISET TULEVAISUUDEN ENERGIAMUODOT

Puhuttaessa tulevaisuuden liikenteen energiamuodoista, on katsottava täyssähköautoja laajemmin maailman markkinoita. Uusia ympäristöystävällisiä innovaatioita nousee pinnalle jatkuvasti, mutta vain harva päätyy todelliseen koekäyttöön, tai ainakaan markkinoille asti. Muutama vaihtoehtoinen paikallispäästötön vaihtoehto on jo edennyt kuitenkin tuotantoon saakka.

4.1 E-Fuel

Monet eri tahot ovat kehittäneet synteettistä polttoainetta perinteisen bensiinimoottorin käyttämän bensiinin korvaajaksi, ja se tuotetaan kiteytettynä yhdistämällä ilmasta hiilidioksidia ja vedestä vetyä. Porsche Newsroom (2023) kertoi saksalaisen autovalmistaja Porschen avanneen tuulivoimasta energiansa saavan ensimmäisen pilottitehtaansa Chileen tällaisen uusiutuvan polttoaineen valmistukseen. Aluksi polttoainetta on määrä tuottaa 130000 litraa vuodessa Porsche Mobil 1 Supercupin kilpailuihin ja muihin Porschen nimellä järjestettäviin kilpailutapahtumiin. Pidemmän tähtäimen tavoitteena kerrotaan olevan seuraavana kehitysaskelena tuottaa polttoainetta 55 miljoonaa litraa vuoteen 2026 mennessä, ja kahden vuoden kuluttua tästä 10-kertainen määrä.

4.2 Vetyajoneuvot

Vety on erittäin helposti syttyvä kaasu, jonka palamistuotteena syntyy käytännössä pelkkää vesihöyryä (Työterveyslaitos, 2022). Vety on myrkytöntä, mutta suljetussa tilassa se syrjäyttää hapen aiheuttaen tukehtumisvaaran. Vetykaasun suurin uhka onkin sen syttymisherkkyys vapautuessaan ilmakehään.

Vetykäyttöisiä ajoneuvoja on kahta tyyppiä, joko polttokennossa vedyn avulla sähköä tuottavia sähköajoneuvoja tai polttomoottorissa vetyä polttavia vetyajoneuvoja (Sachek, 2022). Vetykäyttöisiä ajoneuvoja on valmistettu jo 2000-luvun alussa, mutta autovalmistajien hallittomuudesta, tankkausasemien harvinaisuudesta ja vedyn haasteellisesta käsittelystä ja kuljetuksesta johtuen vetyajoneuvot eivät ole ainakaan vielä saaneet suurempaa sijaa markkinoilla. Suomeen on suunnitteilla HydRe Oy:n toimesta ensimmäinen

vetytankkausasema, joka on määrä avata vuoden 2024 loppupuolella, ja vuoden 2025 loppuun mennessä yrityksellä on tavoitteena avata yhteensä kahdeksan asemaa (Elektroniikkalehti, 2023). Tämä kertoo jotain siitä, että Suomessa ei vielä ole mahdollista ajaa vedyllä, mutta tulevaisuudessa tilanne voi olla jo hyvin pian toinen.

4.3 Kondensaattori virtalähteenä

Superkondensaattori on eräänlainen akku, johon on mahdollista varastoida enemmän energiaa kuin tavalliseen kondensaattoriin, mutta varastointi tapahtuu pienempään tilaan kuin litiumioniakussa (Kailio, 2022). Virolainen Skeleton aikoo aloittaa superkondensaattoritekniikkaan perustuvan akun valmistamisen Saksan Markranstädtissä vuonna 2024. Yhtiö lupaa, että Superbattery -nimeä kantava akku latautuu 100 kertaa nopeammin kuin perinteinen litiumioniakku, jolloin 400 kWh akun lataukseen kuluu jopa alle 90 sekuntia. Superkondensaattorissa käytetään Skeletonin patentoimaa grafeenia, joka ei voi syttyä palamaan ylikuumentuessaan tai rikkoutuessaan.

