

Seppo Horsmanheimo – Heli Kokkonieniemi-Tarkkanen –
Pirkko Kuusela – Lotta Tuomimäki – Samir Puuska –
Jouko Vankka

Kriittisen infrastruktuurin tilannetietoisuus

Helmikuu 2017

Valtioneuvoston selvitys-
ja tutkimustoiminnan
julkaisusarja 19/2017

KUVAILULEHTI

Julkaisija ja julkaisuaika	Valtioneuvoston kanslia, 06.02.2017		
Tekijät	Seppo Horsmanheimo – Heli Kokkonen-Tarkkanen – Pirkko Kuusela – Lotta Tuomimäki – Samir Puuska – Jouko Vankka		
Julkaisun nimi	Kriittisen infrastruktuurin tilannetietoisuus		
Julkaisusarjan nimi ja numero	Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 19/2017		
Asiasanat	Kriittinen infrastruktuuri, tilannekuva, älykkäät sähköverkot, tietoliikenne, kyberturvallisuus		
Julkaisun osat/ muut tuotetut versiot	-		
Julkaisuaika	06.02.2017	Sivuja 134	Kieli Suomi

Tiivistelmä

Tutkimuksen päätavoitteena oli luoda lähtökohta kriittisen infrastruktuurin laaja-alaiseen toimivuuden arviointiin ja tilannetietoisuuden muodostamiseen erityisesti sähkö- ja tietoliikenneverkkojen osalta. Tarkastelussa huomioitiin sekä yksittäisen infrastruktuurijärjestelmän operaattorin tilannetietoisuusvaatimukset että laaja-alaisempi usean infrastruktuurisektorin kattava, pelastustoimen tarkoituksiin soveltuva kokonaiskuva.

Tutkimus sähkönjakelu- ja tietoliikenneverkoista sekä pelastustoimesta suurhäiriötilanteessa pohjautui sekä haastattelutietoon että kirjallisuusselvitykseen tietoliikenne- ja sähkönjakeluverkkojen teknologioiden, käytön ja palvelujen kehityksestä. Teemahaastatteluilta kerättiin tietoa eri toimijoiden menettelytavoista suurhäiriön hallinnassa sekä teknisistä ratkaisuisista verkkojen korjauksissa ja hallinnassa. Samalla selvitettiin toimijoiden välisiä kytkentöjä suurhäiriötilanteissa sekä kerättiin arvioita vuoteen 2030 mennessä tapahtuvista muutoksista.

Tutkimuksen toisessa vaiheessa kehitettiin simulointimallit sähkönjakelu- ja tietoliikenneverkoista sekä nykytilanteesta että vuonna 2030. Simulointien perusteella säävarma sähköverkko ja akkuvarmistus parantavat koko infrastruktuurin toimintavarmuutta. Taajamien ulkopuolella säävarma sähköverkko parantaa kuitenkin asukkaiden sähkönsaannin varmuutta tehokkaammin kuin matkaviestinverkkojen sähkönsyöttöä. Sähkönjakelun uusina uhkina esille nousevat kyberhyökkäykset ja muut laajat laiteviat, koska sähköverkkojen verkkoautomaation ja etäohjauksen määrä kasvaa.

Haastattelu- ja simulointitulosten lisäksi raportissa esitellään myös tilannekuvavaatimuksia ja suosituksia infrastruktuurin kestävyuden parantamiseksi.

Liite [Liite_loppuraporttiin_Haastattelurungot.pdf](#)

Tämä julkaisu on toteutettu osana valtioneuvoston vuoden 2015 selvitys- ja tutkimussuunnitelman toimeenpanoa (www.vn.fi/teas).

Julkaisun sisällöstä vastaavat tiedon tuottajat, eikä tekstisisältö välttämättä edusta valtioneuvoston näkemystä.

PRESENTATIONSBLAD

Utgivare & utgivningsdatum	Statsrådets kansli, 06.02.2017		
Författare	Seppo Horsmanheimo – Heli Kokkonen-Tarkkanen – Pirkko Kuusela – Lotta Tuomimäki – Samir Puuska – Jouko Vankka		
Publikationens namn	Situationsmedvetenhet av den kritiska infrastrukturen		
Publikationsseriens namn och nummer	Publikationsserie för statsrådets utrednings- och forskningsverksamhet 19/2017		
Nyckelord	Kritisk infrastruktur, lägesbild, smarta elnät, datakommunikation, cybersäkerhet		
Publikationens delar /andra producerade versioner	Liite loppuraporttiin - Haastattelurungot.pdf		
Utgivningsdatum	06.02.2017	Sidantal 134	Språk Finska

Sammandrag

Huvudsyftet med studien var att skapa en utgångspunkt för en bred utvärdering av den kritiska infrastrukturens funktionssäkerhet och forma en mångsidig lägesbild för speciellt el- och kommunikationsnätet. I granskningen beaktades både den enskilda operatörens krav för infrastruktursystemet och medvetenhet om situationen och en mer omfattande helbild som lämpar sig till ändamål av räddningsväsendet och som omfattar flera infrastrukturssektorer.

Forskningen om eldistributionsnäten och kommunikationsnäten och om hur räddningsväsendet agerar i en störningsituation baserade sig på både intervjuresultat och på litteraturstudier om utveckling, användning och service av teknologier inom eldistributionsnäten och kommunikationsnäten. Med tematintervjuer insamlades information om de olika aktörernas verksamhetsätt för att behärska en störningssituation samt de tekniska lösningarna för reparation och behärskning av näten. Samtidigt utreddes aktörernas ömsesidiga kopplingar vid störningssituationer samt samlades uppskattningar om förändringar fram till år 2030.

I undersökningens andra skede utvecklade man simuleringsmodeller om eldistributions och informationsnätverken både i dagens läge och år 2030. På basen av simuleringar förbättrar ett vädersäkert elnät och ackumulatorsäkring funktionssäkerhet för hela infrastrukturen, men utanför tätorterna tryggar ett vädersäkert elnät invånarnas tillgång till el effektivare än eldistributionen till de mobila kommunikationsnätverken. Cyberattacker och omfattande instrumentfel stiger fram som nya hot, på grund av att elnätens nätautomation och fjärrstyrning ökar. I rapporten presenteras krav på lägesbeskrivningar och rekommendationer för förbättring av infrastrukturernas funktionssäkerhet.

Bilaga [Liite loppuraporttiin_Haastattelurungot.pdf](#)

Den här publikationen är en del i genomförandet av statsrådets utrednings- och forskningsplan för 2015 (www.vn.fi/teas).

De som producerar informationen ansvarar för innehållet i publikationen. Textinnehållet återspeglar inte nödvändigtvis statsrådets ståndpunkt

DESCRIPTION

Publisher and release date	The Prime Minister's Office, 06.02.2017		
Authors	Seppo Horsmanheimo – Heli Kokkonen-Tarkkanen – Pirkko Kuusela – Lotta Tuomimäki – Samir Puuska – Jouko Vankka		
Title of publication	Situational awareness of critical infrastructure		
Name of series and number of publication	Publications of the Government's analysis, assessment and research activities 19/2017		
Keywords	Critical infrastructure, situation awareness, smart grid, telecommunications, cybersecurity		
Other parts of publication/ other produced versions	-		
Release date	06.02.2017	Pages 134	Language Finnish

Abstract

The primary goal was to establish a starting point for the assessment of the operability of critical infrastructure and the creation of an operational picture, particularly in the scope of communications and energy networks. The analysis covered the situational awareness requirements of individual infrastructure system operators and a more generic situational picture for rescue services extending over multiple infrastructure sectors.

The research on electricity distribution and telecommunications networks during major crises was based on expert interviews and literature surveys. The surveys covered foreseen developments in technologies, network deployments, and services in telecommunications and energy fields. The interviews were used to compile information about procedures that different stakeholders utilize in the management of major crises as well as technical solutions used for recovery and management of the networks. In addition, the interactions between stakeholders during crises were investigated as well as the anticipated changes in the critical networks by 2030.

During the second phase of the research, models for today's and tomorrow's electricity distribution and telecommunications networks were developed. According to the simulations, a weather-proof electricity distribution network and battery backup systems enhance the overall resiliency of the infrastructure. Outside urban areas, the weather-resilient electricity distribution network improves the reliability of electricity supply of residents more than of mobile networks. In the future, new threats in power supply are cyber attacks and other widespread equipment failures due to the increased level of network automation and remote control. The report also presents requirements for a situational awareness picture and recommendations on how to enhance the robustness of the infrastructure as a whole.

Appendix [Liite loppuraporttiin Haastattelurungot.pdf](#)

This publication is part of the implementation of the Government Plan for Analysis, Assessment and Research for 2015 (www.vn.fi/teas).

The content is the responsibility of the producers of the information and does not necessarily represent the view of the Government.



SISÄLLYS

1	Johdanto	8
1.1	Kriittinen infrastruktuuri.....	8
1.2	Tilannetietoisuus.....	9
1.3	Tutkimuksen tavoite.....	10
1.4	Tutkimusprosessikuvaus.....	12
1.5	Tutkimusmenetelmät.....	14
1.6	Rajaukset.....	14
2	Kriittisen infrastruktuurin toiminta ja tilannekuva suurhäiriötilanteissa	15
2.1	Teemahaastattelut.....	15
2.1.1	Tiedon keruu ja aineiston analysointi.....	15
2.1.2	Haastateltavien valinta.....	16
2.1.3	Aineiston hyödyntäminen.....	17
2.2	Toiminta suurhäiriötilanteessa.....	17
2.2.1	Pelastustoimi.....	18
2.2.2	Sähkönjakelu ja tietoliikenne.....	19
2.2.3	Lainsäädännön vaikutus toimintaan suurhäiriötilanteissa.....	21
2.3	Tilannekuva ja sen vaatimukset.....	23
2.4	Toimintojen linkittyminen infrastruktuurien välillä.....	25
2.4.1	Pelastuslaitos.....	26
2.4.2	Sähkönjakelu.....	29
2.4.3	Tietoliikenne.....	31
2.4.4	Yhteiset tilannetiedon jakamisen välineet.....	33
2.5	Tilannekuvan muodostamisen haasteet.....	35
2.5.1	Pelastustoimi.....	36
2.5.2	Sähkönjakelu ja tietoliikenne.....	37
2.6	Infrastruktuurin käyttäjän toimintakyky suurhäiriötilanteissa.....	39
2.7	Kyberturvallisuus.....	40
3	Häiriönhallinnan vaatimukset ja tulevaisuudennäkymät haastattelujen pohjalta	42
3.1	Suurhäiriön hallintaan liittyvät kehityskohteet.....	42
3.2	Yhteinen tilannekuvajärjestelmä.....	43

3.3	Haastatteluinformaatio vuoden 2030 tilanteesta	47
3.3.1	Toimialojen muuttuminen	47
3.3.2	Infrastruktuurin ja järjestelmien muuttuminen	50
3.3.3	Häiriöt tulevaisuudessa	52
4	Tilannekuvan muodostaminen	55
4.1	Kriittisen infrastruktuurin tilannekuvajärjestelmä	55
4.1.1	Tilannetiedon keruu	55
4.1.2	Riippuvuudet	56
4.1.3	Analyysimenetelmät	57
4.1.4	Visualisointi	58
5	Sähkö- ja tietoliikenneverkkojen simulointi	61
5.1	Infrastruktuurien simulointiympäristö	61
5.2	Tietoliikenneverkot ja niiden palveluiden mallintaminen	64
5.2.1	Matkapuhelinverkkojen mittaukset	64
5.2.2	Tietoliikennepalveluiden mallintaminen	65
5.2.3	Tietoliikenneverkon häiriötilanteet	66
5.3	Sähkönjakeluverkon mallintaminen	68
5.3.1	Säävarma sähköverkko	68
5.3.2	Sähköverkkojen viat	69
5.4	Kriittiset kohteet	69
5.5	Priorisointi ja vikojen käsittely	70
6	Infrastruktuurimallit ja häiriöskenaariot	73
6.1	Nykytilanteen infrastruktuurimalli	73
6.1.1	Nykytilanteen simuloinnin kulku ja vikatapahtumien hallinta	75
6.2	Vuoden 2030 tilanteen infrastruktuurimalli	76
6.2.1	Vuoden 2030 tilanteen simuloinnin kulku ja vikatapahtumien hallinta	79
7	Suurhäiriö infrastruktuurien nykytilanteessa	81
7.1	Infrastruktuurien toimintakyky	82
7.1.1	Sähkönjakelu	83
7.1.2	Tietoliikenne	85
7.2	Infrastruktuurien käyttäjän toimintakyky	88

8	Suurhäiriö infrastruktuurien vuoden 2030 tilanteessa	91
8.1	Infrastruktuurien toimintakyky.....	91
8.1.1	Sähkönjakelu.....	93
8.1.2	Tietoliikenne	94
8.2	Infrastruktuurien käyttäjän toimintakyky	96
9	Kriittinen infrastruktuuri ja kyberuhat	99
9.1	Kyberuhka ja -vaikutus vuoden 2030 simulointimallissa	99
9.1.1	Skenaarion kulku.....	99
9.1.2	Mallinnus	100
9.1.3	Simulointitulokset	100
9.1.4	Sähkönjakelu.....	101
9.1.5	Tietoliikenne	102
9.1.6	Tukiasemien akuston merkitys myrsky- ja kyberskenaariossa	104
9.1.7	Vikamäärät ja keskinäisriippuvuudet.....	105
9.2	Infrastruktuurien käyttäjän toimintakyky	106
10	Infrastruktuurien tilannekuva	108
11	Päätelmät	112
11.1	Päätelmät haastatteluista	112
11.2	Päätelmät simuloinneista.....	113
11.3	Aihepiirin jatkokehitys	115
12	Yhteenveto.....	116
	Käsitteet ja määritelmät.....	118
	Lyhenneluettelo.....	120
	Lähdeluettelo.....	122
	Liite 1: Kriittisten kohteiden priorisoinnissa käytetyt prioriteettiluokat	126
	Liite 2: Simuloinneissa käytetyt tietolähteet sekä tiedonvälitys verkkosimulaattorin ja tilannekuvajärjestelmän välisissä rajapinnoissa.....	128
	Liite 3: Mallinnuksen lähtötietojen yksityiskohtia	130

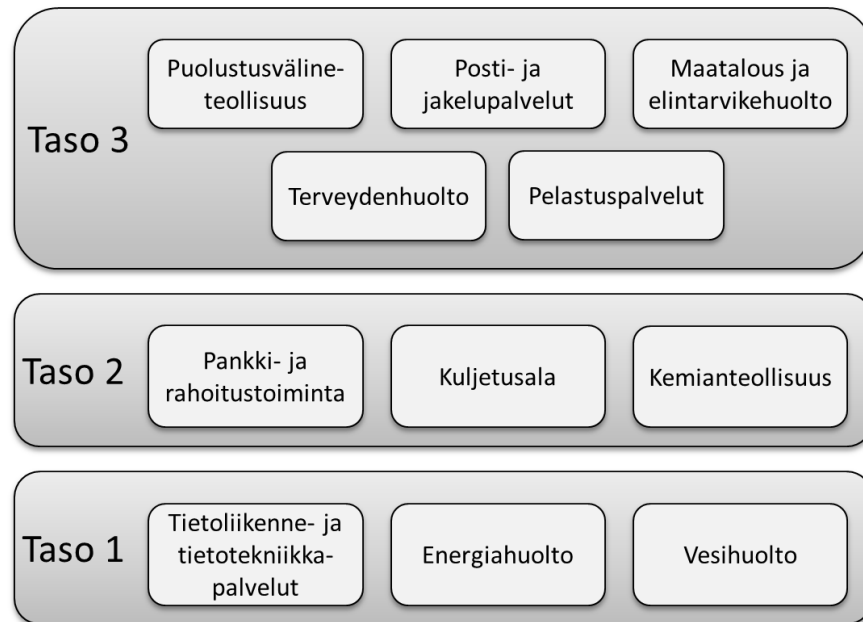
1 JOHDANTO

Moderni yhteiskunta on riippuvainen useiden palvelujen, kuten sähkön, veden ja tietoliikenteen, keskeytyksettömästä tarjonnasta. Yhteiskunnalle kriittisiä palveluja tuottavia toimialoja kutsutaan yhdessä kriittiseksi infrastruktuuriksi ja niiden turvaaminen on keskeistä yhteiskunnan toimintojen ja elinolojen ylläpitämiseksi. Kriittisen infrastruktuurin turvaamisessa ennaltaehkäisy ja nopea häiriötilanteista palautuminen ovat erityisen tärkeitä, jotta palvelukatkosten vaikutukset kyetään pitämään mahdollisimman pieninä ja paikallisina. Nopea ja tehokas reagointi kokonaistilanteen korjaamiseksi vaatii yhteistä tilannekuvajärjestelmää, jota eri toimijat voivat hyödyntää sekä koordinoitussa päätöksenteossa että oman toimintansa ohjaamisessa. Kriittinen infrastruktuuri sisältää monia riippuvuussuhteita, joiden ymmärtäminen tilannekuvan kautta on välttämätön taito päätöksentekijöille nykytilan ja tulevaisuuden ymmärtämiseksi. Mikäli toisistaan riippuvat infrastruktuurit pystyvät tehokkaaseen yhteistyöhön, häiriötilanteista toipuminen parantuu merkittävästi.

1.1 Kriittinen infrastruktuuri

Yhdysvaltalainen Ted Lewis on määritellyt kriittisen infrastruktuurin koostuvan yhdestätoista eri sektorista (Kuva 1) [1]. Vaikka määrittelemä pohjautuu Yhdysvaltojen infrastruktuuriin, soveltuu se myös muiden kehittyneiden maiden, kuten Suomen, kriittisen infrastruktuurin kuvaamiseen.

Lewis ryhmittelee edelleen sektorit kolmelle kriittisyystasolle (Kuva 1). Tasot kuvaavat eri järjestelmien tukeutumista toisiinsa siten, että ylemmät tasot ovat pääsääntöisesti riippuvaisia alempien tasojen toiminnasta. Alimman tason sektoreihin kuuluvat energia- ja vesihuolto sekä tietoliikenne- ja tietotekniikkapalvelut, jotka yhdessä muodostavat pohjan koko yhteiskunnan toiminnalle. Tässä tutkimuksessa keskityttiin pääsääntöisesti energiahuolto- sekä tietoliikennesektoreiden turvaamista käsitteleviin kysymyksiin pelastustoimen näkökulmasta. Tason 1 toiminta vaikuttaa merkittävästi pelastustoimen palveluihin. Sen sijaan tason 2 häiriöiden vaikutukset näkyvät pelastustoimen palveluissa hieman pidemmällä viiveellä.



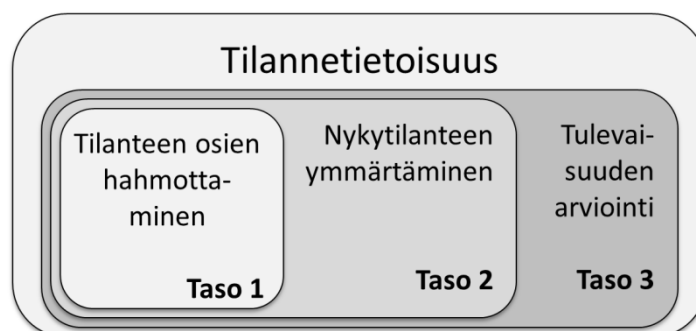
Kuva 1. Kriittisen infrastruktuurin tasot.

Nyky-yhteiskunnan verkottuneesta kriittisestä infrastruktuurista voidaan havaita erittäin suuri määrä sekä yksi- että kaksisuuntaisia riippuvuussuhteita useiden eri sektoreiden välillä [2]. Kriittisestä infrastruktuurista voidaan tunnistaa neljä eri riippuvuustyyppiä: fyysinen, kyber-, maantieteellinen ja looginen [2]. Huomionarvoinen asia on, että energiantuotannon lisäksi tietoliikenne- ja tietotekniikkapalvelut ovat nykyisin integroituneet lähes jokaiseen toimialaan. Palvelujen verkottuminen eri tietoliikennejärjestelmien kanssa on lisännyt huomattavasti riippuvuusverkon monimutkaisuutta ja luonut uuden haavoittuvuusikunan myös kyberoperaatioiden kautta [3].

1.2 Tilannetietoisuus

Tilannetietoisuudella viitataan informaatioon, prosessointimenetelmiin ja viimekädessä mentaaliseen malliin, joka henkilöllä tulee olla, jotta hän pystyy suorittamaan tietyn tehtävän tai tehtäväkokonaisuuden oikein.

Yhdysvaltalaisutkija Mica Endsley jakaa tilannetietoisuuden kolmeen toisistaan riippuvaan kerrokseen: tarvittavien elementtien havainnointiin, nykytilan ymmärrykseen ja ennusteen luomiseen tapahtumien kehityksestä (Kuva 2) [4].



Kuva 2. Tilannetietoisuuden tasot.

Tilannekuvajärjestelmän tehtävä on tuottaa informaatiota sellaisessa muodossa, että järjestelmää käyttävä henkilö pystyy saavuttamaan ja säilyttämään tilannetietoisuuden tehtävän vaatimalla tavalla. Erityistä huomiota tulee kiinnittää käyttäjän kognitiivisten resurssien riittävyyteen pyrkimällä minimoimaan tilannekuvajärjestelmän aiheuttama tarpeeton kuormitus esittämällä vain tarpeellinen informaatio.

Tilannekuvajärjestelmää suunnitellessa tulee selvittää erilaisten käyttötapausten tilannetietoisuusvaatimukset, joiden pohjalta tarvittavat tietolähteet, analyysimenetelmät ja visualisointitavat voidaan valita. Kriittisen infrastruktuurin tapauksessa tilannetietoisuuden vaatimus muodostaa laajan kokonaisuuden, jossa useat toimijat tarvitsevat merkittävästi toisistaan eroavia tilannekuvaratkaisuja.

1.3 Tutkimuksen tavoite

Yhteiskunnan turvallisuusstrategiassa (YTS2010) on määritelty yhteiskunnan elintärkeät toiminnot, joiden häiriötön toiminta tulee varmistaa [5]. Tutkimuksen päätavoitteena oli luoda lähtökohta tilannetietoisuuden muodostamiseen sähkö- ja tietoliikenneverkkojen osalta. Tehtävää varten muodostettiin simulointimalli kohteena olevista kriittisen infrastruktuurin järjestelmistä, jonka avulla verkkojen toimintaa voitiin arvioida niin normaalitilanteessa, kuin vakavissa poikkeusoloissa. Tutkimuksessa tähdättiin kokonaisvaltaiseen sähkö- ja tietoliikenneverkkojen riippuvuuksien mallintamiseen tilanteessa, jossa useat tekijät vaikuttavat koko järjestelmän suorituskykyyn samanaikaisesti. Tarkastelussa huomioitiin sekä yksittäisen infrastruktuurijärjestelmän operaattorin tilannetietoisuusvaatimukset, että laaja-alaisempi usean infrastruktuurisektorin kattava, pelastustoimen tarkoituksiin soveltuva kokonaiskuva.

Tutkimuksen keskeiset osa-alueet ovat:

- **Selvittää** mallintamalla ja simuloimalla kriittisiä infrastruktuuripalveluja tarjoavien sähkö- ja tietoliikenneverkkojen toimivuus sekä pullonkaulat normaaliolosuhteissa ja poikkeustilanteissa, kun energian tuotantoa on hajautettu ja sähköverkoissa on nykyistä enemmän etähallintaa ja muita älykkään sähköverkon ominaisuuksia.
- **Tuottaa** tulevaisuuteen suuntaavan tilannekuvan sähkö- ja tietoliikenneverkoista päätöksentekijöille.
- **Analysoida** sähköverkkojen ja tietoliikenneverkkojen keskinäisriippuvuuksia, ja pyrkiä ennaltaehkäisemään niiden keskinäisriippuvuuden aiheuttamia haittavaikutuksia poikkeusolosuhteissa.

Tarkastelussa käytettiin skenaariolähtöistä lähestymistapaa, jossa simulointimallin avulla selvitettiin kriittisten infrastruktuurijärjestelmien toimintaa erilaisissa tilanteissa. Mallin avulla tarkasteltiin saman vikatilanteen vaikutuksia sekä nykyhetkessä, että tulevaisuuden järjestelmissä.

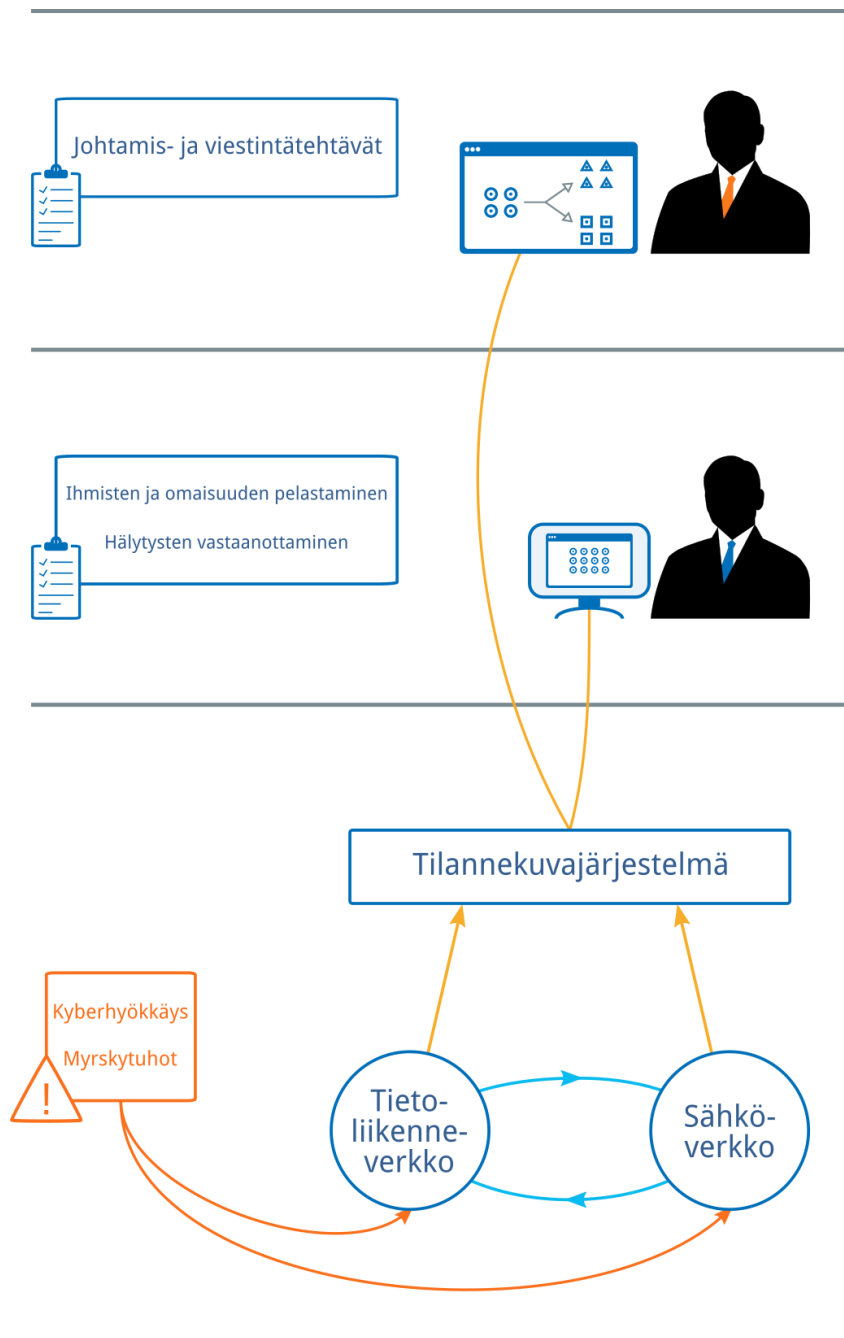
Skenaariossa tarkasteltiin sekä myrskyn, että teknisen tason kyberhyökkäyksen vaikutusta: Kyberhyökkäyksellä pyrittiin aiheuttamaan sekä teknisiä vaurioita, että palvelutuotannon keskeytyminen. Tutkimuksessa tarkasteltiin myös infrastruktuurin palautumiskykyä, kun näkyvyys (tilannetietoisuus) ja hallintakyky komponentteihin on heikentynyt tai menetetty. Myrsky puolestaan aiheuttaa tavanomaisempia vaurioita infrastruktuureihin.

Skenaarion puitteissa tarkasteltiin, miten tietoa sähkö- ja tietoliikenneverkon tilasta tulisi toimittaa päätöksentekijöille ja mitä luodulla tilannekuvalla voidaan tehdä häiriöiden vaikutusten pienentämiseksi, resurssien koordinoinnin tehostamiseksi ja yhteiskunnan toimintojen

toipumisen nopeuttamiseksi. Kuvan 3 oranssit nuolet osoittavat ulkopuolisia voimakkaita häiriötekijöitä, jotka vaikuttavat tietoliikenne- ja sähköverkkoihin. Verkkojen välille syntyy myös keskinäisiä häiriötekijöitä; tietoliikenneverkon häiriöt synnyttävät sähköverkon etäohjaukseen häiriöitä ja vastaavasti sähköverkon sähkönsyöttöongelmat vaikuttavat tukiasemien toimintaan. Näitä riippuvuuksia kuvataan vaaleansinisillä nuolilla. Nämä suorat ja keskinäiset häiriöt välitetään vikaviestien muodossa tilannekuvajärjestelmään (keltainen nuoli). Se muuntaa teknologialähtöisen tiedon tilannekuvatiedoksi, jota tarjotaan ylöspäin päätöksentekijöille eri tasoilla.

Päätöksentekijöillä on erilaisia tarpeita tilannekuvatiedon suhteen. Tästä syystä kuvassa 13 on oma taso analyysityökaluille. Niiden avulla päätöksentekijät voivat tiedustella yksityiskohtaisempaa tilannekuvatietoa ja siten parantaa omaa tilannetietoisuuttaan päätöksenteon tueksi. Yksittäisen päätöksentekijän toimet vaikuttavat myös muiden päätöksentekijöiden toimintaan. Tästä syystä päätöksentekijöillä tulee olla myös keino tuottaa syötettä tilannekuvajärjestelmään jaettavaksi muille toimijoille ja arvioida, kuinka tehdyt toimenpiteet vaikuttavat tässä tapauksessa sähkö- ja tietoliikenneverkkojen palautumiseen suurhäiriötilanteesta.

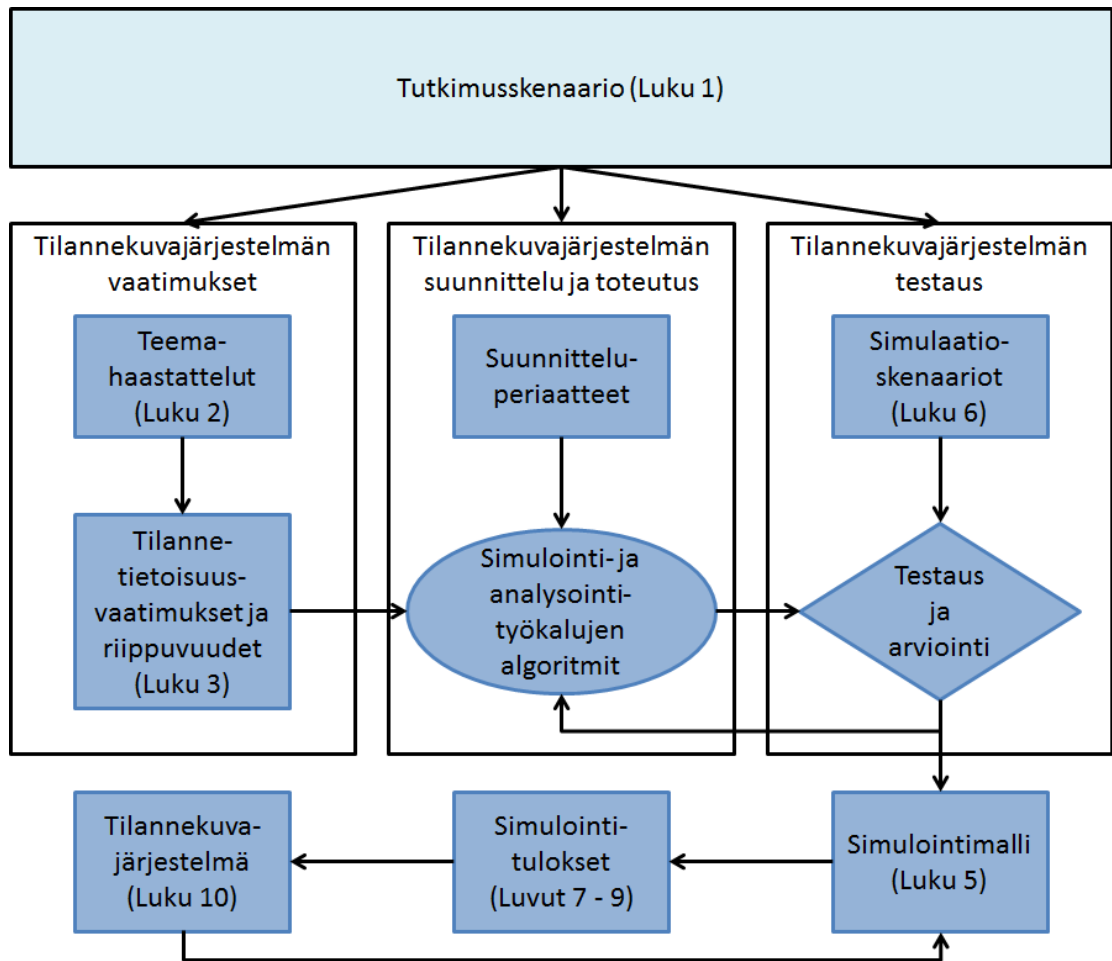
Eri esitystasojen lisäksi tulee tiedon näkyvyyttä voida rajoittaa eri päätöksentekijöiden välillä. Esimerkiksi viranomaiset tarvitsevat tietoa useiden toimijoiden välisistä riippuvuuksista, kun taas yksittäiselle toimijalle riittää, että hän saa tiedon niistä toimijoista, joista hän itse on riippuvainen. Visualisoinnissa suureen rooliin nousee myös käyttäjäryhmän heterogeisuus. Jotta hyvin erilaiset käyttäjät pystyvät hyödyntämään tilannekuvaa, se on kyettävä esittämään erilaisilla teknisillä tasoilla. Korkean tason päättäjien on hahmotettava erinäisten riippuvuus-suhteiden aiheuttamat vuorovaikutukset, kun taas yhden toimijan tilannekuvan tulisi tarjota tarkempaa tietoa omaan järjestelmään vaikuttavien toimijoiden tilasta ja niissä tapahtuvista muutoksista.



Kuva 3. Tutkimusalueen yleiskuva.

1.4 Tutkimusprosessikuvaus

Oheiseen kaavioon on koottu tutkimusprosessin kulku sekä viitteet lukuihin, joissa asiaa on käsitelty (Kuva 4).



Kuva 4. Tutkimusprosessi.

Tutkimusprosessin alussa määriteltiin tutkimusskenaario yhteistyössä ohjausryhmän kanssa. Tämän jälkeen haastatteluilla (luku 2) kerättiin tietoa eri toimijoiden menettelytavoista suurhäiriön hallinnassa sekä teknisiä ratkaisuja verkkojen korjauksiin ja hallintaan. Samalla selvitettiin toimijoiden välisiä kytkentöjä suurhäiriötilanteissa sekä arvioita vuoteen 2030 mennessä tapahtuvista muutoksista. Luvussa 3 haastatteluilla selvitettiin myös tilannetietoisuusvaatimuksia, joilla ohjattiin maanpuolustuskorkeakoulun tilannekuvajärjestelmän suunnittelua ja toteutusta.

Haastattelutulosten sekä tutkimusyhteisön näkemysten perusteella sähkö- ja tietoliikenneverkkosimulaattoriin tuotettiin algoritmeja häiriötilanteen hallintaan, korjauksiin ja korjausten priorisointiin. Tämän lisäksi vuoden 2030 skenaarion tarkastelua varten simulaattoriin rakennettiin uudet sähkö- ja tietoliikenneverkkomallit. Tarkastelussa käytettiin skenaariolähtöistä lähestymistapaa, jossa simulointimallin (luku 5) avulla selvitettiin kriittisten infrastruktuurijärjestelmien toimintaa erilaisissa tilanteissa. Mallin avulla tarkasteltiin saman vikatilanteen vaikutuksia sekä nykyhetkessä (luku 7), että tulevaisuuden järjestelmissä (luku 8) ja kyber-tilanteessa (luku 9). Tilannekuvan visualisointi loppukäyttäjille on esitetty luvussa 10. Tilannekuvajärjestelmästä on takaisinkytkentä simulointimalliin, jolla se vaikuttaa korjausten priorisointiin.

1.5 Tutkimusmenetelmät

Tässä tutkimuksessa hyödynnettiin sekä asiantuntijahaastatteluja (ks. luvut 2 – 3) että kriittisen infrastruktuurin simuloitteja (ks. luvut 5 – 9) tuottamaan kattava kuva kriittisen infrastruktuurin toimivuudesta häiriötilanteissa. Tilannekuvajärjestelmän suunnittelussa selvitetiin asiantuntijahaastatteluilla tilannetietoisuusvaatimuksia, joita käytettiin ohjaamaan tilannekuvajärjestelmän kehitystä (ks. luvut 4 ja 10).

1.6 Rajaukset

Tarkastelussa keskitytään järjestelmätason mallintamiseen ja simulointiin. Esimerkiksi käynnissä oleva VNK Turva -hanke tarkastelee varautumisen kehitystarpeita turvallisessa yhteiskunnassa [6] ja Hannes Seppäsen väitöskirja [7] sidonnaisuuksia toimijoiden välillä. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli tehdä näitä hankkeita tukevaa, ei päällekkäistä, työtä.

Tässä tutkimuksessa keskityttiin kolmeen pelastustoiminnan osa-alueeseen, joissa sähkö- ja tietoliikenneverkkojen toimivuudella on suurin vaikutus. Valitut osa-alueet ovat hälytysten vastaanottaminen, ihmisten, ympäristön ja omaisuuden suojaaminen ja pelastaminen (sisältäen vahinkojen rajoittamisen) sekä näihin liittyvät johtamis- ja viestintätehtävät.

Lähtöaineistona käytettiin avoimia tietolähteitä, asiantuntijahaastatteluja sekä todelliseen dataan pohjautuvia yleistettyjä data-aineistoja. Tuloksissa ei esitetä komponenttien tarkkoja paikkoja, tunnisteita, yksityiskohtaisia riippuvuussuhteita eikä kytkentöjä. Simuloinneissa rajoitetaan yhteen poikkeustilanneskenaarioon, mutta samalla pyritään selvittämään simulointimallin laajennettavuutta myös toisenlaisiin poikkeustilanteisiin ja infrastruktuureihin.

2 KRIITTISEN INFRASTRUKTUURIN TOIMINTA JA TILANNEKUVA SUURHÄIRIÖTILANTEISSA

2.1 Teemahaastattelut

Tutkimuksessa käytettiin tiedonkeruumenetelmänä haastatteluja, joiden tavoitteena oli mahdollisimman tehokas tiedon saanti ja ymmärryksen luonti, sekä erilaisten näkemysten kerääminen ja arviointi. Haastattelut toteutettiin nk. teemahaastatteluina. Menetelmä mahdollistaa syvällisen ja monipuolisen tiedon saamisen sekä tuo esiin yksilön käsitykset ja kokemukset. Aihepiirin haasteisiin liittyy mm. se, että termit kuten tilannekuva, tarkoittavat eri ihmisille eri asioita. Tällöin haastattelija voi tarkentaa ja välttää ymmärrys- tai tulkintavirheet. Vapaamuotoinen keskustelu tuo myös esiin asioita, jotka ovat muilla tavoin vaikeita saada esiin.

2.1.1 Tiedon keruu ja aineiston analysointi

Teemahaastattelut vaihtelivat hieman sisällöllisesti ja ne tehtiin kolmessa toimijaryhmässä; sähkönjakeluverkot, tietoliikenneverkot sekä pelastustoimi. Kustakin ryhmästä valittiin 3–4 haastateltavaa siten, että henkilöiden kompetenssit joko kattoivat häiriötilanteiden hallinnan tai alan kehityssuunnat tai toivat lisätietoa toimijoiden väliseen yhteistyöhön. Kunkin ryhmän välillä haastattelun runko oli samankaltainen, mutta yksittäinen haastattelu saattoi painottua joko häiriön hallintaan tai tulevaisuuden kehityssuuntiin. Haastattelujen välillä kysymyksiä muokattiin niin, että edeltävistä haastatteluista saatua tietoa saatettiin pyytää täydentämään tai kommentoimaan seuraavassa haastattelussa. Tällä tavalla vältettiin turhaa toistoa, informaation lisääntyminen maksimoitiin ja saatiin tehokkaasti esiin näkemyseroja.

Haastattelukysymykset oli ryhmitetty seuraaviin aihepiireihin:

- Häiriötilanteen yleiset tekijät
- Myrskytilanteen vaiheet, varautuminen ja häiriönhallinnan toiminnot
- Toiminnan prioriteetit
- Toimintojen linkittyminen infrastruktuurien välillä
- Tilannekuvan muodostaminen, tiedon vaihto ja jaettu tilannekuva
- Tulevaisuuden kehityssuunnat (teknologiat, palvelut, käyttö)
- Palvelunesto- tai kybertilanteet

Kutakin haastattelua varten oli valmisteltu kysymyslista, jossa kaikki haastattelukysymykset olivat avoimia. Haastattelujen rakenteesta, toteuttamisesta ja kysymysten muotoilusta konsultointiin asiantuntijahaastatteluihin perehtynyttä psykologia, jonka työparina toinen päähaastattelijoista oli aiemmin toiminut. Haastattelut toteutettiin yksilöhaastatteluina, joissa oli kaksi haastattelijaa. Jokaiselle haastateltavalle kerrottiin tulosraportin tulevan julkiseksi ja että haastateltavia ei tulla siteeraamaan suoraan nimellä. Haastateltaville annettiin myös mahdollisuus olla ilmaisematta osallistumistaan haastatteluun.

Haastattelut olivat haastateltaville intensiivisiä ja vaativia, sillä heille kerrottiin etukäteen ainoastaan käsiteltävät aihealueet. Haastattelijoilla oli teknisen taustan ansiosta mahdollisuus tarkentaa vastauksia, antaa ratkaisuehdotuksia kommentoitavaksi sekä pitää keskustelu vireänä. Tämän ansiosta haastattelut olivat erityisen informatiivisia ja suhteellisen pitkiä (keskimäärin yli kaksi tuntia).

Kaikkia haastattelut nauhoitettiin. Haastattelumateriaalia kertyi yhteensä yli 21 tuntia. Tarkan litteroinnin sijasta haastattelut kirjoitettiin tiivistettyinä puhtaaksi, jolloin tekstimateriaalia kertyi noin 180 sivua. Tieto strukturoitiin ja kukin kolmesta aihepiiristä kerättiin samantyyppisen dokumenttirakenteeseen. Haastatteluista tehtävät päätelmät tai lähtötiedot tutkimuksen muihin osioihin johdettiin strukturoidusta rakenteesta.

2.1.2 Haastateltavien valinta

Pelastustoimen haastateltavat toimivat Länsi-Uudenmaan pelastuslaitoksella, jonka alueeseen tutkimusskenaarioksi valittu Raaseporin alue (Lohjan länsipuolelta Hankoon) kuuluu [8]. Haastatteluun valittiin palopäällikkö edustamaan organisaation ylempää johtoa suurhäiriötilanteissa. Hänen asemapaikallaan on Länsi-Uudenmaan pelastuslaitoksen tilannekeskus ja tilat, jonne suurhäiriön aikainen pelastustoimen johtokeskus yleisimmin perustetaan. Palomestari valittiin haastatteluun edustamaan paikallistuntemusta, kenttätoimia sekä niiden johtamista. Hänen asemapaikkoinaan ovat Hangon ja Raaseporin paloasemat. Pelastustoimen tehtävien hoidosta sekä viranomaisyhteistyöstä haastateltiin lisäksi poliisia, joka valittiin Länsi-Uudenmaan alueen ulkopuolelta. Samalla saatiin hieman yleisempää ja monipuolisempaa näkemystä eri viranomaisorganisaatioiden toiminnasta, tietoliikenneverkkojen käytöstä sekä rikostutkinnasta pelastustoimen tehtävien yhteydessä.

Sähkönjakeluyhtiöistä haastatteluun valittiin kaksi suurinta, Caruna Oy ja Elenia Oy. Caruna on Suomen suurin sähkönsiirtoon keskittyvä yritys, joka vastaa 650 000 yksityis- ja yritysasiakkaan sähkönjakelusta Etelä-, Lounais- ja Länsi-Suomessa, Joensuussa, Koillismaalla sekä Satakunnassa [9]. Raaseporin alue on Carunan verkkoaluetta lukuun ottamatta Tammisaarta, jonka sähkönjakelusta vastaa Tammisaaren Energia Oy. Elenia puolestaan palvelee 417 000 kotitalous-, yritys- ja yhteiskunta-asiakasta yli sadan kunnan alueella Kanta- ja Päijät-Hämeessä, Pirkanmaalla, Keski-Suomessa sekä Etelä- ja Pohjois-Pohjanmaalla [10]. Vaikka em. yhtiöt toimivat laajalla alueella ja yhtiöillä on näkemystä sähkönjakelusta eri puolilla maata, haastattelut eivät luo edustavaa otosta Suomen sähkönjakeluyhtiöistä. Esim. haasteet sähköverkon kehittämisen ja kaupallisten tietoliikenneverkkojen hyödyntämisen osalta voivat olla erilaiset pienillä sähköyhtiöillä. Valituilla sähkönjakeluyhtiöillä on hyvin erilaiset tietoliikennetarkaisut ja näin ollen yhtiöiden näkemykset ovat tärkeitä simulointiskenaariossa toteutettavien sähkö- ja tietoliikennetarkaisujen kannalta. Sähkönjakelussa haastateltavien asiantuntemus liittyi häiriönhallintaan ja sen johtamiseen sekä sähköverkkojen kehittämiseen tulevaisuudessa. Haastateltavien joukossa oli myös kentän tietoliikennetarkaisujen kehittämiseen perehtynyt henkilö.

Tutkimukseen pyydettiin haastatteluja kolmelta suurimmalta tietoliikenneoperaattorilta. Näistä haastattelupyynnöihin vastasivat Elisa Oyj ja DNA Oy. Elisa on mobiiliiliittymissä mitattuna markkinajohtaja, joka palvelee 2.3 miljoonaa kuluttajaa, yritystä ja julkishallinnon organisaatiota [11]. DNA:lla puolestaan on 3.7 miljoonaa matkaviestin- ja kiinteän verkon liittymäasiakkuutta [12]. Molemmat toimivat maanlaajuisesti, mutta tuloksia tarkasteltaessa on huomioitava, että maassa toimii myös pienempiä operaattoreita, joiden näkemykset tutkimuksesta puuttuvat. Tietoliikenneverkkojen osalta haastatteluun valittiin henkilöitä, jotka vastaavat palvelunhallinnasta sekä verkon häiriönhallinnan käytännön toimista päällikön näkökulmasta. Haastatteluihin valittiin myös henkilöitä, joilla on näkemyksiä tietoliiken-

neverkkojen tulevasta kehityksestä. Vaikka VTT:n tutkijat ovat aktiivisesti mukana seuraavan sukupolven langattomien verkkojen kehityksessä, on erittäin tärkeää saada yritysten sisältä näkemystä siihen, miten tekniset asiat käytännön tasolla hoidetaan ja millaisia tulevaisuuden verkkojen ominaisuuksia tullaan ottamaan käyttöön.

2.1.3 Aineiston hyödyntäminen

Koska haastatteluja oli määrällisesti vähän, niiden perusteella ei ole mahdollista saada selville tyypillisiä toistettavan kokeen tuloksia kuten esimerkiksi kuinka yleinen jokin mielipide on tai toimivatko kaikki organisaatiot samalla tavalla. Haastatteluja voitiin kuitenkin hyödyntää tässä tutkimuksessa monella eri tavalla. Haastatteluista saatu tieto häiriönhallinnasta ja toimijoiden välisistä kytkennöistä auttoi ymmärtämään kirjallisuustutkimusta paremmin tarkastelun kohteena olevien infrastruktuurien toimintaa suurhäiriötilanteissa. Haastatteluista saatiin myös esille tilannekuvaan liittyviä tarpeita ja kehitystoiveita, joita hyödynnettiin ohjaamaan MPKK:n tilannekuvajärjestelmän kehitystä. Haastattelut olivat tärkeä lähde myös simulointeihin. Haastattelutuloksista poimittiin menettelytapoja ja teknisiä keinoja suurhäiriön hallintaan. Tämän perusteella simulaattoriin tuotettiin algoritmeja häiriötilanteen hoitamiseen ja korjausten priorisointiin. Edellä mainittujen lisäksi skenaario vuoden 2030 sähkönjakelu- ja tietoliikenneverkoista pohjautuu sekä haastattelutietoon että tutkimusyhteisön näkemyksiin tietoliikenneverkkojen ja sähkönjakeluverkkojen kehityksestä niin teknologioiden kuin käytön ja palvelujenkin kannalta.

2.2 Toiminta suurhäiriötilanteessa

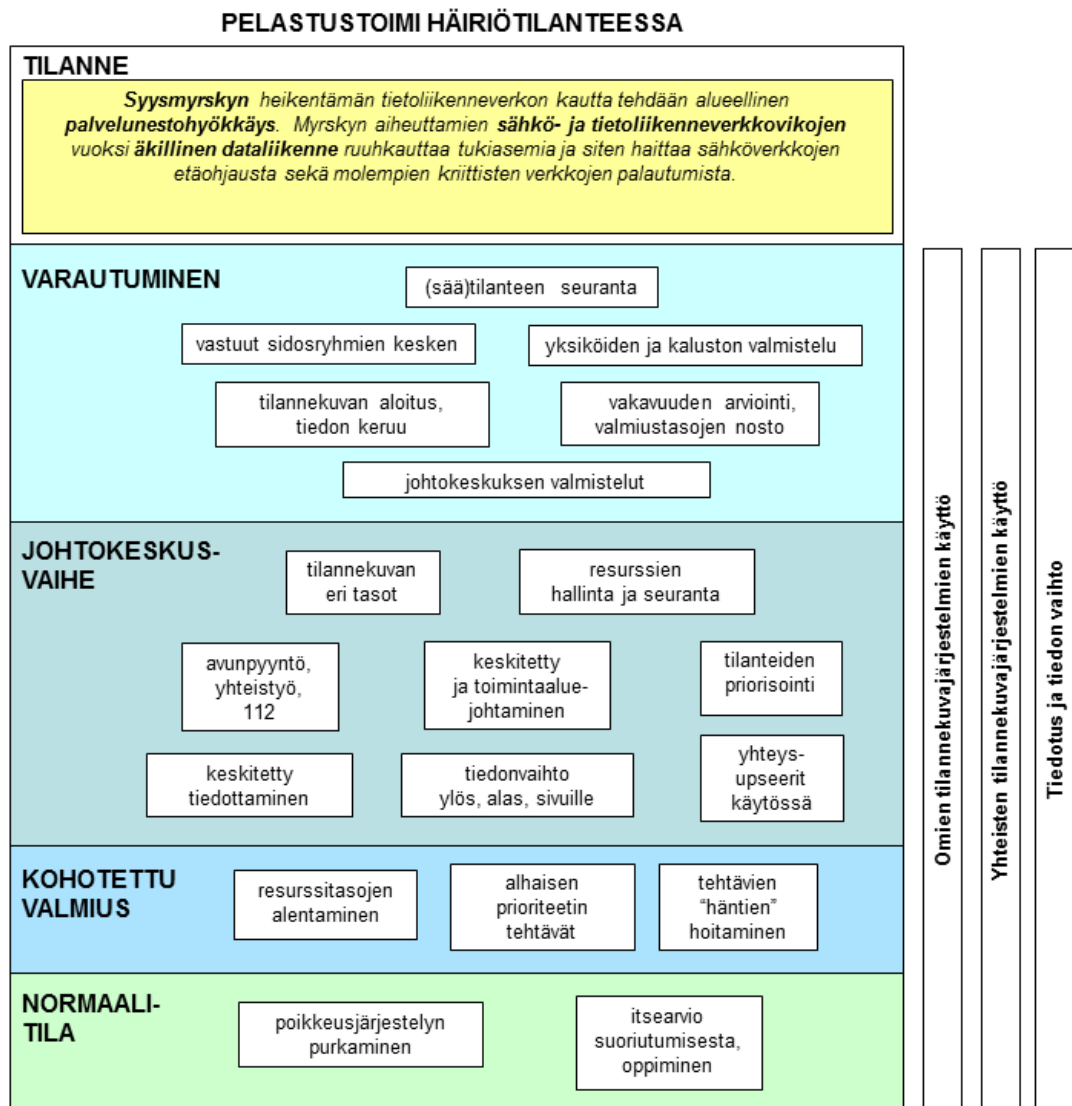
Kappaleen tekstit pohjautuvat haastatteluihin sekä kirjoittajien tulkintaan aiemman tietämyksen pohjalta [13] [14] [15] [16] [17] [18] [19] [20] [21] [22]. Tekstissä on erikseen mainittu, mikäli asian selkeyttämiseksi on hankittu lisätietoa kirjallisista lähteistä.

Suurhäiriö mielletään yksimielisesti tietyt kriteerit täyttäväksi häiriötilanteeksi, joka ei ole organisaation normaalin prosessin hoidettavissa. Usein suurhäiriöön johtavasta tilanteesta saadaan ennakkovaroitus, esimerkiksi Ilmatieteen laitoksen luonnononnettomuuksien varoitusjärjestelmän, LUOVA:n, tiedote, joka käynnistää varautumisen ja vakavammassa häiriötapahtumissa myös laajemman organisoitumisen. Pelastustoimelle suurhäiriö merkitsee organisaatioon merkittävämpää muutosta kuin muilla. Pelastustoimen johtokeskus perustetaan tilanteeseen sopivaan paikkaan. Suurhäiriöön liittyy päätöksentekoa useilla tasoilla, tiedon tuottamista, tilannekuvan luomista ja sen välittämistä. Sähkönjakelussa ja tietoliikenteessä on kohtalaisen samankaltainen tapa määritellä suurhäiriö ja järjestää toimintoja. Kumpikin arvioi sekä häiriön laajuutta että kohteeksi joutuvien asiakkaiden määrää. Sähkönjakelussa arvioidaan vikojen kappalemääriä, häiriön kestoa sekä niihin liittyviä asiakasmääriä samoin kuin haastavia työskentelyolosuhteita. Tietoliikenteessä arvioidaan näiden lisäksi myös häiriön vaikutuksia hätäpuheliikenteeseen. Sähkönjakelussa suurhäiriöorganisaation aktivointi on laajempaa kuin tietoliikenteessä, sillä sähköyhtiöillä lähes jokaisella työntekijällä on ennalta määriteltäviä työtehtäviä suurhäiriöiden aikana. Kummallakin toimialalla toiminnan ohjaaminen ja osa toiminnoista keskittyy olemassa oleviin käyttökeskuksiin (valvomoihin, palvelukeskuksiin) kun taas pelastustoimella toiminnan ohjaamisen ja toimintojen painopiste on kentällä. Kaikille toimialoille on yhteistä henkilö- ym. resurssien varaaminen ja hallinta.

Seuraavissa kappaleissa on esitelty pääpiirteissään eri infrastruktuurien toimintaa suurhäiriötilanteissa. Haastatteluissa käytiin eri tavoin läpi suurhäiriön aikaista toimintaa, sen vaiheita ja tehtäviä. Tuloksista on koostettu seuraavissa kappaleissa esitetyt kaaviokuvat.

2.2.1 Pelastustoimi

Suurhäiriön aikaisen toiminnan vaiheet on pelastuslaitoksen osalta yksinkertaistettu alla olevaan kuvaan (Kuva 5). Haastattelujen perusteella vaiheiksi tunnistettiin varautuminen, johtokeskusvaihe, kohotettu valmius ja normaalitila.



Kuva 5. Pelastustoimen toiminta suurhäiriötilanteessa.

Varautuminen alkaa uhkaavan tilanteen ennakkotiedosta, joka on esim. myrskytalanteissa Ilmatieteen laitoksen LUOVA-tiedote. Tilanteen kehittymistä seurataan ja sen vakavuutta arvioidaan pelastustoimen näkökulmasta. Arvion mukaan nostetaan valmiustasoja ja tehdään yksiköiden sekä kaluston valmistelua. Haastatteluissa tuotiin ilmi, että pelastustoimen kannalta on tärkeää se, että muut toimijat, kuten kunnat, ymmärtävät omat vastuunsa ja tarpeensa varautua tilanteeseen. Varautumisvaiheessa päätetään pelastustoimen johtokeskuksen sijaintipaikka ja sen varustelu aloitetaan. Tilanepäiväkirjan pitäminen, tiedon keruu ja tilannekuvan muodostaminen aloitetaan.

