



SÄHKÖBUSSILIIKENTEEEN KRIISIVALMIUS JA VARAUTUMINEN

Case Helsingin seudun liikenne

Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö

Insinööri (AMK), liikenneala

Kevät 2024

Juulia Hyvärinen

Insinööri (AMK), liikenneala

Tekijä Juulia Hyvärinen

Työn nimi Sähköbussiliikenteen kriisivalmius ja varautuminen

Ohjaaja Teppo Sotavalta (HAMK), Ville Uusi-Rauva (HSL) ja Sami Hulkkonen (HSL)

Tiivistelmä

Vuosi 2024

Helsingin seudun liikenteen (HSL) hankkimassa liikenteessä käytössä oleva linja-autokalusto sähköistyy nopeasti. Kehityksen taustalla ovat kansainväliset, kansalliset ja HSL:n omat päästötavoitteet. Esimerkiksi puhtaiden ajoneuvojen direktiivi ja sen kansallinen lainsäädäntö ohjaavat sähköbussien hankintaan. HSL tavoittelee kokonaan päästötöntä joukkoliikennettä vuoteen 2035 mennessä. Sähköbussien osuuden kasvaminen on johtanut HSL:ssä kysymykseen niiden kriisivalmiudesta ja vaikutuksista varautumiseen. Työn toimeksianto on saatu HSL:ltä.

Tavoitteena oli selvittää, millainen vaikutus bussikaluston sähköistymisellä on varautumiseen, mitkä ovat todennäköiset toimintavarmuuteen liittyvät häiriötilanteet tulevaisuudessa ja miten HSL:n tulisi varautua bussikaluston sähköistymiseen liittyviin riskeihin. Näkökulmana oli HSL:n toiminta, eli työssä selvitettiin erityisesti, mitä HSL:n tulisi liikenteen tilaajana ottaa toiminnassaan ja sen suunnittelussa huomioon.

Todennäköisimpiä sähkönjakelun häiriötilanteita ovat säästä johtuvat häiriöt. Lisäksi satunnaisia ovat tekniset viat ja inhimilliset erehdykset sekä yhden tai useiden tekijöiden yhteisvaikutuksesta muodostuva sähköpula. Harvinaisia ovat esimerkiksi suuronnettomuudet, sabotaasi ja terrorismi. Häiriöiden liikennöintivaikutuksissa oleellista on niiden ajankohta: yöllä tapahtuvat parinkin tunnin lyhyet häiriöt vaikuttavat seuraavan päivän liikennöintiin supistavasti. Yli vuorokauden mittaiset häiriöt johtavat liikennöinnin supistuksiin ja jopa keskeyttämiseen.

Työssä selvitettiin useiden eri varautumiskeinojen toteutettavuutta HSL-alueella. Varautumisen vastuu jakautuu eri toimijoille. HSL:lle merkittävimpiä keinoja ovat hallinnolliset varautumiskeinot. Suositeltavia ovat valmiussuunnitelmien päivittäminen uuteen tilanteeseen ja liikennöinnin suunnittelu häiriötilanteita varten. HSL voi kilpailutusasiakirjoilla ja sopimuksilla vaikuttaa osaltaan siihen, kuinka resilienttiä bussiliikenteestä muodostuu. Akkuvarastoilla, varavoimalla ja omalla sähkön tuotannolla voidaan turvata liikennöinnin jatkuvuus, mutta keinot ovat erittäin kalliita. Muut keinot eivät takaa liikennöinnin jatkuvuutta, mutta niillä voidaan rajata vaikutuksia.

Kustannustehokkuus, ilmastotavoitteet ja kriisivalmius ovat osin ristiriidassa keskenään, sillä ilmastotavoitteiden täyttäminen heikentää nykytilanteessa kriisivalmiutta. Sähköbussien liittyvä varautumishaaste on HSL-aluetta laajempi, sillä joukkoliikenne sähköistyy kaupungeissa koko maassa.

Avainsanat Huoltovarmuus, joukkoliikenne, kriisivalmius, linja-autoliikenne, sähkölinja-autot
Sivut 66 sivua ja liitteitä 4 sivua

The Helsinki Region Transport's (HSL) bus fleet operating urban transport is electrifying fast. This development is happening due to the international, national and HSL's own carbon-emission targets. For example, the EU's Clean Vehicles Directive and its national implementation guide transition to the electric buses. HSL is aiming for zero-emission public transport by 2035. The growing number of electric buses has raised a question in HSL: how do electric buses affect crisis preparedness? This thesis was commissioned by HSL.

The aim of this thesis was to examine how the electrification of bus fleet affects the state of preparedness and what are the most probable disruption situations in the future. It was also examined how HSL should prepare for the risks caused by the electrification of the bus fleet. The report especially focuses on HSL and what HSL should consider in their processes as the buyer of the public transport services.

The most likely disturbances in electricity distribution are troubles caused by the weather conditions. Additionally, technical flaws, human errors and electricity shortages happen occasionally. Major accidents, sabotage and terrorism are rare. Disturbances affect the public transport operation, and the timing is the most significant factor: power failure of a couple of hours during the night reduces the transport operated next day. If the disturbance continues over a day, this leads inevitably to reducing and even interrupting the operation.

Possible preparation methods and how applicable those are in HSL-area were examined. Preparation responsibility is divided between several actors. Most important measures for HSL are administrative measures. Updating preparedness plans to fit the new situation and planning the operation for disruptions are suggested. HSL can affect bus transport's resilience with procurement and contract documents. Electricity storing and backup power systems can secure continuity but those are very expensive. Other measures do not secure continuity but can help limiting the consequences of different disruptions.

Cost-efficiency, climate targets and crisis preparedness are partly in contradiction with each other. Achieving climate targets deteriorate crisis preparedness in current situation. Public transport is electrifying in cities across whole Finland, so the challenge is more extensive than just HSL-region.

Keywords Bus transport, crisis preparedness, electric buses, public transport, security of supply

Pages 66 pages and appendices 4 pages

Sisällys

1	Johdanto	1
2	HSL:n sähköbussiliikenne	3
2.1	Käyttövoimamuutos HSL:ssä	4
2.2	Diesel- ja sähköbussien erot operatiivisessa toiminnassa	7
3	Sähköverkko ja varautuminen Suomessa	11
3.1	Sähköverkko	11
3.2	Varautuminen ja lainsäädäntö	16
3.3	Toimijat ja vastuut	20
3.3.1	Sähköbussiliikenne	20
3.3.2	Varautuminen	21
4	Uhat ja skenaariot	23
4.1	Sähkönsiirron häiriötilanteet	24
4.2	Alle vuorokauden mittainen häiriö	29
4.3	Yli vuorokauden mittainen häiriö rajatulla alueella	30
4.4	Yli vuorokauden mittainen pitkittynyt häiriö erittäin laajalla alueella	31
5	Riskien hallintakeinot	32
5.1	Hallinnolliset varautumistavat	33
5.1.1	Valmiussuunnittelu ja harjoittelu	33
5.1.2	Yhteistyö	35
5.1.3	Vaatimukset ja veloitteet sopimuksissa	36
5.2	Varikot ja latauslaitteet	37
5.2.1	Varikoiden hajauttaminen ja latauskapasiteetin määrä	38
5.2.2	Latauslaitteiden standardisointi	39
5.2.3	Varikon yhteydet sähköverkkoon	40
5.3	Kalusto ja käyttövoimat	40
5.3.1	Kalusto useampaa käyttövoimaa	41
5.3.2	Varakalusto	43
5.3.3	Vety ja sähköpolttoaineet	43
5.4	Energian varastointi ja varavoima	45
5.4.1	Sähkövarastot	46
5.4.2	Varavoimalaitteistot	49
5.4.3	Mikroverkot ja oma sähköntuotanto	50

5.5	Sähköverkonhaltijan keinot ja laajemman varautumisen näkökulma	52
5.6	Yhteenveto riskien hallintakeinoista	53
6	Johtopäätökset ja suositukset	58
6.1	Kriisivalmiuden kehittämisen toimintapolut.....	62
7	Jatkoselvitystarpeet	65
	Lähteet	67

Kuvat, taulukot ja kaavat

Kuva 1. Sähkön tuotantomuotojen ja tuonnin osuus kokonaiskulutuksesta viiden vuoden keskiarvona vuosilta 2017–2021 (Suomen virallinen tilasto, 2023c)..... 13

Kuva 2. Kustannustehokkuuden, ilmastotavoitteiden ja kriisivalmiuden toteutuminen eri toiminnan ohjureita käyttäessä..... 65

Taulukko 1. Yhteenveto varautumiskeinoista, niiden toteutettavuudesta ja liikennöinnin jatkuvuuden takaamisesta HSL-alueella. 54

Taulukko 2. Kustannustehokkuuden, ilmastotavoitteiden ja kriisivalmiuden toteutuminen eri toiminnan ohjureita käytettäessä..... 64

Liitteet

Liite 1. Haastattelukysymykset toimijoittain

1 Johdanto

Ilmastonmuutoksen hillitseminen ja sen aiheuttamiin muutoksiin sopeutuminen ovat aikamme merkittävimpiä haasteita. Käytännössä ilmastonmuutosta pyritään hillitsemään esimerkiksi kansainvälisesti ja kansallisesti asetetuilla päästötavoitteilla, joilla pyritään vähentämään liikenteen aiheuttamia hiilidioksidipäästöjä. Joukkoliikenteessä päästötavoitteisiin vastataan tällä hetkellä voimakkaalla kaluston sähköistymisellä ja muilla vaihtoehtoisilla käyttövoimilla, joihin veloitetaan myös lainsäädännön avulla. Helsingin seudun liikennettä eli Helsingin seudulla joukkoliikenteestä vastaavaa toimivaltaista viranomaista (jatkossa HSL) koskee esimerkiksi laki ajoneuvo- ja liikennepalveluhankintojen ympäristö ja energiatehokkuusvaatimuksista (740/2021). HSL on myös itse asettanut hankkimalleen liikenteelle päästötavoitteita, jotka ohjaavat vähäpäästöiseen tai päästöttömään kalustoon.

Sähköbussien määrän kasvaminen ja kehityskulku, jossa sähköbusseja olisi tulevaisuudessa valtaosa kalustosta, on johtanut HSL:ssä kysymykseen tämän vaikutuksesta huoltovarmuuteen ja varautumiseen. Kuinka toimintavarmaa sähköbussiliikenne on ja mikä on sen häiriönsietokyky? Keskustelua ovat vauhdittaneet esimerkiksi Venäjän hyökkäyssodan Ukrainaan aiheuttamat muutokset turvallisuustilanteessa ja globaalissa taloudessa sekä talven 2022–2023 mahdollisuus sähköpulan realisoitumiseen. Käytännössä kyse on HSL:n bussiliikenteen osalta varautumisesta tilanteisiin, joissa sähkönjakelu on katkennut paikallisesti tai laaja-alaisesti eri pituisiksi ajanjaksoiksi erityyppisten syiden takia – toisin sanoen tilanteisiin, jolloin sähköä ei ole saatavilla sähköverkosta kaluston lataamiseksi. Kun toimijat varautuvat esimerkiksi tämäntyyppisiin normaaliolojen häiriötilanteisiin ja poikkeusoloihin, ne voivat huolehtia siitä, että pystyvät kaikissa tilanteissa toimimaan ja hoitamaan tehtävänsä (Turvallisuuskomitea, 2017, s. 9), eli HSL:n tapauksessa liikennöintiä voidaan jatkaa keskeytyksettä.

Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia sähköbussien käytön yleistymisen tuomia vaikutuksia huoltovarmuuteen sekä HSL:n varautumiseen ja valmiussuunnitteluun. Näkökulmana on HSL:n toiminta, eli työssä selvitetään erityisesti, mihin HSL:n tulisi liikenteen tilaajana varautua ja mitä sen tulisi ottaa toiminnassaan ja sen suunnittelussa huomioon. Lisäksi HSL:n liikennettä operoivat liikennöitsijät ja sähköverkonhaltijat ovat tarkastelun kohteena, sillä näillä tahoilla on merkittävä ja läheinen rooli sähköbussiliikenteen käytännön toiminnalle. Työssä tarkastellaan tapoja, joilla HSL ja muut toimijat voisivat varautua sähkökatkojen varalle, sekä varautumisen vastuunjako.

Tutkimuskysymykset ovat:

- 1) Millainen vaikutus bussikaluston sähköistymisellä on varautumiseen: muuttuuko tilanne olennaisesti verrattuna nykytilanteeseen, jossa kalusto on vielä suurelta osin polttomoottoreilla toimivaa?
- 2) Mitkä ovat todennäköiset sähköbussiliikenteen toimintavarmuuteen liittyvät häiriötilanteet tulevaisuudessa ja miten HSL:n tulisi varautua bussikaluston sähköistymiseen liittyviin riskeihin?

Työn ulkopuolelle on rajattu HSL:n vastuulla oleva raideliikenne (lähijunat, metro ja raitiotiet), sillä raideliikenteessä on sähkön käytöstä jo pitkä kokemus ja toimintatavat vakiintuneita, vaikka toki samat sähköriippuvaisuuden riskit koskettavat myös raideliikennettä. Lisäksi raideliikenne on priorisoitu busseja korkeammalle sähköpulatilanteita varten (kts. luku 3.1.). Puolustustilan eli sotatoimien aikaiset toimijoiden vastuut, toimintatavat ja mahdollisesti myös joukkoliikenteen rooli poikkeavat normaali- ja poikkeusoloista, minkä vuoksi puolustustilaa käsitellään työssä vain hyvin lyhyesti. Työssä keskitytään pääsääntöisesti normaaliolojen eri asteisiin häiriötilanteisiin, mutta sivutaan myös poikkeusoloja. Työssä tarkastellaan myös lyhytaikaisia sähkösaannin häiriöitä, sillä ajankohdasta riippuen niiden vaikutus HSL:n toimintaan saattaa olla kaikkea erittäin merkittävästä huomaamattomaan.

Työssä on hyödynnetty saatavilla olevaa sähköbussiliikennettä, sähköverkkoa, huoltovarmuutta ja varautumista koskevaa kirjallisuutta, tutkimuksia ja selvityksiä, jota on ollut kattavasti saatavilla. Käytetty lähdemateriaali on listattu lähdeluetteloon. Tietoja on tarkennettu sidosryhmien haastatteluilla, ja haastatteluihin viitataan niissä kohti, joissa tieto on peräisin haastatteluista. Työn aikana haastateltiin paikallisverkkoyhtiö Carunaa sekä kolmea HSL:n suurinta bussiliikennöitsijää Koiviston Autoa (Helsingin Bussiliikenne), Nobinaa ja Pohjolan Liikennettä. Haastattelujen kysymysrungot löytyvät liitteestä 1. Merkittävässä roolissa työn laadinnassa ovat olleet myös HSL:n sähköbusseista vastaava hankepääällikkö Ville Uusi-Rauva ja turvallisuusasiantuntija Sami Hulkkonen.

Raportin luvuissa kaksi ja kolme käsitellään työn tietoperustaa joukkoliikenteen käyttövoimien, sähköverkon sekä varautumisen näkökulmista. Neljännessä luvussa käsitellään sähkösaantiin liittyviä uhkatilanteita sekä muutamaa erilaista skenaariotilannetta ja niiden vaikutuksia HSL:n liikenteelle. Viidennessä luvussa käydään kattavasti läpi varautumiskeinoja, joilla HSL tai liikennöitsijät voisivat varautua mahdollisiin sähkösaannin häiriöihin. Varautumiskeinojen osalta käsitellään myös niitä, jotka eivät syystä tai toisesta ole soveltuvia HSL:lle. Mukana on myös pohdintaa sähköverkonhaltijoille ja muille toimijoille

kuuluvista varautumiskeinoista, sekä varautumiseen liittyvistä vastuista. Viimeisessä eli kuudennessa luvussa käydään läpi johtopäätöksiä ja suosituksia.

2 HSL:n sähköbussiliikenne

Vuonna 2021 julkaistun periaatepäätöksen ja fossiilitoman liikenteen tiekartan (LVM, 2021, ss. 7–8) mukaan Suomen kansallisena tavoitteena on puolittaa kotimaan liikenteen päästöt vuoteen 2030 mennessä vuoden 2005 tasosta ja liikenteen tulisi olla kokonaan fossiilitonta vuoteen 2045 mennessä. Päästöttömyyttä tavoitellaan monipuolisella keinovalikoimalla, jolla pyritään vaikuttamaan kaikkien liikennemuotojen aiheuttamiin päästöihin. Toimenpiteeksi tiekartalla on asetettu muiden liikenteen päästöjä vähentävien keinojen ohella fossiilisten polttoaineiden korvaaminen vaihtoehtoisilla käyttövoimilla, kuten sähköllä ja biopolttoaineilla. Käyttövoimamuutosta tukemaan Suomessa on laadittu myös esimerkiksi jakeluinfraan liittyviä ohjelmia (esim. LVM, 2023), joskin sähköisen joukkoliikenteen käyttövoiman saannista huolehditaan pitkälti ei-julkisilla latauspisteillä varikoilla ja linjojen varsilla. Joukkoliikenteen käyttövoimien kehitystä kansallisesti säädellään tarkemmin muiden muassa Euroopan unionin puhtaiden ajoneuvojen direktiivin pohjalta säädetyssä kansallisessa laissa ajoneuvo- ja liikennepalveluhankintojen ympäristö- ja energiatehokkuusvaatimuksista (740/2021), joka velvoittaa myös HSL:ää.

Liikennekäytössä olevia käyttövoimia ovat tällä hetkellä esimerkiksi fossiilinen diesel ja uusiutuva diesel (HVO), fossiilinen bensiini ja biobensiini, maakaasu ja nesteytetty maakaasu (CNG ja LNG), biokaasu (CBG ja LBG) sekä sähkö. Tulevaisuuden puhtaana liikenteen energiamuotona pidetään vetyä ja sähköpolttoaineita, joiden käyttö ei ole vielä laajasti yleistynyt ja markkinavalmius esimerkiksi sähköä selvästi jäljessä. Eniten Suomessa käytetään liikenteen käyttövoimana fossiilista dieseliä: vuonna 2021 tieliikenteen energiankulutuksesta noin puolet eli 51 % oli fossiilista dieseliä (Suomen virallinen tilasto, 2023b).

Linja-autojen sähköistymiskehitys on ollut viime vuosina erittäin nopeaa, sillä liikennekäytössä olevien sähköä käyttövoimanaan käyttävien linja-autojen määrä on kasvanut vuodesta 2019 vuoteen 2022 mennessä 62 linja-autosta 550 linja-autoon eli lähes 800 % prosenttia (Suomen virallinen tilasto, 2023a). Tilaston luvut sisältävät sekä paikalliset kaukoliikenteen kaluston, mutta käytännössä toistaiseksi sähköbussit ovat olleet käytössä lähinnä kaupunkien paikallisliikenteessä johtuen rajallisesta operointisäteestä. Kokonaisuudessaan tieliikenteen energiankulutuksesta sähköä oli vielä vain pieni n. 0,5 %:n

suuruinen osuus vuonna 2021 (Suomen virallinen tilasto, 2023b). Liikenne- ja viestintäministeriön jakeluinfraohjelmassa valtakunnalliseksi tavoitteeksi on asetettu, että Suomessa olisi 570 täyssähköbussia vuonna 2025, 1600 vuonna 2030 ja 2800 vuonna 2035 (LVM, 2023, s. 16). Yhteensä Suomessa on vuonna 2022 ollut yli 11 000 linja-autoa liikennekäytössä (Suomen virallinen tilasto, 2023a).

Tässä luvussa käsitellään HSL:n bussiliikenteen käyttövoimamuutosta ja erityisesti sähköistymiskehitystä. Luvussa sivutaan sähkön lisäksi muita vaihtoehtoisia käyttövoimia ja niiden soveltuvuutta täyttämään Euroopan Unionin ja muiden asetettujen tavoitteiden kriteerit. Lisäksi käydään läpi diesel- ja sähköbussien eroja operatiivisessa toiminnassa. Nämä erot perustelevat paljolti sähköbussiliikenteen toimintavarmuuden riskejä sähköjakelun häiriötilanteissa.

2.1 Käyttövoimamuutos HSL:ssä

HSL:n tavoitteena on vähentää joukkoliikenteen hiilidioksidipäästöjä vuoteen 2025 mennessä 90 % verrattuna vuoden 2010 tasoon. Vuoteen 2035 mennessä tavoitteena on, että joukkoliikenne on kokonaan päästötöntä (HSL, 2021a). Päästöjen vähennystavoitteissa on taustalla kansainvälisiä, Suomen kansallisia sekä HSL:n omistajakuntien (Helsinki, Espoo, Vantaa, Kauniainen, Kerava, Sipoo, Tuusula, Kirkkonummi ja Siuntio) asettamia tavoitteita hiilineutraalisuudesta. Esimerkiksi Helsingin, Espoon ja Vantaan kaupungit pyrkivät olemaan hiilineutraaleja jo vuonna 2030 (Helsingin kaupunki, 2021, s. 23; Espoon kaupunki, n.d.; ja Vantaan kaupunki, n.d., s. 26). Tavoitteita on siis asetettu kunnissa kunnianhimoisemmiksi kuin mitä valtakunnalliset ja kansainväliset tavoitteet edellyttävät.

Laki ajoneuvo- ja liikennepalveluhankintojen ympäristö- ja energiatehokkuusvaatimuksista (740/2021) säätelee liikennepalveluissa käytettävien linja-autojen päästöjä. Laki velvoittaa, että hankittujen liikennepalveluiden tuottamiseen käytetyistä linja-autoista tietty osuus on ympäristöystävällisiä ja energiatehokkaita ja/tai päästöttömiä. Määritelmät perustuvat hiilidioksidipäästöihin. Lain perusvaatimus on, että ensimmäisellä hankinta-ajanjaksolla 2.8.2021–31.12.2025 vähintään 41 % hankituista linja-autoista tulee olla ympäristöystävällisiä ja energiatehokkaita ja toisella hankinta-ajanjaksolla 1.1.2026–31.12.2030 vähintään 59 %. Nämä perusvaatimukset koskevat kaikkia joukkoliikenteen hankintayksiköitä linja-autojen osalta. Laki koskee kaupunkiliikenteessä käytettäviä matalalattiaisia linja-autoja, joissa on seisomapaikkoja. HSL:ää ja muutamia muita suurimmista joukkoliikenneviranomaisista koskee tämän lisäksi molempina hankinta-ajanjaksoina vähimmäisosuus päästöttömistä linja-autoista: HSL:n osalta ensimmäisellä

hankinta-ajanjaksolla 35 % ja toisella hankinta-ajanjaksolla 60 %. HSL:lle asetetut tarkennetut päästöttömyysvaatimukset ovat selvästi muita tieliikenteen toimivaltaisille viranomaisille asetettuja vähimmäisosoituksia suurempia: esimerkiksi Tampereella ja Turussa vaatimus on ensimmäisellä hankinta-ajanjaksolla 15 % ja toisella hankinta-ajanjaksolla 25 % päästöttömiä linja-autoja. (Laki ajoneuvo- ja liikennepalveluhankintojen ympäristö- ja energiatehokkuusvaatimuksista 740/2021)

Linja-autojen osalta laissa tarkoitettu päästöttömäksi ajoneuvoksi hyväksytään käytännössä polttomoottoriton kalusto: täyssähköbussit, johdinautot tai vetykalusto. HSL:n kanssa käydyissä keskusteluissa todettiin, että johdinautojen vaatimus sähkölinjoista raitioteiden tapaan sekä vetytekniikan epävarmuus ja kustannustaso ovat ohjanneet HSL:ää päästöttömyysvaatimusten täyttämiseen sähkökalustolla. Muita laissa tarkoitettuja ympäristöystävälliseksi ja energiatehokkaaksi laskettuja käyttövoimia ovat uusiutuva diesel, maakaasu ja biokaasu (Vilkuna ym., 2021), mutta niiden käyttö ei täytä päästöttömyysvaatimusta. Lisäksi hyväksytään synteettiset polttoaineet.

Esimerkiksi fossiilittoman liikenteen tiekartassa (LVM, 2021, ss. 14–15) ei aseteta vaihtoehtoisia käyttövoimia toistensa kanssa priorisointijärjestykseen, vaan päämääränä on korvata fossiilisia polttoaineita liikenteessä vaihtoehtoisilla käyttövoimilla. Lainsäädäntö kuitenkin ohjaa HSL:ää suosimaan bussiliikenteen hankinnoissa täyssähkökalustoa, jotta korkeaksi asetetut vähimmäisvaatimukset täytyvät. Liikkumavara HSL:n kaluston käyttövoimien kehityksessä on selvästi pienempi kuin muilla joukkoliikenteen hankintayksiköillä, minkä vuoksi mahdollisuudet edistää esimerkiksi biokaasubussiliikennettä ovat vähäisemmät. Laki ajoneuvo- ja liikennepalveluhankintojen ympäristö- ja energiatehokkuusvaatimuksista (740/2021) toisaalta mahdollistaa sähkön rinnalla muiden ympäristöystävällisten käyttövoimien käytön, sillä lain mukaisesti jälkimmäiselläkin hankinta-ajanjaksolla 40 % sinä aikana hankitusta kalustosta voi olla muita kuin päästöttömiksi luokiteltuja. HSL on kuitenkin asettanut palveluissaan käytettävän kaluston päästöille lainsäädäntöä tiukempia tavoitteita, sillä liikenteen tavoitellaan olevan kokonaan päästötöntä. Tämä rajoittaa käyttövoimavalikoimaa koko kaluston osalta, sillä esimerkiksi uusiutuva diesel ja biokaasu eivät täytä päästöttömyysvaatimusta.

HSL:n liikenteessä kulkee vuonna 2023 jo 436 sähköbussia (HSL, n.d.), joka on yli 30 % koko HSL-liikenteen bussikalustosta. Muita nykyisin HSL-liikenteessä käytössä olevia käyttövoimia ovat fossiilinen diesel, uusiutuva diesel ja biokaasu. Kaasubusseja on käytössä erittäin vähän. Jäteperäisen uusiutuvan dieselin ja biokaasun käytöstä liikennöitsijöille maksetaan ympäristöbonuksia, mikä kannustaa käyttämään diesel- ja kaasukalustossa

uusiutuvia käyttövoimia. Lisäksi sopimuksissa on veloitteita käyttää uusiutuvaa dieseliä. Dieselbussissa käytetäänkin haastattelujen mukaan uusiutuvaa dieseliä sellaisenaan tai sekoitettuna fossiiliseen dieseliin. Sähköbussissa on Suomen ilmasto-olojen vuoksi käytössä lisälämmittimet, jotka toimivat uusiutuvalla dieselillä.

Fossiilinen diesel on tällä hetkellä käytetyin liikenteen ja joukkoliikenteen käyttövoima. Dieselöljy on fossiilista uusiutumaton polttoöljy, jonka polttaminen dieselmoottorissa aiheuttaa hiilidioksidipäästöjä ja muita lähipäästöjä. Fossiilisista polttoaineista dieselillä on kuitenkin pienimmät hiilidioksidipäästöt, ja sen sekaan voidaan sekoittaa uusiutuvaa dieseliä (Motiva, 2023a). Fossiilisen dieselin saatavuus on pitkällä aikavälillä rajallista.

Uusiutuva diesel tai biodiesel on eloperäisistä ja uusiutuvista raaka-aineista, kuten viljelyskasveista ja ruokajätteistä, valmistettavaa dieselöljyä. Sitä voidaan käyttää dieselmoottoreissa sellaisenaan tai sekoitettuna fossiilisen dieselin kanssa riippuen uusiutuvan dieselin tyypistä (ensimmäisen sukupolven biodiesel vai toisen sukupolven uusiutuva diesel). Uusiutuva diesel ei siis edellytä tavallisesta dieselbussista poikkeavaa kalustoa. (Motiva 2023b) Tässä selvityksessä uusiutuvalla dieselillä ja biodieselillä tarkoitetaan toisen sukupolven uusiutuvaa dieseliä (HVO), jota valmistetaan esimerkiksi kasvi- ja puupohjaisesta selluloosasta sekä jätteistä ja ruoantähteistä.

Biokaasu on uusiutuvista raaka-aineista valmistettavaa kaasua, jota voidaan käyttää kaasubusseissa. Kaasubussit ovat maailmalla yleisiä, ja niissä voidaan käyttää sekä biokaasua (CBG) että maakaasua (CNG). Niitä voidaan käyttää toisiinsa sekoitettuna, ja käytännössä kaasuverkostosta myytävä kaasu on niiden sekoitusta (Hämeenlinnan kaupunki, 2019) Helsingin seudulla kaasubussien käytön haasteena on, että pelastusviranomaiset eivät salli kaasubusseilla liikennöintiä maanalaisissa terminaaleissa, jollainen on esimerkiksi Kampin kauppakeskuksen bussiterminaali.

Sähköbussit voivat olla täyssähköisiä, hybridejä tai ladattavia hybridejä. Täyssähköbussi toimii ainoastaan sähköllä, energia varastoidaan akkuihin ja voimanlähteenä on sähkömoottori. Akku ladataan uudelleen joko varikolla tai liikennöinnin aikana terminaaleissa tai pysäkeillä. Hybridibussissa on käytössä erilaisia tekniikoita. Ladattavaa hybridiä voidaan ladata täyssähköbussin tapaan ja bussi toimii täyssähköbussin lailla silloin, kun akkukapasiteettia on käytettävissä. Muut hybridibussit hyödyntävät aina polttomoottoria sähkömoottorin rinnalla, ja esimerkiksi sähkömoottoria voidaan käyttää liikkeelle lähtiessä ja tiettyyn nopeuteen saakka, jonka jälkeen polttomoottori avustaa. Akut latautuvat jarruttaessa. Hybridibusseja on liikennekäytössä Suomessa vain pari (Suomen virallinen tilasto, 2023a).

Sähköbussien ilmastovaikutuksia määrittää niissä käytettävän sähkön alkuperä. HSL:n käyttämien sähköbussien tulee käyttää uusiutuvaa pohjoismaissa tuotettua sähköä, kuten aurinko-, tuuli- tai vesisähköä (HSL, n.d.). Sähköä joukkoliikenteen käyttövoimana täyssähköbussien näkökulmasta käsitellään tarkemmin luvussa 2.2.

Vety on mahdollinen nouseva joukkoliikenteen käyttövoima, ja se koetaan potentiaalisesti tulevaisuuden käyttövoimaksi pidemmällä tähtäimellä. Toisaalta vety saattaa olla potentiaalisempi kaupunkiliikennettä pidempien matkojen joukkoliikenteessä, joissa sähkökalustolla on haasteita muun muassa operointisäteensä vuoksi. Tekniikan kehitys on kuitenkin vielä keskeneräistä, ja vetybussien markkinavalmius ei vielä ole sähköbussien tasolla. Vetyä voidaan hyödyntää sähkön tuottamiseen polttokennossa, jolloin vety hapen kanssa reagoidessaan synnyttää sähköenergiaa ja vettä, tai polttomootorin energianlähteenä sellaisenaan. Vetyä käsitellään tarkemmin luvussa 5.3.3.

HSL:n järjestämässä liikenteessä käytetyn kaluston käyttövoimien kehityskulku etenee tällä hetkellä kohti sähkökaluston suurta osuutta. Tähän suuntaan ohjaavat liikennepalvelun päästöille asetetut tavoitteet, lainsäädäntö ja valikoimassa olevan kaluston ja energianlähteiden markkinavalmius.