5 MOOTTORIURHEILUN NYKYISET TURVALLISUUSSÄÄDÖKSET ONNETTOMUUKSIEN VARALTA

5.1 Pelastusvalmius kilpailussa

Kiihdytys- ja nopeusajotapahtuman pelastusvalmiuden on määrä tulla ilmi pelastussuunnitelmasta, joka on toimitettava paikalliselle pelastusviranomaiselle arvioitavaksi vähintään 14 vuorokautta ennen järjestettävää tapahtumaa (Tukes, 2021). Pelastustiet on pidettävä esteettöminä ja ajokuntoisina, ja pelastusajoneuvojen opastuksesta onnettomuuspaikalle vastaa tapahtuman järjestäjä. Pelastushenkilökunnassa toimivalla henkilöllä tulee olla ensiapu- ja alkusammutuskoulutus.

5.2 Pelastushenkilökunnan käytössä olevat välineet

Tapahtuma-alueella tulee olla varattu ennalta nimetty hinausajoneuvo kuljettajineen mahdollisten onnettomuus- ja poikkeustilanteiden varalta, jotta rata-alueelle jäänyt kilpa-ajoneuvo voidaan turvallisesti ja nopeasti saattaa takaisin varikkoalueelle (Tukes, 2021). Hinausajoneuvossa tulee olla alkusammutus- ja raivauskalusto sekä ensiapuvälineistö tapahtuman järjestäjän suorittaman riskien arvioinnin ja paikallisen pelastusviranomaisen ohjeistusten tai vaatimusten mukaisesti.

6 SÄHKÖAJONEUVOT KILPARADOILLE

Tässä luvussa esitellään kehitysehdotuksia ja huomioon otettavia asioita sähköajoneuvojen kilpailutoiminnasta, ja ne on koottu aikaisempien lukujen tietoja ja kirjoittajan omaa pohdintaa käyttäen.

6.1 Katsastus

Sähkökäyttöisten kilpa-ajoneuvojen kilpailukatsastuksen täytyisi ajoneuvoluokkakohtaisten tavanomaisten säännönmukaisten tarkastusten lisäksi käsittää sähköisen voimalinjan yksityiskohtainen tarkastus. Korkeajännitejärjestelmän tarkastuskohteiden pohdinnassa on käytetty luvussa 2.6 käsiteltyjä määräaikaikatsastuksen arvosteluperusteita sähkö- ja hybridiajoneuvojen osalta.

Katsastuksessa olisi hyvä tarkastella akuston koteloinnin kunto, sillä jo pienikin painauma akustossa tai sen koteloinnissa voi johtaa akuston jäähdytysjärjestelmän häiriöön, ja täten syntyy riski korkeajänniteakun ylikuumenemiselle ja luvussa 2.3 mainitulle lämpöryntäykselle, joka pahimmillaan voi johtaa akuston palamiseen. Akusto voi mennä koteloinnin vaurioitumisen myötä myös oikosulkuun, jolloin akun sisäiset lämpötilat nousevat hallitsemattomasti, ja akkupalon riski kasvaa. Siirryttäessä pois ns. vakioautoluokista, mukaan asettuu myös pidemmälle rakennellut ajoneuvot, joiden komponentit, kuten akku, saattavat olla jossain muualla kuin autovalmistajan alun perin suunnittelemassa sijainnissa. Tällöin on huomioitava myös akuston oikea kiinnitys autoon.

Toinen katsastuksessa huomioitava osa-alue olisi korkeajännitejohtimien kunto ja oikea reititys. Korkeajännitejohtimen vaurioituminen saattaa aiheuttaa edellä mainitun oikosulun korkeajännitepiiriin, ja mahdollistaa sähköiskun vaaran. Johtimien oikealla reitityksellä varmistetaan siitä, etteivät johtimet pääse hankautumaan rakenteisiin ja törmäyksen tai muun onnettomuuden seurauksena johtimet eivät jäisi puristuksiin rakenteiden väliin.

Kolmas katsastuksessa tärkeä osa-alue olisi korkeajännitepiirin valvonnan toiminta. Korkeajännitepiirissä tulisi olla akuston ja muun korkeajännitepiirin kattava valvontayksikkö, josta selviäisi komponenttien, kuten akuston kennojen sisäinen kunto ja turvallisen

toiminnan edellytykset. Mikäli valvontayksikkö havaitsisi korkeajännitepiirissä ongelman, järjestelmään tulisi vikailmoitus, ja ajoneuvo ei läpäisisi katsastusta ennen vikailmoituksen ilmoittaman vian korjaamista.