Johtokeskusvaiheessa suurhäiriöorganisaatio on täysin toiminnassa. Pelastustoimen johtokeskuksessa on keskitetty johtaminen, resurssien hallinta ja priorisointi. Johtaminen ja tiedon tuottaminen/välittäminen tapahtuu useilla hierarkiatasoilla johtokeskuksesta kentälle ja takaisin, johtokeskuksesta valtion hallintoon ja takaisin sekä eri toimijoiden välillä hori-

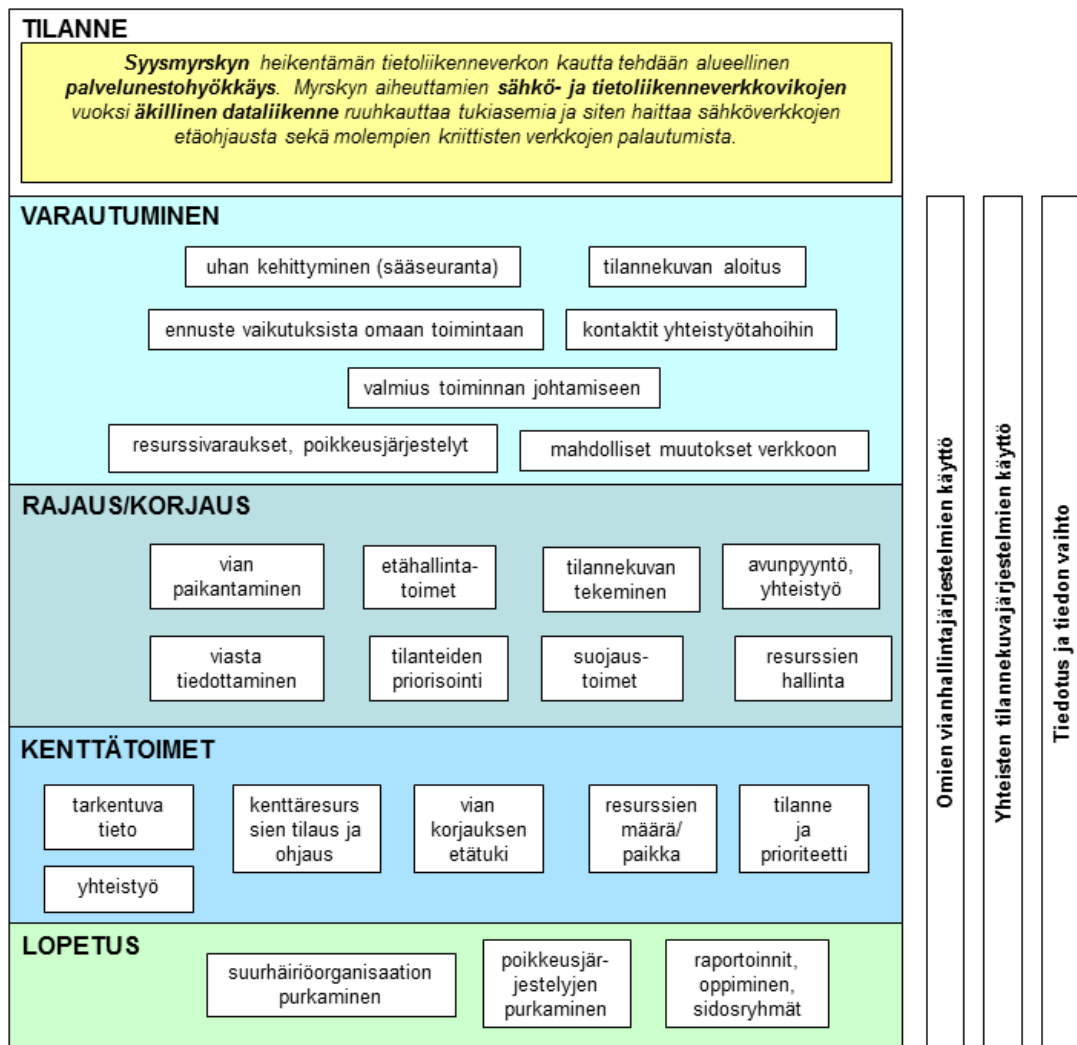
sontaalisesti. Eritasoisten tilannekuvien luomiseen käytetään paljon resursseja. Tiedon jakamista ja työskentelyä on kuvattu yksityiskohtaisemmin jäljempänä kappaleessa 2.4.1. Yhteyshenkilöt, eli toisiin organisaatioihin lähetetyt pelastustoimen henkilöt, ovat tärkeässä roolissa suurhäiriössä. Heidän kautta voidaan nopeuttaa ja yksinkertaistaa toimintaa dynaamisesti muuttuvissa tilanteissa, joihin muuten liittyisi monia toimijoita tai välikäsiä.

Suurhäiriötilanteen tasaannuttua siirrytään ns. kohotetun valmiuden tilaan, jolloin resurs-sitasoja lasketaan asteittain, hoidetaan alhaisemman prioriteetin tehtäviä sekä tehdään suurhäiriöiden aikaisten tehtävien jälkihoitoa. Normaali-tilanteeseen palatessa siirrytään takaisin normaalivalmiuteen ja puretaan poikkeusjärjestelyt. Suurhäiriön aikainen toiminta käydään läpi ja tarvittaessa parannetaan kalustoa ja kehitetään käytäntöjä.

2.2.2 Sähkönjakelu ja tietoliikenne

Suurhäiriön vaiheet on kuvattu sähkönjakelun ja tietoliikenteen osalta samassa kuvassa (Kuva 6). Syynä tähän on se, että kummassakin tapauksessa toiminta on sekä verkkomaisen infrastruktuurin hallintaa käyttö-/palvelukeskuksessa olevien järjestelmien avulla että kentällä tapahtuvien fyysisten korjaustoimien ohjaamista ja tukemista. Toisaalta tavoitteena on myös ilmentää infrastruktuurien samankaltaisuuksia sekä osoittaa eroavuudet pelastustoimen kanssa. Sähkönjakelun ja tietoliikenteen välillä on kuitenkin erojakin. Yksi merkittävä ero on vastuu turvallisuudesta ja kuormituksesta. Sähkönjakeluverkon turvallisuus kansalaisille ja asentajille on sähkönjakelun ehdoton vaatimus. Ylikuormitus ei johda tietoliikennelaitteiden rikkoutumiseen, mutta kuormitus sekä sähkötekniset ilmiöt tekevät sähköverkon operoinnin suurhäiriötilanteessa huomattavasti monimutkaisemmaksi ja vaativammaksi.

VERKONHALLINTAHÄIRIÖTILANTEESSA



Kuva 6. Verkonhallintaorganisaatioiden toiminta suurhäiriötilanteessa.

Sähkönjakelu- ja tietoliikenneverkon hallinta on suurhäiriössä jaoteltu varautumiseen, rajaus/korjaus-vaiheeseen, kenttätoimiin ja lopetustoimiin. Varautumisvaihe alkaa uhkailmoituksesta, kuten LUOVA-tiedotteesta. Tilanteen kehittymistä seurataan ja tehdään ennusteita vaikutuksista omaan toimintaan. Näiden pohjalta tehdään resurssivarauksia ja organisoidaan ohjaus-, johtamis- ja korjausresursseja tilanteen vakavuuden mukaan. Palveluja tuottavaan verkkoon on vaikea tehdä merkittäviä muutoksia häiriösietoisuuden parantamiseksi. Ainoastaan verkkojen korjaamisesta johtuvia poikkeuskytkentöjä saatetaan palauttaa normaalitilaan, tarkistetaan sähköverkon jakorajatilanne ja pyritään saamaan työkeskeytyksen piirissä olevat kriittiset kohteet käyttöön ennen myrskyä. Varautumisvaiheessa tilannekuvatyöskentely aloitetaan, kontakteja yhteistyötahoihin varmistellaan ja suurhäiriön läpi jatkuva tiedottaminen aloitetaan.

Rajaus/korjaus-vaiheessa verkoissa alkaa ilmenemään vikoja. Vikojen vaikutusaluetta voidaan rajata etäkäytön avulla, jolloin palvelut voidaan palauttaa ehjiin verkon osiin. Yhtiöstä ja toimialasta riippuen rajausten ja etähallinnalla tehtyjen korjausten automaation aste vaihtelee. Rajaus/korjaus-vaihe on käyttökeskuspainotteinen nopean toipumisen vaihe, jonka aikana tilannekuvan luomiseen käytetään paljon resursseja. Sähkönjakelussa käyttökeskus voi tässä vaiheessa muodostua pullonkaulaksi riippuen järjestelmien käytettävyydestä ja automaation määrästä. Rajaus/korjaus-vaiheessa resursseja nostetaan asteittain kentällä

tapahtuvaan vian korjaukseen ja häiriöiden kestoista tiedotetaan asiakkaita sekä sidosryhmiä. Teleoperaattoreilla hätäpuheluliikenteen katvealueiden selvittäminen naapuriteleoperaattoreiden kanssa aloitetaan.

Kenttätoimien aikana verkkojen fyysiset viat korjataan. Tietoliikenneverkon toimintaa palautetaan myös tuomalla paikalle varavoimakone sähkön tuottamiseksi. Kentällä asentajat pystyvät tarkentamaan vikojen todelliset syyt, jolloin korjausaika-arvioita voidaan parantaa. Tehtävien priorisointi, kenttäresurssien ohjaus ja kenttäkorjauksen etätuki ovat tärkeitä toimintoja. Suurhäiriötilanteissa kentällä on paljon korjaajia ym. urakoitsijoita, jolloin korjausresurssien hallinta tulee merkittäväksi. Sähkönjakelussa on alueellinen monopoli, mutta yhteistyötä tehdään jonkin verran lähialueen muiden sähkönjakelijoiden kesken. Sen sijaan tietoliikenteessä teleoperaattorit toimivat kaikki kutakuinkin samalla alueella ja yhteistyötä tehdään hätäpuhelupeaton varmistamiseksi sekä varavoiman toimittamiseksi kriittisiin kohteisiin.

Lopetusvaiheessa suurhäiriöorganisaatiot ym. poikkeusjärjestelyt puretaan. Teleoperaattorit raportoivat Viestintävirastolle häiriöistä ja niiden syistä. Suurhäiriötilanteen aikaista toimintaa tarkastellaan ja tarvittaessa tehdään toimintoihin ja prosesseihin muutoksia.

2.2.3 Lainsäädännön vaikutus toimintaan suurhäiriötilanteissa

Haastatteluissa kävi ilmi, että lait ohjaavat tarkastelun kohteena olevien infrastruktuurien toimintaa suurhäiriötilanteissa hieman eri tavalla. Toimialaa säätelevien lakien vaikutus näkyy siinä, miten eri organisaatiot varautuvat ja toimivat suurhäiriötilanteissa, mikä näkyy edelleen erilaisina tarpeina ja haasteina tilannekuvan/tilannekuvien muodostamisessa. Seuraavassa tekstissä on käsitelty vain niitä lakisääteisiä asioita, jotka tulivat haastatteluissa esille. Haastateltavilta saatuja tietoja on hieman täydennetty hankkimalla lisätietoa viittauksissa mainituista lähteistä.

Pelastustoimien tehtäviä säätelee suoraan pelastuslaki, joka määrittelee mm. pelastustoimen organisaation sekä pelastustoimintaan kuuluvat tehtävät, joita ovat [23] [24]:

1. hälytysten vastaanottaminen,
2. väestön varoittaminen,
3. uhkaavan onnettomuuden torjuminen,
4. onnettomuuden uhrien ja vaarassa olevien ihmisten, ympäristön ja omaisuuden suojaaminen ja pelastaminen,
5. tulipalojen sammuttaminen ja vahinkojen rajoittaminen, sekä
6. 1–5 kohdassa mainittuihin tehtäviin liittyvät johtamis-, viestintä-, huolto- ja muut tukitoiminnat.

Pelastuslaki velvoittaa pelastuslaitoksen vastuuseen em. tehtävien hoitamisessa, jakaa vastuut yhteistoiminnassa ja antaa pelastustoiminnan johtajalle roolin toimia yhteistoimintatilanteissa yleisjohtajana sekä edellyttää häneltä yhteisen tilannekuvan ylläpitämistä ja toiminnan yhteensovittamista. [23] Haastatteluissa kävi ilmi, että tehtävien hoito, roolit ja vastuut mm. pelastustoimen, ensihoidon ja poliisin kesken ovat selvät ja yhteistyö on hioutunut sujuvaksi. Joskus tehtävät ovat kuitenkin niin haastavia, että tehtäväpaikalle mentäessä on epäselvää kuuluuko tehtävä pelastusjohtoisiin vai poliisijohtoisiin tehtäviin, jolloin asiasta neuvotellaan, tehtäviä hoidetaan yhteistyönä ja tarvittaessa heti asian

selkiytyessä johtovastuuta selkiytetään. Pelastuslaki antaa raamit myös hälytysten järjestämiseen, mikä suoraan vaikuttaa yhteistyöhön Hätäkeskuslaitoksen kanssa, sekä velvoitteita ja ohjeita mm. virka-avun antamiseen, vapaaehtoistoimintaan, sopimuspalokuntien käyttöön, salassapitovelvollisuuksiin ja varautumiseen niin pelastustoimen kuin kansalaistenkin osalta. Laki vaikuttaa välillisesti myös pelastustoimen tehtävien priorisointiin. Pelastustoimi on viranomaisena vastuussa tehtävien lainmukaisesta suorittamisesta. Laki velvoittaa paljon ja usein myös mahdollistaa avun saamisen kiireellisissä tehtävissä. Pelastustoiminnan johtaja voi määrätä antamaan käytettäväksi mm. rakennuksia, viesti- ja tietoliikenneyhteyksiä ja välineitä sekä pelastustoiminnassa tarvittavaa kalustoa, välineitä ja tarvikkeita. Suurhäiriötilanteessa pelastustoimella on kuitenkin suuri määrä myös ei-kiireellisiä tehtäviä, joita suoritettaessa tätä etua ei ole. Esimerkiksi suurhäiriötilanteessa osin samoja lisäresursseja (metsureita ym. urakoitsijoita) tarvitsevat pelastustoimen ohella niin sähköyhtiöt, teleoperaattorit, liikennevirasto kuin kunnatkin.

Edellä mainitun lisäksi myös tietosuojaa käsittelevä lainsäädäntö on pelastustoimessa alati läsnä, sillä yhteistyötä tehdään tiiviisti mm. ensihoidon ja poliisin kanssa. Tehtävien aikana pelastustoimen tietoon tulee usein yksityisyydensuojaan, potilasturvallisuuteen tai, poliisin näkökulmasta, rikoksiin liittyvää tietoa, jolloin tilannekuvaa ylläpidettäessä tietoa joudutaan suodattamaan. Haastatteluissa ilmeni, että näissä tapauksissa tiedon välittäminen järjestelmissä on hankalaa, jolloin tietoa välitetään mieluummin verbaalisesti, jotta vahingoilta (esim. liian laajalta tiedottamiselta) vältytään. Uusimpana toimintaa ohjaavana lakina tuli viime vuonna voimaan laki hallinnon turvallisuusverkko toiminnasta, joka velvoittaa käyttämään turvallisuusverkkoa mikäli toiminta koskee ”*valtion johtamiseen ja turvallisuuteen, maanpuolustukseen, yleiseen järjestykseen ja turvallisuuteen, rajaturvallisuuteen, pelastustoimintaan, meripelastustoimintaan, hätäkeskustoimintaan, maahanmuuttoon ja ensihoito-palveluun liittyvää viranomaisten sisäistä, välistä ja ulkoista yhteistoimintaa ja viestintää, joissa noudatetaan korkean varautumisen tai turvallisuuden vaatimuksia*” [25]. Turvallisuusverkkoinfraa ollaan parhaillaan rakentamassa ja on hyvin paljon kiinni teknisistä ratkaisuista, miten turvallisuusverkon käyttöönotto vaikuttaa esimerkiksi osin avoimista lähteistä kootun tilannekuvatiedon siirtämiseen ko. verkkoon. (Ks. tietoverkkoaiheesta lisää kappaleesta 2.5.1)

Haastatteluissa kävi ilmi, että nykyinen sähkömarkkinalaki kannustaa sähköyhtiöitä voimakkaasti varautumiseen sekä sähköjakeluverkon haltijan että verkon käyttäjien osalta [26]. NK. KAH-kustannus on toimittamattomasta tehosta ja keskeytysajasta laskettava keskeytysten haittaa kuvaava (laskennallinen) kustannus. KAH-kustannus vaikuttaa sähköyhtiön vuosittaiseen nk. oikaistuun tulokseen ja siten yhtiön sallittuun tuottoon. [27] Suurhäiriön yhteydessä KAH-kustannus voi nousta miljooniin euroihin, kun taas varautumisen kustannukset ovat suurella yhtiöllä kymmenes tai sadasosa tästä. Yhtiöstä riippuen KAH-kustannus voi ohjata myös vikojen korjausten priorisointia, koska se kertoo suoraan missä on suurin tarve sähkön saamiseksi. Sähköjakelussa valvonta tapahtuu 4 vuoden kausissa takautuvasti, mutta yritysten liiketoiminnan kannalta seurantaa tehdään myös vuositasolla. Haastatteluissa ei mainittu tilanteen aikana tapahtuvaa raportointia Energiavirastolle. Sähköverkon käyttäjien osalta lain vaikutus näkyy suurhäiriötilanteissa hyvin aikaisessa vaiheessa alkavana tiedottamisena. Tiedotteissa mm. kehoitetaan asiakkaita varautumaan sähköjakelun häiriöihin ja annetaan arvioita keskeytysten kestoista.

Sähkömarkkinalaissa asetetut korvausvelvoitteet ohjaavat tällä hetkellä sähköyhtiöitä parantamaan toimitusvarmuutta, mikä on johtanut myös sähköverkkojen uudistamiseen ja ilmajohtojen korvaamiseen säävarmoilla ratkaisuilla kuten kaapeloinnilla. Laki edellyttää myös mm. kunnossapito-ohjelman laadintaa ja ylläpitoa sekä sähkölaitteiston/-verkon turvallisena pitämistä, mikä on puolestaan johtanut mm. ilmajohtojen säännöllisiin

tarkastuksiin. Kaapeloinnin yhteydessä tuli ilmi, että ulkopuolisen aiheuttaman kaapelivian korvaussäännökset ulottuvat ainoastaan korjaustyön korvaamiseen, mutta sähköyhtiölle kaapelikatkoa saattaa seurata sähkömarkkinalain perusteella palvelukatkoa aiheutuva korvaus sekä KAH-kustannus.

Teleoperaattoreiden toimintaa säätelee tietoyhteiskuntakaari, joko suoraan tai välillisesti toimintaa valvovan Viestintäviraston määräysten kautta [28]. Määräykset on sisällytetty organisaation prosesseihin, mikä kävi ilmi haastatteluissa mm. puhuttaessa häiriötilanteiden määrittelystä, vakavuuden arvioinnista, laittilojen luokittelusta ja tiedottamisesta sekä valvovalle elimelle, asiakkaille että Internet-sivujen kautta julkisuuteen. Tietoliikenneverkkojen häiriösietoisuutta ohjaavat Viestintäviraston vaatimukset, jotka käsittelevät mm. laittilojen varustelua palvelujen kriittisyyden (asiakasmäärä) mukaan tai akkujen minimikestoa tukiasemissa [29]. Viestintävirasto edellyttää raportointia häiriöistä sekä niiden syistä. Haastattelujen perusteella Viestintävirasto ei muilta osin näyttäytyä aktiivisena toimijana luonnonilmiön aiheuttamassa suurhäiriötilanteessa.

Useissa haastatteluissa nousi esiin tarpeita tietoliikenteen suhteen, kuten esim. kriittisen infrastruktuurin toimijoiden dataliikenteen priorisointi häiriön aikana. Tällaiset toimet edistäisivät pelastustoimen tehtäviä sekä sähköön palauttamista ja siten myös tietoliikenteen toipumista. Tietoliikenneteknisesti olisi mahdollista jo nyt käyttää monia liikenteen hallintaan ja erotteluun liittyviä kykyjä, mutta haastatteluissa arvioitiin säädösten joko rajoittavan tätä tai tilanteen olevan epäselvä.

Toimintaa ohjaavat säädökset ovat sähkönjakelun ja tietoliikenteen puolella hyvin erilaiset ja panostus varautumiseen on haastatteluiden perusteella hieman erilainen. Sähkönjakelun tietoliikenerippuvuus on tulevaisuudessa entistä vahvempi. Lainsäädännön eroavaisuuksia ei tuotu esiin ongelmana haastatteluissa. Toisaalta toisen toimialan säädäntöä ei tunneta kovin tarkasti, joten kukin toimiala kävi läpi vain omia velvoitteitaan.

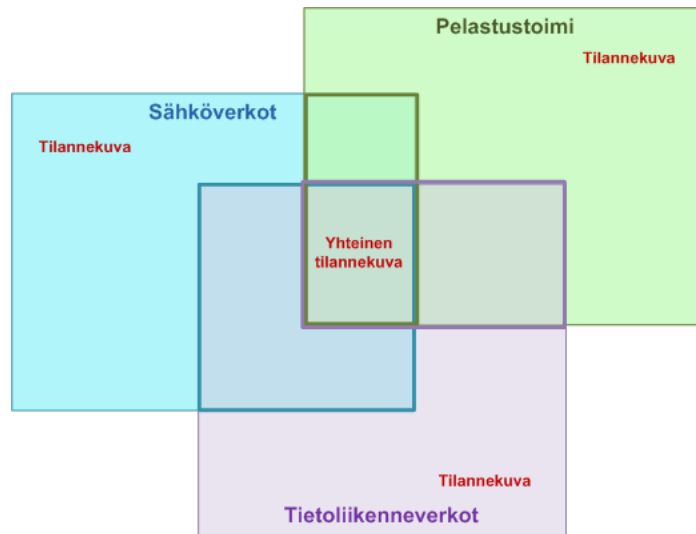
2.3 Tilannekuva ja sen vaatimukset

Haastatteluista kävi ilmi, että tilannekuva ymmärretään hieman eri tavoin. Tämä on luonnollista, koska kuva-sana tilannekuva-käsitteessä saattaa johtaa harhaan. Tilannekuva-termi usein myös sekoittuu puheessa tilannetietoisuus-termiin, miettimättä sen syvällisemmin kumpaa termiä itse asiassa tarkoitetaan. Osa haastateltavista tiedostaa tämän hyvin ja pohtikin haastatteluissa tilannekuvan käsitettä. (Terminologiaa on selvennetty tarkemmin raportin loppupuolella käsitteiden yhteydessä.)

Siinä missä monelle tilannekuva tarkoittaa (varsinkin tilannekuvaa jaettaessa) lähinnä vain teknistä tietoa järjestelmästä eli oman järjestelmän tilatietoa, niin haastatteluissa tilannekuva-käsitettä kuvailtiin usein laajemmaksi kokonaisuudeksi, jossa yhdistyy sekä teknistä järjestelmätietoa että tietoa toimenpiteistä ja tilanteesta sekä organisaation sisällä että yhteistyötahojen piirissä. Laajempina käsiteryhmänä tuotiin ilmi oma, toisten ja yhteinen tilannekuva. Korkeimmalla tasolla tilannekuva esitettiin johtamisen apuvälineenä, työkaluna ja esityksenä, joka sisältää eri lähteistä kerättyä tietoa liitettynä tiedon merkitykseen. Pelkän datan jakaminen ei ole tilannekuvan jakamista, koska numeroarvoihin ei ole liitetty merkitystä tai tulkintaa.

Seuraavassa on kuvattu lyhyesti eri toimijoiden tilannekuvaa ja sen vaatimuksia heidän oman toimintansa näkökulmasta. Yhteistyötä eri toimijoiden välillä, tilannekuvan muodostamisessa

tarvittavan tiedon välittämistä sekä menetelmiä, joilla tilannetietoa välitetään, käsitellään seuraavassa kappaleessa 2.4.



Kuva 7. Oma vs. yhteinen tilannekuva.

Kuten kappaleessa 2.2.3 on mainittu, pelastuslaki edellyttää luonnononnettomuudeksi katsottavissa tilanteissa pelastuslaitokselta yleisjohtajan roolia, jolloin sen tehtävänä on koordinoida toimintaa ja myös ohjata muiden toimenpiteitä. Pelastuslaki jopa edellyttää pelastuslaitokselta yhteisen tilannekuva ylläpitämistä.

Pelastustoimen tilannekuva on raporttimuotoinen esitys, joka sisältää kellonajoittain eri lähteistä koottuja kuvia, tekstejä, ym. tietoa. Suurhäiriötilanteessa pelastustoiminnan johtaja laatii yhteistyössä tilannekeskuksen, toiminta-alueen johtaelinten ym. henkilöstön kanssa omista tilannekuvajärjestelmistä, kentältä sekä yhteistyötahoilta saadusta tiedosta tiedotteita ja tilannekuvaraportteja, joilla ohjataan omaa toimintaa sekä tiedotetaan muita (ks. tarkemmin kappale 2.4.1). Pelastustoimen johtokeskuksen täytyy muodostaa kolme erillistä tilannekuvaa: yksi sisäistä toimintaa varten, toinen asiakkaita varten ja kolmas viranomaistahoja varten. Näiden tekemiseksi useista lähteistä saatua tietoa joudutaan usein prosessoimaan ja analysoimaan. Tietoja joudutaan muokkaamaan, jotta ne soveltuisivat tilannekuvaraportissa esitettäväksi. Tietoja pitää yhdistellä, jotta selviäisi, onko saadulla tiedolla merkitystä sisäiselle toiminnalle, asiakkaille ja viranomaisille, ja liittyykö asiaan esim. yksityisyydensuojaan kuuluvaa tietoa, potilasturvallisuuteen liittyvää tietoa, tai esim. poliisin näkökulmasta rikokseen liittyvää tietoa, mitä ei saa kertoa eteenpäin. Pelastustoimen tilannekuvassa esitetään suurhäiriötilanteissa tyypillisesti miltä tilanne alueittain näyttää, onko alueella ongelmia ja jos on niin mitä (esim. evakuoitavia kohteita tai sähköttömiä vedenottoa), mitkä resurssit ovat käytössä ja missä niitä on, ketkä ovat vastuussa, onko myrsky laantumassa vai pahenemassa, miltä sähköverkon häiriöt näyttävät, ovatko sähköyhtiöt ilmoittaneet vaara-alueista, joille ei saa mennä, millä alueilla on tietoliikenteessä ongelmia jne., eli kaikkea sellaista tietoa, jolla on merkitystä tehtävien hoidossa, tilanteen ymmärtämisessä ja päätöksenteossa eri tasoilla.

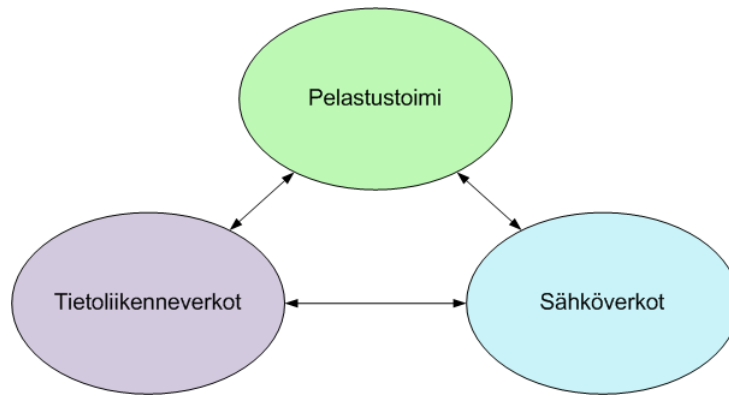
Sähköyhtiöissä muodostetaan kaksi tilannekuvaa, joissa sähkönjakeluverkon tilanne esitetään tyypillisimmin karttana, johon on liitetty lisätietoja. Sisäiseen käyttöön tarkoitettuna, ja joissakin yhtiöissä myös viranomaisten käyttöön jaetussa, tilannekuvassa on karttapohjalla esitetty vikaantuneet johtolähdöt, joihin käytönohjaus- ja käytöntukijärjestelmistä saadaan lisätietoja. Ulospäin suunnatussa tilannekuvassa esitetään tyypillisesti häiriötiedotteita ja näiden lisäksi karttapohjalla (kuntakohtaisesti) yksittäiset vikapaikat sekä tarkempaa vikaformaatiota lisäikkunoissa. Tilannekuvajärjestelmän halutaan tukevan viestintää asiakkaille,

medialle ja sidosryhmille, koska kyselyjä sähkön saannista, vikojen määrästä ja katkojen kestoista tulee runsaasti. Yhtiöissä tarvitaan kykyä tuottaa oikeille tahoille relevanttia ja luotettavaa tietoa. Suurhäiriön aikaisessa päätöksenteossa sähköverkosta halutaan tietää, missä on tai ei ole sähköä, vikamäärät, resurssimäärät, vikaantuneet johtolähdöt (ja näiden asiakasmäärät, tehon kulutus, kriittiset asiakkuudet) sekä erilaiset arviot korjausajoista ja tilanteen tulevasta kehityksestä. Sähköyhtiölle on oleellista pystyä näkemään omat toimintaedellytykset eri vika-alueilla; mahdollisuus kaukokäyttöön (etäyhteydet ja akkujen tila), onko kykyä rajata vikaa, kyky korjata vika tai toimittaa paikalle varavoimaa. Resurssien hallinnasta halutaan tietää vikojen ja asentajien suhde alueella sekä säätilan kehittyminen.

Tilannekuvat teleoperaattoreiden verkonhallinnassa ovat hyvin samankaltaiset kuin sähköyhtiöiden verkonhallinnassa, mutta sisäiseen tilannekuvaan vaikuttaa, varsinkin suurhäiriön pahimmassa vaiheessa, hyvin voimakkaasti kokonaiskuva hätäpuheluliikenteestä, joka tuotetaan yhdessä muiden teleoperaattoreiden kanssa. Tilannekuvia ylläpidetään kaksi: sisäinen ja ulospäin jaettava. Jälkimmäinen koostuu, samaan tapaan kuin sähkönjakelu-yhtiöillä, häiriötiedotteista sekä karttapohjalla näkyvistä häiriöalueista, joihin on liitetty tietoja häiriöistä ja niiden kestoista. Ulospäin suunnattua tilannekuvaa käytetään asiakkaiden, viranomaisten, median ja sidosryhmien tiedottamiseen ja työrauhan turvaamiseen turhien yhteydenottojen vähentyessä. Sisäisessä päätöksenteossa verkosta halutaan tietää mm. mitkä tukiasemat ja laajakaistakeskittimet toimivat normaalisti, mitkä toimivat akkujen varassa, mitkä ovat toimimattomia, mikä on kunkin tukiaseman vaikuttavuus ja mikä on tilanne eri palvelujen osalta. Teleoperaattoreilla on oltava kykyä tuottaa nopeasti verkon tilasta erilaisia näkymiä, esim. häiriö- tai peittokarttoja, joiden avulla mm. langattomien verkkojen palvelujen kattavuutta voidaan visuaalisesti tarkastella. Sisäisessä tilannekuvassa on myös tietoa siitä, mitä on tehty oman verkon sisällä, mitä aiotaan tehdä seuraavaksi, mikä on tilanne hätäpuheluliikenteessä ja sähkösaunnissa, mitä vikoja verkossa on ja kauanko niiden korjaaminen kestää sekä mihin suuntaan tilanne kehittyy. Resurssien hallinnasta halutaan sähköyhtiöiden tapaan tietää vikojen ja asentajien suhde alueella, varavoiman saatavuus ja kuljetustilanne sekä säätilan kehittyminen.

2.4 Toimintojen linkittyminen infrastruktuurien välillä

Haastatteluissa pyrittiin saamaan esille tilannekuvan muodostamiseen vaikuttavia yhteistyötahoja, joiden kanssa suurhäiriötilanteita yleisimmin ratkotaan. Esille nousi toimijoita, jotka joko suoraan antavat tilannekuvan muodostamisessa tarvittavaa tietoa tai muuten toiminnallaan tai olemassaolollaan vaikuttavat tilannekuvan muodostamiseen. Tarkasteltavan tutkimusskenaarion mukaisesti pääpaino haastatteluissa oli oheisen kuvan (Kuva 8) infrastruktuureissa, mutta esiin nousi myös joukko muita toimijoita, joiden roolit suurhäiriötilanteiden ratkaisemisessa ja vaikutukset tilannekuvan muodostamiseen ovat hyvin erilaiset. Haastatteluissa pyrittiin myös selvittämään menetelmiä ja välineitä, joilla tietoa eri toimijoiden kesken vaihdetaan, tiedon tärkeyttä, tiedon automaattista jakamista, tiedon määrää ja esitystapoja sekä riippuvuutta muista toimijoista. Osa kappaleessa kuvatuista asioista nousi esille keskusteltaessa toimintatavoista ja suurhäiriön hallinnasta yleisellä tasolla.

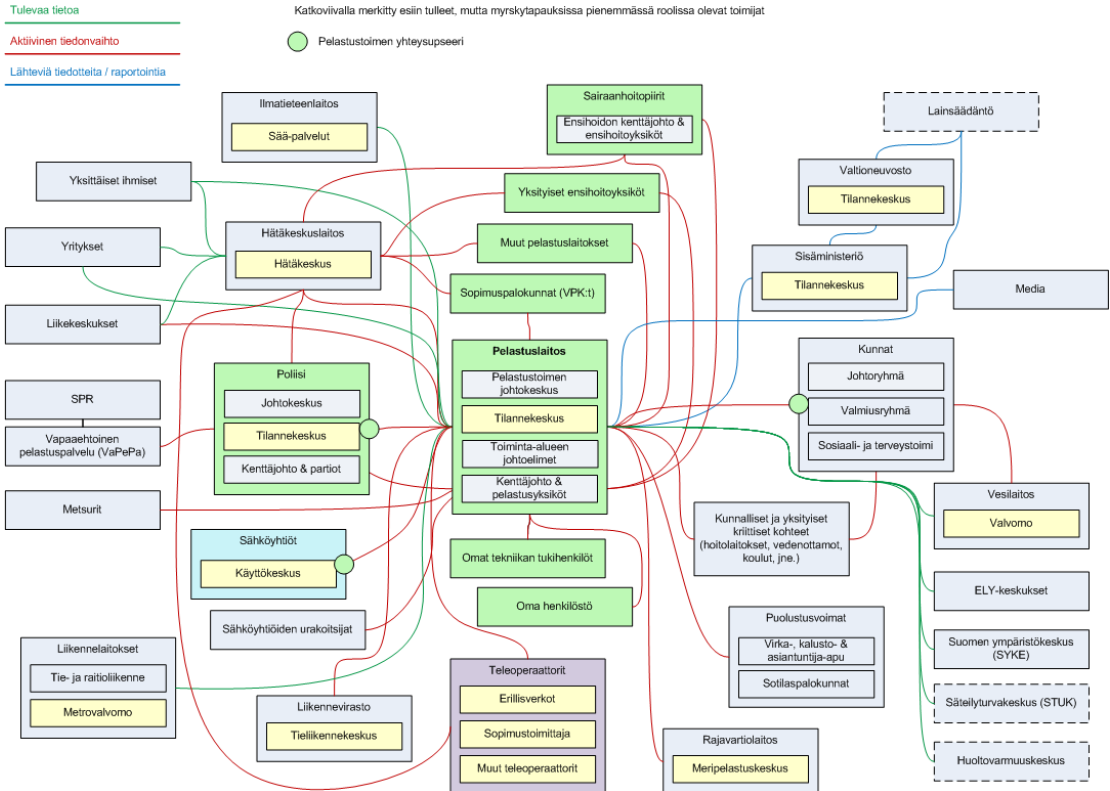


Kuva 8. Haastatteluissa tarkastellut infrastruktuurit.

Seuraavissa alakappaleissa on tarkemmin esitetty toimintojen linkittymistä suurhäiriötilanteessa tarkasteltavina olleiden infrastruktuurien ja haastatteluissa esille nousseiden toimijoiden välillä. Jokaiselle infrastruktuurille on piirretty oma kuva, jossa toimijoita ja tiedonvaihtoa suurhäiriötilanteessa on tarkasteltu tämän infrastruktuurin näkökulmasta. Kuvissa pelastustoimi on merkitty Kuva 8:n mukaisella vihreällä värillä, sähkönjakeluun kuuluvat toimijat turkoosilla ja tietoliikenteestä vastaavat toimijat violetilla värillä. Kaikkia tiedonvaihtolinkkejä ei kuvissa ole esitetty. Mm. muiden toimijoiden välisestä tiedonvaihdosta on esitetty vain sellaisia, joilla on merkitystä tarkasteltavana olleen infrastruktuurin tilannekuvan muodostamiseen. Kuvissa punaisella viivalla on esitetty yhteistyö, johon liittyy aktiivista tiedonvaihtoa molempiin suuntiin. Vihreällä on kuvattu yhteistyötä, jossa tietoa siirtyy etupäässä tarkastellun infrastruktuurin suuntaan. Sinisellä viivalla on linkitetty toimijat, joita suurhäiriötilanteissa tiedotetaan tai joille raportoidaan. Sekä vihreällä että sinisellä merkityissä yhteistyökuvioissa saattaa jonkin verran tietoa siirtyä myös vastakkaiseen suuntaan, mutta haastattelujen perusteella se on vähäisempää.

2.4.1 Pelastuslaitos

Pelastustoimen rooli pelastustehtävissä näkyy hyvin oheisessa kuvassa (Kuva 9). Tutkimuksessa tarkastelluista infrastruktuureista pelastustoimen yhteistyö- ja tiedonvaihtoverkosto on huomattavasti laajempi ja monimutkaisempi kuin muilla. Pelastustoimessa myös korostuu muita enemmän tiedonvaihto eri toimintatasoilla sekä raportoinnin hierarkia toimintaa ohjaavan sisäministeriön ja valtion hallinnon suuntaan. Kuvassa on muutamilla viivoilla painotettu kentällä tapahtuvan tiedonjakamisen merkitystä sen ohessa, että pelastuslaitokselle yleisesti, pelastustoimen johtokeskukseen, tilannekeskukseen ja toiminta-alueen johtoelimille tulee tietoa muilta toimijoilta. Suurin osa kentällä saatavasta tiedosta välittyy sisäisiä väyliä pitkin myös toiminta-alueen johdolle ja pelastusyksiköille.



Kuva 9. Toimijat ja tiedonvaihto suurhäiriötilanteessa Pelastuslaitoksen näkökulmasta.

Pelastuslaitoksessa tiedon käsittelyä tehdään usealla eri tasolla. Siinä missä pelastustoimen johtokeskus toimii tietoa kokoavana elimenä, toiminta-alueen johtolimissa ja kenttätoiminnassa kerätään ja välitetään yksittäistä alueellista tietoa. Pelastustoiminnan johtaja päättää, onko joku tietty tehtävä pelastustoimintaa, ohjaa toimintaa ja toimii yleisjohtajana. Toiminta-alueen johtolimilta annetaan päätöksentekoon tukea. Kentällä olevilta yksiköiltä tulee informaatiota ja kyselyjä sekä myös tietoa, jota välitetään eteenpäin pelastustoimen johtokeskukseen, joka puolestaan välittää sitä edelleen muille toimijoille. Vastaavasti tieto kulkee myös toiseen suuntaan muilta yhteistyötahoilta pelastustoimen johtokeskuksen kautta kentälle. Pelastuslaitoksessa nähdään kuitenkin tärkeänä, että kaikki tieto ei mene johtolimien kautta vaan että tiedon prosessointia, analysointia ja päätöksiä tehdään jokaisella tasolla. Edellä kuvatun lisäksi pelastuslaitos tuottaa mm. myrskytilanteessa säännöllisesti 4 tai 6 tunnin välein mediatiedotteita vallitsevasta tilanteesta sekä pelastustoimen osuudesta tapahtumissa.

Pelastuslaitoksella on useita järjestelmiä, joita seurataan suurhäiriötilanteissa. Pelastuslaitoksen kenttäjohtojärjestelmä, PEKE, on keskeisin väline pelastustoimen oman tilannekuvan muodostamisessa. PEKE:llä hallinnoidaan resursseja. Siitä nähdään reaaliaikaisesti karttänäytöllä yksiköiden sijainnit ja tilatiedot eli onko yksikkö varattu, tehtävässä vai vapaana. PEKE:stä saadaan myös yksikkönumeroiden kautta tietoa tehtävissä olevasta ja vapaana olevasta kalustosta. Poliisilla, jonka kanssa pelastuslaitos tekee tiivistä yhteistyötä, on käytössään vastaavanlainen kenttäjohtojärjestelmä, POKE. Nämä järjestelmät eivät keskustele keskenään eikä tietoa voi tällä hetkellä suoraan vaihtaa. Tilanteeseen odotetaan parannusta uuden viranomaisten kenttäjohtojärjestelmän, KEJO:n, myötä. Järjestelmän odotetaan tulevan käyttöön 2017.

JOTKE on sisäministeriön pelastustoimen tilannekuvajärjestelmä, jonka kautta pelastuslaitoksen johtokeskus ja tilannekeskus tuottavat tietoa sisäministeriön tilannekeskukseen. JOTKE:en tuotettu tieto on koostettua ylempään tason tietoa ja se mahdollistaa eri

pelastuslaitosten tilannekuvan siirtämisen sisäministeriön tilannekeskukseen ja tarvittaessa edelleen valtioneuvoston tilannekeskukseen. Myös naapuripelastuslaitokset hyödyntävät JOTKE:a tilanteen seurannassa. (Ks. tarkennuksia kappaleesta 2.4.4)

Edellä mainittujen lisäksi tilannekeskus seuraa radioliikennettä ja pitää tilanapäiväkirjaa. Tilanapäiväkirjajärjestelmä on pääasiassa vain tilannekeskuksen omassa käytössä. Yleisemmin kommunikointia tapahtuu myös Virve- ja mobiilipuhelinten, tekstiviestien, sähköpostin ja videoyhteyden välityksellä. Tilannekeskus seuraa myös Ilmatieteen laitoksen LUOVA-tiedotteita ja sääennusteita sekä sähköyhtiöiltä tulevia varoituksia, jotka ovat tärkeimpien tietolähteiden joukossa myrskytapauksissa. Näiden avulla pystytään valmistautumaan tulevaan sekä seuraamaan tilanteen kehittymistä, esim. onko myrsky pahentumassa vai laantumassa.

Hälytykset tulevat hätäkeskukselta, joka pystyy hälyttämään yksiköitä riippumatta siitä, minkä pelastuslaitoksen alueelta ne ovat. Hätäkeskus välittää avunpyynnöt ja kaiken sen tiedon, joka heille tulee suoraan pelastustoimen kenttäjohtojärjestelmään. Suurhäiriötilanteessa pelastustoimen johtokeskus suorittaa priorisoinnin ja resursoinnin hätäkeskuksesta saadun tiedon perusteella. Pääosa avunpyynnöistä tulee hätäkeskuksen kautta, mutta suurhäiriötilanteessa avunpyyntöjä tulee paljon myös asiakkaiden puhelinyhteydenottojen tai käyntien kautta suoraan paloasemille ja sopimuspalokuntien asemille. Näistä tiedot välitetään pelastustoimen johtokeskukseen.

Riippuen tehtävien vakavuudesta ja laajuudesta, pelastuslaitos käyttää yhteyshenkilöitä tiedonvälittäjinä. Haastatteluissa kävi ilmi, että yhteyshenkilöt nähdään tärkeimmiksi tiedonvälittäjiksi ja tapauskohtaisesti tällainen henkilö lähetetään poliisin, sähköyhtiön, kunnan ja hätäkeskuksen tiloihin. Tarvittaessa yhteyshenkilöitä käytetään myös muissa kohteissa, koska saatu hyöty koetaan suuremmaksi verrattuna resurssien sitomisesta tulevaan haittaan. Erityisesti poliisijohtoisissa tehtävissä kynnys yhteyshenkilön lähettämiseen on matala. Yhteyshenkilöllä on mukanaan pelastustoimen kenttäjohtojärjestelmä, jonka kautta pelastustoimen tilannekuva saadaan välitetyksi poliisin tietoon ja päinvastoin. Kun yhtäaikaista tehtäviä tulee paljon, yhteyshenkilön käyttö myös vähentää päällekkäisen työn tekemistä. Ensimmäisenä tehtäväpaikalle saapuva pelastusyksikkö tai poliisipartio voi arvioida yksittäisen tehtävän vakavuutta ja informoida molempia osapuolia resurssien kiinnittämiseen liittyvistä asioista. Sähkökatkoissa kokemus on osoittanut, että yhteyshenkilö on oleellinen tiedonvälittäjä siksi, että pelastuslaitos saa oman sanansa suoraan sähköyhtiön käyttökeskukseen omalla äänellään tarvitsematta soittaa viranomaislinjoille, jolloin viestinnän prioriteetti ja näkökulma muuttuvat.

Pelastustoimella on vahva side kuntiin. Pelastuslaitos on kuntien ja kaupunkien omistama, joten näitä palvelee ja tiedotetaan erityisen hyvin. Mikäli kunnan alueella tapahtuu jotain epänormaalia, pelastuslaitos informoi kunnan johtoryhmää välittämällä sille sähköposteilla ja tekstiviesteillä esim. LUOVA-tiedotteita tai onnettomuustiedotteita. Tällä tavoin pelastuslaitos aktivoi kuntien omia toimintoja, mikäli kunnat haluavat kohottaa valmiuttaan. Pelastuslaitos toimii myös yhteistyössä poliisin, Merivartioston ja yksityisten ensihoitoyksiköiden kanssa siten, että myös näiltä tahoilta tulevat aktivoinnit menevät pelastuslaitoksen kautta. Tilanteiden aikana pelastuslaitosta informoidaan yleensä puhelimitse ja sähköpostitse. Suurhäiriöiden aikana kohdealueen kuntaan lähetetään yhteyshenkilö, joka pystyy näyttämään, mitä heidän ympärillään tapahtuu ja mitä heidän kunnastaan on pelastustoimen johtokeskuksen tietoon mennyt. Vastaavasti yhteyshenkilö informoi pelastustoimen suuntaan tilannetietoa kuntien tuottamiin palveluihin ja kriittisiin kohteisiin liittyen. Yhteyshenkilö toimii myös vastuunjakojen selkiyttäjänä.

Kuntien alueella toimii yhteistyössä pelastuslaitoksen kanssa myös sopimuspalokuntia (VPK:t). Nämä ovat hätäkeskuksen hälytettävissä, mutta suurhäiriötilanteessa tiedotus menee pelastuslaitoksen kautta. Tilannekeskus laittaa alueen sopimuspalokunnille ennakoivia viestejä, joiden avulla sopimuspalokunnat kootaan valmiuteen. Nimensä mukaisesti sopimuspalokuntien käyttöä säätelevät sopimukset, jolloin ne ovat työmäärärajoitusten ja kustannusten puitteissa käytettävissä rajoitetusti, mikä aiheuttaa pelastustoimen operatiiviselle johdolle ylimääräistä suunnittelua ja tiedotusvelvoitteita.

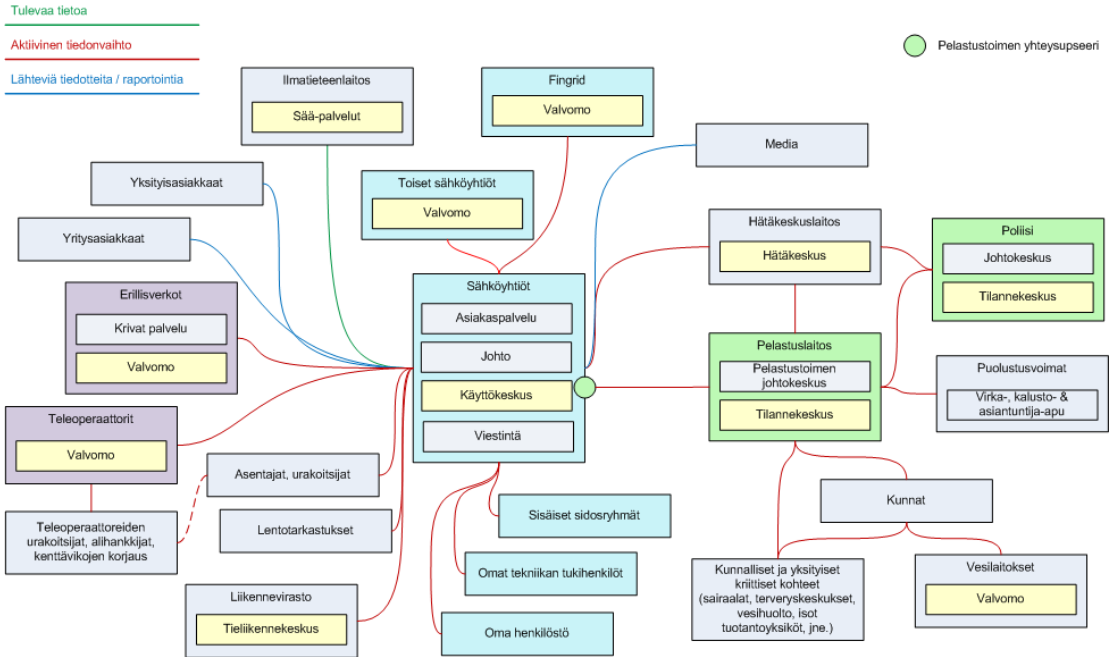
Naapuripelastuslaitosten tehtävä- ja resurssitilannetta seurataan JOTKE:n kautta. Osittain siksi, että jos joku pelastuslaitos tarvitsee apua toiselta pelastuslaitokselta, sitä on pelastuslain mukaan annettava. Tämän lisäksi pelastuslaitosten yhteistyö on usein hioutunut joustavaksi siten, että tehtäviä saatetaan tarvittaessa myös hoitaa itsenäisesti toisen alueella ainoastaan raportoiden tehtävien suorittamisesta. Muiden, joskus maantieteellisesti kaukana olevien, pelastuslaitosten kanssa tehdään myös tiedonvaihtoa harvinaisempien tehtävien yhteydessä. Tietoa, tiedon tulkkauksia ja analysointia pyritään hankkimaan siltä pelastuslaitokselta, josta tehtävään liittyvää asiantuntemusta ja kokemusta löytyy (esim. maakaasu tai säteilyonnettomuudet).

Pelastuslaitos koostaa tietoa myös lukuisista muista lähteistä puhelimitse, sähköpostilla, tekstiviesteillä ja Internet-sivuilta. Vikatietoja, häiriökarttoja ja korjausennusteita saadaan sähköyhtiöiden ja teleoperaattoreiden lähettämistä asiakas- ja viranomaistiedotteista sekä Internet-sivuilta. Näiden lisäksi Liikennevirastolta saadaan tieliikenteen tilannekuvaa, liikennelaitoksilta tie- ja raideliikennetietoja (mm. pääkaupunkiseudulla tärkeä tietolähde on HKL:n metrovalvomo), SYKE:ltä ympäristöasioihin liittyvää tietoa (mm. meriveden korkeustietoja), sosiaali- ja terveystoimesta tietoa esim. kotisairaanhoidon kriittisistä kohteista, jne. Lista muuttuu tapauskohtaisesti. Jokaisessa tehtävässä kentältä saatu tieto vaihtelee. Oleellista ja tärkeää tietoa tulee tehtäväpaikalla olevilta ihmisiltä, yritysten omistajilta, liikekeskusten turvallisuusvalvomoista sekä tehtävään sidotuilta partioilta.

Myrskytilanteissa tiedon lisäksi hankitaan myös kalusto- ja virka-apua Puolustusvoimilta, yksityisiltä metsureilta, metsänhoitoyhdistyksiltä, jne. Jos myrskytilanteeseen liittyy sellaisia raivaustehtäviä, jotka eivät vaadi erityistaitoja tai ihmisiä on kateissa, niin niissä käytetään vapaaehtoisen pelastuspalvelun apua. Vapaaehtoinen pelastuspalvelu aktivoidaan poliisin kautta.

2.4.2 Sähkönjakelu

Sähköyhtiöiden näkökulmasta katsoen toimija- ja tiedonvaihtokuva (Kuva 10) näyttää huomattavasti yksinkertaisemmalta kuin pelastustoimella (ks. Kuva 9). Sähköyhtiöillä suurhäiriöön varautuminen aloitetaan yleensä Ilmatieteen laitokselta tulevan LUOVA-tiedotteen myötä. Sääntiedon perusteella tehdään arvio siitä, mitä säätilanne voi omassa verkossa aiheuttaa ja paljonko sähköttömiä asiakkaita mahdollisesti tulee olemaan ongelman piirissä. Sään vaikutukset verkkoon ovat epävarmoja, joten säätilan kehitystä seurataan tarkasti. Sisäisesti tiedotetaan mm. varautumisjärjestelyistä ja kenttäresursseista. Tilannetietoa aletaan jakaa ja toimintaa organisoidaan suurhäiriöorganisaatioksi, jossa toimintoja kohdennetaan suurhäiriön aikaisiin tehtäviin. Mm. asiakaspalvelijat vastaavat vikapuheluihin, uuden verkon rakentaminen keskeytetään ja asentajat siirtyvät korjaamaan vikoja.



Kuva 10. Toimijat ja tiedonvaihto suurhäiriötilanteessa sähköyhtiön näkökulmasta.

Tähän asti sähköyhtiöt ovat varsin rajallisesti kyselleet tietoja muilta toimijoilta – yleensä muut haluavat tietoa sähköistä. Yleensä kysytään aika-arviota sähköjen palautumiselle. Informaation antamista suoraan asiakkaille ja erityisesti sidosryhmille pidetään tärkeänä. Sähköyhtiöt tiedottavat mm. sähköpostitse, tekstiviestein, puhelimella, sosiaalisen median ja Internet-sivujen kautta. Joiltakin sähköyhtiöiltä löytyy erilliset Internet-sivut viranomaisille. Median kyselyt ovat erittäin työllistäviä suurhäiriön aikana, joten mediaa tiedotetaan yleisimmin tiedotustilaisuuksissa ja erillisillä tiedotteilla, yksittäisiin kyselyihin vastaamisen aktiivisuus vaihtelee sähköyhtiöittäin. Internet-sivuilla julkaistavien sähkökatkokarttojen myötä sähköyhtiöille tulevien kyselyjen määrä on myös vähentynyt.

Suurhäiriössä sähköyhtiön oma tilannekuva muodostuu suurelta osin käytönvalvonta- ja käytöntukijärjestelmiltä (SCADA ja DMS) saatavasta tiedosta. Joillakin yhtiöillä on myös omia erillisiä tilannekuvajärjestelmiään resurssien hallintaan. Verkosta nähdään, missä on sähköä ja missä ei, kuormitustieto ja käyttäjien määrä johtolähdöillä, saadaan kauko-ohjaustiedot erottimilta/muuntamoilta, tietoa oikosuluista, laskennallisia etäisyyksiä siitä, missä vika voisi olla jne. Monitoroinnin määrä ja näkyvyys loppuasiakkaalle vaihtelee sähköyhtiöittäin. Vikatilanteissa yksittäisistä kohteista saatavan informaation määrä kuitenkin kasvaa. Sähköyhtiöstä riippuen suurhäiriössä ei välttämättä aina päästä niin hyvin yksityiskohtaisen tiedon hyötyihin kuin normaalitilanteessa, koska monet samanaikaiset viat aiheuttavat sen, että on erittäin vaikea identifioida kunkin erillisen vian lähde. Suurhäiriön yksittäisten tilanteiden purkaminen onkin suurelta osin käytönvalvojan kokemusperäistä toimintaa. Jotkut sähköyhtiöt turvautuvat helikopteritarkistuksiin sään salliessa, mikä parantaa tilannetietoisuutta maastosta. Joillakin sähköyhtiöillä on myös työkaluja nostaa esiin kriittisiä käyttöpaikkoja. Jos uusi keskeytys syntyy, niin verkosta saadaan välittömästi tieto siitä, liittykö keskeytykseen kriittisiä käyttöpaikkoja ja minkä tyyppisiä nämä ovat (esim. teleoperaattoreiden käyttöpaikkoja). Tätä tietoa hyödynnetään keskeytyksen hoidossa. Suurhäiriötilanteessa pelastustoimen ja kuntien kanssa käydään joka tapauksessa vuoropuhelua, jotta pystytään mahdollisimman pian löytämään kohteet, joissa on syytä toimia nopeasti.

Vian lopullinen aiheuttaja selviää usein vasta paikan päällä. Usein myös asiakkaat ilmoittavat linjoille kaatuneista puista. Osa tilannetiedosta tulee asentajilta ja urakoitsijoilta, jotka toimivat sähköyhtiöiden silminä ja korvina kentällä. Heidä ohjeistetaan ja heidän kanssaan käydään

jatkuvaa keskustelua resurssitilanteesta. Kommunikaatio on pääosin puhelupohjaista, osalla asentajista on langattomien puhelinten lisäksi käytössään myös Virve-puhelimia. Langattomiin päätelaitteisiin perustuvia kirjausjärjestelmiä ollaan jonkin verran kehittämässä. Nämä kuitenkin vaativat joko paremmat operaattorikohtaiset tietoliikenneyhteydet kuin mitä suurhäiriötilanteessa on saatavilla tai mahdollisuuden käyttää suurhäiriötilanteessa useamman operaattorin verkkoa. Joillakin sähköyhtiöillä käytöntukijärjestelmään saadaan tieto asentajien sijainneista, jolloin asentajille voidaan antaa mm. ajo-ohjeita. Tielaitokselta kysellään tietoa teiden kunnosta. Vastaavasti asentajat raportoivat tietilanteesta toiseen suuntaan, mikäli kohteeseen ei pääse.

Suurhäiriön aikana ei pidetä aktiivisesti yhteyttä teleoperaattoreihin, mutta Krivat-palvelun kautta yhteydenpidon teleoperaattoreiden suuntaan arvioidaan helpottuvan (ks. kappale 2.4.4). Jos ongelmia havaitaan, niin niistä soitetaan. Teleoperaattoreilta ja Erillisverkoilta halutaan tietoa siitä, kuinka laajoilla alueilla häiriötä on, liittyvätkö ongelmat runko- vai mobiiliyhteyksiin ja mihin palveluihin häiriöt vaikuttavat. Asentajilla on käytössään eri operaattoreiden mobiiliyhteyksiä, joten halutaan tietää, ketkä asentajista ovat tavoitettavissa ja missä, mihin sähköverkon etäohjaustoimenpiteitä voidaan kohdistaa, miltä verkon osalta etäohjauskyky on lähiaikoina häviämässä ja kuinka yksittäiset sähköverkkoon tehtävät korjaustoimet vaikuttavat tietoliikenteen palautumiseen. Edellä mainittujen lisäksi keskustellaan varavoiman toimittamisesta ja korjausprioriteeteista. Sähköyhtiöiden järjestelmät perustuvat tiedonsiirtoon, joten asioiden sujuva hoitaminen edellyttää tietoliikenteen toimivuutta. Jotkut sähköyhtiöt käyttävätkin ulkomailta hankittuja prepaid-liittymiä, joilla varmistetaan roaming eri teleoperaattoreiden verkkojen välillä ja saadaan laajempi toimintakenttä suurhäiriötilanteissa.

Kuten kappaleessa 2.4.1 on mainittu, pelastustoimeen ja kuntiin pidetään tiiviisti yhteyttä yhteyshenkilön välityksellä. Hänen kanssaan yhteistyössä suunnitellaan korjausten priorisointeja tai kriittisten kohteiden sähköistyksiä esim. evakuointien välttämiseksi. Pelastustoimen kanssa hoidetaan teiden raivauksia. Pelastustoimelle myös välitetään tietoa sähköjohtojen aiheuttamista vaarallisista alueista.

Toisiin sähköyhtiöihin ei pidetä suurhäiriön aikana aktiivisesti yhteyttä. Naapuriverkkoyhtiöiden tilannetta kuitenkin tarkkaillaan ja seurataan myrskyrintaman etenemistä. Samalla valmistaudutaan mahdollisesti omalle alueelle tulevaan suurhäiriöön, arvioidaan tilanteen vakavuutta ja sitä, onko naapuriverkkoyhtiöiden alueilta saatavissa tarvittaessa urakoitsijoita vai joudutaanko heitä pyytämään kauempaa. Suurilla maantieteellisillä alueilla toimivilla sähköyhtiöillä on pieniä sähköyhtiöitä paremmat mahdollisuudet hyödyntää ensisijaisesti omaa sopimusympäristöään ennen turvautumista muiden sähköyhtiöiden apuun.