2.2 Diesel- ja sähköbussien erot operatiivisessa toiminnassa

Dieselbussiliikenteen ja sähköbussiliikenteen välisen selkeimmän eron operatiivisessa toiminnassa muodostaa haastateltujen HSL-alueen liikennöitsijöiden mukaan se, että dieselbussiliikenteessä käyttövoimalla ei ole käytännössä mitään vaikutusta liikennöinnin suunnitteluun. Sähköbussiliikenteessä sen sijaan toimintaa tulee suunnitella lataustarpeiden pohjalta, mikä vaikuttaa jo tarvittavan kaluston määrään sekä autokiertojen suunnitteluun. Jo tarjousvaiheessa ja kalustoa hankkiessa bussit ja esimerkiksi niiden akkukapasiteetti räätälöidään niin, että kalustolla pystytään liikennöimään nimenomaan pyydettyä liikennöntikokonaisuutta. Liikennöitsijöiden mukaan sähkökaluston myötä hallittavia asioita on tullut paljon lisää sekä liikennöinnin että varikoiden toiminnan suunnitteluun. Operointi sähkökalustolla on lähtökohtaisesti erilaista kuin dieselbusseilla.

Vaikutusta on esimerkiksi tuttuudella ja toimintatapojen vakiintuneisuudella. Siinä missä dieselbussien tekniikka on tuttua, riskejä on vähän ja toiminta on jokaisen osapuolen kannalta vakiintunutta, on sähköbussiliikenne vielä suhteellisen uutta. Dieselbussien polttoaineen saatavuus ja toimitusvarmuus on ollut hyvää, nykyiset varikot on rakennettu palvelemaan dieselbussiliikennettä, tankkaaminen on nopeaa ja operointisäde on yhdellä

tankillisella 600 kilometriä (Lehtinen & Kanerva, 2017, s.12). Pidempi operointisäde mahdollistaa joustavuuden operatiivisessa toiminnassa ja esimerkiksi joukkoliikennejärjestelmän linjastosuunnittelussa (Kohonen, 2018, s. 74). Nämä voidaan laskea dieselbussien vahvuuksiksi. Kohonen (2017, s. 74) on tunnistanut pro gradussaan myös dieselbussien heikkouksia, joita ovat tiukentuneiden ympäristönormien lisäksi esimerkiksi polttoaineen hintariski, huollon tarve ja kustannukset sekä epätasaisuuden ja melun aiheuttamat heikkoudet matkustusmukavuudessa. Dieselbussiliikenteessä toisaalta on tulevaisuuden mahdollisuuksia uusiutuvan dieselin kehittyessä yhä saasteettomammaksi, mutta uhkana on tämän kehitystyön jääminen sähköbussien kehittämisen jalkoihin (Kohonen, 2017, s. 74). Riski tähän on jo realisoitumassa kaupunkiliikenteen bussien osalta, sillä osa kalustovalmistajista on luopunut tai luopumassa dieselbussien valmistamisesta sähköbussien kysynnän kasvettua (esim. Volvo, n.d.). Toisaalta uusiutuvan dieselin osalta ei voida saavuttaa täyttä päästöttömyyttä, jolloin se ei jatkossakaan täytä päästöttömyystavoitteita.

Sähköbussien tekniikka on uutta ja kehittyä koko ajan esimerkiksi akkujen energiatihedden, pikaladattavuuden ja eliniän kannalta (Pihlatie ym., 2022, s. 16). Haastatellut liikennöitsijät totesivatkin, että jokaisella kierroksella uusia sähköbusseja hankkiessa on jokin ehtinyt aina muuttua viime aikojen kehityksen nopeuden vuoksi. Riskeistä ei ole vielä ehtinyt muodostua tuttuja, ja ne voivat yhä muuttua sähköbussien kehittyessä edelleen. Sähköbussikalusto ja niiden latausinfrastruktuuri ovat vielä kalliita, akkujen käytös onnettomuustilanteissa on arvaamatonta ja yleisesti uuteen tekniikkaan liittyy aina riskinsä (Kohonen, 2017, s. 77). Liikennöitsijät kertoivat myös, että sähkökaluston myötä varikoilla toimijoita on täytynyt kouluttaa uusin asioihin: esimerkiksi sähköturvallisuus on huomioitava toiminnassa, ja varmistettava, että sähköjärjestelmiin liittyen on osaamista. On tarpeen määritellä, mitä toimintoja esimerkiksi kuljettaja voi tehdä, ja mihin tarvitaan syvällisempää sähköalan osaamista.

Sähköbussiliikenteen etuja ovat dieselbusseihin verrattuna muun muassa pienet käyttökustannukset, hiljaisuus sekä käyttäjäystävällisyys (Lehtinen & Kanerva, 2017, s. 20). Dieselbussiliikennettä matalammat käyttökustannukset ovat yksi syy, miksi liikennöitsijät mieluusti tarjoavat sähkökalustoa liikenteeseen, kunhan sopimuskausi on riittävän pitkä kalustoinvestoinnin kuolettamiseksi sopimusaikana. Esimerkiksi linja-autoliikenteen kustannusindeksin mukaan sähköbussiliikenteen poltto- ja voiteluainekustannuksien sekä korjaus- ja huoltokustannuksien osuus liikenteen kustannusrakenteesta on matalampi kuin dieselbusseilla, kun taas pääoman poiston osuus korkeampi. Päästöjen näkökulmasta koko elinkaaren hiilidioksidipäästöt ovat sähkökalustolla polttomoottorikalustoa selvästi

matalammat ja ilmanlaatua pilaavat lähipäästöt poistuvat (LVM, 2023, s. 25). Kohonen (2017, s. 7) on tunnistanut sähköbussiliikenteen eduksi myös sen kehittymismahdollisuudet ja panostukset uusiutuvan energian, akkujen ja sähköbussitekniikan kehittämiseen, mitkä vahvistavat entisestään sähköbussiliikenteen edellytyksiä tulevaisuudessa.

Täyssähköbussit ovat selvästi dieselbusseja riippuvaisempia säännöllisestä lataamisesta rajallisemman operointisäteen vuoksi. Lataus kriittisenä toimintona on järjestettävä ja se vaikuttaa koko operoinnin suunnitteluun. Rajallisemman operointisäteen sekä lataukseen kuluvan ajan vuoksi saman liikenteen tuottamiseen tarvittavan kalustomäärän on todettu liikennöitsijöiden parissa olevan suurempi sähkö- kuin dieselkalustolla. Sähköbussit vaativat erillisen latausinfrastruktuurin rakentamista joko varikoille (varikkolataus) tai bussireittien varrelle (käytön aikainen lataus). Myös dieselbussit vaativat tankkauslaitteiston, mutta sellaiset on lähtökohtaisesti jo olemassa bussivarikoilla ja dieselbusseja voidaan tarvittaessa tankata missä vain soveltuvassa tankkauspisteessä. Dieselbussin tankkaaminen on nopeaa, eikä edellytä liikennöinnissä tai varikoiden toiminnassa erityisiä järjestelyjä. Sähköbusseilla operoitavaa linjastoa ja käytännön toimintaa joudutaan taas suunnittelemaan niin, että otetaan huomioon operointisäteet ja latauksen vaatima aika, joka varikolla ladatessa on useita tunteja. Liikennöitsijät kertoivat, että kalusto ja latausjärjestelyt suunnitellaan lähtökohtaisesti juuri siihen liikenteeseen, jota tilaaja hankkii: järjestelmä on siis melko joustamaton ja herkkä muutoksille. Riittävä latauskapasiteetti on varmistettava, huomioitava kaluston yötauot lataukselle ja jos ladataan päivällä, on kuljettajan tauot yhdistettävä kaluston lataustaukoihin.

HSL-alueen bussien tyypilliset päiväsuoritteet riippuvat linjatyyppistä: syöttölinja liikennöi tyypillisesti 200–250 kilometriä päivässä, seutulinja 300–350 kilometriä ja runkolinja 420 kilometriä (Pihlatie ym., 2022, s. 10). Oman haasteensa sähkönkäyttöön bussiliikenteessä tuo lataustarpeen mitoitus, sillä kaluston sähkönkulutus vaihtelee. Sähköbussin keskimääräinen sähkönkulutus on 1 kWh/km, mutta se vaihtelee riippuen esimerkiksi kaluston painosta, kuljettajan ajotavasta, sääoloista ja maastonmuodoista (Lehtinen & Kanerva, 2017, s. 22–24). Myös jo itsessään eri linja-autoissa on erikokoisia akustoja, joiden akkukapasiteetti poikkeaa toisistaan. Esimerkiksi Yutongin E15-mallin bussissa akun koko on 564 kWh (Yutong, n.d.), kun taas Volvon 7900-mallin busseja saa 470 kWh asti (Volvo, n.d.-b). Yksittäisen linja-auton kulutus talvisäissä voi olla 25 % suurempaa verrattuna jäätömään ja lumettomaan aikaan, koska ilmanvastus ja vierintävastus kasvavat talven kylmillä ja lumisilla tai jäisillä säillä (Lehtinen & Kanerva, 2017, s. 24). Liikennöitsijät toivat haastatteluissa esille myös kaluston iän toimintasäteeseen vaikuttavana tekijänä. Uuden kaluston toimintasäde on pidempi kuin vastaavan iäkkäämmän kaluston: haastatteluissa

mainittiin, että elinkaaren lopussa akuston bruttokapasiteetista tulisi olla jäljellä 80 %. On myös huomioitava, että akkua ei voi ajaa tyhjäksi saakka, vaan operointisäde on aina lyhyempi kuin minkä akkukapasiteetti tyhjäksi asti ajettuna mahdollistaisi.

Sähköbussikalustoa voidaan ladata varikolla tai käytön aikana, ja lataustavoissa on eroavaisuuksia. Sähköbussikaluston lataaminen varikolla tapahtuu useimmiten kaapelilatauksena, eli latauskaapeli kytketään ajoneuvon latauspistokkeeseen. Lataustapa on pienempitehoinen, vie enemmän aikaa ja kaapeli täytyy manuaalisesti kytkeä ajoneuvoon. Liikennöitsijät mainitsivat, että latauslaitteiden monitorointi on sähköbussien myötä tullutta uutta työtä: latausta aloittaessa on tarkistettava, että kytkentä on onnistunut ja akusto alkaa latautua. Käytännössä kalusto ladataan varikolla yön aikana, ja yhdellä latauksella voidaan liikennöidä koko seuraava päivä. HSL-alueella osalla linjoista ja kalustosta varikkolatausta tuetaan käytön aikaisella latauksella. Käytön aikana tapahtuvaa latausta kutsutaan myös päätepysäkkilataukseksi, jolloin bussia ladataan päivän aikana joko päätepysäkeillä tai esimerkiksi terminaaleissa samalla, kun bussi seisoo pysäkillä tai tasaa aikaa seuraavaan lähtöön. Suomessa päätepysäkkilatauksena on käytössä virroitin- eli pantografilataus. Bussi ladataan käyttäen virroitinta, joka HSL-alueella nousee bussin katosta ja kiinnittyy yläpuolella sijaitsevaan latauslaitteeseen. Latausjärjestelmä on suurempitehoinen ja mahdollistaa bussin nopeamman lataamisen, mutta lataus täytyy suorittaa useammin (Lehtinen & Kanerva, 2017, ss. 20–21). Latausaikaan linjan varrella vaikuttavat latausjärjestelmän teho, linjan pituus, energiankulutus ja kuinka tiheästi latauspisteet on sijoitettu (Lehtinen & Kanerva, 2017, s. 24). Tiivistettynä voi sanoa, että loogisesti latausajan kesto kasvaa latausten välillä ajettavan matkan pituuden kasvaessa.

Käytönaikaisen latauksen etuna on, että se edellyttää pienempää akkukapasiteettia, jolloin kalusto painaa vähemmän, kuluttaa vähemmän energiaa ja maksaa vähemmän. Akun kustannukset voivat muodostaa jopa puolet sähköbussin hinnasta, jolloin kustannuksiltaan pienempi akku laskee kaluston hintaa. Toisaalta pieni akkukapasiteetti tekee operointisädeestä lyhyen, jolloin linja-auto on erittäin riippuvainen reitin varrella olevista latauspisteistä. (Lehtinen & Kanerva, 2017, s. 22) Käytönaikaisen latauksen haasteena on myös esimerkiksi usein vaivaava tilanpuute terminaaleissa ja pysäkeillä sekä sähköliittymän järjestäminen (HSL, 2021b, s. 7). Pelkkä varikkolataus mahdollistaa pidemmän operointisäteen, mutta tällöin busseissa tulee olla suurempi akkukapasiteetti, mikä lisää energiankulutusta, vie tilaa bussin sisätiloista ja on akun kustannuksiltaan kalliimpi. Lähtökohtaisesti HSL:n sähköbussiliikenteessä tavoitellaan varikkolatausta (HSL, 2021b, s. 20). Varikkolataus toimii liikennöitsijöiden haastattelujen mukaan pääasiallisena tapana, mutta kuten edellä mainittiin, käytön aikana esimerkiksi Leppävaaran bussiterminaalissa ja

päätepusäkeillä ladataan osaa kalustosta päivän aikana lyhyitä aikoja tukemassa varikkolatausta. Pääsääntöisesti linjalla latausta käytetään runkolinjoilla. Varikkolatausta täydentävä täydennyslataus linjalla nähtiin haastatteluissa tärkeänä niillä linjoilla, joissa se on käytössä, sillä se mahdollistaa pienemmän akkukapasiteetin kalustoon ja samalla pidemmät liikennöintiajat.

Sähköbussuja voidaan ladata myös induktiolatauksella, eli langattomalla sähkömagneettiseen induktioon perustuvalla järjestelmällä. Tällöin bussi ajetaan latauspisteen päälle ja akku alkaa täyttyä (vrt. langaton puhelimen lataus). Suomessa lataustavan haasteena ovat sääolot, sillä latauspisteen päälle kertyvä lumi, jää tai lehdet estäisivät latauksen. Induktiolatausta ei ole käytössä Suomessa. (HSL, 2021a, ss. 65–66)

Diesel- ja sähköbussiliikenteen erot liikennöinnin ja toiminnan suunnittelussa ovat suuria, sillä sähköbussiliikenne vaatii jo lähtökohtaisesti tarkempaa käyttövoiman aiheuttamien vaatimusten huomiointia. Rajatumpi operointisäde ja lataustarpeiden huomiointi ovat merkittävimmät erot. Kriisivalmiuden osalta voikin jo tässä vaiheessa todeta, että suurempi riippuvaisuus säännöllisestä latauksesta ja latausajan pidempi kesto tekevät sähköbussiliikenteestä dieselbussuja heikompia häiriönsietokyvyltään.

3 Sähköverkko ja varautuminen Suomessa

Sähköverkko ja sähkön saatavuus muodostavat sähköbussiliikenteessä riskikonaisuuden, joka poikkeaa perinteisestä dieselbussiliikenteestä. Varautumiseen liittyvät toimijat ovat sähkökaluston kanssa toimiessa osin erilaiset kuin dieselbussiliikenteessä johtuen sähköverkkoon ja sähkönjakeluun liittyvistä toimijoista. Varautumisvastuu koskettaa joukkoliikennetoimijoita kulkuvälineestä ja käyttövoimasta riippumatta. Luvussa käsitellään sähköverkkoa sekä varautumista, ja käydään läpi niihin liittyvää lainsäädäntöä. Erityisesti keskitytään oleellisiin toimijoihin sekä heidän tehtäviinsä ja vastuisiinsa.

3.1 Sähköverkko

Suomen sähköjärjestelmään kuuluvat valtakunnan rajat ylittävät sähkönsiirtoyhteydet, sähköä tuottavat voimalaitokset, kantaverkko, suurjännitteinen jakeluverkko, jakeluverkot sekä sähkön kuluttajat (Etelä-Suomen aluehallintovirasto, 2023). Suomi on osa yhteispohjoismaista sähköjärjestelmää, johon kuuluvat myös Ruotsi, Norja ja Tanskan itäinen osa, minkä lisäksi Suomella on tasasähköyhteydet Viroon ja yhteispohjoismaisen

järjestelmän kautta Keski-Eurooppaan (Fingrid, n.d.-a). Ruotsiin sähköyhteyksiä on kaksi Raumalta ja kaksi Tornion seudulta, Viroon Espoosta ja Anttilan sähköasemilta, ja Norjaan Utsjoelta (Fingrid, 2023). Suomesta on lisäksi yhteys Venäjälle, mutta sähkönsiirto tätä kautta ei ole tällä hetkellä käytössä Venäjän sotatoimien vuoksi. Suomen sähköjärjestelmä on lähtökohtaisesti luotettava, sillä esimerkiksi kantaverkon siirtovarmuus on 99,99993 % (Fingrid, 2023, s. 14).

Suomen valtion osaomistama Fingrid Oyj vastaa Suomen kantaverkosta. Kantaverkko on suurjännitteinen 400, 220 tai 110 kilovoltin voimajohdoista muodostuva runkoverkko. Runkoverkkoon liittyneenä ovat suoraan suuret voimalaitokset ja tehtaat sekä alueelliset 110 kilovoltin jakeluverkot. Jakeluverkoista vastaavat jakeluverkkoyhtiöt, ja sähkön kuluttajat saavat sähkönsä jakeluverkkoyhtiöiden kautta. (Fingrid, n.d.-a) HSL-alueella jakeluverkkoyhtiöitä ovat:

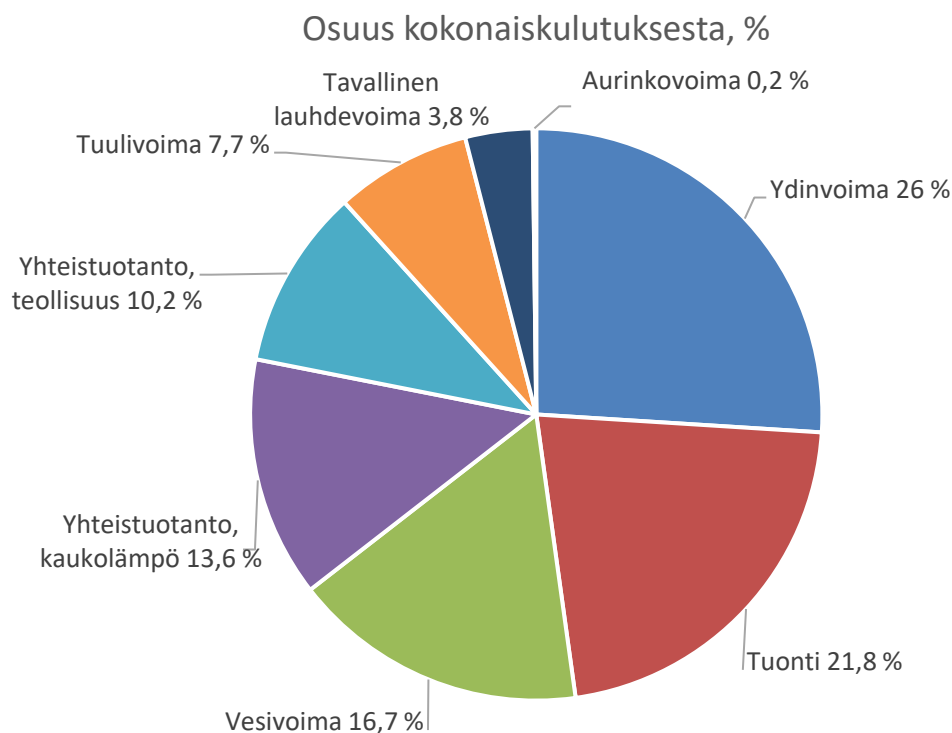
- Helen Sähköverkko Oy, joka vastaa sähkönjakelusta Helsingissä,
- Caruna Espoo Oy ja Caruna Oy, jotka vastaavat sähkönjakelusta Espoossa, Kirkkonummella, Kauniaisissa, Tuusulassa ja Siuntiossa,
- Vantaan energia sähköverkot Oy, joka vastaa sähkönjakelusta Vantaalla,
- Keravan Energia oy, joka vastaa sähkönjakelusta Keravalla, ja
- Sipoon Energia Oy, joka vastaa sähkönjakelusta Sipoossa (HSL, 2021a, s. 21).

110 kilovoltin suurjänniteverkkoon on kytkeytyneenä 20 kilovoltin keskijänniteverkkoa ja 0,4 kilovoltin pienjänniteverkkoa. Varikoiden sähköliittymät voidaan tarpeen mukaan kytkeä mihin tahansa näistä (HSL, 2022, s. 32). Suurjänniteverkon liittymiä käyttäessä välissä on muuntaja, jolla jännitettä madalletaan. HSL-alueella on tehty arvioita, että pienjänniteliittymä mahdollistaa 10 bussin latauksen, keskijänniteliittymä 100 bussin ja suurjänniteliittymä 400 bussin latauksen varikolla (HSL, 2022, s. 39). Käytönaikaisen latauksen pikalaturit terminaaleissa ja pysäkeillä kytketään useimmiten pienjänniteverkkoon käyttämällä kiinteistö- tai puistomuuntamoita (HSL, 2021a, s. 19). Sekä käytönaikaisessa latauksessa että varikkolatauksessa haasteeksi on tunnistettu sähköverkon kapasiteetti. Sähköverkkojen kapasiteetti mitoitetaan vastaamaan todennäköistä huippukulutusta, ja jos sähköbussien lataamisen arvioidaan nostavan huippukulutusta, sähköverkkoja vahvistetaan (LVM, 2023, s. 26). Esimerkiksi käytönaikaisessa latauksessa käytettäviä pikalatauspisteitä varten on usein tarve vahvistaa sähköverkkoa esimerkiksi kaapelivedoilla ja uusilla muuntajilla, sillä pikalatauspisteeltä vaadittava teho on suuri (Lehtinen & Kanerva, 2017, s. 45). Varikolla koko kalusto taas ladataan samanaikaisesti yöaikaan, jolloin sähköverkkoon kohdistuu kulutuspiikki, vaikka lataus itsessään tehdään matalampitehoisemmillä laitteilla useiden

tuntien ajan. Latauksen suunnittelussa tuleekin ottaa huomioon usein kallis sähköverkon vahvistaminen (Lehtinen ym., 2018, s. 20).

Sähköä tuotetaan Suomessa muiden muassa ydinvoimalla, vesi-, tuuli- ja aurinkovoimalla ja loput tuodaan tuontisähkönä. Sähkön kokonaiskulutuksesta vuoden 2011 jälkeen omalla tuotannolla on hoidettu vuosittain noin 80 % ja tuontisähköllä noin 20 % (Suomen virallinen tilasto, 2023c). Kuvassa 1 on kuvattu eri sähkön tuotantomuotojen ja tuonnin osuudet kokonaiskulutuksesta viiden vuoden keskiarvona vuosilta 2017–2021. Merkittävimpiä sähkön tuotantomuotoja ovat ydinvoima (26 % kulutuksesta) ja vesivoima (17 %), joiden väliin asettuu tuontisähkö (22 %). Yhteistuotannolla tarkoitetaan niitä voimalaitoksia, joissa kaukolämmön tuotannon tai teollisuusprosessin omaa tarvetta varten tuotetun höyryn tai lämmön ohella tuotetaan sähköä (Fingrid, n.d.-b).

Kuva 1. Sähkön tuotantomuotojen ja tuonnin osuus kokonaiskulutuksesta viiden vuoden keskiarvona vuosilta 2017–2021 (Suomen virallinen tilasto, 2023c).



Sähköntuotanto on riippuvaista sääolosuhteista, sillä esimerkiksi tuulisuus, valon määrä ja sadanta vaikuttavat uusiutuvien energianlähteiden tuotantoon. Näin ollen riippuvaisuus tuontisähköstä on ajoittain suurempaa esimerkiksi vähätuulisina päivinä, jolloin tuulivoiman tuotanto on vähäisempää. Suomi ei ole sähkön kannalta omavarainen, mutta tilanne on

melko hyvä. Erityisesti huippukulutuksen aikana oma tuotanto ei riitä kattamaan kysyntää, vaan Suomi on riippuvainen tuontisähköstä (Etelä-Suomen aluehallintovirasto, 2023). Sähköverkkoyhtiöiden haastattelujen mukaan tuontisähköä tarvitaan erityisesti hyvin kylminä ja vähätuulisina päivinä, jolloin sähköä kuluu paljon, mutta sitä tuotetaan vähän. Sähköntuotannon omavaraisuuden saavuttamisessa merkittäviä tekijöitä ovat esimerkiksi Olkiluoto 3 -laitosyksikön käynnistäminen ydinvoiman tuotannossa ja suuret investoinnit tuulivoiman tuotantoon (LVM, 2023, s. 23). Polttoaineiden omavaraisuuden kannalta huomattavaa toisaalta on, että muun muassa öljyn osalta Suomi on täysin tuonnin varassa (Sisäministeriö, 2023, s. 56), kun taas sähköä ja uusiutuvia biopolttoaineita tuotetaan Suomessa. Sähkön ja uusiutuvien polttoaineiden käyttö liikenteessä siis lisää omavaraisuutta verrattuna tilanteeseen, jossa liikenne on täysin riippuvaista maahantuodusta dieselöljystä. Huoltovarmuuden ja varautumisen näkökulmasta omavaraisuus on positiivista. Toisaalta liikenteen sähköistyminen tulee nostamaan sähkön kokonaiskulutusta (Fingrid, 2023, s. 74), mikä on otettava huomioon sähköntuotannossa ja -tuonnissa.

Työ- ja elinkeinoministeriö on laatinut sähköntuotannon kehittymisestä vuoteen 2050 skenaariolaskelman (TEM, 2019), jossa suomalaisten sähkömarkkinoiden kehitystä kuvaava perusura perustuu työ- ja elinkeinoministeriön, liikenne- ja viestintäministeriön ja ympäristöministeriön sisäisesti tekemiin tai teettämiin arvioihin. Arviossa tuuli- ja aurinkovoiman tuotannon arvioidaan kasvavan merkittävästi, kun taas ydinvoiman tuotanto kääntyy laskuun 2030-luvun jälkipuoliskolla ydinkapasiteetin ikääntyessä. Sähkönkulutuksen arvioidaan kasvavan Suomessa vuoteen 2050 mennessä 13 % vuoden 2020 tasosta, minkä osasyynä mainitaan liikenteen sähköistyminen. Selvityksessä arvioidaan Suomen riippuvaisuuden tuontisähköstä laskevan, kun uusiutuvan sähkön tuotanto kasvaa. Kun ydinvoiman tuotanto lähtee tämän jälkeen laskuun, tuontisähkön tarve taas kasvaa. (TEM, 2019) Kasvava osuus uusiutuvia sähkön tuotantomuotoja tekee järjestelmästä yhä aikaisempaa enemmän sääriippuvaisen, jolloin sähköntuotannon määrä vaihtelee olosuhteiden mukaan.

Sähkön tuotannossa, siirrossa ja jakelussa voi tapahtua häiriöitä. Tällöin sähköä ei tilanteesta riippuen voida siirtää lainkaan tietyille alueelle/paikkaan verkossa olevan häiriön takia tai sähköä ei ole riittävästi ja sähkönkäyttöä joudutaan säännöstelemään. Tilanteet on jaoteltu 1) normaaliolojen häiriötilanteisiin, kuten myrskyjen aiheuttamiin häiriöihin, 2) sähköpulatilanteisiin, jolloin sähkön saatavuus on vaarantunut alueellisesti tai valtakunnallisesti esimerkiksi kriisitilanteiden, kantaverkon häiriön tai sähköntuotannon vakavan vajeen vuoksi, ja 3) suunniteltuihin sähkönjakelun keskeytyksiin esimerkiksi

huoltotöiden vuoksi (Vesa, 2021, ss. 3–4). Sähköntuotannon ja -jakelun uhkia käsitellään tarkemmin luvussa 4.

Sähkön säännöstelytilanteita varten Huoltovarmuuskeskus on teettänyt keskeytyskriittisten sähkönkäyttöpaikkojen priorisoinnista selvityksen (Vesa, 2021), jossa määritetään kriteerit kriittisille sähkönkäyttöpaikoille. Vuonna 2022 valtioneuvosto on antanut tämän pohjalta sähkönkäyttöpaikkojen etusijajärjestyksestä asetuksen (TEM, 2022), jossa veloitetaan verkonhaltijoita sisällyttämään varautumissuunnitelmiinsa kriittiset sähkönkäyttöpaikat. Kriittisyys määräytyy sen perusteella, kuinka suuri vaikutus sähkökatkoilla on yhteiskunnan johtamiseen ja turvallisuuteen, väestön toimeentuloon ja elinkeinoelämän toimintakykyyn. Kriittisimpien sähkönkäyttöpaikkojen asettamisen lisäksi etusijajärjestystä voi luokitella määrittelemällä paikkoja, joissa sähkönsaannin keskeyttämistä on vältettävä tai se voi tilanteen niin vaatiessa keskeytyä eri pituisiksi ajanjaksoiksi (TEM, 2022). Sähköverkkoyhtiöt ovat priorisoineet asiakkaitaan varautumismielessä huoltovarmuus-kriittisyyden ja toiminnan kriittisyyden perusteella. Lisäksi muuntamot on luokiteltu kiireellisyysluokkiin, jotka määrittelevät häiriötilanteissa korjausjärjestystä.

Kriittisiksi sähkönkäyttöpaikoiksi asetuksessa määritetään liikennealalta ”liikenteen ohjaus- ja hallintapalvelua ja lennonvarmistuspalvelua tarjoavien toimijoiden ja meripelastuskeskuksen keskeiset kohteet sekä rataverkon ja metroliiikenteen keskeiset sähköradan käyttöpaikat” (TEM, 2022, § 2). Bussiliikenteeseen liittyviä toimintoja ei määritetä kriittiseksi asetuksessa, mutta tähän liittyviä toimintoja on mainittuna erilaisissa muissa selvityksissä ja määrittelyissä:

- EU:n direktiiviehdotus kriittisten toimijoiden häiriönsietokyvystä: tieliikenteen tieviranomaiset ja älykkäiden liikennejärjestelmien ylläpitäjät (Vesa, 2021, s. 7)
- Huoltovarmuuskeskuksen sähkönkäyttäjien tärkeysluokitus: poikkeusoloissa turvattavia ovat mm. liikenneasemat ja tekniset varikot (Vesa, 2021, s. 20)
- Suositus keskeytyskriittisistä sähkönkäyttöpaikoista: ilma-, raide-, vesi ja tieliikenne (Vesa, 2021, s. 30)
- Valtioneuvoston linjaus yhteiskunnan toiminnan kannalta kriittisten alojen henkilöstöstä: joukkoliikenteen operoinnin kannalta olennainen henkilöstö, eli kaikki linja-auto-, raitiovaunu ja metrokuljettajat, HSL:n liikenteenohjaus ja turvahenkilöstö (Valtioneuvosto, 2020)

Koska bussiliikenteen sähköistyminen nykyisessä laajuudessaan on vielä suhteellisen uusi ilmiö, ei toiminnan kriittisyyttä sähkönjakelun kriittisyysjärjestelyissä ole vielä välttämättä huomioitu. Bussiliikenteen varikoita ei ole määritetty sähköverkkoyhtiöiden toiminnassa

kriittisiksi sähkökäyttöpaikoiksi. Toisaalta on huomioitava, että sähköverkkoyhtiöt joutuvat kriittisyysmääryksiä tehdessään tekemään valintoja: kriittisiä kohteita on oltava rajallinen määrä. Jos kriittisiä kohteita on liikaa, ei yhtiöllä ole todellista mahdollisuutta toteuttaa kantaverkkoyhtiön vaatimaa sähkökäytön vähentämistä. Joukkoliikennejärjestelmä on jo tällä hetkellä HSL-alueella hyvinkin riippuvainen sähköstä, sillä suurimpia massoja kuljettava raideliikenteen runkolinjasto on toiminut sähköllä jo pitkään, mutta raideliikenne on laajalti tunnustettu kriittiseksi sähkökäyttöpaikaksi. Tämä on perusteltua, sillä raideliikenne toimii joukkoliikennejärjestelmän runkona ja mahdollistaa pidempien matkojen yhteydet, jotka eivät häiriötilanteessa ole korvattavissa muilla kulkumuodoilla. Lisäksi arvioissa usein mainitaan polttoaineen jakelu kriittiseksi, jolloin kriisitilanteissa polttoaineen jakelua priorisoidaan. Sähköbussivarikoiden osalta on huomioitava, että koska sähköjä voidaan kytkeä pois ainoastaan johtolähdöittäin, eikä toimijoittain, riittää yksikin kriittinen sähkökäyttäjä samassa johtolähdössä siihen, että sähköjakelua ei voi keskeyttää. Varikkoja voi siis kuulua rajoitusten ulkopuolelle, jos samaan johtolähtöön osuu kriittisiä kohteita, vaikka varikko itsessään ei määrittäisi johtolähtöä rajoitusten ulkopuolelle.