6.2 Indikaattori turvalliselle autolle

Kansainvälinen autoliitto FIA on ottanut eräänlaisen liikennevalojärjestelmän käyttöön uusissa moottoriurheilussa käytettäviä sähköautoja koskevissa turvallisuusmääräyksissään (WRC, 2022). Säädösten mukaan sähkö- ja hybridiajoneuvoissa tulee palaa vihreä valo eteen ja sivuille, kun auton korkeajännitejärjestelmä toimii oikein ja autoon on turvallista koskea. Punainen valo tai valon palamattomuus on merkki varikkohenkilökunnalle ja pelastajille siitä, että auton korkeajännitelaitteistossa on vikaa, ja autoon saa koskea vain turvavarusteilla suojautuneet koulutetut henkilöt.

6.3 Kilpailu

Perinteisillä polttomoottoriautoilla kilpailtaessa saman kilpaluokan kilpailulähtöjen välillä oleva aika on Rata-SM:n osakilpailuissa tyypillisesti n. 2–3 tuntia, jolloin tämän aikavälin aikana auto huolletaan ja tankataan. Sähkökäyttöisiin ajoneuvoihin siirryttäessä aikatauluun täytyy kiinnittää huomiota latausmahdollisuuksien mukaan, että jokaisen ajoneuvon akut ehtivät lataantumaan täyteen hyvissä ajoin ennen kilpailun alkua.

6.4 Kilpa-ajoneuvojen kuljetus ongelmatapauksissa

Volvo Construction Equipment (Volvo CE, 2022) on yhdessä FIA:n kanssa kehittänyt ja patentoinut työvälineen, joka mahdollistaa viallisten ajoneuvojen, myös sähköautojen kuljetuksen rata-alueelta varikolle turvallisesti. Laite on suunniteltu erityisesti sähköisen Rallycross World RX -kilpasarjalle yhteistyössä ruotsalaisen Granfors Racing -tallin kanssa. Onnettomuuden tai teknisen ongelman sattuessa, koulutettu pelastushenkilöstö poistaa kuljettajan autosta turvallisesti, jonka jälkeen ajoneuvoa on mahdollista liikutella korkeajännitesuojatun levyn avulla, joka kumipyörällisen kaivinkoneen puomiin kiinnitettynä mahdollistaa ajoneuvon siirtelyn ilman auton sidontaa kuljetuskalustoon, ja näin ollen on mahdollista välttää suoraa ihmiskontaktia ajoneuvoon.

Patentilla suojattua tuotetta ei ole tarkoituksenmukaista lähteä kopioimaan, mutta idea on toteutettavissa muilla keinoin. Botniaringin kalustosta löytyvä pyöräkuormaaja olisi mahdollista varustaa eristetyllä levyllä, jolla sähkökäyttöisten ajoneuvojen turvallinen kuljetus olisi mahdollista ilman kontaktia ihmiseen.

6.5 Jäähdytysalueet

Onnettomuuden, tulipalon tai teknisen ongelman jälkeen ajoneuvoja radalta varikolle kuljettessa täytyisi ajoneuvoille rakentaa varikkoalueiden läheisyyteen mutta turva-alue huomioiden valuma-altaalla varustettu ulkopuolisilta suljettu betonipohjainen jäähdytysalue, joka mahdollistaisi kilpailun jatkumisen mahdollisimman pian onnettomuuden tai tulipalon raivauksen jälkeen. Jäähdytysalue lisäisi varikkoalueen turvallisuutta, sillä sen avulla pidettäisiin epästabiilit tai muutoin syttymisvaaran omaavat ajoneuvot poissa varikkotelttojen ja kuljetuskaluston lähetyviltä. Valuma-allas olisi muutoin viemäröity sadevesien kerääntymisen vuoksi, mutta ajotapahtumien aikana vedenpoisto täytyisi olla tulpattuna mahdollisten sammutusvesien keräämistä varten, mikäli ajoneuvo onnettomuuden, teknisen vian tai jo sammutetun tulipalon seurauksena syttyy uudelleen palamaan.

6.6 Tulipalon sammutus

Palava sähkökäyttöinen kilpa-ajoneuvo on paras sammuttaa mahdollisimman nopeasti, ettei tuli pääse leviämään ympäristöön ja edes osa auton arvokkaista kilpakäyttöön valmistetuista komponenteista voisi säästyä vahingoilta. Myös akustosta palavan sähköauton alla oleva asfaltti saattaa vaurioitua jo lyhyen tulipalon vaikutuksen seurauksena, jolloin rata-alueella tapahtuva tulipalo aiheuttaa merkittävät ja kalliit vahingot kilparadalle ja saattaa palon sijainnista riippuen johtaa jopa kilpailutapahtuman ennenaikaiseen keskeytykseen, jos radan asfaltti tulipalon seurauksena vaurioituu.