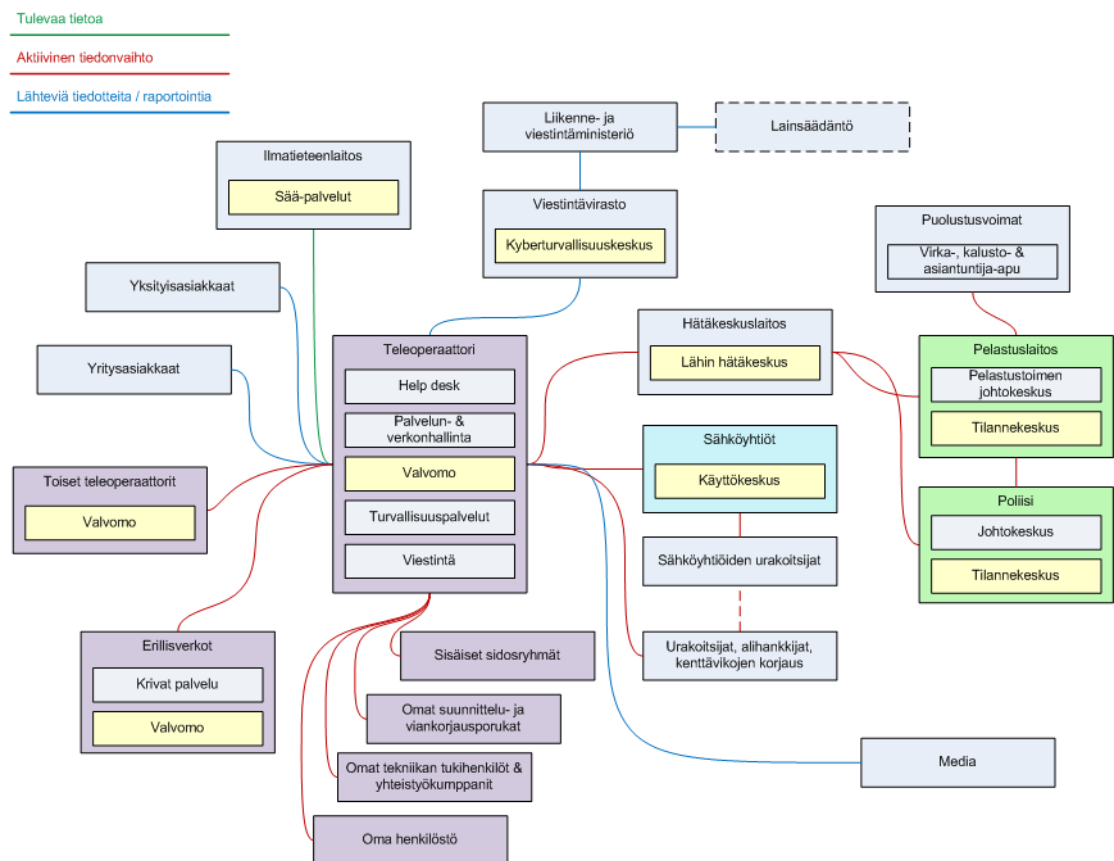
2.4.3 Tietoliikenne

Tietoliikenteen osalta yhteistyö- ja tiedonvaihtokuva (Kuva 11) on hyvin samankaltainen kuin sähköyhtiöillä (ks. Kuva 10).

Teleoperaattorilla myrskytilanteeseen valmistautuminen käynnistyy Ilmatieteen laitokselta saatavasta LUOVA-tiedotteesta. Tämän tullessa aloitetaan sisäisten sidosryhmien tiedottaminen ja erilaisten varautumis-, suunnittelu- ja viankorjausryhmien perustaminen. Vakavissa tilanteissa luodaan häiriönhallintaorganisaatio, johon johdon lisäksi oleellisina osina kuuluvat myös viestintä ja yritysturvallisuus. Viestinnän rooli on vastata medialta tuleviin kyselyihin, joita tyypillisesti tulee suurhäiriötilanteissa paljon. Sisäisesti tiedottaminen hoidetaan puhelimitse tai chat-kanavien kautta sekä sisäisillä sähköposti- ja intranet-tiedotteilla. Viestintävirastoa tiedotetaan sähköpostitse varautumisesta sekä lähetetään erityistiedotteita

myrskyn aikana ja viikon sisällä häiriön alkamisesta yhteenvetoraportti tapahtuneesta. Myös Hätäkeskuslaitos ja yritysasiakkaat saavat erityistiedotteita. Hätäkeskuslaitosta tiedotetaan katvealueista. Tiedotteet sisältävät kokemukseen pohjautuvat arvion häiriön kestosta sekä tiedot palveluista ja alueesta, joita häiriö koskee. Hätäkeskuslaitos puolestaan välittää tiedot eteenpäin pelastustoimelle, poliisille ja ensihoitoyksiköille.

Häiriöistä teleoperaattorit saavat tietoja asiakkailta asiakaspalvelun kautta sekä omista verkohallintajärjestelmistään. Suurhäiriötilanteissa tietotulvan vähentämiseksi asiakkaiden tiedottaminen Internet-sivujen kautta, sähköpostitse ja tekstiviestein aloitetaan hyvissä ajoin, jo myrskyn uhatessa. Tiedotteita päivitetään säännöllisesti, vaikka tilanteessa ei tapahtuisikaan oleellista muutosta. Lisäksi Internet-sivuilla ylläpidetään häiriökarttoja.



Kuva 11. Toimijat ja tiedonvaihto suurhäiriötilanteessa teleoperaattorin näkökulmasta.

Suuri osa teleoperaattoreiden omasta tilannekuvasta syntyy verkon- ja palvelunhallintajärjestelmistä, jotka ovat jokaisella teleoperaattorilla hieman erilaiset, mutta sisältävät samansuuntaista informaatiota. Näkymä verkkoon on kaikilla hyvä. Verkosta nähdään tyypillisesti karttapohjalla vialliset tukiasemat, kauanko tukiasemat ovat olleet viallisia, jne. Lisäksi saadaan tietoa erilaisista hälytyksistä kuten esim. sähköhälytyksistä laitetoissa. Tietojen avulla mietitään, mitä on tehty ja mitä tehdään seuraavaksi, priorisoidaan kenttävikojen korjaustoimenpiteitä, varavoiman kuljettamista sekä seurataan sitä, miten häiriö on eri laitetojen osalta edennyt.

Aiemmin teleoperaattoreiden yhteistyö on ollut salailevaa eikä omasta toiminnasta ole toisille juuri hiiskuttu. Pikkuhiljaa yhteistyö ja tiedon jakaminen suurhäiriötilanteissa on kuitenkin muuttunut avoimemmaksi, mihin HÄTY-yhteistyön arvellaan osaltaan vaikuttaneen. Teleoperaattorit ovat myös nähneet taloudellisesti merkittäväksi suunnitella yhdessä verkkojen rakentamista ja laitetojen jakamista. Nykyisin laitetoissa on tyypillisesti useamman operaattorin laitteita. Varavoimaa saatetaan viedä kilpailijan laitetoon, jos siellä on oman

verkon kriittinen solmukohta tai nähdään, että toimenpide parantaa oleellisesti oman verkon toipumista. Laitetilalla on sähkönjakeluun vain yksi asiakkuus, jolloin palveluun liittyvät häiriötiedotteet ja niiden sisältämät korjausarviot menevät vain tilan pääkäyttäjänä olevalle teleoperaattorille.

Myrskytilanteissa suurhäiriön ratkaiseminen keskittyy aluksi hätäpuheluliikenteen varmistamiseen. Muiden teleoperaattoreiden kanssa keskustellaan puhelimitse ja selvitetään mahdollisia hätäpuheluliikenteen katvealueita, sovitaan kuka on yhteydessä sähköyhtiöön, mikäli katvealueilla on yhteisiä laitiloja, ja kuka hoitaa varavoiman toimittamisen katvealueelle. Muusta toiminnasta teleoperaattorit saavat toisiltaan tietoa Internet-sivujen kautta. Hätäpuhelut on toteutettu teknisesti siten, että ne menevät toiminnassa olevan verkon kautta silloin kun soittajan oman operaattorin verkko ei toimi. Siinä vaiheessa kun hätäpuheluliikenne on turvattu, tilannetiedon jakaminen teleoperaattoreiden kesken vähenee ja keskitytään oman verkon korjausoiden edistämiseen.

Teleoperaattorit ylläpitävät viranomaisverkon tukiasemia. Erillisverkot ilmoittavat viranomaisverkoissa olevista ongelmista asiakaspalvelun kautta. Mikäli ongelmia on paljon, niin kuin suurhäiriötilanteessa yleensä on, niin yhteydenpitoon saatetaan teleoperaattorin puolella kiinnittää vastuuhenkilö. Teleoperaattorit, jotka Erillisverkkojen alihankkijana ovat velvollisia pitämään Virve-tukiasemat toiminnassa, pyrkivät huomioimaan nämä parhaimman mukaan ja tiedottamaan heitä tilanteen etenemisestä. Haastattelujen perustella Virve-verkoissa olevat ongelmat rinnastetaan samalle tasolle kuin hätäpuhelut ja sairaalat.

Sähköyhtiöiden kanssa keskustellaan puhelimitse yhteistyön ajoittamisesta, korjaustöiden etenemisestä sekä vaihdetaan tietoa kriittisistä käyttöpaikoista. Yhteistyön tasoa kuvataan haastatteluissa erittäin hyväksi, mutta käytännöt vaihtelevat sähköyhtiöittäin. Joltakin sähköyhtiöltä on jopa saatettu tiedustella ilman erillistä yhteydenottoa teleoperaattoreiden priorisoitavia kohteita. Näiden tietojen luovuttamista sähköyhtiöllä siten, että ne olisivat jo etukäteen sähköyhtiöllä tiedossa, on myös suunniteltu. Sähköyhtiöiden Internet-sivuilta saadaan viankorjausarvioita, jotka ovat oleellisessa asemassa päätettäessä kannattaako varavoimaa lähteä viemään tiettyihin kohteisiin vai palautuvatko sähköt mahdollisesti ennen kuin varavoima ehtii perille. Mikäli verkossa on pahoja katvealueita tai hätäpuheluliikenteessä ongelmia, niin varavoimaa viedään joka tapauksessa luottamatta sähköyhtiöiden ennusteisiin.

Urakoitsijoihin ollaan yhteydessä jo myrskyyn varauduttaessa. Heiltä tarkistetaan tarvittaessa yhteystietoja, varmistellaan varavoimakoneiden sijaintipaikkoja ja tehdään hätätyöpyyntöjä. Tämän lisäksi myrskyn aikana kenttävian korjausryhmät ja varavoimaa kuljettavat urakoitsijat saattavat tarvita sijaintitietoja ja ajo-ohjeita. Periaatteessa tiedot varavoimakoneiden sijainneista pitäisi olla urakoitsijoilla, mutta toisinaan tulee tilanteita (esim. lukittuja tai naapuriyhtiön laitiloja), joissa heitä joudutaan ohjaamaan ja antamaan erikoistietoja. Mikäli teleoperaattorin omat varavoimakoneet eivät riitä, varavoimaa voidaan lainata myös Puolustusvoimilta.

2.4.4 Yhteiset tilannetiedon jakamisen välineet

Haastatteluissa kävi ilmi, että tällä hetkellä yhteisiä organisaatorajat ylittäviä tilannekuva- tai tilannetiedon jakamisen välineitä joko on käytössä suhteellisen vähän tai osa niistä vain jäi haastatteluissa mainitsematta. Seuraavassa on, hieman haastatteluissa esiin tullutta laajemmin, esitelty käytössä olevia järjestelmiä.

Pelastuslaitoksilla on päivittäisessä käytössään sisäministeriön ylläpitämä pelastustoimen tilannekuvajärjestelmä (JOTKE), jossa näkyvät mm. hätäkeskuksesta välitetyt tehtävät ja niihin liitetyt tehtävät. Näiden lisäksi tilannekeskukset ja pelastustoimen johtokeskukset koostavat JOTKE:en etupäässä raporttityyppistä tilannetietoa ja tila-analyysiä. Raporteissa on tyypillisesti listattu kellonajoittain ja kunnittain tilanteita, ei niinkään yksittäistä tietoa. JOTKE-järjestelmää käytetään pääosin tilanteen seurannassa ja raportoinnissa. Mm. suurhäiriötilanteissa pelastuslaitos on velvollinen raportoimaan sisäministeriön päivystäjälle, joka valtakunnallisesti merkittävissä asioissa välittää tietoa edelleen valtioneuvoston tilannekeskukseen. JOTKE-järjestelmä helpottaa raportointia ja nopeuttaa asioista keskustelua. Sen käytöstä saatavaa hyötyä voidaan laajentaa pelastustoimen yhteyshenkilöiden kautta, joita suurhäiriön aikana lähetetään tärkeimpien yhteistyötahojen tiloihin. Esim. sähköyhtiön käyttökeskuksessa oleva yhteyshenkilö voi syöttää sähköverkon häiriökarttaa järjestelmään, jolloin se on välittömästi kaikkien järjestelmää käyttävien, myös kunnissa olevien yhteyshenkilöiden, nähtävissä.

Kuten kappaleessa 2.4.1 on mainittu, pelastustoimelle on tulossa lähivuosina käyttöön viranomaisten kenttäjohtojärjestelmä (KEJO), jonka pitäisi helpottaa kentällä tapahtuvaa johtamista sekä mahdollistaa eri toimijoiden yhteisen tilannetiedon jakaminen myös kenttätoiminnassa. [30] Järjestelmän toteuttavat Patria, Portalify ja Codea. Käyttäjiksi tulevat poliisi, pelastustoimi, sosiaali- ja terveystoimi, rajavartiolaitos, puolustusvoimat, tullit sekä mahdollisesti myös muita viranomaisia.

Pelastuslaitoksella ja poliisilla on myös käytössään Liikenne- ja viestintäministeriön ja Huoltovarmuuskeskuksen yhteistyönä rakentamaan viranomaistiedotuksen varmistusjärjestelmään (VIRVA:an) kuuluva hätätiedotusjärjestelmä, jolla kansalaisia varoitetaan vaarasta ja tiedotetaan kriisitilanteissa. [31] [32] Vaaratiedotteita voivat antaa poliisi-, pelastus- ja rajavartiolaitosviranomaiset, Hätäkeskuslaitos, poliisihallitus ja sen alaiset valtakunnalliset yksiköt, Säteilyturvakeskus, Ilmatieteen laitos, Liikennevirasto, Liikenteen turvallisuusvirasto, Elin- ja eläinturvallisuusvirasto, Sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontavirasto, Lääkealan turvallisuus- ja kehittämiskeskus sekä ministeriöt. Vaaratiedote voidaan antaa, mikäli ihmishenki tai terveys on uhattuna tai jos omaisuuden vaurioitumiselle tai tuhoutumiselle on merkittävää vaaraa. Tällä hetkellä vaaratiedote on valtakunnallinen, mikäli se annetaan TV-kanavien kautta. Radiokanavien kautta on mahdollista antaa myös alueellisia vaaratiedotteita. Haastatteluissa kävi ilmi, että tämänhetkinen järjestelmä ei ole optimaalinen, jo vaaratiedotteen laajuudenkin takia ja siksi, että radio- ja TV-kanavien kautta ei tavoiteta kaikkia vaara-alueella liikkuvia kansalaisia. Esimerkiksi onnettomuustilanteessa, jossa leviää vaarallista savua tai johon liittyy räjähdysvaara, alueen mekaaninen eristäminen ei ole riittävä, jos alue on suuri ja alueen sisällä on eristämishetkellä ihmisiä. Matkapuhelimiin ym. mobiililaitteisiin pohjautuvaa uutta alueellista vaaratiedotejärjestelmää onkin jo suunniteltu. Tekniikka on valmiina ja tiedetään, miten järjestelmä toteutettaisiin, mutta toistaiseksi rahoituksesta vielä neuvotellaan.

Yksi laajimmin käytetyistä ja luotetuimmista tilannetiedon jakamisen järjestelmistä on Ilmatieteen laitoksen, Suomen ympäristökeskuksen ja Helsingin yliopiston Seismologian instituutin kehittämä luonnononnettomuuksien varoitusjärjestelmä, LUOVA, jonka ylläpidosta vastaa Ilmatieteen laitos liikenne- ja viestintäministeriön ohjatessa toimintaa. [33] [31] [32] LUOVA on tarkoitettu valtion johdon ja turvallisuusviranomaisten tilannekeskusten käyttöön. Ministeriöiden ja VNK:n lisäksi loppukäyttäjät ovat mm. SPR, STUK, ELY-keskukset, Puolustusvoimat ja pelastuslaitokset. LUOVA:n tilannekuvaa välitetään sähköpostin, tekstiviestien ja LUOVA-portaalin kautta mm. sähköyhtiöille ja teleoperaattoreille. Suunnitteilla on myös Väestön LUOVA, jonka avulla tiedotteita on mahdollista ohjata myös väestölle suunnattuihin varoitusjärjestelmiin. LUOVA-järjestelmän avulla annetaan ennakkovaroituksia ja tuotetaan

analysoitua ja varmennettua tilannekuvaa luonnononnettomuuksista, jotka uhkaavat kansalaisten turvallisuutta. Järjestelmän kehittäjät päivystävät 24/7 ja seuraavat maailmanlaajuisesti eri tietolähteitä, analysoivat uhkia sekä toteutuneita luonnononnettomuuksia ja ylläpitävät tilannekuvaa. LUOVA-järjestelmän kautta asiantuntijaverkosto jakaa myös arvioita luonnononnettomuuksien vaikutuksista, mitä pidettiin haastatteluissa erittäin arvokkaana. Ilmatieteen laitos tuottaa LUOVA:an sääilmiöihin sekä merivedenkorkeuteen liittyviä varoituksia, Seismologian instituutti maanjäristysvaroituksia ja Suomen ympäristökeskus vesistötulviin liittyviä varoituksia.

Krivat on Huoltovarmuuskeskuksen aloitteesta syntynyt Erillisverkkojen tarjoama palvelu, jonka tavoitteena on tehostaa suurhäiriöiden hallintaa ja nopeuttaa niistä toipumista. [34] [35] Se on tarkoitettu parantamaan huoltovarmuuskriittisten toimijoiden tiedonvaihtoa ja yhteistoimintaa tarjoamalla näille yhteistoimintamallin ja informaatiokanavan. Käyttäjillä on yhteisen portaalin kautta pääsy näihin tietolähteisiin ja erilaisiin lisäpalveluihin. Palvelun kautta voidaan mm. käydä videoneuvotteluja ja jakaa työpöytä näkymiä, karttapohjanäkymiä vioituneista muuntamoista tai tukiasemista, liikennetilanteesta, tiesäystä ja auraustilanteesta. Haastattelujen perusteella eräitä palvelun seuratuimmista osa-alueista ovat Ilmatieteen laitoksen meteorologien kautta saatavat tarkemmat paikkakuntaakohtaiset säätiedot ja Virveverkon katvealueet. Krivat-palvelun käyttäjinä on yrityksiä ja viranomaistahoja, mm. kaikki haastatteluissa mukana olleet tahot. Osalla haastatelluista organisaatioista Krivat on operatiivisessa käytössä. Osa on vasta viime aikoina liittynyt palveluun ja vasta opettelee palvelun käyttöä tai on toistaiseksi vielä ns. tarkkailijan roolissa. Palvelun käyttöönottoa on hidastanut riittävän käyttäjäkunnan varmistelu – odotetaan, että muutkin alan toimijat liittyvät palvelun piiriin. Krivat-palvelun yhtenä pääajatuksena on, että palvelun piiriin kuuluvat toimijat tuottavat järjestelmään tietoa. Palvelu toimii suojatussa verkossa, joten tiedon joustava siirtäminen eri järjestelmistä Krivatiin tai toisin päin on joissakin tapauksissa arvioitu haasteelliseksi. Palvelu on kuitenkin vielä alkutekijöissään, mikä näkyi toiveikkaissa kommentteissa palvelun käytöstä kerrottaessa ja sen laajentumista arvioitaessa. Krivatin toivottiin tuovan helpotusta varsinkin sellaisiin ongelmatilanteisiin, joissa joudutaan turvautumaan puhelimitse tehtäviin tiedusteluihin.

2.5 Tilannekuvan muodostamisen haasteet

Kysyttäessä suurhäiriön hallinnan, tilannetietoisuuden ja tilannekuvan muodostamisen haasteista, esiin nousi muutamia yhtäläisyyksiä. Jatkuvuuden hallintaa mietitään kaikissa haastatelluissa organisaatioissa. Keinovalikoimaa löytyy ja oma tekeminen on pyritty turvaamaan useilla matkapuhelinliittymillä, varajärjestelmillä, varavoimalla, järjestelmäkahdennuksilla, jne. Suurhäiriöt ovat tyypillisesti tilanteita, joissa resursseja on tarjolla ja ihmiset ovat motivoituneita.

Suurhäiriötilanteissa kaikille yhteisiä haasteita ovat tilanteiden ennakointi, tehtävien priorisointi ja tehtävien synkronointi yhteistyötahojen kanssa, vaikka myrskytapauksissa tilanteisiin pystytään jollakin asteella etukäteen varautumaankin. Kriittisiä kohteita pystytään ennalta priorisoimaan, resursseja varaamaan ja ennakoivaa tietoa on jonkin verran saatavissa. Haaste on saada tiedot oikeisiin paikkoihin, kaikille niille ketkä sitä tarvitsevat. Suurmyrskyjen tapauksissa, jotka sattuvat esim. kerran viidessä tai kymmenessä vuodessa, suurhäiriön hallintaan ei myöskään voi ennalta miettiä kovin tarkkaa prosessia vaan tilanne on jollakin tavalla aina uusi. Kiire ja tilanteen dynaamisuus lisäävät vaativuutta. Mikäli asioita ei ole tilannekuvan muodostamisen kannalta jo etukäteen mietitty, ei ole varmaa kuka ehtii analysoida, onko saadulla tiedolla merkitystä vai ei, onko se julkaisukelpoista ja levitettävää vai ei, mikä on olennaista itselle ja mikä on olennaista yhteistyötahoille. Haastatteluissa

suurhäiriön hallintaa pahimmillaan kuvattiinkin ad hoc -tekemiseksi, hallitun kaaoksen johtamiseksi ja massojen hallinnaksi. Suurhäiriönaikaisten tehtävien hoitoon liittyy kaikilla myös organisaatio- ja työjärjestelymuutoksia, joista aiheutuu haasteita normaalitehtävien hoitamislle.

2.5.1 Pelastustoimi

Kuten kappaleesta 2.4.1 käy hyvin ilmi, yksi merkittävä haaste pelastustoimen tilannekuvan muodostamiselle syntyy valtavasta yhteistyökumppaneiden ja toimijoiden määrästä. Kuvassa olevan kaavion monimutkaisuutta lisää vielä se, että sähkönjakeluuyhtiöitä on kaikkiaan 77 [36] ja jokainen hoitaa asioitaan hieman eri tavalla. Jokaisella on mm. omanlaisensa tapa esittää sähköverkon tilannekuva. (*Kaisa Pylkkäsen diplomityö vuodelta 2014 havainnollistaa Savon Voiman, Korpelan Voiman, Järvi-Suomen Energian, Carunan, Entergyn, Helsingin Energian, National Gridin, Pohjois-Karjalan Sähkön ja Elenian häiriökarttoja* [27].) Yhden pelastuslaitoksen alueella saattaa toimia useita sähköyhtiöitä. Tietoliikenteen osalta pelastustoimella ovat seurattavinaan neljä merkittävintä toimijaa ja mahdollisesti valtion hallinnon omat palvelut. Pirstaleista tietoa kerätään hyvin erilaisista ja eritasoisista järjestelmistä, jotka eivät kommunikoi keskenään. Lisäksi tietoa kerätään videoyhteydellä, Internet-sivujen kautta, suullisesti ja kirjallisesti erilaisten teknisten välineiden avulla. Tästä syystä virheherkkää tiedon kirjaamista ja kopioimista järjestelmästä toiseen tehdään paljon. Monessa tapauksessa ongelmana on lainsäädäntö. Vaikka pääsy olisikin johonkin järjestelmään, niin tiedon esitystapa tekee tiedon uudelleenkäytön mahdottomaksi. Tieto on myös usein epätarkkaa, joskus jopa virheellistäkin ja joskus useiden välikäsien kautta muuntunutta. Esim. hätäkeskukselta saadut viestit ovat usein epätarkkoja. Siihen pyritään, että hätäkeskukselta välittyvä sanoma/avunpyyntö/kuvaus olisi mahdollisimman oikea, mutta koska hätäkeskuskin on täysin avunpyytäjältä saadun tiedon varassa, niin usein tieto tapahtuneesta hahmottuu kokonaisuudessaan vasta tapahtumapaikalla. Poliisi on mm. tällaisten tilanteiden varalle kehittänyt +1-säännön, joka pakottaa jokaisen tehtävän yhteydessä ennakolta varautumaan yllätykseen.

Suuren haasteen tilannekuvan muodostamiselle aiheuttaa reaaliaikaisuus. Pelastustoimen pitää muodostaa tilannekuva usein minuuteissa. Kentällä pelastustoimessa, samoin kuin myös poliisilla, tehtävien tärkeysjärjestykseen asettamisen tekee toiminta-alueen johtaja/kenttäjohtaja, joka yrittää pitää kentän tilannekuvaa mahdollisimman hyvin ajan tasalla. Tilanteen hahmottamiseksi tarvitaan keskusteluja tehtäväpaikalla olevien viranomaisten ja ulkopuolisten henkilöiden välillä. Keskustelut viranomaistahojen välillä tapahtuvat pääsääntöisesti Virve-yhteyden yli, mutta usein molempien em. laitosten kenttätoiminnasta vastaavat johtajat istuvat samassa partioautossa tiedonkulun nopeuttamiseksi. Kentältä tilannekuva-tietoa välitetään johtokeskuksiin, joissa samoin kuin toiminta-alueen johtoelimissä, tilannekuvan muodostaminen on monissa tapauksissa vaativampaa. Suoraa näkymää tehtäväpaikalle ei ole vaan päätöksiä joudutaan tekemään muiden välittämän tiedon pohjalta. Myös tarpeellisen tiedon saanti ja analysointi riittävän nopeasti eri toimijoiden järjestelmistä johtokeskusten käyttöön tuottaa usein ongelmia. Eräs haastateltavista mainitsikin osuvasti, että toisinaan 50 %:n tiedoilla pitäisi kyetä tekemään 100 %:sesti oikeita päätöksiä.

Vaikka tietoa saisikin, se ei välttämättä ole sellaisessa muodossa, jota pelastustoimessa tarvittaisiin vaan vaatii usein lisätiedon hankintaa, koostamista ja analysointia. Tätä käytössä olevat tilannekuvajärjestelmät eivät tue. Kaikki toimijat käyttävät omissa järjestelmissään lyhenteitä, jotka ovat ymmärrettäviä asiaan perehtyneille, mutteivät ulkopuolisille. Esimerkiksi Ilmatieteen laitoksella ja sähköyhtiöillä on erilaiset uhkaluokitukset samoin kuin sähköyhtiöillä keskenäänkin erilaiset uhkaluokitukset, värikoodaus ja prioriteettiluokat. Tämä hidastaa tiedon jäsentelyä. Joissakin tapauksissa pelastustoimi tarvitsisi myös tiedon merkitystä

enemmän kuin annettua tietoa sellaisenaan. Esimerkiksi sähköyhtiön häiriökartta, jossa näkyy jännitteettömät johtolähdöt kartalla, ei kerro pelastustoimelle, paljonko asukkaita yksittäisen jännitteettömän johtolähdön alla on tai onko sähköttömänä kriittisiä, mahdollisesti evakuointia vaativia, kohteita. Vastaavasti esimerkiksi tieliikenteestä saadut ajoneuvomäärät eivät kerro yksittäisinä numeroina kovinkaan paljon. Jos esimerkiksi kerrotaan, että tiellä numero 101 kulkee 30 000 ajoneuvoa tunnissa, niin onko se paljon vai vähän tielle numero 101? Ongelma tulee siitä, että eri toimijoiden tilannekuvajärjestelmät on suunniteltu etupäässä vain heidän omaan käyttöönsä ottamatta huomioon tilannekuvan jakamista muille toimijoille. Poikkeuksiakin on. Haastatelluissa esiin tulleista toimijoista Ilmatieteen laitos ja SYKE (erityisesti toimialojensa luonteestakin johtuen) toimittavat jäsennellyintä ja analysointia tietoa sekä näiden lisäksi päätöksentekoa helpottavia ennusteita ja vaikuttavuus-arvioita.

Eräs haaste pelastustoimen tilannekuvan muodostamiselle syntyy teknisten ongelmien ja rajoitusten myötä. Virka-aikana toimivia järjestelmäosaajia ei välttämättä tavoiteta virka-ajan ulkopuolella, jolloin tekniset ongelmat joudutaan ohittamaan ja turvautumaan puhelynyhteyksiin tai jos nämäkään eivät toimi, niin yhteyshenkilöiden, yksiköiden tai yhteistyötahojen, kuten esim. poliisipartioiden, välittämiin viesteihin. Pelastustoimi toimii vahvasti tietoliikenneyhteyksien varassa. Virve-, mobiili- ja tietoliikenneyhteyksien toimiminen on erittäin tärkeää. Vaikka tilanne on viime vuosina parantunut, niin katkoksia esiintyy silloin tällöin näissä kaikissa yhteyksissä. Ongelma on myös yhteyksien rajallisuus. Tarvetta olisi siirtää niin kuvia kuin reaaliaikaista videotakin. Kuva kertoisi enemmän kuin tuhat sanaa ja yhdessä paikkatiedon kanssa kaikkein eniten.

Tiedonsiirtoverkot ovat myös oma ongelmansa. Joustava ja nopea datan siirto eri kaupunkien hallintoverkkojen, viranomaisille tarkoitettujen verkkojen ja julkisten kaupallisten verkkojen välillä on usein ongelmallista hankaloittaen datan hyödyntämistä ja uudelleenkäyttöä. Tieto saattaa olla esimerkiksi nopeampaa kopioida ruutukaappauksilla suoraan näytöltä kuin kirjautua useisiin eri järjestelmiin ja siirtää dataa järjestelmien yli. Haasteen muodostavat tietoturva ja useaan kertaan ketjutetut palvelut eri palveluntarjoajien kautta.

Yhteistyö ja tiedonvaihto eri toimijoiden kesken ovat parantuneet viime aikoina. Viime vuosien suurmyrskyjen jälkeen sähköverkkopuoli on avautunut ja pelastustoimi on päässyt viranomaisille tarjotun palvelun kautta käsiksi verkkokarttoihin ja on siten päässyt näkemään sen hetkisen sähköverkon tilannekuvan. Teleoperaattoreiden osalta tilanne ei ole yhtä hyvä. Tiedot ovat suurimmaksi osaksi vielä operaattoreiden sisäisiä ja pelastustoimi joutuu toimimaan tiedotteiden ja yhteydenottojen varassa.

2.5.2 Sähkönjakelu ja tietoliikenne

Kuten pelastustoimelle, myös sähköverkkojen ja tietoliikenneverkkojen ylläpitäjille myrsky itsessään on haaste, erityisesti sen ennakoimattomuus ja vaikutukset. Mitä tarkempaa ajantasaista tietoa sekä ennusteita säätilan kehittymisestä, myrskyrintaman etenemisestä ja myrskyn vaikutuksista saadaan, sitä helpompaa on suunnitella ja ajoittaa korjaustoimenpiteitä. Myrskyn silmään on liian vaarallista asentajia ja urakoitsijoita lähettää, mutta heti kun tilanne alueella alkaa rauhoittua ja helpoimmat viat on kaukokäyttöisin laittein rajattu pienelle alueelle ja suurjänniteviat poistettu, niin korjausten priorisointi voidaan aloittaa. Sekä sähköettä tietoliikenneyhtiöissä vian korjaus on pääosin ulkoistettu. Urakoitsijoiden varallaoloa ja töitä säätelevät sopimukset, joita myrskytilanteissa saatetaan joutua tarkistelemaan. Korjauskustannuksia lasketaan myrskyn edetessä, mutta haastattelujen pohjalta vaikuttaa siltä, että molemmilla osapuolilla myrskyyän ja korjauksiin varaudutaan varaamalla

mieluummin liikaa kuin liian vähän korjausresursseja. Urakoitsijoilla ei välttämättä ole päivystyksiä, joten varautumatta resurssien saantikin voisi muodostua ongelmaksi.

Häiriönhallintaa kuvataan perustekemiseksi. Joskus häiriöt kestävät vähän pidempään ja jos puita on laajoilla alueilla sähkölinjoilla, niin kestää oman aikansa ennen kuin viat on korjattu. Suurhäiriötilanteessa sähkönjakelulla ja teleoperaattoreilla on yhteinen ongelma. Sähköttömyys aiheuttaa tietoliikenneverkkoon katveja ja katveet vaikeuttavat sähköverkon etäohjausta ja korjauksia kentällä. Teleoperaattorilla on vastuu siitä, että laitetoissa sähköt toimisivat mahdollisimman pitkään, mutta jos sähköttömyys kestää kauan, niin akkuvarmistukset eivät riitä ja tukiasemia alkaa sammua. Tällä hetkellä Viestintävirasto vaatii 3h akkuvarmistuksen, mutta riippuen akkujen iästä, kunnosta ja varaustilasta myrskyn iskiessä, kentältä saatujen kokemusten perusteella akkuja saattaa sammua jo aiemmin. Kriittisimpiin kohteisiin ja varsinkin yhteisiin laitetoihin teleoperaattoreilla on kuitenkin pyrkimys laittaa vaatimuksia järeämpää varavoimaa. Kun laitetoihin saadaan sähköt takaisin, tukiasemat alkavat yleensä toimimaan automaattisesti. Myrskyissä syntyy myös laitevikoja, jolloin korjaajat joudutaan lähettämään paikalle. Korjaajia ei kuitenkaan kannata lähettää tai etäkorjaustoimenpiteitä edes yrittää, ennen kuin on selvillä, että sähköt ovat laitetoilaan palautuneet. Kun laitetoja on tuhansia ja käsillä on laaja häiriötilanne, niin on haasteellista saada yksityiskohtaista tietoa siitä, milloin esim. tiettyyn laitetoilaan sähköt palautuvat ja miten sen osan sähköverkon korjaus etenee. Teleoperaattoreilla on pelastustoimen kanssa samankaltainen ongelma siinä, että sähkönjakeluyhtiöitä on paljon ja jos suurhäiriöalue on iso, hieman eri lailla toimivia yhteistyötahoja on tyypillisesti useita.

Suurhäiriötilanteessa teleoperaattoreiden haasteena on myös varavoiman kuljettamiseen liittyvät päätökset. Onko tarkkaa tietoa siitä, onko varavoiman kuljettaminen mahdollista vai onko puita tiellä, minne, milloin ja kuinka kaukaa varavoimaa kannattaa viedä, ehtikö varavoimakone perille ennen kuin sähköt ovat palautuneet, jne. Näissä kysymyksissä tiedot yhteistyötahoilta, yhteinen suunnittelu ja toimintojen synkronointi eri osapuolten välillä muodostuvat tärkeiksi.

Sähkönjakelun tilannekuvan muodostaminen on työlästä, sillä tietoja eri järjestelmien kesken saatetaan joutua välittämään osin käsityönä. Hallintajärjestelmät eivät tue riittävän hyvin tapahtumamassojen tai suurten toistomäärien hallintaa. Tiedon tarkkuuden puute johtuu osaksi siitä, että sähkönjakeluverkossa joko ei ole riittävää määrää automaattista sensorointia/diagnostiikkaa tai niistä ei saada täydellistä tilannekuvaa kun vikapaikkoja on tuhansia. Lisäksi informaatiota välitetään paljon puhelimitse ja pahimmillaan hyvin pitkänä ketjuna kuten pelastuslaitos-hätäkeskus-käyttökeskus-käytönvalvoja-asentaja (jos yhteyshenkilö ei ole käytössä). Tämä työllistää useita henkilöitä ja tieto välittyy epätarkasti. Puhelimella tehtävää informaation välitystä pitäisikin siirtää datapohjaiseksi.

Varsinkin alussa häiriötietoihin liittyy hyvin suuri epävarmuus. Sekä tietoliikenneverkkojen että sähköverkkojen osalta on haasteellista antaa arvioita vikojen kestoista tai vaikutuksista, joita useimmin kysellään suurhäiriön aikana. Tällä hetkellä tarkkaan tietoon ja hyvään ennusteeseen korjausajasta päästään vasta, kun asentaja on kohteessa korjaamassa vikaa. Ennen kuin vioista saadaan tarkempaa tietoa, korjausarviot perustuvat usein näppituntumaan ja kokemukseen. Häiriön laajuudesta ja myrskyn vaikutuksista pidetään kirjaa, joista saadaan selville häiriöiden suuruusluokkia. Sekä sähkö- että tietoliikennepuolella asiakasvaikutukset saadaan joidenkin laitteiden osalta hyvinkin tarkasti tietoon, mutta esimerkiksi matkapuhelinverkon osalta joudutaan tyytymään laskennallisiin arvioihin siitä, paljonko sammuneiden tukiasemien vaikutusalueella on asiakkaita. Toimimattomien tukiasemien kappalemääristä saadaan tarkka tieto.

2.6 Infrastruktuurin käyttäjän toimintakyky suurhäiriötilanteissa

Aiemmissä kappaleissa on tarkastelu suurhäiriötilannetta sellaisten toimijoiden näkökulmasta, jotka aktiivisesti osallistuvat häiriötilanteen korjaamiseen. Tilannekuva ja toiminta suurhäiriötilanteessa näyttävät eri tavalla sellaiselle toimijalle, joka ei osallistu korjaustöihin ja infrastruktuurien vuorovaikutukseen. Tästä huolimatta tilannekuva ja erityisesti tilannetietoisuuden pohjalta tehtävät päätökset oman toiminnan muutoksista ovat tärkeitä. Esimerkkejä infrastruktuurin käyttäjistä ovat instituutiotasolla esim. Puolustusvoimat, yksittäiset yritykset ja kansalaiset.

Pelastustoimi arvioi kansalaisten toimintaedellytyksiä suurhäiriötilanteissa, ryhtyy tarvittaviin tuki- tai pelastustoimiin, varoittaa kansalaisia ja tuottaa tietoa medialle, kunnille sekä suoraan kansalaisille. Koska pelastustoimi kerää tietoa suurhäiriötilanteesta hyvin kattavasti, kansalaisen toimintakyky tulee arvioitua ammattimaisesti. Vastaavasti terveydenhoidon ja sosiaalitoimen toimintakyky arvioidaan pelastustoimessa.

Puolustusvoimat ovat infrastruktuurin käyttäjänä monin tavoin poikkeuksellisessa asemassa. Puolustusvoimat mainitaan haastatteluissa tahona, joilta voi pyytää miehistö- ja kalustoapua, ja he ovat suurhäiriötilanteen eräänlainen vararesurssi eikä aktiivinen osapuoli. Puolustusvoimat ylläpitävät omaa tilannekuvaansa, johon osaltaan kuuluu puolustusvoimien kyky toimia tietynä hetkenä tietyllä paikkakunnalla. Toisin kuin muut infrastruktuurin käyttäjät Puolustusvoimat pystyvät oleellisella tavalla korjaamaan infrastruktuurin puutteita liikuteltavan kaluston, generaattoreiden, vesisäiliöiden, tukiasemien ja vastaavien avulla. Tämän vuoksi heidän tarpeensa tilannetiedon suhteen ovat myös erilaiset verrattuna muihin käyttäjiin.

Koska Puolustusvoimat ylläpitää omaa tilannekuvaansa, ideaalitalanteessa tieto infrastruktuurien käytettävyydestä tulisi olla syöte heidän omaan tilannekuvajärjestelmäänsä. Tarkempaa infrastruktuuritietoa pitäisi kerätä useista eri lähteistä, esimerkiksi sähkö- ja tele-yhtiöiden häiriökartoista, joissa vika-alueet ovat kohtalaisen tarkkoja ja vioille esitetään korjausaikarvio. Valitettavasti valtakunnallisella tasolla seurattavana on taas kirjo erilaisia häiriötilanneesityksiä kuten kappaleessa 2.5.1 kuvattiin yksityiskohtaisemmin. Ongelmaa helpottaisi hieman kokoava portaali esim. Krivat, josta häiriötiedot olisivat saatavilla. Krivatin käyttö onkin tällä hetkellä laajenemassa. Krivatin käyttämisen edellytyksenä on se, että organisaatiolla on rooli joko infrastruktuurin ylläpitäjänä/operoijana tai ylläpitäjän tukiorganisaationa suurhäiriössä [37]. Mikäli tilannetiedon yhteisportaalit laajenevat koneiden väliseen kommunikaatioon, eri toimijat voisivat hakea haluamiensa infrastruktuurien tilatiedon koneluettavassa muodossa oman sisäisen tilannekuvansa muodostamista varten. Jopa tällä hetkellä jaettavan julkisen aineiston näppärä kokoaminen ja siirtoformaatti mahdollistaisivat tiedon jatkojalostamisen.

Hallinnossa pelastustoimen tilannekuva välittyy sisäministeriön ja valtioneuvoston tilannekeskuksiin. Korkeammille tasoille mentäessä tilannekuvan yksityiskohdat vähenevät. Taso, jolla on sekä pelastustoimen että Puolustusvoimien tilannekuvat, on niin yleinen, että tilannekuvien interaktio voi olla haastavaa. Tässä työssä käytettävässä MPKK:n tilannekuvajärjestelmässä saadaan sähkö- ja tietoliikenneinfrastruktuureilta tapahtumapohjaista tietoa, joka sitten yhdistetään muuhun aineistoon, ei siis sähkö- tai tietoliikenneinfrastruktuurista tulevia erillisiä infrastruktuurikohtaisia koosteita. Tämä kuvastaa sitä, että tiedon tuottamiseen käytetään selvästi alemman tason yksityiskohtaisempaa tietoa ja lopputuloksena tuotetaan lukuisia erilaisia alemman tason syötteitä yhdistävää tietoa.

Edellisissä kappaleissa esimerkkinä käsitelty Puolustusvoimat on poikkeuksellinen infrastruktuurin käyttäjä sen oman kyvykkyyden vuoksi, joten otamme seuraavaksi pienehkön yrityksen näkökulman, tällainen voisi olla esimerkiksi K-kauppa (katso tarkemmin Eino-myrykyn vaikutus elintarvikekauppaan [27]). Yritys on täysin riippuvainen sähköstä ja tietoliikenteestä, normaali toiminta häiriintyy heti. Sähkökatkoksen pituudesta riippuen menetykset voivat olla hyvin suuria ja suuren energiatarpeen vuoksi omaa varavoimaa on vain parin tunnin tarpeeseen. Menetyksiä voidaan pienentää hankkimalla lisäresursseja (esim. kylmäkontteja), jos tiedetään tarpeeksi hyvin sähkökatkon oletettu kesto. Yritys saa sähkö- ja tietoliikennetoimitajaltaan (tai välillisesti kauppakeskuksen hallinnoijan kautta) omaan häiriöönsä liittyvää tietoa. Tarpeeseen ja päätöksentekoon nähden tämä ei välttämättä ole riittävän tarkkaa. Muilta osin, esim. logistiikka, yrittäjä joutuu turvautumaan yleiseen kansalaisille tarjottavaan tilannetietoon tai muihin lähteisiin. Yrittäjän tärkein tilannetiedon parannus olisi ajantasaisen ja luotettavan tilannetiedon saaminen sähkönjakelusta, tietoliikenteestä ja logistiikasta. Mikäli nämä infrastruktuurit pystyvät kehittämään omaa tilannekuvaansa, ennustuskykyä ja tiedon välittämistä erityisesti yritysasiakkailleen, esimerkkitapauksessa tarpeet oman toimintakyvyn arvioimiseen ovat keskeisiltä osilta täytetty. Myös yrittäjän tapauksessa olisi hyötyä tilannekuvaportaalista yleistilanteen seuraamiseksi varsinkin, jos infrastruktuureilta saatu häiriötieto ei ole riittävän tarkkaa ja luotettavaa. Esimerkkinä oleva yrittäjä ei voi olla nykyisen Krivatyhteisön jäsen, mutta mahdollisesti Krivatin tai muun vastaavan järjestelmän pohjalta luodun yleisemmän tason tiedon ja tilannekuvan käyttäjä. Tällä tasolla yritys voi olla myös tiedon tuottaja (tämä ruokakauppa auki/kiinni/toimii rajoitetusti jne.).

Infrastruktuurien käyttäjille on vaihtelevia tilannekuvat tarpeita ja tilannekuvia tarvitaan useilla erilaisilla tasoilla. Tilannekuvat voivat kytkeytyä toisiinsa. Kansalaisille tarjotussa tilannekuvassa kansalaisilla voi olla mahdollisuus toimia tiedon tuottajina jos he raportoivat/ilmoittavat häiriöistä. Tämä tieto olisi taas mahdollista siirtää infrastruktuurien omiin tilannekuvajärjestelmiin. Kyseessä on nk. ground sourcing tilannetiedon keräämisessä.

2.7 Kyberturvallisuus

Kyberturvallisuudesta ei kerääntynyt kovin paljon haastattelumateriaalia luultavimmin haastattelutilanteen aikarajoitteiden ja raportin julkisuuden vuoksi. Haastatteluissa tarkasteltavan tutkimusskenaarion palvelunestohyökkäys määriteltiin sähköisten tai verkotettujen järjestelmien häiriönä, joka voi olla tahallinen tai tahaton. Haastateltavat kuitenkin pääsääntöisesti tulkitsivat kybertilanteet tahalliseksi hyökkäyksiksi. Yleisesti ottaen kyberkenttä nähdään jatkuvana kilpajuoksuna hyökkääjän ja torjujan välillä. Mikäli tietoliikenneverkkoihin liitetään yhä enemmän laitteita ja esim. sähkönjakelun informaatiolähteiden määrä lisääntyy, myös verkon ”reikien” määrä ja riski verkkoon tunkeutumisesta kasvavat. Valtiollisia tahoja pidetään vaarallisimpina hyökkäysten toteuttajina.

Viestintäviraston Kyberturvallisuuskeskus nousi haastatteluissa kybertilanteiden ydintoimijaksi. Kyberturvallisuuteen liittyvät tapahtumat ilmoitetaan yleensä välittömästi Kyberturvallisuuskeskukseen, joka voi osallistua niiden ratkaisemiseen, ja mikä tärkeintä, välittää tietoa muille toimijoille. Viestintäviraston kyber-palveluina mainittiin Havarop-palvelu kriittiselle infrastruktuurille ja Autoreporter-palvelu, joka on pakollinen teleoperaattoreille. Tällä palvelulla Kyberturvallisuuskeskus kerää tietoa haittaohjelmista ja tietoturvaloukkauksista.

Teleoperaattoreilla on kullakin omat järjestelmänsä kybertilanteiden havaitsemiseen ja hallintaan. Kybertilanteiden hallinta vaikutti olevan alue, jolla teleoperaattorit pyrkivät erottumaan kilpailijoista tarjoamalla turvapalveluja sekä sitouttamalla asiakkaitaan. Teleoperaattoreiden ongelmaksi tulee kuitenkin se, että he eivät voi tietää, onko jokin liittymä kriittisessä

käytössä, ellei asiakas tätä itse kerro. Pienemmät hyökkäysryitykset saattavat jäädä huomaamatta suurissa datavirroissa, ellei asiakas, joka hyökkäyksen kohteeksi on joutunut, itse niitä huomaa.

Sähkönjakeluverkkojen kybertilanne tulee muuttumaan lisääntyvän etäohjauksen, sähkömarkkinoiden muuttumisen ja informaatiolähteiden myötä. Laitteisiin tulee enemmän rajapintoja, monimutkaisuutta ja etäominaisuuksia. Tämä tiedostetaan hyvin ja hallintaverkon turvaamiseen selvästi kiinnitetään huomiota. Ukrainassa joulukuussa 2015 tapahtunut sähkönjakeluverkon kyberhyökkäys mainittiin esimerkkinä. Ennen aktiivivaihetta suoritettiin kohdennettu haittaohjelmien levitys. Kyberhyökkäyksessä 23.12.2015 sähköasemien katkaisijoita ohjattiin auki kaapatuilla etäyhteyksillä, josta aiheutui sähkökatkoja noin 225 000 asiakkaalle muutaman tunnin ajaksi (1–6 tuntia). Osassa sähköasemissa tuhottiin laiteohjelmistoja ja tiedostoja, jolloin valvomo ei pystynyt ohjaamaan katkaisijoita muuten kuin menemällä paikalliskäyttöön. Ukrainan sähkönjakeluverkko oli osin vanhempaa teknologiaa. Tästä syystä hyökkääjä ei pystynyt aiheuttamaan vakava vaurioita verkon laitteille. Sähkönjakeluverkon käyttö onnistui miehittämällä sähköasemat, koska katkaisijoiden tekniikka toimi myös manuaalisesti. Käyttöönotto vaati huomattavia henkilöresursseja. Asiakaspalvelun puhelinjärjestelmään kohdistettiin palvelunestohyökkäys, jolloin asiakaspuhelut sähkökatkosta eivät päässeet perille. Yksityiskohtainen raportti tästä kyberhyökkäyksestä löytyy lähteestä *Alert (IR-ALERT-H-16-056-01) Cyber-Attack Against Ukrainian Critical Infrastructure* [38].

Pelastustoimelle tietoliikenneverkkojen kybertilanteet merkitsevät toiminnan vaikeutumista. Tilannekuvan muodostamista varten tietoa kerätään linkitettyjen verkkojen kautta useista eri lähteistä, jolloin hyökkäyksen laajuudesta ja kohteesta riippuen vaikutus pelastustoimen tehtäviin on aina hieman erilainen. Suurimman ongelman aiheuttavat kunnallisiin hallintoverkkoihin ja viranomaisverkkoon kohdistuvat hyökkäykset. Hallintoverkon kaatuminen vaikeuttaa normaalien päivittäistehtävien hoitamista. Viranomaisverkon ongelmat muodostavat haasteita kenttätehtävien tekemiseen, kommunikointiin ja tilannekuvan ylläpitämiseen.

Tutkimusskenaariona oleva hybriditilanne, jossa myrskyn aikana tehdään tietoliikenneverkkoon palvelunestotilanne, koettiin hyvin haastavaksi. Inhimillisten syiden takia päähuomio on kaikilla toimijoilla myrskytilanteessa. Verkot eivät ole normaaleissa toimintatiloissaan, mikä vaikeuttaa kybertilanteen havaitsemista. Erityisesti jos myrskytilanteessa hyökkäys tehtäisiin jollakin uudella tavalla, sen havaitseminen olisi erittäin hankalaa. Hybriditilanteessa myös toimijakenttään tulee muutoksia. Kyberturvallisuuskeskus nousee yritysten omien tietoturvaosaajien rinnalle kyberhyökkäyksen keskeiseksi tieto- ja osaamislähteeksi. Normaaliin myrskytilanteeseen verrattuna myös pelastustoimen yleisjohtajan työ muuttuu haasteellisemmaksi; rikostapausten osalta tilanteen johto on poliisilla ja normaaleissa myrskytapauksissa pelastustoimella.

Haastatteluissa pohdittiin jonkin verran toimijoiden tiedonvaihtoa kybertilanteissa. Pääsääntöisesti tiedotus kulkee Viestintäviraston kautta, mutta tutkijan näkökulmasta verkottuneen palveluketjun matalan kynnyksen tiedonvaihdosta voisi olla hyötyä. Olisi mahdollista nostaa anonyymisti häiriölippuja ja viestiä tilanteesta status-tyyppistä tietoa esim. secure multiparty computation -tekniikalla.

3 HÄIRIÖNHALLINNAN VAATIMUKSET JA TULEVAISUUDENNÄKYMÄT HAASTATTELUJEN POHJALTA

3.1 Suurhäiriön hallintaan liittyvät kehityskohteet

Haastatteluissa tuli esille kehitystarpeita, jotka toteutuessaan nopeuttaisivat kriittisen infrastruktuurin toimijoiden yhteistyötä suurhäiriötilanteissa ja/tai helpottaisivat tilannekuvan muodostamista sekä organisaation sisällä että yhteistyötahojen kanssa.

Pelastustoimella on tarve saada siirrettyä reaaliaikaista kuvaa tehtäväpaikoilta tilanne- ja johtokeskuksiin. Tähän tarkoitukseen suunniteltu järjestelmä on ollut jo jonkin aikaa kokeilussa Tampereella, Pirkanmaan pelastuslaitoksella. Järjestelmän käyttöönotto ja erityisesti halutun tietoturvatason varmistaminen vaativat kuitenkin vielä suunnittelua ja neuvotteluja. Reaaliaikaisen kuvan siirtäminen kaupallisten tietoliikenneverkkojen kautta olisi helppoa, mutta mm. pelastustoimen, poliisin ja ensihoidon yhteistyönä toteutettavien tehtävien tietoturvaso on normaalia korkeampi. On varmistuttava siitä, että kuvaa siirrettäessä ketjutettujen yhteyksien yli (eri operaattoreiden verkkojen, palvelinten ja palomuurien läpi) tietoturva toteutuu kaikissa kohdissa.

Sekä sähköyhtiöiden omien että teleoperaattoreiden, pelastustoimen, ym. kanssa yhteistyössä tehtävien viankorjaus-, raivaus- ja korjaustöiden hoitamiseksi tarvitaan tulevaisuudessa enemmän helppokäyttöisiä langattomissa päätelaitteissa toimivia sovelluksia, joilla saadaan välitettyä tarkempaa vikatietao, korjausarvioita, tiestön kuntotietoa tai raivaus- ja korjaustilannetietoa yhteiseen tilannekuvajärjestelmään. Tämä helpottaisi yhteistyötä ja vähentäisi asioiden hoitamista puhumalla eri tahoille. Tällä hetkellä viestiketjut saattavat olla pitkiä, vaativat paljon tiedon tarkistamista ja syövät resursseja. Esimerkiksi pelastustoimen vioittuneesta laitteesta tai ilmajohto-ongelmasta ottama kuva paikkatiedolla varustettuna suoraan sähköyhtiön tilannekuvajärjestelmään, nopeuttaisi toimintaa sähköyhtiön organisaation sisällä. Langattomiin päätelaitteisiin perustuvat menetelmät kuitenkin vaativat hyvät tietoliikenneyhteydet toimiakseen.

Kuten edellisistä kappaleistakin voi päätellä, langaton tiedonsiirto lisääntyy sekä pelastustoimessa että sähkönjakeluverkkojen uudistamisen myötä, joten molemmilla on suuri tarve luotettaville tiedonsiirtoyhteyksille. Haastatteluissa tuli esille tarve kriittisen infrastruktuurin toimijoiden puhe- ja dataliikenteen priorisoinnille. Tämän arvioitiin teknisesti olevan mahdollista, mutta se vaatisi ohjeiden selkeyttämistä Viestintäviraston ja lainsäätäjien taholta. Haastatteluissa arveltiin nykyisten säädösten kieltävän liittymien priorisoinnin käytettävän palvelun perusteella. Yksinkertaisempi ratkaisu saattaisikin olla puhtaasti korkeamman prioriteetin liittymien käyttö kriittisen infrastruktuurin toiminnoissa.

Sähkönjakeluyhtiöt ja pelastustoimi hyötyisivät myös kotimaan roamingista, silloin kun sopimusosapuolena olevan teleoperaattorin matkapuhelinverkossa on häiriöitä, mutta jonkun muun teleoperaattorin verkko olisi käytettävissä. Kotimaan roaming -asia nähtiin liiketoiminta- ja sopimuskysymyksenä, jonka ratkaisemiseksi ei ole lain asettamia esteitä. Yleisenä perusteluna kotimaan roamingin estolle esitettiin mm. verkkojen mitoittaminen. Jos kriittisen infrastruktuurin toimijoilla olisi ennalta määritettyjä liittymiä, joille häiriötilanteissa sallittaisiin muiden operaattoreiden verkon käyttö, ei datan määrä voi tulla kynnyskysymykseksi.

Sähkönjakelun ja tietoliikenteen välinen riippuvuus haluttiin tuoda näkyväksi siten, että kummankin infrastruktuurin järjestelmät voisivat välittää toisilleen häiriötietoa. Jos sähkön käyttöpaikkojen ja erityisesti sähköttömien tukiasemien sähkön palautumisen ennuste syötetään tietoliikenneverkon tilannekuvajärjestelmään, saataisiin laskettua ennusteita peitto- ja häiriöalueiden muutoksista sekä vaikutuksia eri palveluihin. Tämä helpottaisi päätöksentekoa, jotka liittyvät tulevien toimien suunnitteluun ja priorisoitavien kohteiden määrittelyyn. On tärkeää, että järjestelmä on dynaaminen ja se perustuu ajankohtaisen tilannetiedon perusteella tehtyyn laskentaan. Tässä tutkimuksessa käytettävä sähkö- ja tietoliikenneverkkosimulaattori toimii juuri tällä tavalla, mikäli se on liitetty reaaliaikaisesti sekä sähkönjakeluverkon että tietoliikenneverkon hallintajärjestelmiin.

Haastattelujen perusteella kehitettävää löytyisi myös eri toimijoiden uhka-arvioista, varautumistasoista ja varoitusten väriluokituksista. Esimerkiksi Ilmatieteen laitos käyttää varoitusten yhteydessä väriluokitusta vihreä, keltainen, oranssi ja punainen, joista punainen merkitsee hyvin vaarallista säätä [39]. Kullakin sähköyhtiöllä on oma tapansa esittää varautumisasteita, jotka osittain perustuvat tähän luokitukseen, mutta eivät vastaa täysin toisiaan. Pelastustoimi tekee suurhäiriöihin varautumiseksi ja toimenpiteiden valitsemiseksi myös oman uhka-arvionsa, joka perustuu sekä Ilmatieteen laitokselta että sähköyhtiöltä saatuihin luokituksiin. Usein nämä eroavat ja syitä eroihin joudutaan puntaroimaan. Luokituksen yhtenäistäminen helpottaisi keskinäistä ymmärrystä kun tiedettäisiin, mitä luokitukset tarkalleen ottaen tarkoittavat ja mitä toimenpiteitä uhka edellyttää.