Varautuminen sähkökatkoihin on toisaalta myös sähkökäyttäjien velvollisuus, eikä yksikään toimija voi tukeutua siihen, että varautuminen ja sähkösaannin jatkuva varmistaminen olisi ainoastaan sähköverkonhaltijoiden vastuulla (Vesa, 2021, s. 24). Toiminnon luokittelu kriittiseksi ei siis tarkoita, etteikö sähkö voisi joskus katketa. Esimerkiksi sähköverkkoon kohdistuva sabotaasi tai muut ennakoimattomat tilanteet vaikuttavat kriittisyysjärjestelyistä riippumatta kaikkiin. Tällaisissa tilanteissa kriittisyysjärjestelyt määrittävät lähinnä järjestystä, jossa sähköjä pyritään palauttamaan. Sähköverkkoyhtiöiden mukaan käyttäjän tulisi itse huolehtia teknisistä ratkaisuista haittojen poistamiseksi, jos sähkö ei voi missään tilanteessa katketa edes hetkeksi. Tällaisia ratkaisuja on esimerkiksi sairaaloilla, joissa sähköjen katkeaminen voisi johtaa ihmishenkien menetykseen.

3.2 Varautuminen ja lainsäädäntö

Varautumisella tarkoitetaan valmistautumista erilaisiin häiriötilanteisiin. Tavoitteena on varmistaa toimintakyky ja tehtävien hoitaminen mahdollisimman häiriöttömästi kaikissa tilanteissa. Varautumiseen sisältyy häiriöiden ehkäisy, valmistautuminen toimimaan häiriötilanteissa ja poikkeusoloissa sekä häiriötilanteista toipumisen suunnittelu.

(Turvallisuuskomitea, 2017, s. 9) Huoltovarmuudella taas tarkoitetaan kriiseihin ja häiriötilanteisiin varautumista sekä elintärkeiden toimintojen turvaamista

(Huoltovarmuuskeskus, n.d.-b). Huoltovarmuuden strategiseksi tavoitteeksi Suomessa on

asetettu kriittisten infrastruktuurien, tuotannon ja palveluiden turvaaminen niin, että kaikissa tilanteissa on mahdollista täyttää väestön, talouselämän ja maanpuolustuksen välttämättömimmät tarpeet (Valtioneuvoston päätös huoltovarmuuden tavoitteista 1048/2018). Jatkuvuudenhallinta on prosessi, jolla toimija parantaa kykyään toimintansa jatkamiseksi erilaisissa häiriötilanteissa ja johon laki voi velvoittaa (Huoltovarmuuskeskus, n.d.-d).

Yhteiskunnan turvallisuusstrategiassa (Turvallisuuskomitea, 2017, s. 14) yhteiskunnan elintärkeiksi toiminnoiksi määritellään johtaminen, kansainvälinen ja EU-toiminta, puolustuskyky, sisäinen turvallisuus, talous, infrastruktuuri ja huoltovarmuus, väestön toimintakyky ja palvelut sekä henkinen kriisinkestävyys. Nämä tulee pyrkiä varautumalla turvaamaan kaikissa tilanteissa. Talouden, infrastruktuurin ja huoltovarmuuden kokonaisuus sisältää liikenteeseen ja energiaan liittyvät toiminnot, joten ”elintärkeiden toimintojen ja väestön toimeentulon tarvitsemien kuljetusten edellytykset turvataan kaikissa tilanteissa” (Turvallisuuskomitea, 2017, s. 21). Energian osalta turvallisuusstrategiassa todetaan, että voimahuollon perustan muodostaa sähköenergian kotimainen tuotanto, jolla yhdessä kansainvälisen yhteistyön kanssa varmistetaan monipuolinen, edullinen ja riittävä sähköenergian saanti (Turvallisuuskomitea, 2017, s. 21).

Lainsäädäntö noudattelee yhteiskunnan häiriötilanteiden osalta järjestystä normaaliolot, valmiuslaki ja puolustustilalaki. Normaalioloilla tarkoitetaan yhteiskunnan normaalia tilaa, jossa toiminta voidaan järjestää normaaliin tapaan ilman, että on tarvetta ottaa käyttöön viranomaisille tavanomaisesta poikkeavia toimivaltuuksia. Normaalioloissa voi kuitenkin tapahtua häiriötilanteita, joilla tarkoitetaan yhteiskunnan elintärkeiden toimintojen tai tehtävien vaarantumista jonkin uhkan tai tapahtuman vuoksi (Turvallisuuskomitea, 2017, s. 97). Normaaliolojen häiriötilanne sähkösaannissa voi olla esimerkiksi myrskyn tai vahingon aiheuttama vaurio jakeluverkossa tai sähköpula. Valtaosa sähköön liittyvistä häiriöistä tapahtuu normaalioloissa lukuun ottamatta todella vakavia tilanteita, joissa poikkeusolojen käyttöönotto voisi tulla kyseeseen. Valmiuslain myötä käyttöön otetaan poikkeusolot, jotka on määritelty esimerkiksi aseelliseksi hyökkäykseksi, hyökkäyksen huomattavaksi uhkaksi tai muuksi erityisen vakavaksi yhteiskunnan toimintaa uhkaavaksi tapahtumaksi tai uhkaksi (Valmiuslaki 1552/2011 § 3). Poikkeusoloissa on jo tarpeen mahdollistaa viranomaisille tavanomaisesta poikkeavia toimivaltuuksia, koska vakavia häiriöitä tai uhkia on paljon tai ne ovat poikkeuksellisen vakavia (Turvallisuuskomitea, 2017, s. 98). Vuosina 2020 ja 2021 valmiuslaki otettiin käyttöön koronavirus-tilanteen vuoksi. Puolustustilalaki taas asettaa yhteiskunnan puolustustilaan, joka saatetaan voimaan sodan tai siihen rinnastettavissa

olevan tilanteen aikana (Puolustustilalaki 1083/1991). Varautumisessa ja sen suunnittelussa tulee huomioida vaihtuvan lainsäädännön aiheuttamat vaikutukset toimintaan.

Huoltovarmuuteen ja varautumiseen liittyy valmiuslain ja puolustustilalain lisäksi muutakin kansallista lainsäädäntöä. Lainsäädännön sisältöä on esitetty seuraavaksi tiivistetysti ja painottaen lakien vaikutuksia HSL:n sähköbussiliikenteen toimintakenttään.

Laki huoltovarmuuden turvaamisesta (1390/1992) turvaa toiminnot ja tekniset järjestelmät, jotka ovat välttämättömiä yhteiskunnan toimivuuden kannalta niissä tilanteissa, joissa yhteiskunnassa on voimassa poikkeusolot tai muita vakavia häiriöitä. Laissa asetetaan huoltovarmuudesta vastaavat viranomaiset, heidän tehtävänsä ja rahoitus. Lakia täydennetään muilla laeilla ja valtioneuvoston päätöksellä huoltovarmuuden tavoitteista.

Valtioneuvoston päätös huoltovarmuuden tavoitteista (1048/2018) määrittelee huoltovarmuuden kehittämisen periaatteet ja kansalliset tavoitteet. Varautuminen pohjautuu kansalliseen riskiarvioon (Sisäministeriö, 2023). Päätöksessä asetetaan kunnille ja kuntayhtymille tehtävä varmistaa kriittisten tehtäviensä hoitaminen jatkuvuudenhallinnalla myös poikkeusoloissa ja muissa vakavissa häiriötilanteissa. Huoltovarmuustoimintaa on yhä etenevissä määrin kohdistettu infrastruktuurin toimintakyvyn vahvistamiseen sen sijaan, että keskityttäisiin ainoastaan materiaaliseen varautumiseen (esim. varmuusvarastointi). Painopisteinä on mainittu esimerkiksi energiansaannin varmistaminen sekä toimivat logistiset palvelut ja verkostot, jotka tulee turvata myös vakavissa häiriötilanteissa ja poikkeusoloissa. Päätöksen mukaan pääkaupunkiseudulla työssäkäyntiliikenne on varmistettava. Valtion varmuusvarastossa tuontipolttoainetta on oltava varastoituna noin viiden kuukauden kulutusta vastaava määrä. Energia-alalla tärkeitä turvattavia ovat kotimainen energiantuotanto ja sähkönsiirtoyhteyksien riittävä määrä ja toimivuus. Sähkön tuotannossa, siirrossa ja jakelussa häiriötilanteita seuraava palauttaminen tulee suunnitella ja harjoitella. Huoltovarmuuden tavoitepäätökselle tehdään parhaillaan kokonaisvaltaista uudistamista, jonka on tarkoitus valmistua alkuvuodesta 2024 (TEM, 2023). Näin ollen uudistamisessa tulevat mahdolliset muutokset eivät ehdi mukaan tähän opinnäytetyöhön.

Valmiuslaissa (1552/2011) säädetään viranomaisten toimivaltuudet poikkeusolojen aikana, mutta se sisältää säädöksiä myös viranomaisten varautumisesta poikkeusoloihin. Esimerkiksi kuntien ja kuntayhtymien on varauduttava tehtäviensä mahdollisimman hyvään hoitamiseen myös poikkeusoloissa. Liikenteen ja energian osalta poikkeusolojen aikana sähkön käyttöä on mahdollista rajoittaa tai kieltää, polttonesteen käyttöä voidaan säännöstellä ja luvanvaraista liikennettä harjoittava liikenteenharjoittaja voidaan määrätä

välttämättömiin evakuointikuljetuksiin. Poikkeusoloissa tiekuljetukset on hoidettava niin, että välttämättömät kuljetukset on varmistettu. Julkisen liikenteen osalta poikkeusoloissa voidaan toimia tilanteen vaatimalla tavalla ja tarvittaessa esimerkiksi muuttaa aikatauluja ja reittejä.

Puolustustilalaki (1083/1991) saatetaan voimaan sodan tai vastaavan kriisin aikana, kun valtakunnan puolustusta on tarpeen vahvistaa. Sotilasviranomaisen voi määrätä tällöin väestön evakuoinneista, moottoriajoneuvojen ja muiden hyödykkeiden luovuttamisesta alueen puolustukseen tai sen tukemiseen sekä muutoin edellyttää tuottamaan ja suorittamaan alueen puolustusta tukevia toimintoja. Toisin sanoen puolustustilanteessa liikenteenharjoittajia voidaan velvoittaa luovuttamaan kuljetuskalustoa ja henkilöstöä sotilasviranomaisen määräämiin tehtäviin.

Laki tuontipolttoaineiden velvoitevarastoinnista (1070/1994) asettaa säädökset sille, miten tuontipolttoaineita varastoidaan energiahuollon kriisivalmiuden turvaamiseksi.

Varastointivelvollisuus koskee kivihiiltä, raakaöljyä ja muita öljynjalostuksen raaka-aineita, maakaasua ja öljytuotteita sisältäen muiden muassa dieselöljyn, kevyen polttoöljyn ja moottoribensiinin. Öljytuotteiden osalta laki velvoittaa maahantuojat varastoimaan kahden kuukauden keskimääräistä tuontia vastaavan määrän tuotetta, joka on osa valtioneuvoston päätöksessä huoltovarmuuden tavoitteista (1048/2018) mainittuja viiden kuukauden varmuusvarastoja. Uusiutuvia polttoaineita koskien velvoitevarastoinnista ei ole säädetty.

Sähkömarkkinalaki (588/2013) pyrkii varmistamaan edellytykset kansallisille ja alueellisille sähkömarkkinoille ja sähkön tuonnille. Tavoitteena on sähkön hyvä toimintavarmuus. Laissa asetetaan muun muassa sähköverkonhaltijan velvollisuudet ja muita kanta- ja jakeluverkon haltijoita koskevia säännöksiä. Verkonhaltijan velvollisuutena on varmistaa sähköverkkonsa toimivuus normaaliolojen häiriötilanteissa ja poikkeusoloissa, ja laadittava varautumissuunnitelma. Sähkömarkkinalain uudistamisella vuonna 2013 pyrittiin parantamaan sähköverkkojen toimitusvarmuutta (LVM, 2023, s. 23).

Laki liikenteen palveluista (1256/2020) sisältää muihin liikenteen palveluihin liittyvien säädösten lisäksi varautumisvelvollisuuden normaaliolojen häiriötilanteisiin ja poikkeusoloihin niin, että toimintaa voidaan näissä tilanteissa jatkaa mahdollisimman normaalisti. Velvollisuus koskee rautatieliikenteen ja kaupunkiraideliikenteen harjoittajia, lentotoimintaluvan haltijoita, tieliikenteen ohjaus- ja hallintapalveluita sekä henkilöliikenneluvan haltijoita, jos heillä on liikennekäytössä vähintään 15 linja-autoa. Näin ollen varautumisvelvollisuus koskettaa valtaosaa HSL:n liikennöitsijöistä.

Lainsäädäntö koskettaa monenlaisia toimijoita ja heidän varautumisvastuitaan erilaisissa tilanteissa. Pääsääntöisesti toimijoita velvoitetaan turvaamaan toimintansa normaaliolojen lisäksi myös poikkeusoloissa. Seuraavassa luvussa tarkennetaan eri toimijoiden vastuuta ja tehtäviä.

3.3 Toimijat ja vastuut

Sähköbussiliikenteen järjestämiseen sekä varautumiseen liittyviä toimijoita on useita. Toimijat myös vaihtelevat osittain riippuen siitä, minkä HSL-alueen kunnan alueella linja tai varikko sijaitsee. Toimijoita ja vastuuta on käsitelty sähkökalustolla liikennöinnin järjestämisen sekä varautumisen näkökulmista.

3.3.1 Sähköbussiliikenne

Sähköbussiliikenteen toimijat ja heidän vastuunsa poikkeavat jonkin verran dieselbussiliikenteen toimijoista, mutta näissä on toki myös yhtäläisyyksiä. HSL vastaa joukkoliikenteen tilaamisesta samaan tapaan kuin dieselbussiliikenteen ja muun järjestämänsä Helsingin seudun joukkoliikenteen osalta. HSL vastaa sähköbussiliikenteellä toteutettavan liikenteen suunnittelusta reittien ja aikataulujen osalta samoin kuin muunkin HSL-alueen joukkoliikenteen. Sähköbussiliikenteen hankinnassa on erityispiirteitä. Liikenteen tilaaja voi esimerkiksi asettaa vaatimuksia sähköbussien operointisäteelle, energiankulutukselle ja akkuteknologialle (Lehtinen & Kanerva, 2017, s. 34–35), ja näin osaltaan edellyttää toiminnan jatkuvuutta tukevia ominaisuuksia. Kuten aiemmissa luvuissa todettua, myös sähköbussiliikenteen operointiin liittyy erityispiirteitä, mutta näiden suunnittelusta on vastannut pitkälti liikennöitsijä, joka vastaa liikennöinnin käytännön toteuttamisesta.

HSL vastaa liikenteensä käyttöön tulevien latauspalvelujen hankinnasta, kun kyseessä on käytönaikainen lataus. Tämä tapahtuu samoin kuin liikenteen hankinta: kilpailuttamalla. Hankittava latauspalvelu sisältää käytännössä koko sähköbussien lataamiseen tarvittavan paketin: latauslaitteet, niiden asennukset, rakentamisen ja lupien hankinnan, sähköliittymän tilaamisen sekä laitteiden huollon ja hallinnan. Tästä kokonaisuudesta vastaa palveluntuottaja eli latauspalveluoperaattori. Latauslaitteiden ja sähköverkon osalta vastuissa on eroja eri HSL-kaupunkien osalta, sillä toimijat eri kaupungeissa ovat toisistaan poikkeavia. Kaupunki huolehtii latauslaitteiden sijoituspaikkojen rakennusluvista ja työnaikaisista luvista sekä laitteiston perustuksista, mahdollisesta laitetilasta ja kaapelireiteistä. Liikennöitsijä voi

toimia myös itse latauspalveluoperaattorina, ja HSL:n mukaan alueella on muutamia kohteita, joissa näin toimitaan. Kunkin alueen sähköverkkoyhtiö vastaa sähkönjakelusta ja sähköliittymän toteuttamisesta, ja HSL suorittaa prosessin alussa sähköliittymän toteutettavuusselvityksen yhteistyössä sähköverkkoyhtiön kanssa. Sähköverkkoyhtiöt on listattu luvussa 3.1. Liikenteenharjoittaja huomioi latauspisteiden sijainnit laatiessaan tarjousta sähköbusseilla hoidettavasta liikenteestä, ja prosessin päätteeksi hyödyntää latauspalvelua liikennöidessään. (HSL, 2021a, ss. 47–52)

Varikkolatauksen osalta vastuunjako on suoraviivaisempi, sillä tällöin liikennöitsijä vastaa latauspalvelun hankinnasta, ja HSL vastaa ainoastaan liikennöinnin hankinnasta. Käytännössä liikennöitsijä hankkii varikolleen lataukseen tarvittavan laitteiston joko omakseen tai hankkii latauksen palveluna, ja vastaa esimerkiksi laitteiden asennuksista, rakentamisesta ja näiden hankinnasta varikolle omien käytäntöjensä mukaisesti. Liikennöitsijä toimii sähköliittymän tilaajana ja haltijana. Tässäkin tapauksessa toki sähkönjakelusta huolehtii sähköverkkoyhtiö. Dieselbusseilla liikennöitäessä liikennöitsijällä on vastaava vastuu: liikennöitsijät vastaavat dieselin tankkaamisen järjestämisestä joko varikoilla tai erityisesti pienten yritysten osalta muualla.

3.3.2 Varautuminen

Varautumisen näkökulmasta vastuuta jakautuu muiden muassa työ- ja elinkeinoministeriölle, Huoltovarmuuskeskukselle, kunnille ja kuntayhtymille, kanta- ja jakeluverkon haltijoille ja liikenteenharjoittajille. Huoltovarmuus- ja varautumisasioissa tehdään yhteistyötä kansallisesti eri hallinnonalojen ja julkisen ja yksityisen sektorin kesken. Varautuminen ei siis ole vain yhden tai muutamien toimijoiden vastuualueisiin kuuluva velvollisuus, vaan siitä huolehtiminen kuuluu käytännössä jokaisen eri yhteiskunnan toimintojen osapuolen vastuulle oman toimintansa varmistamisen osalta. Seuraavassa ei ole käsitelty kaikkia sähköbussiliikenteen toimintavarmuuteen liittyviä toimijoita, vaan HSL:n kannalta oleellisimmat.

Huoltovarmuuskeskus eli HVK vastaa huoltovarmuuden kehittämisestä ja ylläpidosta työ- ja elinkeinoministeriön ohjauksessa ja valvonnassa (Laki huoltovarmuuden turvaamisesta 1390/1992, § 5 ja 6). Huoltovarmuusorganisaatio eli HVO taas on yhteistyöverkosto, johon kuuluvat Huoltovarmuuskeskuksen lisäksi huoltovarmuusneuvosto ja eri toimialojen sektorit ja poolit. Organisaatio tekee yhteistyötä julkisen sektorin, yritysten ja järjestöjen kanssa. (Huoltovarmuuskeskus, n.d.-a) Toimialoja ovat muiden muassa energiahuolto sekä liikenne ja logistiikka, jotka vastaavat osaltaan oman alansa varautumisen tukemisesta ja

edunvalvonnasta. Huoltovarmuuskeskusta valvova työ- ja elinkeinoministeriö vastaa huoltovarmuuden kehittamisestä ja varautumistoimien yhteensovittamisesta (TEM, n.d.).

Valtioneuvoston päätöksessä huoltovarmuuden tavoitteista (1048/2018) todetaan kunnilla olevan keskeinen rooli varmistaa paikallisesti yhteiskunnan huoltovarmuutta. Esimerkiksi kriittisen infrastruktuurin ja väestön toimintakyvyn varmistaminen korostuu kuntien ja kuntayhtymien tehtävissä. Kuntien ja kuntayhtymien on päätöksen mukaan varmistettava kriittisten tehtäviensä hoitaminen myös häiriötilanteissa ja poikkeusoloissa. HSL:n ja sen jäsenkuntien on siis vastattava omalta osaltaan joukkoliikenteensä toimintaedellytyksistä myös varautumisen näkökulmasta.

Kanta- ja jakeluverkon haltijoiden varautumisvelvollisuudesta säädetään sähkömarkkinalaissa (588/2013, § 28), ja niiden tehtävänä on varmistaa sähköverkon luotettavuus ja toimintavarmuus normaaliolojen häiriötilanteissa ja poikkeusoloissa sähkönjakelun ohessa. Energiavirasto vastaa varautumisen ja valmiussuunnittelun seurannasta. Verkonhaltijan tulee varautua normaaliolojen häiriötilanteisiin, sähkönsaannin häiriöiden edellyttämiin mahdollisiin säännöstelytoimenpiteisiin ja poikkeusoloihin varautumissuunnitelmalla. Verkonhaltijoita veloitetaan myös osallistumaan valmiussuunnitteluun ja toimimaan häiriötilanteissa yhteistyössä muiden sidosryhmien kanssa. Verkonhaltijoiden varautumisen tilannetta seurataan esimerkiksi kypsyyskyselyllä, jossa verkkoyhtiöiden haastattelun mukaan yhtiöt pärjäävät parhaiten häiriötilanteiden hallinnan vastuiden ja järjestelyjen suunnittelussa. Kyselyssä seurataan lisäksi esimerkiksi palveluntuottajien toimintakyvyn varmistamista, poikkeaviin sääolosuhteisiin varautumista, toimintaa sääolosuhteiden aiheuttamissa suurhäiriötilanteissa, alueellista yhteistyötä sekä poikkeusoloihin varautumista.

Liikenteenharjoittajia veloitetaan huolehtimaan varautumisesta normaaliolojen häiriötilanteisiin ja poikkeusoloihin laissa liikenteen palveluista (1256/2020, § 18). Toiminnan tulisi varautumisen myötä jatkua häiriötilanteissa mahdollisimman normaalisti, jotta asiakkaille tarjottua palvelua pystytään jatkamaan ja varmistetaan samalla koko yhteiskunnan toimintavarmuutta. Yli 15 ajoneuvolla henkilöliikennettä operoivia liikenteenharjoittajia veloitetaan liikenteen erityispiirteet huomioonottavan dokumentoidun valmiussuunnitelman laatimiseen, jonka laadinnasta Traficom on antanut tarkentavan määräyksen (Traficom, 2020). Valmiussuunnitelman tulee määräyksen mukaan sisältää toiminnan jatkuvuuden turvaamisen kannalta välttämättömät toiminnot ja palvelut, uhat ja niihin varautumisen, varautumisesta huolehtivat henkilöresurssit sekä vastuut, palveluntuottajien ja alihankkijoiden vastuut sekä kriisiviestinnän menettelyt. Myös

häiriötilanteen jälkeistä normaalitilaan palautumista varten tulee olla toipumissuunnitelma. Tieliikenteen toimijoita koskee erityismääräykset, joiden mukaan niiden on kuvattava, miten toiminnassa varaudutaan tilanteisiin, joissa yli 30 % kuljettajista on estynyt työskentelemästä tai jostain syystä on aiheutunut merkittävä sähkökatko tai tietoliikennehäiriö.

Valmiussuunnitelma voi olla laadittu Traficomın tarjoamalle valmiille valmiussuunnitelman dokumenttipohjalle tai olla sisällytetty muihin toimintaa koskeviin asiakirjoihin. (Traficom, 2020) Sähköbussien yleistymisen myötä varautumissuunnitelmissa on tarve huomioida bussikaluston muuttuneet ominaisuudet ja sähköbussiliikenteen aiheuttamat erityispiirteet varautumisen tarpeessa.

HSL velvoittaa liikenteenharjoittajiaan hoitamaan sovittua korvausta vastaan liikennöintisopimuksissaan ja siihen liitetyissä asiakirjoissa määritellyn liikenteen. Ajamatta jääneistä lähdöistä ei makseta HSL:n liikenteen järjestämisen yleisten ehtojen mukaan liikennöintikorvausta, mutta poikkeuksena tästä ovat liikennöitsijästä riippumattomat ajamattomuuden syyt. Käytännössä sähköbussiliikenteessä käyttövoiman saannin este voi olla tällainen ylivoimainen syy, johon force majeure-lauseke pätee. Koska sähkösaannin laajemmista häiriöistä ei koidu liikennöitsijöille sopimussakkoja, ei HSL:llä ole vipuvartta nykyisissä sopimuksissa kannustaa varautumaan tällaisiin tilanteisiin niin, että liikenne ei katkeaisi. Sopimuksissa on kuitenkin asetettu latauslaitteiden häiriöitä varten vaatimus, että ilman latausta tulee pystyä liikennöimään 4 tuntia (HSL, n.d.), jona aikana tavanomaiset latauslaitteiden viat ehditään korjaamaan. Toki tämä tarkoittaa sitä, että kaluston tulee pystyä liikennöimään 4 tuntia viimeisimmästä latauksesta alkaen, eikä sähkökatkon alkamisesta alkaen.

Yleisesti varautumisen vastuuta kannattaa jakaa eri toimijoille, ja huoltovarmuus ja yhteiskunnan toimintavarmuus muodostuvat eri toimijoiden yhteistyössä ja erikseen tekemistä toimintaa ylläpitävistä toimenpiteistä. Esimerkiksi sähköbussiliikenteen kontekstissa myös HSL:n ja liikennöitsijöiden tulee huolehtia omasta toimintavarmuudestaan, vaikka sähköverkko-yhtiöt pyrkivät osaltaan huolehtimaan sähkönjakelun varmuudesta.

4 Uhkat ja skenaariot

Sähkö liikenteen käyttövoimana on huoltovarmuuden kannalta hyvä asia siltä osin, että se vähentää riippuvuutta käyttövoiman tuonnista, ja liikenteen energiaa voidaan tuottaa Suomessa (LVM, 2023, s. 23). Sähkön käyttö bussiliikenteen käyttövoimana tuo kuitenkin mukanaan monenlaisia riskejä, joista tässä opinnäytetyössä keskitytään sähköverkkoon ja

huoltovarmuuteen liittyviin riskeihin. Varikoilla olevien ja käytön aikaisen latauksen latauslaitteiden vikatilanteita ei tässä käsitellä kovin kattavasti sähköbussiliikenteen uhkana, sillä näiden vikatilanteiden käsittelyyn on olemassa vasteajat latauspalveluun liittyvissä sopimusjärjestelyissä. Uhkat ovat tässä selvityksessä erilaisia syitä, joiden vuoksi sähkösaanti voi keskeytyä sähköverkosta. Uhkien pohjalta on rakennettu skenaarioita, jotka liittyvät riskien realisoitumisen aiheuttamien häiriöiden ajalliseen keston ja maantieteelliseen laajuuteen. Skenaariot eivät ota syvällisesti kantaa häiriöiden taustasyihin, koska vaikutus HSL:lle on sama riippumatta siitä, mikä kunkin eri pituisen ja laajuisen häiriötilanteen aiheuttaa. Sähkösaannin uhkia ja häiriöiden taustasyitä käydään kuitenkin läpi tämän luvun alkupuolella, sillä esimerkiksi niiden todennäköisyys vaikuttaa erilaisten varautumistapojen tarpeellisuuteen ja mitoittamiseen.

4.1 Sähkösiirron häiriötilanteet

Energiahuolto on merkittävä toimiala, koska sähkösaanti on yhteiskunnan elintärkeiden toimintojen elinehto, ja vakavilla sähkösaannin häiriöillä on vaikutusta koko yhteiskunnan toimintaan ja turvallisuuteen (mm. Turvallisuuskomitea, 2017, s. 64). Vaikutukset energiahuollon häiriöissä ovat liikennealaa selvästi laajempia, ja voivat vaarantaa koko yhteiskunnan toiminnan.

Polttoaineiden arvoketju muodostuu raaka-aineesta, tuotannosta, kuljetuksesta tai jakelusta ja käytöstä. Sähkön kannalta kuhunkin ketjun osaan sisältyy uhkia. Raaka-aineeseen liittyvät uhkat liittyvät esimerkiksi tuulisuuteen, tuotantoon liittyvät uhkat esimerkiksi sähkön tuotantolaitoksiin ja jakeluun liittyvät uhkat sähköverkkoon. Lisäksi huoltovarmuuden kannalta sähkön heikko varastoitavuus on uhka. (Sipilä ym., 2021, s. 57–58) Käytön uhkia voivat olla aiemmin mainitut loppukäyttäjien latauslaitteiden vikatilanteet. Kansallisessa riskiarviossa (Sisäministeriö, 2023) laajaa kansallista vaikutusta aiheuttaviksi uhkamalleiksi ja häiriötilanteiksi on tunnistettu energianhuoltoon liittyen sähkön saannin suurhäiriö, polttoaineiden saannin vakavat häiriöt, kuljetusten jatkuvuuden häiriöt ja äärimmäisen voimakas avaruusmyrsky, joka käytännössä aiheuttaisi sähkönjakelun keskeytymisen.

Kansallisessa riskiarviossa (Sisäministeriö, 2023, ss. 53–55) ja Uudenmaan alueellisessa riskiarviossa (Etelä-Suomen aluehallintovirasto, 2023) on analysoitu syitä, jotka voivat aiheuttaa sähkön saannille, siirrolle ja jakelulle vakavia häiriöitä, ja vaikuttaa siten joukkoliikenteen sähkösaantiin. Uhkien todennäköisyyksiä on lisäksi kartoitettu muista lähteistä ja haastatteluilla.

Sääolosuhteet ovat yleisin ja kaikista todennäköisin syy häiriöille, sillä esimerkiksi myrskyt ja tykkylumi voivat kaataa puita sähkölinjoille. Myrskyjen aiheuttamia häiriöitä tapahtuu vuosittain. Maakaapelointi on vähentänyt tähän liittyviä riskejä. Uudellamaalla on valtakunnallisesti korkea maakaapelointiaste: kantaverkko kulkee ilmajohdoissa, mutta 1/10 keskijänniteverkosta ja 1/3 pienjänniteverkosta on maakaapeloitu (Etelä-Suomen aluehallintovirasto, 2023). Ilmajohtoja vaihdetaan jakeluverkoissa maakaapeleiksi etenevissä määrin (Vantaan Energia Sähköverkot, n.d., s. 32). Sääolosuhteiden aiheuttamiin tilanteisiin pystytään varautumaan ennalta sääennusteiden perusteella, ja nostamaan esimerkiksi valmiustasoa sähköverkkoyhtiöissä.

Vakavat äkilliset ja odottamattomat tekniset viat ja ohjelmointivirheet ja niiden erilaiset yhdistelmät sähköntuotannon ja -siirron eri vaiheissa voivat aiheuttaa häiriöitä. Vika heijastuu sitä laajemmalle, mitä ”ylempänä” ketjussa se tapahtuu: esimerkiksi sähköntuotannon tai kantaverkon tekninen vika on selvästi vakavampi kuin yksittäisessä latauslaitteessa ilmenevä vika. Tekniset viat ovat yksittäisiä ja tapahtuvat satunnaisesti, joten niiden todennäköisyydet ovat ennakoimattomia. Niihin on varauduttu sähköverkkoyhtiöiden mukaan esimerkiksi korjaussuunnitelmin, ja häiriön kesto jää useimmiten pariin tuntiin.

Inhimilliset erehdykset ovat mahdollisia arvoketjun eri vaiheissa, ja tapahtuvat satunnaisesti. Niiden ennakointi on siis haastavaa. Ne voivat johtua myös sähköalan ulkopuolisista syistä esimerkiksi, jos rakennustyömaalla tapahtuu kaivinkoneen aiheuttama sähköverkon maakaapelien vaurioituminen. Inhimillisiin erehdyksiin voidaan varautua esimerkiksi ohjeistuksella ja erilaisilla sähköverkon läheisyydessä työskentelyyn liittyvillä lupajärjestelyillä.