Kuten aikaisemmin on todettu, sähköauton tulipalon paras sammutus- ja jäähdytysaine on vesi, jota tarvitaan suuria määriä akuston sammuttamiseen ja jäähdyttämiseen. Parhaita sammutustapoja on todettu olevan kaksi, joko upottamalla auto akustonsa syvyydelle veteen tai suihkuttaa vettä matalalla paineella auton akustoa ja palonlähdetä kohti. Palon

sammutukseen olisi siis varattava sammutuskontti tai lava, tämän kuljettamiseen vaadittava kuljetuskalusto ja riittävä määrä sammutusvettä kuljetettavaksi nopeasti palopaikalle.

6.7 Vaihtoehtoiset energiamuodot moottoriurheilussa

Porsche on ottanut e-Fuelin käyttöönsä polttoaineena kilpailuissaan, ja sen ominaisuuksien vuoksi on mahdollista, että polttoaine ottaa jalansijan myös Suomen autourheilussa tuotannon kehittyessä. Polttoaine itsessään on ominaisuuksiltaan hyvin saman kaltaista kuin bensiini, joten erityisiä muutoksia turvallisuustoimiin ei e-Fuelia käytettäessä vaaditaisi.

Vety- ja vetypolttokeinojen käyttämä paineistettu vety on hyvin syttymisherkkää ja haasteellista käsitellä. Aika näyttää, miten vety liikenteen käyttövoimana yleistyy Suomessa jakeluverkon ja ajoneuvojen kehittyessä. Moottoriurheilun saralla on kuitenkin epätodennäköistä, että vetyajoneuvot Suomen kilpailuluokissa yleistyisivät.

Superkondensaattorit pystyvät luovuttamaan virtaa akkuja suuremmalla teholla, mutta teknologia ei ole kovinkaan tunnettua. Erityisesti kiihdytysajoon superkondensaattorit voisivat mahdollisesti soveltua hyvin, ja paloturvallisuutensa ansiosta erityisiä turvallisuustoimenpiteitä ei välttämättä tarvittaisi, mikäli superkondensaattorit jossain vaiheessa yleistyvät.

7 SÄHKÖAJONEUVOJEN LATAUS MOOTTORIURHEILUKESKUSSESSA

Tässä luvussa pohditaan sähkötoimisten ajoneuvojen vaatimien alueiden sijoittelua käytännöllisyyden ja kustannustehokkuuden näkökulmista aikaisempien lukujen tietoja ja omaa pohdintaa käyttäen.

7.1 Kilpa-ajoneuvojen latauspisteet varikolla

Sähkökäyttöiset kilpa-ajoneuvot tarvitsevat lataussähköä toimiakseen, joten ajoneuvojen lataus kilpailuviikonlopun aikana on välttämätön toimenpide. Varikkoalueelle olisi rajattava erillinen sopivilla turvaetäisyyksillä varustettu sähköajoneuvojen lataukselle, säilytykselle ja huoltotoimenpiteille suunnattu alue, jossa kunkin sähköajoneuvon kilpateimin varikkopisteet teltoituneen voisivat sijaita. Majoittuminen tällä alueella olisi kuitenkin kiellettyä, jolloin välttäisiin kuolonuhreilta mahdollisen sähköajoneuvon tulipalon yöaikaan sattua.

Moottoriradan tarpeisiin sähköajoneuvojen varikko- ja latausalueena olisi edullisinta käyttää kiihdytysradan varikon alueita. Myöhemmässä vaiheessa tarpeen lisääntyessä sähkökäyttöisen kaluston määrän kasvun mukaan olisi mahdollista rakentaa latausinfraa myös moottoriradan nykyisen varikkoalueen alueelle.

Latauslaitteiston osalta sähkökäyttöisille kilpa-ajoneuvoille olisi syytä järjestää mahdollisimman tehokas lataus, jottei kilpailun kulku häiriintyisi latausaikojen pitkittyessä. Erityisesti sähkökäyttöisten kilpaluokkien lisääntyessä latauspisteiden määrä ja teho on huomioitava, jotta jokainen sähkökäyttöinen kilpa-ajoneuvo olisi akut ladattuna hyvissä ajoin lähtövalmiina omassa lähdössään.