Suurhäiriötilanteen yhteydessä käytettävien tilanteen kehityssuuntaa kuvaavien mittareiden terminologiaa olisi myös hyvä yhdenmukaistaa – varsinkin jos eri toimijoilla on yhteinen tilannekuva. Sääennusteiden yhteydessä saatetaan käyttää esimerkiksi plus-merkkiä ilmaisemaan myrskyn kovenemista ja miinus-merkkiä ilmaisemaan myrskyn laantumista, mutta mikäli tämä tieto siirretään suoraan yhteiseen tilannekuvaan irrallaan merkityksestä, voi syntyä väärinymmärryksiä ja vaaratilanteita. Plus-merkkihän esimerkiksi pelastustoimen tehtävien hoidossa saattaisi tarkoittaa, että tilanne on parantumassa.

Kuten aiemmin on mainittu, Suomessa on useita kymmeniä sähkönjakeluyhtiötä. Yhtiöiden prioriteettiluokat vaihtelevat jossain määrin, joten ainoastaan prioriteettiin perustuva kommunikointi ei nykyisin riitä. Sähkö- sekä urakointiyhtiöt ovat menestyksekkäästi parantaneet työturvallisuutta, tehokkuutta ja keskinäistä kommunikointia luomalla suurjännitetöihin yhteiset, kansalliset toimintaperiaatteet ja käsitteistön, joiden mukaan toimitaan. Tähän liittyy käsikirja, joka yhtenäistää terminologiaa sekä koulutusta [40]. Vastaavalla tavalla sähköyhtiöiden tulisi yhtenäistää häiriö- ja prioriteettiluokituksiaan. Haastattelussa todettiin, että tämä ei aiheuttaisi suuria muutostarpeita järjestelmiin, sillä luokituksia voidaan niissä sujuvasti määritellä. Ajankohta olisi siinäkin mielessä hyvä, että sähköverkkoihin tehtävien suurinvestointien myötä useissa yhtiöissä myös käytönohjaus- ja hallintajärjestelmiä uusitaan ja päivitetään lähivuosina.

3.2 Yhteinen tilannekuvajärjestelmä

Seuraaviin taulukoihin on koottu ajatuksia, joita haastateltavat esittivät yhteisestä, ideaalisesta, tilannekuvajärjestelmästä. Taulukoihin on listattu sekä suoria ideoita että toiveita. Ideat tulivat esille pääosin ideaalisesta tilannekuvajärjestelmästä puhuttaessa ja kysyttäessä, mitä tietoa toisen toimialan tilannekuvasta olisi tarpeen saada. Toiveita haastateltavat esittivät kuvatessaan suurhäiriön hallinnan haasteita, tilannekuvavaatimuksia sekä muilta toimijoilta saatavan tiedon merkitystä.

Taulukoita koostettaessa kävi hyvin nopeasti selväksi, että yksittäisestä tiedosta olisi tyypillisesti hyötyä useammallekin toimijalle - samoja ehdotuksia tuli useammalta taholta. Eniten tiedoista olisi hyötyä varautumisessa, ennakkoinnissa, toimintojen suunnittelussa ja resurssien ohjauksessa. Monet tiedot toisten tilannekuvista vaikuttaisivat myös yleiseen tilanneymmärrykseen ja tehostaisivat toimintaa, koska puhelimitse asioista sopimista olisi mahdollista vähentää. Useista tiedoista haastateltavat myös mainitsivat, että niiden saaminen mahdollisimman reaaliaikaisesti olisi erittäin tärkeää tehtävien priorisointien kannalta. Prioriteettien sanottiin voivan muuttuvan suurhäiriön aikana, vaikka tärkeimpiä kohteita aina onkin jo ennakolta priorisoitu.

Yhteisen tilannekuvajärjestelmän ylläpitämistä ja käyttöä puolsivat arviot analyysien ja ennusteiden laskemisesta. Toivotuimpien ennusteiden laskemiseksi tietoa tarvitaan usein toisten toimijoiden järjestelmistä. Tietoa saadakseen yrityksen ei tarvitsisi käydä neuvotteluja tai tehdä sopimuksia useiden muiden yritysten kanssa vaan yksi taho riittäisi. Jos tietoa olisi mahdollista yhdistää, tilannekuvajärjestelmän ylläpitäjän olisi mahdollista myös laskea tiedoista vaikuttavuuksia ja tehdä analyysejä. Yleisesti ottaen järjestelmään pitäisi tuottaa jalostettua tietoa, jolla on merkitystä niin itselle kuin muillekin. Tietoja ei kuitenkaan pitäisi jalostaa liian pitkälle vaan laajempi tietojen yhdistäminen olisi hyvä tehdä tilannekuvajärjestelmän ylläpitäjän toimesta. Tiedoilla sekä erikseen että yhdistettyinä saattaa olla merkitystä eri toimialoilla. Tilannekuvajärjestelmän toivottiin sisältävän käyttäjä- tai toimialakohtaisia räätälöityjä näkymiä.

Kriittisimmin yhteiseen tilannekuvajärjestelmään suhtauduttiin puhuttaessa sisällön tuottamisesta sekä muiden toimijoiden mukanaolosta. Yleisesti nähtiin, että olisi tärkeää, että mahdollisimman monet kriittisen infrastruktuurin toimijat olisivat mukana yhteisen tilannekuvan luomisessa. Kiinnostusta tiedon tuottamiseen on, mutta sen pitäisi sujua vaivattomasti. Suurhäiriötilanteessa ei haluta kiinnittää lisäresursseja yhteisen tilannekuvajärjestelmän ylläpitämistä varten vaan sisällön tuottamisen pitäisi joko joustavasti linkittyä jokaisen toimijan omiin prosesseihin tai tiedon pitäisi siirtyä automaattisesti tilannekuvajärjestelmien välillä, jolloin tietoturvan merkitys korostuu.

Taulukko 1. Yleisiä vaatimuksia yhteiselle tilannekuvajärjestelmälle.

Yleisiä vaatimuksia	
1.	Tilannekuva on sarja esityksiä, joiden muodolla ei ole väliä. Olennaista on, että joku hallinnoi sitä, tekee analyysejä ja päätöksiä.
2.	Tilannekuvajärjestelmään tuotetaan tietoa yhteistyönä. Jokainen toimija vastaa itsenäisesti oman osaamisalueensa tiedon tuottamisesta ja oikeellisuudesta.
3.	Tiedon on oltava prosessoitua, analysoitua ja ymmärrettävää. Sillä on oltava merkitys sekä itselle että muille vastaanottajille.
4.	Tietojen pitäisi olla esitettyinä visuaalisesti ja selkeästi.
5.	Tiedot on esitettävä ilman tarpeettomia teknisiä yksityiskohtia. Tiedon on oltava ymmärrettävää muiden alojen ihmisille.
6.	Tilannekuvajärjestelmän pitäisi olla dynaaminen sekä käyttäjittäin tai toimialoittain räätälöity. Tiedoista pitäisi saada eritasoisia näkymiä.
7.	Tilannekuvajärjestelmässä pitäisi olla karttanäyttö, jossa on eri karttatasoja esitetty päällekkäin. Esim. pohjalla voisi olla pelastustoimen resurssitilanne, sen päälle voisi liittää pelastustoimen käyttäjälle tarkoitetun sähköverkkotiedon ja sen päälle pelastustoimen käyttäjälle tarkoitetun tietoliikenneverkkotiedon. Asioita pitäisi pystyä katsomaan eri kerrosten läpi.
8.	Karttanäytöiltä pitäisi saada klikkaamalla lisätietoja.
9.	Tietojen pitäisi siirtyä pääosin automaattisesti järjestelmien kesken. Tämä vähentäisi ongelmia, jotka aiheutuvat inhimillisistä virheistä tietojen syöttämisessä.

10.	Terminologian ja luokitusten pitäisi olla yhdenmukaista.
11.	Tilannekuvajärjestelmän olisi oltava sisällytettävissä organisaatioiden prosesseihin siten, että tilannekuvajärjestelmän ylläpitämisestä ei tule ylimääräistä tehtävää suurhäiriötilanteisiin.
12.	Eri toimijoiden pitäisi pystyä määrittelemään, mitä tietoa he tarvitsevat ja mitä tietoa he pystyvät järjestelmään syöttämään.
13.	Tilannekuvajärjestelmän pitäisi toimia matkapuhelinverkossa, jotta sen voisi tarvittaessa ottaa mukaan.
14.	Tilannekuvajärjestelmällä pitäisi voida vaihtaa tietoja eri toimijoiden välillä eri organisaatioitasoilla. Tietoa pitäisi pystyä jakamaan myös valvoviin organisaatioihin.
15.	Tilannekuvajärjestelmän pitäisi olla viranomaiskäyttöön soveltuva.
16.	Tilannekuvajärjestelmällä pitäisi voida jakaa viranomaisten kesken kohdistettua tietoa.
17.	Kaikkien kriittisen infrastruktuurin toimijoiden olisi hyvä olla järjestelmän piirissä
18.	Tilannekuvatietoon olisi liitettävä tieto siitä, kenen toimijan tilannekuvasta se on.
19.	Järjestelmä voisi sisältää yhden toimijan kannalta ylimääräistä tietoa (nice-to-know-tietoa).
20.	Tilannekuvajärjestelmästä pitäisi saada ennusteita siitä, mitä tapahtuu 3, 6, 12 tunnin päästä.
21.	Tilannekuvajärjestelmän pitäisi laskea uutta, yhdistettyä, tietoja eri toimialojen tiedoista. Tiedot pitäisi antaa toimialakohtaisesti yhdenmukaisissa formaateissa.
22.	Priorisoitavien kohteiden prioriteettijärjestystä pitäisi pystyä muuttamaan
23.	Tilannekuvajärjestelmässä pitäisi pystyä esittämään ajallinen dimensio, miten asiat ovat kehittyneet - ollaanko menossa huonompaan suuntaan vai parempaan.
24.	Korjausaika-arvioihin olisi hyvä liittää vikojen syyt jos ne ovat tiedossa.
25.	Pitäisi pystyä kertomaan mitä on tapahtunut, missä on tapahtunut, miksi on tapahtunut, vaikutus ja mikä on arvioitu kuntoontulemisaika.

Taulukko 2. Tietoliikenneverkoista tarvittavat tiedot.

Tiedot tietoliikenneverkoista	
1.	Priorisoitavat kohteet.
2.	Langattoman verkon yleistila alueittain esim. liikennevalvareilla ilmaistuna. Tieto pitäisi antaa operaattorikohtaisesti ja se mahdollistaisi nopean yleiskuvan saamisen siitä, kenen operaattorin verkko toimii milläkin alueella ko. hetkellä parhaiten.
3.	Langattoman verkon peitto-/häiriökartta, josta näkyisi mm., millä maantieteellisellä alueella/alueilla ei ole peittoa. Tiedot pitäisi antaa sekä operaattorikohtaisesti että yhdessä. Häiriökarttojen pitäisi olla kriittisen infrastruktuurin toimijoille suunnattuja ja tarkempia kuin mitä kansalaisille on tällä hetkellä nettisivuilla tarjolla. Häiriökarttojen saatavuus vaikuttaa mm. pelastustoimen ja sähköyhtiöiden tehtävien hoitoon, jatkotoimenpiteiden suunnitteluun ja varautumiseen.
4.	Verkkojen tilaa ja peitto-/häiriökarttoja esitettäessä tiedot pitäisi saada erikseen puhe-, data-, ja Virve-yhteyksien osalta.
5.	Listaukset sekä toimimattomista että sähköttömistä tukiasemista. Sähköttömien tukiasemien osata pitäisi saada tukiaseman vaikuttavuus sekä prioriteettijärjestys. Listaukset pitäisi voida saada sekä operaattorikohtaisesti että kaikki yhdessä.
6.	Arvio siitä, milloin tietty alue matkapuhelinverkosta saadaan korjattua ja ollaanko alueelle viemässä varavoimakonetta. Tiedon avulla voidaan ennakoida ja järjestää tarvittaessa tiedonsiirtoon varajärjestelmiä.
7.	Etukäteen tietoa siitä, jos joltakin alueelta sähköt katkeaa, niin mitkä tukiasemat tulevat putoamaan pois käytöstä ja mille alueelle se vaikuttaa. Tiedon avulla voidaan ennakoida ja järjestää tiedonsiirtoon vararatkaisuja.
8.	Tieto siitä, miltä alueelta kansalaiset eivät voi soittaa hätäpuhelua ja arvio siitä, kuinka kauan tilanne kestää. Tieto auttaisi mm. pelastustointia ja poliisia hätäpäivystysten suunnittelussa.

9.	Tiedot kuinka monta asiakasta on vaikutusalueella: Kuinka moni asiakas on ilman palvelua, kuinka monen asiakkaan palvelu on huonontunut ja kuinka moni on normaalipalvelualueella.
10.	Teknisten järjestelmien toimintavarmuus: Viranomaisten toiminta tukeutuu tietoliikenneyhteyksiä tarvitseviin teknisiin järjestelmiin. Toimintavarmuuteen vaikuttavat esim. viat tietoliikenneverkoissa ja pitkäkestoiset sähkökatkot.

Taulukko 3. Sähkönjakeluverkoista tarvittavat tiedot.

Tiedot sähkönjakeluverkoista	
1.	Priorisoitavat kohteet.
2.	Sähköyhtiöiltä tiedot pitäisi saada näkyviin sekä sähköyhtiöittäin että yhdessä.
3.	Sähköverkkokartat eri jännitetasoilla. Karttakuvat voisivat sisältää tietoa johtolähtöjen asiakasmääristä tai kriittisistä asiakkuuksista.
4.	Em. tieto myös alueittain eli millä alueella sähköä on ja millä alueella ei ole. Tämä olisi hyvin oleellinen tieto, ja se vaikuttaa mm. pelastustoimen ja teleoperaattoreiden tehtävien hoitoon, jatkotoimenpiteiden suunnitteluun ja varautumiseen.
5.	Sähköjen palautumisen/viankorjauksen aika-arviot alueittain. Eli, milloin sähköt ovat lähteneet ja milloin ne tulevat takaisin.
6.	Tieto sähköverkon korjausjärjestyksestä alueittain.
7.	Ennusteita yksittäisiin vikoihin liittyvien korjausaika-arvioiden perusteella.
8.	Sähkönsaantitilanteen vaikuttavuus eri toimijoiden määrittelemiin kriittisiin kohteisiin. Esim. jos tietyllä alueella on sähköt pois, vaikuttaako se ko. alueella olevaan vesitorniin.
9.	Arvion sähköverkon korjausten vaikutuksista kriittisiin kohteisiin. Esim. jos sähköt palautuvat tunnin sisällä tietylle alueelle, niin palautuuko samalla sähköt ko. alueella olevaan vesitorniin.
10.	Em. lisäksi listattuna kriittiset kohteet (esim. kunnalliset), jotka ovat sähköttöminä ja arvio sähköjen palautumiselle.
11.	Priorisoitaville kohteille tieto siitä, mitkä ovat sähköttöminä ja arvio sähköjen palautumiselle. Kun sähköt palautuvat, myös tieto siitä, milloin sähköt ovat palautuneet.
12.	Tieto vaarallisista alueista, joiden syy on sähköverkon vika tai esim. roikkuva ilmajohto.
13.	Sähkön saannin ulkopuolella olevat kunta- tai aluekohtaiset asiakasmäärät. Mm. media on kiinnostunut näistä.

Taulukko 4. Pelastustoimesta tarvittavat tiedot.

Tiedot pelastustoimesta	
1.	Priorisoitavat kohteet.
2.	Pelastustoimen yksiköiden sijainnit ja tehtävät, jotka liittyvät suurhäiriön hoitamiseen. Raivaustöiden määrä tietyllä alueella kiinnostaa mm. sähkönjakeluyhtiötä ja helpottaa heidän osaltaan resurssien ohjausta ja töiden suunnittelua.
3.	Resurssitilanne esitettynä esim. liikennevaloilla: vihreällä jos pelastustoimessa on normaali päivittäistilanne, keltaisella jos on useampia samanaikaisia tehtäviä ja punaisella jos pelastustoimi on erittäin kuormitettu.
4.	Tietoa pelastustoimen tehtävistä. Arvio siitä esim. kauanko tie on poikki tai kuinka kauan evakuointi kestää.
5.	Tietoa vaarallisista alueista normaaleiden vaaratiedote-prosessien mukaan.
6.	Sellaiset sähköverkkoon vaikuttavat tekijät, joita ei pelastustoimessa pystytä tunnistamaan.
7.	Muutokset kriittisten kohteiden prioriteeteissa ja mahdolliset uudet kriittiset kohteet (esim. häiriö varavoiman tuottamisessa).

Taulukko 5. Muilta toimijoilta tarvittavat tiedot.

Tiedot muualta	
1.	Kuntien kriittiset kohteet (sairaala, vesihuolto, jne.)
2.	Tieto siitä, mikä on varavoimakoneella toimivien kriittisten kohteiden tilanne. Saadaanko varavoimakoneisiin polttoainetta jne.
3.	Kriittisten kohteiden tilatieto.
4.	Vedenjakelun yleistilanne.
5.	Ilmatieteen laitokselta tieto siitä onko säätila pahenemassa vai paranemassa
6.	Tieverkon osalta rajoitteet liikkumiselle
7.	Vapaana olevat raivaus- /korjausresurssit ja niiden sijainnit. Jokainen voisi tilata resursseja käyttöönsä tai yhteisesti sopia resurssien käytöstä.
8.	Kaivureiden sijainnit

3.3 Haastatteluinformaatio vuoden 2030 tilanteesta

Tässä kappaleessa oleviin taulukoihin on kirjattu haastatteluissa esiin tulleita huomioita vuoden 2030 tulevaisuusskenaarion näkökulmasta. Huomioista ei ole pyritty rakentamaan yhteistä näkemystä, sillä tulevaisuuden ennustaminen on tunnetusti epävarmaa. Taulukoiden sisällöissä korostuvat sähkönjakeluun liittyvät muutokset, sillä energian tuotanto ja jakelu on merkittävimmän muutoksen edessä. Muutokset liittyvät jakeluverkkojen jälleenrakentamiseen (maakaapelointiin) sekä seuraavan sukupolven älykkäisiin sähköverkkoihin (verkkoautomaatio ja etäohjaus), mutta myös energiapoliittisiin kysymyksiin, markkinamekanismeihin ja kuluttajien rooliin. Tietoliikenteessä uusien verkkoteknologioiden kehitys ja käyttöönotto etenee mm. 5G- ja valokaapeliteknologian (maaseutujen laajakaistapalveluhankkeet) käyttöönoton myötä. Dataliikennemäärät kasvavat ja yhä suurempi osuus viihde-, koti- ja tehdasautomaatiosta siirtyy hyödyntämään kiinteitä tai mobiililaajakaistaverkkoja ja pilvipalveluja.

3.3.1 Toimialojen muuttuminen

Energian tuottaminen muuttuu merkittävästi tulevaisuudessa. Teknologinen kehitys sähköön varastoinnissa saattaa muuttaa sähkönjakelua merkittävästi. Tulevaisuuden ennustamiseen liittyy paljon epävarmuuksia; toisaalta kyse on markkinoista, teknologian kehittymisestä, mutta myös poliittisista päätöksistä.

Tietoliikennepuolella tiedonsiirtomäärät jatkavat kasvamistaan. Lisääntyvä laitteiden välinen kommunikaatio sekä viihdekäyttö tuovat mukanaan viive- ja kapasiteettivaatimuksia, joihin uuden 5G-verkon toivotaan tuovan ratkaisuja.

Pelastustoimi on myös muutoksen edessä. Maakuntaudistus ja SOTE-uudistus tulevat muuttamaan pelastustoimen organisaatioita ja toimintatapoja, mutta koska aluejaosta ei vielä haastatteluhetkellä ollut varmuutta, vaikutuksistaakaan ei haastatteluissa pystytty esittämään muuta kuin arvioita.

Taulukko 6. Muutoksia energian tuottamiseen 2030 mennessä.

Energian tuottaminen	
1.	Stabiilin energijärjestelmän peruspohja on pienentynyt. Tuotanto on muuttunut hajanaisemmaksi jo ennen vuotta 2030. Tuotannon sääriippuvuus on lisääntynyt.
2.	Pientuotantoa on enemmän kuin nyt. Arvellaan, että kuluttajat käyttävät pientuotantoa enimmäkseen leikkaamaan omaa kulutustaan kuin aktiivisesti sähkön myyntiin. Aurinkosähkön uskotaan kiinnostavan kuluttajia.
3.	Uusiutuvan energian suuri määrä aiheuttaa ongelmia sähkönjakelun stabiilisuudelle, sillä tarvittava säätövoima on hankittava jollakin tavalla.
4.	Energiakentän muutoksiin vaikuttaa merkittävästi politiikka ja se millaista tuotantoa tuetaan. Tämän vuoksi tulevan kehityksen ennustaminen on hankalaa. Eri tuotantotapojen skaalautuminen riippuu valtiovallan päätöksistä ja tukipolitiikasta.
5.	Sähkön varastointi riippuu akkuteknologian kehittymisestä ja taloudellisista kysymyksistä. Varastointi saattaa olla yksi ratkaisu uusiutuvan energian vaatimaksi säätövoimaksi.
6.	Ydinvoima nähdään energijärjestelmän stabiilina pohjana, mutta tähän liittyy myös monia poliittisia kysymyksiä.
7.	Kuluttajien pientuotantoon vaikuttavat sähkön hinta ja sähkön tuotantoon tarvittavien laitteiden hinta. Kuluttajalla pitää kuitenkin olla verkkoyhteys, joka ylläpitää taajuutta ja jännitetasoa (mikäli sähköjärjestelmää ei muuteta). Tarvitaan siis kombinaatio pientuotannosta ja perussähkön jakelusta.

Taulukko 7. Muutoksia energian kulutukseen ja varastointiin 2030 mennessä.

Energian kulutus ja varastointi	
1.	Energijärjestelmän säätövaran väheneminen johtaa siihen, että säätömahdollisuuksia etsitään muilla tavoin. Vaihtoehtoina tuotiin esiin varastointi ja kysynnän jousto. Suomessa on vähän vesivoimaa, mikä rajoittaa säätövoiman käyttöä.
2.	Vuonna 2030 arveltiin olevan markkinamekanismeja, joilla pienasiakas pystyy osallistumaan kysynnän joustoon ja mahdollisesti myös laajemmin energiamarkkinoihin.
3.	Kysynnän jouston on pakko olla reaaliaikaista ja automatisoitua. Automaatio voi olla asiakkaalla tai sähköyhtiön laitteissa.
4.	Kysynnän joustoon voi tulla uusia palvelun tarjoajia tai aggregointitoimintoja.
5.	Markkinatarpeet ohjaavat osaltaan järjestelmien uusiutumista, esim. älymittarit uusitaan luultavasti kertaalleen ennen vuotta 2030.
6.	Vuonna 2030 sähköverkossa on varastointia. Kotitalouksilla voi olla omaa varastointia tai sitä voi olla sähköverkoissa muuntamoilla stabiloimassa sähkönjakelua.
7.	Kaksisuuntainen sähkö hankaloittaa sähköverkossa tehtäviä ylläpito- ja huoltotöitä. Turvallisuussyistä tieto syöttösuunnasta pitää olla järjestelmissä.
8.	Kuluttajat saattavat muodostaa ryhmittymiä energian tuottamiseen tai hankintaan.
9.	Muuntamon takana tulee olemaan asiakkaan omaa tuotantoa, varastointia ja kulutusta.

Taulukko 8. Muutoksia tietoliikenteeseen 2030 mennessä.

Tietoliikenne	
1.	Tiedonsiirtomäärät kasvavat.
2.	Koti- ja viihdekäytön osuus kasvaa entisestään. Tietoliikenneverkoissa siirretään yhä enemmän reaaliaikaista kuvaa. Kapasiteetin tarve tulee olemaan nykytilanteeseen verrattuna valtava.
3.	IoT ja M2M lisääntyvät ja niiden myötä verkkoihin tulee purskeittaista liikennettä, jonka latenssivaatimukset ovat kovat.
4.	Asiakaskokemusta monitoroidaan ja se vaikuttaa vahvasti palvelutuotantoon.
5.	Palvelut tulevat hajautumaan lähemmäksi kuluttajaa.
6.	Tietoliikenneverkkojen älykkyys ja adaptoituvuus tulee lisääntymään.

Taulukko 9. Muutoksia pelastustoimeen 2030 mennessä.

Pelastustoimi	
1.	Pelastustoimeen tulee hallinnollisia organisaatiouudistuksia, kuten maakuntauudistus, jossa pelastustoimi siirtyy kunnilta maakuntien hoidettavaksi. (Maakuntauudistuksella on kytkentä SOTE-uudistukseen ensihoidon osalta.) Aluejako ja päivystysjärjestelyt maakuntauudistuksen jälkeen ovat vielä auki, mutta todennäköisesti alueista tulee suurempia, pelastuslaitoksen toimintoja ja käytäntöjä yhtenäistetään sekä tehdään muutoksia poikkeustilannevalmiuteen ja -ohjeistuksiin.
2.	Pelastuslaitosten tehtävien hoidossa päätöksentekoa hajautetaan enemmän alemmille tasoille, jotta suurempien alueiden johtokeskusten informaatiotulvaa saadaan hillittyä.
3.	Sopimuspalokuntien määrä laskee. Tulevaisuudessa haja-asutusalueilla ei ole käytössä niin suurta vapaaehtoisresurssia kuin nyt.

Taulukko 10. Toimijakentän muuttuminen 2030 mennessä.

Toimijat	
1.	Toimijoiden määrän ei arveltu muuttuvan tulevaisuudessa oleellisesti.
2.	Urakointimarkkinat ovat muuttuvia. Vuoteen 2028 mennessä sähköverkkoa uusitaan paljon ja rakennetaan maakaapeleita. Ilmajohtojen huolto-osaaminen saattaa vähentyä tulevaisuudessa.
3.	Energia-alalle on voinut tulla uusia markkinaehtoisia mekanismeja. Kysynnän joustoon ja erilaiseen käyttäjien/tuottajien aggregointiin tulee luultavasti uudenlaisia palveluntarjoajia.
4.	Teleoperaattoreiden palvelutarjonnassa ulkopuolisten tahojen tuottamat palvelut tulevat lisääntymään (vrt. whatsapp), teleoperaattoreiden ollessa toiminnan keskiössä.
5.	Urakoitsijakenttä elää. Tietoliikennepuolen asennustoiminta ja yhteistyökumppanit kilpailutetaan säännöllisesti.
6.	Sisäiset toiminnot on mahdollisimman pitkälle ulkoistettu. Vuonna 2030 sekä asiakkaiden että teleoperaattorin omia palveluja hoidetaan myös ulkomailta käsin.
7.	Yhteistyö teleoperaattoreiden välillä tulee lisääntymään.
8.	Telco- ja sähkörakentaminen keskittyy. Teleoperaattorit ja sähköyhtiöt voivat käyttää osin samoja urakoitsijoita, jolloin kenttätyö voi olla organisoitunut tehokkaammaksi.

3.3.2 Infrastruktuurin ja järjestelmien muuttuminen

Sähkömarkkinalain asettamat vaatimukset ohjaavat tällä hetkellä sähköjakeluverkkojen uudelleenrakentamista [26]. Yhtiöt siirtävät suuret määrät ilmajohtoa maakaapeliksi. Samalla myös sähkömarkkinat muuttuvat, mikä luo uusia vaatimuksia sähköverkkojen hallintajärjestelmille. Haastatteluissa verkon uudelleenrakentaminen painottui. Tulevaisuudessa uusien sähkömarkkinoiden ja nk. älykkäiden sähköverkkojen myötä verkkojen hallintaan tulee monia muutoksia ja ilmiöitä, mutta niiden tunnistaminen ja ennakointi osoittautui vielä haastavaksi.

Tietoliikenteessä 5G-verkko tulee LTE-verkon rinnalle, jolloin vanhemmasta teknologiasta luovutaan asteittain. Tämä käy kuitenkin hitaasti, joten 2030 kaikki nykyiset verkot saattavat olla joiltakin osin vielä käytössä. Puhe siirtyy todennäköisesti LTE-verkkoon (Voice over LTE), jonka toiminnan varmistaminen tulee jatkossa ensisijaiseksi hätäpuheluliikenteen takia. Uusien verkkoteknologioiden käyttöönotto mahdollistaa laskentatehon siirtämisen verkon reuna-alueille ja palvelujen tuottamisen lähempänä kuluttajaa.

Pelastustoimen järjestelmiin suurimman muutoksen tuo uusi kenttäjohtojärjestelmä, joka mahdollistaa paremman tilannekuvan jakamisen eri viranomaisten välillä. 2030 kentältä saadaan myös todennäköisesti reaaliaikaista kuvaa, jolloin kommunikaatio ja päätöksenteko paranevat. Myös yleisen toimintavarmuuden arvioidaan kehittyvän positiivisempaan suuntaan vaikka toimintaympäristön arvellaankin muuttuvan haasteellisemmaksi.

Taulukko 11. Muutoksia sähköjakeluverkkoon 2030 mennessä.

Sähköjakeluverkot	
1.	Sähköjakeluverkkoja uudistetaan massiivisesti rakentamalla nk. säävarmaa verkkoa eli maakaapelia, säävarmaa ilmajohtoa avoimella alueella, päällystettyä ilmajohtoa ja tien varsilla olevaa johtoa.
2.	Yhtiöistä riippuen maakaapeloinnin osuus vaihtelee, mutta suurilla toimijoilla keskijänniteverkosta on maakaapeloituna vuonna 2030 noin 70 – 80 %. Verkon ääripäissä on edelleen ilmajohtoa. Taajamat ovat maakaapeloituja. Haja-asutusalueen kaapelointi voi vaihdella, mutta vähintään runkojohdot kaapeloidaan.
3.	Sähköverkon rakenne ei ratkaisevalla tavalla muutu nykyisestä. Suomen sähköjakeluverkko on silmukoidumpi kuin Ruotsin, mutta ei vastaa Keski-Euroopan rengasverkkoja, joissa sähköön syöttö on kahdesta suunnasta.
4.	Sähköasemien ja erottimien määrä lisääntyy, sähköön syöttöpisteitä voi tulla lisää.

Taulukko 12. Muutoksia sähköverkon hallintaan 2030 mennessä.

Sähköverkon hallinta	
1.	Sähköverkon etähallinnassa olevien laitteiden määrä lisääntyy huomattavasti. Tällöin vikapaikka pystytään rajaamaan pienemmälle alueelle. Automaatio vian rajauksessa lisääntyy.
2.	Sähköverkoissa on enemmän monitorointia ja vikojen indikointia. Tämän vuoksi tietoliikennepisteiden ja datan määrä kasvaa.
3.	Tietojärjestelmien on kehitettävä vastaamaan energiakentän muutoksia. Verkonhallinta monimutkaistuu ja toimintaympäristöstä tulee hyvin dynaaminen. Markkinoiden tarpeet ohjaavat myös järjestelmien uusimistarvetta. Sähköjakeluverkon tietojärjestelmiin tulee enemmän päätöksentekoa tai sen tukea.
4.	Kenttätyötä tekevien tiedon määrä ja laatu paranee verkon mittausten ja tietojen yhdistämisen avulla.
5.	Sähköjakelijan informaatiotarpeet lisääntyvät. Muuntamon takana voi olla tuotantoa, varastointia sekä kulutusta.
6.	Koneiden välinen kommunikointi (M2M) sekä laitteiden internet (IoT) tulevat olemaan osa sähköjakeluverkon toimintaa, mutta niiden liittäminen kriittisen infrastruktuurin hallintaan saattaa olla haastavaa. Kyberturvallisuus ja toimintojen erityttäminen ovat tärkeitä.
7.	Yksittäisten käyttäjien kysynnän jousto on oleellinen tekijä tulevaisuuden sähköverkossa. Tähän liittyvät ratkaisut hyödyntävät IoT:tä ja sähkömittareiden ominaisuuksia sekä rajapintoja.
8.	Sähköasemien etäkäytön ominaisuudet lisääntyvät.
9.	Sähköjakelu monimutkaistuu sähkömarkkinatilanteen (pientuotanto, kysynnän jousto, säätövoima, varastointi, kaksisuuntainen sähkö) muuttuessa. Tietoliikenne sekä ajantasainen ja luotettava data ovat kriittisiä. Tilannekuvan muodostaminen on vaikeampaa.

Taulukko 13. Muutoksia tietoliikenneverkkoihin 2030 mennessä.

Tietoliikenneverkot	
1.	Taajuuksia jaetaan uudelleen eri verkkojen kesken.
2.	GSM:stä tulevat käyttäjät häviämään kokonaan tai siitä tulee M2M-verkko.
3.	Puhe siirtyy todennäköisesti LTE-verkkoon, jolloin siitä muodostuu perusverkko.
4.	5G-verkko tulee LTE:n rinnalle. Vielä on epävarmaa millainen 5G-verkko tulee olemaan, mutta se painottunee ainakin aluksi asutuskeskittyymiin.
5.	Terminaalit, joita 2020-luvulla ostetaan, tulevat tukemaan 5G:tä ja LTE:tä ja todennäköisesti myös 3G:tä. Verkkoja, joita nyt rakennetaan, tuetaan edelleen.
6.	Verkon reunoilla tapahtuva laskenta ja palvelujen tarjonta (edge-computing) lisääntyy.

7.	Tukiasemien sähkönkulutus ei kasva vaan todennäköisesti jopa laskee.
8.	Sähkövarmistukset paranevat. Mm. polttokennoteknologia voi tuoda merkittävää parannusta.
9.	Akkuteknologia kehitty mm. siten, että akkujen kestoista saadaan reaaliaikaista tietoa.
10.	Kuituverkot laajenevat ja sitä kautta verkkojen vikasietoisuus paranee. Viat, jotka aiheutuvat siirtoyhteyksien puutteesta, vähenevät.
11.	Tukiasemaverkkoa laajennetaan järkevästi häiriötilanteet huomioiden. Vikojen vaikutuksia pyritään rajaamaan suunnittelulla.

Taulukko 14. Muutoksia tietoliikenneverkon hallintaan 2030 mennessä.

Tietoliikenneverkon hallinta	
1.	Reaaliaikainen näkyvyys verkkoon paranee.
2.	Verkon manuaalinen optimointi vähenee.
3.	Verkoista lasketaan enemmän ennusteita.
4.	Viankorjaukseen tulee lisää automaatiota ja analytiikkaa.
5.	Palveluntarjontaan tulee lisää automaatiota ja analytiikkaa sekä asiakaskokemuksen monitorointia.
6.	Jokaisen operaattorin strategia määrittää, miten IoT ja M2M otetaan verkon suunnittelussa huomioon.
7.	Paikallinen aggregointi lisääntyy.
8.	Automaattinen toteutetaan siten, että järjestelmä ehdottaa ja käytön valvoja joko hyväksyy tai hylkää. Automaattiset toiminnot voidaan aina pysäyttää.

Taulukko 15. Muutoksia pelastustoimen tehtäviin ja järjestelmiin 2030 mennessä.

Pelastustoimen tehtävät ja käytetyt järjestelmät	
1.	Pelastustoiminnan johtamista tukevat järjestelmät kehittyvät. Mm. uusi kenttäjohtojärjestelmä, KEJO, on käytössä.
2.	Uusi hätäkeskustietojärjestelmä ERICA on käytössä. Tämä parantaa toimintavarmuutta, koska koko maan hätäkeskustoiminta voidaan hoitaa mistä hätäkeskuksesta tahansa. Yhden hätäkeskuksen kaatuessa jokin toinen hätäkeskus voi ottaa tehtävät hoitaakseen tai ruuhkatilanteessa tehtäviä voidaan jakaa useamman hätäkeskuksen hoidettavaksi. ERICA otetaan käyttöön 2017.
3.	Länsimetron käyttöönoton myötä tulee uusi tilannekuvajärjestelmä, josta saadaan tietoa.
4.	Kentältä saadaan reaaliaikaista kuvaa paikkatiedolla varustettuna.
5.	Tieto, jota välitetään tehtäväpaikoilta, välitetään nopeammin. Koko valtakunnan tasolla tiedetään mitä tapahtuu.
6.	Kommunikaatio helpottuu.
7.	Pelastustoimen toimintavarmuus kehitty.
8.	Suurkaupunkien korkean rakentamisen ohjelma tuo mukanaan ympäristöjä, jotka ovat pelastustoimelle haasteellisia: metroasema + päällä laaja liikekeskus + päällä tornitalo, jossa toimistoja ja asuntoja. Kiinteistöjärjestelmien ja suullisesti saadun informaation merkitys korostuu.

3.3.3 Häiriöt tulevaisuudessa

Nykyisin suurhäiriön syynä on yleensä sää. Tavallisimmin tällaisesta tilanteesta saadaan ennakkovaroitus ja voidaan käynnistää varautuminen. Vikoja (puu linjalla) syntyy paljon ja

haasteita aiheuttavat myös suuri vikatapahtumamassa ja sen hallinta. Haastattelujen pohjalta voi päätellä, että tulevaisuudessa häiriöön johtavat tilanteet ovat monimutkaisia, ketjutettuja ja hankalasti ymmärrettäviä. Niin sähkö- kuin tietoliikennepuolellakin eri teknologioihin pohjautuvien ratkaisujen määrä lisääntyy, järjestelmien dynaamisuus/joustavuus lisääntyy, verkkorakenteet monimutkaistuvat ja automaation määrä kasvaa, jolloin tiedon saantia suuremmaksi ongelmaksi voi muodostua tiedon tulkinta sekä järjestelmien toipumisvasteajat. Sähkönjakelun häiriönhallinta muuttuu yhä enemmän käyttökeskuspainotteiseksi, jolloin häiriön hallintaan osallistuvien toimijoiden määrä kokonaisuudessaan vähenee. Säävarman sähköverkon rakentamisen myötä sähköttömyydestä johtuvien tietoliikenneongelmien määrä pienenee, jolloin tietoliikenneverkkojen omat viat nousevat suurhäiriötilanteissa enemmän esille.

Ilmaston lämpenemisen myötä myrskyt voimistuvat ja saattavat tuoda mukanaan aivan uudenlaisia ongelmia. Mm. meriveden noususta aiheutuvat haitat mietityttävät sekä sähköyhtiöiden että teleoperaattoreiden puolella vaikkakin tilanteen arvioidaan toistaiseksi olevan hyvin ja laitetilojen turvattuina.

Taulukko 16. Sähköverkon häiriöiden syyt vuonna 2030.

Sähköverkon häiriöiden syyt	
1.	Tällä hetkellä yleisin sähköverkon häiriön syy on linjalle kaatunut puu. Vuonna 2030 sähköverkko on suurelta osin säävarma, jolloin kaatuneet puut vaikuttavat vain sähköverkon reunoilla oleviin osiin.
2.	Vuonna 2030 suuremmaksi huolenaiheeksi nousee tekniikka tai kantaverkon vika, koska uusiutuvan energian lisääntyminen ja säätövoiman vähentyminen tuovat mukanaan haasteita. Häiriötilanteiden syynä voi olla myös sähkömarkkinahäiriö, sähköpula, yhteydet naapurimaihin ja politiikka.
3.	Maakaapelin vioista 80 % on tapauksia, joissa kaapeli on kaivettu poikki.
4.	Elektroniikkaa tulee olemaan enemmän kuin aikaisemmin, mutta sen rikkoutuminen ei aiheuta keski-jänniteverkkoon vikaa. Vikaantunut laite on ongelma.

Taulukko 17. Sähköverkon häiriöiden hallinta vuonna 2030.

Sähköverkon häiriöiden hallinta	
1.	Myrsky vuoden 2030 verkossa arvioidaan olevan verkon loppupään ilmajohtojen vikojen korjaamista.
2.	Kaapelivikojen korjaaminen kestää pidempään kuin ilmajohdon vikojen korjaaminen.
3.	Vuonna 2030 vaarana nähdään se, että ilmajohtojen korjaamiseen ei ole enää riittävästi osaamista ja henkilöitä.
4.	Verkoissa on paljon enemmän mittauksia, älyä ja automatiikkaa. Vikapaikka pystytään määrittämään nykyistä tarkemmin kaapeliverkon sähköisten ilmiöiden perusteella.
5.	Etäkäyttö ja vian automatisoitu korjaus kehittyvät. Vian rajausta paranevat ja nopeutuu. Itse fyysisen vian korjaaminen ei nopeudu.
6.	Haja-asutusalueella verkon korjaaminen tulee olemaan hitaampaa kuin taajamien läheisyydessä eikä varayhteyttä ole. Tilannetta korjataan varavoiman käytöllä.
7.	Kaapeloitu verkko on luonnonilmiöiltä paremmin suojattu ja se kestää paremmin pieniä muutoksia sähköverkon jännitteessä. Tämä stabiloi verkkoa ja mahdollistaa toimenpiteiden automatisointia, koska häiriöriski on pienempi.
8.	Vikojen hallinta käyttökeskuksesta kehittyy ja automatisoituu. Vikojen hallintaprosessiin voidaan käyttää nykyistä enemmän asiakas- ja muuta tietoa.

9.	Saarekekäytöstä oli erilaisia mielipiteitä. Tuulivoiman saarekekäyttöä ei pidetty mahdollisena säätövoiman puutteen ja monimutkaisuuden vuoksi. Toisaalta automaation kehittymisen myötä arvioitiin, että vuonna 2030 tuotannon ja kulutuksen stabiilisuuteen olisi käytettävissä tekniikoita. Luultavasti saarekekäyttö ei ole niin kehittynyt, että se olisi keinovalikoimassa vuonna 2030 laajamittaisen häiriötilanteen hallinnassa. Microgrid nähtiin mahdollisuutena tuottaa ja jaella sähköä jollekin pienelle käyttäjäjoukolle, jos käytössä on tarvittava säätövoima.
10.	Sähköverkkoja pyritään uudistamaan niin, että siinä sähkököt esim. myrkyn tullen pysyvät, ei niinkään keskitytä tällä hetkellä saarekekäytön haasteisiin.
11.	Tuotantoa tulee äärihaloille, mikä vähentää siellä kulutusta. Tämä edistää verkon stabiilisuutta. Toisaalta siitä tulee haaste tietojärjestelmille, jotta tiedetään, missä sähköä tuotetaan ja pystytään hoitamaan turvallisuuskysymykset.
12.	Kaksisuuntainen sähkö vaatii paljon verkon käytöltä. Tilannetieto pitää olla nykyistä huomattavasti parempi ja verkon dokumentaation tulee olla ajantasainen ja hyvällä tasolla. Tarvitaan tilannekuva, josta nähdään verkon kulloinenkin tilanne ja tiedon pitää olla hyvin luotettavaa. Tämä tuo uuden haasteen tulevaisuuden häiriöhallintaan. Verkon turvallisuus on ensisijainen vaatimus.
13.	Verkkojen suojauslogiikasta tulee monimutkaisempi kaksisuuntaisen sähkön vuoksi. Suojauksessa käytettävät tekniikat digitalisoituvat ja voivat aiheuttaa riskiejä monella lailla
14.	Kotitalouksien häiriönsietokyky saattaa vaihdella paljon. Toisaalta sähköriippuvaisuus kasvaa, mutta pientuotanto tai varastointi voi parantaa häiriönsietoisuutta. Sähköauton akusta voi tulla pieni kotitalouden sähkövarasto.

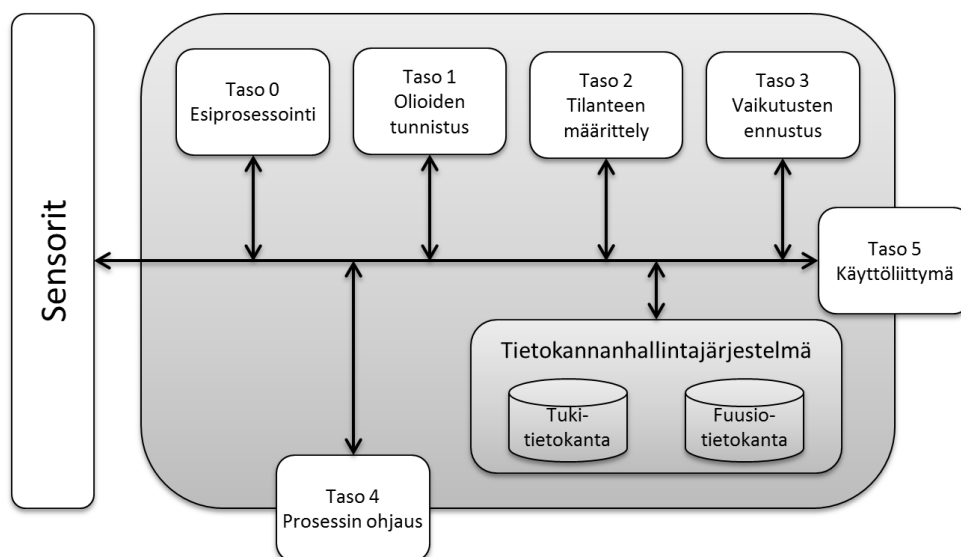
Taulukko 18. Tietoliikenneverkon häiriöiden syyt ja hallinta vuonna 2030.

Tietoliikenneverkkojen häiriöiden syyt ja hallinta	
1.	Sähköverkon maakaapeloinnin myötä tietoliikenneverkkojen laittiloja tulee säävarman sähköverkon piiriin, jolloin sähkönsaanti ongelmien määrä vähenee.
2.	Suurmyrskyissä tukiasemaverkkoihin tulevat tekniset viat aiheuttavat edelleen langattomaan tiedonsiirtoon ongelmia.
3.	Suuri osa tietoliikenneverkkojen häiriöistä johtuu kaapelivioista. Myös laiterikot ym. tekniset ongelmat näyttelevät omaa osaansa häiriöissä.
4.	Tietoliikenneverkkojen kuituyhteyksiä lisätään. Samalla varmistuksia ja kahdennuksia tehdään lisää, jolloin verkkojen toimintavarmuus paranee. Samalla verkkojen monimutkaisuus kasvaa.
5.	SON-toiminnallisuudet (self configuration, self optimization, self healing) tulevat pysyväksi osaksi verkkoja ja näin ollen automaattisesti parantavat verkkojen suorituskykyä myös häiriötilanteissa.
6.	Häiriöhallintaan tulee mahdollisesti myös muita optimointi ja parametrisointi-ratkaisuja, joilla tilanteesta riippuen joko rajoitetaan verkon käyttöä häiriötilanteessa tai parannetaan pääsyä siihen.
7.	Tehon säästö- ja tehon optimointi-menetelmät parantuvat, jolloin varavoima riittää pidempään.
8.	Siirrettäviä tukiasemia ja radiolinkkejä käytetään edelleen, mutta haasteena on transmission saaminen. Mahdollisesti satelliittitransmissiota käytetään. Suurten katvealueiden paikkaamiseen etsitään uusia ratkaisuja.

4 TILANNEKUVAN MUODOSTAMINEN

4.1 Kriittisen infrastruktuurin tilannekuvajärjestelmä

Kriittisen infrastruktuurin kohdejärjestelmien on kyettävä tuottamaan tietoa tilannekuvajärjestelmään. Koska kriittisen infrastruktuurin kohdejärjestelmät tuottavat hyvin vaihtelevaa dataa niin rakenteeltaan kuin sisällöltään, joten raakadatan kerääminen ja integrointi on haastavaa, sillä yksittäisellä taholla ei ole kykyä ymmärtää kaikkia kohdejärjestelmiä ja tunnistaa niiden virheellistä toimintaa. Lisäksi useat toimijat ovat yksityisomistuksessa, eikä heidän järjestelmiinsä ole suoraa pääsyä. Ongelman muodostaa myös tietosuoja arkaluontaisen tiedon jakamisessa. Vaikka esimerkiksi teollisuuden automaatiojärjestelmiä toimittavat vain muutamat valmistajat ja niitä käytetään pitkälti samalla tavalla eri toimijoiden puolesta, on järjestelmien kirjo koko kriittisen infrastruktuurin tapauksessa liian suuri suoraan integraatioon.



Kuva 12. JDL-datafuusiomalli sovellettu tilannekuvaympäristöön.

Joint Directors of Laboratories (JDL) -malli tarjoaa prosessimallin, jota voidaan käyttää tilannetietojärjestelmän vaatiman dataintegraation perustana (Kuva 12). Prosessi yhdistää useista lähteistä kerätyn tiedon siten, että tarkkailtava tilanne voidaan ymmärtää paremmin [41]. Mallissa pyritään sovittamaan yhteen erilaisista lähteistä kerättyä dataa ja jalostamaan siitä tilannekuvajärjestelmässä vaadittavaa tietoa. Prosessi määrittelee viisi tasoa: esiprosessoinnin, olioiden tunnistuksen, tilanteen määrittelyn, vaikutusten ennustamisen, prosessin ohjaamisen ja käyttöliittymätason [41].

4.1.1 Tilannetiedon keruu

Rajoituksista johtuen esiprosessointi on suoritettava järjestelmän omistajan kontrollissa. Järjestelmäkohtaisella, nk. Agentti-ohjelmalla (Kuva 13:ssa lyhenne A). Agentin tehtävä on kerätä ja tunnistaa oleellinen tieto järjestelmästä ja sen tilasta. Ohjelma on niin kutsuttu väliohjelmistokomponentti (middleware), jonka avulla järjestelmän omistajat lähettävät tietoa tilannekuvajärjestelmään.

Agenttilähestymistavan hyvänä puolena on eri kohdejärjestelmiä ylläpitävien ammattilaisten sitouttaminen. Ylläpitäjien ammattitaito saadaan hyödynnettyä jo datafuusioprosessin ensimmäisellä tasolla, koska he itse muokkaavat agentin tuottamaan tietoa omasta järjestelmästä. Tämä lähestymistapa varmistaa myös sen, että kohdejärjestelmistä siirtyvä tieto on täysin kohdejärjestelmän omistajan hallussa. [42]

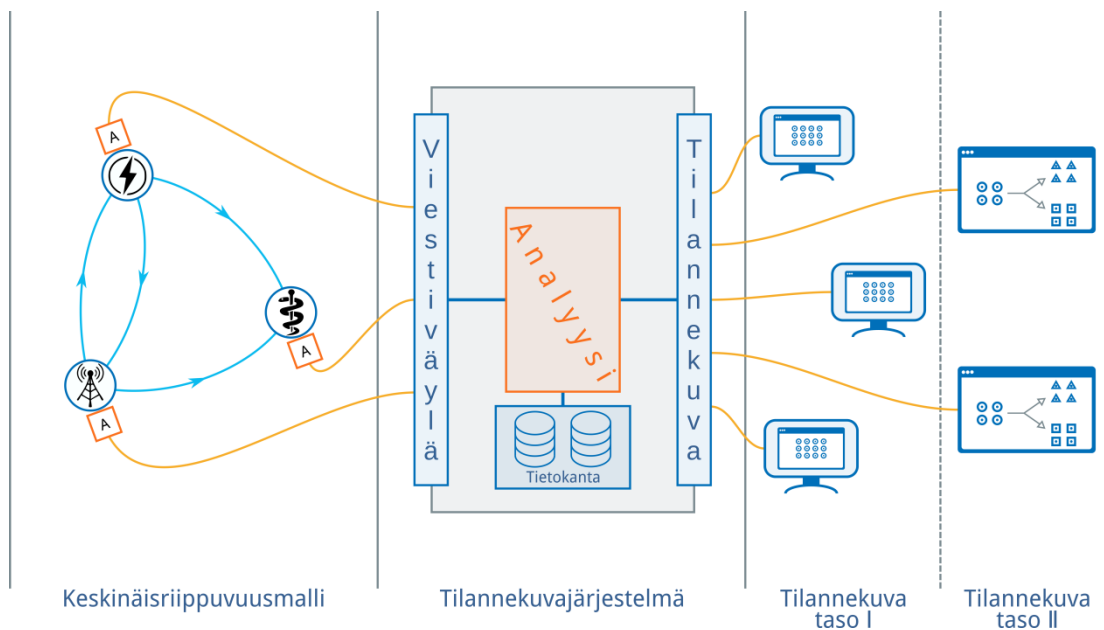
Sähkö- ja tietoliikenneverkko- ja simulointi toimii tilannekuvajärjestelmän näkökohdasta kuten oikea kriittinen infrastruktuuri. Simuloidut komponentit tuottavat agenttien välityksellä tilannetietoa, jonka järjestelmä prosessoi. Järjestelyllä voidaan arvioida tuotetun tilannekuvan sekä ennusteiden laatua.

4.1.2 Riippuvuudet

Riippuvuussuhteet eri infrastruktuureiden välillä ovat lisääntyneet yhteiskunnan digitalisoinnin ja teollisen internetin myötä. Tilannekuvajärjestelmän tärkein tehtävä on parantaa eri päätöksentekijöiden tilannetietoisuutta. Useat käyttäjät ja ympäristöt luovat monia haasteita tilannekuvan esitystapojen toteuttamiseen. Esimerkiksi kriittisen infrastruktuurin toimijoilla on hyvin erilaiset lähestymistavat ja prioriteetit järjestelmien turvaamisesta ja tiedon jakamisesta toisten toimijoiden kanssa [43]. Lisäksi eri päätöksentekijöiden tiedon tarve vaihtelee yksittäisen toimijan toimintaa koskevista päätöksistä aina virkavallan vaatimaan laajemman kokonaisuuden hahmottamiseen. Siksi tilannekuvaa on pystyttävä tarjoamaan useilla eri tasoilla tukien niin alhaisen kuin korkean tason päätöksentekoa. Tässä tutkimuksessa toimijoita ovat käyttötilanteeseen ja pelastustoiminnan johtamiseen osallistuvat tahot, mukaan lukien sähkö- ja tietoliikenneoperaattorit.

Yhteisen riippuvuustietokannan ylläpitäminen on välttämätöntä, jotta fuusioprosessi pystyy rakentamaan riippuvuusverkon infrastruktuurin mallintamista ja analyysiä varten (Kuva 12). Tieto keskinäisistä riippuvuuksista tarvitaan, jotta yhden järjestelmän vikaantumisen vaikutukset muihin järjestelmiin pystytään arvioimaan.

Riippuvuustietojen keskitetty tallennus tuo mukanaan haasteita, kuten tiedon näkyvyyden rajoittamisen ja turvaamisen. Kriittisen infrastruktuurin toiminnan kannalta riippuvuustietojen salassapito ulkopuolisilta tahoilta on perusteltua, sillä väärissä käsissä sen avulla voidaan tunnistaa yhteiskunnan kannalta kriittiset solmut, joihin voidaan kohdistaa esimerkiksi kyberoperaatioita. On lisäksi huomioitava, että eri toimijoiden pääsyä kaikkien riippuvuussuhteiden havainnointiin tulisi rajoittaa, jotta yksityisten yritysten toimintaa ei vahingoiteta.



Kuva 13. Tilannekuvajärjestelmän yleiskuva.

Tilannekuvajärjestelmä perustuu keskinäisriippuvuusmalliin, jossa kriittisen infrastruktuurin järjestelmien toiminta on kytköksissä muiden järjestelmien tuottamiin palveluihin. Yllä olevassa kuvassa (Kuva 13) vasemmalla on kolme järjestelmää: sähköverkon komponentti, tukiasema ja sairaala. Vaaleansiniset viivat kuvaavat komponenttien välisiä riippuvuussuhteita. Tilannekuvajärjestelmän agenttikomponentti on kuvattu oranssilla neliöllä. Keltainen viiva kuvaa viestinvälitystä. Agentit välittävät muutokset tilannekuvajärjestelmään, jossa analyysikomponentti tuottaa nykyhetken tilannekuvan sekä pyrkii ennustamaan tilanteen kehitystä tulevaisuuden suhteen.

4.1.3 Analyysimenetelmät

Analyysikomponentin (Kuva 13) tulee pystyä muodostamaan saatujen sensoritietojen perusteella datafuusiomallin (Kuva 12) JDL-tasoja kaksi (tilanteen määrittely) ja kolme (vaikutusten ennustus) vastaavat tulokset. Kriittisen infrastruktuurin keskinäisriippuvuuksien ja komponenttien huomattava määrä estävät yksityiskohtaisten ja raskaiden mallien käytön. Yksityiskohtaiset mallit vaativat paljon laskentatehoa ja yksityiskohtaista tietoa sekä järjestelmän eri komponenttien toiminnasta että niiden suhteesta muihin komponentteihin ja järjestelmiin. Yksityiskohtaisten mallien käyttö paljastaisi lisäksi huomattavan määrän teknisiä yksityiskohtia jokaisesta kohdejärjestelmästä.

Jotta reaaliaikaista analyysiä voidaan tehdä, tulee käytettävän kriittisen infrastruktuurin malli suunnitella siten, että vain tilannekuvajärjestelmän kannalta oleelliset ominaisuudet laitteistosta sisältyy malliin. Lisäksi mallin ja käytettävien analyysimenetelmien tulee toimia myös vajailla tiedoilla. [44]

Tässä tutkimuksessa käytetyn analyysikomponentin toiminta perustuu järjestelmään syötettyihin riippuvuustietoihin. Lisäksi komponenteista tallennetaan tieto, kuinka eri riippuvuuksien palvelutason heikentyminen vaikuttaa kunkin komponentin toimintaan ja kuinka nopeasti. Näiden tietojen perusteella analyysikomponentti pyrkii luomaan arvion nykytilasta ja ennusteen tilanteen kehittymisestä.

Analyysikomponentti käyttää hyödykseen riippuvuuksista muodostettavaa graafia, jonka avulla komponenttien muodostamaa riippuvuusverkostoa voidaan käsitellä matemaattisilla

menetelmillä. Komponenttien käyttäytymistä suhteessa toisiin komponentteihin mallinnetaan tilakoneiden avulla. Tämä ratkaisu mahdollistaa laajojenkin keskinäisriippuvuusverkostojen mallintamisen ja analysoinnin reaaliaikaisesti. [45]

Tutkimuksessa käytetty komponentti- ja riippuvuustietokanta muodostettiin osittain samasta lähtöaineistosta kuin sähkö- ja tietoliikenneverkkosimulaattorin malli. Lisäksi riippuvuustietoa kerättiin avoimista lähteistä, kuten Maanmittauslaitoksen maastotietokannasta [46].