Sähköpula eli tehopula voi aiheuttaa yhdestä tai useammasta syystä sähkönjakelun keskeytyksiä. Sähköpulassa sähköenergiaa ei ole riittävästi saatavilla, ja sähkönsaantia voidaan joutua säännöstelemään. Sähköpulan todennäköisimpiä ajankohtia ovat pitkät kylmät jaksot talvisin, jolloin sähköä kuluu paljon ja tuotannossa voi olla haastetta. Sähköpula voi olla seurausta myös esimerkiksi sähköntuotantoon liittyvistä häiriötilanteista, joissa vaikkapa voimalaitos on pois käytöstä. Sähköpulatilanteita voidaan ennakoida, mutta ne voivat tapahtua myös lyhyillä varoitusajoilla, jos tilanteen syynä on esimerkiksi vaikkapa yllättävä vika voimalaitoksessa, jolloin sähköntuotanto on yllättäen matalampaa kuin ennakoitu.

Markkinahäiriöt voivat aiheuttaa häiriöitä sähkönsaantiin muiden muassa materiaalipulan, polttoaineiden puutteen, pandemian tai työtaisteluiden takia. Markkinahäiriöt eivät

varsinaisesti katkaise sähköä siirtoa, mutta niillä voi olla vaikutusta esimerkiksi sähköntuotantoon ja sitä kautta edesauttaa sähköpulan syntymistä. Markkinahäiriöitä voidaan osittain ennakoida.

Harvinaisempia syitä ovat vakavat ja erittäin ennakoimattomat tilanteet. Digitalisaation aikakaudella tietoverkkoihin tunkeutumalla on mahdollista vaikuttaa haitallisesti jokaiseen sähköhuoltoketjun osaan. Lisäksi harvinaisia syitä voivat olla suuronnettomuudet, sabotaasi tai terrorismi sekä magneettiset avaruusmyrskyt. Nämä tilanteet aiheuttavat erittäin vakavia seuraamuksia sähkösaannissa ja vaikutukset voivat olla maantieteellisesti hyvin laajoja. Esimerkiksi Venäjän aloittama hyökkäyssota on lisännyt uhkatasoa energiajärjestelmän häiriöille, ja vaikuttanut muiden muassa sähköä saatavuuteen, hintaan ja nostanut uhkaa infrastruktuuriin kohdistuville hybridi- ja kyberoperaatioille (Sisäministeriö, 2023, s. 53). Syksyllä 2023 on esimerkiksi uutisoitu sähköyhtiöiden havaitsemasta tavallisesta poikkeavasta toiminnasta sähkönsiirtoon liittyvien kohteiden lähistöllä sekä yrityksistä tunkeutua sähköyhtiöiden tietoverkkoihin (Rummukainen ym., 2023). Tahallisen vahingonteon, kuten sabotaasin ja terrorismin, torjunta on haastavaa, koska mahdollisia kohteita on niin suuri määrä (Etelä-Suomen aluehallintovirasto, 2023).

Sähkömarkkina- ja jakeluverkon haltijoille on asetettu niiden toimintaa koskevat laatuvaatimukset, joissa määritellään verkon käyttäjille aiheutuvan sähköjakelun keskeytysten maksimipituudet tilanteissa, joissa katko johtuu sääolosuhteista: asemakaava-alueella katko saa myrskyn tai lumikuorman seurauksena olla pisimmällään 6 tuntia ja muilla alueilla 36 tuntia (Sähkömarkkinalaki 588/2013, § 51). Laatuvaatimusten täyttämiseksi on siirtymäaika. Vakavampia sähköverkon häiriöitä voi muodostua kuitenkin sääolosuhteiden lisäksi muiden aiemmin mainittujen syiden vuoksi. Sähkösaanti voi vaarantua yksittäisestä syystä tai häiriöitä voi kasaantua useita samaan aikaan. Häiriöstä muodostuu vakava suurihäiriö, kun se koskee maantieteellisesti laajaa aluetta, vaarantaa sähköjärjestelmän vakauden tai sähköjärjestelmä jopa romahtaa (Sisäministeriö, 2023, s. 54). Vaikutukset kohdistuvat tällöin hyvin usealle toimialalle ja pahenevat häiriön keston pitkeytyessä.

Uudenmaan alueellisessa riskiarviossa (Etelä-Suomen aluehallintovirasto, 2023) on arvioitu kanta- ja jakeluverkon suurihäiriöiden todennäköisyyttä ja kestoja. Yleisesti riskiarviossa voimahuollon häiriöiden todennäköisyys on arvioitu toiseksi korkeimmalle tasolle viisiportaisella asteikolla. Kantaverkon toimitushäiriöissä laajan sähkökatkon pituudeksi on arvioitu 2–12 tuntia, mutta jakeluverkkoyhtiöiden osalta viankorjaus voi tällaisissa tilanteissa venyä vuorokausiksi tai jopa viikoiksi. Kantaverkon osalta suurin riskitilanne syntyy, jos kaksi suurta häiriötä tapahtuu samaan aikaan huippukulutuksen aikana. Huomioitavaa on, että

kantaverkon häiriö voi tapahtua Uudenmaan ulkopuolella ja aiheuttaa silti laajoja ja pitkään kestäviä häiriöitä sähkön saatavuuteen Uudellamaalla, sillä sähköä siirretään pitkiä matkoja Pohjois-Suomesta kulutuskeskittymiin Etelä-Suomeen (Fingrid, 2023, s. 122). Etelä-Suomea koskeva merkittävä havainto onkin, että sähkökatkon ollessa erittäin vakava ja koko maan laajuinen, olisi sen kesto todennäköisesti pisin eteläisessä Suomessa (Etelä-Suomen aluehallintovirasto, 2023). Jakeluverkon häiriöt johtuvat selvästi useimmin sääoloista, mutta esimerkiksi myrskytilanteessa vikoja voi kertyä samanaikaisesti paljon ja korjaamisessa kestää pitkiäkin aikoja, jolloin asiakkaiden kriittisyysjärjestys on oleellisessa roolissa (Etelä-Suomen aluehallintovirasto, 2023). Maailmalla pisimmät sähkökatkot ovat johtuneet sähköverkkoyhtiöiden mukaan myrskyistä, inhimillisistä virheistä tai onnettomuuksista.

Sähköinen bussiliikenne ja liikenteen laaja sähköistyminen vaikuttavat huoltovarmuuteen merkittävästi, sillä tieliikenteen sähköistymisen arvioidaan olevan suurin varmuusvarastointiin vaikuttava tekijä lähivuosikymmeninä (Sipilä ym., 2021, s. 56). Tämä johtuu polttoaineiden käyttömäärien vähenemisestä, mikä vastaavasti laskee varmuusvarastojen polttoainemääriä. Valtion varmuusvarastoitavan polttoaineen määrä perustuu nykyisin keskimääräiseen 5 kuukauden kulutukseen (maahantuoja vastaa kahdesta kuukaudesta), mutta tilanteen korjaamiseksi varastointivelvoitteen määrittävää aikajaksoa voidaan kasvattaa tarpeen mukaan, jolloin varmuusvarastossa säilyisi sama määrä polttoainetta kuin nykyisin, mutta kriisitilanteessa se riittäisi pidempään (Sipilä ym., 2021, s. 67). Varastointivelvoite koskee tällä hetkellä ainoastaan fossiilisia polttoaineita. Vaihtoehtoisten polttoaineiden varastointikapasiteettia ei joko ole vielä olemassa tai varastointi on vaikeaa, mikä haastaa perinteistä varmuusvarastointia (Sisäministeriö, 2023, s. 57). Tämä tekee uusiutuvalla polttoaineella toimivasta joukkoliikenteestä haavoittuvampaa. Ennustetaankin, että liikenteen huoltovarmuuden turvaamisessa on sähkön myötä entistä tärkeämpää huolehtia sähköjärjestelmien toimivuudesta sen sijaan, että keskityttäisiin varastoimaan polttoainetta (Sipilä ym., 2021, s. 72).

Sähköbussien uhkaksi huoltovarmuuden kannalta on tunnistettu kalustolle soveltuvan varapolttoaineen puute (Sipilä ym., 2021, s. 33), sillä sähköbussi tarvitsee toimiakseen nimenomaan sähköä, eikä tätä toistaiseksi pystytä kiertämään. Dieselbussi kulkee helposti varastoitavalla öljytuotteella, ja sama kalusto toimii sekä fossiilisella että uusiutuvalla dieselillä. Kaasubussiin taas voidaan tankata sekä maa- että biokaasua. Uusiutuvaa dieseliä tai biokaasua käyttäessä häiriötilanteissa on mahdollista vaihtaa fossiiliseen polttoaineeseen, mutta sähkön tapauksessa tämä ei onnistu. On toki huomioitava, että sähkönsaannin häiriöillä on vaikutusta myös polttoainejakeluun tankkausjärjestelmien sähköriippuvuuden vuoksi, joten pitkissä ja laajoissa sähkökatkoissa myös dieseliä ja muita tankattavia

polttoaineita käyttävä joukkoliikenne voi olla vaikeuksissa (mm. Etelä-Suomen aluehallintovirasto, 2023).

Sähköbussien huoltovarmuuteen liittyviä uhkakuvia ovat sähkönjakeluun liittyvien tekijöiden lisäksi esimerkiksi luottamuksen puute uuteen teknologiaan, rajoitettu operointisäde, latausasemien vikaantumiset sekä mahdolliset laajemmat sähköntuotannon ongelmat (Kohonen, 2017, ss. 76–77). Rajattu operointisäde on huoltovarmuuden kannalta haaste päivittäisen tavanomaisen operoinnin lisäksi väestön siirtämistä ajatellen, sillä esimerkiksi valmiuslaissa edellytetään, että linja-autokalustoa tarpeen mukaan osoitetaan käytettäväksi väestön siirtämiseen esimerkiksi evakuointitilanteissa. Sähköbussi ei sovellu tällaiseen käyttöön pidemmille matkoille (Lehtinen ym., 2017, s. 39). Lyhyen matkan onnettomuusevakuoinneissa esimerkiksi vaarallisten aineiden vuotojen tai onnettomuuksien vuoksi sähkökalusto voi toimia. Liikennöitsijät totesivat haastatteluissa, että evakuointikuljetusten mahdollisuudet myös melko lyhyitä matkoja ajatellen riippuvat siitä, mihin kohtaan päivää tarve osuu: ovatko akut täynnä vai päivän päätteeksi jo tyhjentyneet? Joka tapauksessa linja-autojen latauskapasiteetin tarve on hyvin suuri, ja latausinfrastruktuurin tarjonnan oltava tiuha ja tehokas, jotta sähköbussista olisi hyötyä mahdollisissa evakuointitilanteissa.

Haastateltujen liikennöitsijöiden mukaan sähkönsaannin kanssa ei ole ollut varikoilla ongelmia sähköverkosta johtuvista syistä lukuun ottamatta yhtä kokemusta taajuushäiriöstä, jonka vuoksi latauslaitteet olivat olleet suojauksen kytketymisen vuoksi pois käytöstä noin tunnin ajan ennen kuin tilanne oli korjattu. Seuraavassa on käsitelty lyhyesti kolmen erilaajuisen häiriötilanteen vaikutuksia HSL:n toiminnalle ja liikenteen tarjonnalle tilanteessa, jossa valtaosa bussikalustosta on täyssähköbussia. Vaikutusten tarkastelun avulla voidaan hahmottaa erilaisten riskienhallinnan keinojen tarvetta, mikä on hyödyksi seuraavissa luvuissa. Skenaarioissa ei ole huomioitu seuraavissa luvuissa käsiteltyjä varautumiskeinoja. Tarkasteluja tehdään lyhyehköstä alle vuorokauden mittaisesta häiriöstä rajatulla tai laajalla alueella sekä pidemmästä yli vuorokauden mittaisesta häiriöstä rajatulla tai laajalla alueella. Lyhyet parin tunnin mittaiset häiriöt ovat todennäköisimpiä (esim. myrskyt ja suunnitellut huollot), mutta niissä vaikutus riippuu olennaisesti häiriön ajoittumisesta vuorokauden tunneille. Lyhytkin häiriö voi johtaa liikenteen supistuksiin. Pidemmissä häiriöissä tilanne johtaa nykytilanteessa väistämättä liikenteen supistuksiin ja lopulta koko liikenteen keskeyttämiseen. Ennakkoon tiedettyihin lyhyisiin häiriöihin voidaan myös varautua suunnittelemalla toimintaa tilapäisesti eri tavalla kuin tavallisesti.

4.2 Alle vuorokauden mittainen häiriö

Alle vuorokauden mittainen häiriö tarkoittaa tunneissa mitattavia sähkökatkoja. Tällöin latauslaitteet voivat olla pois käytöstä rajatulla tai laajalla alueella. Rajattu alue on esimerkiksi vain yhden tai muutamien varikoiden olo pois käytöstä, tai käytönaikaisten latauslaitteiden osalta kokonaisen linjan, sen osan tai terminaalin laitteiden olo pois käytöstä. Laajan alueen häiriössä selvästi useampi varikko ja/tai pikalatauslaitteet ovat pois käytöstä. Lyhyet sähkökatkot ja muut vikatilanteet ovat kaikista yleisimpiä, mutta nekin pääkaupunkiseudun varikkoympäristöissä harvinaisia. Vaikka esimerkiksi myrskyjä ja niiden aiheuttamia sähkökatkoja esiintyy vuosittain, sijaitsevat varikot pääsääntöisesti HSL-alueella kaupunkirakenteen sisällä maakaapeleiden päässä.

Liikennöitsijöiden mukaan lyhyiden häiriöiden aiheuttamien vaikutusten osalta kaikista merkittävintä on sähkökatkon sijoittuminen vuorokauden sisällä. Osuuko sähkökatko aikaan, jolloin kalustoa on latauksessa vai aikaan, jolloin kalustosta valtaosa on liikennöimässä? Latauksen ajalle osuva sähkökatko aiheuttaa aina ongelmia, sillä kaluston liikennöintipäivät on suunniteltu autokohtaisesti sen perusteella, missä, mihin aikaan ja kuinka kauan bussi on ladattavana.

Lähtökohtaisesti haastavin ajankohta sähkökatkoille on yö. Jos varikkoon vaikuttava sähkökatko osuu yöaikaan esimerkiksi klo 23–06 välille, on tällöin lähes koko sähkökalusto varikolla latauksessa. Vaikutukset riippuvat katkon kestosta. Liikennöitsijöiden mukaan jo muutaman tunnin sähkökatko yöaikaan sekoittaa seuraavan päivän liikenteen, eikä liikennettä voida ajaa tavalliseen tapaan suunnittelun mukaisesti, sillä kalustoa ei saada ladattua suunnitellusti aamuun mennessä täyteen saakka. Lyhyen katkon vaikutusten suuruus riippuu myös laturien tehosta: tehokkailla latureilla akkukapasiteetti saatetaan saada täytettyä katkosta huolimatta. Jos kaluston yötauon aikana sähköt ovat poikki esimerkiksi kuuden tunnin ajan, johtaa se suuriin häiriöihin seuraavan päivän liikennöinnissä. Normaaliin liikenteeseen voidaan palata sen jälkeen, kun katkon jälkeen kaluston akut on saatu ladattua ja liikennöinti taas vaiheittain käynnistettyä. Käytönaikaiseen lataukseen yöajan häiriöt vaikuttavat vähemmän, sillä yöllä liikennettä on vähemmän.

Päiväsaikaan sekä rajatun että laajan alueen häiriö todennäköisesti vaikuttaa vain vähäisesti. Kalustolle, jolle yönaikainen lataus varikolla on riittävää, liikennöintiajalle osuva häiriö ei todennäköisesti aiheuta vaikutuksia. Jos osa kalustosta käy varikolla päivän aikana latauksessa, tätä kalustoa ei tällöin pystytä lataamaan, ja tilanne vaikuttaa loppupäivän liikennöintimahdollisuuksiin. Käytönaikaista latausta kapasiteetin tukena hyödyntävälle

kalustolle haasteita toi tulla, jos terminaalien ja päätepysäkkien latauslaitteita on pois käytöstä. Tällöin kaluston kantama tulee aikaisemmin vastaan. Kantamaan liittyen vaikutusta on myös vuodenajalla johtuen sähkönkulutuksen eroista. Talviaikaan osuva häiriö vaikuttaa lähtökohtaisesti ainakin hieman enemmän, sillä kalusto kuluttaa tällöin enemmän sähköä.

Lyhyitä toistuvia sähkökatkoja voi aiheuttaa myös sähköpula, jolloin paikalliset jakeluverkonhaltijat joutuvat kytkemään sähkönkulutusta irti. Toimintoja voidaan rajata sähkökatkojen ulkopuolelle, jos ne ovat kriittisiä ja vaarantuvat ilman sähköä. Sähköpulatilanteet ovat käytännössä lyhyitä parin tunnin sähkökatkoja, jotka toistuvat tietyillä alueilla tiettyinä aikoina. Jos sähköpulasta tai esimerkiksi huoltotöistä johtuvat sähkökatkot koskevat varikkoja, on niillä vaikutusta liikennöintiin. Tilanteisiin voidaan varautua ennalta suunnittelemalla tarpeen mukaan kaluston päiväohjelma poikkeavalla tavalla tai esimerkiksi vähentämällä kalustoa hallitusti linjoilta.

Häiriön paikallisuudella tai laajuudella liikennöitsijät näkevät olevan lähinnä vaikutusta siihen, miten suurta osuutta kalustosta häiriö koskee ja korjauksen keston. Paikalliset häiriöt luonnollisesti vaikuttavat vain esimerkiksi yhtä varikkoa käyttävien linjojen liikennöintiin joko jonkin aikaa kokonaan estävästi tai vuoroväliä harventaen. Laajemmat häiriöt taas vaikuttavat vastaavasti, mutta sitä useammalla linjalla, mitä useampaa varikkoa häiriö koskee. Laajan alueen häiriössä myös korjattavaa on enemmän, jolloin osa latauskapasiteetista joutuu odottamaan korjausta pidempään.

Haastatellut liikennöitsijät huomauttivat, että sähkökatkon jälkeinen palautuminen ottaa aikansa. Latauksen estäneen katkon jälkeen liikenne pystytään käynnistämään vasta sen jälkeen, kun akut on ladattu täyteen. Jos sähköt katkeavat yöllä ja palautuvat parin tunnin päästä, eivät sammuneet laitteet aina palaudu itsestään päälle. Häiriötilanteiden jälkeen osaavan henkilön tulee olla paikalla käynnistämässä lataukset uudestaan tai vähintään varmistamassa latauksen toimivuus. Sähköjen yhtäkkiset verkon sähkönjakelusta johtuvat useat peräkkäiset katkeamiset ja uudelleen päälle kytketyt voivat myös aiheuttaa latauslaitteissa ja muuntamoissa vikatiloja, joiden korjaaminen voi pidentää häiriöiden kestoja.

4.3 Yli vuorokauden mittainen häiriö rajatulla alueella

Yli vuorokauden mittaisessa häiriössä latauslaitteet sekä varikoilla että linjojen varsilla ovat pois käytöstä niin pitkän aikaa, että tilanne johtaa nykytilanteessa väistämättä liikenteen supistuksiin. Vaikutukset kasvavat häiriön pidentyessä, ja erittäin rajatunkin alueen häiriö

vaikuttaa pitkissä häiriötilanteissa välillisesti koko järjestelmään. Rajatun alueen häiriön ensisijaiset vaikutukset kohdistuvat ainoastaan tiettyihin yhteen tai muutamaankin varikkoon ja/tai linjaan.

Pitkät sähköverkon yhtäjaksoiset häiriöt ovat erittäin harvinaisia. Riippumatta häiriön alkamisen ajankohdasta, estää se joka tapauksessa kaluston latauksen suunniteltuina latausaikoina. Rajatun alueen häiriöissä vaikutukset riippuvat häiriön sijainnista. Vaikutukset voivat rajoittua esimerkiksi vain muutamille linjoille. Toisaalta suuren varikon sähköttömyys voi rampauttaa liikenteen usealla linjalla. Yöllä alkava häiriö voi jatkuessaan estää koko seuraavan päivän liikennöinnin, jos kalustoa ei voida ladata varikolla riittävästi. Jos sähkö palautuu päivän aikana, on kalustoa mahdollista jälleen ladata, ja latauksen jälkeen palauttaa kalustoa liikennöimään päivän mittaan. Jos sähkö ei palaudu seuraavaan yöhön mennessä, siirtyvät vaikutukset myös aina siitä seuraavan päivän liikennöintiin.

Supistettavan liikenteen määrä kasvaa häiriön pidentyessä, mutta käytännössä selvästi alle vuorokauden mittainenkin häiriö riittää siihen, että sähköbussiliikenne voi keskeytyä kokonaan häiriön vaikutusalueella, kunnes kalustoa saadaan taas ladattua. Jos pitkäaikainen häiriö kohdistuu esimerkiksi yhdelle varikolle ja tältä varikolta liikennöidään korkealle priorisoitua liikennettä, voi tätä olla tarpeen korvata muiden varikoiden kalustolla tai pyrkiä lataamaan kalustoa muilla varikoilla, joilla lataaminen on mahdollista. Tällöin hyvin rajatun alueen häiriö voi vaikuttaa välillisesti myös laajemmin, jos liikennettä joudutaan supistamaan myös sellaisilla linjoilla, joiden käyttämällä varikolla lataus on mahdollista.

4.4 Yli vuorokauden mittainen pitkittynyt häiriö erittäin laajalla alueella

Huonoimmassa ja erittäin harvinaisessa tapauksessa kaikki latauslaitteet olisivat pois käytöstä pitkän ajan lähes koko tai jopa koko HSL-alueella. Käytössä olisi mahdollisesti vain muutamia varikoita. Laajan alueen pitkä häiriö johtaa väistämättä liikenteen erittäin laajoihin supistuksiin: sähkökaluston määrästä riippuu, kuinka suuri osa liikenteestä on pois käytöstä. Käytännössä pitkä häiriö johtaa sähköbussiliikenteen lakkauttamiseen erittäin laajassa häiriössä jopa koko HSL-alueen laajuudelta. Jos varikoita on käytössä, mahdollisesti joitain tärkeimpiä linjoja voidaan ajaa riippuen toimivien varikkojen sijainneista ja niiden latauskapasiteetista. Häiriön pitkittyessä on tarpeen priorisoida ja arvioida sitä, mitä linjoja käytössä olevilta varikoilta laajassa poikkeustilanteessa voitaisiin liikennöidä. Niin kauan, kun dieselkalustoa on käytössä, voidaan vakavissa häiriötilanteissa sitä siirtää tärkeimmiksi arvioiduille linjoille korvaamaan sähkökalustoa.

Laajan alueen pitkät sähkön jakeluhäiriöt ovat erittäin harvinaisia, mutta toteutuessaan vakava sähkösaannin häiriö tarkoittaa merkittäviä vaikutuksia koko yhteiskunnan toiminnalle. Tällöin bussiliikenteen rooli on normaalista tilanteesta poikkeava. Isommissa kriisitilanteissa on usein myös sähköpula, jolloin sähkön käyttöä varataan kaikista tärkeimmille toiminnoille. Esimerkiksi häiriön kohdistuessa koko pääkaupunkiseutuun, vähää sähköä halutaan erittäin todennäköisesti ohjata busseilla operoitavan joukkoliikenteen sijasta muihin toimintoihin. Vakavien sähkösaannin keskeyttävien tilanteiden yhteydessä tai niiden uhatessa tuleekin tarve tehdä valintoja, miten merkittävänä toimintona kaupunkien joukkoliikenne nähdään. Lähtökohtaisesti runkolinjoina toimiva raideliikenne nähdään bussiliikennettä kriittisemmäksi. Pitkittyneissä häiriöissä tarve evakuoitukuljetuksille voi myös kasvaa, mutta sähköbussikaluston käyttö näihin on erittäin haastavaa.

Jos joukkoliikennettä ei pystytä lainkaan liikennöimään, vaikutus esimerkiksi kansalaisten terveyteen ei ole suora, mutta voi muodostua välillisesti kriittiseksi. Myös vakavissa häiriötilanteissa ja poikkeusoloissa kriittisen henkilöstön tulee päästä työpaikoilleen esimerkiksi sairaaloihin, minkä mahdollistamisessa joukkoliikenteellä on merkitystä. Asia tunnistettiin esimerkiksi koronaviruspandemian aikana, jolloin valtioneuvosto linjasi joukkoliikenteen operoinnin kriittiseksi alaksi (Valtioneuvosto, 2020). Esimerkiksi työmatkaliikenteen turvaaminen pääkaupunkiseudulla on määritelty tavoiteltavaksi valtioneuvoston päätöksessä huoltovarmuuden tavoitteista (1048/2018).

5 Riskien hallintakeinot

Luvussa käsitellään mahdollisia riskien hallintakeinoja, eli käydään läpi tapoja, joilla HSL ja bussiliikennöitsijät varautuvat tai voisivat varautua mahdollisiin sähkösaannin häiriötilanteisiin. Sähköllä toimivaan kalustoon perustuvan liikenteen turvaaminen kriisitilanteissa, joissa sähköä ei ole saatavilla, on todettu useissa selvityksissä haasteelliseksi (esim. Sipilä ym., 2021, s. 73). Luvussa käsitellään sekä toimivia tapoja että sellaisia, joiden toteuttaminen on mahdollisesti epärealistista nykytilanteessa. Riskien hallintakeinoja ovat hallinnolliset varautumistavat, kuten valmiussuunnittelu, varikoihin ja latauslaitteisiin liittyvät tavat, kalustovaihtoehdot sekä energian varastointi ja muut

teknisemmät ratkaisut. Koska sähköverkko ja sen luotettava toimivuus ovat sähköbussiliikenteen perusedellytys, käsitellään tätäkin näkökulmaa luvun lopussa.

5.1 Hallinnolliset varautumistavat

Sähkösaannin häiriöiden hallinnollisia varautumistapoja ovat muiden muassa hallinnointiin ja jatkuvuudenhallintaan liittyvät johtamisjärjestelyt, harjoittelu sekä valmiussuunnitelmien laatiminen, ja HSL:n keinona lisäksi sopimusjärjestelyihin liittyvät seikat. Näillä luodaan pohja varautumiselle. Toimintaa koskevien uhkien tunnistaminen on edellytys sille, että erilaisia varautumistapoja pystytään suunnittelemaan. Jos uhkia ei ole tunnistettu, on niihin varautuminen mahdotonta. Toimijoilla voi olla erilaisia valmius- ja varautumissuunnitelmia, joilla ennakoidaan mahdollisia toimintaan vaikuttavia häiriötilanteita, jotka voivat olla sähkökatkojen lisäksi esimerkiksi erilaisia toimialaan liittyviä muita turvallisuusuhkia tai muita tilanteita. Jatkuvuudenhallintaan kuuluvat uhkien tunnistamisen lisäksi esimerkiksi uhkien vaikutusten arviointi ja häiriötilanteiden varalle menettelytapojen suunnittelu ja organisointi (Huoltovarmuuskeskus, n.d.-d).

5.1.1 Valmiussuunnittelu ja harjoittelu

Valmiussuunnitelman laadinnasta ilmailussa, raideliikenteessä ja tieliikenteessä on annettu määräys (Traficom, 2020), jonka mukaisesti tieliikenteen toimijoiden tulisi toteuttaa valmiussuunnittelunsa ja laatia dokumentoitu valmiussuunnitelma. Valmiussuunnittelun lähtökohtana on määritellä kirjallisesti ne toiminnot, jotka ovat toiminnan kannalta kriittisiä, ja jotka varaudutaan ylläpitämään myös poikkeustilanteissa. Toiminnot jaotellaan tavoitetasoille, joilla kuvataan, mitkä toiminnoista varaudutaan turvaamaan eri tasoissa häiriötilanteissa. Varautuminen perustuu aina riskiarvioon, eli toimintaan liittyvät uhkat ja riskit tulee tunnistaa, jotta niitä voidaan ennakoida. Esimerkiksi HSL:n liikennöitsijöiden tapauksessa sähkösaannin häiriöiden tulisi olla mukana valmiussuunnittelussa varikon toimintojen ja sähköbussiliikenteen toiminnan varmistamisen näkökulmista. Uhkiin ja riskeihin varaudutaan toimenpiteillä, jotka tulee listata valmiussuunnitelmaan. Varautumisen vastuut tulee olla kirjattuna ylös. Myös kriittiset kumppanit, palveluntuottajat ja alihankkijat on tunnistettava, eli esimerkiksi sähkön jakeluverkon haltijat, ja kuvattava yhteistyötä muiden toimijoiden kanssa. Valmiussuunnitelma ei valmistu kerralla, vaan kriittisiä toimintoja ja niihin kohdistuvia uhkia on tarkasteltava ja arvioitava säännöllisesti niin, että uusiinkin uhkiin pystytään varautumaan. Tämän arvioinnin toteutus on kuvattava valmiussuunnitelmassa. Määräyksessä mainitaan, että sähkökatkoon varautumisen tapa voi olla esimerkiksi

varavoiman tai muiden keinojen käytön sijasta varautuminen toiminnan keskeyttämiseen hallitusti. Toimija itse määrittelee, mihin saakka operointia on mahdollista jatkaa häiriötilanteissa. Valmiussuunnittelua siis on myös tunnistaa, että uhkan toteutuessa toiminta joudutaan ajamaan alas, jos keinoja jatkaa ei ole käytössä. (Traficom, 2020) Valmiussuunnittelu koskee koko yritystä kokonaisuudessaan, ja sähkönkäyttöön liittyvät riskit ovat vain osa valmiussuunnittelun kokonaisuutta.

Valmiussuunnitelman toimintaa tulisi testata harjoittelemalla häiriötilanteita ja poikkeusoloja. Koulutukset ja harjoitukset on huomioitava valmiussuunnitelmassa ja kuvattava, miten varautumiseen liittyvä henkilöstö koulutetaan velvoitteisiinsa ja varautumisosaamista kehitetään. (Traficom, 2020) Harjoitukset voivat olla työpöytäharjoituksia, jolloin erilaisia tilanteita harjoitellaan ns. työpöydän ääressä teoreettisesti, tai toimintaharjoituksia, jolloin harjoitellaan käytännön toimintaa. Haastateltujen toimijoiden tunnistama haaste valmiussuunnittelussa on, että erilaiset varautumiseen liittyvät suunnitelmat ja toimintaohjeet jäävät helposti hallinnollisiksi asiakirjoiksi, joiden hyöty todellisessa häiriötilanteessa on vajavaista, jos toimintatapoja ei harjoitella. Harjoittelu vie aika-, henkilö- ja kustannusresursseja, joiden käyttöä peilataan häiriötilanteiden todennäköisyyteen. Häiriötilanteita voi myös olla hyvin erilaisia, jolloin harjoitellut tilanteet eivät välttämättä täsmää todelliseen tilanteeseen. Sähkönjakelun häiriötilanteisiin liittyvää harjoittelua tehdään myös laajoina useiden toimijoiden yhteistyönä toteutettavina yhteistoiminnan harjoituksina, kuten esimerkiksi vuonna 2022 pääkaupunkiseudulla toteutetussa RESPA 22-harjoituksessa (Huoltovarmuuskeskus, 2022).