7.2 Varikolla tapahtuva kevyen liikenteen ajoneuvojen lataus

Sähkötoimiset kevyen liikenteen kulkuvälineet ovat yleistyneet viime vuosina merkittävästi. Sähköllä liikkuvat potkulaudat ja erilaiset polkupyörän ja mopon variaatiot ovat tuttu näky myös kilpailuviikonloppuna moottoriurheilukeskuksen varikkoalueella, sillä välimatkat varikkopilttuun ja ratavarikon välillä saattavat olla pitkiä. Näiden pisteiden väliä

varikkohenkilökunnan on kuljettava useaan otteeseen kilpailun aikana, joskus tilanteen vaatiessa nopeastikin.

Sähkökäyttöisiä kevyen liikenteen välineitä siis tarvitaan, mutta niiden käyttämät litiumioniakut luovat paloturvallisuusriskejä etenkin lataustilanteen osalta. Lataustapahtuma tapahtuu asiaa koskevien säädösten puuttuessa lähes poikkeuksetta yöaikaan varikkopilttuun välittömässä läheisyydessä, jossa tallin henkilökunta ja kilpailijat useimmiten myös yöpyvät. Tämä edellä mainittu toiminta aiheuttaa paloturvallisuusriskin, sillä erityisesti yöaikaan varikkoteltassa itsekseen syttyvä akkupalo on omiaan aiheuttamaan laajaa tuhoa etenkin tiiviisti rakennetulla varikkoalueella.

Kevyiden sähköajoneuvojen lataukseen ja säilytykseen varikkoalueella olisi siis syytä laatia ohjeistukset, jotta laajalta tulipalolta välttyttäisiin kevyen sähköajoneuvon syttyessä palaamaan. Erillisen kevyenliikenteen sähköajoneuvojen latausalueen tarpeellisuutta ja tarkoituksenmukaisuutta on harkittava.

7.3 Yleisön ja muiden siviilien ajoneuvojen lataus parkkipaikoilla

Kun liikenne sähköistyy, myös kilpailutapahtumaan saapuvan yleisön ja kilpateimien käytössä olevat siviili liikenteen sähköajoneuvot tarvitsevat latausta, Yleisöparkkipaikan latauspiste olisi mahdollista sijoittaa lähelle muita latauspisteitä, jolloin maanalainen kaapelointi latausasemille ei tuota kohtuuttomia kustannuksia, ja sähkötoimisten ajoneuvojen parkkeeraus voitaisiin rajata yhdelle alueelle.

7.4 PRT-testiradan lataustarpeet

Sähkökäyttöisten henkilöajoneuvojen lisäksi moottoriurheilukeskuksen alueella toimiva PRT-testirata saattaa vaatia tulevaisuudessa ajoneuvojen latausmahdollisuuden radalla. Etenkin pidemmän matkan päästä saapuvat ajoneuvot saattavat vaatia latausta, jotta paluumatka radalta taittuisi ainakin seuraavalle latausasemalle asti. Latauslaitteistossa olisi huomioitava myös raskaankaluston lataustarpeet, sillä testiradalla on mahdollisuuksia myös esimerkiksi kuorma-autojen ominaisuuksien testaamiseen, ja jossain vaiheessa

myös sähkökäyttöisiä kuorma-autoja saattaa PRT-Testiradan asiakkaaksi saapua pitkänkin matkan päästä.

7.5 Ajoneuvojen latauksen sähköverkko

Alueen kunnallisen sähköverkon mitoitus täytyy arvioida tulevien tarpeiden mukaisesti. Mikäli alueen sähköliittymän kapasiteetti ei mahdollista suunniteltujen latauspisteiden suurinta mahdollista kuormaa, vaihtoehtoja väliaikaiseen latausvirran tuottamiseen olisi esimerkiksi suuritehoiset biodieselaggregaatit tai litiumioniakustolla varustettu mitoitukseltaan riittävä sähköenergiavarasto, jonka kapasiteetti riittäisi kattamaan kilpailuviikonlopun aikana vaadittava ajoneuvojen lataus. Biodieselaggregaatti olisi melko ympäristöystävällinen ratkaisu, jonka tarvitsemaa polttoainetta on helppo kuljettaa ja varastoida. Energiavarastoa olisi mahdollista ladata kunnallisesta sähköverkosta saatavalla sähkövirralla ennen kilpailutapahtumaa, jolloin ajoneuvojen lataustarpeet eivät kuormittaisi kunnallista sähköverkkoa, ja alueen muille toiminnoille riittäisi virtaa.