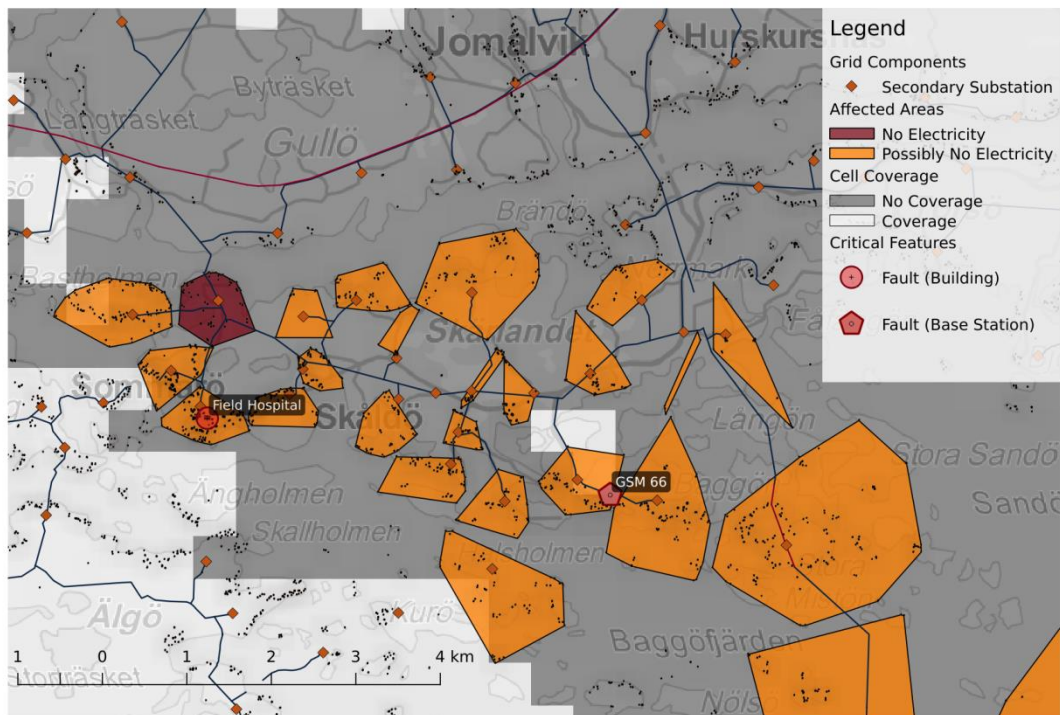
Käytössä olevassa mallissa on noin 2300 sähköverkon komponenttia, jotka on yhdistetty toisiinsa noin 50000 sähköjohtoverkon pisteitä mallintavilla solmuilla (Kuva 14). Lisäksi mallissa on alueella toimivien operaattoreiden tukiasemat ja mastot. Tietoturvasyistä raportin kuvissa ei esitetä komponentteja eikä niiden välisiä loogisia riippuvuussuhteita, vaan kuvat perustuvat pelkästään avoimeen aineistoon.



Kuva 14. Pääkuvassa tutkimusaineistosta muodostettu tilannekuvajärjestelmän riippuvuusgraafi. Pikkukuvassa punaiset pisteet ja viivat kuvaavat sähköasemia, siniset erotinasemia ja vihreät muuntamoita.

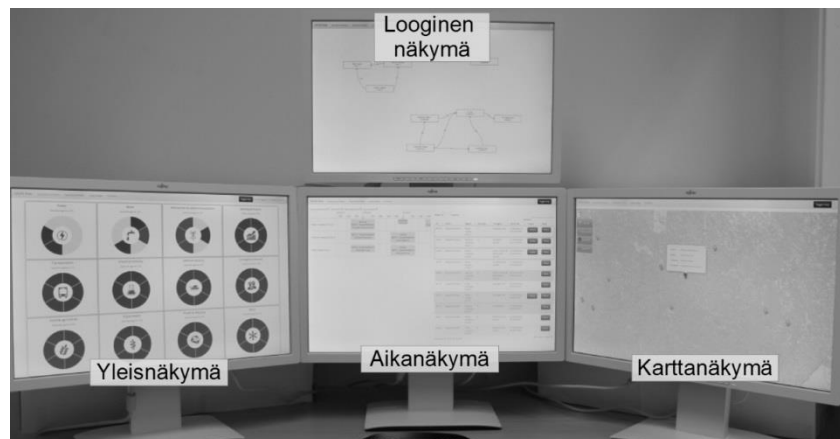
4.1.4 Visualisointi

Jotta käyttäjälle voi muodostua tilannetietoisuus, tulee prosessoitu informaatio esittää tilannekuvajärjestelmän käyttäjälle siten, että järjestelmä tukee käyttäjälle asetettua tehtävää. Visualisoinnin suunnittelussa tulee ottaa huomioon myös käyttäjän rajoitettu kognitiivinen suorituskyky, joten turhan informaation esittämistä tulee välttää. Käyttöliittymän suunnittelussa hyödynnettiin tehtyjä asiantuntijahaastatteluja, ja niiden pohjalta luotuja vaatimusmäärittelyitä.



Kuva 15: Kuvankaappaus tilannekuvajärjestelmän visualisaatiosta. Lisäksi näytetään symbolien selite.

Karttanäkymä muodostaa tilannekuvajärjestelmän keskeisimmän visualisaation. Sen avulla nähdään kaikkien komponenttien ja alueiden palvelutaso. Karttanäkymä ei välttämättä luo helposti ymmärrettävää näkymää infrastruktuurien yleisestä tilasta.

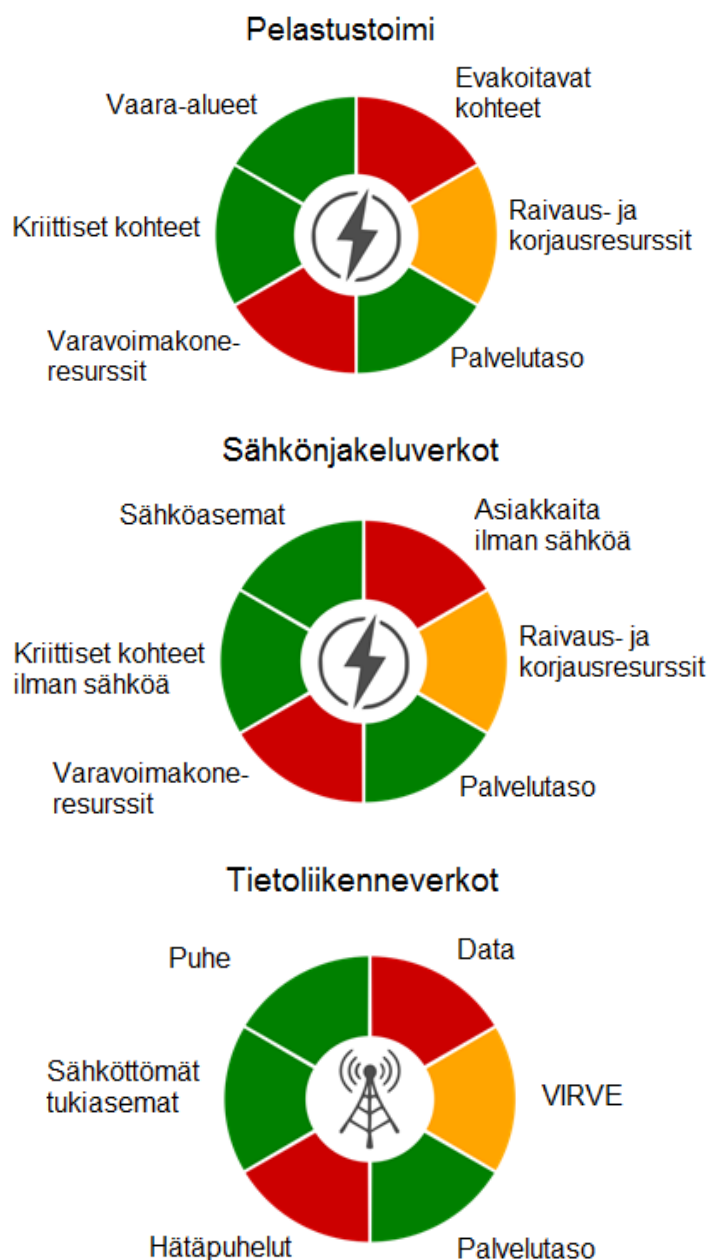


Kuva 16. MPKK:n tutkimuksen käyttöliittymä, joka rakentuu neljästä näytöstä.

Yllä olevassa kuvassa (Kuva 16) vasemmanpuoleisimmassa näytössä esitetään käyttäjälle kriittisen infrastruktuurin nykytila helposti ymmärrettävässä muodossa. Näyttö koostuu kahdestatoista tilaympyrästä, jotka kuvaavat Lewisin yhtätoista sektoria (ks. Kuva 1) ja yhtä ylimääräistä sektoria muille toimijoille. Jokaisen sektorin kohdalla on kuusiosainen ympyrä, jonka osuudet kuvaavat eri tapahtumaluokkia (Kuva 17). Yleisnäkyssä käyttäjä pystyy myös määrittämään, mitä toimijoita hän haluaa seurata. Näytön tarkoituksena on tarjota nopeasti informaatiota, toimivatko kaikki sektorit ongelmitta, ja jos ongelmia on ilmennyt, minkä tyyppisistä ongelmista on kyse [47]. Yleistason tilannekuva on myös yksi tärkeä osatekijä Endsleyn tilannetietoisuusteoriassa [48]. Asiantuntijahaastattelussa ilmeni tarve myös yleistason tilannekuvanäytölle (ks. Taulukko 1 ja Taulukko 5).

Keskimmäinen näyttö (aikanäkymä) on tarkoitettu käyttäjän päänäkymäksi. Aikanäkymässä näytetään perinteisen tapahtumalokin kaltaisesti kaikki käyttöliittymälle lähetetyt tapahtumat, millä saadaan lisätietoa esim. karttanäkymän tapahtumista. Tämän ominaisuuden asiantuntijat näkivät hyödylliseksi haastatteluissa (ks. Taulukko 1). Jotta käyttäjä pystyy muodostamaan hyvän kuvan kriittisen infrastruktuurin nykytilasta, täytyy hänen ymmärtää jo ilmenneet tapahtumat, ja tarvittaessa etsiä uusiin tapahtumiin liittyviä aiempia tapahtumia. Siksi aikanäkymässä käyttäjälle tarjotaan myös aikajana (Kuva 16), jonka avulla tapahtumien järjestys eri toimijoiden kohdalla käy havainnollisesti ilmi.

Oikeinpuolimmaisoin näyttö esittää tapahtumien ja toimijoiden maantieteellisen jakautumisen. Näytön avulla käyttäjä pystyy arvioimaan alueellisia tapahtumia ja niiden laatua. Karttanäkymävaatimus perustuu asiantuntijahaastatteluihin (ks. Taulukko 1).



Kuva 17. Yleisnäkökulma pelastustoimen, sähkönjakelu- ja tietoliikenneverkkojen tilaympyröistä tilanneluokkineen, jotka perustuvat asiantuntijahaastattelutietoihin (ks. Taulukko 2, Taulukko 3 ja kappale 2.5).

5 SÄHKÖ- JA TIETOLIIKENNEVERKKOJEN SIMULOINTI

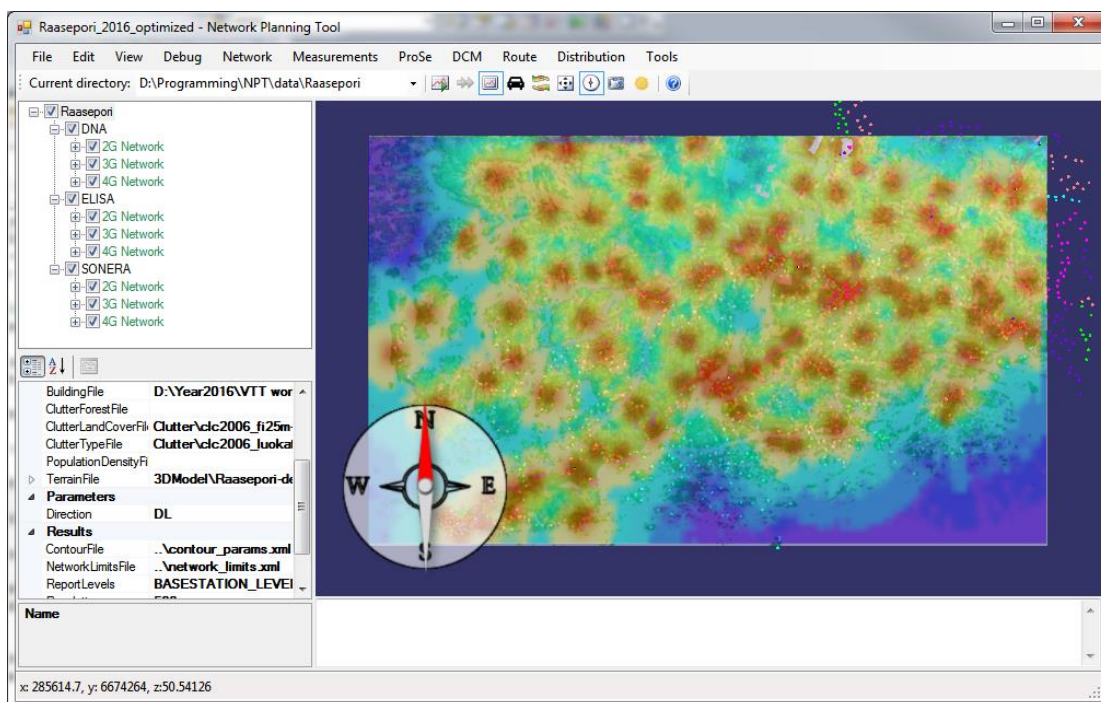
Kuten edellisessä luvussa on mainittu, sähkö- ja tietoliikenneverkkosimulaattori (*myöh. verkkosimulaattori*) toimii tilannekuvajärjestelmän näkökulmasta kuten oikea kriittinen infrastruktuuri ja mallintaa sähkö- ja tietoliikenneverkkojen toimintaa suurhäiriön aikana. Simuloidut komponentit tuottavat agenttien välityksellä tilannetietoa, jonka tilannekuvajärjestelmä prosessoi. Tilannekuvajärjestelmä ja verkkosimulaattori jakavat saman kriittisen infrastruktuurin mallin, joka kuvaa keskinäisriippuvuudet sähkö- ja tietoliikenneverkkojen ja kriittisten kohteiden välillä. Tässä tutkimuksessa malli generoitiin VTT:n simulointi- ja mallinnusohjelmalla eri datalähteistä.

5.1 Infrastruktuurien simulointiympäristö

Häiriöskenaarion aikana verkkosimulaattori tuottaa tilannekuvajärjestelmän komponenteille tietoa sekä ennusteita sähkö- ja tietoliikenneverkkojen ja kriittisten kohteiden tilasta [45]. Näiden sekä päätöksentekijöiltä saatujen tietojen avulla tilannekuvajärjestelmä (ks. kappale 4.1) luo kuvan simuloidun infrastruktuurin tilasta [49]. Tilanne- ja vaikutusanalyysissä havaituista kriittisen infrastruktuurin komponenteista muodostetaan nykyinen, eri kohdejärjestelmien muodostama nykytila, jota täydennetään riippuvuuksien avulla muodostetulla vaikutavuusennusteella. Tulevaisuuden ennustamisessa hyödynnetään riippuvuusuhjeita eri tasoilla, verkkokomponenttien prioriteetteja, varavoiman kestoennusteita sekä graafiteoreettisia menetelmiä, joilla tunnistetaan verkon kriittisiä solmuja ja ennustaan ongelmien leviämistä. Analyysin tuloksena häiriötilanteesta saadaan visuaalinen kuva sekä priorisointilistoja, jotka antavat eri toimijoille paremmat edellytykset ohjata toimintaa niin infrastruktuurin ylläpitäjän kuin käyttäjänkin tasoilla

Simuloinnissa käytettiin VTT:llä toteutettua NPT-verkkosimulaattorihjelmistoa (Network Planning Tool), joka mahdollistaa matkaviestin- ja sähkönjakeluverkkojen yksityiskohtaisen mallintamisen ja tarjoaa mahdollisuuden arvioida mm. teknisten vikojen ja luonnontapah- tumien, kuten syysmyrskyjen, aiheuttamien sähkönjakelun keskeytysten vaikutuksia matkapuhelinverkkoon ja kriittisiin kohteisiin sekä vastavuoroisesti matkapuhelinverkon häiriöiden vaikutuksia sähköverkon ja kriittisten kohteiden etäohjaukseen ja -hallintaan [50]. Verkkosimulaattorin avulla voidaan analysoida myös yksittäisten vikojen tai tapahtumien vaikutuksia sekä testata erilaisia vara- ja tilapäisjärjestelyvaihtoehtoja, esim. tietoliikenne- ratkaisuja jakelukeskeytysalueella korjaustöiden aikana.

Verkkosimulaattori kehitettiin alun perin matkapuhelinverkkojen peittoaluesuunnitteluun ja mittauksiin, mutta sen toiminnallisuuksia on myöhemmin laajennettu infrastruktuurien välisten vuorovaikutusten tarkasteluun soveltuvaksi [51] [52] [53]. Sillä on esimerkiksi selvitetty, miten hyvin matkaviestinverkot sietävät lyhyitä, keskisuuria ja laajoja sähkökatkoja, ja millaisin konkreettisin ja kustannustehokkain toimenpitein matkaviestinverkkojen luotettavuutta ja toimintavarmuutta voitaisiin parantaa vastaamaan tulevien sähköverkkojen tarpeita. Oheisessa kuvassa (Kuva 18) on yleisnäkymä verkkosimulaattorista. Kuvassa lämpimät värit edustavat korkeaa vastaanotettua signaalin voimakkuustasoa ja kylmät vastaavasti alhaista tasoa,



Kuva 18. Yleisnäkymä matkapuhelinverkon peitosta sekä sähköverkon muuntamoista simulointialueella.

NPT-verkkosimulaattori tukee kolmentyyppisiä vika-analysejä: tilastollisia, historiatietoihin sekä reaaliaikaiseen tietoon perustuvia [51]. Tilastollisessa vika-analyysissä sähköt kytketään pois esim. yhdestä tai useammasta lähdöstä, sähköasemasta, erotinasemasta tai muuntamosta. Tällaisen vian syynä voi olla mm. linjalle kaatunut puu tai laitevika. Vastaavalla tavalla tietoliikenneverkkoon voidaan aiheuttaa tietoliikennevikoja. Sähkövian tapauksessa vian vaikutusalueella olevien rakennusten ja tukiasemien sähkönsaanti keskeytyy, ja kohteet joutuvat toimimaan mahdollisen varavoiman avulla. Historiatietoihin perustuvissa vika-analyysissä simuloidaan aiemmin tapahtuneita suurihäiriötilanteita käyttämällä apuna muuntamotason vikaraportteja niin sähköverkon vikaantumisen kuin sen toipumisen mallintamisessa. Verkkosimulaattori tukee myös reaaliaikaisia simulointeja. Tarkasteltavat vikatapahtumat voidaan reaaliaikaisesti lukea tietoliikenneyhteyden yli.

NPT-verkkosimulaattorin avulla voidaan

- laskea ja arvioida matkapuhelinverkkojen suorituskykyä, mm. peittoa, kapasiteettia, redundanssia ja tiedonsiirtonopeutta,
- havainnoida toimivien ja toimimattomien tukiasemien määriä, akuilla olevien tukiasemien osuuksia ja sijainteja operaattorikohtaisesti,
- analysoida eri operaattoreiden tarjoamia puhe- tai datapalveluja erilaisilla päätelaitteiden herkkyytasoilla,
- analysoida sähköverkon komponenttien monitorointi- ja etäohjausmahdollisuuksia (kuinka moni komponentti on vara-akkujen varassa, vastaavasti muuntamot, sähköasemat tai erottimet),
- mallintaa myrskytuhojen ja erityyppisten sähkökatkojen laajuutta ja etenemistä sähköverkossa sekä niiden vaikutuksia matkapuhelinverkkoihin,
- havainnoida matkapuhelinverkon toimintatason alenemista häiriötilanteessa (esim. puhe- ja datayhteyksien katkot) ja sen vaikutusta sähköverkon korjaustyöhön ja normaaliin toimintaan palautumiseen,

- muodostaa aiempien myrskyjen historiatiedoista (so. sähköverkon vikaraporteista) yksityiskohtainen kuva vikaantumisen etenemisestä ja normaaliin toimintaan palautumisesta,
- analysoida erilaisten tietoliikenteeseen liittyvien toipumismekanismien vaikutusta häiriötilanteesta palautumiseen,
- arvioida palvelujen ulkopuolella olevia asukasmääriä (kuinka moni on ilman datapalvelua, hätäpuheluita jne.),
- arvioida uusien LTE funktionaalisuuksien käytettävyyttä niin kauko-ohjattavien sähköverkkolaitteiden kuin kunnossapitohenkilöiden kannalta,
- mallintaa staattisen ja dynaamisen korjauspriorisoinnin eroja sekä ennustaa tilanteen kehittymistä seuraavien tuntien aikana, jos mitään ei tehdä.

Matkaviestin- ja sähkönjakeluverkkojen välisiä riippuvuuksia tutkittaessa lasketaan tukiasema-kohtaisen peittoalue-ennusteen lisäksi myös arvio samanaikaisesti kuuluvien solujen määrästä eli päällekkäisyydestä/redundanssista. Tämä antaa indikaatiota siitä, kuinka monta tukiasemaa voi milläkin alueella lakata toimimasta ennen kuin sillä on vaikutusta sähköverkkokomponenttien ohjaukseen ja monitorointiin, tai toisaalta kentällä toimivien urakoitsijoiden ja korjaushenkilöiden kommunikointiin.

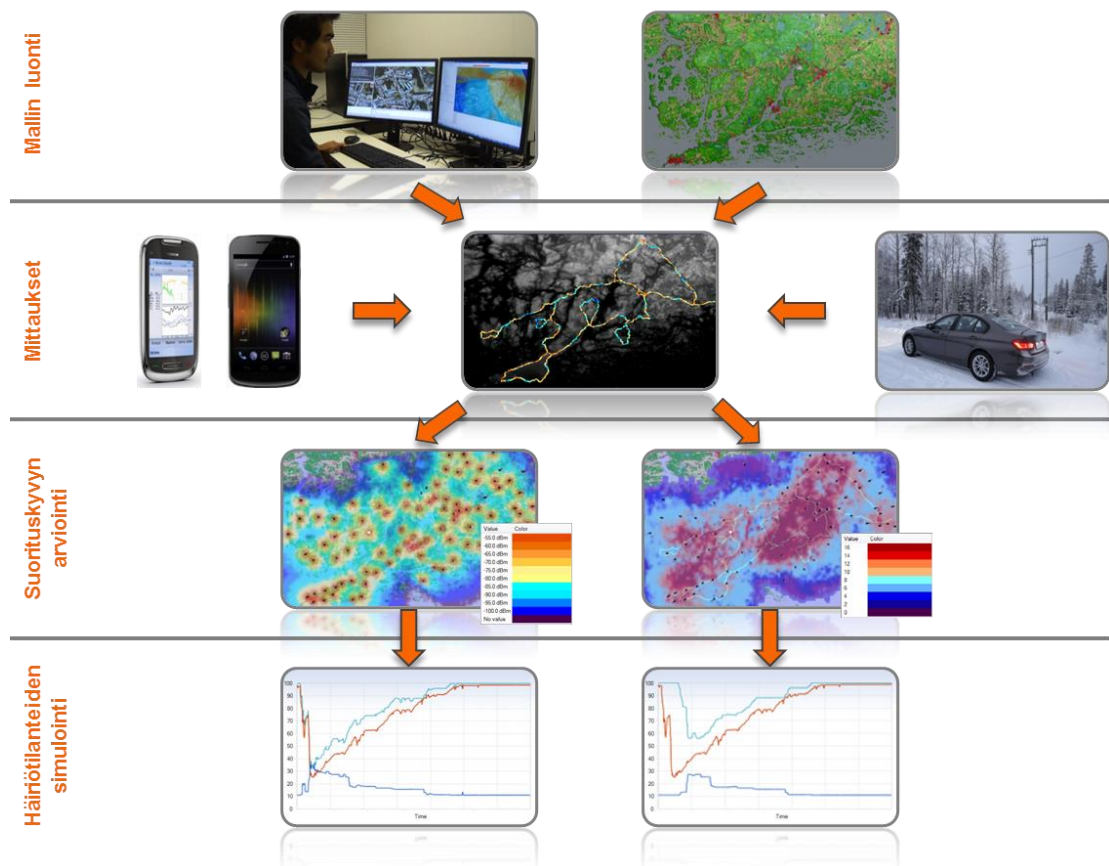
Simuloinnin aikana verkkosimulaattori kerää yksityiskohtaisen tiedon lisäksi myös tilastollista tietoa ja laskee ennusteita. Kerättävän tiedon määrä ja ajankohta määritellään parametrisointitiedostossa. Oletusarvoisesti tiedot kerätään aina nykyhetkestä, mutta ennusteiden tapauksessa tilaennuste annetaan määriteltynä ajankohtina esim. 1h, 3h, 4h. Ennusteiden tarkkuus heikkenee ajan myötä. Ennusteissa ei huomioida ulkopuolisten tekijöiden lisävaikutuksia kuten myrskyn aiheuttamia lisävikoja tai ennusteen aikana mahdollisesti tehtyjä korjauksia.

Seuraavassa taulukossa on esitetty monitoroitavia suureita annettuina ajanhetkinä. Listan 1. kohdan muuttujille lasketaan myös ennustearvot.

	Monitoroitavat tilatiedot	Ominaisuudet
1.	Kaikki sähkökomponentit Sähköasemat Etäohjattavat sähköasemat Erottimet Etäohjattavat erottimet Muuntamot Etäohjattavat muuntamot Tukiasemat (kaikki) Operaattorikohtaiset tukiasemat Kriittiset rakennukset Etäohjattavat kriittiset kohteet Asukkaat Rakennukset	Toiminnassa olevien %-osuus Ilman tietoliikennettä olevien %-osuus Datapalvelualueella olevien ilman sähköä olevien %-osuus Puhepalvelualueella olevien %-osuus Häätäpuhelupalvelualueella olevien %-osuus Varavoimalla olevien %-osuus Ilman sähköä olevien lukumäärä Ilman tietoliikennettä olevien lukumäärä Ilman hätäpuhelupalvelupeittoa olevien lukumäärä Ilman datapalvelupeittoa olevien lukumäärä Ilman hätäpuhelupalvelupeittoa ja sähköä olevien lukumäärä Ilman datapalvelupeittoa ja sähköä olevien lukumäärä Varavoimalla olevien lukumäärä Kyberhyökkäyksen vaikutuksen alla olevien etäohjattavien määrä
2.	Vikatilanne (vain nykyhetki)	Aktiivisena olevien vikojen määrä Kumulatiivinen tieto käsitellyistä vioista

5.2 Tietoliikenneverkot ja niiden palveluiden mallintaminen

Simulointien lähtökohdista ovat mahdollisimman tarkat mallit sähkö- ja tietoliikenneverkoista sekä kriittisistä kohteista. Tietoliikenneverkkojen osalta mallinnus keskittyi matkapuhelinverkko-osaan, koska se on sääältein ja sen rakennetta on mahdollista mallintaa ajoneuvomitauksen ja Maanmittauslaitoksen mastotietojen avulla. Siirtoverkon osalta tietoliikennemalliin on mallinnettu mikrolinkkiyhteyksiä, joiden avulla ylätukiasema voi kerätä tai jakaa tietoa siihen kytkettyihin alitukiasemiin. Tekninen tai sähkönsyöttöhäiriö yläasemassa estää alitukiasemien toiminnan. Muut osat runko- ja siirtoverkosta oletetaan olevaa säävarmaa eli maakaapeloitua. Tietoliikenneverkkojen osalta mallinnuksessa on rajoitettu 2G/3G/4G-verkkoihin. Esimerkiksi tähtimäisten radiomodeemyhteyksien mallintaminen ja simulointi olisi mahdollista, mutta tarvittavaa tietoa niiden käytöstä kohdealueella ei ollut.



Kuva 19. Sähkö- ja tietoliikenneverkkojen mallinnus-, mittaus- ja analysointiprosessi simulointiympäristössä

5.2.1 Matkapuhelinverkkojen mittaukset

Tietoliikenneverkkomallin rakentamiseksi suoritettiin Raaseporin alueella keväällä 2016 kenttämittaukset kaikkien operaattoreiden verkoissa kaikilla eri teknologioilla ja taajuusalueilla (GSM 900/1800, UMTS 900/2100, LTE 900/1800/3600). Mittaukset suoritettiin Nemo Outdoor-mittausjärjestelmällä tekemällä jokaiselle operaattorille erilliset ajomittaukset ja allokoimalla jokaiselle eri teknologialle (GSM, UMTS ja LTE) oma mittauspäätelaitte. Mittaustulosten ja Maanmittauslaitoksen mastotietokannan avulla luotiin simuloinnissa käytettävä tietoliikenneverkkomalli. Peittoalue-ennusteiden avulla määriteltiin tukiasemien korkeus, lähetysteho, antennisuunta ja peittoalue vastaamaan mahdollisimman hyvin mitattuja arvoja. Kaikkia tukiasemapaikkoja ei löytynyt Maanmittauslaitoksen aineistosta, joten mittaustulosten

pohjalta kehitettiin laskentamenetelmä, jolla puuttuvat tukiasemat voidaan tunnistaa ja sijaintipaikalle saadaan ennuste. Ennusteen validoinnissa käytettiin apuna ajomittaustuloksia ja etenemismalleilla laskettuja signaalin voimakkuusennusteita. Tukiasemien peittoalueet optimoitiin ajomittausten avulla parametrisoimalla alueen ympäristöominaisuuksia sekä yksittäisten tukiasemien korkeuksia. Optimoinnissa hyödynnettiin maaston korkeusaineistoa sekä maankäyttötietoja ja optimoinnilla parannettiin mittausten ja peittoalue-ennusteiden vastaavuutta. Simulointeihin ei sisällytetty kaupunkien tai taajamien piko- tai mikrosoluja.

Simuloinnissa käytetyt tiedot eivät ole niin tarkkoja kuin mihin teleoperaattoreilta saatavilla tiedoilla päästäisiin, mutta ne antavat riittävän tarkan kuvan matkapuhelinverkkojen käyttäytymisestä ja saatavuudesta suurhäiriön aikana. Kenttämittaukset antavat tarkan tiedon mittauspäivänä matkapuhelinverkoissa vallitsevasta tilanteesta. Pidemmän aikavälin tilanne saattaa kuitenkin poiketa tästä, jos matkapuhelinverkkoa on muutettu, verkon parametreja (mm. antennisuunnat, lähetystehot) säädetty tai mittauspäivinä on ollut toimimattomia tukiasemia. Mallinnusvirheet ovat kaupunkialueella harvaanasuttua aluetta suuremmat, koska matkapuhelinverkon kausittaista säätöä tehdään enemmän juuri kaupunkialueella. Peittoalueiden laskennassa ei myöskään huomioida rakennusten aiheuttamaa lisävaimennusta eikä kaikista kaupunkitukiasemista ollut saatavissa tarkkaa paikkatietoa. Tästä syystä osa tukiasemista, etenkin kaupunkialueella, on jouduttu lisäämään malliin jälkikäteen mitattujen signaalin voimakkuuksien ja peittoalueprofiilien perusteella. Tämä ei ole analyysin kannalta merkittävä ongelma, koska kaupunkien keskustat eivät ole myrskyissä riskikohteita. Tukiasemat ovat kaupunkialueella suurelta osin maakaapeloidussa sähköverkossa, tietoliikenneyhteydet ovat kuitujen päässä ja tukiasemalaitteistot ovat suojassa kaatuville puille. Matkapuhelinverkkojen vastaavuus todelliseen tilanteeseen hajaseutualueella voidaan olettaa olevan varsin tarkka.

Simuloinnissa tukiasemaverkon rakenne ja käytetyt teknologiat olivat pääteltävissä päätelaitemittausten avulla. Suurempi haaste oli määrittellä sekä sähköverkon että kriittisten kohteiden tietoliikennekyky. Päätelaitteiden osalta tuli määrittellä päätelaitteen tukemat teknologiat, yksi tai useampi operaattori, kuitu vai langaton tietoliikenneyhteys sekä tietoliikennelaitteen akun kestot.

5.2.2 Tietoliikennepalveluiden mallintaminen

Erilaiset palvelut asettavat tietoliikenteelle erilaisia teknologia- ja laatuvaatimuksia, jotka simuloinnissa on aina huomioitava. Simuloitavalla alueella on erityyppisiä päätelaitteita kuten kännyköitä tai etäohjattavia laitteita, jotka toimivat joko kuitu tai mobiiliyhteyksillä. Simulaattorissa ei ollut tarkoitus suoraan tarkastella yleispalvelulaajakaistan laatu- tai kapasiteettivaatimuksia vaan rajoituttiin hätäpuhelupalveluiden ja sellaisten datapalveluiden varmistamiseen, joita todennäköisimmin priorisoidaan suurvikatilanteessa. Tietoliikenneverkon kaapelointitietoja hyödynnettiin sekä kriittisten kohteiden että etähallittavien sähköverkkokomponenttien ilma- ja maakaapeliosuuksia määriteltäessä.

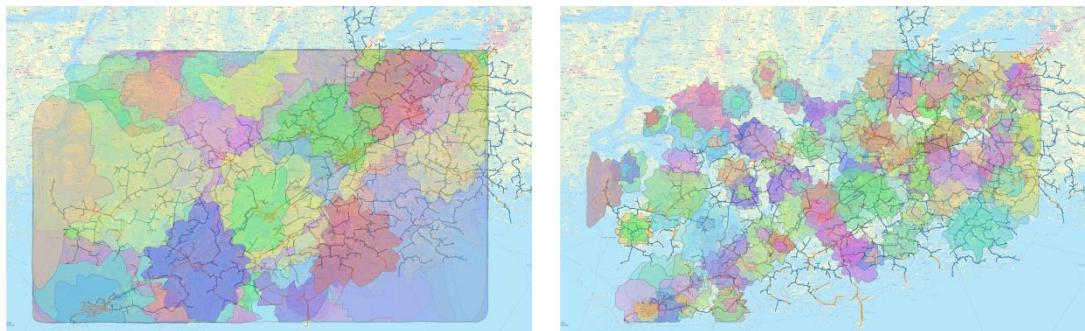
Datamäärät kasvavat samalla vauhdilla kuin operaattoreiden kapasiteetti verkkoteknologioiden kehittyessä. Skenaariossamme ei ollut tarkoitus tutkia tietoliikenteen laatua tai ruuhkautumista vaan puhe- ja datapalvelujen saatavuutta myrskyn aikana. Simuloinneissa tulevien vuosien digitalisoituminen huomioitiin kasvattamalla kotitalouksien merkitystä sekä lisäämällä M2M-kommunikaatiota käyttävien laitteiden määrää sekä sähköverkon että kriittisten kohteiden puolella.

Etäohjauksen käyttö edellyttää, että komponenttiin on tietoliikenneyhteys, joka voi olla joko kuitu- tai mobiiliyhteys. Kuituyhteys käsittää niin valokuitu-, pari- ja koaksiaalikaapeli

yhteydet. Kaupunkialueella kohteet ovat pääsääntöisesti kaapeliyhteyden päässä. Laajakais-
tapalveluiden siirtokapasiteettiin ei mallinnuksessa otettu kantaa. Lähtökohtana oli, että
kaapeliyhteys täyttää datanopeusvaatimukset. Mobiiliyhteyden mallintaminen sen sijaan vaati
yksityiskohtaisempaa tietoa siitä, mitä teknologioita tietoliikennelaitte tukee (GSM, UMTS ja
LTE) ja onko käytössä yksi vai useampi SIM-kortti vai tulevaisuudessa mahdollisesti jopa
monioperaattori-SIM-kortti. Päätelaitteiden toimintaedellytysten arvioimiseksi oli määriteltävä
myös etäohjauksessa käytettävien päätelaitteiden tukemat teknologiat sekä operaattorit.
Tähän käytettiin sekä asiantuntijahaastatteluista saatuja tietoja että markkinatietoihin
perustuvia arvioita mm. eri operaattoreiden laitteiden osuuksista ja kiinteistöjen laajakaistan
käytöstä. Häiriötilanteessa etäohjattavuuteen vaikuttaa merkittävästi tietoliikennelaitteen
varavoiman kesto, jonka pituus riippuu sähkökomponentin tärkeystasosta sekä sijainnista.
Simuloinnissa etäohjaukseen käytettävien tietoliikennelaitteiden varavoiman kesto asetettiin
vaihtelevaan 0 tunnista (etämonitoroitu muuntamo) aina 10 tuntiin asti (sähköasemat).

Data- ja puhepalvelualueen koko riippuu päätelaitteiden suorituskyvystä. Puhe- ja datapalve-
lualueiden ennustamisessa käytettiin vastaanotetun signaalin voimakkuustasoja, jotka
mahdollistavat hyvätason puhe- ja datapalvelun. Simuloinnissa käytettiin tyypillisiä
kenttämittausarvoja korkeampia kynnyksiarvoja, koska etähallittavien laitteiden ja ihmisten
oletetaan käyttävän palveluja myös sisätiloista. Rakennusten aiheuttamia lisävaimennusten
mallintamiseen ei ollut käytettävissä 3D-rakennustietoa. Peittoalue-ennusteet laskettiin ulko-
tilapeittona asettaen sisätilakäyttöä varten linkkibudjettilaskelmiin korkeammat marginaalit.
Laskennassa käytettiin samoja kynnyksiarvoja kuin European Communications Engineering
Oy:n tekemässä matkapuhelinverkkojen kuuluvuustutkimuksessa [54].

Kuva 20 havainnollistaa eri värein esimerkin hätäpuheluiden- ja datapalveluiden palvelu-
alueista. Karttapohjalla on esitetty myös sähköjakeluverkko.



Kuva 20. Esimerkit mallinnetuista puhe- ja datapalvelualueista.

Simuloinnissa testattiin myös lähestymistapaa, jossa etäohjattavan sähköverkon komponent-
tien teknologia- ja operaattori määräytyvät parhaimman peittoalue-ennusteen mukaan.
Todellisuudessa tilanne ei ole näin optimaalinen ja siksi analysissä päädyttiin käyttämään
tilastollisia todennäköisyyksiä operaattoriosuuksien mukaisesti.

5.2.3 Tietoliikenneverkon häiriötilanteet

Tietoliikenneverkon häiriötilanteiden simulointi edellyttää myös sähkökatkoissa käytettävien
akkujen sekä tietoliikennekomponentteihin tulevien laitevikojen mallinnusta sähkönsyötön
mallintamisen lisäksi. Simuloinneissa asetettiin tukiasemapaikkojen akkujen kestot Viestintä-
viraston 54 b säädöksen [29] ja haastattelujen pohjalta seuraavan taulukon mukaisesti.
Akkujen kesto laskettiin hätäpuhelualueella olevien käyttäjien määrän sekä operaattorin
markkinaosuuden perusteella. GSM- ja UMTS-verkoissa tukiaseman akkujen kestoksi
asetettiin minimissään 3 tuntia. LTE-tukiasemien akkujen kestoksi määriteltiin 15 min, koska

ne kytetään häiriötilanteessa ensimmäiseksi pois päältä. Tällöin muiden teknologioiden osalta akkujen kesto saadaan pidennettyä ja vähemmän tärkeää dataliikennettä rajoitettua. Toiminnolla priorisoidaan hätäpuheluja, jotka menevät GSM/UMTS-verkon kautta.

Taulukko 19. Viestintäverkoissa esiintyvien häiriöiden todennäköisyydet ja korjausajat.

Luokka	Korjausajat	Varavoima	Akun kesto simuloinneissa
1	Tukiasemapaikka, joka vaikuttaa suuruusluokaltaan \geq 200 000 käyttäjän yleiseen puhelinpalveluun	Käyttää kiinteää varavoimailaitosta. Myrskytilanteissa sähkönsyöttö on varmistettu.	Ääretön
2	Tukiasemapaikka, joka vaikuttaa suuruusluokaltaan \geq 50 000 käyttäjän yleiseen puhelinpalveluun	Käyttää kiinteää varavoimailaitosta tai käytettävissä olevaa siirrettävää varavoimailaitosta. Myrskytilanteissa sähkönsyöttö on varmistettu.	Ääretön
3	Tukiasemapaikka, joka vaikuttaa suuruusluokaltaan \geq 1000 käyttäjän yleiseen puhelinpalveluun	Siirrettävän varavoimailaitoksen liitännämahdollisuus, jos varavoimailaitoksen käyttö on kohteessa mahdollista. \geq 12 tuntia	12 tuntia
4	Tukiasemapaikka, joka vaikuttaa suuruusluokaltaan \geq 250 käyttäjän yleiseen puhelinpalveluun	Siirrettävän varavoimailaitoksen liitännämahdollisuus, jos varavoimailaitoksen käyttö on kohteessa mahdollista \geq 6 tuntia	6 tuntia
5	Muut	\geq 4 tuntia vähintään 30 %:lla taajaman ulkopuolella sijaitsevista tukiasemista, \geq 2 tuntia, jos tukiasema on taajamassa sijaitseva kiinteistötukiasema, \geq 15 minuuttia, jos tukiasema on LTE-verkon tukiasema.	4 tuntia 30 % taajama-alueen ulkopuolella olevissa tukiasemapaikoissa, joissa useampi operaattori jakaa maston, 3 tuntia kaupunkialueen ja taajama-alueen tukiasemissa, 15 min LTE-tukiasemissa

Haastatteluissa kävi ilmi, että operaattorit saattavat varustaa joitakin tärkeimpiä laittiloiaan vaatimuksia järeämmillä akuilla, mitä ei simuloinneissa pystytty huomioimaan kuten ei myöskään varavoiman toimittamista (tielle kaatuneet puut voivat merkittävästi hidastaa laitteiston toimittamista kohteeseen). Mallinnettua suurempi akkujen määrä ei kuitenkaan ole oletettavaa kohoavien kustannusten vuoksi.

Tukiasemien toimintavarmuus ei yksistään riipu akkuvarmistuksesta. Tietoliikenneverkossa syntyy myrskyn yhteydessä myös muun tyyppistä vikaantumista. Niitä aiheutuu joko suoraan luonnonilmiöstä tai välillisesti sähkökatkon aiheuttamasta laite- tai ohjelmistoviasta. Simulointia varten arvioit näille vikamäärille ja keskimääräisille korjausajoille asetettiin Viestintäviraston vikatilastoista [55]. Vaikka simuloinneissa käytetyt korjausajat ovat vuoden 2013 tilastojen mukaiset, vuoden 2015 katsauksessa on maininta, että kaikkien toimivuushäiriöiden määrän voidaan katsoa pysyneen karkeasti samalla tasolla viime vuosina.

Taulukko 20. Viestintäverkoissa esiintyvien häiriöiden todennäköisyydet ja korjausajat.

Korjausajat	Todennäköisyys
alle 6 h	30 %
6 h – alle 12 h	6 %
12 h – alle 48 h	35 %
48 h – alle 168 h	22 %
168 h – alle 504 h	5 %
504 h tai yli	2 %

Myrskytilanteessa salamien aiheuttamat laiteviat ovat todennäköisin vikalähde. Kaupunkiverkot suunnitellaan kapasiteettipohjaisesti, joten yksittäisen tukiaseman vikaantuminen pudottaa väliaikaisesti verkon kapasiteettia, mutta harvoin estää koko tietoliikenteen. Harvaan-asutuilla alueilla tilanne on toisin, kun verkkosuunnittelu on pääsääntöisesti peittopohjaista. Tällöin yksittäisellä ja muutamalla makrotukiasemalla on huomattavasti suurempi vaikutus tietoliikenneyhteyksiin.

5.3 Sähkönjakeluverkon mallintaminen

Sähköverkosta mallinnettiin keskijänniteverkkoon kuuluvat sähköasemat, erotinasemat, muuntamot sekä ilma- ja maajohdot. Sähköverkon komponenteilla on erilaisia ominaisuuksia, joista tärkeimmät ovat liittynät muihin sähköverkkokomponentteihin, johdintyyppi (ilma vai maa), prioriteetti ja sekä etäohjattavuuskyky. Simulointia varten sähkönjakeluverkon malli rakennettiin yhdistämällä Maanmittauslaitoksen avointa aineistoa energiayhtiön Hannu-Tapani-myrskyyn liittyvään aineistoon. Myrskyaineistossa on vikojen alku- ja loppuaikojen lisäksi laitekoodeja, joiden perusteella mallinnettiin sähköverkon kytkentöjä. Sähkönjakeluverkkomallin rakentaminen Maanmittauslaitoksen avoimesta aineistosta vaati merkittävästi työtä vaikka karttanäytöllä sähkölinjojen reitit ovatkin yksityiskohtaisesti esitetty. Aineistossa sähkölinjat on mallinnettu viivajoukkona, jossa esiintyi epäjatkuvuuskohtia esim. maakaapeloinnista ja aineistovirheistä johtuen. Lisäksi esitystapa ei ota kantaa linjajohtojen määrään sähkötolpissa tai niiden reitittymiseen solmukohdissa (sähköasema tai erotin). Riittävän tarkan sähköverkkomallin luonti vaati myrskyvika-aineiston käytön, jotta reititykset sähköasemilta aina muuntamoille asti saatiin määritettyä. Reititys algoritmien käytön myötä sähköverkkomalliin saatiin toteutettua dynaaminen reititys, jonka avulla sähköverkon reititystä on mahdollista muuttaa kesken simuloinnin. Toiminnallisuutta voidaan käyttää vikaantuneiden alueiden automaattisen tai manuaalisen eristämisen simulointiin korjaustöiden aikana. Tätä piirrettä ei hyödynnetty myrskysimuloinneissa, koska myrskyvika-aineisto ei sisältänyt tietoa reititysmuutoksista. Uudelleenkytkentöjen realistinen mallintaminen olisi vaatinut yksityiskohtaista tietoa erotinasemien ohjausjärjestelmiltä.

5.3.1 Säävarma sähköverkko

Sähköverkon maakaapelointi pienentää merkittävästi sääolosuhteista aiheutuneita vikoja. Maakaapeloinnin mallintamisessa lähdettiin liikkeelle Maanmittauslaitoksen avoimesta aineistosta, jossa on mm. tietoa ilmajohtojen ja merikaapeleiden reiteistä. Aineisto ei sisällä tietoja kaupunki- tai taajama-alueiden maakaapeloinneista vaan niiden osalta muuntamoiden ja erotinasemien liittäminen sähköverkkoon tehtiin ohjelmallisesti. Maakaapeloinnin määrä Maanmittauslaitoksen aineiston pohjalta oli vajaat 8 %:ia. Energiategollisuuden 2014 selvityk-

sestä laskemalla keskimääräinen kaapelointiaste Suomessa on noin 20 % johtokilometreistä. Raaseporin alueella osuus oletetaan olevan hiukan korkeampi. Maankäyttöluokitustietojen pohjalta kohdealueen maakaapelointia kasvatettiin priorisoimalla metsäalueiden kulkevien avojohdojen kaapelointia. Toisaalta osa avoimista peltoalueista jätettiin säävarmoina avojohdolle. Avoimista alueista maakaapeloiduksi määriteltiin 10 % ja metsäalueista 40 %. Näillä arvoilla päästiin Energiateollisuuden ilmoittamiin keskimääräisiin maakaapeliosuuksiin tarkastelualueella. Maakaapelointi tapahtuu simulaattorissa aina sähköasemasta alaspäin, jolloin avojohdo-osuudet jäävät verkon reunoille eli alueille, jossa simulointialueella on etupäässä harvaa asutusta tai kesämökkejä ja vähemmän kriittisiä kohteita.

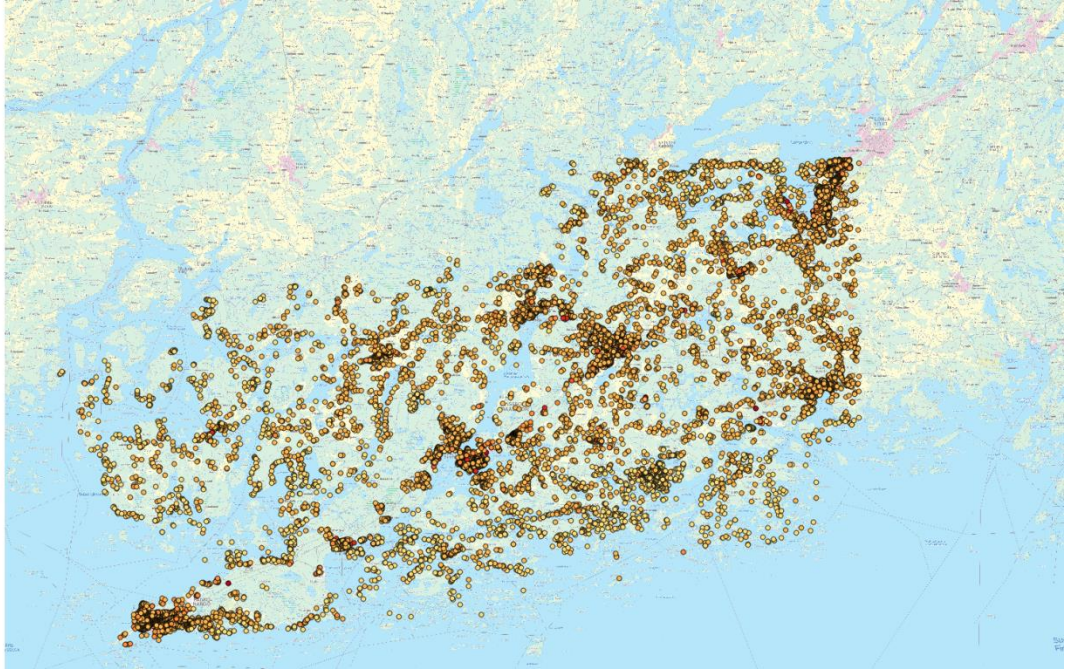
Vuoden 2030 skenaariossa tavoitekaapelointiprosentiksi asetettiin 65 %. Tavoiteprosenttiin päästiin kaapeloimalla kaupunki-, metsä- ja avo-alueita. Kaapelointi voidaan tehdä joko verkko-, sähköasema- tai linjalähtötasolla.

5.3.2 Sähköverkkojen viat

Energiateollisuuden vuoden 2014 keräämien tilastojen [56] perusteella kaupunkialueella myrskystä johtuvat vikaantumiset ovat vähäisiä. Maaseudulla tilanne on toinen. Luonnonilmiöt ovat suurin vikojen aiheuttaja etenkin muuntamoiden ja avojohdojen osalta. Sähköverkkovikojen mallintamisessa käytettiin data-aineistona vuoden 2011 Hannu-Tapani- myrskyn muuntamotason vikatietoja. Tietoja muokattiin vastaamaan vuoden 2016 ja 2030 tilanteita. Aineisto sisältää luonnonilmiöstä ja teknisistä syistä aiheutuneet viat. Simuloinneissa keskityttiin tarkastelemaan vikatapahtumia muuntamo- ja sähkölinjatasolla. Vuoden 2016 ja 2030 simuloinneissa maakaapeloiduilla alueilla vikojen määrää pudotettiin vastaamaan maakaapeloinnin keskimääräisiä laitevikatodennäköisyyksiä ja avojohdoalueilla käytettiin vikatietoja sellaisenaan. Laitevikojen osalta simuloinneissa käytettiin vuoden 2016 ja 2030 osalta samoja todennäköisyyksiä.

5.4 Kriittiset kohteet

Kriittisten kohteiden ja kiinteistöjen mallintamisessa hyödynnettiin Maanmittauslaitoksen ja SYKE:n avointa aineistoa sekä erikseen hankittua kiinteistötietoaineistoa. Tietojen avulla kohdealueella olevat kiinteistöt, joissa on sähköliittymä ja jotka ovat vakinaisessa asumis-, toimitila- tai tuotantokäytössä, liitettiin sähköverkon muuntamoihin. Seuraavassa kuvassa on esitetty alueella olevat simulointimalleihin sisällytetyt kiinteistöt. Alueen kriittiset kohteet valittiin rakennusaineistosta käyttöluokituksen perusteella keskittyen pelastustoimen ja kuntien kannalta kriittisiin kiinteistöihin.



Kuva 21. Simuloinneissa käytetyt tarkastelualueen kiinteistöt.

Suurhäiriötilanteessa toiminta kriittisissä kohteissa riippuu sähkön saannista ja tietoliikenteen toimivuudesta. Simuloinneissa sähkön saanti ilman varavoimaa olevaan kiinteistöön asetettiin riippuvaksi sitä palvelevan muuntamon tilasta. Varageneraattoreilla ja omatuotannolla varustetut kiinteistöt merkittiin energiaomavaraisiksi, jolloin sähkökatkoksilla ei ollut vaikutusta niiden toimintaan. Tietoliikenteen osalta rakennuksiin liittyy yleensä tietoliikenteen tyyppitieto (kuitu tai matkapuhelinyhteys), tietoliikennelaitteiden akkuvarmistusten kestot sekä tukiasemalta lasketun peiton tila. Peittoalue riippuu tietoliikennelaitteen tukemista teknologioista sekä palvelevasta operaattorista sekä siitä onko kiinteistöllä yksi SIM-kortti, useampia SIM-kortteja vai monioperaattori-SIM-kortti käytössä. Simuloinneissa matkapuhelinyhteyksien merkitystä painotettiin, koska suurhäiriötilanteessa sekä väestö että korjaushenkilöstö käyttävät matkapuhelinyhteyksiä hätäpuheluihin ja kriittiseen datasiirtoon. Etenkin harvaan asutuilla alueilla matkapuhelinverkon käyttö korostuu. Myrskysimuloinneissa seurattiin jokaisen kohteen (sähköverkon komponentti, rakennus, tukiasema jne.) sähkösaantia, tietoliikenneyhteyksiä, akkutilaa ja peittoalueen kehittymistä. Poikkeuksena normaaleihin kaupunkialueen peittoalueelaskentoihin, peittoalueiden laskennassa ei käytetty rakennetuilla alueella 3D-rakennusaineistoa. Vaikutukset huomioitiin optimoimalla peittoalueita ajomittauksilla (rakennusten ulkotilavaikutus) sekä asettamalla korkeammat kynnyksarvot puhe- ja datapalvelualueille (rakennusten sisätalavaikutus). Häiriöiden vaikuttavuutta väestöön arvioitiin kiinteistöjen asukasmäärien avulla. Asukasmäärät eivät kuitenkaan yksistään kuvaa vaikuttavuutta riittävästi, koska kriittisissä kohteissa mm. vesilaitoksissa, sairaaloissa, kouluissa ja palvelutaloissa ei ole vakituista asutusta. Tästä syystä häiriöiden vaikuttavuuden arvioinnissa huomioitiin myös rakennusten prioriteetti-alueet.

5.5 Priorisointi ja vikojen käsittely

Sähkö- ja tietoliikenneverkkojen komponenttien sekä kiinteistöjen korjausprioriteetti riippuu kyseisen infrastruktuurin haltijan määrittelyistä. Tietoliikenteen osalta prioriteetti-alueet ovat 1–5 ja korkeimman tason ollessa 1. Tukiasemamastojen prioriteettiin vaikuttaa se, onko tukiasema taajama-alueella vai sen ulkopuolella, onko tukiasemamastossa useamman operaattorin tukiasemia, onko mastossa mikrolinkkejä, joilla tukiasemamasto on yhteydessä ala-asemiin ja mikä on käyttäjien määrä tukiaseman hätäpuhe- ja datapalvelualueella. Simuloinneissa

käyttäjämäärä laskettiin operaattorin markkinaosuuden sekä hätäpuhealueella vakinaisesti asuvien käyttäjien määrästä. Prioriteetin määrittelyssä ei huomioitu LTE-tukiasemia, koska ne kytketään pois päältä hyvin pian sähkökatkoksen alkaessa (15 min).

Prioriteetti	Ehto
1	käyttäjää \geq 200000
2	käyttäjää \geq 50000 tai kaikkien operaattoreiden mastopaikka
3	käyttäjää \geq 1000 tai kahden operaattorin maastopaikka tai tukiasemalla on mikrolinkkejä
4	käyttäjää \geq 250
5	Kaikki muut

Sähköverkon korjaustöiden priorisointi vaihtelee sähköyhtiöittäin. Yleisesti ottaen sähköyhtiö priorisoi toimintakyvyn turvaavia kohteita, yhteiskunnallisesti kriittisiä kohteita (kuten sairaalat, vedenottamot, jätevesipumppaamot ja VIRVE-tukiasemat) sekä alueita, joilla on mahdollista palauttaa nopeasti sähköt suurelle määrälle asiakkaita tai kohteita, joissa sähköttömyys johtaa suuriin taloudellisiin menetyksiin [57]. Käytännön tilanteissa tapahtuva keski- ja pienjänniteverkon vikojen priorisointi ja suurhäiriön korjauksen eteneminen on kuvattu lähteessä [57] ja Elenian kehityskohteet vikojen priorisoinnin suhteen lähteessä [27]. Simuloinneissa sähköverkon komponenttien priorisoinnin toteutus oli erilainen vuoden 2016 ja 2030 skenaarioiden osalta, joten on kuvattu tarkemmin seuraavassa luvussa kunkin skenaarion sähköverkkoinfrastruktuurin kuvauksen yhteydessä.

Simuloinneissa kiinteistöjen ja kriittisten kohteiden priorisointiin käytettiin Raaseporin asukas- ja rakennustietoja. Prioriteettimääritykset pohjautuivat rakennusten käyttöluokitustietoihin, joiden arvoasteikoksi määriteltiin 1–7 ylimmän prioriteetin ollessa 1. Rakennusten luokittelu on esitetty tarkemmin liitteessä 1 olevassa taulukossa. Kriittisiksi kohteiksi valittiin prioriteettia 4 korkeammat kohteet. Varavoiman kesto sekä tietoliikennetyyppi asetettiin kriittisissä kohteissa kohteen prioriteetin perusteella.

Sähköverkon vikojen korjausaikojen ennustamisessa käytettiin Hannu-Tapani-myrskyn vikakestotilastoja sekä Energiategollisuuden julkaisemia keskimääräisiä vikakestotilastoja [56]. Sähkö- ja tietoliikenneverkkosimulaattoriin ei toteutettu vikojen optimaalista korjausta, kenttäresurssien ohjausta ja hallintaa vaan simuloinneissa käytettiin suoraan hyväksi sähköyhtiön Hannu-Tapani-myrskyn vika-aineistoa sekä data-analyysiä.