Hallinnollisia varautumistapoja on noudatettu jo dieselbussiliikenteen aikana, mutta tieliikenteen toimijoiden tulisi huomioida sähkönkäytön tuomat erityispiirteet valmiussuunnittelussaan. Sähköbussiliikenteen kriisivalmius ja varautuminen poikkeavat dieselbussiliikenteestä. Haastattelujen perusteella varautumisessa on jonkin verran hajontaa yritysten kesken. Traficomın vaatima valmiussuunnitelma on laadittu osassa yrityksistä, ja sähkökaluston mukana olossa on vaihtelua. Yleisesti liikennöitsijät tunnistivat, että häiriötilanteita varten on olemassa toimintasuunnitelmia, ja riskiarviointeja on tehty. Liikennöitsijät nostivat esille myös, että tavanomaisten häiriöiden hallinta ei eroa diesel- ja sähkökaluston kesken, mutta sähkökalustoon liittyy omia haasteitaan. Esimerkiksi liiketoimintaan liittyvien riskien ja henkilöriskien hallinnan osalta tilanne on sama riippumatta siitä, millaista kalustoa on käytössä, ja sähköön liittyvä riskikokonaisuus on vain osa koko yrityksen valmiussuunnittelua. Osa liikennöitsijöistä on laatinut suunnitelmia tilanteille, jossa esimerkiksi puolet varikon latauslaitteistosta ei toimi, mutta yhdelläkään toimijalla ei ole

suunnitelmaa tilanteelle, jossa koko varikko on sähköttä. Laaja sähkökatko tunnistetaan liikennöitsijöiden keskuudessa force majeure -tilanteeksi.

Liikennöitsijöiden lisäksi HSL:n tulee liikenteen tilaajana varautua häiriötilanteisiin valmiussuunnittelulla. HSL:llä on käytössään valmiussuunnitelma, jossa kuvataan HSL:n ja sen sidosryhmien hallinnollisia järjestelyjä ja varautumisen koordinoitua sekä lyhyesti yhteiskunnan turvallisuusstrategian uhkamallien huomioon ottamista HSL:n varautumisessa. Suunnitelma keskittyy varautumiseen hallinnollisesta näkökulmasta. HSL:ltä saadun tiedon mukaan tavoitteena on päivittää valmiussuunnitelma vastaamaan nykyisen toimintaympäristön tilannetta. Suunnitelmissa tulisi kuvata liikenteen supistamisen periaatteet ja priorisoitavat linjat tilanteissa, joissa liikennettä joudutaan karsimaan sähkökaluston riittämättömyyden takia. Liikennöitsijät näkivät haastatteluissa merkittäväksi, että nimenomaan HSL huolehtii liikenteen tilaajana linjojen priorisoinnista ja vuorotarjonnan supistamissuunnitelmista häiriötilanteita varten. HSL:llä on laadittuna liikenteen supistamissuunnitelmia, mutta käytännössä näiden toimintavarmuuden on todettu olevan tositilanteessa epävarmaa. Haaste supistamisen periaatteiden suunnittelussa on, että häiriötilanteet ovat aina uniikkeja. HSL-alueella liikennöi yli tuhat bussia lähes 300 linjalla. Häiriötilanteissa liikennöintiin vaikuttavat vähintään häiriön sijainti, laajuus ja kesto, ja mahdollisuudet liikennöintiin ovat erilaiset jokaisessa tilanteessa. Tarkkojen suunnitelmien laatiminen on siis erittäin vaikeaa, ja käytännössä häiriötilanteissa tulee joka kerta tehdä valintoja ja päätöksiä, jotka ovat ominaisia juuri kyseiselle tilanteelle.

5.1.2 Yhteistyö

Hallinnollisiin varautumistapoihin voidaan laskea myös eri toimijoiden välinen yhteistyö, joka mahdollistaa tiedonjaon ja toiminnan yhteensovittamisen. Esimerkiksi Huoltovarmuusorganisaatiossa yhteistyötä varautumisen kannalta tehdään erilaisissa sektoreissa ja pooleissa, jotka kokoavat eri alojen toimijoita suunnittelemaan huoltovarmuutta (Huoltovarmuuskeskus, n.d.-c). HSL:n ja liikennöitsijöiden onkin tärkeää osallistua kaikkeen huoltovarmuuskentällä tapahtuvaan alueelliseen yhteistyöhön ja harjoituksiin. Huomioitava on myös HSL:n ja liikennöitsijöiden keskinäinen yhteistyö. Yhteiskunnan turvallisuusstrategiassa yhteistyöhön liittyen todetaan, että varautumiseen liittyvä tieto tulisi pystyä pitämään mahdollisimman avoimena, mutta huomioida tiedonjakamisen laajuus niiden tietojen osalta, jotka voivat aiheuttaa turvallisuusuhkia liian laajasti levinneinä (Turvallisuuskomitea, 2017, s. 10).

Sähköverkkoyhtiöiden näkökulmasta liikenteen varikot ovat suuria sähkökäyttökohteita. Yhtiöt pitävät sähkökäyttöpaikkojen kanssa mielellään tapaamisia, joissa keskustellaan esimerkiksi sähköverkosta yleisesti, riskien todennäköisyyksistä ja asiakkaiden toimenpiteistä. Vaikka HSL ei varikoiden osalta vastaakaan sähkökäyttösopimuksista, yhteistyön näkökulmasta voisi olla hyödyllistä istuutua HSL:n ja sähköverkkoyhtiöiden edustajien kanssa tapaamiseen, jossa käytäisiin läpi esimerkiksi HSL:n näkökulmasta kriittisiä sähkökäyttöpaikkoja. Haasteena on, että liikennöitsijät ovat sähköverkkoyhtiöiden varsinaisia asiakkaita varikoilla, jolloin tarvitaan valtuutuksia asioiden käsittelemiseksi. Samoin tapaamiset liikennöitsijöiden ja sähköverkkoyhtiöiden kesken olisivat hyödyllisiä, jolloin keskustelua on mahdollista käydä tarkemmalla tasolla liittyen yksittäisiin varikkosijainteihin. Joukkoliikenteen sähköistyminen, sen vaikutukset sähköverkkoon ja varautumisnäkökulma voisivat olla hedelmällinen lähtökohta tapaamiselle. Voisi olla myös hyödyllistä sähkökaluston osuuden kasvaessa, jos sähköverkkoyhtiöiden sähkökatkoihin liittyvät tiedotteita pystyttäisiin toimittamaan suoraan HSL:lle. Katkoviestit toimitetaan liittymien omistajille eli liikennöitsijöille, joten tämä vaatisi erillisiä järjestelyjä sähköyhtiöiden kanssa.

5.1.3 Vaatimukset ja velvoitteet sopimuksissa

HSL:n on mahdollista asettaa sopimuksiinsa erilaisia vaatimuksia ja velvoitteita, jotka liikennöitsijän tulee täyttää, jotta toiminnan jatkuvuutta voidaan turvata sopimukseen perustuvissa palveluissa. HSL:n kilpailutus- ja sopimusasiakirjojen kirjaukset ovatkin merkittävä instrumentti, jolla HSL vaikuttaa operointiin. HSL:n sopimusasiakirjoissa asetetaan ehtoja esimerkiksi käytettävälle kalustolle, ICT-järjestelmille ja erilaisille sanktioille. Asetetut vaatimukset liikenteen toimintavarmuudelle ovat korkeat. Sähköbussiliikenteen toimintavarmuuden kannalta vaatimuksia voi asettaa esimerkiksi kaluston operointisäteestä, latausajasta ja käytettävästä latausjärjestelmästä. Käytännössä esimerkiksi minimisuoritetta voi kuitenkin olla kilometreissä mitattuna vaikea vaatia, sillä operointisäteeseen vaikuttaa esimerkiksi säätila, johon liikennöitsijä ei voi vaikuttaa. Kirjaukset velvollisuudesta liikennöitsijöiden väliseen yhteistyöhön sähkönsaannin häiriötilanteissa voivat mahdollistaa kaluston lataamisen ristiin eri liikennöitsijöiden varikoilla tilanteissa, joissa varikoita on pois käytöstä.

Valmiussuunnitteluun, yhteistyöhön sekä asetettuihin vaatimuksiin liittyen HSL:n ja liikennöitsijöiden yhteistyö varautumisasioissa tulee sitä kannatettavammaksi mitä suurempi osa kalustosta on sähkökäyttöisiä. HSL voisi myös vaatia varautumisen tehostamiseksi ja valvomiseksi, että liikennöitsijöiden tulisi luovuttaa valmiussuunnitelmansa HSL:n tiedoksi, tai

muutoin valvoa liikennöitsijöiden valmiussuunnittelua. Traficom ei vaadi valmiussuunnitelmien toimittamista Traficomille, vaan valvonta tapahtuu satunnaisesti: yritysten täytyy pyynnöstä toimittaa valmiussuunnitelma Traficomille sen vaatimustenmukaisuuden tarkistukseen (Traficom, 2020). Tällaisista valvontamekanismeista HSL:n ja liikennöitsijöiden välillä tulisi sopia jo kilpailutuksissa ja sopimusten laadintavaiheessa. HSL:n voisikin olla hyvä tarkastella sopimusasiakirjoja toimintavarmuuden näkökulmasta, ja arvioida, onko sitä vahvistaville vaatimuksille ja kirjauksille tarvetta.

Hallinnolliset varautumistavat ovat sähköbussiliikenteen tapauksessa välttämättömiä ja toimivia tapoja varautua erilaisiin häiriötilanteisiin. Ne luovat pohjan kyvyllä ylläpitää toimintaa häiriötilanteissa ja poikkeusoloissa riippumatta liikenteen järjestämisen tavasta tai kalustotyyppistä. Valmiussuunnitelmat, harjoittelu ja yhteistyö ovat perusta liikenteen toimivuudelle häiriötilanteissa myös muissa kuin sähkökatkojen tapauksissa. Hallinnollisilla varautumistavoilla toki ei voida mahdollistaa normaalia liikennöintiä häiriötilanteissa, mutta ne mahdollistavat toiminnan priorisointia ja muiden varautumistapojen tarpeen arviointia, jotka auttavat erilaisten tilanteiden hallinnassa.

5.2 Varikot ja latauslaitteet

Sähkösaannin häiriöihin voidaan varautua myös varikoihin ja latauslaitteisiin liittyvillä toimenpiteillä. Näillä voidaan vaikuttaa sekä sähköverkosta johtuviin häiriötilanteisiin että varikolla tapahtuviin vikoihin. Liikennöitsijöiden mukaan latauslaitteistoissa on esiintynyt vikoja, sillä tekniikka on uutta ja toisaalta sähkölatauksen myötä rajapintoja on tullut lisää uusien toimijoiden ja IT-järjestelmien myötä. Myös muuntamoissa on esiintynyt vikaantumisia. Varikoita on mahdollista hajauttaa maantieteellisesti, huolehtia riittävästä latauslaitteiden määrästä ja varikon yhteyksistä sähköverkkoon sekä standardoida latauslaitteistoja.

HSL-alueella on bussiliikenteen käytössä noin 22 varikkoa, joista 15 on kolmen suurimman liikennöitsijän käytössä (HSL, 2022, s. 10). Haastattelujen mukaan Nobinalla on noin 150 sähköbussia jakautuneena kolmelle varikolle, Pohjolan liikenteellä noin 140 sähköbussia kolmella varikolla ja Helsingin Bussiliikenteellä / Koiviston Autolla 60 sähköbussia kahdella varikolla. Määrät kuvaavat syksyn 2023 tilannetta. Tulevaisuudessa sähköbussien määrät tulevat kasvamaan, jos kehitys jatkuu nykytyyppisenä, mikä vaikuttaa kaluston jakautumiseen varikoiden kesken. Liikennöitsijöiden haastattelujen mukaan sähkökalustoa on tulossa lisää jo vuoden 2024 aikana.

5.2.1 Varikoiden hajauttaminen ja latauskapasiteetin määrä

Jokaisella kolmella suurimmalla liikennöitsijällä on useampi kuin yksi varikko, jolla nykytilanteessa säilytetään sähköbussuja ja on valmius niiden lataamiseen. Varikot sijaitsevat eri puolilla pääkaupunkiseutua ja muuta HSL-aluetta, jolloin ne palvelevat kattavasti eri liikennöintikohteita. Yksi varautumiskeino onkin varikoiden määrä ja niiden hajauttaminen maantieteellisesti, jolloin sähkökatkot vaikuttavat todennäköisimmin vain rajalliseen määrään varikoita ja kalustoa. Lähtökohtaisesti varikoiden hajauttamista tehdään joka tapauksessa, sillä useampi varikkosijainti mahdollistaa liikennöinnin tehokkuuden ja vähentää siirtoajon tarvetta. Varautumisnäkökulma tulee ikään kuin kaupan päälle, eikä se ole ollut syynä sille, että useampia varikkoja on perustettu.

Useamman varikon merkitys varautumisen kannalta on lähinnä se, että tällöin paikallinen katko vaikuttaa pienempään osaan kalustosta. Käytännössä liikennöitsijöiden mukaan kalustoa ei ole normaalitilanteessa mahdollista siirtää toisille varikoille lataukseen, jos yksi tai muutama varikoista on sähköttä. Syitä tähän ovat siirtoajo ja latauskapasiteetti. Varikon epäedullinen sijainti kaukana liikennöintialueesta lisäisi siirtoajoa, mikä paitsi kuluttaa kaluston operointimatkaa myös muuttaa suunniteltuja päiväohjelmia merkittävästi. Lisäksi liikennöitsijän henkilöstö on sidottu tietyille varikoille, jolloin kaluston siirtyessä myös esimerkiksi kuljettajien tulisi siirtyä. Vaikeaksi toimintatavan tekee kuitenkin latauslaitteiston käyttökapasiteetti varikoilla, sillä busseja ladataan pääasiassa öisin, jolloin kunkin varikon kapasiteetti on jo normaalitilanteessa pitkälti käytössä (HSL, 2022, s. 24).

Latauslaitteita on mahdollista rakentaa varikolle enemmän kuin normaalitilanteessa on tarve, ja ”ylimääräiset” laitteet hyödyttävät etenkin yksittäisten laitteiden rikkoutuessa. Kokonaisia toisia varikoita korvaamaan laitteita ja sähköverkon kapasiteettia tarvittaisiin kuitenkin varalle niin paljon, ettei se ole järkevä toimintatapa. Joka tapauksessa jo ihan arkisen toimintavarmuuden vuoksi latauskapasiteettia tulisi olla varikolla jonkin verran enemmän kuin lataustarvetta (HSL, 2022, s. 24). Haastateltujen liikennöitsijöiden mukaan varikoilla oleva latauspaikkojen määrä vastaa suunnilleen varikolla olevan sähkökaluston määrää, ja jokaiselle bussille on vähintään oma latauspaikkansa. Varikolla tapahtuviin vikatilanteisiin voidaan varautua myös useammalla muuntajalla, jolloin yhden muuntajan rikkoutuminen ei pysäytä koko varikon toimintaa. Liikennöitsijöiden olisi hyvä laatia suunnitelmat, miten toimitaan, jos yhden tai useamman varikon latausinfrastruktuuri ei ole käytettävissä tai osa latauslaitteista on pois käytöstä (HSL, 2022, s. 24). Liikennöitsijöiden mukaan varikoilla onkin varauduttu useammalla muuntajalla, ja kalustoa on mahdollista siirrellä varikon sisällä latauslaitteiden välillä ja ladata vuorotellen, jos osa laitteistosta on pois käytöstä.

Liikennöitsijöiden mukaan vakavat hätätilanteet, joissa yhteiskunnan toimivuuden takia kalustoa olisi saatava millä tahansa keinolla liikkeelle esimerkiksi kaikista priorisoiduimmille linjoille, ovat yllä kerrotusta erillinen tilanne. Tällaisessa laajemmassa kriisissä, jossa normaalia liikennöintiä ei enää pyritä noudattamaan, kalustoa on toki mahdollista siirtää varikkojen välillä ja mahdollistaa näin kaikista kriittisimmän bussiliikenteen liikennöinti. Tarpeen mukaan tällaisissa tilanteissa myös lataaminen muiden liikennöitsijöiden varikoilla nähdään mahdolliseksi. Kalustoa siirtämällä ei kuitenkaan ole mahdollista varmistaa tavanomaista ajoa normaalien aikataulujen ja palvelutason mukaisena.

5.2.2 Latauslaitteiden standardisointi

Sähköbussiliikenteen toimintavarmuutta häiriötilanteissa lisää latauslaitteistojen yhteensopivuus eri kalustovalmistajien busseihin. Tällöin kalustoa pystytään lataamaan joustavasti eri varikoilla ja esimerkiksi terminaaleissa, joissa on käytönaikaiseen lataukseen soveltuvaa laitteistoa. Tämä on edellytys sille, että häiriötilanteissa on mahdollista hyödyntää yhteiskäyttöisyyttä tai HSL voi edellyttää häiriötilanteissa yhteistyötä kaluston lataamisessa. Asiassa pitää toki huomioida mainittu haaste ylläpitää normaalia liikennöintiä siirtelemällä kalustoa varikoiden välillä. HSL vaatii, että kaapelilatausratkaisut toteutetaan eurooppalaisella CCS-kaapelilla (HSL, 2021a, s. 15), mutta alueelta löytyy CCS-liittimien lisäksi myös aasialaisia GB/T-liittimiä kiinalaisvalmistajien aiemmin hankituista sähköbusseista (HSL, 2021a, s. 64).

Lehtinen ym. (2017, s. 51) suosittelee eri kaupunkien välistä standardisointia, jolloin laajemmissa kriisitilanteissa kalustoa voitaisiin ladata muidenkin joukkoliikenneviranomaisten alueella. Tällöin esimerkiksi HSL:n liikenteessä käytössä olevaa sähköbussia voitaisiin ladata Tampereella tilanteessa, jossa kalustoa joudutaan käyttämään väestön evakuointiin. Väestön evakuointitarpeiden näkökulmasta eri kaupunkien välillä olisikin tarpeen olla käytössä järjestelmät, jotka mahdollistaisivat kaluston lataamisen myös oman liikennöintialueen ulkopuolella. Toimintatapa mahdollistaa myös sähköbussikaluston toimivammat jälkimarkkinat eri kaupunkien liikenteiden kesken.

Latauslaitteiston toimintavarmuuden kannalta myös niiden häiriönsietokyky nähdään tärkeäksi. Latauslaitteet ovat sähköbusseihin liittyvää teknologiaa, joka kehittyy jatkuvasti. Latauslaitteiston olisi hyvä kestää esimerkiksi pieniä sähköverkon taajuusvaihteluista aiheutuvia häiriöitä, ja erityisesti tilanteet, joissa sähköt katkeavat ja palaavat takaisin.

5.2.3 Varikon yhteydet sähköverkkoon

Sähköverkkoyhtiöiden mukaan liikennetoimijat ovat suuria tehonkuluttajia ja toiminta on merkityksellistä yhteiskunnalle, joten varikoiden sähkönsiirron yhteydet on järjestetty tehokkaiksi. Varikot sijaitsevat sään varmuuden kannalta vahvojen verkkojen päässä. Latausasemia perustettaessa varmistetaan laskennallisesti, kestäkö verkko tulevan kulutuksen vai tarvitaanko vahvistamistoimenpiteitä. Sähköverkkoyhtiöiden näkökulmasta keino varmistaa sähköbussiliikenteen toimivuus on huolehtia verkon vahvuudesta ja häiriönsietokyvystä.

Varikon toimintavarmuuden kannalta useammat yhteydet sähköverkkoon vähentävät riskiä. Tällöin yhdessä yhteydessä tai sähköverkon osassa tapahtuva häiriö ei jätä varikkoa välttämättä kokonaan ilman sähköä. Keskijänniteverkot, joihin varikot ovat kytkettyinä, rakennetaankin rengasverkoiksi (HSL, 2022, s. 24), eli vian ilmetessä sähköä voidaan johtaa toista kautta. Rengasverkossa varikolle on kaksi syöttöjohtoa. Rengasverkon ja varikon välisen yhteyden häiriöitä varten keskijänniteverkosta voidaan rakentaa myös varayhteys varikolle (HSL, 2022, s. 24). Yhteys sähköverkon ja varikon välillä voidaan siis järjestää samalta sähkönsyöttöasemalta kahta kautta tai mahdollisesti selvitettävissä ovat myös yhteydet varikolle kahdelta eri sähkönsyöttöasemalta.

5.3 Kalusto ja käyttövoimat

Sähköbussikaluston haavoittuvuuksia on mahdollista kiertää säilyttämällä kalustossa muitakin käyttövoimia joko säännöllisessä liikenteessä tai varakalustona. Tilanteessa, jossa koko kalusto on sähköbusseja, on koko joukkoliikennejärjestelmä täysin riippuvainen sähkönsaannista. On myös hyvä huomata, että linja-autot ovat lähtökohtaisesti monissa kriisitilanteissa raideliikennettä resilientimpiä, koska ne eivät ole riippuvaisia raideinfrastruktuurista ja niillä on mahdollista liikennöidä lyhyiden sähkökatkojen aikana. Joukkoliikennejärjestelmän näkökulmasta sähkökaluston lisänä oleva muu linja-autokalusto tuo koko järjestelmään kriisinsietokykyä.

Tällä hetkellä lainsäädäntö, HSL:n tavoitteet sekä käytettävissä oleva teknologia ohjaavat HSL:n kalustokehitystä hyvin vahvasti suuntaan, jossa lähes koko kalusto on sähköbusseja. Nykyisellä kehityskululla on todennäköistä, että koko tai lähes koko kalusto sähköistyy, ellei kehitykseen haluta puuttua aktiivisesti. Erityisesti HSL:n asettamat omat tavoitteet ohjaavat tähän suuntaan, vaikka puhtaiden ajoneuvojen direktiivi mahdollistaa, että 40 % kalustosta on muita käyttövoimia (Laki ajoneuvo- ja liikennepalveluhankintojen ympäristö- ja

energiatehokkuusvaatimuksista 740/2021). HSL:n nykyisen strategian tavoitteiden eli nollapäästöisyyden täyttäminen edellyttää, että enää sopimuksiin ei hyväksytä dieselkalustoa, sillä dieselkaluston maksimi-ikä HSL:ssä on 16 vuotta. Teknologinen kehitys ja vaihtoehtoisten nollapäästöisten käyttövoimien markkinavalmius taas suuntaa kalustoa sähköbussihin lainsäädännön ja HSL:n tavoitteiden täyttämiseksi.

5.3.1 Kalusto useampaa käyttövoimaa

Koska lainsäädäntö sallii HSL:n kalustosta 40 % olevan muita kuin puhtaita ajoneuvoja, kriisivalmiutta ja huoltovarmuutta parantava tekijä on säilyttää sähkön rinnalla liikennöinnissä myös muita käyttövoimia. Tällöin liikennöinnistä ei muodostu täysin riippuvaista sähkön jatkuvasta saannista ja epävarmoista varastointitavoista. Jos sähköä ei ole saatavilla, voi muita käyttövoimia käyttävä kalusto yhä liikennöidä ja mahdollisesti korvata sähköbussija tärkeimmillä reiteillä.

Useamman käyttövoiman käyttämiselle tulisi vaateen lähteä liikenteen tilaajalta eli HSL:ltä, sillä tällä hetkellä ohjausvaikutus ja markkinatilanne suuntaa kohti sähkökalustoa. Esteenä kaluston monipuolistumiselle ovat tiukat vaatimukset liittyen esimerkiksi keski-ikään ja päästöihin, jotka ohjaavat kehitystä dieselkaluston häviämiseen. Liikennöinnissä käytettävä kalusto muokkautuu sen mukaan, mitä siltä vaaditaan, joten HSL:n kilpailutus- ja sopimusasiakirjoissaan asettamat vaatimukset ovat merkittävä instrumentti, jolla HSL voi vaikuttaa liikennöinnin toimintavarmuuteen. Käytännössä useamman käyttövoiman kalusto todennäköisesti vaatisi HSL:n omien tavoitteiden lieventämistä lykkäämällä nollapäästöistä joukkoliikennettä nykyistä tavoitevuotta 2035 myöhemmälle. Esimerkiksi alkuvaiheessa sähkökaluston lisäksi liikenteessä voisi olla fossiilisen dieselin sijaan uusiutuvaa dieseliä käyttävää kalustoa, eli nykyisenkaltaisissa dieselbussissa käytettäisiin laissa ajoneuvo- ja liikennepalveluhankintojen ympäristö- ja energiatehokkuusvaatimuksista (740/2021) ympäristöystävälliseksi määriteltä uusiutuvaa dieseliä. Osa käytössä olevasta kalustosta voi tällöin käyttää myös fossiilista dieseliä mahdollisissa häiriötilanteissa, joissa muuta ei ole saatavilla. Jos huoltovarmuusperusteella HSL alkaisi vaatia esimerkiksi 10 % kalustosta dieselbussija, 10–15 vuoden päästä tilanne olisi saavutettu kaikkien sopimusten sopimuskausien syklin kierrettyä ympäri. Toinen vaihtoehto olisi hyödyntää täyssähkökaluston rinnalla ladattavaa hybridikalustoa, jolloin normaalitilanteessa operoitaisiin pääosin sähköllä, mutta häiriötilanteissa voitaisiin siirtyä fossiiliseen tai uusiutuvaan dieseliin. Liikennöitsijöiden keskuudessa tunnistettiin, että esimerkiksi 10 % kalustosta on sen verran matala osuus, että sen merkitys voi jäädä pieneksi. Toisaalta tilanteessa, jossa sähköbussija ei voi käyttää, pienikin osuus voi mahdollistaa kaikista välttämättömimmän

liikenteen ajamisen. Keinolla ei joka tapauksessa voida mahdollistaa sitä, että liikennöintiä pystyttäisiin jatkamaan häiriötilanteissa normaalisti.

Lähivuosia pidemmällä tähtäimellä kalustossa voisi sähköbussien rinnalla käyttää esimerkiksi vetykalustoa, jolloin päästään tavoitteeseen nollapäästöisyydestä. Vetykaluston laajamittaisen käyttöönoton esteenä tällä hetkellä on selvästi sähköbussuja heikompi markkina- ja valmistusvalmius sekä kustannuskilpailukyky kaluston ja jakelujärjestelmien osalta. Vetyä ja sähköpoltoaineita käsitellään tarkemmin luvussa 5.3.3.

Sähköbussiliikenteen mittakaavaetu on tunnistettu haasteeksi usean kalustotyypin käyttämisessä samaan aikaan liikenteessä. Tällä tarkoitetaan sitä, että sähköbussilla operointi on sitä kannattavampaa mitä enemmän sähköbussilla liikennöidään suhteessa dieselbusseihin pidemmällä ajanjaksolla, koska sähköbussien käyttökustannukset ovat alhaisemmat (Kohonen, 2017, s. 82). Suurempi määrä sähköbussikalustoa on siis taloudellisesti kannattavampaa. Liikennöitsijät tunnistavat haasteeksi myös sen, että useampi käytettävä käyttövoima vaatii useampaa päällekkäistä järjestelmää. Onko pitkällä tähtäimellä kannattavaa pitää muun muassa varikoilla sekä dieseliin että sähköön liittyvää infrastruktuuria? Huoltovarmuuden kannalta voisi ajatella parhaimman tilanteen syntyvän mahdollisimman monella käyttövoimalla, mutta esimerkiksi sekä diesel-, sähkö-, kaasu- että vetyinfrastruktuurin hankkiminen ja ylläpitäminen ei ole kustannusten vuoksi toimivaa, vaan jonkinlaisia valintoja joudutaan tekemään.

Sähkökaluston osalta voi olla järkevää, että liikenteessä on sekä varikkolatausta että käytönaikaista latausta hyödyntäviä linja-autoja. Tällöin paikallisia sähkökatkoja voi olla helpompaa hallita, kun lataus ei ole sidoksissa tiettyyn sähköverkon osaan, vaan latauskapasiteetti on ripoteltuna maantieteellisesti laajemmalle alueelle (Bailey, 2020, s. 12). Toisaalta varikkolataus on helpommin järjestettävissä, sillä käytön aikaiseen lataukseen liittyy esimerkiksi terminaalien ja pysäkkien tilankäyttöön ja sähköliittymien järjestämiseen liittyviä haasteita ja kustannuskysymyksiä (HSL, 2021b, s. 7). Tässä voi olla avuksi myös, jos raskaan liikenteen julkisia latauspaikkoja jatkossa alkaa syntyymään, jolloin näitä on mahdollista hyödyntää kaluston lataamiseen tarvittaessa niissä tilanteissa, joissa varikon tai linjojen varsien latauspaikkoja ei ole käytössä.

Joukkoliikenteen järjestämisessä käytössä olevaan kalustoon vaikuttaa Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi puhtaista ajoneuvoista, joka asettaa kalustohankinnoille vähimmäistasot Euroopan Unionin jäsenmaissa. Direktiivissä ja sitä myötä kansallisissa lainsäädännöissä ei tällä hetkellä hyväksytä biokaasukalustoa päästöttömäksi, vaikka ne

ovat nettonollapäästöisiä. Euroopassa suuret joukkoliikennetoimijat ovat panostaneet paljon esimerkiksi biokaasubusseihin (esim. Tukholman SL), ja komissiolle on laadittu vetoamus direktiivin vaatimuksien muuttamisesta (Bogovič ym., n.d.). Mikäli direktiiviin on tulossa muutoksia, voi tämä vaikuttaa myös HSL:n liikkumatilaan käytettävissä olevan kaluston osalta.

5.3.2 Varakalusto

Nykyisten hyväkuntoisten dieselbussien säilyttäminen varakalustona sähköbussien rinnalla on ollut esillä varautumiskeinona, mutta varakalustoa pitäisi pystyä käyttämään liikennöinnissä satunnaisesti myös häiriötilanteiden ulkopuolella, jotta niiden säilyttäminen olisi järkevää ja toimintakunto säilyisi (HSL, 2022, s. 27). Tämä nostettiin esille myös haastatteluissa: varikolla seissyttä varakalustoa ei voida ottaa liikenteeseen, jos sen toimintakuntoa ei ole ylläpidetty ajamalla sillä myös normaalissa liikennöintitilanteessa. HSL sanktioi liikenteen järjestämisen yleisissä ehdoissa sellaisen kaluston käyttämisen, joka ei täytä liikennöintikohteen tarjouspyyntöasiakirjojen vaatimuksia, vaikka se tehtäisiin tilaajan eli HSL:n luvalla. Käytännössä sähköbusseilla liikennöitävissä sopimuksissa dieselkaluston käyttäminen vähentää liikennöintikorvausta. Nykyisillä ehdoilla siis tällaista varakalustoa ei voi käyttää liikenteessä edes silloin tällöin toimintakunnon takaamiseksi ilman, että se vaikuttaa liikennöitsijälle maksettavaan liikennöintikorvaukseen. HSL:n liikenteen järjestämisen yleisten ehtojen mukaan sanktio seuraa myös, jos vaatimukset täyttämättömiä linja-autoja käytetään liikenteessä liikennöitsijästä riippumattomasta syystä.

Vaikka varakaluston hyödyntäminen varautumisessa olisi sopimusehtojen kannalta mahdollista, ei se ratkaise koko ongelmaa. Varakalustoa ei voida säilyttää määrällisesti niin suurta määrää, että sillä pystyttäisiin korvaamaan sähköbussiliikennettä häiriötilanteissa täysimääräisesti. Lähtökohtaisesti liikennöitsijät eivät koe tavoiteltavaksi säilyttää varikoilla ylimääräistä kalustoa, sillä se on kustannustehotonta ja kaupunkirakenteen sisässä sijaitsevilla varikoilla ei ole tähän tilaa. Varakalustoa toimivampi tapa olisi siis mahdollistaa jatkuvassa käytössä olevaan kalustoon sähkön lisäksi myös muita käyttövoimia, jolloin ne olisivat koko ajan käyttövalmiudessa.

5.3.3 Vety ja sähköpolttoaineet

Esimerkiksi vetybussit ja synteettiset polttoaineet eivät ole vielä HSL:n näkökulmasta realistisia vaihtoehtoja. On mahdollista, että kaupunkiliikenne on jo pitkälti sähköistynyt siinä

vaiheessa, kun nämä päästöttömät käyttövoimat ovat käyttöönnettävissä. Vaihtoehtojen määrä voi vielä lisääntyä tulevaisuudessa ja niiden joukossa voi olla varteenotettavia vaihtoehtoja sähkölle. Varautumisen näkökulmasta voisikin pohtia, tulisiko sähköistymiskehitystä hillitä ja odottaa muiden vaihtoehtoisten käyttövoimien kehitystä ennen kuin koko kalusto on sähköistynyt. HSL:n tapa kilpailuttaa liikennettä vaikuttaa siihen, mitä käyttövoimaa liikennöitsijät tarjoavat. HSL voi vaatia tiettyä käyttövoimaa tai pisteityksellä ohjata tarjouksia.