7.6 Lataus- ja jäähdytysalueiden sijoittelu

Latausalueiden ja ennen kaikkea jäähdytysalueiden suunnittelussa täytyy ottaa huomioon riittävä turvaetäisyys muihin ajoneuvoihin, hätäpoistumisteihin ja rakennuksiin. Latausalueet olisi edullisinta sijoittaa mahdollisimman lähemmäksi, jotta maanalaisten kaapelointien asennus ei veisi tarpeettomasti resursseja, ja hankkeen budjetti saattaisi sallia jopa kaapelien ylimitoituksen nykyiseen tarpeen mukaan, jolloin kaapelien kapasiteetti mahdollistaisi uusien latauspisteiden rakentamisen. Kuvan 2 suunnitelma osoittaa mahdolliset sijainnit edellä mainituille alueille.

Suunnitellut alueet numeroituna kuvassa 2, jossa

1. Yleisön parkkialue
2. Yleisön ja muiden siviilihenkilöajoneuvojen latausalue
3. Jäähdytysalue valuma-altaalla varustettuna
4. PRT-Testiradan latausalue
5. Sähkökäyttöisten kilpa-ajoneuvojen latausalue, varikkoalueen lounaan kulmasta laajentaen tarpeen mukaan



Kuva 2. Suunnitelma kiihdytysradasta ja latausalueiden ym. sijoittelusta

8 YHTEENVETO JA POHDINTA

Tämä työ tehtiin Kurikan kaupungin alueella sijaitsevalle Botniaringin moottoriurheilukeskukselle, ja työn tavoitteena oli tutkia turvallisuusnäkökohtia onnettomuuksiin ja tulipaloihin liittyen sähkökäyttöisten ajoneuvojen osalta. Moottoriurheilukeskuksen laajennussuunnitelmat kiihdytysratahankkeen muodossa johtaa alueen muihinkin kehitystoimenpiteisiin, ja tieliikennekannan sähköistyessä on tärkeää varautua myös moottoriurheilun osalta uusiin energiamuotoihin siirtymiseen perinteisistä bensiiniä voimanlähteenään käyttävistä poltto-moottoreista.

Työssä keskityttiin litiumioniakkuteknologiaan, sen käyttämien sähkökäyttöisten ajoneuvojen eri variaatioihin ja lataustapoihin. Työ eteni teorian ja tutkimustiedon keräämisellä, josta koottiin tärkeimmät osa-alueet akkuteknologiaan, lataustapoihin ja latausympäristöltä vaadittaviin seikkoihin sekä onnettomuus- ja tulipalotilanteisiin. Onnettomuus- ja tulipalotapauksiin liittyen tietoa oli saatavilla melko paljon, ja eri skenaariot muistuttivat ainakin etäisesti toisiaan. Arvaamaton sähköauton akkupalo voi saatujen tulosten mukaan kuitenkin käyttäytyä pääpiirteittäin samalla kaavalla, joten sammutustavat täytyy suunnitella lähinnä palavaksi pelätyn akuston kapasiteetin mukaan.

Tutkimuksen aiheena olivat sähköajoneuvojen onnettomuustilanteissa huomioonotettavat asiat, mahdollisuudet löytää nopeasti oleellisia tietoja onnettomuuden ajoneuvosta ja turvallinen toiminta onnettomuuspaikalla, jossa sähköajoneuvo on osallisena. Aiheena käsiteltiin myös litiumioniakulla varustetun ajoneuvon akuston tulipaloa, sen aiheuttamia riskejä ja mahdollisia vaihtoehtoja akkupalon sammutukseen sekä eri sammutustapojen aiheuttamia päästöjä. Työssä käsiteltiin myös akkupalon sammutukseen käytetyn myrkyllisen veden myrkkypitoisuuksia ja loppusijoitusmahdollisuuksia. Lisäksi esiteltiin erilaisia vaihtoehtoisia energiamuotoja ladattavalle sähkövirralle sekä arvioitiin niiden riskejä ja mahdollisuuksia kilpailukäytössä.