Vika-aineiston tarkastelussa hyödynnettiin sähköyhtiön omaa jäsentelyä myrskyn eri vaiheista, eri vaiheiden aktiivisista toimijoista sekä korjattavista vioista. Myrskyntilanteen ensimmäiset viankorjaukset ovat tyypillisesti käyttökeskuspainotteisia vian rajauksia tai kaikkein kriittisimpien kohteiden korjausta. Tätä seuraa kenttäkorjausten vaihe, joka etenee vikojen priorisoinnin ja resurssien mukaisesti. Data-analyysissä Hannu-Tapani-myrskyn vikadata luokiteltiin neljään eri luokkaan vian todellisen korjaushetken perusteella:

- automaatiokorjaukset (käyttökeskuspainotteiset korjaukset),
- priorisoidut korjaukset (sähköverkon komponenttien priorisoidut korjaukset),
- uudelleenkytkennät (korjaustöihin liittyvä uudelleenkytkentä tms.) sekä
- muut korjaukset

Hannu-Tapani-myrskyn vikataltioinneissa viat esiintyvät muuntamotason vikaviesteinä eli yksittäinen vikatapahtuma on synnyttänyt omat vikatapahtumat vikaantuneen kohdan alla

oleville muuntamoille. Ennen simulointia samaan vikatapahtumaan liittyvät vikaviestit pyrittiin tunnistamaan klusteroimalla vikaviestit linjalähdön sekä vian alku- ja päättymishetken mukaan. Kaikille klusterin vikaviesteille määritellään yhteiset vikakesto- ja prioriteettiarvot. Vikaviestien klusterointi on yksinkertaistus ratkaisusta, jossa sähköverkon rakenteen perusteella rakennettaisiin vikaviesteistä myös hierarkkinen vikatapahtumapuu, jossa vain ylimmän tason viestit välitetään simulaattorille. Nämä vikatapahtumat itsessään aiheuttavat vikojen eskaloitumisen simulaattorin sähkö-, tietoliikenne- ja kriittisissä kohteissa. Nykyisessä toteutuksessa vikaviestejä lähetään huomattavasti enemmän muuntamotasolla. Näin ollen yksittäisen vikaviestin vaikutus häiriön eskaloitumiseen on paikallinen, mutta suuri viestien määrä varmistaa saman lopputuleman. Vuoden 2016 skenaarion simuloinnissa käytettiin alkuperäisiä vikaviestien alku- ja päättymistietoja ottaen huomioon kasvaneen maakaapelointiasteen vaikutus. Tulevaisuusskenaarion simuloinnissa vian päättymisajankohtaan vaikuttivat yleinen vikapaikannuksen nopeutuminen, automaation lisääntyminen sekä tilannekuvajärjestelmän toimittamat korjauspriorisointilistat.

Tietoliikenneverkon ja kriittisten rakennusten osalta tarkkoja vikatietoja ei ollut saatavissa, joten simuloinneissa tietoliikenneverkon ja kriittisten kohteiden vikatapahtumat johdettiin sähköverkon vikatapahtumista ottamalla huomioon akkujen kestot sekä generoimalla tilastotietojen pohjalta myös myrskystä aiheutuneita laitevikoja. Laitevika voi johtua joko siitä, että tietoliikennelaite vioittuu suoraan myrskystä (tuuli tai kaatunut puu) tai välillisesti jännitepiikistä ja ohjelmisto-ongelmasta niin, ettei se ei käynnisty sähköjen palautuessa. Näiden mallintamisessa käytettiin Ficoran tietoliikennelaitevikatilastoja [55]. Hybridivika-skenarioon sisältyi myrskyn lisäksi myös paikallinen kyberhyökkäys, jonka voidaan olettaa kohdistuvan joko sähkö- tai tietoliikenneverkkoon. Haastattelujen perusteella hyökkäys matkapuhelinverkon tukiasemiin ei ollut kovin kriittinen, koska yksittäisen tukiaseman kautta vaikutusmahdollisuudet ovat varsin pienet ja tukiasemaan kiinnittyneeltä haittalaitteelta voidaan evätä pääsy verkkoon varsin nopeasti. Merkittävämpänä ongelmana pidettiin kyberhyökkäystä etäohjattaviin sähköverkon komponentteihin. Sähköasemat on hyvin tietosuojattuja, joten mahdollinen hyökkäys kohdistuu todennäköisimmin vähemmän suojattuihin komponentteihin kuten etäohjattaviin erotinasemiin. Tulevaisuuden skenaariossa simuloitiin tätä tapausta, jossa joukko erotinasemia joutuu kyberhyökkäyksen kohteeksi, mikä estää sähkösiirron erotinasemasta alaspäin.

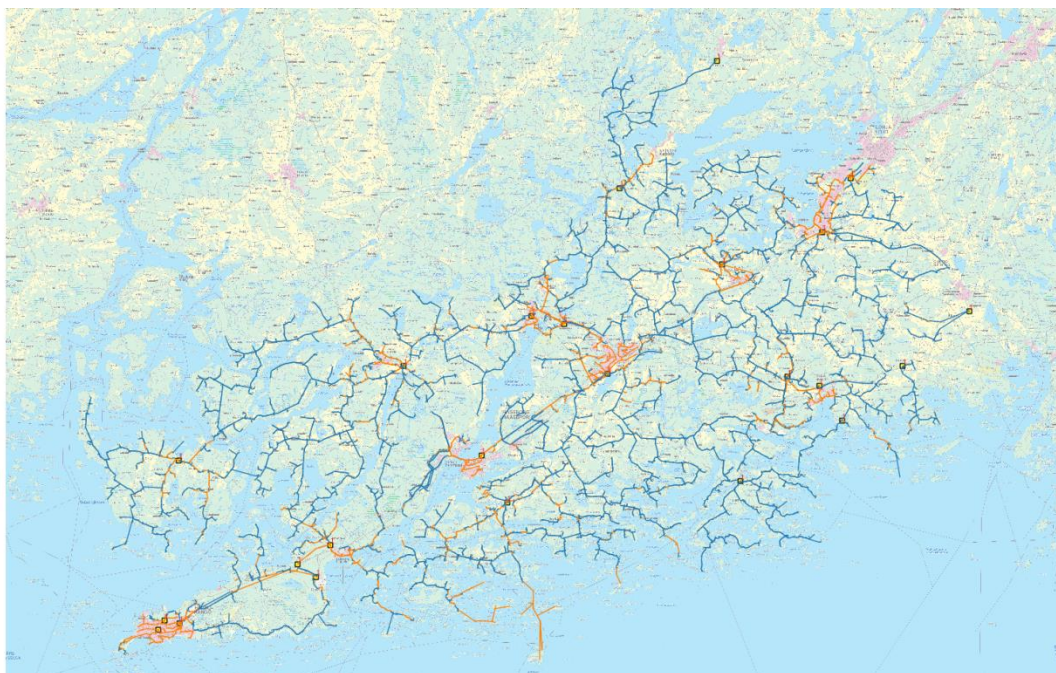
Edellä mainituista syistä simuloinneissa esiintyi päällekkäisiä vikatapahtumia, jotka voivat olla tietoturva-, sähköverkko- tai tietoliikennevikoja ja ne voivat kohdistua suoraan verkko-komponenttiin itseensä tai muihin verkkokomponentteihin, joiden toiminnasta ko. komponentti on riippuvainen. Ohjelmistototeutuksessa noudatettiin periaatetta, jonka mukaan komponentti on toiminnassa vain jos se itse ja tietorakenteessa sen yläpuolella olevat komponentit ovat toimintakunnossa. Vikojen suhteen seurattiin oliko kyseessä muiden komponenttien kybervika, oma kybervika, muiden komponenttien sähkövika, oma sähkövika, muiden komponenttien tietoliikennevika, oma tietoliikennevika tai tietoliikenneakun loppuminen.

6 INFRASTRUKTUURIMALLIT JA HÄIRIÖSKENAARIOT

6.1 Nykytilanteen infrastruktuurimalli

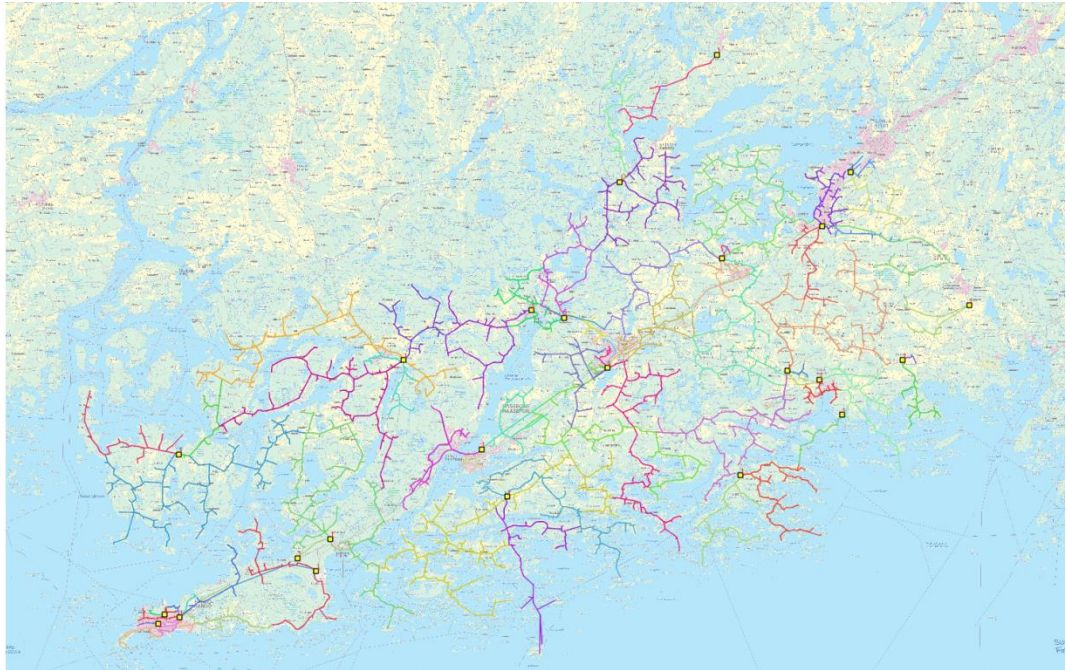
Nykytilanteen infrastruktuurimalli luotiin yhdistämällä asiantuntijahaastattelujen, avoimen datan ja kenttämittausten tuloksia. Näistä tiedoista muodostettiin sähköverkko-, tietoliikenneverkko-, rakennus- ja väestömalli sekä 3D-korkeusmalli. Malli toteutettiin siten, että se täyttää tilannekuvajärjestelmän kaksi ensimmäistä vaatimusta: a) *Sen tulee tarjota hyvä käsitys kaikista kriittiseen infrastruktuuriin sisältyvistä komponenteista ja niiden välisistä riippuvuuksista* ja b) *Sen tulee tarjota mahdollisimman tarkka ymmärrys nykytilanteesta*.

Sähköverkkomalli luotiin avoimesta aineistosta täydentäen sitä Carunan Raasepori-alueen sähkönverkkotiedoilla ja Hannu-Tapani-myrskyn vikaraporteilla. Mallinnetun sähköverkon kokonaispituus on 1738 km, josta 22,2 % on maakaapeloitu. Nykytilanteen osalta lähdettiin siitä, että taajama-alueet ja lähellä sähköasemia olevat alueet ovat maakaapeloituja. Näin ollen ilmajohtojen osuus verkkomallissa on suurin verkon reunoilla asutuskeskusten ulkopuolella. Oheisessa kuvassa (Kuva 22) sininen viiva edustaa ilmajohtoja ja oranssi sekä maakaapeloituja että merikaapeloituja osuuksia sähköverkossa.



Kuva 22. Vuoden 2016 simuloinnissa käytetyt ilma- ja maakaapeloinnit.

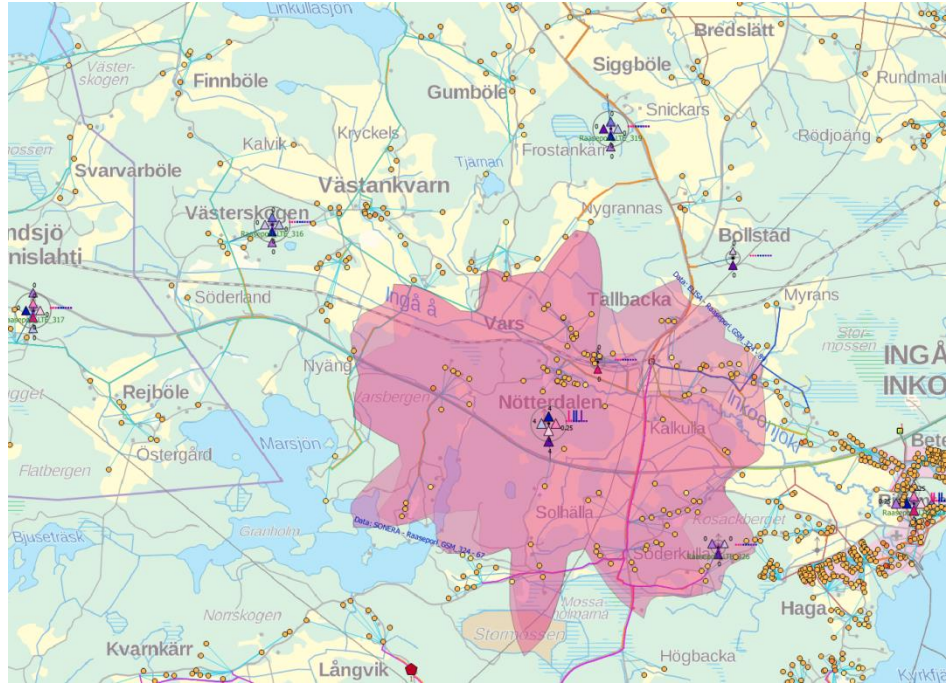
Sähköverkkomallin pohjautuu ensisijaisesti avoimeen aineistoon, joten se ei ole tarkka malli todellisesta verkosta, mutta kuitenkin riittävän tarkka mallintamaan verkossa tapahtuvia keskinäisriippuvia vikatilanteita. Sähkölinjojen ja komponenttien priorisointi toteutettiin nykytilanteen infrastruktuurimalliin staattisella prioriteettiluokituksella, jossa johtosegmentin prioriteettitaso määräytyy johtimen varrella olevan kriittisimmän kohteen perusteella. Oheisessa kuvassa (Kuva 23) em. prioriteettitasot (1–7 prioriteettiluokkaa) on esitetty eri väreillä.



Kuva 23. Vuoden 2016 johtosegmenttien priorisointi.

Tietoliikenneverkkomalli pohjautuu Raaseporin alueella tehtyihin kuuluvuusmittauksiin ja Maanmittauslaitoksen mastoaineiston perusteella laskettuihin tukiasemien peittoalueisiin ja tukiasemapaikkoihin. Malli ei ole niin tarkka kuin operaattoreiden omat peittoaluekartat, mutta riittävä mallintamaan matkapuhelinverkon toimintaa häiriön aikana kohdealueella. Nykytilanteen infrastruktuurimallissa GSM-verkko toimi perusverkkona tarjoten hätäpuhelupalvelut sekä pääosan etämonitorointi- ja -ohjauspalveluista (GPRS). Hätäpuhelut menivät saatavilla olevan operaattorin kautta, kun taas sähköverkon ohjausliikenne oli palveluoperaattori-riippuvaa. Nykytilanteen simuloinnissa päätelaitteen tukemat operaattorit ja verkkoteknologiat oli määritelty erikseen jokaiselle etäohjausta tukevalle sähköverkkokomponentille ja kriittiselle kohteelle. Kaikki sähköasemat oli määritelty etäohjattaviksi ja 90 % kaupunkialueen sähköasemista oli varustettu tietoliikennekuidulla. Muuntamoista 4 % määriteltiin etäohjattaviksi ja niistä 70 % toimimaan langattomien verkkojen varassa. Operaattoriosuudet päätelaitteissa asetettiin vastaamaan kesän 2016 operaattoreiden markkinaosuuksia. Ympäristö- ja rakennusmallit luotiin Maanmittauslaitoksen ja SYKE:n aineistosta. Mallissa on rakennuksia 18 000 ja asukkaita kohdealueella lähdeaineiston perusteella 56 600.

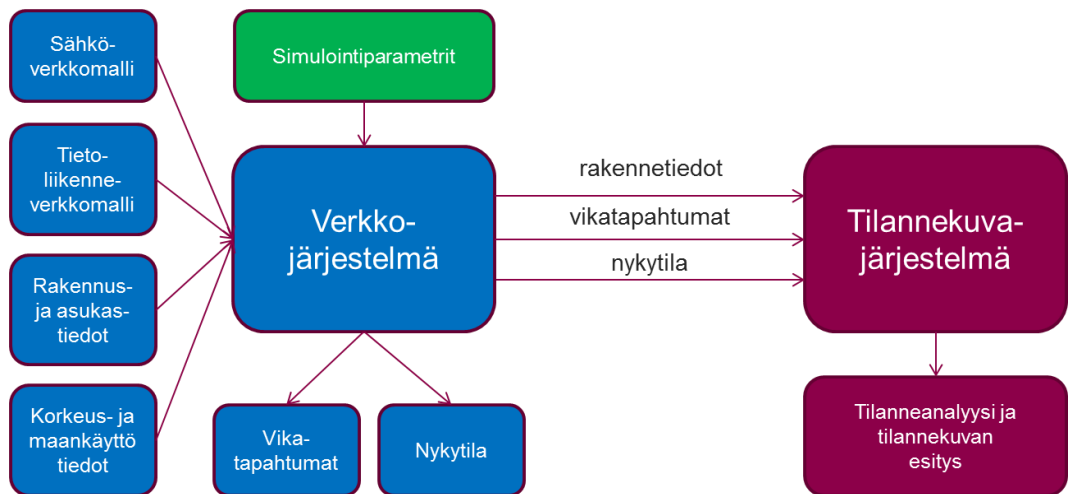
Seuraavassa kuvassa on esitetty esimerkki yhden maston datapalvelualueesta. Mastossa on useamman operaattorin tukiasemia (tukiasema esitetty kolmiona). Kuvassa pystytolpilla on esitetty maston akun kestot eri teknologioilla. Kuvassa keltaiset ympyrät esittävät alueen rakennuksia ja punainen monikulmio kriittistä kohdetta.



Kuva 24. Vuoden 2016 tukiaseman palvelualue.

6.1.1 Nykytilanteen simuloinnin kulku ja vikatapahtumien hallinta

Oheisessa kaaviossa (Kuva 25) on esitetty nykytilanteen simuloinnin kulku pääpiirteissään. Simulointiparametrit ohjaavat tietoliikenneverkko-, sähköverkko- ja rakennus- ja ympäristömallien luontia lähtöaineistoista samoin kuin myös vikatilanteiden simulointeja, tulosten taltiointia ja visualisointia. Häiriötilanteen mallintaminen on toteutettu tapahtumapohjaisesti. Simulaattorille annetaan tiedoston tai datayhteyden yli laite- ja luonnonilmiöstä johtuvia vikatapahtumia, jotka kohdistuvat sähkö- ja tietoliikenneverkkoon tai kriittisiin kohteisiin. Järjestelmä generoi jokaista vikaviestiä kohti siitä eri verkoille aiheutuneet vikatapahtumat, ja välittää ne tilannekuvajärjestelmälle yhdessä peittoalue-ennusteiden kanssa tilanneanalyysiä ja tilannekuvaesitystä varten. Vikatapahtumat ja periodiset tilastot tallennetaan tiedostoihin jälkiprosessointia varten.



Kuva 25. Vuoden 2016 infrastruktuurimalliin liittyvä tiedonvaihto.

Liitteessä 2 olevassa taulukossa on esitetty rajapinnat eri tietolähteisiin sekä liittynät verkkojärjestelmän ja tilannekuvajärjestelmän välillä vuoden 2016 skenaarion simuloinnissa.

Ennen häiriösimuloinnin alkua sähkö- ja tietoliikenneverkon rakenne ja rakennukset välitetään tilannekuvajärjestelmälle. Tämän jälkeen ladataan vikaraportit sähkö-, tietoliikenne- ja laitevikatiedoista ja muunnetaan alkamis- ja päättymishetken perusteella kahdeksi tapahtumaksi: vikaantumiseksi ja toipumiseksi. Tapahtumat lajitellaan aikajärjestykseen, luokitellaan ja annetaan simulaattorille yksi kerrallaan. Mikäli viestien välissä on pitkä tauko (yöaika), niin ohjelma generoi päivitysviestejä, joilla sähkö- ja tietoliikennekomponenttien ja rakennusten tilat mm. akkujen osalta päivitetään. Mikäli alkuperäinen vikatapahtuma on ilmajohtoalueella, simuloinnissa aiheutetaan vastaava vikatilanne kyseiseen komponenttiin. Vian vaikutus eskaloituu automaattisesti komponentin alla oleviin muihin komponentteihin. Mikäli vika on kaapelialueella (ja kyseessä ei ole tekniseksi laiteviaksi määritelty vika), niin vikaa ei aiheuteta komponenttiin, koska vikatapahtuma on ollut säävarmalla alueella. Nykytila skenaariossa kaikki ilmajohtoalueen viat luodaan alkuperäisestä vika-aineistosta sekä erikseen 5 % maakaapelialueelle osuneista vioista (tekninen laitevika).

Sähkösaannin häiriytyessä tukiasemapaikat ja kriittiset kohteet siirtyvät akkukäyttöön. Niiden tietoliikennekyky säilyy, kunnes akut ehtyvät tai vika on korjattu. Teknisen laitevian yhteydessä laitteen tietoliikenne estyy riippumatta siitä, onko komponentilla akkua vai ei. Tukiaseman vikaantuminen johtaa matkapuhelinpeiton ohenemiseen. Kun riittävän moni tukiasema laajalla alueella on vikaantunut, niin ohentuneeseen peittoalueeseen alkaa muodostua reikiä ensiksi datapalvelun osalta ja myöhemmin pahimmassa tapauksessa myös hätäpuhelupalveluiden osalta. Näillä katvealueilla etähallintalaitteiden kommunikaatio ei onnistu vaikka tietoliikennelaitteilla olisi sähköä ja se olisi toimintakunnossa. Korjaustöiden edetessä simulaattoriin alkaa tulla toipumisviestejä ja verkot alkavat pikkuhiljaa palautua vikatilanteesta. Pieni osa tukiasemista ja kriittisten kohteista ei palaudu normaalitilaan. Syynä on myrskyn aiheuttama suora tai välillinen laitevika, jolloin sen korjausaika on pidempi. Nykytilanteen tapauksessa verkon korjauksessa ei käytetä tilannekuvajärjestelmän priorisointia, joten korjausajat ovat samoja kuin Hannu-Tapani-myrskyssä raportoidut.

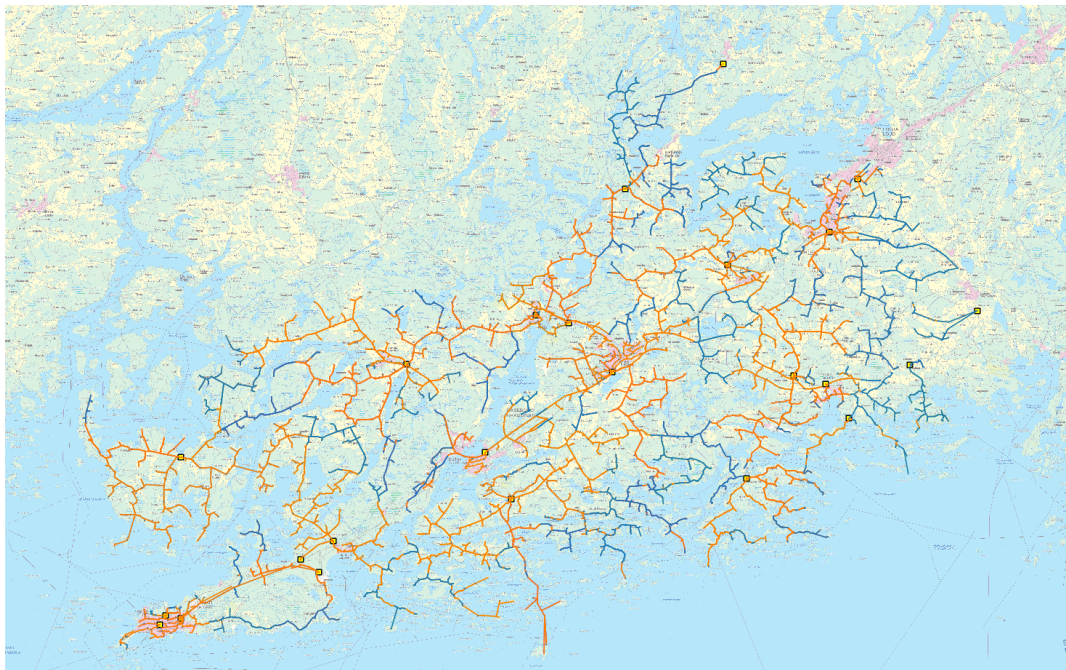
6.2 Vuoden 2030 tilanteen infrastruktuurimalli

Vuoden 2030 infrastruktuurimalli pohjautuu pääpiirteissään vuoden 2016 mallirakenteeseen. Siihen toteutettiin lisäksi piirteitä, jotka mahdollistivat tilannekuvajärjestelmän kolmannen perusvaatimuksen toteutumisen: *Sen tulee kyetä peilaamaan nykytilanne ja järjestelmien tila tulevaisuuteen.* Verkkosimulaattoriin toteutettiin lähiajan ennusteiden laskenta ja välitys tilannekuvajärjestelmälle, joka puolestaan laajennettiin tekemään nykytilan ja ennusteen perusteella vaikuttavuuspäätöksiä ja palauttamaan simulaattorille korjausprioriteettilistan, jolla yksittäisen järjestelmän sijasta kaikkien kriittisten infrastruktuureiden toipumista häiriötilanteesta oli mahdollista nopeuttaa.

Tulevaisuuden ennustaminen sisältää paljon epävarmuutta, koska sähkö- ja tietoliikenneverkot ovat murroksen keskellä. Tästä syystä vuoden 2030 simulointimalliin otettiin vain ne kehitysnäkymät, joista haastatteluissa vallitsi suurin yksimielisyys. Ennustettu trendi sähköverkoissa on se, että sähköverkon hallinta siirtyy keskitetystä hajautettuun ratkaisuun, tietoliikenteen määrä eri verkkokomponenttitasoilla lisääntyy ja sähkönsiirto tulee kaksisuuntaiseksi. Hajautettu sähköverkon hallinta vaatii enemmän automatisointia ja tiedonvälitystä eri sähköverkkokomponenttien välillä. Automaation myötä sähköverkon älykkyys kasvaa ja yhä suurempi osa häiriöistä saadaan korjattua automaation avulla. Uusiutuvan energian osuus tuotannossa, varastoinnissa ja käytössä lisääntyy. Sähköverkkojen säävarmuuden lisääminen pienentää sääoloista johtuvien vikojen määrään merkittävästi. Jäljelle jäävät laitteiden tekniset viat ja mahdolliset avojohtoviat sähköverkon etäreunoilla. Haastattelujen perusteella maakaapelivian korjaaminen kestää tyypillisesti pidempään kuin avojohtovian. Avojohtojen

korjaamiseen taas ennustetaan tulevaisuudessa olevan vähemmän resursseja ja osaamista, mikä pidentäisi avojohtovikojen korjausaikoja. Säävarmaan sähköverkon osaan tulee tulevaisuudessa toisaalta huomattavasti vähemmän luonnonilmiön aiheuttamia vikoja, jolloin korjausryhmät pääsevät nopeammin linjalähdöstä verkon latvaan ja näin ollen keskimääräinen linjan korjausaika pysyy todennäköisesti nykyisellä tasollaan. Vastavuoroisesti erotinasemien määrän lisäämisen odotetaan helpottavan vikaantuneiden alueiden eristämistä, jolloin vikojen vaikutusalueet jäisivät pienemmiksi.

Vuoden 2030 sähköverkkomalli toteutettiin em. peruseriaatteita noudattaen. Etäohjattavien komponenttien ja erotinasemien määrää kasvatettiin ja säävarmuutta lisättiin maakaapelimäärää kasvattamalla. Maakaapeloinnin osuus satureitui 65 - 80 % tavoitelaan. Kaikki sähköasemat ja 33 % muuntamoista asetettiin etäohjattaviksi siten, että kuituyhteys tuli 90 % sähköasemista ja 30 % muuntamoista (painotus kaupunkialueilla). Alla olevassa kuvassa (Kuva 26) on esitetty sähköverkon vuoden 2030 malli säävarmojen johtojen ja avojohtojen osalta. Kuvassa sininen viiva edustaa ilmajohtoja ja oranssi sekä maakaapeloituja että merikaapeloituja osuuksia sähköverkossa.



Kuva 26. Sähköverkon säävarmojen johtojen ja avojohtojen osuudet vuoden 2030 simuloinnissa.

Hajautetusta energiantuotannosta arvioidaan saatavan merkittävää hyötyä sähkön laatuun etenkin sähköverkon reunoilla. Se tarjoaa joustavamman ja nopeamman kysynnänjouston. Simuloinnissa ei otettu kantaa sähkön laatuun tai sen kapasiteettimuutoksiin. Kiinteistöjen osalta ennusteet uusiutuvien energiamuotojen (kuten lämpöpumppu, tuuli ja aurinko) osuudesta ovat varsin maltillisia ja siten sähköntuotannon kannalta täydentäviä. Suurvikatilanteissa haasteena on se, että uusiutuvan energian tuotanto riippuu sääolosuhteista, sen säädettävyys on rajoitetumpaa, sähkön laatu on vielä riippuvainen kantaverkon taajuuden ja jännitteen säädöstä ja energian varastointi on teknisesti ja taloudellisesti haastavaa. Tästä syystä uusiutuvien energiamuotojen vaikutukset simulointimallissa näkyvät pienimuotoisena saarekekäyttönä. Pieni 3 % osuus alueen rakennuksista määriteltiin energian suhteen omavaraisiksi, joten näihin pitkäkestoinen sähkökatkos ei vuoden 2030 simuloinnissa vaikuttanut.

Toisin kuin vuoden 2016 infrastruktuurimallissa, myrskyvikasimuloinneissa vikakohteiden priorisoinnissa käytettiin sähkölinjahaaroihin perustuvaa priorisointia (Kuva 27). (Kuvassa värit edustavat prioriteettiluokkia 1–7.) Tilannekuvajärjestelmä osallistui korjaustoimintaan

priorisoimalla korjattavia kohteita, jolloin sähkö- ja tietoliikenneverkon komponenttien sekä kriittisten kohteiden prioriteetti muuttui dynaamisesti tilanteen mukaan. Sähköverkon automaation ja älykkyiden kasvua mallinnettiin simuloinnissa vikojen lyhyempinä korjausaikoina.



Kuva 27. Sähköverkon korjausprioriteetti (alkutilanne). Prioriteettia muutettiin simuloinnin aikana tilannekuvajärjestelmältä tulevien prioriteettilistojen mukaan.

Tietoliikenneverkkojen osalta vuoden 2030 tilannetta oli vaikeampi ennustaa. Todennäköisintä on se, että LTE-teknologia ja sitä seuraavien sukupolvien merkitys kasvaa sekä verkkojen etäohjauksessa ja -monitoroinnissa kuin viranomaistoiminnassakin. Tietoliikennepuolella siirrytään konvergoituihin verkkoteknologioihin (veturina 5G) ja IoT-pohjaisiin etäsensorointiratkaisuihin. GSM- ja UMTS-teknologioiden merkitys vastaavasti pienenee. Ennustettu trendi päätelaitteiden puolella on radioteknologiariippuvuuden pieneneminen mm. 5G-teknologian tuoman konvergenssin myötä. Operaattorit pystyvät käyttämään joustavammin ja tehokkaammin lisensoimiaan taajuuskaistojaan, kun päätelaitteissa on multitekniologiatuki. 5G-teknologia tuo mukanaan pienempiä soluja tietoliikennekapasiteetin kasvattamiseksi. Niiden käytön ennustetaan pitkälti keskittyvän kaupunkeihin, joissa sähkönjakelu ei ole sääriippuvaa. Maaseudulla ja taajama-alueen ulkopuolella tukiasemaverkoston oletetaan pysyvän pitkälti samanlaisena. Merkittävää määrää uusia mastoja ei todennäköisesti rakenneta. Teknologiapäivitysten myötä tukiasemien kapasiteetti paranee, mutta samalla vauhdilla käyttäjien (ihmisten ja koneiden) kapasiteettitarve kasvaa. Tästä syystä verkkojen kuormitustason ennustetaan pysyvän samalla tasolla kuin nykyisissä kaupallisissa tietoliikenneverkoissa. Vuoden 2030 tapauksessa hätäpuhelujen rinnalle voivat nousta myös hätämultimedialpalvelut, jotka vaativat nykyistä enemmän tietoliikennekapasiteettia.

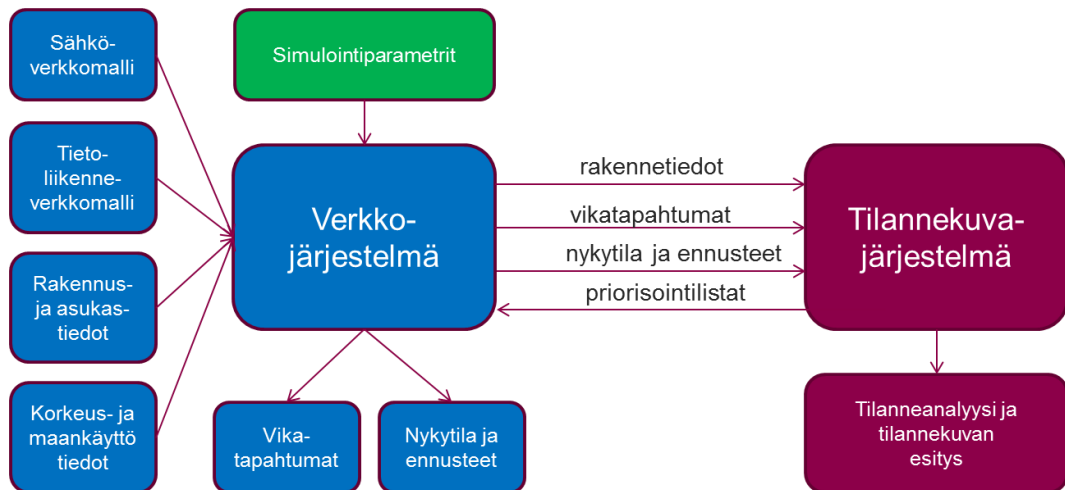
Vuoden 2030 infrastruktuurimallissa tukiasemien määrä pidettiin taajama-alueen ulkopuolella samanlaisena kuin nykyään. Verkkokonvergenssin ja taajuusalueiden yhdistelyn myötä operaattoreilla tulee olemaan laajempi taajuusalue käytettävissään ja päätelaitteet osaavat hyödyntää sitä. Tästä syystä kuuluvuuden ennustaminen perustuu eri teknologioilla saadaan yhtenäiseen peittoon yhden teknologian sijasta. Matkapuhelinpeiton merkitys korostuu niin kriittisten kohteiden kuin sähköverkon osalta. Vuoden 2030 infrastruktuurimallissa etäohjattavia komponentteja on merkittävästi enemmän ja yhteiskunnan digitalisoitumisen myötä yhä useampi kotitalous on riippuvainen tietoliikenteestä. Tästä syystä tietoliikenteen

saatavuuden analysointia laajennettiin kriittisistä kohteista kaikkiin vakinaisessa asumis-, toimitila- tai tuotantokäytössä oleviin rakennuksiin.

Simuloinneilla tutkittiin myös monioperaattori-SIM-korttien yleistymistä loppukäyttäjien parissa sekä operaattoreiden välistä MAA-palvelua, jonka avulla matkapuhelinoperaattorit voisivat yhdessä tarjota sähköyhtiöille ja muille kriittisen infrastruktuurin toimijoille luotettavia tietoliikenneyhteyksiä ja riittävästi kapasiteettia. Häiriö- tai ruuhkautumistilanteen yhteydessä liikenne välitettäisiin useamman operaattorin kautta. Tulevaisuuden simulointimallissa MAA-toiminnallisuus toteutettiin siten, että kaikille sähköverkon päätelaitteille määriteltiin 3 operaattorin yhteis-SIM-kortti käyttöön.

6.2.1 Vuoden 2030 tilanteen simuloinnin kulku ja vikatapahtumien hallinta

Tilannekuvajärjestelmässä korostuu tarve peilata hetkellinen tilanne ja järjestelmien tila tulevaisuuteen. Ennusteiden avulla on mahdollista saada tarkempi arvio siitä, miten tilanne tulee kehittymään, jolloin kyetään tekemään ennakoivia päätöksiä. Vuoden 2030 tilanteen simuloinnissa tilannekuvajärjestelmä asetettiin saamaan verkkosimulaattorilta nykytilan lisäksi ennustetietoa tilanteen kehittymisestä seuraavien tuntien aikana. Ennusteella tarkoitetaan tässä tapauksessa sitä, mitä tulisi tapahtumaan seuraavien tuntien aikana, jos nykytilanteelle ei tehtäisi mitään. Ennusteessa ei huomioitu myrskyn aiheuttamia ennustettuja lisävikoja (mikä vaatisi myrskysolun etenemisen mallintamisen) tai ennusteen aikana mahdollisesti tehtäviä korjauksia tai uudelleen priorisointeja (yksittäiset korjaukset/viat voivat synnyttää monimutkaisia tapahtumaketjuja). Nykyinen tila ja ennusteet vaikuttivat korjausten priorisointiin tilannekuvajärjestelmän puolella.



Kuva 28. Vuoden 2030 infrastruktuurimalliin liittyvä tiedonvaihto.

Liitteessä 2 olevassa taulukossa on esitetty laajennukset verkkojärjestelmän ja tilannekuvajärjestelmän rajapintoihin vuoden 2030 simuloinnin osalta.

Vuoden 2030 simulointiajojen vikalähteenä käytettiin Hannu-Tapani- myrskyn vikadataa siten, että olemassa olevaa vikadataa muokattiin sisältämään epäsuorasti tietoa sähköverkkotoimijan korjausten priorisoinneista, korjausten etenemisestä alueittain, korjausten resursoinneista sekä sähköverkon automaation lisääntymisestä lyhentämällä vikojen korjausaikoja. Toinen vaihtoehto olisi ollut generoida satunnaiset vikojen korjausajat eri tilanteisiin sopivista korjausaikojen jakaumista. Tämä vaihtoehto jätettiin kuitenkin jatkokehitykseen. Seuraavassa taulukossa (Taulukko 21) on esitetty vuoden 2030 simuloinneissa käytetyt sähköverkon vikojen korjausajat suhteessa alkuperäisiin vikojen korjausaikoihin.

Taulukko 21. Sähköverkon vikojen korjausajat vuoden 2030 skenaariossa.

	Ilma- johto (alue A)	Korjausai- ka	Ilma- johto (alue B)	Korjausai- ka	maa- kaapeli (alue A)	Korjausai- ka
Automaatiokorjaukset	100 %	40 %	-	100 %	2 %	40 %
Priorisoidut korjaukset	100 %	60 %	-	100 %	5 %	40 %
Muut korjaukset	80 %	80 %	20 %	100 %	5 %	80 %
Uudelleenkytkennät	100 %	40 %	-	100 %	30 %	40 %

Taulukosta näkyy mm., että automaatio- ja käyttökeskusvaiheessa olevista vioista, jotka ovat maakaapeloidulla alueella, otettiin simulointiin mukaan 2 % ja näiden korjausaika arvioitiin olevan 40 % Hannu-Tapani-myrskyn tapauksesta. Korjausaikojen siis oletetaan nopeutuvan järjestelmien kehittymisen ansiosta. Nämä viat mallintavat pääasiassa myrskyn aikana tapahtuvia teknisiä vikoja. Vastaavasti ilmajohtoalueella kaikki automaatiokorjausvaiheen viat sisällytettiin simulointiin ja niiden käsittelyn arvioitiin olevan 40 % alkuperäisestä korjausajasta. Priorisoituja korjauksia oletetaan tulevan vähän, koska kyseiset alueet ovat tulevaisuudessa pääosin maakaapeloitu. Maakaapeloidut alueetkaan eivät kuitenkaan ole täysin turvassa häiriöiltä, joten 5 % vika-aineistossa olevista vikatapahtumista otettiin laitevikoina mukaan simulointiin. Korjausteknologian kehittymisen myötä priorisoidun korjauksen ennustettiin olevan 40 % alkuperäisestä vian kestosta. Mikäli vika oli priorisoidulla ilmajohtoalueella, se otettiin aina mukaan simulointeihin korjausajan ollessa 60 % Hannu-Tapani-myrskyn korjausajasta. Korjausajan lyhentymisen perustuu siihen, ettei myrskyssä enää tule suurta vikamassaa ja priorisoituun kohteeseen pystytään lähettämään korjaajat nopeammin kuin Hannu-Tapani-myrskyn aikana. Muut korjaukset -vaiheessa korjataan pääosin verkon ei-kriittisiä osia kuten verkon reuna-alueita. Kaikki ilmajohtoalueella olevat tämän tyyppiset viat otettiin mukaan simulointeihin. Niistä 80 % korjausajan ennustettiin olevan 80 % myrskyvian korjausajasta ja 20 % vikoja korjausaika ei nopeutunut, koska korjauskapasiteetista ja avojohtokorjausten osajista arvioitiin tulevaisuudessa olevan pulaa. Maakaapelialueella vikojen arvioitiin olevan pääosin vain laitevikoja (5 %) ja niiden kestoksi arvioitiin 80 %:ia alkuperäisestä korjausajasta. Teknologian kehittymisen ja automaation lisääntymisen vuoksi korjauksiin liittyvien uudelleenkytkentöjen keston arvioitiin olevan 40 % alkuperäisestä ajasta. Koska uudelleenkytkentöjä tarvitaan kaapelialueella huomattavasti avojohtoalueita vähemmän, simulointiin sisällytettiin kaapelialueella vain 30 % alkuperäisen vika-aineiston uudelleenkytkentätapahtumista kun avojohtoalueella näistä huomioitiin kaikki.

Tulevaisuudessa yksi merkittävä ero nykytilanteeseen verrattuna on se, että tässä työssä toteutetun kaltainen tilannekuvajärjestelmä pystyy tarkastelemaan eri infrastruktuurien tiloja yhdessä, valikoimaan kokonaisuuden kannalta tärkeimpiä korjauskohteita ja priorisoimaan korjauskohteita dynaamisesti myrskytilanteen kehittymisen myötä. Näin ollen parantuneen tilannekuvan myötä myös päätöksenteossa useiden eri infrastruktuurien tarpeet tulevat huomioiduiksi. Em. päätöksentekologiikka mallinnettiin vuoden 2030 simulointimalliin siten, että tilannekuvajärjestelmä tuotti verkkosimulaattorille priorisointilistan, jossa oli luettelo kiireellisimmistä korjattavista kohteista. Verkkosimulaattori puolestaan lyhensi priorisoitujen vikakohteiden korjausaikoja.

7 SUURHÄIRIÖ INFRASTRUKTUURIEN NYKYTILANTEESSA

Tässä luvussa esitetään simulointitulokset infrastruktuurien ylläpitäjien näkökulmista. Tuloksia on tarkasteltu kahdella eri tavalla – sekä tilastollisesti käyrinä ja taulukoina että snapshot-kuvina tietyltä ajanhetkeltä. Ensiksi mainitussa tapauksessa käyriä päivitetään simuloinnin edetessä. Sama tieto välitetään tilannekuvajärjestelmälle, jossa tilanteen kehittymistä voidaan visuaalisesti seurata. Tulokäyrät voidaan luoda myös jälkiprosessoimalla kerättyä aineistoa. Tässä raportissa esitetyt käyrät ja taulukot on luotu jälkiprosessoinnilla. Snapshot-kuvat on luotu simuloinnin aikana ja niiden avulla on mahdollista tarkastella tilannetta paikkatietoon sidottuna oli sitten tarkastelukohteena sähkö- tai tietoliikenneverkon tai pelastustoimen kannalta kriittisiä ongelma- tai korjauskohteita.

Simuloinneissa huomioitiin suuri joukko ohjausparametreja, jotka vaikuttivat tietoliikenneverkko-, sähköverkko-, ympäristö- ja rakennusmallien luontiin, vikasimulointien ajoihin sekä tulosten taltiointiin ja esittämiseen. Suurin osa näistä parametreista olisi mahdollista korvata todellisella aineistolla, jos yksityiskohtaisempaa tietoa olisi saatavilla nyt tai tulevaisuudessa. Seuraavassa taulukossa on esitetty keskeisimmät vuoden 2016 ja vuoden 2030 skenaarioissa muuttuneet parametrit.

Taulukko 22. Vuoden 2016 ja 2030 tilanteen simulointiparametrit.

	Vuosi 2016	Vuosi 2030
Eroittimella varustettuja muuntamoita	0 % (erillisiä erottimia 4 % muuntamomäärästä)	33 %
Etäohjattavia muuntamoita	4 %	33 %
Etäohjattavia kiinteistöjä	60 %	90 %
Etähallittavia kriittisiä kohteita	90 %	100 %
Dual SIM-korttien osuus	5 %	50 %
Triple SIM-korttien osuus	0 %	30 %
LTE-tekniologian käyttö sähköasemissa	10 %	100 % (teknologiariippumaton)
UMTS-tekniologian käyttö etäohjattavissa muuntamoissa/erotinasemissa	70 %	100 % (teknologiariippumaton)
LTE-tekniologian käyttö muuntamoissa/erotinasemissa	5 %	100 % (teknologiariippumaton)
UMTS-tekniologian käyttö kiinteistöissä	70 %	100 %
LTE-tekniologian käyttö kiinteistöissä	5 %	100 %
Maakaapelointiosuus	22,6 %	65,2 %
Energiaomavaraiset rakennukset	0,1 %	3 %
Prioriteettialgoritmi	Staattinen	Dynaaminen
Ennustus	0h	0h, 1h, 3h ja 4h

Edellä esitettyjen lisäksi simulointiajoja tehtiin referenssitapauksena vuoden 2011 tilanteessa sekä vuoden 2030 tilanteessa kyberskenaarion sisältävällä ns. hybridimallilla, jonka toteu-

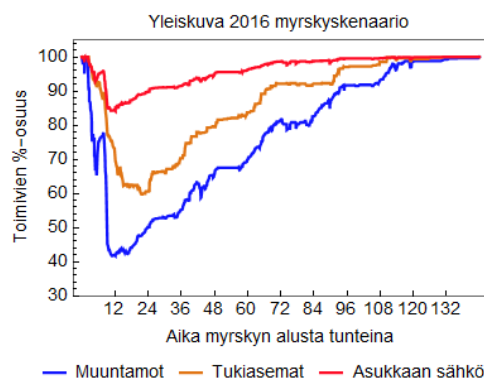
tuksesta ja tuloksista on enemmän luvussa 9. Vuoden 2011 referenssituloksiin on viitattu muiden tulosten yhteydessä.

7.1 Infrastruktuurien toimintakyky

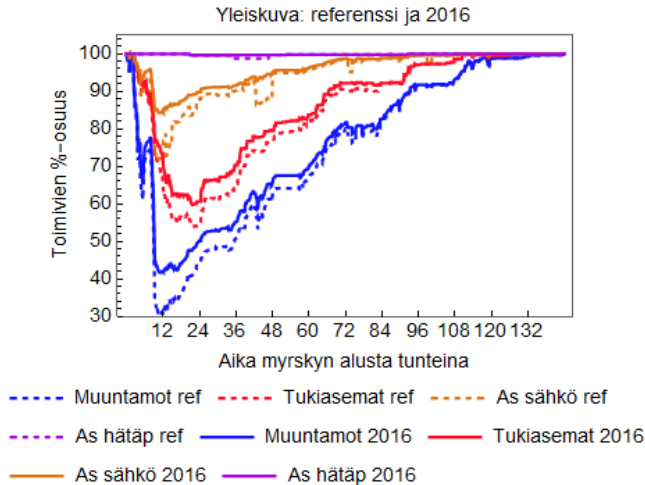
Simuloinneissa käytetty Hannu-Tapani-myrskyn vika-aineisto on osa Fortumin (nykyään Caruna) sähköverkosta vuosien 2011 ja 2012 vaihteesta saatua aineistoa. Tapaninpäivänä 25.11.2011 alkanut myrsky vahingoitti sähköverkkoa laajoilla alueilla sekä aiheutti sähköyhtiön asiakkaille merkittävän määrän poikkeuksellisen pitkiä sähkökatkoksia. Myrsky oli voimakkain 30 vuoteen ja se aiheutti suuria tuhoja Etelä-, Länsi- ja Lounais-Suomessa. Tapani-myrskyä seurasi hyvin nopeasti Hannu-myrsky, mikä vaikeutti jo aloitettuja korjaustöitä. Turvallisuussyistä toimintaa myrskyalueella jouduttiin rajoittamaan samalla kuin myrsky aiheutti uusia tuhoja. Simulointialueena olevalla Raaseporin alueella oli pahimmillaan tuhansia asukkaita ilman sähköä. Myrskyn aikana mm. Pelastuslaitoksen toiminta ruuhkautui satojen pelastus- ja raivaustehtävien myötä. Tietoliikenneyhteyksien puuttuminen vaikeutti paikoin niin pelastustoimia kuin myrskytuhojen raivaamista ja sähköverkon korjaustöitäkin.

Myrskyä seuranneen ensimmäisen vuorokauden aikana sähköt palautuivat karkeasti arvioiden noin puolelle sähköyhtiön asiakkaista, toisen vuorokauden kuluessa vielä noin 15 %:lle asiakkaista ja sen jälkeisinä päivinä keskimäärin 10 %:lle asiakkaista korjausnopeuden hidastuen pikkuhiljaa. Eniten katkoksia aiheuttaneet keskijänniteverkon viat oli korjattu 4.1.2012 mennessä, mutta työ pienjänniteasiakkaiden osalta jatkui vielä jonkin aikaa tämänkin jälkeen. Simuloinneissa on rajoitettu ajanjakson toiminnallisesti vilkkaimpaan kohtaan Tapaninpäivästä vuodenvaihteeseen.

Seuraavassa kuvassa on esitetty vuodenvaihteen 2011–2012 tapahtumat peilaten nykyhetkeen ja käytössä olevan aineiston pohjalta luotuihin malleihin. Yhä tänäkin päivänä Hannu-Tapani-myrskyn vaikutus olisi suuri. Meneillään olevat säävarman sähköverkon rakentamistyöt eivät ole vielä siinä pisteessä, että syys- ja talvimyrskyjen suurhäiriövaikutus voitaisiin jättää huomioimatta.



Kuva 29. Suurhäiriön vaikutukset sähköverkkoon, tukiasemaverkkoon ja asukkaiden sähkösaantiin vuoden 2016 tilanteessa.



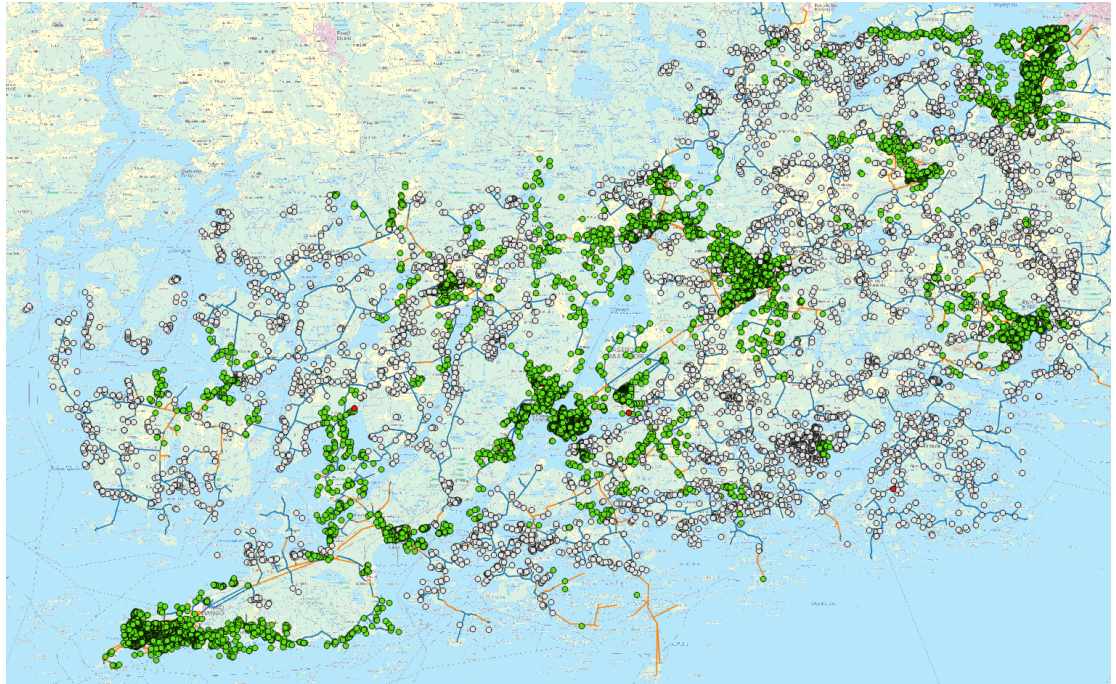
Kuva 30. Suurhäiriön vaikutukset sähköverkkoon, tukiasemaverkkoon ja asukkaiden sähkönsaantiin - vertailu vuoden 2011 tilanteesta (referenssi) vuoden 2016 tilanteeseen.

Kuten yllä olevasta kuvasta (Kuva 29) voi havaita, simuloinnin alussa toimivien muuntamoiden määrä romahtaa Hannu-myrskyn vaikutuksesta. Suurelta osin verkkoautomaation avulla vika-alueita saadaan eristettyä kunnes myrsky aiheuttaa niin laajoja uusia vikoja sähköverkkoon, ettei vikakohteita kyetä enää verkkoautomaation keinoin eristämään. Pahimmalla hetkellä muuntamoista olisi vain noin 42 prosenttia toiminnassa, tukiasemista noin 39 prosenttia olisi vailla sähköä ja noin kolmasosa (31 %) alueen rakennuksista olisi sähköttöminä, jolloin vaikutukset alueen asukkaisiin ja pienyritysten toimintaan olisi merkittävä. Asukasmäärinä laskettuna vain 16 prosenttia asukkaista olisi vailla sähköä, koska suuremmissa asukaskeskitymissä myrskyn vaikutukset ovat haja-asutusaluetta pienemmät.

Kuva 30 havainnollistaa, miten Hannu-Tapani-myrskyn vaikutukset muuttuisivat vuosien 2011 ja 2016 välillä. Vuoden 2016 tilanteessa säävarmaa sähköverkkoa on jo ehditty rakentaa. Tämä näkyy muuntamoiden toiminnan parantumisena (toimivien osuus nousee 12 %). Sähköä saa asukkaista 14 % enemmän. Tukiasemat hyötyvät myös kaapeloinnista, mutta muutos on vähäisempi, noin 6 % luokkaa.

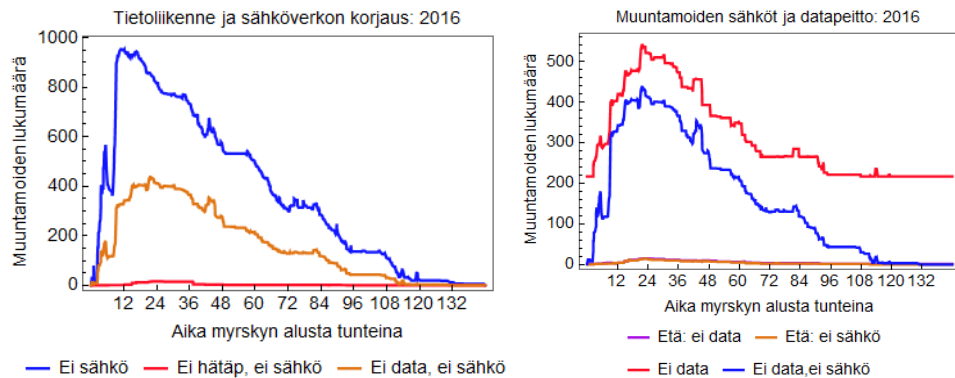
7.1.1 Sähkönjakelu

Myrskytilanteessa sähkönjakeluverkon korjaustyöt ovat keskeisessä asemassa. Oheisessa kuvassa (Kuva 31) on havainnollistettu ongelman laajuutta nykyskenaariossa esittämällä sähköverkon tilanne myrskyn pahimmalla hetkellä. Puhaisella merkittyjä energian suhteen omavaraisia rakennuksia arvioidaan olevan vain 0,1 % sähköliittymällä varustetuista kiinteistöistä. Vastaava tilannekuva luotiin myös muuntamoiden tilasta.



Kuva 31. Ilman sähköä olevat rakennukset vuoden 2016 tilanteessa. Harmaalla on esitetty rakennukset, jotka ovat sähköttöminä, vihreällä sähköistetyt rakennukset ja punaisella rakennukset, jotka ovat energian suhteen omavaraisia.

Alla olevissa kuvissa vasemmalla (Kuva 32) on esitetty ilman sähköä, ilman sähköä ja hätäpuhelupeittoa sekä ilman sähköä ja datapalvelua olevat muuntamot. Oikeanpuoleisessa käyrästä on esitetty etäohjattavat muuntamot myrskyn aikana. Koska muuntamoita on alueella runsaasti, muuntamokohtaisista käyristä voidaan arvioida karkeasti myös puheyhteyden saatavuutta alueen raivaus- ja korjauskohteissa. Vuoden 2016 skenaariossa puhepalvelut menevät vain GSM- ja UMTS-verkoissa. LTE-verkon kautta menee vain dataliikenne. Suoritettujen ajomittausten aikana IP-pohjaista VoLTE (Voice over LTE) -palvelua ei ollut yhdelläkään operaattorilla käytössä.



Kuva 32. Suurhäiriön vaikutukset sähköverkkojen korjaustöihin ja etäohjaukseen (vuosi 2016).