Vetybussi on kuin sähköbussi, mutta siinä sähkö tuotetaan polttokennon avulla ajoneuvossa, eikä sähköä ladata sähköbussin tapaan sellaisenaan. Vetypolttokennoajoneuvossa tankkiin varastoidaan vetyä (H_2), joka reagoi hapen kanssa ja lopputuotoksena syntyy vettä ja sähköenergiaa. Sähköenergia johdetaan sähkömoottoreihin ja ainut prosessissa syntyvä päästö on vesihöyry. Myös vedyn tuottamiseen tarvitaan sähköä, sillä vetyä tuotetaan erottamalla vedestä happi ja vety sähköä avulla. (Logan ym., 2020) Puhdasta vihreää vetyä tuotetaan uusiutuvalla sähköllä, mutta vetyä voidaan tuottaa myös esimerkiksi ydinvoimalla ja öljyllä (LVM, 2023, s. 103). Joukkoliikenteen kannalta tavoiteltavaa on vihreä vety.

Vaikka vihreän vedyn tuotanto on riippuvaista sähköstä, voidaan vedyntuotanto ajoittaa matalan kysynnän aikoihin tai hyödyntää muutoin ylimääräiseksi jäävää tuotantoa (Logan ym., 2020). Vedyn etu sähköön verrattuna on sen hieman helpompi varastoitavuus (Sipilä ym., 2021, s. 48) ja nopeampi tankattavuus. Kaasumaisen vedyn varastoinnin ei kuitenkaan voi sanoa olevan helppoa, vaan siihen liittyy omat merkittävät haasteensa: kaasuna se karkaa helposti säiliöistä ja toisaalta nesteytyy vasta 253 pakkasasteessa (LVM, 2023, s. 104). Huoltovarmuuden kannalta sähköä varastointi vedyksi tekee liikennöinnistä vähemmän riippuvaista jatkuvasta sähkönsaannista ja mahdollistaa vetybussien liikennöinnin myös sähkökatkojen aikana. Paineistetulla vedyllä yhdellä vetysäiliöllä bussin operointisäde on noin 350–400 kilometriä (Pihlatie ym., 2022, s. 8). Toisaalta toki vedyn tankkaus vaatii sähköä samaan tapaan kuin dieselinkin, joten sähkökatkojen aikaista tankkaamista varten on myös vetyä käytettäessä huomioitava varavoiman tarve (luku 5.4.2).

Haasteena on, että vaikka vetybusseja on käytössä Euroopassa, on niiden markkinavalmiuden kehitys vielä merkittävästi sähköbusseja jäljessä (Pihlatie ym., 2022, s. 13–14) ja hintataso sekä vetykaluston että vedyn tuotannon osalta korkea (Logan ym., 2022 ja Cormier, 2023, s. 14). Lisäksi vetykaluston käyttö vaatii kokonaan uuden jakelujärjestelmän järjestämisen, ja vihreän vedyn eli uusiutuvilla energianlähteillä tuotetun vedyn tuotanto on vielä vähäistä (Sipilä ym., 2021, s. 48). Suomessa ei tällä hetkellä ole lainkaan vedyn jakeluasemia. Tulevaisuudessa haastetta voi aiheuttaa keskinäinen kilpailu

sähkökäytöstä sellaisenaan sähköverkkoon loppukäyttäjien käytettäväksi vai vedyn tuotantoon (Cormier, s. 14).

Vedyn siirron ja varastoinnin haasteiden vuoksi vedystä voi olla järkevää tuottaa toisia molekyyliä, kuten synteettistä bensiiniä, dieseliä, kerosiinia, metaania tai ammoniakkaa. Näitä kutsutaan synteettisiksi polttoaineiksi tai sähköpolttoaineiksi. Sähköpolttoaineiden etu on, että niitä on mahdollista käyttää nykyisenkaltaisissa polttomoottoribusseissa sellaisenaan, ja varastointimahdollisuudet ovat nestemäisen olomuodon vuoksi dieselpolttoaineen kaltaiset. Sähköpolttoaineiden markkina- ja valmistusmahdollisuus on kuitenkin vielä vetyäkin jäljessä, ja ne voivat olla realistisia vaihtoehtoja vain pitkällä tähtäimellä. Sähköpolttoaineiden potentiaali on lisäksi kaupunkiliikenteessä melko heikko, sillä niiden tuottaminen kuluttaa niin paljon energiaa, ettei se ole energia- eikä kustannustehokasta verrattuna sähkön käyttöön sellaisenaan. (LVM, 2023, s. 104)

Energiatodellisuuden näkökulmasta sähkö on käyttövoimana sellaisenaan selvästi paras vaihtoehto verrattuna vetyyn ja sähköpolttoaineisiin, joissa sähkön avulla ensin valmistetaan polttoainetta (Pihlatie ym., 2022, s. 7). Vety ja sähköpolttoaineiden yleistyminen liikennekäytössä johtaa tämän vuoksi suurempaan sähkönkulutukseen verrattuna tilanteeseen, jossa sähköä käytetään sellaisenaan (Fingrid, 2023, s. 74). Vedyn ja sähköpolttoaineiden suurin potentiaali löytyykin todennäköisesti pitkän matkan rekkaliikenteestä sekä vesi- ja lentoliikenteistä, joissa sellaisenaan käytetyn sähkön rajoitteet tulevat vastaan (LVM, 2023, s.).

5.4 Energian varastointi ja varavoima

Sähkönsaannin häiriöihin voidaan varautua varastoimalla energiaa sähkövarastoihin, hyödyntämällä varavoiman lähteitä tai tuottamalla itse energiaa. Tässä luvussa käydään läpi tapoja, joilla energiaa on mahdollista varastoida tai tuottaa sähköä varavoimalaitteistoilla tai mikroverkossa. Sähkövarastoissa energiaa ladataan varastoon, joka on mahdollista purkaa, kun varastoitua energiaa tarvitaan käyttöön. Varavoimalla taas tarkoitetaan sähköntuotantokapasiteettia, joka voidaan ottaa käyttöön, kun esimerkiksi varikko-olosuhteissa sähköä ei saada sähkönjakeluverkosta. Mikroverkolla tarkoitetaan itsenäistä sähköntuotantojärjestelmää.

Energian varastointia ja tuotantoa käsitellään lähinnä sähkön käyttäjän näkökulmasta, eli tässä tapauksessa liikennöitsijöiden tai HSL:n, vaikka sähkön varastointia voidaan tehdä myös esimerkiksi sähköntuotannossa ja varavoiman hyödyntäminen on tavallinen

toimintatapa Suomen sähköntuotannossa. Näkökulmana on pidempiaikaisen varastoinnin mahdollistavat teknologiat. Sähkövarastojen ja varavoiman käsittelyssä ei mennä tässä yhteydessä teknisesti kovin syvälle.

Perinteisten fossiilisten polttoaineiden varastointi on lähtökohtaisesti helppoa, sillä esimerkiksi dieselöljyä on mahdollista säilöä sopivissa säiliöissä pitkäänkin esimerkiksi varmuusvarastoissa ja linja-autovarikoilla, kunhan huolehditaan muiden muassa paloturvallisuudesta ja muista turvallisuusnäkökulmista. Liikenneöitsijöillä onkin dieselkalustoa ajatellen varikoilla varastoituna riittävä määrä polttoainetta säiliöissä. Dieselin tankkaamisen varmistamiseksi sähkökatkojen aikana varikoilla on myös varapumppuja ja dieselaggregaatteja, joilla voidaan dieselin avulla tuottaa sähköä tankkauslaitteisiin. Sähkön varastointi on selvästi haastavampaa. Varastointi on mahdollista, mutta kallista ja tilaa vievää, eikä kovin yksinkertaista.

Sähköenergian varastointi kehittyy, ja huomattavaa on, että sähkön varastointia on tarve joka tapauksessa kehittää myös kasvavan uusiutuvan energian tuotannon takia (Sipilä ym., 2021). Aina ei tuule, eikä aurinko paista, jolloin sähköä ei synny, kun taas optimaalisissa olosuhteissa sitä voi kertyä yli tarpeen. Toisaalta, jos varastoinnin kehittämistä tehdään kuormituksen ja kysynnän vaihtelun tasaamiseksi uusiutuvan energian tuotannon edistämiseksi, näkökulmana ei ole niinkään mahdollinen pidempiaikainen tarve erilaisissa häiriötilanteissa. Myös kulutuspiikkien tasaamiseen soveltuvat keinot ovat kuitenkin tulevaisuudessa tarpeellisia sähköbussien määrän kasvaessa, joten lyhytaikaisemman varastoinnin hyöty on hyvä nähdä.

5.4.1 Sähkövarastot

Mekaanisia sähköenergian varastointitapoja ovat pumppuvoimalaitos (PHS), paineilmaparasto (CAES) ja vauhtipyörä, sähkökemiallisia tapoja akut, kemiallisia vety sekä sähköisiä suprajohdava magneettinen energiavarasto (SMES) ja superkondensaattorit (Blomqvist ym. 2017, s. 4). Pumppuvoimalaitos perustuu kahteen eri korkeudella olevaan vesivarantoon ja paineilmaparasto on maanalainen luola, johon ilma paineistetaan. Vauhtipyörässä energiaa varastoidaan pyörivän massan pyörimisenergiaan, suprajohdavassa magneettisessa energiavarastossa nimensä mukaisesti magneettikenttään ja superkondensaattoreissa akkujen tapaan sähkökenttään kondensaattorin kahden navan välille. (Minkkinen, 2021, ss. 25–26)

Näistä varikkokäyttöön sopimattomia ovat pumppuvoimalaitos ja paineilmaparastot, koska ne vaativat suuren määrän tilaa soveltuvassa maantieteellisessä ympäristössä ollakseen toteutuskelpoisia. Vauhtipyörä, suprajohtava magneettinen energiavarasto ja superkondensaattorit taas soveltuvat tällä hetkellä tyypillisesti tehon ja taajuuden stabiiliuden parantamiseen (Minkkinen, 2021, s. 26), eivätkä siis vastaa varikoiden sähkövarastoinnin tarpeeseen.

Akku on yleisesti tunnetuin tapa varastoida energiaa, ja sitä käsitellään tässä luvussa muita sähkövarastoja perusteellisemmin. Akkuteknologioita on olemassa useampia, mutta tässä luvussa akkuja käsitellään yleisesti. Akkujen toiminta perustuu siihen, että akkua ladatessa sähköenergia varastoituu kemialliseksi energiaksi, joka purettaessa muuttuu taas takaisin sähköksi. Akkuvaraston toimintaperiaate on sama kuin itse ajoneuvoissa olevan akun, ja sähköajoneuvot ovatkin jo itsessään ikään kuin akkuvarastoja. Myös esimerkiksi puhelinten varavirtalähteet ovat hyvin pieniä akkuvarastoja. Akkuvarastoja voidaan hyödyntää esimerkiksi kustannusten optimointiin, kulutuspiikkien tasaamiseen ja kriittisten toimintojen varavoimana. Suomessa on käytössä akkuvoimalaitoksia ja Pyhäsalmelle on suunnitteilla sähkön varastointiin pumppuvoimalaitos (Fingrid, 2023, s. 82).

Akkuvarastojen on oltava todella suuria, jotta ne toimivat varautumiskeinona, sillä sähköenergian tarve linja-autovarikoilla on suuri (Bailey, 2020, s. 10). Suuri kapasiteetin tarve ja siitä seuraava kustannusten korkeus ovat merkittävimpiä syitä sille, miksi akkuvarastojen potentiaali HSL-alueella on matala. Liikennöitsijät totesivat haastatteluissa yksiselitteisesti tarvittavan kapasiteetin olevan niin massiivinen sekä tarvittavan kapasiteetin hinnan että tilantarpeen vuoksi, että yhtälö on käytännössä mahdoton. Sähköbussien akkukapasiteetti vaihtelee, mutta oletetaan laskelmassa, että bussin akkuun ladataan yön aikana 350 kWh (esim. Yutong E15-kaluston akkukapasiteetti on 564 kWh ja Volvo 7900 aina 470 kWh:n saakka (Yutong, n.d. ja Volvo, n.d.-b)). Yksi merikontin kokoinen akkukontti on energiakapasiteetiltaan noin 1 megawattituntia (MWh), joten yhdellä akkukontilla saadaan ladattua noin kolmen sähköbussin akut täyteen. Esimerkiksi Fortumin biovoimalaitoksella Järvenpäässä on vastaavan suuruinen sähkövarasto, jonka investointikustannus oli vuonna 2017 noin 1,6 miljoonaa euroa (Hast, 2017). Oletetaan tässä, että miljoonalla eurolla saisi akkuvaraston, jolla ladataan kolme bussia. Tämä vastaisi noin 900 euron hintaa per kWh. Sadan sähköbussin varikolla tarvittaisiin energiakapasiteettia noin 35 000 kWh, joka vastaisi noin 33 akkukonttia. Hintaa kokonaisuudelle tulisi 33 miljoonaa euroa.

Tällaisella akkuvarastolla kaluston lataaminen onnistuisi yhden liikennöintipäivän tarpeisiin. Vastaavan kokoisia akkuvarastoja tarvittaisiin niin monta kuin on päiviä, joihin halutaan

yhtäjaksoisesti varautua. Jos koko HSL:n bussiliikenne operoidaan sähköbussilla, tämä tarkoittaa 1300 bussille noin 455 000 kWh:n akkuvarastoja, jotta liikennöinti olisi turvattu yhdeksi päiväksi. Hintaa tälle 433 akkuvaraston kokonaisuudelle tulisi 433 miljoonaa euroa. 433 merikontin kokoista akkuvarastoa veisivät myös niin suuren määrän tilaa, ettei se ole varikoilla mahdollista. Tässä on hyvä huomioida, että on kyse teoreettisesta laskelmasta, ja akkuvarastojen hinnat vaihtelevat ja kehittyvät tulevaisuudessa. Joka tapauksessa sekä tilantarve että kustannukset ovat nykytilanteessa korkeita.

Pidemmistä katkoista selviämiseen auttaa myös akkuvarastojen uudelleenlatausmahdollisuus niin, ettei uudelleenlataukseen tarvita virtaa sähköverkosta: esimerkiksi dieselaggregaatit ja aurinkopaneelit (Bailey, 2020, s. 10). Varavoimaa ja sähkön omaa tuotantoa käsitellään tarkemmin seuraavissa luvuissa. Akkuvarastojen uudelleentäyttämismahdollisuus sähkökatkojen aikana luonnollisesti nostaa kokonaisuuden hintaa entisestään.

Akkuvarastojen käytännön hyödyntämistä hankaloittaa se, että sähkökatkon alkaessa varastojen käyttöönotto, bussikaluston siirtely ja latauksen käynnistäminen vievät oman aikansa, jos akkuvarasto ei ole kytkettynä jatkuvasti tavanomaiseen latausjärjestelmään. Erityisesti, jos sähkökatko osuu yöajalle hankalaan ajankohtaan, käytännössä todennäköisesti ensimmäinen päivä on joka tapauksessa osittain menetetty. Lyhyiden todennäköisimpien häiriöiden osalta taas akkuvarastojen apu voi jäädä matalaksi siihen verrattuna, että verkkovirran palaamista vain odotellaan.

Varikkolatausta ajatellen sähkön lyhytaikaista varastointia akkuvarastoilla on tarkasteltu HSL:n aiemmassa selvityksessä (HSL, 2022, ss. 20–21), jossa liikennöitsijät totesivat, että toimintavarmuuden vahvistamiseen akkuvarastot eivät sovellu. Kun akkuvarastoihin ladattaisiin päivällä sähköä ja purettaisiin sitä yöllä, kun kalustoa on paljon latauksessa, tasaa toimintatapa öistä kulutuspiikkiä, mutta tämän ei ole todettu vielä olevan toimiva tai taloudellisesti kannattava apukeino.

Pientä hyötyä voisi olla myös akullisista latureista. Tällöin laturissa on itsessään akku, ja laturista voi saada ladattua sähköä akun vetoisuuden verran myös silloin, kun sitä ei saa sähköverkosta (HSL, 2021a, s. 67). Tällöinkin suurin apu on kuitenkin kulutuspiikkien tasaamisessa, eikä niinkään toimintavarmuuden varmistamisessa. Akulta vaadittava kapasiteetti on myös tässä tapauksessa suuri. Bussien akkujen elinkaarta ajatellen niitä on mahdollista siirtää sähkövarastoiksi, kun niiden elinkaari bussissa tulee päätökseensä (Bailey, 2020, ss. 9–10).

Superkondensaattori on akun tapainen tapa varastoida energiaa, ja saattaa korvata jollain aikavälillä akut niistä poikkeavien ominaisuuksiensa vuoksi. Superkondensaattori mahdollistaa sähköenergian varastoinnin pienempään tilaan kuin akut sekä latautuu ja purkautuu akkuja nopeammin, mikä on etu ajoneuvokäyttöä ajatellen. (Blomqvist ym., 2017, s. 17) Superkondensaattori onkin siis mahdollinen kehityskulku bussikaluston akuissa, jolloin osaa nykyisten sähköbussien rajoitteista saadaan ajan kuluessa lievennettyä.

5.4.2 Varavoimälaitteistot

Varavoimalla tarkoitetaan tässä yhteydessä sähköntuotantokapasiteettia, joka otetaan käyttöön, jos sähköverkosta ei saada sähköä. Tällaisia varavoiman lähteitä ovat esimerkiksi aggregaatit eli varavirtageneraattorit. Varavoimälaitteistoja hyödynnetään erityisesti kohteissa, joissa sähkönsaanti on ehdottoman tarpeellista kaikissa olosuhteissa, kuten sairaaloissa ja datakeskuksissa. Sairaaloissa sähkönjakelun keskeytyessä dieselgeneraattorit kytkeytyvät päälle pienellä sekuntien mittaisella viiveellä, ja tänä aikana varavoimaa tuotetaan UPS-laitteistolla (Uninterruptible Power Supply) (Vänninen, 2019).

Dieselaggregaatin toiminta perustuu polttomoottorin tuottamaan mekaanisen energiaan, jolla pyöritetään laitteiston generaattoria, joka muuttaa liikkeen sähköksi. Haastateltujen liikennöitsijöiden mukaan varikoilla on dieselaggregaatteja, joilla voidaan tuottaa sähköä dieselpumppuja varten mahdollisten sähkökatkojen aikana. Dieselpumpun tehontarve on sen verran pieni, että aggregaatit ovat kooltaan melko pieniä ja niiden hankkiminen perusteltua. Sähkökaluston varautumisnäkökulmasta varavoimälaitteistoissa on akkuvarastojen tapaan se haaste, että sähköbussikaluston tarvitsema kapasiteetti on erittäin suuri, eli haasteet ovat samantyyppisiä kuin akkuvarastoissa: tilantarve varavoimakonteille sekä hinta.

Aggregaatit voivat olla kiinteiden yhdelle varikolle rakennettavien ratkaisujen lisäksi kannettavia, jolloin niitä voidaan hyödyntää sillä varikolla, jossa on tarvetta (Bailey, 2020, s. 10). Tämä vähentää hankittavien aggregaattien määrää. Aggregaatteja on joukkoliikenteen käytössä esimerkiksi Yhdysvalloissa, jossa Etelä-Kalifornian Antelope Valleyssa 1,3 megavatin generaattori voi ladata 88 bussin kaluston kahden päivän liikennöintiä varten (Bailey, 2020, s. 10).

Dieselillä toimiva varavoimälaitteisto voi periaatteessa tuottaa sähköä niin kauan kuin dieseliä riittää. Aggregaateilla ei siis ole samaa haastetta kuin akkuvarastoilla, jotka toimivat vain kerran tai järjestelmän osaksi tarvitaan uudelleenlatausmahdollisuus esimerkiksi aurinkovoimalla. Varavoimälaitteissa sopimusteknisenä haasteena on, että HSL vaatii

sähkön olevan tuotettu kestäväällä tavalla, mitä sähkön tuottaminen esimerkiksi dieselaggregaatilla ei ole. Polttoainetta hyödyntävien aggregaattien tarvitsema polttoaine on varastoitava, jotta laitteet ovat tarpeen tullen otettavissa käyttöön. Kansallisella tasolla laitteiden polttoaineen tarve on huomioitava myös varmuusvarastoinnissa, jos varavoimajärjestelmiä käytetään tulevaisuudessa laajasti (Sipilä ym., 2021, ss. 59–60).

5.4.3 Mikroverkot ja oma sähköntuotanto

Kriisivalmiutta edistävä keino ovat energianlähteet, jotka eivät ole riippuvaisia sähköverkosta. Mikroverkolla tarkoitetaan itsenäistä sähköjärjestelmää, jolla voidaan tuottaa sähköä itse ja käyttää sitä tarvittaessa. Mikroverkon sähköntuotantomenetelmä voi olla esimerkiksi aurinkopaneelien, tuuliturbiinien ja dieselgeneraattorien yhdistelmä, ja se voi sisältää akkuja sähkön varastoimiseksi. (Heard, 2018) Sähköä voi tuottaa omaan käyttöön varikkotontilla tai terminaaleissa esimerkiksi aurinkopaneeleilla, joita asennetaan varikkorakennusten tai terminaalin katoille. Haasteena toimintatavassa voi olla esimerkiksi tilanpuute tai paneeleille epäsojivat rakenteet. (Cormier, 2023, ss. 10–11) HSL-alueella varikot ovat avoimia kenttävarikoita, eivätkä halleja, joten kattotilaa HSL-alueen varikoilla on vähän.

Mikroverkot ja oma sähköntuotanto parantavat joukkoliikennetoimijoiden kriisivalmiutta ja luotettavuutta tarjoamalla varavoiman lähteen tilanteissa, joissa sähköverkosta ei ole saatavilla sähköä. Ne laskevat myös energiankulutuksen kustannuksia, kun normaalitilanteessa osa käytetystä sähköstä voidaan tuottaa itse ja vähentää sähkön tarvetta jakeluverkosta silloin, kun sähkö on kallista. Hyötyjä saadaan myös esimerkiksi joustavuudesta. (Heard, 2018, ss. 16–17) Koko ajan toimiessaan ne hyödyttävät siis varikkoa jatkuvasti.

Mikroverkot ovat kuitenkin erittäin kalliita ja monimutkaisia järjestelmiä. Kustannukset vaihtelevat mikroverkon tyyppin ja ominaisuuksien mukaan (Heard, 2018). Varikkokäyttöön suunniteltaessa tulee huomioida lataustarpeen painottuminen yöaikaan, jolloin järjestelmän tulee pystyä varastoimaan päiväaikaan kerättyä energiaa. Haasteita ovat myös esimerkiksi joukkoliikennejärjestelmän suuri energiantarve, vähäiset esimerkit käyttötapauksista joukkoliikennetoimijoilla ja hallinnolliset haasteet järjestelmän hankinnassa ja operoinnissa. (Heard, 2018, ss. 22–25) Suomessa haasteeksi tulevat lisäksi sääolot, sillä esimerkiksi auringonvaloa ei välttämättä ole päiväsaikaankaan tarjolla riittävästi, jotta suurikaan aurinkopaneelijärjestelmä pystyisi tuottamaan riittävästi energiaa kaluston lataamiseksi. Esimerkiksi juuri aurinkopaneelijärjestelmän koon tulisi olla niin suuri ollakseen varautumismielessä hyödyllinen, ettei varikoilla ole sellaiseen tilaa.

Mikroverkon voi rakentaa joko julkiseen verkkoon kiinnitettynä (grid-tied) tai verkosta irrallaan (off-grid). Oma verkko voi olla kiinnitettynä julkiseen sähköverkkoon, jolloin järjestelmä saa sähköä verkon kautta silloin, kun paneelit eivät tuota sähköä. Tällöin sähköä myös luovutetaan julkiseen verkkoon, jos sitä tuotetaan liikaa omaan käyttöön. Jos julkinen sähköverkko on alhaalla, sammuu tällöin automaattisesti myös mikroverkko. Tämä johtuu turvallisuussyistä: jos mikroverkko luovuttaa tällaisessa tilanteessa energiaa julkiseen verkkoon, tulevat korjaustyöt vaarallisiksi, jos ei ole varmuutta siitä, että sähköverkko on jännitteetön. Tämän tyyppinen mikroverkko ei siis sovellu sähkökatkoihin varautumiseen. Julkisesta verkosta irrallaan oleva mikroverkko toimii myös silloin, kun julkinen sähköverkko ei toimi. Sähköä tällaisesta järjestelmästä saa vain silloin, kun järjestelmä tuottaa itse energiaa esim. aurinkopaneelien avulla tai akkujen avulla. Akut tarvitaan, jotta järjestelmä toimii myös yöllä tai pilvisellä säällä, jolloin se ei itse tuota energiaa, jota tarvitsee pysyäkseen toiminnassa. (Kukkola, 2022)

Aurinkopaneelit bussivarikoiden katolla ovat käytössä esimerkiksi New Yorkissa, mutta tilanpuutteen takia paneelit eivät sielläkään mahdollista koko kaluston lataamista (Bailey, 2020, ss. 18–19). Mikroverkkoa energiansaannin varmistamisessa hyödynnetään myös esimerkiksi Massachusettsissa (Massachusetts Bay Transportation Authority, MBTA) (Heard, 2018) ja sähköbussikaluston lataamiseen Marylandissa Montgomeryn piirikunnassa. Vaihtoehto ovat myös aurinkovoimalla latautuvat sähköbussien latauslaitteet. Keinoa on tarkasteltu esimerkiksi New Yorkin kontekstissa käytönaikaisessa latauksessa, ja todettu sen olevan toimiva keino ainakin osittaisen liikenteen varmistamiseksi linjalla, ja auttavan myös kysyntäpiikkeinä. (Tessler ym., 2022) Yhdysvaltojen itärannikon esimerkit poikkeavat Suomen olosuhteista siinä, että alueella hurrikaanit ovat usein toistuva uhka sähkönsaannille, jolloin investoiminen realistisesti muutamien vuosien välein toistuvaan uhkaan on todettu kannattavaksi. Alueella bussiliikenteen rooli on tunnistettu myrskytilanteissa merkittäväksi, sillä runkona toimiva metrojärjestelmä on altis tulville. Suomessa tällaista usein toistuvaa todennäköistä uhkaa ei ole, mikä vähentää toimintavarmuuteen tehtävien investointien kannattavuutta.

Haastateltujen liikennöitsijöiden joukossa aurinkopaneeleja on kuitenkin pohdittu ainakin teorian tasolla. Taustalla pohdinnoissa ei ole kuitenkaan ollut varautumisnäkökulma kalustoa ajatellen, vaan enemmän muiden varikon toimintojen tuki.

5.5 Sähköverkonhaltijan keinot ja laajemman varautumisen näkökulma

Sähköverkko ja sen luotettava toimivuus ovat lähtökohtia sähköbussiliikenteen toiminnalle. Yhteiskunnan sähköriippuvaisuuden vuoksi sähköverkkojen toimitusvarmuutta on pyritty parantamaan esimerkiksi vuonna 2013 uudistetulla sähkömarkkinalailla ja siihen liittyvillä investoinneilla (LVM, 2023, s. 23). Laajemmasta näkökulmasta liikenteen käyttövoimiin liittyvässä varautumisessa olisi huolehdittava sähköverkkojen toimitusvarmuuden lisäksi varautumisen laajentamisesta myös uusiin polttoaineisiin, energian hankintakanavien monipuolistamisesta ja järjestelmien älykkyyden ja joustomahdollisuuksien edistämisestä (LVM, 2023, s. 24). Sähköverkkojen ja sähköisen liikenteen yleistymisen yhteistoimivuuden vahvistamiseksi on asetettu toimenpiteitä tieliikenteen uusien polttoaineiden jakeluinfran kehittämissuunnitelmassa (LVM, 2023, s. 30).

Jos sähköntuotanto ja -jakelu eivät ole toimintavarmoja, voi sähköbussikaluston käyttöönotto heikentää joukkoliikennepalvelua (Cormier, 2023, s. 11). Sähköhuolto on toimintavarmaa Suomessa, eikä perinteisesti suuria häiriöitä ole esiintynyt (Sipilä ym., 2021, s. 60). Esimerkiksi Helenin sähkönsiirtoverkon alueella keskimääräinen sähkönsiirron keskeytysaika oli 4 minuuttia vuodessa asiakasta kohti vuonna 2022 (Helen, 2022, s. 53). Tämä ei kuitenkaan tarkoita, etteivät ennakoimattomat ja vakavatkin sähkönjakelun häiriöt olisi mahdollisia.

HSL ei voi vaikuttaa laajempaan voimahuollon varautumiseen, mutta kokonaisuudessa laajempi sähköverkon toimintavarmuus on erittäin merkittävä. Sähköverkonhaltijoilla on tässä päärooli. Fingrid vahvistaa kantaverkkoa, ja tavoitteena on, että kantaverkon välityskyky ei estäisi ilmastoneutraalisuustavoitteiden saavuttamista (Fingrid, 2023, s. 97), joihin myös käyttövoimien kehitys perustuu. Kantaverkkoyhtiö investoikin tulevina vuosina 400 miljoonalla eurolla vuosittain kantaverkon kehittämiseen esimerkiksi vahvistamalla siirtokapasiteettia uusilla johtoyhteyksillä ja sähköasemilla (Fingrid, 2023, ss. 63–65). Jakeluverkonhaltijat huolehtivat osaltaan sähköverkon toimintavarmuudesta muun muassa uusimalla verkkoa sen ikääntyessä, vahvistamalla verkon säävarmuutta, rakentamalla uutta verkkoa ja vahvistamalla sitä (Vantaan Energia Sähköverkot, n.d., s. 19). Haastattelujen mukaan sähköverkkoyhtiöt varautuvat lisäksi esimerkiksi varautumis- ja valmiussuunnitelmin, seuraamalla säätilaa ja vaarallisen sään ennusteita jatkuvasti, uhkiin liittyvillä suunnitelmilla sekä kattavilla sähköverkon uhkiin liittyvillä tiedotusjärjestelyillä (mm. tekstiviestipalvelut). Sähköverkkoyhtiön näkökulmasta toimijoiden on tärkeää huolehtia, että sähköliittymien tarkoitus on kirjattu oikein sähköyhtiöiden järjestelmiin, ja keskeytysilmoitusten yhteystietohenkilöiden tiedot ovat ajantasaisia.

Sähköntuotannon eli tarjonnan puutteisiin vastataan varalla olevalla tuotantokapasiteetilla (Sisäministeriö, 2023), joka voidaan käynnistää tilanteissa, joissa perustuotanto ei ole riittävää. Tällaista on esimerkiksi säätökykyinen vesivoima, joka mahdollistaa tuotannon ennustettavuuden (Valtioneuvoston päätös huoltovarmuuden tavoitteista 1048/2018). Myös tuontisähkö (Sisäministeriö, 2023) on tapa varautua kotimaisen sähköntuotannon haasteisiin. Tuontisähkön saaminen edellyttää, että muualla on ylimääräistä energiaa, jota pystytään myymään ulos. Haastava tilanne syntyy, jos esimerkiksi kaikissa Pohjoismaissa on sähköpulatilanne samaan aikaan.

Laajemman varautumisen näkökulmasta varmuusvarastoinnin tarpeet on huomioitava. Uusiutuvien käyttövoimien raaka-ainepohja, fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet sekä varastointikestävyys ja -mahdollisuudet ovat erilaisia kuin nykyisin varmuusvarastoitavilla polttoaineilla. (Sipilä ym., 2021, s. 57), mikä tuo asiaan haasteellisuutta. Siinä missä tällä hetkellä varmuusvarastoidaan fossiilisia polttoaineita, jatkossa olisi hyödyllistä varmuusvarastoida myös uusiutuvia polttoaineita.