Työn tuloksena saatiin kattava selvitys sähköajoneuvojen turvallisuusnäkökohdista, joita risteyttämällä moottoriurheilun maailmaan tuloksena on vaihtoehtoja ja huomioonotettavia seikkoja mahdollisiin toteutustapoihin sähkökäyttöisten ajoneuvojen turvalliseen ja sujuvaan ajattamiseen Botniaringin moottoriurheilukeskuksessa. Lisäksi työssä suunniteltiin

käytännöllinen toteutus moottoriurheilukeskuksen eri tarpeisiin erilaisten sähköajoneuvojen latauspaikkoihin liittyen, sekä vaihtoehtoja ajoneuvojen lataukseen vaadittavan virransaannin varmistamiseen. Moottoriurheilukeskuksen alueella on useita toimijoita, joista jokainen saattaa tulevaisuudessa tarvita sähkökäyttöisten ajoneuvojen latausmahdollisuuksia. Työssä huomioitiin niin kevyen, kuin raskaankin siviililiikenteen sekä kilpa-ajoneuvojen lataustarpeet, joiden mukaan alueen suurin mahdollinen yhtäaikainen sähkövirrantarve on mahdollista arvioida.

Työ oli mielenkiintoinen, sillä aihe itsessään on melko uusi, eikä aiheesta ole suoraa tutkimustietoa juurikaan saatavilla etenkin moottoriurheiluun liittyen. Maailmalla on jo joitain sähkökäyttöisten ajoneuvojen kansainvälisiä kilpailuluokkia, mutta näistä ja näiden teknisistä ja turvallisuuteen liittyvistä säädöksistä oli saatavilla tietoa todella heikosti. Työssä oppi todella paljon akkuteknologiasta, sähköajoneuvojen voimalinjan toteutustavoista ja erilaisten sähkö- ja hybridaajoneuvojen eroavaisuuksista ja tekniikoista. Työssä haastetta aiheutti tiedon hajanaisuus, joten toisiaan täydentäviä seikkoja oli etsittävä useasta eri lähteestä.

LÄHTEET

- Autoalan Tiedotuskeskus. (i.a.). *Ensirekisteröityjen henkilöautojen käyttövoimatilastot*. https://www.aut.fi/tilastot/ensirekisteroinnit/ensirekisteroinnit_kayttovoimittain/henkiloautojen_kayttovoimatilastot
- Brandweer Twente. (8.12.2020.) *The Story Of – Incident Baarn Electric Vehicle* [video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=gJ5cyI57GPE>
- Botniaring. (i.a.). *Moottorirata*. <https://www.botniaring.fi/rataesittely/>
- Elektroniikkalehti. (11.1.2023). *Lietoon rakennetaan Suomen ensimmäinen vetytankkaus- asema*. <https://etn.fi/index.php/13-news/14448-lietoon-rakennetaan-suomen-ensimmaeinen-vetytankkausasema>
- Euro NCAP. (2020). *Euro NCAP Launches “Euro Rescue”: Free Downloadable Rescue Information for First Responders*. <https://www.euroncap.com/en/about-euro-ncap/time-line/euro-ncap-launches-euro-rescue-free-downloadable-rescue-information-for-first-responders/>
- Kailio, A. (30.10.2022). *Alle 90 sekuntia 400 kilowattituntiin – Virolainen akkustartup aikoo haastaa Teslan*. *Talouselämä*. <https://www.talouselama.fi/uutiset/alle-90-sekuntia-400-kilowattituntiin-virolainen-akkustartup-aikoo-haastaa-teslan/3d226705-ddb5-427a-8180-07445f649c13>
- Lambert, F. (18.10.2017). *Tesla Model S fire vs 35 firefighters – watch impressive operation after a high-speed crash*. *Electrek*. <https://electrek.co/2017/10/18/tesla-model-s-fire-high-speed-crash-video-impressive-operation/>
- Linja-Aho, V. (2021). *Sähkö- ja hybridiautojen sähkötyöturvallisuus* (3. p.). Suomen autoteknillinen liitto. (Alkuperäinen teos julkaistu 2012).
- Linja-Aho, V. (2022). *Litiumioniakkuteknikka: Rakenne – ominaisuudet – turvallisuus*. Suomen autoteknillinen liitto.
- Liikennevakuutuskeskus. (18.12.2019). *Uusi selvitys: Sähköautoilussa on uudenlaisia riskejä ja kolarit tulevat kalliiksi*. <https://www.lvk.fi/liikennevakuutuskeskus/tiedotteet/2019/uusi-selvitys-sahkoautoilussa-on-uudenlaisia-riskeja-ja-kolarit-tulevat-kalliiksi/>
- Maanmittauslaitos. (1.1.2022). *Vuoden 2022 pinta-alatilasto*. https://www.maanmittauslaitos.fi/sites/maanmittauslaitos.fi/files/attachments/2022/01/Vuoden_2022_pinta-alatilasto_kunnat_maakunnat.xlsx