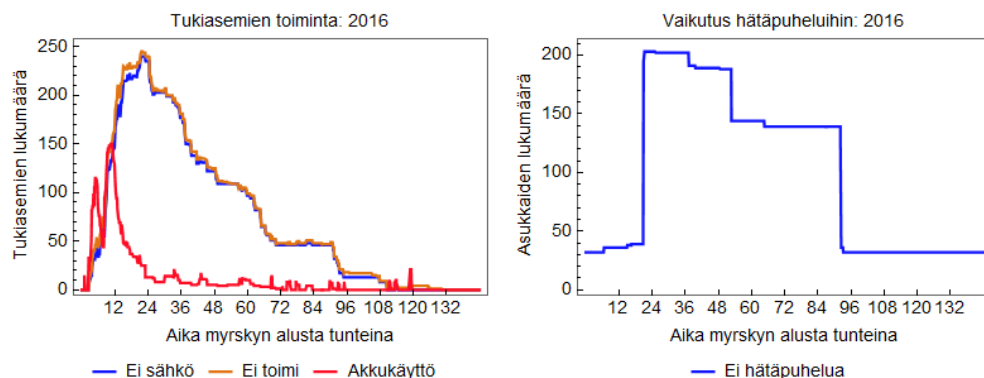
Käyristä nähdään, että korjaustöissä n. 48 tuntia oltaisiin tilanteessa, jossa alueella on sähköttömiä muuntamoita, joiden läheisyydessä puheyhteys ei toimi. Korjausryhmillä on todennäköisimmin mukana useamman kuin yhden operaattorin SIM-kortteja, joten kuvaan on otettu hätäpuhelukäyrä, jotta saadaan esille tilanne, jossa minkään operaattorin puhelin ei toimisi. Myrskyn pahimmassa vaiheessa sähköttömiä muuntamoita on vajaa tuhat, joista yli puoleen on datapalvelupeitto. Hätäpuhelupeitossa on muutamissa kohdissa aukko 24 tunnin ajan. Nämä yksittäiset kohdat ovat sähköverkon reunalla. Myrskyn aikana löytyy myös sähköttömiä muuntamoita, joiden alueella datapalvelu ei välttämättä toimisi ja siten hidastaisi korjaustöitä. Etäohjattavien muuntamoiden ja erotinasemien määrät ovat tällä hetkellä vielä

alhaisia (arvioitu 4 %) ja ne ovat keskittyneet pääosin taajama-alueiden sisään tai reunoille. Tästä syystä, vain muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta, kaikkiin etäohjattaviin muuntamoihin saadaan etäyhteys (keltainen käyrä). Kuvasta näkyy, että datapeiton ohentuminen vaikuttaa eniten laajakaistaiseen datasiirtoon. Osa etäohjattavista muuntamoista ei alunperinkään ollut hyvän datapeiton alueella.

7.1.2 Tietoliikenne

Alla olevissa kuvissa (Kuva 33) on esitetty myrskyn vaikutukset tietoliikenneverkkoihin kaikkien operaattoreiden osalta. Vastaavat tulokset on esitettävissä myös operaattori-kohtaisesti. Kuten aiemmin on mainittu, tukiasemista n. 39 prosenttia olisi vailla sähköä. Pieni osa tukiasemista olisi myös ajoittain toimimattomina lyhyen tai pidemmänkin teknisen vian vuoksi, mikä näkyy pieninä eroina vasemmanpuoleisessa kuvassa. Sähköjen palautuessa muutama tukiasema jää käynnistymättä. Suurin osa lyhytkestoisista vioista on käsin tai automaation kautta tehtäviä uudelleenkäynnistyksiä ja pitkäkestoisia laitevikoja. Toimimattomia tukiasemia on prosentin verran enemmän kuin sähköttömiä tukiasemia. Käyriä tarkasteltaessa on huomattava, että simuloinnissa tukiasemaviat on luotu tilastollisesti koko vuoden aineistosta, joten myrskytilanteessa tukiasemavikojen määrän voidaan olettaa olevan kuvassa näkyvää lukumäärää suurempi.

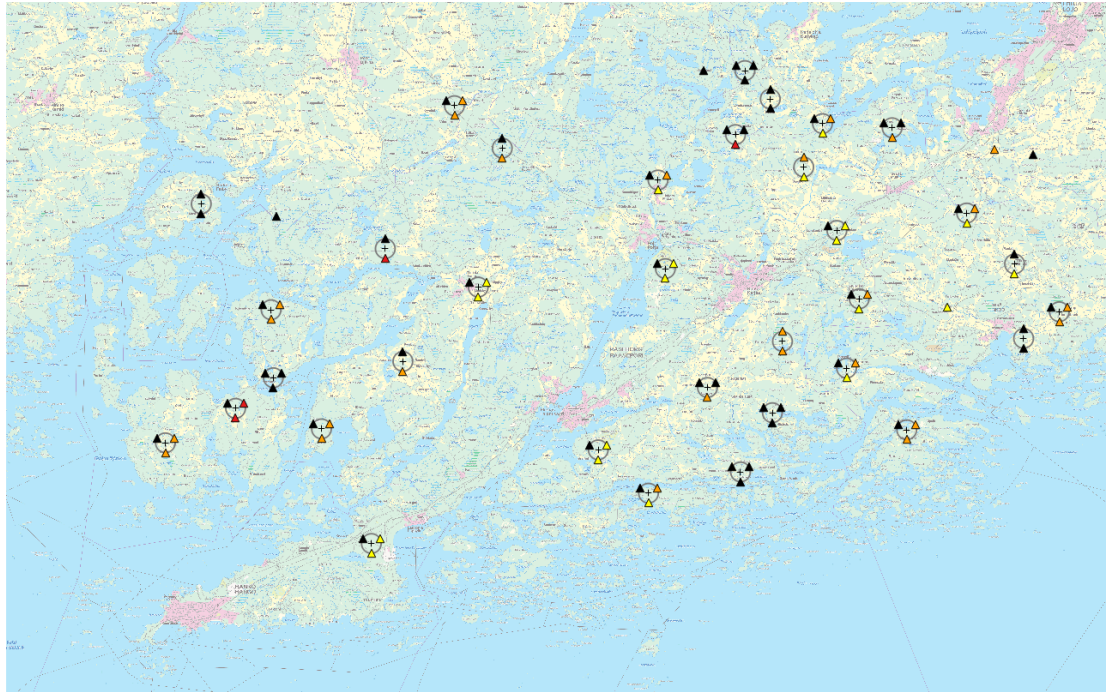
Vasemmanpuoleisessa kuvassa on myös havainnollistettu akkujen käyttöä tietoliikenneyhteyksien varmistamisessa. Sähkön menetys johtaa, joitakin poikkeuksia lukuun ottamatta, tukiaseman siirtymisen akkukäyttöön ja akkujen varausten loppuessa palvelun keskeytymiseen. Vuoden 2016 skenaariossa sähköjen katketessa enimmillään 25 % tukiasemista (n. 150 kpl) siirtyy akuille ylläpitäen tietoliikenneyhteyksiä 3–4 tuntia. Kaikissa UMTS- ja GSM-tukiasemissa on simuloinneissa vähintään kolmen tunnin akut ja n. 30 % tukiasemista on varustettu neljän tunnin akuilla. Kaikki LTE-tukiasemat sammuvat tai sammutetaan 15 min päästä sähkökatkoksen alusta. Käyrästä näkyy, kuinka tukiasema-akkuvarmistusten loppuessa tilanne sähköverkossa ei ole ehtynyt palautumaan tietoliikenteen kannalta riittävästi vaan varavoimaa pitäisi ottaa käyttöön. Simuloinneissa ei ole mallinnettu varavoiman toimittamista alueelle, mikä näkyy todellista pessimistisempinä laskentatuloksina. Varavoiman käyttöönottoa olisi mahdollista mallintaa tarkemmin, jos siihen liittyvää dataa olisi saatavilla.



Kuva 33. Suurhäiriön vaikutukset tukiasemien toimintaan ja hätäpuheluihin (vuosi 2016).

Seuraavassa kuvassa (Kuva 34) on havainnollistettu tukiasemien akkukäyttöä yhden operaattorin osalta tilanteessa, jossa akkujen käyttöaste on suurimmillaan. Tukiasemat sijaitsevat pääosin taajama-alueiden ulkopuolella. Vastaavanlainen esitys on mahdollista tehdä myös kaikkien operaattoreiden näkymistä sekä yhdessä että erikseen. Kuvassa keltaisilla ja oransseilla kolmioilla on esitetty tukiasemat, joissa akkujen pitäisi toimia vielä jonkin aikaa. Punaisilla merkityissä tukiasemissa akut ovat lähiaikoina sammumassa. Mustat

kolmiot esittävät tukiasemia, jotka ovat jo sammuneet. Akkujen jäljellä oleva kesto on laskennallinen eli pohjautuu suoraan tukiaseman akun kestoan ja sen käyttöaikaan. Kuten haastatteluista kävi ilmi, vielä nykytilanteessa tukiasemien akkukestoista ei ole saatavilla reaaliaikaisia tietoja, mutta akkuteknologian kehittymisen myötä tämäkin tulee mahdolliseksi ja tilannekuvassa hyödynnettäväksi.

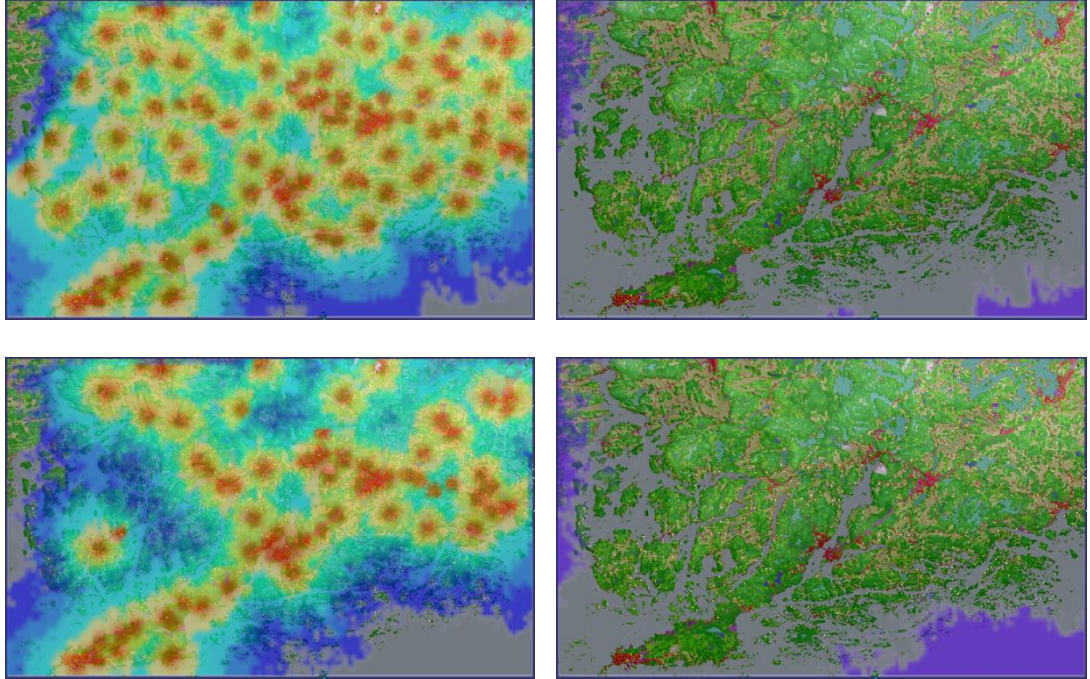


Kuva 34. Sähköttöminä olevien tukiasemien akkujen maksimikäyttö vuoden 2016 tilanteessa. Keltaisilla, oransseilla ja punaisilla kolmioilla on esitetty tukiasemat, joiden akuissa on 2/3, 1/3-2/3 tai 1/3 varausta jäljellä. Mustalla on kuvattu niitä tukiasemia, joilla ei ole enää sähköä. Samassa mastossa sijaitsevat tukiasemat on yhdistetty maston sijaintikohtaa ympäröivällä kehällä.

Asiantuntijahaastatteluissa kävi ilmi, että varsinkin myrskyn alkuvaiheessa tietoliikenneverkkojen korjaamista ohjaa hätäpuhelu-yhteyksien varmistaminen. Myrskyn vaikutukset hätäpuhelupeittoon vuoden 2016 skenaariossa näkyvät edellä esitettyjen käyrästä (Kuva 33) oikeanpuoleisimmassa käyrässä. Asukasmäärinä laskettuna n. 200 asukasta olisi myrskyn pahimpaan aikaan ilman hätäpuhelumahdollisuutta ja noin 140 asukkaalla hätäpuhelu-yhteydet olisivat poikki yli 2,5 vuorokautta. Mahdolliset kiinteät puhelin-yhteydet on jätetty tarkastelun ulkopuolelle. Käyrässä näkyvät 32 asukasta ovat laskenta-alueen reunoilla, etupäässä saaristossa alkuperäisen matkapuhelinpeiton ulkopuolella olevia asukkaita. Matkapuhelinverkkojen mittaukset eivät kattaneet näitä alueita, joten ne jätetään tarkastelun ulkopuolelle. Seuraava neljän snapshot-kuvan sarja on tilanteista, joissa hätäpuhelupeitto on esitetty alkutilanteessa (ylemmät kaksi kuvaa) ja pienimmillään (alemmat kaksi kuvaa). Kuvat ovat verkkosuunnitteluohjelmistosta, jonka laskentamallissa meri on esitetty harmaalla ja maa-alueet maanpeitteisyyden mukaan värjättyinä esim. punaiset alueet ovat taajamia.

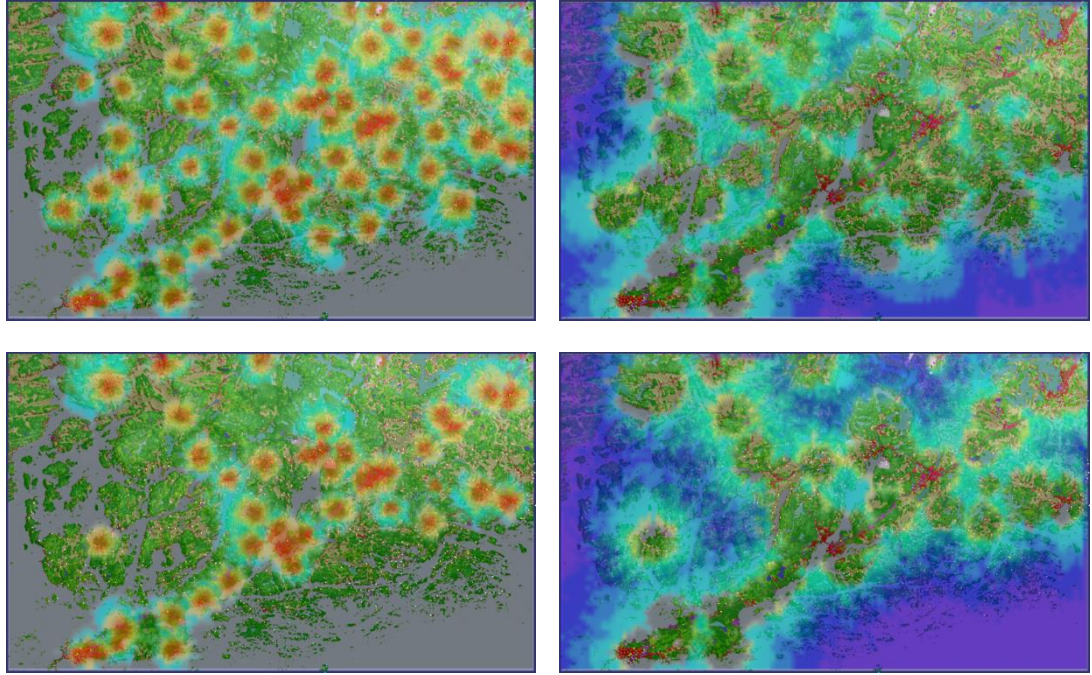
Vasemmanpuoleisissa kuvissa oranssilla, keltaisella, turkoosilla ja sinisellä värjätty alueet esittävät matkapuhelinverkon hätäpuhelupeittoa. Lämpimät värit edustavat korkeita vastaanotetun signaalin voimakkuustasoa ja kylmät alhaisia. Ylimpänä vasemmalla olevassa kuvassa näkyvät myös aiemmin mainitut saaristoalueet (alareunassa keskikohdasta oikealle sekä vasemmassa reunassa keskellä), joita laskenta ei kaikissa skenaarioissa kattanut ja jotka on siksi osin jätetty tulostarkastelun ulkopuolelle. Aivan kuvan vasemmassa yläkulmassa on lisäksi manner-kaistale, jolta ei ollut käytettävissä tietoa sähköverkon tai tietoliikenneverkon tilasta, joten tätä katvealuetta ei voida pitää todellisena. Alueelta ei ollut myöskään

rakennusaineistoa, joten käyrästäöihin katvealueella ei ole vaikutusta. Oikeanpuoleisissa kuvissa on sama asia esitetty kääntäen eli violetilla, tummansinisellä ja vaaleansinisellä on esitetty alueet, joista hätäpuhelu ei olisi mahdollista. Suurhäiriötilanteessa tämä jälkimmäinen esitysmuoto palvelee eniten infrastruktuurin käyttäjiä, esim. pelastuslaitosta.



Kuva 35. Hätäpuhelupeitto laajimmillaan ja pienimmillään (2G/3G-verkot, vuosi 2016). Kuvissa lämpimät oranssit ja keltaiset värit edustavat korkeita ja kylmät turkoosit, siniset ja violetit värit alhaisia vastaanotetun signaalin voimakkuustasoja. Oikeanpuoleisissa kuvissa em. kylmät värit esittävät alueita, joilta hätäpuhelumahdollisuus puuttuu.

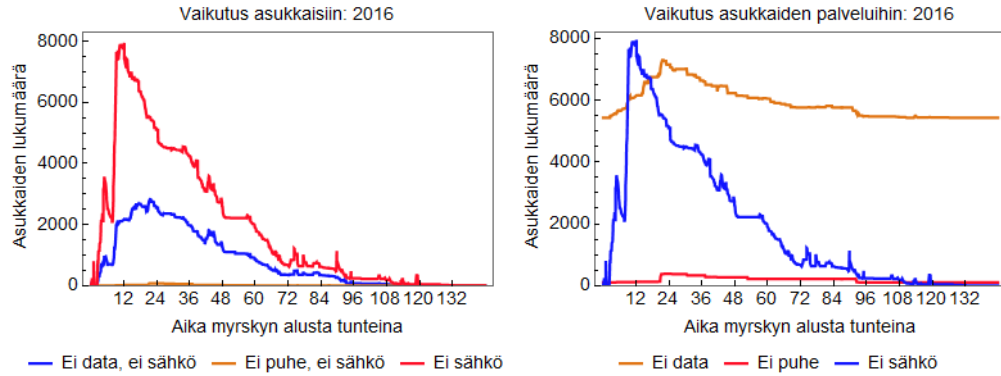
Suurhäiriön pahimmassa vaiheessa operaattoreiden yhteenlasketuista asiakkaista noin 380 olisi vailla hyvälaatuaista puhepalvelua ja noin 7300 vailla hyvälaatuaista datapalvelua. Seuraavissa kuvissa (Kuva 36) on esitetty datapalvelupeitto pelastuslaitoksen käyttämissä 2G/3G/4G-verkoissa. Vastaavanlaisia kuvia on saatavissa kaikkien operaattoreiden kaikista verkoista erikseen tai yhdistelmäkuvinä, joilla voidaan esittää esim. sähköyhtiölle tai pelastuslaitokselle peittoaluekartta siitä, millä alueilla eri operaattoreiden verkot toimivat. Sen pohjalta voitaisiin lähettää esimerkiksi asentajia tai urakoitsijoita sellaisille alueille, joilla heidän matkapuhelimilleen tai päätelaitteilleen olisi peittoa. Kuvia tulkittaessa on kuitenkin otettava huomioon, että laskentatulos on aina karkea esitys todellisesta signaalitilanteesta ja mm. vuodenajalla, maaston muodoilla ja rakennuksilla on vaikutusta paikallisesti. Vaikutus on sitä suurempi mitä korkeampia taajuuksia käytetään. Laskentatulos on kuitenkin käyttökelpoinen määrittäessä alueita, joilla ongelmia kuuluvuuden kanssa saattaa esiintyä, joko puheyhteydessä tai laitteiden välisessä kommunikaatiossa. Simuloinnissa datapalvelun laatuksiteerit asetettiin korkeiksi, jotta pelastustoimen toimintaedellytykset säilyisivät hyvinä niin sisä- kuin ulkotiloissakin mahdollistaen esim. reaaliaikaisen videokuvan siirron. Heikompi tasoinen datapalvelu on luonnollisesti saatavissa laajemmalla alueella.



Kuva 36. Datapalvelupeitto laajimmillaan ja pienimmillään alueen pelastuslaitoksen käyttämissä 2G/3G/4G-verkoissa yhteensä (vuosi 2016). Vasemmanpuoleisissa kuvissa lämpimät värit edustavat korkeita vastaanotetun signaalin voimakkuustasoja ja kylmät alhaisia. Oikeanpuoleisissa kuvissa kylmät värit esittävät alueita, joilta datapalvelu puuttuu.

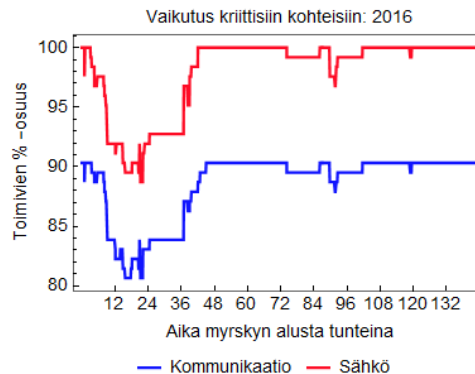
7.2 Infrastruktuurien käyttäjän toimintakyky

Infrastruktuurin käyttäjä on taho, joka ei hallinnoi mitään infrastruktuuria tai järjestelmää itse, mutta tarvitsee reaaliaikaista tilannetietoa ylläpitääkseen omia toimintaedellytyksiään. Tarkasteltaessa vuoden 2016 tilannetta asukkaiden, kunnallisten kriittisten kohteiden ja pelastustoimen toiminnan kautta, tilanne näyttyy vuoden 2011 tilanteeseen verrattuna paremmalta, mutta yhä tänäkin päivänä Hannu-Tapani-myrskyn kaltaisen suurhäiriön sattuessa pahimmillaan noin 8000 asukasta olisi vailla sähköä, noin 2000 asukkaalla sähköttömyys kestäisi pidempään kuin 2 vuorokautta ja yli 500 asukkaalla pidempään kuin 3,5 vuorokautta. Noin 3000 asukkaalla ei olisi mahdollisuutta 12 tuntiin ja 2000 asukkaalla noin vuorokautteen käyttää muita kommunikaatiotapoja kuin puheyhteyttä, joten Internetin käyttöön perustuva tiedottaminen ei heitä tavoittaisi (Kuva 37). Tilastolliset arvot on laskettu simulointialueen rakennuspisteissä, joihin on sähköliittymä. Tulokseen vaikuttaa myös se, että asukkaiden puhe- ja datayhteyksien mallintamisessa on käytetty operaattoreiden markkinaosuuksia sekä karkeita arvioita GSM-, UMTS- ja LTE-liittymien suhteellisista määristä. Lisäksi datapalvelun laatukriteeri vastaa hyvän datapalvelun laatua. Tästä syystä heikompi tasoisista datapalvelua saa suurempi joukko asukkaista kuin tuloksessa on esitetty.



Kuva 37. Suurhäiriön vaikutus asukkaisiin (vuosi 2016).

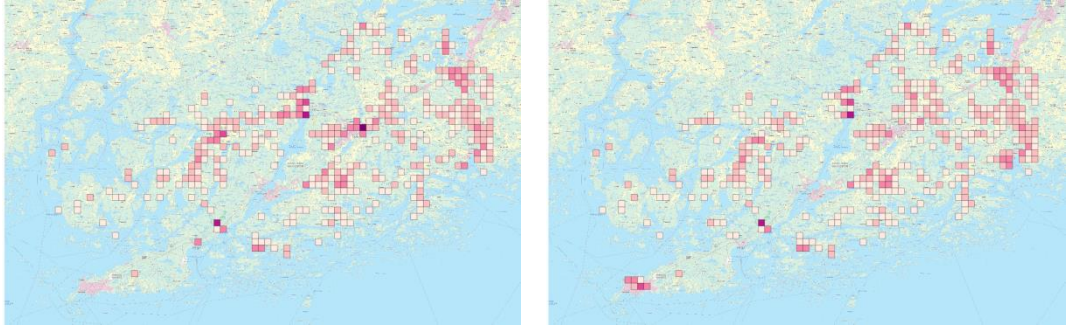
Pelastustoimen tehtävänä on seurata mahdollisten pelastustehtävien varalta suurhäiriön vaikutuksia kriittisiin kohteisiin, kuten sairaaloihin, terveyskeskuksiin, vanhainkoteihin, pumpaamoihin jne. Vuoden 2016 tilanteessa yli 7 % kriittisiksi määritellyistä kohteista olisi vuorokauden ilman sähköä (Kuva 38). Suurimmassa osassa sähköttömistä kohteista myös data-yhteydet olisivat poikki, jolloin mahdollisten pelastustehtävien suorittaminen näissä kohteissa olisi rakennettava erillisen VIRVE puhe- ja datayhteyden, matkapuhelinverkon puheyhteyden, satelliittiyhteyden tai paikalle tuotavan tietoliikennejärjestelmän varaan. 2 % kriittisistä kohteista hätäpuhelu ei olisi mahdollista. Nämä kohteet eivät kuitenkaan ole samaan aikaan sähköttöminä.



Kuva 38. Suurhäiriön vaikutus kriittisiin kohteisiin (vuosi 2016).

Pelastustoimen kannalta hyvälaatuisen datayhteyden saaminen eri alueille tulee tulevaisuudessa yhä tärkeämmäksi. Vielä tänä päivänä kriteerit täyttävää datayhteyttä ei olisi kaikkiiin alueen rakennuskohteisiin saatavilla. Riippuen operaattorista alueella saattaa olla jopa yli 3000 rakennusta, joissa datayhteys olisi simuloinnissa määritellyjä kriteerejä huonompi. Suurin osa niistä on todennäköisesti vapaa-ajan asuntoja. Asukasmäärinä laskettuna tämä tarkoittaisi noin 5700 asukasta (Kuva 37, oikeanpuoleinen kuva). Suurhäiriön aikana vielä noin 2250 asukkaan ja noin 2120 rakennuksen datayhteyden laatu putoaisi valittuja kriteerejä heikommaksi.

Pelastuslaitoksen kannalta on oleellista saada nopea kuva tilanteen kehittymisestä. Seuraavissa kuvissa (Kuva 39) on esitetty sähköttömänä olevat alueet asukasmäärien mukaan painotettuina. Kuvissa on esitetty tilanteen kehittyminen neljän tunnin aikana, jolloin osa kohteista on sähkönsä osalta saatu korjattua (väri vaalenee) ja joissakin osissa tilanne on vastaavasti heikentynyt (väri tummentunut). Vastaavanlaiset kuvat voidaan tuottaa niin puhe- ja datapalvelupeittojen osalta tai niiden kombinaatioista tai keskittymällä ennalta merkittyihin kriittisiin kohteisiin. Järjestelmätasolta generoitujen tilannekuvien tarkoitus on auttaa resurssien kohdentamisessa tärkeisiin kohteisiin.



Kuva 39. Sähköttöminä olevien alueiden muuttuminen asukasmäärien mukaan painotettuina sekä tilanteen eteneminen suurhäiriön aikana (vuosi 2016, klo 08.55 ja vuosi 2016, klo 12.55). Kuvassa käytetään 1 km² ruudukkoa, jossa tummanpunaiset ruudut esittävät kriittisiä ja vaaleat vähemmän kriittisiä alueita.

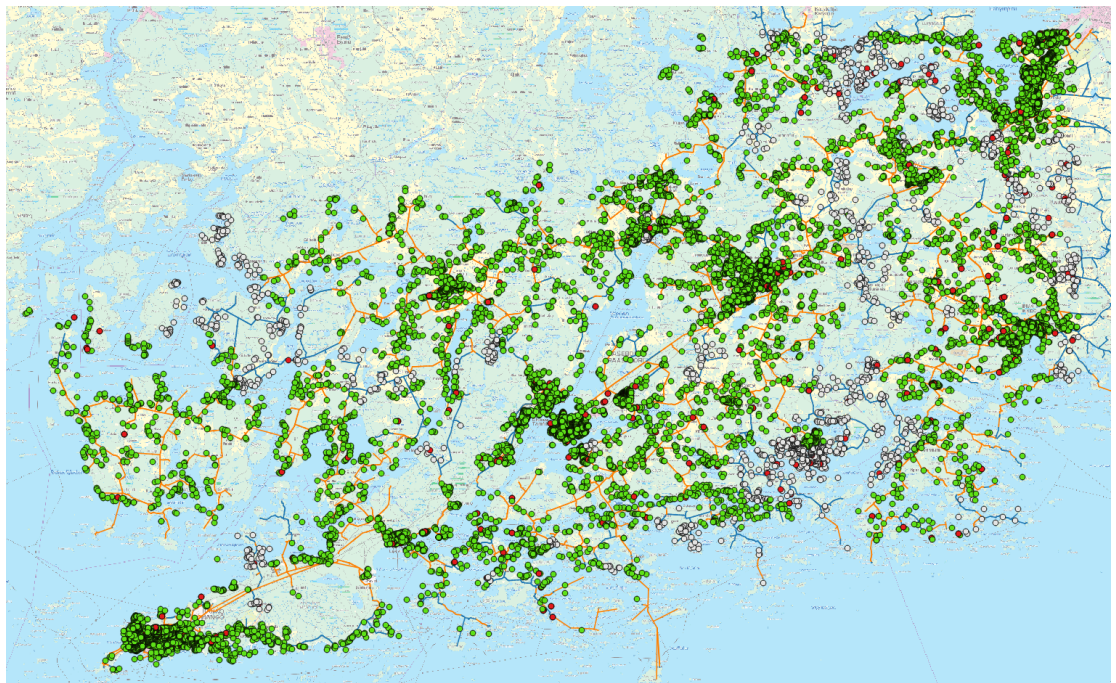
8 SUURHÄIRIÖ INFRASTRUKTUURIEN VUODEN 2030 TILANTEESSA

8.1 Infrastruktuurien toimintakyky

Vuoden 2030 simuloinneissa käytettiin samaa Hannu-Tapani-myrskyn vika-aineistoa. Poikkeuksena oli se, että sähkö- ja tietoliikenneverkkomallit ja asukkaiden päätelaitteiden ominaisuudet muutettiin vastaamaan ennustettua vuoden 2030 tilannetta (kuvattu kappaleessa 6.2).

Seuraavassa kuvassa (Kuva 40) on havainnollistettu katkoksen laajuutta vuoden 2030 skenaariossa. Kuvassa näkyy punaisella energian suhteen omavaraisia rakennuksia, joita arvioidaan vuonna 2030 olevan 3 % kaikista sähköliittymällä varustetuista kiinteistöistä. Valittu ajankohta, sähköverkon kannalta pahin hetki, on sama kuin vuoden 2016 skenaariossa. Ennusteessa oletetaan, että sähkön luotettavuuden ja helppouden sekä alhaisen kuluttajahinnan vuoksi suurin osa väestöstä käyttää edelleen perinteistä sähkönjakeluverkkoa. Kuva voi olla hyvin erilainen riippuen toteutettavasta energiapolitiikasta sekä siitä, miten uusiutuvien energialähteiden käyttö- ja hankintahinnat kehittyvät kuluttajamarkkinoilla.

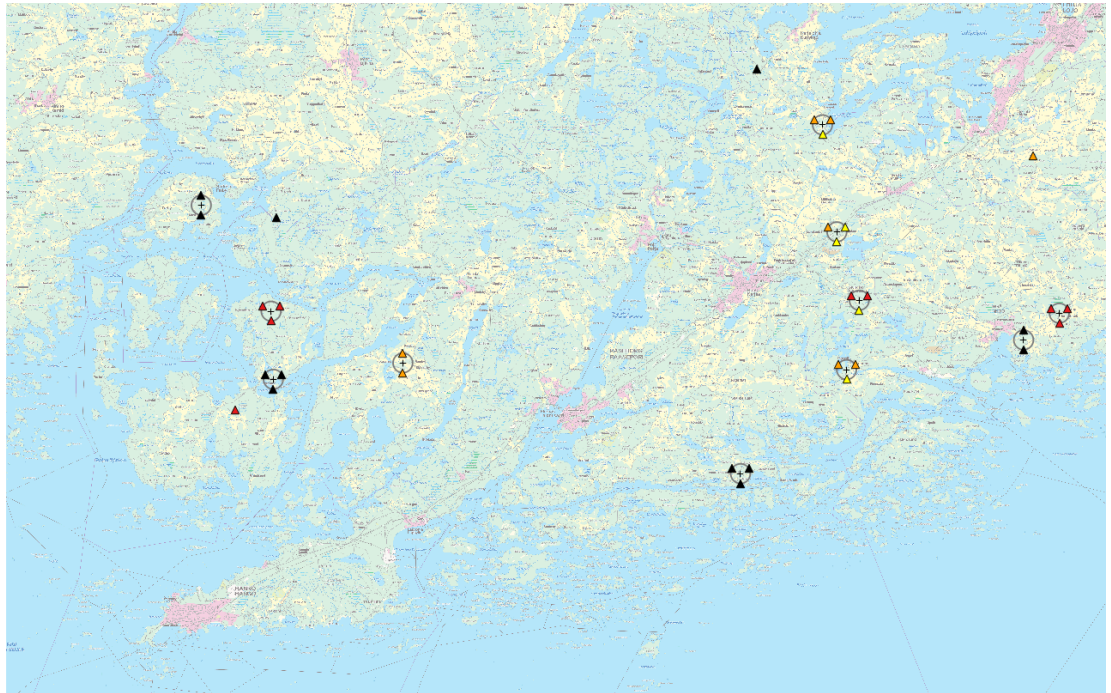
Verrattaessa alla olevaa vuoden 2030 ennustekuvaa vastaavaan kuvaan vuodelta 2016 merkittävä osa sähköverkosta on toiminnassa. 65 % maakaapelointiaste tarjoaa säävarman sähköverkon asutuille alueille. Sähkötömät alueet keskittyvät pääosin alueille, joissa on paljon vapaa-ajan asuntoja.



Kuva 40. Ilman sähköä olevat rakennukset vuoden 2030 tilanteessa. Kuvassa on esitetty harmaalla rakennukset, jotka ovat sähkötöminä, vihreällä sähköistetyt rakennukset ja punaisella rakennukset, jotka ovat energian suhteen omavaraisia.

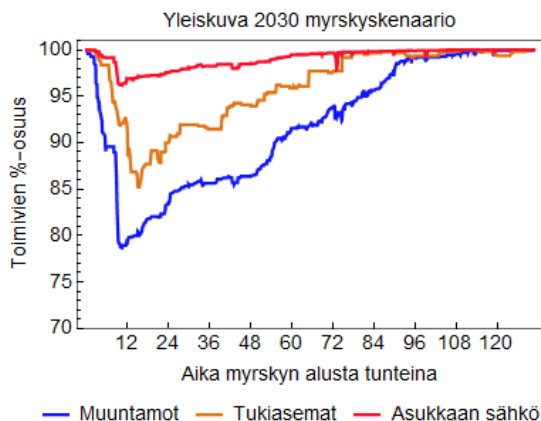
Seuraavassa kuvassa (Kuva 41) on esitetty tukiasemien akkukäyttöä pelastuslaitoksen käyttämän operaattorin osalta vuoden 2030 tilanteessa. Maakaapeloinnin seurauksena säävarma alue on merkittävästi laajentunut ja akkukäytöllä olevat tukiasemat sijaitsevat

alueen laitamilla. Vuoden 2030 tapauksessa LTE- ja tulevan 5G-tekniikan voidaan olettaa vaiheittain korvaavan 2G- ja 3G-tekniikat. Tämä ei tarkoita sitä, että 2G- ja 3G-tekniikka häviöisivät vaan niiden käyttö muuttuu enemmän käyttökohdekohtaiseksi. Vuoden 2030 ennusteissa Ficoran varavoimasuositusta laajennettiin kattamaan myös LTE-tukiasemat. Vuonna 2030 käytössä ennustetaan olevan tarkempaa reaaliaikaista tietoa akkujen varaustilanteesta (mm. IoT-tekniikan yleistymisen myötä), mikä on välitettävissä eteenpäin tilannekuvajärjestelmälle. Suoritetuissa simuloinneissa akkujen kestot ovat edelleen laskennallisia. Akkuja käyttävien tukiasemien määrä putoaa noin puoleen vuoden 2016 tilanteesta.

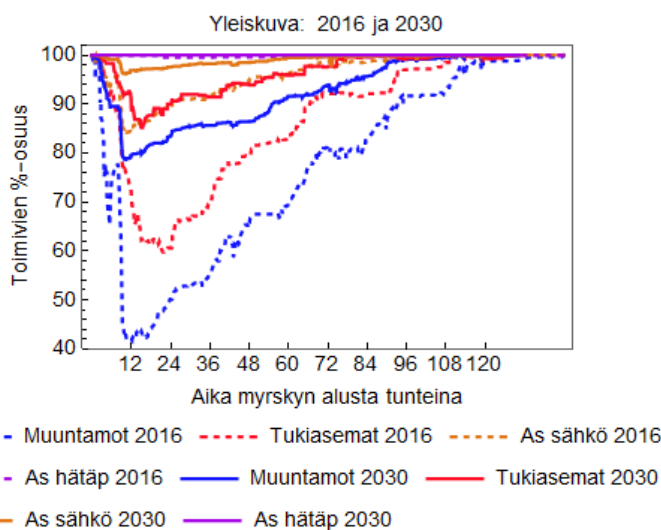


Kuva 41. Sähköttöminä olevien tukiasemien akkujen maksimikäyttö vuoden 2030 ennusteissa. Keltaisilla, oransseilla ja punaisilla kolmioilla on esitetty tukiasemat, joiden akuissa on 2/3, 1/3-2/3 tai 1/3 varausta jäljellä. Mustalla on kuvattu niitä tukiasemia, joilla ei ole enää sähköä. Samassa mastossa sijaitsevat tukiasemat on yhdistetty sijaintikohtaa ympäröivällä kehällä.

Seuraavasta kuvasta (Kuva 42) nähdään, että Hannu-Tapani-myrskyn kaltaisen suurhäiriön pahimmalla hetkellä sähköttömien muuntamoiden määrä laskisi vähän yli 58 %:sta vajaaseen 23 %:iin, millä olisi oleellinen keskinäisriippuvuusvaikutus tietoliikenteen toimintaan ja takaisin sähköverkkojen etähallintaan. Sähkön piirissä olisi tuolloin noin 85 % tukiasemista, kun vuoden 2016 tilanteessa niitä oli noin 60 % (Kuva 43). Asukkaisiin suhteellinen vaikutus olisi hieman pienempi, mutta sähköttömien asukkaiden määrä laskisi silti 16 %:sta jopa 4 %:iin. Tämä johtuu siitä, että pääosa asukkaista on jo vuonna 2016 säävarman verkon sisällä ja säävarman sähköverkon ulkopuolelle jäisi etupäässä hyvin harvaan asuttua tai vapaan-ajan aluetta.



Kuva 42. Suurhäiriön vaikutukset sähköverkkoon, tukiasemaverkkoon ja asukkaiden sähkönsaantiin vuoden 2030 tilanteessa.



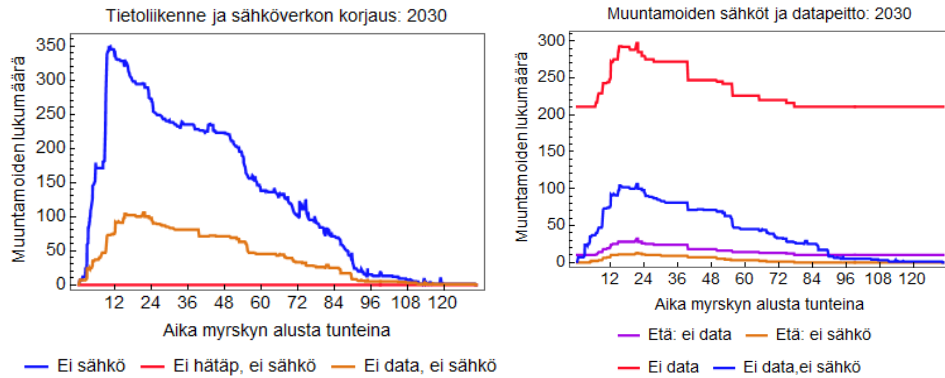
Kuva 43. Suurhäiriön vaikutukset sähköverkkoon, tukiasemaverkkoon ja asukkaiden sähkönsaantiin - vertailu vuoden 2016 tilanteesta vuoden 2030 tilanteeseen.

Edellä esitettyssä kuvassa käyrien muodoista näkyvät hyvin myös sähköverkon etäohjauksen ja automaation lisääntyminen. Kun etäohjaus sähköverkon eri puolille toimii, vikoja pystytään nopeammin ja tarkemmin paikallistamaan ja rajaamaan. Samalla korjaustöitä kyetään ohjaamaan infrastruktuurien kannalta tärkeimpiin verkkojen osiin, jotta suurhäiriön vaikutukset eivät pääsisi eskaloitumaan samalla tavalla kuin vuoden 2016 simuloinnissa. Tapani-myrskyä vastaavan luonnonilmiön vaikutus jäisi pienemmäksi niissäkin verkon osissa, joissa säävarmuutta ei ole lisätty. Käyrän muodosta voi myös nähdä, että vuoden 2030 tilanteessa verkon vikoja korjataan tasaisemmin sitä mukaa kun niitä syntyy. Säävarmat linjaosuudet mahdollistavat sen, että korjaustiimien ei tarvitse raivata/korjata koko linjaa aina sähköasemasta kriittiseen pisteeseen saakka vaan linjalla on huomattavasti vähemmän korjattavia kohtia.

8.1.1 Sähkönjakelu

Vuoden 2030 tapauksessa muuntamoista enää vajaa 350 olisi suurhäiriön pahimmalla hetkellä sähköttöminä (Kuva 44). Näistä 106 olisi sellaisia, joiden läheisyydessä ei olisi datayhteyttä. Vuoden 2030 infrastruktuurimallissa etäohjattavien sähköverkon komponenttien määrä on huomattavasti suurempi (33 %) kuin vuoden 2016 mallissa (4 %). Lisäksi simuloinnissa etäohjattavat muuntamot on varustettu erottimella. Vuoden 2030 tilanteessa etäohjattavista muuntamo-erotinasemista 35 olisi vailla etäyhteyttä ja näistä 15 olisi samaan

aikaan sähköttöminä. Kaikkien muuntamoiden läheisyydessä olisi saatavilla vähintään puheyhteys sähköyhtiön käyttökeskukseen.

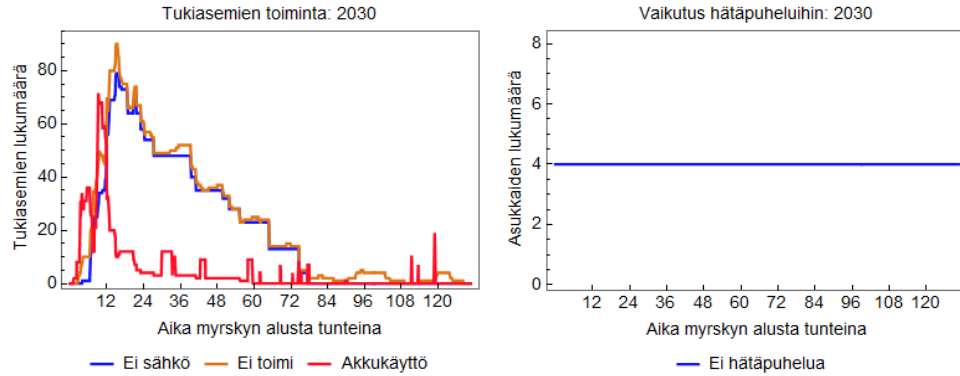


Kuva 44. Suurhäiriön vaikutukset sähköverkkojen korjaustöihin ja siinä tarvittavaan tietoliikenteeseen (vuosi 2030).

8.1.2 Tietoliikenne

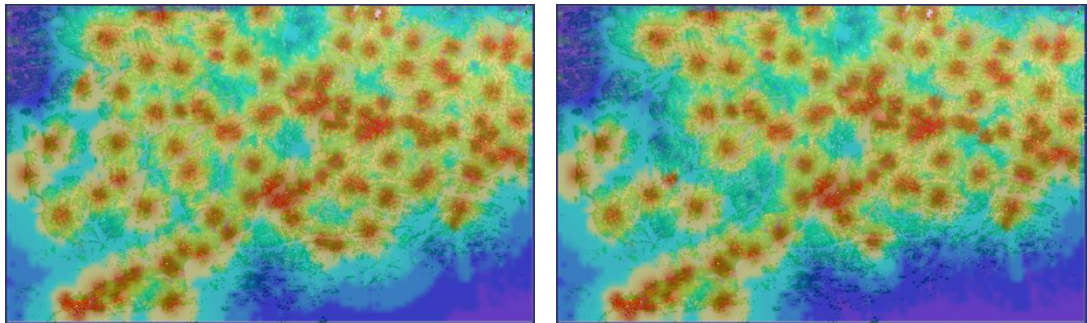
Tietoliikenteen osalta vuoden 2030 tilanne eroaa merkittävästi vuoden 2016 tilanteesta. Ensiksikin hätäpuhelu- ja puhepalvelut menevät kaikkien verkkoteknologioiden kautta. VoLTE-tyyppinen IP-pohjainen puhepalvelu on käytössä ja 5G-tekniikan kautta tarjottu teknologiariippumattomuus vähentää data- ja puhepalvelujen tarkastelua teknologiakohtaisesti. Tästä syystä kaikkien tietoliikennelaitteet mallinnettiin tukemaan GSM-, UMTS- ja LTE-tekniikoita niin data- kuin puhepalvelujen osalta.

Säävarman sähköverkon rakentaminen vaikuttaa merkittävästi myös tietoliikenteen toimivuuteen luonnonilmiöiden aiheuttamissa suurhäiriöissä. Vuoden 2030 tapauksessa sähköttömiä tukiasemia olisi suurhäiriön pahimmalla hetkellä non 80. Vertailukuvasta vuoden 2016 tilanteeseen (Kuva 43) voidaan nähdä, että sähköverkon maakaapelointi ei vaikuta matkapuhelinverkkoon suhteellisesti yhtä merkittävästi kuin sähköverkkoon. Maakaapeloidut alueet sijaitsevat taajamien läheisyydessä, jossa matkapuhelinverkoissa on jo entisestään peittopäällekkäisyyttä. Tukiasemien sammuminen näkyy alueella etupäässä verkon kapasiteetin vähenemisenä kokonaispeiton pysyessä lähes ennallaan. Toinen syy on se, että matkapuhelinoperaattorit on veloitettu tuottamaan maan kattava hätäpuhelupeitto ja näin ollen osa tukiasemista on sijoitettava maantieteellisesti myös niille alueelle, joille maakaapelin rakentaminen ei korkeiden kustannusten vuoksi ole järkevää (vapaa-ajan asunnot). Näillä alueilla luonnonilmiöt pääsevät aiheuttamaan sähkö- ja tukiasemavikoja ja koska solujen päällekkäisyys on pientä, häiriöiden vaikutukset tulevat esille varsinkin datayhteyksien osalta. Seuraavan vasemmanpuoleisen kuvan (Kuva 45) käyristä voidaan nähdä, että vuoden 2030 tapauksessa tukiasemien tekniset viat alkavat nousta esiin suurhäiriötilanteessa, vaikka tukiasemavikoja generoidaan simuloinnissa alueelle erittäin vähän. Esimerkiksi suurhäiriön pahimmalla hetkellä 10 tukiasemaa olisi teknisen vian vuoksi toimimattomina.



Kuva 45. Suurhäiriön vaikutukset tukiasemien toimintaan ja hätäpuheluihin (vuosi 2030).

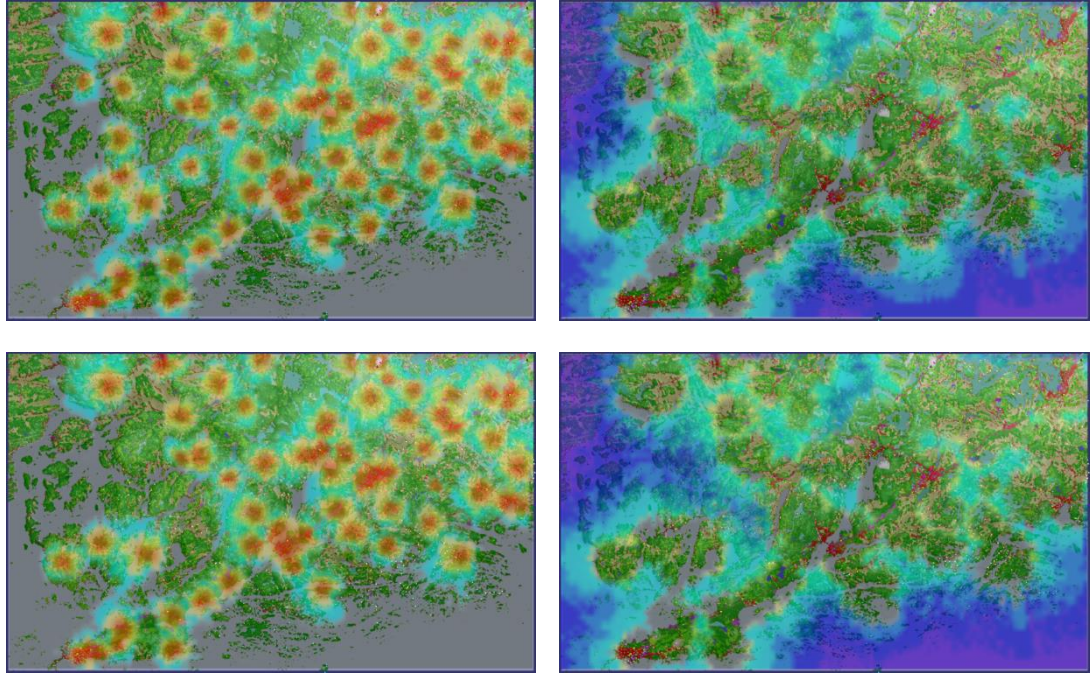
Alla olevissa kuvissa on esitetty hätäpuheluennusteet vuoden 2030 tapauksessa. Käytännössä peitto on kaikkialla ja säilyy koko myrskyn ajan. Yksittäisiä ongelmia hätäpuheluissa saattaa esiintyä pienillä alueilla. Simuloinnissa hätäpuhelupeitto laskettiin kaikkien teknologioiden yhteisenä peittona. Kaikki operaattorit pystyvät tehokkaammin käyttämään koko taajuuskaistaa data- ja puhepalvelujen tarjoamiseen.



Kuva 46. Hätäpuhelupeitto laajimmillaan ja pienimmillään (2G/3G/4G-verkot, vuosi 2030). Kuvissa lämpimät värit edustavat korkeita vastaanotetun signaalin voimakkuustasoja ja kylmät alhaisia.

Seuraavassa kuvassa (Kuva 47) on esitetty datapalvelupeitto yhden operaattorin osalta. Datapeitto luodaan yhdistämällä kaikkien eri teknologioiden peittoalueet. Kuva on etenkin 4G-verkon osalta pessimistinen, koska sen peiton arvioinnissa on käytetty LTE-800 verkon mittaustuloksia. Vuoden 2017 alusta maanpäällisen antennitelevision UHF-alueen taajuusresurssit pienenevät noin 30 prosenttia, kun 700 MHz:n taajuusalue siirtyy langattomalle laajakaistalle. Suomi on ensimmäinen maa Euroopassa, joka ottaa 700 MHz:n taajuusalueen langattoman laajakaistan kaupalliseen käyttöön. Tämä tapahtuu vuoden 2017 alussa. Elisa on ilmoittanut aloittaneensa keväällä 2016 700 MHz:n testit mobiililaajakaistakäytössä. Uusi taajuusalue tarkoittaa lisäkapasiteettia ja peittoalueen paranemista etenkin maaseudulla. [58]

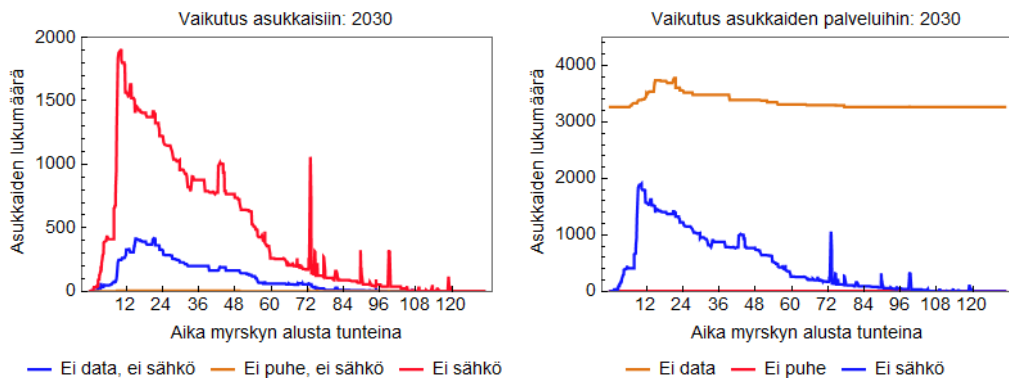
Simuloinnissa datapalvelun laatuksiteerit pidettiin edelleen korkeina, koska ennuste on, että kapasiteettitarve kasvaa tulevaisuudessa samalla vauhdilla kuin matkapuhelinteknologia kehittyi. Tästä syystä vuoden 2016 kuvia voidaan tarkastella pikemminkin peittoalue- ja -aukkokuvina, kun taas vuoden 2030 tapauksessa kapasiteettialue – ja aukkokuvina.



Kuva 47. Datapalvelupeitto ja datapalveluaukko laajimmillaan ja pienimmillään alueen pelastuslaitoksen käyttämissä 2G/3G/4G-verkoissa yhteensä (vuosi 2030). Vasemmanpuoleisissa kuvissa lämpimät värit edustavat korkeita vastaanotetun signaalin voimakkuustasoja ja kylmät alhaisia. Oikeanpuoleisissa kuvissa kylmät värit esittävät alueita, joilta datapalvelu puuttuu.

8.2 Infrastruktuurien käyttäjän toimintakyky

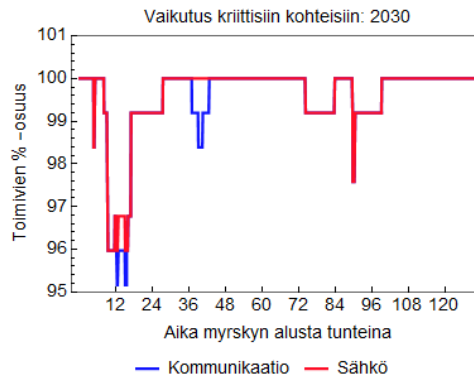
Tarkasteltaessa vuoden 2030 ennustetta infrastruktuurien käyttäjien, kuten asukkaiden, kunnallisten kriittisten kohteiden ja pelastustoimen toiminnan kautta, tilanne näyttää selvästi paremmalta. Vain 2000 asukasta on hetkellisesti vailla sähköä, noin 600 asukkaalla sähköttömyys kestäisi pidempään kuin 2 vuorokautta ja alle 100 asukkaalla pidempään kuin 3,5 vuorokautta (Kuva 48). Noin 300 asukkaalla ei olisi mahdollisuutta 12 tuntiin ja noin 200 asukkaalla 1,5 vuorokautteen käyttää muita kommunikaatitapoja kuin puheyhteyttä. Tuloksiin vaikuttaa yhä se, että asukkaiden puhe- ja datayhteyksien mallintamisessa on käytetty operaattoreiden nykyisiä markkinaosuuksia.



Kuva 48. Suurhäiriön vaikutus asukkaisiin (vuosi 2030).

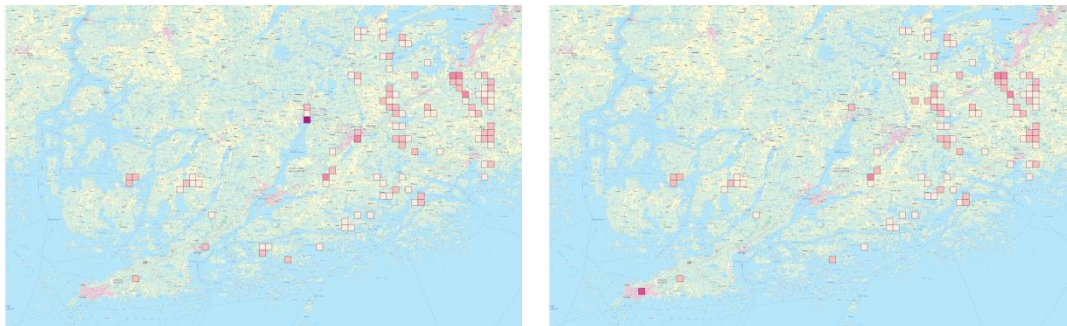
Seuraavassa on esitetty (Kuva 49) myrskyn vaikutus kriittisiin kohteisiin sekä sähkön ja kommunikaation osalta. Vuoden 2016 tilanteessa yli 7 % kriittisiksi määritellyistä kohteista olisi vuorokauden ilman sähköä kun vuoden 2030 ennusteessa vain 0,8 % sähköttömyys kestäisi 1,5 vuorokautta. Suurimmat hetkittäiset sähkökatkot vaikuttaisivat 4 % kriittisistä

kohteista. Kommunikaation puuttumista esiintyy vain 5 % kohteissa ja kyseessä on todennäköisemmin tekninen laitevika kuin myrskyn aiheuttama katve. Uudelleenkytkentöjen seurauksena 90 tunnin kohdalla esiintyy paikallinen minimikohta.



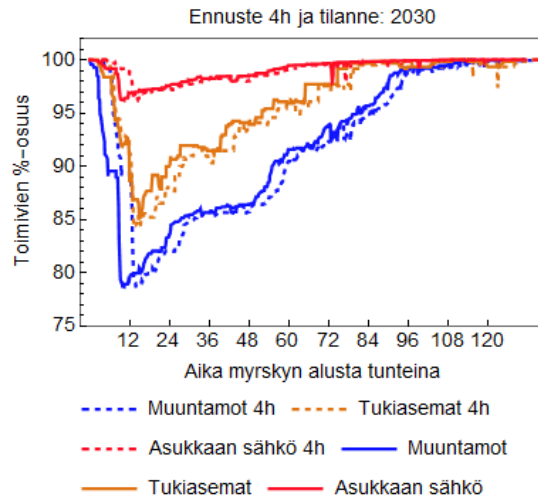
Kuva 49. Suurhäiriön vaikutus kriittisiin kohteisiin (vuosi 2030).

Alla olevissa kuvissa (Kuva 50) on esitetty sähköttömänä olevat alueet asukasmäärien mukaan painotettuina. Kuvassa on esitetty tilanteen kehittyminen neljän tunnin aikana vastaavalla tavalla kuin vuoden 2016 tapauksessa.