5.6 Yhteenveto riskien hallintakeinoista

Keinoja hallita mahdollisia sähkönsaannin uhkia on useita. Keinot vaihtelevat sekä tehokkuudeltaan että kustannuksiltaan. Tehokkaimmat varautumiskeinot, kuten akkuvarastot ja dieselaggregaatit, ovat erittäin kalliita johtuen tarvittavan kapasiteetin määrästä ja ne vaatisivat varikoilta runsaasti tilaa. Niillä voidaan kuitenkin pääsääntöisesti varmistaa liikennöinnin jatkuvuus myös häiriötilanteissa niin pitkäksi aikaa kuin järjestelmät on kapasiteetiltaan mitoitettu. Toteutettavuudeltaan parhaat keinot taas ovat vähemmän tehokkaita, ja pyrkivät lähinnä varmistamaan, että häiriötilanteet eivät rampauta koko alueen bussijärjestelmää. Toteutettavuudeltaan hyvien varautumiskeinojen valikoima on tällä hetkellä matala, mutta teknologinen kehitys voi mahdollistaa realististen vaihtoehtojen laajentumisen tulevaisuudessa. Esimerkiksi sähkön varastoinnin kehittyessä voi akkuvarastoista tulla varteenotettava vaihtoehto, ja toisaalta uudet tulevat käyttövoimat voivat muuttaa tilannetta tulevaisuudessa. Taulukkoon 1 on koottu varautumiskeinoista yhteenveto, jossa on lyhyesti kuvattu myös toimenpiteen toteutettavuutta HSL-alueella.

Taulukko 1. Yhteenveto varautumiskeinoista, niiden toteutettavuudesta ja liikennöinnin jatkuvuuden takaamisesta HSL-alueella.

Varautumiskeino	Lyhyt kuvaus	Toteutettavuus ja liikennöinnin jatkuvuuden takaaminen HSL-alueella
Hallinnolliset varautumistavat	Toimintaan vaikuttavien uhkien tunnistaminen, niiden ehkäisemiseksi tehtävä suunnittelu ja varautuminen erilaisten tilanteiden realisoitumiseen ovat koko varautumisen perusta. Myös sopimustekniset vaatimukset sisältyvät hallinnollisiin varautumistapoihin.	Toteutettavuus HSL-alueella on hyvä. Valmiussuunnittelu on jokaisen toimijan velvollisuus, ja sitä tehdään jo nyt. Lisäksi HSL voi kilpailutus- ja sopimusasiakirjoissaan velvoittaa liikennöitsijöitä erilaisiin toimintatapoihin. Erilaisiin tilanteisiin on mahdollista varautua suunnittelemalla toimintatavat. Varautumisessa tulisi huomioida vielä tarkemmin sähkönjakeluun liittyvät riskit tilanteessa, jossa kalusto on pitkälle sähköistynyt. Valmiussuunnittelulla ei kuitenkaan voida itsessään varmistaa liikennöinnin jatkuvuutta, mutta sen avulla mahdollisuuksia ja tarpeita voidaan tunnistaa.
Latauskapasiteetin hajauttaminen ja määrä	Latauskapasiteettia ei sijoiteta vain yhdelle varikolle, vaan sähköbussikalusto ja niiden latauskapasiteetti on hajautettuna maantieteellisesti useaan paikkaan. Latauskapasiteettia järjestetään varikolle jonkin verran enemmän kuin päivittäisen latauksen tarve on.	Toteutettavuus HSL-alueella on hyvä, ja varikot ovat jo hajautettuna. Taustalla tässä on useiden varikkosijaintien kilpailuetu liikennöinnin järjestämisen kannalta lähempänä liikennöintikohteita. Latauskapasiteetin hieman kalustomäärää suurempi määrä mahdollistaa latauksen yksittäisten latauslaitteiden vikaantuessa. Toimintatapa ei takaa liikennöinnin jatkuvuutta kokonaisuudessaan, mutta mahdollistaa vaikutusten rajoittumisen koskemaan vain osaa liikenteestä.
Varikon yhteydet sähköverkkoon	Varikolta järjestetään kaapeliyhteydet sähköverkkoon niin, että sähkö on verkon rajatuissa	Toteutettavuus HSL-alueella on hyvä, ja varikoille on jo nyt liittyviä rengasverkkoina. Sähköyhtiöiden kanssa on mahdollista keskustella yhteyksistä samalta sähkönsyöttöasemalta kahta kautta ja mahdollisista yhteyksistä kahdelta eri

	häiriötilanteissa mahdollista siirtää vaihtoehtoista kautta.	sähköasemalta. Toimintatavalla voidaan taata liikennöinnin jatkuvuus tilanteissa, joissa häiriö sähköverkossa tai sähkönsyöttöasemilla on rajattu.
Useamman käyttövoiman kalusto	Liikennettä ei järjestetä nojautuen vain sähköön, vaan kalustossa säilytetään useampaa käyttövoimaa. Sähkön rinnalla voidaan käyttää esimerkiksi uusiutuvaa dieseliä.	Toteuttavuus HSL-alueella on hyvä, mutta vain jos asetetut tavoitteet mahdollistavat. Edellyttää HSL:ltä tietoista päätöstä ja liikenteen kilpailuttamista sen mukaisesti. Tilanne vastaa osittain kuin nykytilannetta, jossa osa kalustosta on sähköä ja osa dieseliä. Tulevaisuudessa mahdollisuudet voivat laajentua riippuen esimerkiksi vedyn ja sähköpolttoaineiden kehitymisestä. Toimintatapa ei takaa liikennöinnin jatkuvuutta kokonaisuudessaan, mutta mahdollistaa vaikutusten rajoittumisen koskemaan vain osaa liikenteestä.
Varakalusto	Varakalustona säilytetään dieselbusseja, jolloin niitä voidaan häiriötilanteessa hyödyntää.	Toteutettavuus HSL-alueella ei ole hyvä. Edellyttäisi varakaluston käyttöä liikenteessä säännöllisesti, mitä sopimukset eivät mahdollista. Toisaalta tilanpuute varikoilla ei mahdollista ylimääräisen kaluston säilyttämistä suurina määrinä. Varakaluston säilyttämisen sijasta on toimivampaa, että liikenteessä käytetään jatkuvasti useampia käyttövoimia.
Vety ja sähköpolttoaineet	Vetybusseja tai sähköpolttoaineita käytetään sähköbussien rinnalla.	Toteutettavuus HSL-alueella ei ole tällä hetkellä hyvä, mutta tulevaisuudessa voi olla potentiaalia. Haasteina ovat heikko markkinavalmius ja kaupunkiliikenteen näkökulmasta huonompi energiatehokkuus verrattuna sähkön käyttöön sellaisenaan. Etuna on nollapäästöisyys, joten vastaavat HSL:n tavoitteisiin. Toimintatapa ei takaa liikennöinnin jatkuvuutta kokonaisuudessaan, mutta

		mahdollistaa vaikutusten rajoittumisen koskemaan vain osaa liikenteestä.
Sähkövarastot	Sähköenergiaa varastoidaan varikoilla akkuvarastoissa, joista häiriötilanteissa sähköä voidaan purkaa bussikaluston akkuihin.	Toteutettavuus HSL-alueella ei ole hyvä. Riittävän suurien akkuvarastojen tilantarve ja kustannukset nousevat erittäin korkeiksi, jos riittävä kapasiteetti häiriötilanteisiin varautumiseksi halutaan varmistaa. Jo päivän mittaiseen häiriöön varautuminen vaatii runsasta kapasiteettia. Pidempiaikaisiin häiriöihin varautuminen edellyttää mahdollisuutta ladata akkuvarastot uudelleen esimerkiksi aurinkopaneeleilla tai aggregaateilla. Toimintatavalla voidaan pääsääntöisesti taata liikennöinnin jatkuvuus erityisesti, jos mukana on uudelleenlatausmahdollisuus.
Varavoima	Varikolle järjestetään aggregaatit, joilla sähköä pystytään tuottamaan häiriötilanteissa bussikaluston lataamiseksi.	Toteutettavuus HSL-alueella ei ole hyvä. Riittävän suurien laitteiden tilantarve ja kustannukset nousevat erittäin korkeiksi, jos riittävä kapasiteetti häiriötilanteisiin varautumiseksi halutaan varmistaa. Toisaalta dieselaggregaatilla on mahdollista tuottaa sähköä niin kauan kuin dieseliä riittää, eli samalla investoinnilla voidaan varautua myös useampien päivien häiriöihin. Sopimusteknisesti aggregaattien käyttöä hankaloittaa HSL:n vaatimus sähkön puhtaasta alkuperästä. Toimintatavalla voidaan pääsääntöisesti taata liikennöinnin jatkuvuus.
Mikroverkot ja oma sähköntuotanto	Sähköä tuotetaan varikolla itse esimerkiksi aurinkopaneeleilla. Järjestelmä edellyttää myös sähkön varastointia, jotta bussikalustoa voidaan ladata tuotetulla sähköllä tarvittaviin aikoihin.	Toteutettavuus HSL-alueella ei ole hyvä. Riittävän suuren järjestelmän tilantarve ja kustannukset nousevat erittäin korkeiksi, eli haasteet ovat samantyyppisiä kuin sähkövarastoilla ja varavoimalla. Toimintatavalla voidaan pääsääntöisesti taata liikennöinnin jatkuvuus.

		Aurinkopaneelijärjestelmien osalta voidaan todeta, että niillä on potentiaalia varikon muiden toimintojen tukemisessa, jolloin järjestelmä on kooltaan pienempi.
--	--	--

Merkittävä kysymys hallintakeinojen pohdinnassa on vastuunjako: kenen vastuulla viime kädessä sähköbussiliikenteen toimintakyvyn varmistamisen tulisi olla? Jokaiselle toimijalle kuuluu jo lainsäädännön kautta vastuu huolehtia oman toimintansa jatkuvuuden varmistamisesta riskiarvioiden ja valmiussuunnittelun keinoin. Vaikka sähköverkko on lähtökohtaisesti ollut toiminnaltaan luotettavaa, eivät toimijat voi kuitenkaan tuudittautua siihen, että sähköjakelu olisi aina keskeytyksetöntä. Jos toiminta ei voi keskeytyä sähkökatkojen vuoksi missään tilanteessa, tulee toimijan varmistaa jatkuvuus omin toimenpitein.

Haastatteluissa todettiin, että liikennöitsijät vastaavat toiminnallaan tilaajan vaatimuksiin. Tilaajan asettamien vaatimusten ylittävä osa nähdään force majeure-tilanteina. Liikennöitsijät näkevät voivansa toteuttaa varautumista, jos sitä vaaditaan, mutta varautumisen kustannukset näkyvät tällöin luonnollisesti liikennöinnin hinnassa ja HSL:lle laadituissa tarjouksissa. Liikennöitsijät varautuvat lähinnä varikoilla sattuviin pieniin tapahtumiin, kuten latauslaitteiden tai muuntajien rikkoutumiseen, mutta varikon tasolla mahdollisuudet muuhun varautumiseen ovat rajalliset – pois lukien toki hallinnolliset varautumistavat, joissa toimenpiteitä ei tehdä infrastruktuuriin. Tilanpuute ei mahdollista suurta varautumista.

HSL:n rooli ja sen asettamat vaatimukset korostuvat, sillä liikennöitsijät toimivat täysin tilaajan vaatimusten pohjalta. Tätä kautta on huomioitava myös varautumisen maksaja, koska varautumiskeinot voivat olla investointeina todella suuria. Jos laajamittaista varautumista halutaan tehdä, maksajan tulee mahdollisesti löytyä liikennöitsijöitä ja liikenteen tilaajaakin ylempää, missä lainsäädännöllä ja erilaisilla rahoitusinstrumenteilla on merkittävä roolinsa aina EU:n tasolle saakka. Varautumisen suuruusluokan suunnittelussa tilanteesta tulisi olla kokonaiskuva ja laatia riskianalyysi, johon varautumisen mitoitusta voidaan suhteuttaa. Tämä koskee HSL:n lisäksi koko joukkoliikenne- ja liikennekenttää valtakunnallisesti.

6 Johtopäätökset ja suositukset

Häiriötilanteissa ja poikkeusoloissa linja-autoliikenne on lähtökohdiltaan resilienttiä, sillä se ei ole riippuvaista tietystä reitistä samaan tapaan kuin raideliikenne. Bussiliikenteen sähköistyessä koko joukkoliikennejärjestelmän riippuvaisuus sähköstä kasvaa HSL-alueella, sillä lähijunat, metrot ja raitiotiet toimivat jo sähköllä. Esimerkiksi suuronnettomuuksia ajatellen bussiliikenteen toimintakyky voi olla merkittävää johtuen nimenomaan joustavuudesta. Raideliikenteeseen verrattuna etuna on, että sähköbussit toimivat akuilla: ne eivät ole jatkuvasti kiinni sähköverkossa. Sähkökaluston häiriönsietokyky on kuitenkin heikompi kuin dieselkalustolla. Bussiliikenteen sähköistyminen muuttaa siis merkittävästi koko joukkoliikennejärjestelmän kriisivalmiutta ja tuo mukanaan tarpeen varautua erityyppisiin riskeihin kuin dieselin kanssa. Varautumisen tavat ovat erilaisia, ja pääpiirteissään sähkökatkoihin varautuminen on haastavampaa kuin mahdollisiin dieselpolttoaineen jakelukatkoksiin. Dieselkaluston kanssa polttoaineen saatavuuteen liittyvää varautumista ei ole tarvinnut pohdiskella kovin aktiivisesti, sillä saatavuus on ollut hyvä, polttoainetta on helppo säilöä varikoilla ja sitä on myös varmuusvarastoitu. Sähkön osalta varastointi on haastavaa, ja kalusto on rajallisemman operointisäteensä ja pitkien latausaikojen vuoksi riippuvaisempi käyttövoiman lähteestä.

Oleellista varautumisessa on pohtia, millainen riskitaso ollaan valmiita hyväksymään ja miten paljon rahaa ollaan valmiita laittamaan riskitason laskemiseksi. Lyhyet häiriöt johtuen esimerkiksi sääoloista, kuten myrskyistä, tai laitteiden vikaantumisista ovat todennäköisimpiä häiriöitä, joiden vuoksi sähkönjakelu voi keskeytyä, mutta niiden aiheuttamat vaikutukset ovat vastaavasti pieniä tai nopeasti ohimeneviä. Tämän tyyppiset häiriöt aiheuttavat liikennöintiin häiriötä todennäköisesti pisimmillään yhden päivän ajaksi, minkä jälkeen päästään palaamaan normaalien aikataulujen mukaiseen liikenteeseen. Vakavia ja pitkäaikaisia vaikutuksia aiheuttavien tapahtumien todennäköisyys taas on matalampi ja ne ovat erittäin vaikeasti ennakoitavia. Esimerkiksi vakavat vikaantumiset ja sabotaasi ovat satunnaisia ja erittäin harvinaisia, mutta eivät kuitenkaan mahdottomia. Hyvin laajoissa ja vakavissa häiriötilanteissa joukkoliikenteen rooli muuttuu, jolloin yhteiskunnan muiden toimintojen varmistaminen todennäköisesti on oleellisempaa kuin linja-autoliikenteen normaali liikennöinti, mikä tulee myös huomioida varautumistarpeen mitoittamisessa.

Tehokkaimmat varautumisen keinot ovat kustannuksiltaan kalliita. Esimerkiksi akkuvarastoilla pystyttäisiin takaamaan liikennöinti häiriötilanteissa useiksi päiviksi, jos varastot mitoitetaan useamman päivän tarpeita vastaaviksi, mutta riittävän suuren kapasiteetin varastot vaativat todella suuren investoinnin. Riskitason ja sen hallinnan

aiheuttamien kustannusten välisen tasapainottelun kannalta on pohdittava, minkä suuruinen panostus varautumiseen on kannattavaa laittaa suhteessa siihen, miten usein uhkat realisoituvat, miten pitkäaikaisia ja millaisia vaikutuksia niillä on. Uhkien realisoidumisen tiheyden ja häiriöiden keston lisäksi tulee pohtia, mitä vaikutuksia joukkoliikenteen keskeyttämisellä sähkönjakelun häiriöiden vuoksi olisi. Supistettu tai kokonaan keskeytetty bussiliikenteen tarjonta voi joissain tapauksissa vaikuttaa muihin yhteiskunnan toimintoihin, ja aiheuttaa välillisesti kustannuksia muualla. Toisaalta lyhytaikaisista häiriöistä aiheuttavista esimerkiksi lumitilanteista tai kuljettajien lakoista on tähänkin saakka selvitty.

Yksittäistä kustannustehokasta keinoa varmistaa sähköbussiliikenteen kriisivalmiutta ei ole, mutta hyötyä voi saada useammasta. Kuten sanottua, tehokkaimmat varautumistavat ovat kustannuksiltaan korkeita ja vakavien häiriöiden todennäköisyys on matala. Tämän takia todennäköisesti on hyväksyttävä se, että pitkät tai vaihtoehtoisesti kriittiseen ajankohtaan osuvat lyhyemmät häiriöt tarkoittavat liikenteen supistamista ja häiriön pitkittyessä lopulta keskeyttämistä. Jo yölle osuvan parin tunnin häiriön vaikutusten estäminen seuraavan päivän liikenteeseen vaatii investoimisen esimerkiksi dieselaggregaattiin tai akkuvarastoon, jos vaikutukset halutaan pyrkiä estämään kokonaan. Vähintään HSL:llä olisi hyvä olla olemassa käyttökelpoiset suunnitelmat niitä tilanteita varten, joissa liikennettä joudutaan supistamaan ja ajamaan alas. Pienimmillään linjojen kesken tulisi tehdä priorisointia sen suhteen, mitkä linjat ovat kaikista tärkeimpiä saada liikennöityä. Yleisessä valmiussuunnittelussa merkittävää on, että suunnitelmat ovat sellaisia, joiden seuraaminen on mahdollista häiriötilanteissa. Tarkkoja suunnitelmia ei ole kannattavaa tehdä jokaista mahdollista skenaariota ajatellen, koska tilanteet muodostuvat aina omanlaisikseen riippuen häiriön sijainnista, syystä ja kestosta. Myös linjojen priorisoinnin seuraaminen oikeassa häiriötilanteessa voi osoittautua haasteelliseksi, koska liikennöinti on normaalitilanteessa aina sidottu tiettyihin varikoihin ja tiettyyn kalustoon. Yleisten toimintalinjausten sekä hallinnollisten toimintatapojen miettiminen ennakkoon erityyppisiä häiriötilanteita varten voisi olla hyödyllistä. Suosituksena olisi myös pyrkiä järjestämään yhteiset tapaamiset jakeluverkkoyhtiöiden kanssa joko HSL:n tai liikennöitsijöiden kautta. Tällöin yhteistyötä ja tiedonvaihtoa toimijoiden kesken voitaisiin vaihtaa liittyen sekä sähköverkon tilanteeseen että sähköistyvän joukkoliikenteen tarpeisiin. Esimerkiksi varikoiden sähköverkkoyhteyksien määrä ja reitti voisivat olla tapaamisissa keskusteltavia aiheita, joilla varautumista on mahdollista tehdä yhteistyössä sähköverkkoyhtiön, HSL:n ja liikennöitsijöiden kesken.

Valmiussuunnitteluun ja yhteistyöhön liittyvien toimenpiteiden lisäksi mahdollisesti auttava tapa turvata toimintavarmuutta tässä hetkessä on säilyttää kalustossa muutakin kuin sähkökalustoa, jos se nähdään tarpeelliseksi. Tämä ei takaa koko bussijärjestelmän

toimintavarmuutta, mutta tällöin ainakin saadaan ajettua kriittisintä liikennettä nykyisellä fossiilista ja uusiutuvaa dieseliä käyttävällä kalustolla, vaikka sähköbussseja ei pystyttäisi lataamaan. Nykyisentyypinen tilanne, jossa kalustosta on sähköistynyt vain osa, vastaa tätä vaihtoehtoa, joskin diesel- tai muun kaluston osuus olisi todennäköisesti jatkossa selvästi pienempi. Kalustovalikoiman säilyttäminen monipuolisena vaatii aktiivisia päätöksiä ja toimenpiteitä kehityskulun muutoin edetessä kohti täysin sähköistä kalustoa, eli käytännössä kirjauksia kilpailutus- ja sopimusasiakirjoihin esimerkiksi minimimäärästä muuta kuin sähkökalustoa. Toimintatapa tarkoittaisi joustoa päästöttömyystavoitteesta ainakin siihen saakka, että esimerkiksi vetykalusto voisi toimia vaihtoehtona. Ilmastotavoitteet ja tahtotila niiden edistämiseen todennäköisesti ovat tämän toimintatavan esteenä, ja kyse onkin valinnasta ilmastotavoitteiden ja kriisivalmiuden painottamisen välillä. HSL:ssä tulisi siis käydä pohdintaa aiheen tiimoilta, vaikka pohdinnan pohjalta nopeasti päädyttäisiinkin jatkamaan ilmastotavoitteiden edistämisen linjalla.

HSL:n toimintatapojen kannalta oleellisia ovat tehtävän valmiussuunnittelun lisäksi vaatimukset, joita HSL liikenteelleen asettaa. Kilpailutusasiakirjoilla ja sopimuksilla HSL voi määritellä, mihin suuntaan kalusto ja toimintavarmuus etenee. Näin HSL voi omilla päätöksillään ja omalla toiminnallaan vaikuttaa siihen, kuinka resilienttiä bussiliikenteestä muodostuu. Kilpailutusta ja sopimusasiakirjoja voidaan siis kehittää huoltovarmuusnäkökulmasta esimerkiksi erilaisilla velvoitteilla, kuten aiemmin mainituilla kalustojakaumaan liittyvillä kirjauksilla, velvoitteilla määritellyn kaltaiseen valmiussuunnitteluun tai mahdollisesti jopa vaatimuksilla muiden varautumistapojen käytöstä. Toiminnan joka tilanteessa varmistavien varautumistapojen kustannusten vuoksi ei kuitenkaan ole todennäköistä, että HSL ryhtyisi nykytilanteessa asettamaan vaatimuksia niiden käytöstä.

Varautumiskeinot ovat mahdollisesti tehokkaimpia sähköverkon ja sähköntuotannon osalta, koska tällöin ne hyödyttävät kaikkia sähkökäyttäjiä. Vaikka sähköverkkoyhtiöiden vastuulla on varmistaa sähköverkon toimintavarmuutta, on vastuu varautua sähkökatkoihin myös sähkökäyttäjillä huomioiden sähkön merkitys omalle toiminnalle ja oman toiminnan merkitys yhteiskunnalle. Varautuminen on siis tarpeen sekä HSL:n, liikennöitsijöiden että sähköverkon toimesta siinä laajuudessa kuin on tarpeellista. Varautumiskeinot eivät ole ilmaisia, vaan jokainen niistä vaatii jonkinlaista rahallista panostusta. Tavanomainen varautumissuunnittelu kuuluu jokaiselle toimijalle, ja esimerkiksi valmiussuunnitelman laadintaan velvoitetaan sähköisen bussiliikenteen toimijoita lainsäädännöllä.

Sähköverkosta johtuva sähkökatko tunnistetaan tällä hetkellä pitkälti force majeure-tilanteeksi, jossa liikennöinti keskeytetään, jos sähkökalustoa ei pystytä lataamaan. HSL:n rooli liikenteen tilaajana on varautumisen tarpeen määrittelyssä oleellista, sillä vaatimukset liikenteelle tulevat heiltä. Liikennöitsijät toteuttavat sitä tasoa ja toimintatapoja, joita heiltä sopimuksien kautta vaaditaan. Jos varautumista on tarpeen vahvistaa, on HSL tässä kehittämisen liikkeellepaneva taho. Vaatimuksien mahdollinen korotus siirtää varautumisen aiheuttamia kustannuksia liikenteen tilaajalle, sillä liikennöitsijät hinnoittelevat palvelunsa sen mukaan, mitä heiltä vaaditaan. Varautumisen maksajaksi päättyy siis tilaaja-tuottajamallin vuoksi todennäköisesti HSL erityisesti niiden toimintatapojen osalta, jotka ylittävät liikennöintiyrityksiltä jo nyt vaadittavan varautumisen tason. Varautumistavat, joilla liikennöinnin jatkuvuus kyetään varmistamaan toimintavarmimmalla tavalla, ovat kalliita. Jos tälle tasolle mennään ja erityisesti, jos tällaista ryhdytään edellyttämään valtakunnallisesti, varautumisen maksajan tulee mahdollisesti löytyä liikenteen tilaajaakin ylempää.

Sähköbussihin liittyvä varautumishaaste on HSL-aluetta laajempi. Joukkoliikenne sähköistyy kaupungeissa koko maassa, mikä johtaa joukkoliikenteen häiriönsietokyvyn heikkenemiseen koko maassa. Joukkoliikenteen käyttövoimamuutoksen taustalla on globaali tarve saada vähennettyä ilmastopäästöjä, jotta ilmastonmuutosta kyetään hillitsemään. Tämä tarve näkyy lainsäädännön ja toimijoiden omien tavoitteiden kautta asetetuissa päästövähennystavoitteissa, jotka koskettavat kaikkia. Kuten jo havaittua, ilmastotavoitteet ja huoltovarmuuden varmistaminen ovat osittain ristiriidassa: päästötavoitteiden saavuttaminen voi heikentää huoltovarmuutta ja vastaavasti huoltovarmuuden varmistaminen voi hidastaa päästötavoitteiden saavuttamista. Aihe on tunnistettu valtakunnallisesti, sillä esimerkiksi fossiilittoman liikenteen tiekartassa määritetään, että huoltovarmuus tulee arvioida käyttövoimauudistuksessa (LVM, 2021, s. 15) ja valtioneuvoston päätöksessä huoltovarmuuden tavoitteista (1048/2018) todetaan, että energiahuoltovarmuuden ja ilmastopoliittisten tavoitteiden kesken on ristiriita, jonka vuoksi energian huoltovarmuutta tulee arvioida säännöllisesti. Koska markkina ohjaa tällä hetkellä kaupunkijoukkoliikenteen kalustoa sähköistymisen suuntaan ilman väliintuloa, tulee kehityskulku ja sen vaikutukset kriisivalmiuteen huomioida myös valtakunnallisten toimijoiden tasolla. Aihe vaatii siis mahdollisesti myös valtakunnan tasoista pohdintaa ja toimintalinjauksia, joihin kaupunkiseudut voivat pohjata omia toimintalinjauksiaan. Kannanotot joukkoliikenteen rooliin ja varautumisen tarpeeseen muuttuneessa tilanteessa olisivat tarpeellisia, ja riskien merkitys olisi tunnistettava. Erilaisia varautumiseen liittyviä vaatimuksia on myös mahdollista asettaa esimerkiksi valtion tasolla, jolloin kyseeseen voi mahdollisesti tulla toimijoiden tukeminen varautumisessa valtion rahoituksella. Yksi keino olisi, jos nähdään tarpeelliseksi, että valtion toimijat voisivat määrittellä joukkoliikenneviranomaisia velvoittavia, esimerkiksi kalustoon

liittyviä vaatimuksia tai toimintatapoja, joilla huoltovarmuutta ja varautumista pyrittäisiin vahvistamaan.

Tarvetta on myös koko joukkoliikenne- ja sähköjärjestelmien kannalta keinoille, jotka eivät tue kovin merkittävästi huoltovarmuutta, mutta voivat olla hyödyllisiä, vaikka varsinaista kriisitilannetta ei koskaan tulisi. Esimerkiksi kysyntäpiikkien tasaamiseen tähtääminen on hyödyllistä sähköbussien (ja sähköajoneuvojen kokonaisuudessaan) määrän ja uusiutuvan energian tuotannon kasvun myötä. Sähkön kulutuksen ja tuotannon täsmäämättömyys sekä energiantuotannon vaikeampi ennustettavuus tuottavat tarpeen miettiä esimerkiksi varastointimahdollisuuksia myös ajatellen tavallista arkipäiväistä normaalitilannetta. Tämä koskee kaikkia toimijoita.

Yksi erityisistä sähkökaluston yleistymisen riskeistä koko yhteiskunnan kriisivalmiuden kannalta on sähkökaluston sopimattomuus evakuointikuljetuksiin. Linja-autot toimivat evakuointitilanteissa kuljetuskalustona väestön omien ajoneuvojen lisäksi, ja niitä voidaan ottaa käyttöön paikallisilta kuljetusyrittäjiltä. Laajamittaiseen evakuointikäyttöön soveltuva kuljetuskalusto vähenee, kun sähkökaluston määrä kasvaa. Toisaalta on hyvä huomata, että pitkän matkan bussikalusto sähköistyy toistaiseksi selvästi hitaammin kuin kaupunkiliikenne, joten dieselkalustoa on saatavilla evakuointiin kaukoliikenteen kalustosta myös lähitulevaisuudessa. Joka tapauksessa sähkökaluston kasvu tulisi huomioida suunnitelmissa, joita laajamittaisten evakuointikuljetusten osalta esimerkiksi pelastuslaitoksissa tehdään.

6.1 Kriisivalmiuden kehittämisen toimintapolut

Kaupunkijoukkoliikenteen kriisivalmiutta ja sen kehittämistä voi tiivistetysti tarkastella kolmen toimintapolun avulla, joita HSL voi valita noudattaa: ensimmäisessä toiminnan ohjurina ovat kustannukset, toisessa ilmastotavoitteet ja kolmannessa kriisivalmius. Toimintapolut voivat toimia esimerkkeinä ja ajattelun apuvälineinä, kun varautumisen tuomaa lisämaustetta joukkoliikenteen järjestämiseen tarkastellaan. Ohjurit ovat osin kärjistettyjä, sillä toki toiminnan suunnittelussa voidaan pyrkiä edistämään jokaista tavoitetta, vaikka niiden painotuksissa olisikin eroja.

Perinteisesti joukkoliikenteen järjestämistä on ajateltu kustannusten kautta, jolloin liikennöinti pyritään järjestämään mahdollisimman kustannustehokkaasti ja haetaan sopivaa tasapainoa tarjotun palvelutason ja sen aiheuttamien kustannusten kesken. Toimintapolussa liikenne hankitaan kokonaistaloudellisuuden perusteella, kuten tälläkin hetkellä toimitaan. Toki myös laatupisteytys on mukana päätöksissä, eli ainoastaan hinnan perusteella esimerkiksi

liikennöintisopimuksia ei määritetä. Tässä vaihtoehdossa kustannukset pyritään pitämään maltillisina, ja varautuminen toteutetaan kustannustehokkaasti niillä keinoilla, jotka ovat mahdollisia. Esimerkiksi kunnissa ja yrityksissä tehdään valmiussuunnittelua, suunnitellaan toimintatapoja mahdollisten häiriöiden varalle, mutta hyväksytään se tosiasia, että liikennöinti ei ole kovin resilienttiä. Kaikista tehokkaimmat kriisivalmiuden varmistuskeinot eivät ole kustannustehokkaita, eikä niiden toteuttaminen perusteltua. Päästötavoitteet toteutuvat välillisesti kustannuksia painottaessa, koska kalusto todennäköisesti sähköistyy kustannusnäkökulman ajamana, kuten kehitys tällä hetkellä kaupunkijoukkoliikenteessä kulkee markkinatilanteen vuoksi.

Jos kehityksen ohjurina toimivat ilmastotavoitteet, ajetaan ensisijaisesti liikenteen aiheuttamat päästöt noltaan, ja kustannukset ja kriisivalmius ovat toissijaisia. Tällöin päästötavoitteet saavutetaan, mutta tilanne johtaa toimintavarmuuden riskeihin. Nykyuraa ilmastotavoitteiden näkökulmasta edetessä liikenne sähköistyy, ja sähkössä on esimerkiksi operointisäteeseen ja varastointimahdollisuuksiin liittyviä haasteita, jotka heikentävät kriisivalmiutta. Myös muissa fossiilittomissa käyttövoimissa on kriisivalmiuden kannalta heikkouksia, koska niidenkin varastointimahdollisuudet eroavat fossiilisesta dieselistä, eikä niille ole esimerkiksi varmuusvarastointia. Kustannuksiin vaikutus on neutraali tai voi olla liikenteen hankinnan näkökulmasta positiivinen, sillä sähkökalustolla liikennöinti on todettu HSL:ssä edullisemmaksi. Tilanne säilyy sellaisena ja entisestään jopa paranee, jos sähköenergian käyttö pysyy edullisempänä kuin muut käyttövoimat ja sähkökaluston hankintakustannukset laskevat.