- Mellert, L.D., & Welte, U. (2020). *Risk minimisation of electric vehicle fires in underground traffic infrastructures*. Federal Roads Office. https://plus.empa.ch/images/2020-08-17_Brandversuch-Elektroauto/AGT_2018_006_EMob_RiskMin_Undergr_Infrastr_Final_Report_V1.0.pdf
- Meurman, K., Hassinen, M., Kiviranta, K., Laitinen, J., & Toivanen, P. (18.5.2021). *Liitiumioniakkupalon sammuttaminen akkupalosammuttimilla*. Pelastusopisto & Tukes. <https://www.pelastusopisto.fi/wp-content/uploads/Raportti-Litiumioniakkupalon-sammuttaminen-akkupalosammuttimilla200521.pdf>
- Motiva. (23.12.2022). *Sähköautot*. https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikeminen/valitse_auto_viisaasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/sahkoautot
- Peugeot. (1.2.2023) *Peugeot e-208, 208 – Hinnat, tekniset tiedot ja varusteet*. https://www.peugeot.fi/content/dam/peugeot/finland/pdf-files/hinnas-tot/208/20230201_Peugeot_208_hinnat_tekniset_tiedot_ja_varusteet.pdf
- Porsche Newsroom. (14.2.2023). *eFuel for thought*. <https://newsroom.porsche.com/en/2023/company/porsche-efuels-pilot-plant-haru-oni-chile-synthetic-fuels-behind-the-scenes-31167.html>
- Sachek, R. (31.12.2022) *Toyota's Hydrogen Combustion Engine Has The Potential To Make EVs Obsolete*. *Topspeed*. <https://www.topspeed.com/toyotas-hydrogen-combustion-engine-has-the-potential-to-make-evs-obsolete/>
- Schat, E. (15.5.2021). *Veteen upotus on tehokkain akkupalojen sammutusmenetelmä*. *Pelastustieto*. <https://pelastustieto.fi/pelastustoiminta/ulkomailta/veteen-upotus-on-tehokkain-akkupalojen-sammutusmenetelma/>
- SEG Automotive. (i.a.) *What is 48 V/Mild hybrid drive technology?* <https://www.seg-automotive.com/48v/mild-hybrid-technology/>
- SESKO. (17.2.2021). *Sähköajoneuvojen lataussuositus* (5. p.). https://sesko.fi/wp-content/uploads/2021/11/SESKO_lataussuositus_2021-02-17.pdf
- Suomen Pelastusalan Keskusjärjestö (SPEK). (i.a.) *Muuttuva rakennettu ympäristö ja uudet teknologiat*. https://issuu.com/spek_ry/docs/muuttuva_rakennettu_ymparisto_toukokuu_2020?fr=sYWVhYTE0NDkxOTU
- Sunrise Cruisers. (i.a.). *Yleissuunnitelmapaketti*. <https://www.sunrisecruisers.com/wp/boatnaring/>
- Tilastokeskus. (i.a.). *Väestörakenteen ennakkotiedot alueittain*. https://statfin.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_vamuu/statfin_vamuu_pxt_11lj.px/table/tableViewLayout1/

- Traficom. (1.11.2022). *Ajoneuvojen määräaikaiskatsastuksen arvosteluperusteet*. <https://www.traficom.fi/fi/saadokset/ajoneuvojen-maaraaikaiskatsastuksen-arvosteluperusteet-1112022>
- Työterveyslaitos. (2023). *Fluorivety*. Kemikaalikortti. http://www.ilo.org/dyn/icsc/show-card.display?p_lang=fi&p_card_id=0283&p_version=2
- Työterveyslaitos. (12.7.2022). *Vety*. Turvallisuusohje. <https://ova.ttl.fi/vety>
- Volvo Construction Equipment. (5.10.2022). *Volvo CE parantaa osaltaan moottoriurheilun turvallisuutta sähköautojen hinausratkaisuilla*. <https://www.volvoce.com/suomi/fi/about-us/news/2022/volvo-ce-helps-elevate-motorsport-safety-with-electric-car-recovery-solution/>
- WRC. (19.1.2022) *Fans targeted in hybrid e-safety campaign*. <https://www.wrc.com/en/news/2022/wrc/fans-targeted-in-major-hybrid-e-safety-campaign/>