Kehitystä ohjaamaan voidaan valita resilienssin ja kriisivalmiuden painottaminen. Tällöin joukkoliikenteen kaluston kehittämisessä keskiöön nostetaan kriisivalmius, ja pyritään kaikin keinoin varmistamaan bussien toimivuus kaikissa tilanteissa. Tällöin päästötavoitteita on madallettava (ainakin HSL:n tasolla), sillä erittäin toimintavarma joukkoliikenne ei voi sähköistyä täysin ainakaan toistaiseksi. Kriisivalmiuden painottaminen kohottaa kustannuksia, sillä varautumiskeinot maksavat. Jos halutaan varmistaa sekä kriisivalmius että tiukkojen ilmastotavoitteiden säilyttäminen ja saavuttaminen, eli tehdä sähköbussiliikenteestä erittäin toimintavarmaa, kohoavat kustannukset erittäin korkeiksi. Tällöin tarpeeseen tulevat selvityksessä käsitellyt kaikista kalleimmat varautumiskeinot, kuten laaja sähkön varastointi yhdistettynä varastointitapojen uudelleenlatausmahdollisuuksiin esimerkiksi suurilla aurinkopaneelijärjestelmillä.

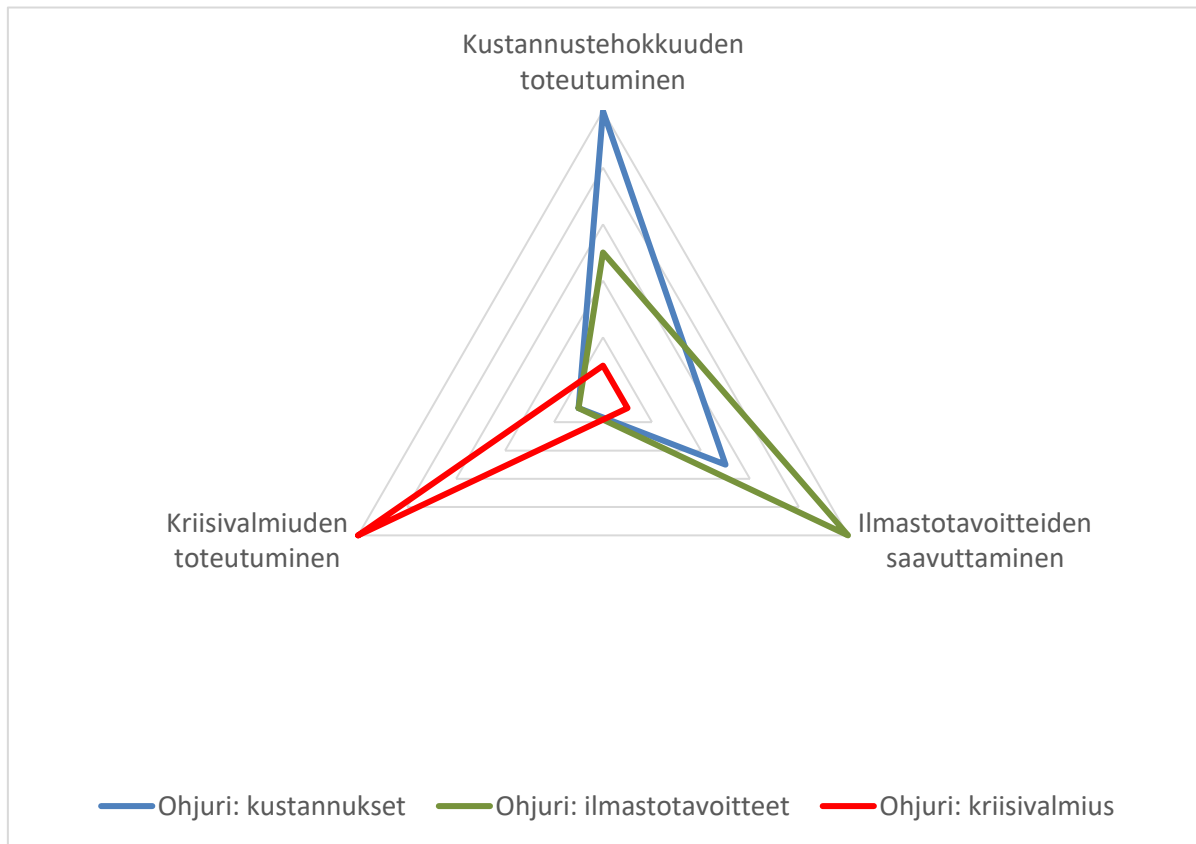
Taulukossa 2 on esitetty ohjurit ja niiden vaikutukset kustannustehokkuuden, ilmastotavoitteiden ja kriisivalmiuden toteutumiseen. Tavoitteen saavuttaminen on esitetty asteikolla ”toteutuu (ensisijainen)”, ”toteutuu (välillisesti)” ja ”ei toteudu”.

Taulukko 2. Kustannustehokkuuden, ilmastotavoitteiden ja kriisivalmiuden toteutuminen eri toiminnan ohjureita käytettäessä.

	Kustannustehokkuuden toteutuminen	Ilmastotavoitteiden saavuttaminen	Kriisivalmiuden toteutuminen
Ohjuri: Kustannukset	Toteutuu (ensisijainen)	Toteutuu (välillisesti)	Ei toteudu
Ohjuri: Ilmastotavoitteet	Toteutuu (välillisesti)	Toteutuu (ensisijainen)	Ei toteudu
Ohjuri: Kriisivalmius	Ei toteudu	Ei toteudu	Toteutuu (ensisijainen)

Kuvassa 2 on esitetty vastaavat tiedot säteittäisessä kaaviossa, jossa eriväriset muodot kuvaavat ohjureita. Tavoitteiden toteutumista kuvaa, kuinka lähelle kolmion kärkiä kukin ohjuri yltää: kolmion kärkeen yltävä ohjuri kertoo, että tavoite toteutuu, puoliväliin yltävä kertoo, että tavoite toteutuu välillisesti tai osittain, kun taas kolmion ytimeen jäävä ohjuri kertoo, ettei tavoite toteudu. Esimerkiksi käytettäessä ohjurina kustannuksia (sininen), kustannustehokkuus toteutuu, ilmastotavoitteet toteutuvat välillisesti, mutta kriisivalmius ei toteudu.

Kuva 2. Kustannustehokkuuden, ilmastotavoitteiden ja kriisivalmiuden toteutuminen eri toiminnan ohjureita käyttäessä.



7 Jatkoselvitystarpeet

Tässä selvityksessä sähköbussiliikenteen vaikutuksia toimintavarmuuteen ja häiriö- ja kriisitilanteisiin varautumiseen sekä varautumiskeinoja on käsitelty yleisellä tasolla näkökulmana koko kuvan saaminen. Selvityksessä on mukana pohdintaa niin lyhyiden häiriöiden kuin pidempien vakavien häiriöiden osalta. Jatkoselvitystarpeena voisi olla tarkastella vielä tarkemmin tarvetta varautua lyhytaikaisiin ja kaikista todennäköisimpiin häiriöihin, sekä kustannustehokkaita keinoja, joilla arkipäivän toimintavarmuutta voitaisiin vahvistaa. Tähän liittyvät myös suunnitelmat häiriötilanteissa liikennöinnissä. Lisäksi, jos jokin varautumiskeino nähdään potentiaalisesti, tarvitaan siitä tarkempia lisäselvityksiä.

Koska joukkoliikenne sähköistyy koko maassa, on selvityksen tuloksista hyötyä HSL:n lisäksi muille joukkoliikenneviranomaisille ja joukkoliikennealan toimijoille, kuten liikennöitsijöille ja kalustovalmistajille. Tulokset ovat siis osin laajennettavissa, mutta huomioiden toiminnan skaalautuvuus eri kokoisille joukkoliikennetoimijoille. Käyttövoimaosuuksina tarkasteltuna osalla joukkoliikennetoimijoista tulee olemaan hyvin nopeasti tilanne, jossa lähes koko tai

koko kalusto on sähköistynyt. Myös esimerkiksi uusiutuvan dieselin ja kaasun käyttö muuttaa varautumistilannetta muun muassa johtuen näiden erilaisista varastointiominaisuuksista ja varmuusvarastoinnin tilanteesta.

Liikenne- ja viestintävirasto Traficom edellyttää henkilöliikenneluvan haltijoilta vaatimustensa mukaisen valmiussuunnitelman laatimista. Tätä valvotaan satunnaisilla tarkastuksilla.

Liikennöitsijöiden varautumisen tilanteen tarkastelu voisikin olla jatkoselvitystarve valtakunnallisen toimijakentän kokonaistilanteen tarkastelemiseksi. Myös muutoin linja-autoliikenteen käyttövoimamuutos ja sen vaikutus toimintavarmuuteen valtakunnallisesta näkökulmasta on asia, joka voi vaatia tarkasteluja.

Lähteet

- Bailey, L. (2020). *Planning for a climate resilient electric bus fleet. Challenges and Solutions for Public Transport Agencies*. ElectrifyNY.
[https://climate.law.columbia.edu/sites/default/files/content/09-29-2020_Resiliency-Report%20\(1\).pdf](https://climate.law.columbia.edu/sites/default/files/content/09-29-2020_Resiliency-Report%20(1).pdf)
- Blomqvist, K., Härkönen, J. & Makkonen, T. (2017). *Sähkön varastointiteknikat ja markkinat. Mobiilisähkövarastoilla energiahuoltovarmuutta ja säätövoimaa uusiutuvalle energialle*. <https://vanha.karelia.fi/mobiilisahkovarastot/wp-content/uploads/2018/02/Sahkon-varastointiteknikat-ja-markkinat.pdf>
- Bogovič, F., Dalunde, J., Hautala, H., Holmgren, P., Katainen, E., Kumpula-Natri, M., Pekkarinen, M., Salini, M., Sander, A., Virkkunen, H. & Wiesner, E. (n.d.). *MEPs' call for a Truly Green Mobility. All sustainable solutions – including biomethane – are needed to decarbonize transport*. <https://www.europeanbiogas.eu/wp-content/uploads/2021/05/MEPs-petition-on-CO2-standards.pdf>
- Cormier, A. (2023). *The Road to Sustainability: Transition to Renewable Energy in Public Transport*. International Association of Public Transport (UITP).
<https://www.uitp.org/publications/the-road-to-sustainability-transition-to-renewable-energy-in-public-transport/>
- Espoon kaupunki. (n.d.). *Espoo-tarina*. Espoon kaupunki. Haettu 8.6.2023 osoitteesta
<https://www.espoo.fi/fi/espoo-kaupunki/espoo-tarina>
- Etelä-Suomen aluehallintovirasto. (2023). *Uudenmaan alueellinen riskiarvio 2023*.
<https://sisainenturvallisuus.fi/documents/8347581/8542516/Uudenmaan+alueellinen+riskiarvio+2023.pdf/85e404b3-6811-4cfc-abe0-3109eb4d63eb/Uudenmaan+alueellinen+riskiarvio+2023.pdf?version=1.0&t=1684755860558>
- Fingrid. (n.d.-a). *Suomen sähköjärjestelmä*. Fingrid.
<https://www.fingrid.fi/kantaverkko/kehittaminen/suomen-sahkojarjestelma/>
- Fingrid. (n.d.-b). *Sähköjärjestelmän tila*. Fingrid.
<https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/sahkojarjestelman-tila/>
- Fingrid. (2023). *Kantaverkon kehittämissuunnitelma 2024–2033*. Fingrid Oyj.
https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/kantaverkko/kantaverkon-kehittaminen/fingrid_kehittamissuunnitelma_luonnos_26.6.pdf
- Hast, A. (3.3.2017). Pohjoismaiden suurin akku on merikontin kokoinen – "Vastaa 100 000 tavallisen kännykän akkua". *Länsiväylä*. <https://www.lansivayla.fi/paikalliset/1737280>
- Heard, R. & Mannarino, E. (2018). *Microgrids and Their Application for Airports and Public Transport. A Synthesis of Airport and Transit Practices*. Airport Cooperative Research

- Program and Transit Cooperative Research Program.
<https://nap.nationalacademies.org/read/25233>
- Helen. (2022). *Vastuullisuusraportti 2022*. Helen. <https://www.helen.fi/tietoa-meista/vastuullisuus/vastuullisuus-helenissa/vastuullisuusraportti>
- Helsingin kaupunki. (2021). *Kasvun paikka. Helsingin kaupunkistrategia 2021–2025*. Helsingin kaupunki.
<https://stplattaprod.blob.core.windows.net/strategiatalousprod/Helsingin%20kaupunki%20strategia%20Kasvun%20paikka.pdf>
- HSL. (n.d.). *Sähköbussi pelaa päästötavoitteidemme ykkösketjussa*. Helsingin seudun liikenne. <https://www.hsl.fi/hsl/sahkobussit>
- HSL. (2021a). *Asiakkuuksista kestävään kasvuun. HSL:n strategia 2022–2025*. Helsingin seudun liikenne.
<https://hslfi.azureedge.net/globalassets/hsl/organisaatio/strategia/strategia-mediainfo-14122021.pdf>
- HSL. (2021a). *Sähköbussien käytön aikainen lataaminen. Suunnitteluohje*. Helsingin seudun liikenne. https://hslfi.azureedge.net/globalassets/hsl/uutisten-pdf-liitteet/sahkobussien-kaytonaikainen-lataaminen-suunnitteluohje_2021.pdf
- HSL. (2021b). *Sähköbussien käytön aikaisen latauksen järjestäminen HSL-alueella*. Helsingin seudun liikenne. https://hslfi.azureedge.net/globalassets/hsl/uutisten-pdf-liitteet/sahkobussien-kaytonaikaisen-latauksen-jarjestaminen_2021.pdf
- HSL. (2022). *Bussiliikenteen sähköistyminen ja varikot HSL-alueella*. Helsingin seudun liikenne. https://hslfi.azureedge.net/globalassets/hsl/uutisten-pdf-liitteet/sahkobussivarikot_2022.pdf
- Huoltovarmuuskeskus. (2022). *RESPA 22 -harjoitus testaa pääkaupunkiseudun varautumista vakaviin sähkön jakeluhäiriöihin*. Huoltovarmuuskeskus.
<https://www.huoltovarmuuskeskus.fi/a/respa-22-harjoitus-testaa-paakaupunkiseudun-varautumista-vakaviin-sahkon-jakeluhairioihin>
- Huoltovarmuuskeskus. (n.d.-a). *Huoltovarmuusorganisaatio*. Huoltovarmuuskeskus.
<https://www.huoltovarmuuskeskus.fi/huoltovarmuusorganisaatio>
- Huoltovarmuuskeskus. (n.d.-b). *Huoltovarmuus Suomessa*. Huoltovarmuuskeskus.
<https://www.huoltovarmuuskeskus.fi/tietoa-huoltovarmuudesta/huoltovarmuus-suomessa>
- Huoltovarmuuskeskus. (n.d.-c). *Sektorit ja poolit*. Huoltovarmuuskeskus.
<https://www.huoltovarmuuskeskus.fi/huoltovarmuusorganisaatio/sektorit-ja-poolit>
- Huoltovarmuuskeskus. (n.d.-d). *Jatkuvuudenhallinta*. Huoltovarmuuskeskus.
<https://www.huoltovarmuuskeskus.fi/tietoa-huoltovarmuudesta/jatkuvuudenhallinta>

- Hämeenlinnan kaupunki. (2019). *Hämeenlinnan henkilö- ja joukkoliikenteen käyttövoimaselvitys*. Hämeenlinnan kaupunki. https://www.hameenlinna.fi/wp-content/uploads/2021/01/kayttis_raportti_Hameenlinna_20191008.pdf
- Kohonen, A. (2018). *Sähköbussi: Kannattava investointi vai sijoitus tulevaisuuteen?* [pro gradu -tutkielma, Tampereen yliopisto.] <https://urn.fi/URN:NBN:fi:uta-201805141672>
- Kukkola, M. (2022). *Mikroverkon suojaus – yleiset periaatteet ja toteutus opetusympäristössä*. [diplomityö, Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT.] <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2022061345935>
- Laki ajoneuvo- ja liikennepalveluhankintojen ympäristö- ja energiatehokkuusvaatimuksista 740/2021. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2021/20210740>
- Laki huoltovarmuuden turvaamisesta 1390/1992. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1992/19921390>
- Laki liikenteen palveluista 320/2017. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2017/20170320>
- Laki tuontipolttoaineiden velvoitevarastoinnista 1070/1994. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1994/19941070>
- Lehtinen, A. & Kanerva, O. (2017). *Selvitys sähköbussien edistämiseksi suomalaisilla kaupunkiseuduilla*. Liikennevirasto. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-317-388-0>
- Lehtinen, A., Gruzdaitis, L. & Frinlander, N. (2018). *Jatkoselvitys sähköbussien edistämiseksi suomalaisilla kaupunkiseuduilla. Toimijoiden näkemykset*. Liikennevirasto. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-317-546-4>
- Logan, K., Nelson, J. & Hastings, A. (2020). Electric and hydrogen buses: Shifting from conventionally fuelled cars in the UK. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 85(1). <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102350>
- LVM. (2021). *Fossiilittoman liikenteen tiekartta. Valtioneuvoston periaatepäätös kotimaan liikenteen kasvihuonepäästöjen vähentämisestä*. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 2021:15. Liikenne- ja viestintäministeriö. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-588-0>
- LVM. (2023). *Ohjelma tieliikenteen uusien polttoaineiden jakeluinfran kehittämiseksi Suomessa vuoteen 2035*. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 2023:4. Liikenne- ja viestintäministeriö. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-933-8>
- Minkkinen, E. (2021). *Akkuvaraston hyödyntäminen ja kannattavuus sähkönjakeluverkossa*. [Diplomityö, Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT] <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe202104089715>
- Motiva. (2023a). *Diesel*. https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/valitse_auto_viisaasti/energialahteet/diesel

Motiva. (2023b). *Uusiutuva diesel*.

https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/valitse_auto_viisaasti/energialahteet/uusiutuva_diesel

Pihlatie, M., Viik, S. & Hopsu, J. (2022). *Paikallisliikenteen puhtaat käyttövoimat nyt ja tulevaisuudessa*. VTT Technical Research Centre of Finland.

<https://cris.vtt.fi/en/publications/paikallisliikenteen-puhtaat-k%C3%A4ytt%C3%B6voimat-nyt-ja-tulevaisuudessa>

Puolustuslilaki 1083/1991. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1991/19911083>

Rummukainen, A., Reunanen, J., Muilu, H. & Rissanen, J. (14.10.2023). *Savolaisen sähköpylvään viereen ajoi salaperäinen valokuvaaja – tällaisia uhkia on nyt ympäri Suomea*. Yle. https://yle.fi/a/74-20055216?fbclid=IwAR00sVW9BVZU6_FExnUrIKEdMKIdiD4tjX7SKQTKvPnb5xq3YX4KHgQWq-4_aem_AZuhlizLjisDA18ewX9JP_xTIWnT81akCtuUq7b33yM-Eg5P8gHmbJX-xwXEFz8XJdA

https://yle.fi/a/74-20055216?fbclid=IwAR00sVW9BVZU6_FExnUrIKEdMKIdiD4tjX7SKQTKvPnb5xq3YX4KHgQWq-4_aem_AZuhlizLjisDA18ewX9JP_xTIWnT81akCtuUq7b33yM-Eg5P8gHmbJX-xwXEFz8XJdA

Sipilä, E. ym. (2021). *Liikenteen käyttövoimien kehityksen ennuste – vaikutus polttoaineisiin ja huoltovarmuuteen*. Selvitys Huoltovarmuuskeskukselle sekä Öljypoolille ja Maakaasujaostolle.

<https://www.huoltovarmuuskeskus.fi/files/3f91aaf3ed8466a15b203d5521d769dee3f700e5/liikenteen-kayttovoimien-kehitys-loppuraportti-11062021.pdf>

Sisäministeriö. (2023). *Kansallinen riskiarvio 2023*. Sisäministeriön julkaisu 2023:4.

<http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-324-602-7>

Suomen virallinen tilasto. (2023a). Autot käyttövoiman mukaan. Tilastokeskus.

https://pxdata.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_mkan/statfin_mkan_pxt_11ie.p_x

Suomen virallinen tilasto. (2023b). Liikenteen energiankulutus. Tilastokeskus.

https://pxdata.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_ehk/statfin_ehk_pxt_12sz.px

Suomen virallinen tilasto. (2023c). Sähkön hankinta ja tuotanto. Tilastokeskus.

https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_salatuo/statfin_salatuo_pxt_11_sr.px/

Sähkömarkkinalaki 588/2013. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2013/20130588>

TEM. (n.d.) *Huoltovarmuus ja elintärkeiden toimintojen turvaaminen työ- ja elinkeinoministeriön hallinnonalalla*. Työ- ja elinkeinoministeriö.

<https://tem.fi/elintarkeiden-toimintojen-turvaaminen>

TEM. (2019). *Sähköntuotannon skenaariolaskelmat vuoteen 2050*. Työ- ja elinkeinoministeriö.

<https://tem.fi/documents/1410877/2132100/S%C3%A4hk%C3%B6ntuotannon+skenariolaskelmat+vuoteen+2050+%E2%80%93selvitys+22.2.2019/8d83651e-9f66->

- [07e5-4755-a2cb70585262/S%C3%A4hk%C3%B6ntuotannon+skenaariolaskelmat+vuoteen+2050+%E2%80%93selvitys+22.2.2019.pdf](#)
- TEM. (2023). *Huoltovarmuuden tavoitepäätöksen valmistelu käynnistyy*. Työ- ja elinkeinoministeriö. <https://valtioneuvosto.fi/-/1410877/luoltovarmuuden-tavoitepaatoksen-valmistelu-kaynnistyy>
- TEM. (2022). *Valtioneuvoston asetus varautumissuunnitelmaan sisällytettävästä sähkökäyttöpaikkojen etusijajärjestyksestä*. TEM/2022/211. Työ- ja elinkeinoministeriö. <https://tem.fi/paatos?decisionId=0900908f807fa33b>
- Tessler, M. & Traut, J. (2022) Hurricane resiliency methods for the New York electric bus fleet. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 105(1). <https://doi.org/10.1016/j.trd.2022.103255>
- Traficom. (2020). *Valmiussuunnittelun järjestäminen liikennejärjestelmässä*. Määräys. <https://www.traficom.fi/fi/liikenne/tieliikenne/maantiekuljetusyritysten-varautumisvelvollisuus>
- Turvallisuuskomitea. (2017). *Yhteiskunnan turvallisuusstrategia*. Valtioneuvoston periaatepäätös 2.11.2017. https://turvallisuuskomitea.fi/wp-content/uploads/2018/02/YTS_2017_suomi.pdf
- Valmiuslaki 1552/2011. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20111552>
- Valtioneuvosto. (2020). *Yhteiskunnan toiminnan kannalta kriittisten alojen henkilöstö*. Tiedote 17.3.2020. <https://valtioneuvosto.fi/-/10616/yhteiskunnan-toiminnan-kannalta-kriittisten-alojen-henkilosto>
- Valtioneuvoston päätös huoltovarmuuden tavoitteista 1048/2018. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2018/20181048>
- Vantaan Energia Sähköverkot. (n.d.). *Sähköverkon kehittämissuunnitelma 2022*. Vantaan Energia Sähköverkot Oy. <https://frantic.s3.eu-west-1.amazonaws.com/vantaanenergia-ves/uploads/20220623093426/Sahkoverkon-kehittamissuunnitelma-2022-1.pdf>
- Vantaan kaupunki. (n.d.). *Innovaatioiden Vantaa. Kaupunkistrategia 2022–2025*. Vantaan kaupunki. <https://www.vantaa.fi/sites/default/files/document/Vantaan%20kaupunkistrategia%202022-2025.pdf>
- Vesa, P. (2021). *Keskeytyskriittisten sähkökäyttöpaikkojen priorisointi*. Huoltovarmuuskeskus. <https://www.huoltovarmuuskeskus.fi/files/666549f601a3c73289002e38f78bd04c8dd3bab0/sahkonkayttopaikkojen-priorisointi-selvitys-270821.pdf>

- Vilkuna, J., Huikko, K. & Peltola, V. (2021). *Laki ajoneuvo- ja liikennepalveluhankintojen ympäristö- ja energiatehokkuusvaatimuksista ("laki puhtaista ajoneuvoista")*. Yleiskirje 13/2021. Kuntaliitto. <https://www.kuntaliitto.fi/yleiskirjeet/2021/laki-ajoneuvo-ja-liikennepalveluhankintojen-ymparisto-ja>
- Volvo. (n.d.-a). *Sustainable public transport solutions*. <https://www.volvobuses.com/en/city-and-intercity.html>
- Volvo. (n.d.-b). *Volvo 7900 Electric -mallin erittelyt*. <https://www.volvobuses.com/fi/city-and-intercity/buses/volvo-7900-electric/specifications.html>
- Vänninen, J. (2019). *Sairaalan varavoimajärjestelmä*. [Opinnäytetyö, Oulun ammattikorkeakoulu] <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2019060414703>
- Yutong. (n.d.) *E15 E-bus*. <https://en.yutong.com/products/E15-europe.shtml>

Liite 1. Haastattelukysymykset toimijoittain

Liikennöitsijät

Kalusto ja varikot

1. Mitä käyttövoimia teillä on käytössä?
2. Montako varikkoa on käytössä tällä hetkellä ja missä niistä säilytetään sähkökalustoa? Montako sähköbussia per varikko? Onko tiedossa muutoksia?
3. Miten lataus on järjestetty? Mikä osuus sähkökalustosta ladataan varikolla ja mikä käytön aikana? Latauslaitteiden määrä per varikko?
4. Mikä on käytössä olevan kaluston operointisäde?

Vaikutukset liikennöintiin

1. Miten sähkökalusto on vaikuttanut liikennöintiin ja varikkojen toimintaan?
2. Onko sähkökaluston kanssa ollut teknisiä tai operatiivisia haasteita? Erityisesti sähkönsaannin näkökulmasta?
3. Miten arvioitte vaikutuksia liikennöintiin, jos sähköt ovat poikki erilaisissa tilanteissa? Millaisia eroja eri tilanteissa muodostuu?
 - a. Lyhyt muutamien paikallinen sähkökatko?
 - b. Lyhyt muutamien tuntien hyvin laaja sähkökatko?
 - c. Sähköpulatilanne, eli parin tunnin sähkökatkoja ajoittain?
 - d. Paikallinen vuorokauden tai useamman sähkökatko?
 - e. Hyvin laaja vuorokauden tai useamman sähkökatko?
 - f. Pitkä häiriö laajalla alueella?

Valmiussuunnittelu

1. Millä tavoin yrityksessä on suunniteltu varautumista erilaisiin häiriötilanteisiin? Onko yrityksessä laadittu Traficomien varautumisvelvollisuuden mukaista valmiussuunnitelmaa?
 - a. Miten sähkökalusto ja mahdolliset sähkönsaannin häiriöt näkyvät valmiussuunnittelussa?
2. Miten mahdolliset evakuointikuljetukset on huomioitu, jos valmiussuunnittelua on tehty?

Varautumiskeinot

1. Millaisia keinoja varautua sähkösaannin häiriöihin on käytössä? Miten toimivat?
2. Miten arvioitte muiden mahdollisten varautumiskeinojen toimivuutta nyt ja tulevaisuudessa? Pystytekö arvioimaan keinojen hintaluokkaa?
 - a. Valmiussuunnittelu, harjoittelu? Yhteistyönäkökulma?
 - b. Varikoiden hajauttaminen?
 - c. Latauslaitteiden määrä?
 - d. Latauslaitteiden yhteensopivuus erilaiseen kalustoon?
 - e. Varakalusto muita käyttövoimia?
 - f. Kalusto koostuu useammasta käyttövoimasta? (Esim. sähkön rinnalla tulevaisuudessa säilyisi vaikka biopolttoaineita)
 - g. Energian varastointi ja/tai oma tuotanto? Onko tällaisia tapoja ollut missään vaiheessa pohdinnassa?
 - i. Akut ja muut varastointitavat?
 - ii. Generaattorit ja aggregaatit?
 - iii. Mikroverkot / esim. aurinkopaneelit?
 - h. Vety ja sähköpolttoaineet tulevaisuudessa?
 - i. Muita mahdollisia varautumiskeinoja?

Varautumisen vastuunjako

1. Mikä on näkemyksenne varautumiseen liittyvästä vastuunjaosta? Kenen vastuulla varautumisen tulisi olla?
 - a. Liikennöitsijä
 - b. HSL
 - c. Jakelu- ja kantaverkonhaltijat

Muuta

1. Muuta mieleen tulevaa teemaan liittyen, terveisiä HSL:lle?

Jakeluverkkoyhtiö

Rooli

1. Mikä on jakeluverkon haltijan rooli kriisivalmiuden varmistamisessa ja varautumisessa?
2. Muuta tehtäviin liittyvää?

Sähkö ja joukkoliikenne

1. Miten liikenne- ja energia-aloilla on teidän näkemyksen mukaan yleisesti varauduttu ja tulisi varautua liikenteen sähköistymiseen?
2. Muuta sähköisen joukkoliikenteen varautumiseen liittyvää?

Sähkönsaannin uhkien todennäköisyydet ja häiriöiden kestot

1. Miten arvioitte erilaisten sähkönsaantiin liittyvien uhkien todennäköisyyden?
 - a. Sääolosuhteet
 - b. Tekniset viat
 - c. Sähköpula
 - d. Markkinahäiriöt
 - e. Suuronnettomuudet, sabotaasi, terrorismi ym. vakavat uhkat
2. Miten pitkiä ja laajoja sähkönjakelun häiriöitä nämä aiheuttaisivat?
3. Miten erilaisia jakeluverkon häiriöitä pyritään estämään?
4. Muuta sähköverkon häiriöihin liittyvää?

Kriittiset sähkönkäyttöpaikat

1. Mikä Carunan näkökulmasta on kaupunkiliikenteen paikka sähkönkäyttöpaikkojen priorisoinnissa ja miksi?
 - a. Erityisesti pääkaupunkiseudun ja sen ympäristön paikallisliikenne
 - b. Raideliikenne vs. kumipyöräliikenne
2. Näkyykö busseilla operoitava kaupunkiliikenne priorisointijärjestyksessä?
3. Miten kaupunkiliikenteen sähköistyminen on huomioitu?
4. Muuta kriittisiin sähkönkäyttöpaikkoihin liittyvää?

Toimijoiden varautuminen

1. Mitä varautumistoimenpiteitä sähköverkossa tehdään?
2. Millaisia sähköverkkoon liittyviä toimenpiteitä bussivarikoilla/varikoille voidaan tehdä varautumisnäkökulmasta?
3. Mikä on sähkökäyttäjien vastuu varautumisessa ja miten he voivat varautua sähkökatkoihin? Näkökulmana siis bussivarikon tyyppiset toimijat, eivät yksittäiset kansalaiset.
4. Millaisia varautumistoimenpiteitä Carunan verkkoon liittyneet kriittiset sähkökäyttöpaikat ovat tehneet? (esim. sairaalat, tehtaat, muut isommat yksiköt)
 - a. Onko pystytty ratkaisemaan kustannustehokkaasti? Esim. energian varastointi, varavoima, mikroverkot
5. Muuta toimijoiden varautumiseen liittyvää?

Muuta

1. Muuta mieleen tulevaa teemaan liittyen?