Kuva 50. Sähköttömänä olevat alueet painotettuina asukasmäärien mukaan sekä tilanteen muuttuminen suurhäiriön aikana (vuosi 2030, klo 08.55 ja klo 12.55). Kuvassa käytetään 1 km² ruudukkoa, jossa tummanpunaiset ruudut esittävät kriittisimpiä ja vaaleat vähemmän kriittisiä alueita.

Suurhäiriön alueellisen kehittymisen arvioimiseksi verkkosimulaattori laski ennusteen 1, 3 ja 4 tuntia eteenpäin olettaen, ettei mitään korjaustoimia tehdä ja aikavälillä ei tapahdu uusia vikaantumisia. Ennuste huomioi akkujen loppumisen tukiasemissa, etäohjattavissa sähköverkkokomponenteissa ja rakennuksissa. Niiden vaikutukset sisällytettiin ennusteeseen. Seuraavan kuvan (Kuva 51) käyräpareissa yhtenäinen viiva kuvaa kunkin muuttujan tilaa ajan funktiona ja katkoviiva kuvaa sille ajanhetkelle ennustettua tilannetta käyttäen esimerkkinä 4 tuntia aiempia tilatietoja. Kun tilanne pahenee nopeasti, tehty ennuste on liian optimistinen, sillä se ei osaa ennustaa nopeaa muutosta vikaantumismäärissä. Vastaavalla tavalla, kun tilanne paranee, ennuste pysyy liian pessimistisenä. Häiriön käännepisteet näkyvät ennusteessa viiveellä. On kuitenkin yllättävää, miten hyvin ennuste vastaa toteutumaa. Myrskytilanteessa 4 tuntia ei ole niin pitkä aika, että sen kuluessa ehtisi tapahtua radikaaleja muutoksia yleiskuvan tasolla, ainoastaan tukiasemien akkukäytön tuoma parannus 12 tunnin kohdalla jää ennustamatta.



Kuva 51. Neljän tunnin ennuste ja toteutunut tilanne 2030.

Karttapohjalla olevat ennustekuvat havainnollistavat alueellisia eroja ja tarjoavat siten lisää aikaa päätöksentekoon. Jos kohteelle ei tehdä mitään, ennuste havainnollistaa seuraukset. Ennustuksen laadinta on ensiaskel kohti reaktiivista työvälinettä tukemaan korjausten priorisointia. Ennusteita on hyvä tuottaa eri aikajäniteillä. Simuloinneissa 1 tunnin ennuste reagoi nopeasti muutoksiin, muttei kyennyt ennustamaan tilannetta riittävän kauas. Vastaavasti 4 tunnin ennuste antoi paremman kuvan tilanteen kehittymisestä, muttei toisaalta kyennyt reagoimaan nopeisiin muutoksiin. Yhdistelemällä eri ennusteita keskenään voidaan tilannekuvaa tarkentaa. Joka tapauksessa yksinkertaisen ennusteen avulla voidaan riittävällä tarkkuudella arvioida toimintaedellytyksiä lähitulevaisuudessa.

9 KRIITTINEN INFRASTRUKTUURI JA KYBERUHAT

Kriittiseen infrastruktuuriin kohdistuu eritasoisia kyberuhkia. Koska kriittinen infrastruktuuri koostuu useiden toimijoiden ylläpitämistä heterogeenisistä kokonaisuuksista, sen suojaaminen kybervaikuttamiselta on haastavaa. Laitteistojen ja ohjelmistojen suuri määrä ja vaihteleva ikä tuovat lisähaasteita uhkien torjuntaan.

Kriittiseen infrastruktuuriin kohdistetuilla kyberoperaatiolla on pyritty sekä tiedustelevaan, että vaikuttamaan infrastruktuurin komponentteihin ja palvelutuotantoon. Koska kehittyneitä tiedusteluoperaatioita on vaikea havaita, julkisuudessa esiintyy enemmän tapauksia, joissa hyökkääjä on käyttänyt aktiivisia menetelmiä palvelutuotannon lamauttamiseksi. Vaikka nk. APT-ryhmien tavoitteita tai motivaatiota ei usein pystytä varmentamaan, on luultavaa, että niiden takana voivat olla myös kansallisvaltiotason toimijat.

9.1 Kyberuhka ja -vaikutus vuoden 2030 simulointimallissa

Tutkimuksen hybridiskenaariossa käytetty kyberuhka- ja vaikutusskenaario perustuu julkisista lähteistä kerättyyn tietoon teknisistä menetelmistä ja niillä saavutetuista vaikutuksista infrastruktuurijärjestelmiin. Lähteiden perusteella vuoden 2030 simulointimalliin lisättiin parametrit, jotka vastaavat kyberhyökkäyksen vaikutusta esimerkiksi korjausaikoihin ja uudelleenkonfiguroitavuuteen. Kyberuhka- ja vaikutusskenaario toteutettiin myrskysimuloinnissa siten, että osa sähköverkosta altistettiin kyberhyökkäykselle samaan aikaan kun laaja suurhäiriö oli päällä ja myrskykorjaukset käynnissä.

9.1.1 Skenaarion kulku

Simuloinnit pohjautuvat seuraavanlaiseen kyberuhka- ja vaikutusskenaarioon:

Sähköyhtiön työasemaverkkoon levitetään tietoa keräävä virus käyttäen sähköpostia ja tunnettua toimisto-ohjelman haavoittuvuutta. Viruksen avulla tuntematon APT-ryhmä onnistuu keräämään käyttäjätunnuksia ja salasanoja sähköverkon etäohjausjärjestelmiin. Lisäksi APT-ryhmä saa haltuunsa sähköverkon laitteistojen teknisiä dokumentaatiotietoja, joista selviää yhtiön käyttämät laitemallit, ohjelmistoversiot sekä etähallinnan liityntäpisteet.

Hyökkäyksen aktiivivaiheessa APT-ryhmä hyödyntää etäyhteyksiä ja kaapattuja tunnuksia, joiden avulla sähköverkon erotinasemat komennetaan katkaisemaan sähkönsyöttö. Tämän jälkeen salasanat vaihdetaan vikojen korjauksen ja diagnosoinnin hankaloittamiseksi. Hyökkääjät myös korruptoivat aktiivilaitteiden valmisohjelmistoja sekä etähallintaterminaalien käyttöjärjestelmäkomponentteja siten, että niiden huolto kentällä ei ole mahdollista.

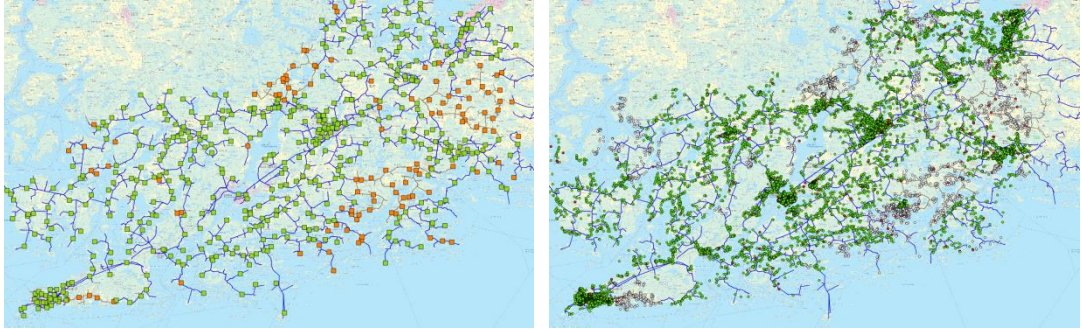
Hyökkäyksen seurauksena sähköyhtiö menettää sekä näkyvyyden, että hallintakyvyn tiettyyn osaan sähkönjakeluverkkoa. Korjausajat pitenevät huomattavasti, sillä tilannekuvan puuttumisen lisäksi sähköverkon hallintakomponentteja jouduttiin tehdashuoltamaan. Sähkönjakelu pystyttiin kuitenkin osin palauttamaan erotinasemien manuaalisella hallinnalla.

9.1.2 Mallinnus

Simuloinnissa mallinnettiin vain hyökkäyksen aktiivivaihe, sillä tiedustelu ja työasemaverkon saastuminen ei vaikuta järjestelmien palvelutuotantoon: Mallinnetussa osuudessa hyökkäys alkaa 27.12. klo 1:00 yöllä. Hyökkäys onnistuu kuuteen etäohjattavaan erotinasemaan, joiden alla on joukko tukiasemia, kriittisiä kohteita ja asukkaita. Hyökkäyksen aikana korjaustyöt myrskyn jäljiltä ovat edelleen käynnissä. Kyberhyökkäys on päällä yhtäjaksoisesti 29 tuntia kaikissa hyökkäyksen kohteena olevissa sähköverkon osissa. Korjaukset saadaan vaiheittain tehtyä kymmenen tunnin aikaikkunassa iltapäivään 28.12 klo 15:00 mennessä.

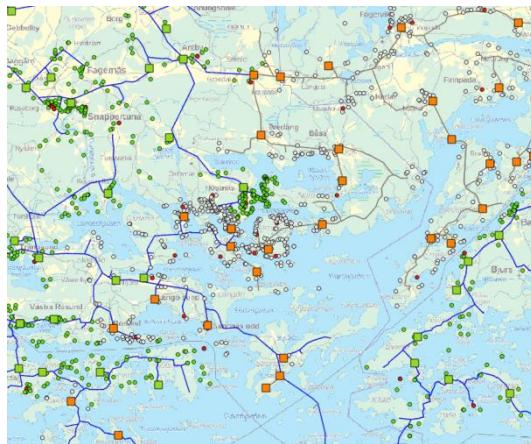
9.1.3 Simulointitulokset

Seuraavissa kuvissa (Kuva 52) on havainnollistettu tilannetta pahimmillaan kyberhyökkäyksen aikana. Hyökkäykselle altistuneet erotinasemat eivät kykene syöttämään sähköä ja alueella olevat rakennukset jäävät ilman sähköä. Ainoastaan rakennukset, jotka ovat energiaomavaraisia, pystyvät tuottamaan tarvitsemansa sähkön saarekekäytössä.



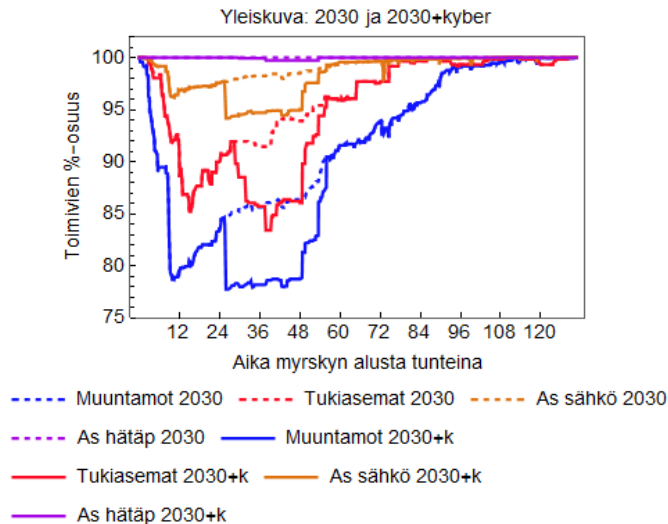
Kuva 52. Ilman sähköä olevat rakennukset kyberhyökkäyksen aikana (vuosi 2030 hybridiskenaario). Vasemmanpuoleisessa kuvassa on esitetty oransseilla nelikulmioilla hyökkäykselle altistuneet erotinasemat. Vihreät nelikulmiot kuvaavat toimivia erotinasemia. Oikeanpuoleisessa kuvassa on esitetty vihreillä palloilla sähköä saavat rakennukset. Harmaat pallot kuvaavat rakennuksia, jotka jäävät kyberhyökkäyksen takia ilman sähköä. Punaisilla palloilla on esitetty rakennukset, jotka ovat energiaomavaraisia.

Alla olevassa kuvassa on esitetty suurennus simulointimallista.



Kuva 53. Myrskyn ja kyberhyökkäyksen paikallinen vaikutus sähkönsyöttöön (vuosi 2030 hybridiskenaario). Kyberhyökkäykselle altistuneet komponentit on esitetty oransseina nelikulmioina. Pienet harmaat pallot kuvaavat sekä myrskyn että kyberhyökkäyksen takia sähköttömiä rakennuksia, vihreät nelikulmiot toimivia sähkökomponentteja ja vihreät pallot sähköä saavia rakennuksia.

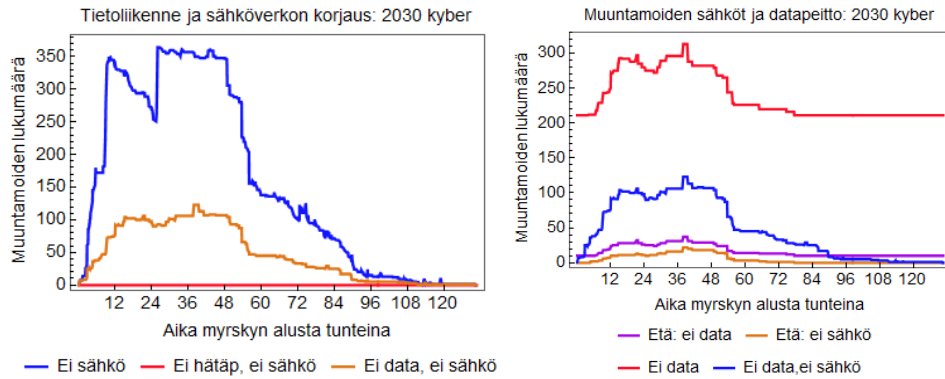
Kyberhyökkäys vaikuttaa suoraan sähkönjakeluun ja sitä kautta hätäpuhelu-, puhe- ja datapalveluihin. Seuraavasta kuvasta näkyy selvästi kyberhyökkäyksen alkaminen ja päätyminen (Kuva 54). Pahimmalla hetkellä sähköttömien muuntamoiden määrä kasvaa yli 6 %. Portaittainen 9 % muutos näkyy muutamia tunteja myöhemmin tukiasemakäyrässä, kun tukiasemien akut loppuvat. Vaikutus asukkaisiin ei ole niin suuri (vajaa 4 %) kuin muuntamoihin, koska kyberhyökkäys kohdistui taajama-alueen rajalla oleviin erotinasemiin. Suurin osa asukkaista on kuitenkin edelleen toimivan sähköverkon piirissä. Kyberhyökkäysalueella näkyy vain pieniä häiriöitä hätäpuhelupalveluissa, koska naapuritukiasemat kykenevät tarjoamaan lisäpeittoa häiriöalueelle.



Kuva 54. Myrskyn ja kyberhyökkäyksen vaikutukset sähköverkkoon, tukiasemaverkkoon ja asukkaiden sähkösaantiin (vuosi 2030 hybridiskenaario).

9.1.4 Sähkönjakelu

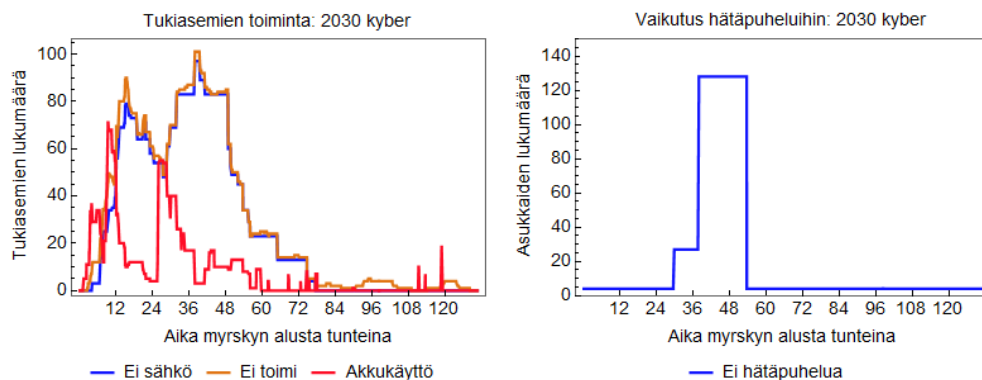
Kyberhyökkäys kohdistettiin erotinasemiin, jolloin sen häiriövaikutus näkyy suoraan muuntamoiden vikaantumislukumäärissä. Alla vasemmalla olevasta käyrästä (Kuva 55) nähdään, että vikaantuneiden muuntamoiden määrä kasvasi kyberhyökkäyksen alkaessa noin 250:stä reiluun 350:een. Kyberhyökkäyksen edetessä vikaantuneiden muuntamoiden määrä pieniensi pääosin siitä syystä, että korjaustyöt muualla sähköverkossa etenisivät. Hätäpuhelupeitto pysyisi kaikissa sähköttömässä muuntamopisteissä, koska sekä sopimusoperaattoreiden että muiden operaattoreiden naapuritukiasemat pystyisivät yhdessä tarjoamaan tarvittavan hätäpuhelupeiton alueille, joilla kyberhyökkäys eniten vaikuttaisi. Datapeiton osalta sopimusoperaattorin naapuritukiasemat olisivat liian kaukana ja tästä syystä datapeittoon syntyisi aukkoja. Kyberhyökkäyksen seurauksena datapeitto katoaisi noin noin 40 muuntamopaikasta.



Kuva 55. Myrskyn ja kyberhyökkäyksen vaikutukset sähköverkkojen korjaustöihin (vuosi 2030 hybridiskenaario).

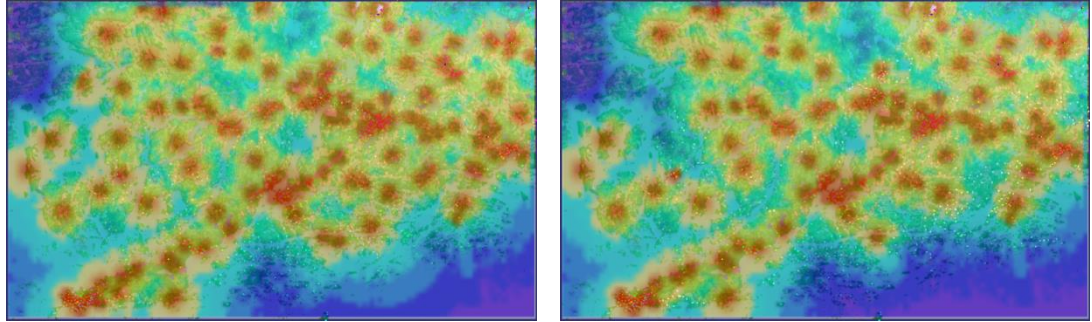
9.1.5 Tietoliikenne

Tukiasemille kyberhyökkäys näkyisi sähkönjakelun loppumisena. Seuraavassa käyrässä (Kuva 56) näkyvät vikaantuneiden tukiasemien määrä ja akkujen käyttö myrskyn ja kyberhyökkäyksen aikana. Myrskyn seurauksena 80 tukiasemaa vikaantuisi akkujen loputtua. Kymmeneen tukiasemaan tulisi myös tekninen vika, mikä näkyy keltaisesta käyrästä. Myrskykorjauksen avulla 40 tukiasemaa saataisiin palautettua, mutta kyberhyökkäyksen seurauksena kuitenkin likimain vastaava määrä tukiasemia vikaantuisi hyökkäysalueella. Kyberhyökkäyksen alkamishetkellä näkyy myös selvä piikki akkujen käytössä. Kyberhyökkäyksen päätyttyä 29 tunnin kuluttua sähköverkon korjaustyöt olisivat edenneet siihen vaiheeseen, että 40 tukiasemaa olisi enää vikaantuneina ja nekin saataisiin pääosin korjattua 72 tuntia myrskyn alusta.



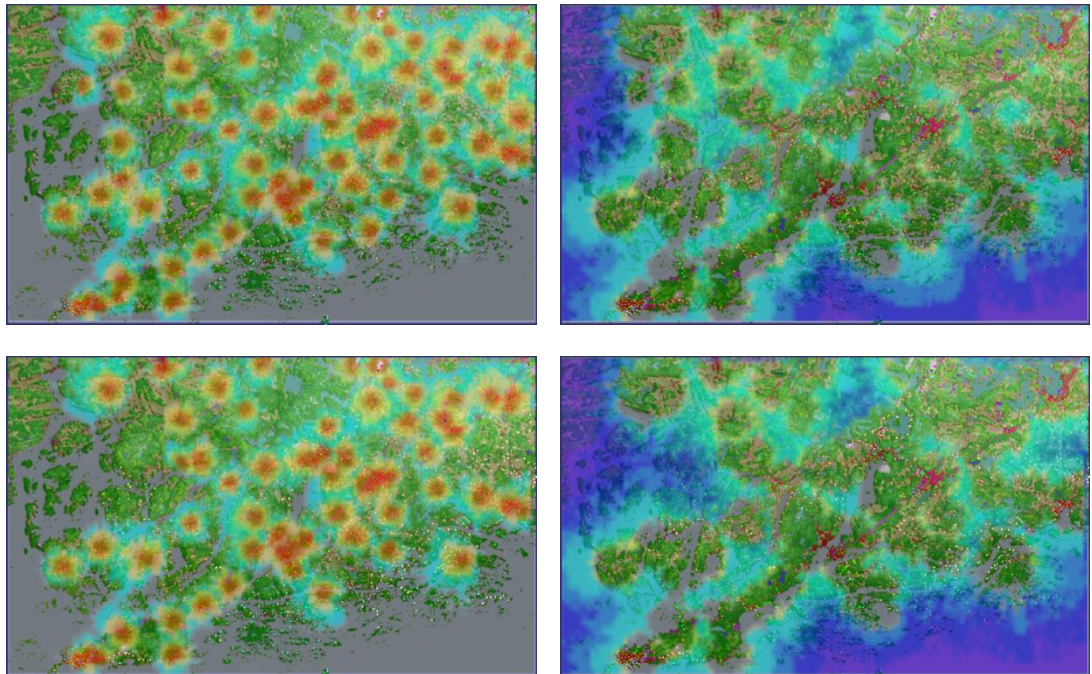
Kuva 56. Kyberhyökkäyksen vaikutukset tukiasemien toimintaan ja hätäpuheluihin (vuosi 2030 hybridiskenaario).

Seuraavissa kuvissa on esitetty hätäpuheluennuste vuoden 2030 kyberhyökkäyksen tapauksessa. Hätäpuheluennuste on laskettu kaikkien teknologioiden yhteisenä peittona, koska tulevaisuudessa matkapuhelinoperaattorit pystyvät tehokkaammin käyttämään koko taajuuskaistaa data- ja puhepalvelujen tarjoamiseen. Kyberhyökkäyksen seurauksena hätäpuheluennusteeseen saattaisi tulla heikkoja kohtia, vaikkakin pääosin hätäpuheluennuste pysyisi kaikkialla. Simuloinnissa 128 asukasta jäi laskenta-alueen reunoilla ilman hätäpuheluennustetta kyberhyökkäyksen vuoksi.



Kuva 57. Häät puhelupeitto laajimmillaan ja kyberhyökkäyksen pahimmassa vaiheessa vuoden 2030 hybridiskenaariossa. Kuvassa lämpimät värit edustavat korkeita vastaanotetun signaalin voimakkuustasoja ja kylmät alhaisia.

Seuraavassa kuvassa on esitetty hybriditapauksen datapalvelupeitto yhden operaattorin osalta. Datapeitto sisältää kaikkien eri teknologioiden datapeittoalueet vastaavalla tavalla kuin häät puhelupeiton osalta on tehty.



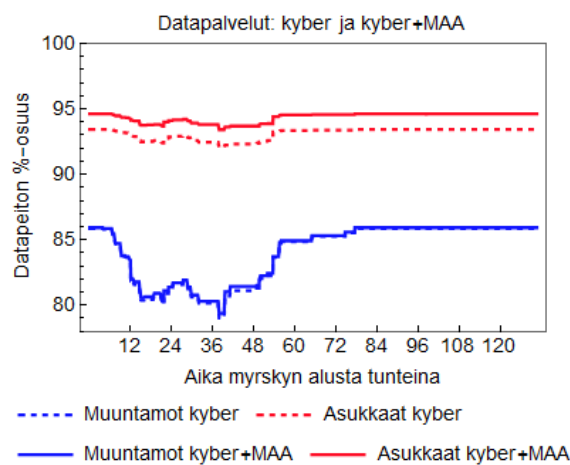
Kuva 58. Datapalvelupeitto ja datapalveluaukko laajimmillaan ja pienimmillään kyberhyökkäyksen pahimmassa vaiheessa alueen pelastuslaitoksen käyttämissä 2G/3G/4G-verkoissa yhteensä (vuosi 2030 hybridiskenaario). Vasemmanpuoleisissa kuvissa lämpimät värit edustavat korkeita vastaanotetun signaalin voimakkuustasoja ja kylmät alhaisia. Oikeanpuoleisissa kuvissa kylmät värit esittävät alueita, joilta datapalvelu puuttuu.

Kyberhyökkäys kohdistettiin tiettyihin erotinasemiin, joita tulevaisuuden skenaariossa oli lisätty noin kolmasosaan muuntamoista. Tämän seurauksena sähkönsaanti erotinaseman takana oleviin rakennuksiin estyi. Kuvasta nähdään, että mahdollisen kyberhyökkäyksen vaikutus olisi tulevaisuudessa suurempi kuin luonnonilmiöllä. Kyberhyökkäyksen aikana lähes 3000 asukasta olisi ilman sähköä. Kuvasta nähdään, että kyberhyökkäyksen vaikutus olisi suurempi kuin myrskyllä vaikka kyberhyökkäys kohdistui vain pienille maantieteellisille alueille.

MAA-konsepti

Osana kybersimulointia selvitettiin nk. MAA-konseptin käyttöä kyberhyökkäyksen vaikutusten pienentämiseen. Perusideana MAA-konseptissa on se, että häät puhelupalvelujen tapaan operaattorit tarjoaisivat yhdessä datapalveluja kriittisen infrastruktuurin toimijoille ja siten

yhdessä varmistaisivat tietoliikenteen laadun ja peiton kaikissa tapauksissa. Vastaava toiminnallisuus olisi rakennettavissa loppukäyttäjän toimesta monioperaattori-SIM-korteilla. Koska tämä on todennäköisempi kehityshaara, vuoden 2030 simuloinneissa 50 % SIM-korteista asetettiin dual-SIM-korteiksi ja 30 % triple-SIM-korteiksi. Seuraavassa kuvassa (Kuva 59) on esitetty toiminnallisuuden vaikutus kyberhyökkäysskenaariossa. Simulointien tuloksena etäohjattavien muuntamoiden kannalta hyöty olisi hyvin pieni ja asukkaidenkin osalta vain reilun 1 % luokkaa. Tämä johtuu pääosin siitä, että datapeitto lasketaan kaikkien teknologioiden yli ja loppukäyttäjillä on perusskenaariossa varsin suuri määrä monioperaattori-SIM-kortteja käytössään. Mikäli monioperaattori-SIM-kortteja ei olisi, vaikutus oli huomattavasti suurempi. Tulokseen vaikuttaa myös se, miten tietoliikenneverkkomallissa eri operaattorit jakavat tukiasemapaikkoja tai tukiasemat ovat suhteellisen lähellä toisiaan, jolloin toisen operaattorin tukiasemat eivät kykenisi merkittävästi laajentamaan datapeitto- aluetta kyberhyökkäysalueelle asetetuilla kynnyksisarvoilla.



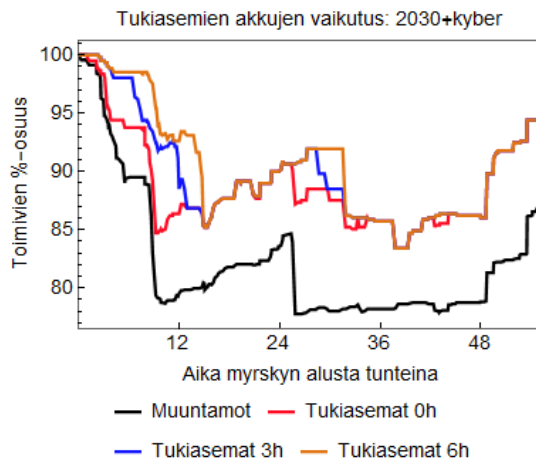
Kuva 59. MAA-konseptin käyttö datapalvelujen varmistamisessa kyberhyökkäysskenaariossa (vuosi 2030 hybridiskenaario).

9.1.6 Tukiasemien akuston merkitys myrsky- ja kyberskenaariossa

Säävarman sähköverkon laajentaminen parantaa tukiasemien sähkönsyötön luotettavuutta, mutta se ei pysty suojaamaan sähkön jakelua kyberhyökkäyksiltä. Akkuvarmistuksista luopuminen tai akkujen toimintavarmuuden romahtaminen voisi johtaa häiriötilanteessa siihen, ettei tarvittavaa tilannetietoa pystyittäisi välittämään. Mobiilitietoliikenteen välitön heikkeneminen vähentäisi toimintakykyä, vaikeuttaisi häiriötilanteesta toipumista ja aiheuttaisi ongelmia mm. asukkaiden ja kriittisen infratruktuurin toimijoiden tiedottamisessa häiriötilanteen aikana. Yhteiskunnan digitalisoitumisen ja lisääntyvän tietoliikenne riippuvuuden vuoksi tukiasemien akkuvarmistuksiin tulisikin yhä panostaa.

Seuraavassa kuvassa (Kuva 60) on havainnollistettu eripituisia akkuvarmistuksia vuoden 2030 myrsky- ja kyberskenaarioiden alkutunteina, jolloin muuntamoiden ja tukiasemien toimintakyky alenee merkittävimmin. Simuloinneissa alueen kriittisimmille tukiasemille asetettiin 12 tunnin akusto. Kaikkien muiden tukiasemien akkujen kestoiksi asetettiin joko nolla, kolme tai kuusi tuntia. Sinisenä käyränä esitetty kolmen tunnin akusto vastaa lähinnä tämänhetkisiä vaatimuksia tukiasemien akustolle. Mikäli akustoa kasvatettaisiin kuuteen tuntiin saavutettaisiin lisää toiminta-aikaa häiriötilanteiden alussa. Ero kolmen tunnin akustoon verrattuna ei kuitenkaan ole niin suuri, että varautumistapaa voitaisiin välttämättä pitää kustannustehokkaana. Akkujen keston pidentäminen kolmesta kuuteen tuntiin ei kasvata hyötyä samassa suhteessa kuin kolmen tunnin akuston käyttäminen akuttomaan tilanteeseen verrattuna.

Pitkäkestoisissa häiriötilanteissa, kuten simuloitussa Hannu-Tapani-myrskyssä ja kyberhyökkäyksessä, kuuden tunnin akusto ei myöskään suojaa tietoliikennettä laajoilta ongelmilta. Toimimattomien tukiasemien osuus kasvaa lopulta samoihin lukemiin kaikissa simuloituissa tapauksissa. Käyriä tulkittaessa on kuitenkin otettava huomioon, että kenttätoimintaan ja korjauksiin kuuden tunnin akustosta saattaa olla suurempaa lisähyötyä kuin mitä simulointimallissa on voitu huomioida. Häiriötilanteen hallinnassa on myös eroja eri toimijoiden välillä. Etäkäytettäviä järjestelmiä hyödyntäville tahoille tukiasema-akkujen keston kasvattaminen lisääisi toiminta-aikaa.

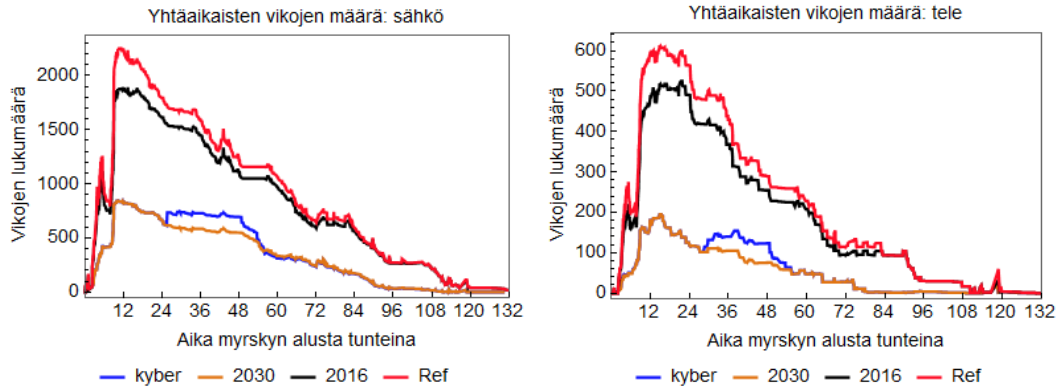


Kuva 60. Tukiasemien akkuvarmennuksen merkitys myrskyn ja kyberhyökkäyksen aikana.

9.1.7 Vikamäärät ja keskinäisriippuvuudet

Simuloinnit pohjautuvat viiden päivän aikana taltioituun vajaaseen 5 300 sähköverkon vika- ja korjaustapahtumaan. Vuoden 2016 tapauksessa (maakaapelointiaste 22,2 %) näistä generoitiin simulaattorissa 64 500 vikaviestiä. Vuoden 2011 referenssiaineistolla (maakaapelointiaste 8 %) vikaviestejä generoitiin 95 200, koska lähes kaikki viestit aiheuttivat seurannaisvikoja. Vuoden 2030 tapauksessa (maakaapelointiaste 65 %) vikaviestien määrä putosi 19 200, koska maakaapeloinnin tuloksena vikaantuminen väheni ja samalla järjestelmien välinen viestinvälitys pieneni. Kyberhyökkäyksen tapauksessa viestien määrä luonnollisesti kasvoi vajaaseen 24 800.

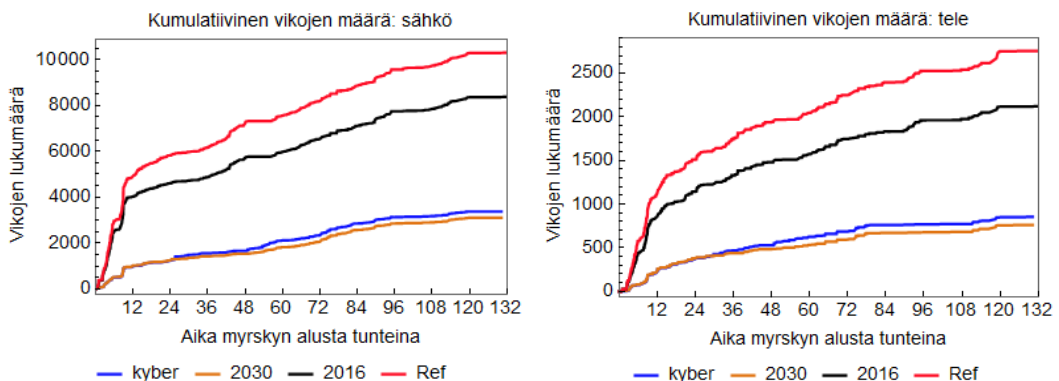
Eri simulointiskenaarioita voi havainnollistaa ja vertailla piirtämällä ajan funktiona eri infrastruktuureissa olevia vikamääriä (Kuva 61). Oikealla puolella olevasta kuvasta nähdään, että kaapeloinnin lisääminen vaikuttaisi sähköverkon vikojen lukumäärään selvästi. Kaapeloinnin lisääntyminen 8 %:sta vuoden 2016 22,6 %:iin näkyisi yhtäaikaisten vikojen vähentymisenä myrskyn pahimmalla hetkellä. Koska kaapelointi on tehty asutuksen ympäristössä, parannus asukkaille olisi vikamäärän muutosta suurempi. Laajamittainen kaapelointi 2030 leikkaisi vikoja edelleen, mutta vikamäärä pahimmillaan olisi edelleen ehkä yllättävän korkea. Simulointien valossa sähköverkosta ei tulisi vikaantumaton myrskyssä. Oletukset sähköverkon automaation ja etäkäytön parantumisesta näkyvät vuoden 2030 skenaariossa siinä, että myrskyn alussa vikoja saataisiin rajattua nopeasti ja alkutuntien tilanne kehittyisi eri tavalla kuin vuonna 2016. Kyberskenaario näkyisi sähköverkossa vikamäärien nousuna. Kriittisten kohteiden tila noudattaisi kutakuinkin sähköverkon tilaa.



Kuva 61. Yhtäaikaisten vikojen määrä sähkö- ja tietoliikenneverkoissa eri simulointiskenaarioissa.

Myrskyskenaariossa tietoliikennevikojen juurisyy on pääsääntöisesti sähkökatko. Tietoliikenteen osalta on kuitenkin nähtävissä vaiheita, joissa tietoliikennevikoja saadaan korjattua tehokkaasti. Esimerkiksi n. 28 tunnin kohdalla tietoliikenteen vikamäärä vähenee nopeasti. Tähän saattaa olla syynä se, että korjaustoimet ovat kohdistuneet sellaisiin tukiasemiin, joiden kautta kulkee myös muiden tukiasemien liikennettä. Hyvän tilannekuvajärjestelmän tulisi tukea tällaisten korjauskohteiden priorisointia ja kommunikointia eri infrastruktuurien välillä. Vuoden 2016 skenaariossa sähköverkon vikojen määrä nousee hetkellisesti kahden vuorokauden kohdalla. Tilanne on niin lyhyt, että vastaavaa piikkiä ei näy tietoliikenteen vikaantumisissa. Tietoliikenne siis pystyy kompensoimaan lyhytaikaisia häiriöitä. Vuoden 2030 skenaariossa tietoliikenteen vikamäärät nousevat hivenen hitaammin kuin sähköverkon vikamäärät. Erolla saattaa olla merkitystä etähallinnan ja tilannetiedon kannalta.

Kumulatiiviset vikojen määrät havainnollistavat simuloitujen skenaarioiden eroja (Kuva 62). Kaapelointi vaikuttaa vikojen määrään kertaluokkien erolla, kun taas kyberskenaario näyttäytyy vikamääriä katsellen varsin viattomalta tilanteelta. Simulaatioiden perusteella kaapeloinnin lisääntyminen referenssitilanteesta vuoden 2016 tilanteeseen näkyy vikojen kertaluokkaerona sekä sähkö- että tietoliikenneverkoissa. Ero vuoden 2030 tilanteeseen on edelleen huomattava, mutta kaapeloinnin edetessä sen tehokkuus vikojen määrässä mitattuna pienenee.

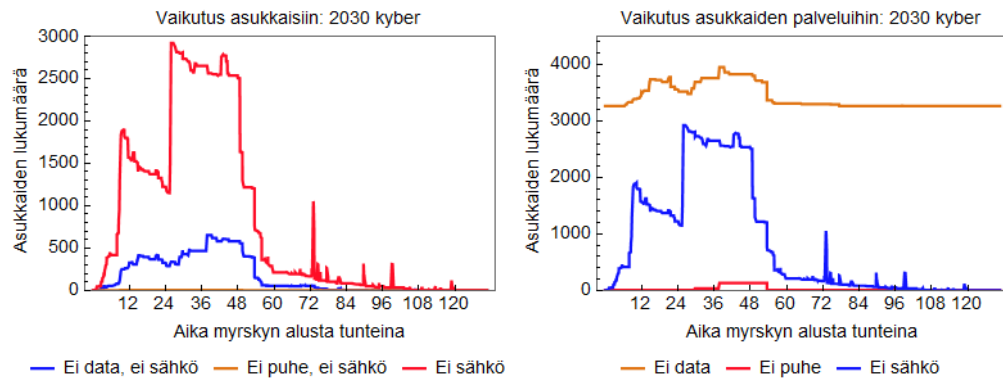


Kuva 62. Kumulatiivinen vikojen määrä sähkö- ja tietoliikenneverkoissa eri simulointiskenaarioissa.

9.2 Infrastruktuurien käyttäjän toimintakyky

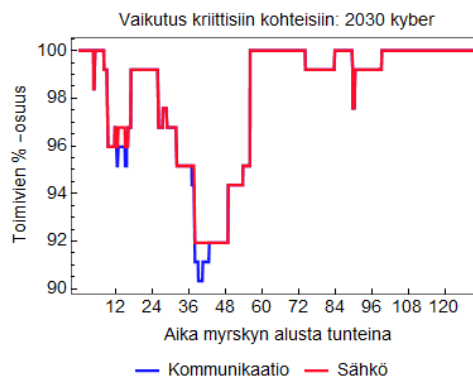
Seuraavat kuvat (Kuva 63) esittävät kybertilanteen vaikutusta asukkaiden ja kriittisten kohteiden kannalta. Poikkeuksena edellisessä luvussa esitettyyn vuoden 2030 tapaukseen

on se, että kyberhyökkäyksen seurauksena sähkö- ja puhepalvelukäyrään muodostuu selkeä häiriöalue, joka paikasta riippuen kestää 30 - 40 tuntia. Sen seurauksena sähköttömien asukkaiden määrä nousee 1200:sta lähes 3000:een. Oikealla olevasta kuvasta nähdään, että hyökkäys aiheuttaa datapeittoon aukkoja. Sen seurauksena ilman datapeittoa olevien asukkaiden määrä nousee portaittain tukiasema-akkujen sammussa reiluun 650:een. Kyberhyökkäys vaikuttaa voimakkaammin asukkaiden datapalveluihin kuin puhepalveluun. Asukkaista hieman alle 4000 on ilman hyvälaatuista datapalvelua hyökkäyksen aikana ja ilman puhepalvelua noin 130. Kuvassa näkyy vikakorjausten jälkeen hyvin jyrkkiä pudotuksia. Se osoittaa, että erotinasemilla on asukasmäärään nähden hyvin erilainen kriittisyysaste, johon korjaustöiden priorisoinnissa voidaan kiinnittää huomiota.



Kuva 63. Myrskyn ja kyberhyökkäyksen vaikutus asukkaisiin (vuosi 2030 hybridiskenaario)

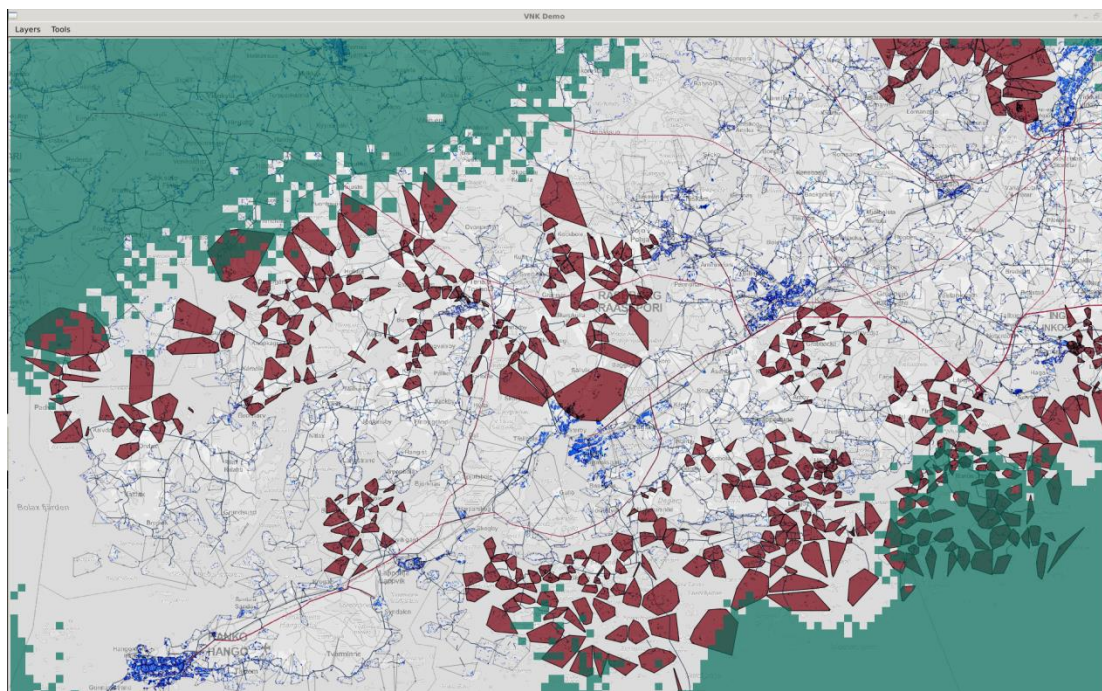
Kriittisten kohteiden osalta kyberhyökkäys pudottaisi sähköistettyjen kohteiden määrää 8 %. Osuus on noin 4 % suurempi kuin pelkän myrskyn tapauksessa. Noin 4 % kriittisistä kohteista olisi ilman sähköä ja datapeittoa yli vuorokauden. Muutamissa kohteissa sähköttömyys voisi kestää jopa kaksi vuorokautta. Vuoden 2030 tapauksessa minimikohdat sähkön ja tietoliikenteen osalta osuivat eri kohtiin, kun taas hybriditapauksessa molempien minimikohdat osuvat hetkeen, jolloin tukiasema-akut loppuvat. Kriittisten kohteiden osalta kyberhyökkäyksen vaikutus molempiin verkkoihin on merkittävä.



Kuva 64. Myrskyn ja kyberhyökkäyksen vaikutus kriittisiin kohteisiin (vuosi 2030 hybridiskenaario).

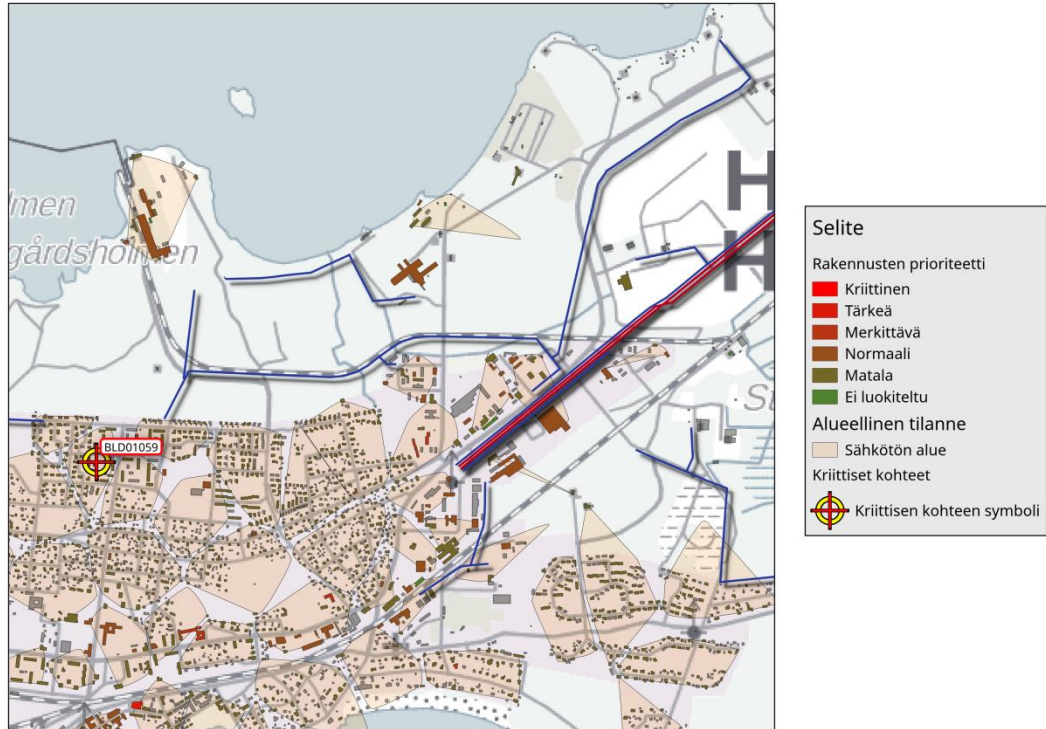
10 INFRASTRUKTUURIEN TILANNEKUVA

Tilannekuvajärjestelmän tehtävänä on esittää tilanteesta selkeä ja visuaalinen kuva, josta tilanteen ollessa päällä voidaan tunnistaa kiireellisimmät kohteet. Tilannekuvajärjestelmän visualisointi on toteutettu tavalla, jossa muuntajakohtaiset sähköttömät alueet esitetään värjättyinä monikulmioina (Kuva 65), jolloin katse laajaltakin karttanäkymältä keskittyy näihin alueisiin. Tarkentamalla kuvaa tiettyyn kohteeseen näytölle ilmaantuu rakennuksia värjättyinä niiden kriittisyyden mukaan (Kuva 66).



Kuva 65. Esimerkki mallinnetusta alueesta tilannekuvajärjestelmässä. Muuntamokohtaiset sähköttömät alueet on esitetty tummanpunaisilla monikulmioilla ja ilman hätäpuhelupeittoa olevat alueet vihreällä värillä.

Seuraavassa kuvassa (Kuva 66) olevassa esimerkissä rakennuksen kriittisyys perustuu rakennusten kriittisyysluokitukseen (liite 1), jonka neljä ensimmäistä luokkaa on esitetty kuvassa Kriittinen-luokittelun alla. Muut rakennukset on luokiteltu kriittisyysluokituksen järjestyksessä joko tärkeiksi, merkittäviksi tai normaaleiksi rakennuskohteiksi. Kartalla oleviin elementteihin, kuten rakennuksiin, tukiasemiin ja sähköverkon komponentteihin, voidaan myös liittää erilaisia kriittisyyttä kuvaavia symboleita kuvassa esitetyllä tavalla. Tilannekuvajärjestelmässä kriittisistä kohteista saadaan lisätietoa valitsemalla kyseinen kohde hiirellä. Esitystapa soveltuu hyvin etenkin kaupunkiympäristöihin, missä rakennukset ovat tiiviisti.



Kuva 66. Esimerkki sähköttömistä alueista ja kriittisistä kohteista tilannekuvajärjestelmässä. Sähkötömät alueet on tässä näkyvässä esitetty vaaleilla monikulmioilla ja rakennukset värjättyinä punaisiksi tai vihreiksi kuvassa olevan selitteen mukaisesti. Kuvassa on erillisellä symbolilla tuotu esiin yksi priorisoitu kohde.

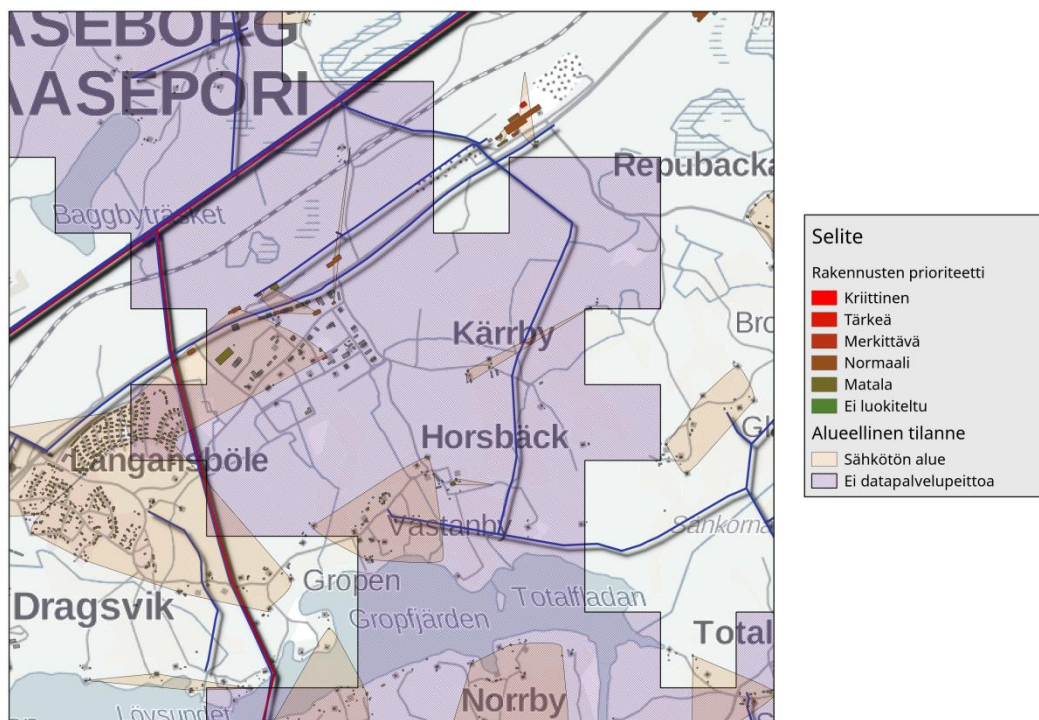
Jos kohteita on paljon, tilannekuvajärjestelmän prioriteettilistasta löytyy 10 kriittisen infrastruktuurin kannalta tärkeintä korjauskohdetta (Kuva 67). Verkkosimulaattori käyttää samaa listaa, jos käytössä on kohteiden dynaaminen priorisointi. Listasta näkyvät kohde, tyyppi, tila, prioriteettitaso ja vaikuttavuusarvo [45]. Esimerkissä kohteita on vain kolme, mutta myrskyn pahimmalla hetkellä listalla esitetään kymmenen vaikuttavuudeltaan merkittävintä kohdetta.

Tilannekuvajärjestelmä tuottaa arvion sekä vikojen vaikutuksesta, että vian korjaamisesta aiheutuvasta hyödystä. Nämä arviot lasketaan käyttämällä keskinäisriippuvuusmallia, jossa otetaan huomioon sekä verkkojen rakenne, että aiemmat vikatilanteet ja niiden seuraukset [44]. Myös viat voidaan listata samankaltaisella tavalla niiden vaikuttavuuden/vakavuuden mukaan.

	Komponentti	Tyyppi	Tila	Prioriteetti	Vaikutus
1	PS00001 (ÅMINNEFORS)	Sähköasema	Laitevika	1	723
2	Raasepori_GSM_244	Tukiasema	Ei sähköä	5	528
3	LINDSBY/TROLLSHOVDA	Muuntaja	Ei sähköä	5	132
4					
5					

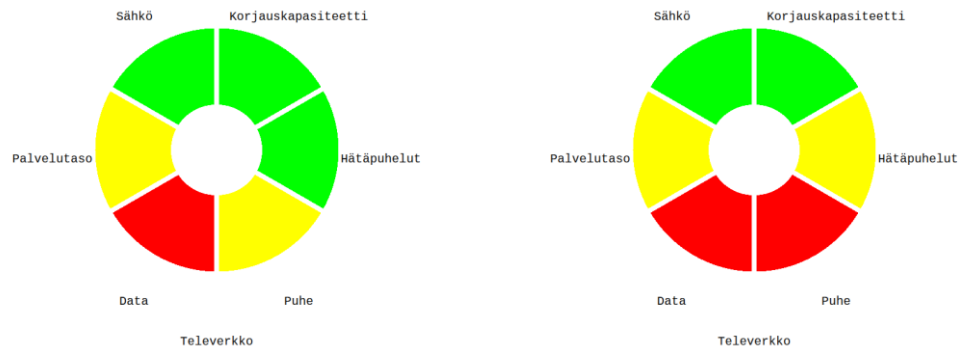
Kuva 67. Tilannekuvajärjestelmän prioriteettinäkömä.

Seuraavassa kuvassa (Kuva 68) on esitetty tilanne taajama-alueen ulkopuolella. Kuvan esimerkissä sähköttömien muuntamoiden alueet on esitetty vaalean ruskealla. Pelastustoiminnan kannalta on hyvä myös tietää, millä alueilla on mahdollisia hätäpuhelu- tai datapalveluaukkoja. Kuvan esimerkissä näkyy datapuhelupeittoon vikaantumisen seurauksena tullut aukko. Kuva voidaan esittää jokaisen operaattorin osalta sekä teknologia-kohtaisesti (GSM, UMTS, LTE). Tietoa voidaan käyttää kentälle lähetettävien pelastushenkilöiden varustamisessa sekä indikaationa siitä, minkälainen kommunikaatio on mahdollista kenttähenkilöstön ja ohjauskeskuksen välillä.

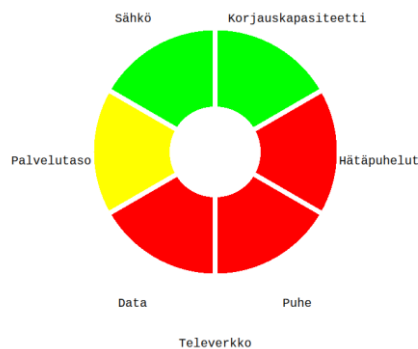


Kuva 68. Datapalveluaukko tilannekuvajärjestelmän näkymässä.

Haastatteluissa tuli useaan otteeseen ilmi, että tilannekuvajärjestelmän tulisi tuottaa tietoa tilanteen edistymisestä. Alla olevissa kuvissa (Kuva 69 ja Kuva 70) on esitetty matkapuhelinverkon tilanne siten, että ensimmäisessä piirakkakuvassa on esitetty nykytilanne ja toisessa ennuste neljän tunnin päähän. Esimerkkikuvista nähdään, että tilanteen ennustetaan heikkenevän esim. tukiasema-akkujen hiipumisen myötä. Kolmannessa kuvassa on varsinainen toteuma, josta nähdään, että vikaantumisen on jatkunut neljän tunnin aikana, jolloin ongelma on laajentunut koskemaan myös hätäpuhelupeittoa.



Kuva 69. Matkapuhelinverkkojen yleistila sekä 4h ennuste.



Kuva 70. Matkapuhelinverkkojen yleistilan toteuma.

11 PÄÄTELMÄT

11.1 Päätelmät haastatteluista

Tutkimuksen alussa tehtyjen haastattelujen tavoitteena oli mahdollisimman tehokas tiedon kerääminen pelastustoimen, sähkönjakelun ja tietoliikenteen häiriönhallinnan aihepiireistä tavalla, joka mahdollistaa erilaisten näkemysten keräämisen ja arvioinnin. Häiriöiden hallintaan, tilannekuvan muodostamiseen, yhteistyöhön ja tulevaisuuden muutoksiin saatiin hyvin tietoa, kokemuksia ja näkemyksiä kaikkien toimijoiden näkökulmista. Aihepiirin merkitys sekä yhteistyöhalukkuus tulivat haastatteluissa hyvin esille mm. siinä, että haastattelu-materiaalia kertyi arvioitua enemmän. Haastattelujen rajallisen ajan tai kenties loppuraportin julkisuuden vuoksi kyberturvallisuudesta ei kertynyt vastaavantasoisia aineistoja.

Teleoperaattoreiden keskinäinen ja teleoperaattoreiden sekä sähköyhtiöiden välinen yhteistyö on parantunut vuodesta 2011, jolloin tässäkin työssä käytettävää sähkö- ja tietoliikenneverkkosimulaattoria alettiin kehittää. Hannu-Tapani-myrskyjen jälkeen useilla tahoilla on kiinnitetty huomiota suurhäiriöistä toipumisen parantamiseen ja eri tahojen välisen tilannetiedon jakamiseen. Tämä on kannustanut yhteistyöhön, joka on erityisesti teleoperaattoreilla kehittynyt avoimempaan suuntaan. Myös pelastustoimi on hyötynyt yhteistyön tiivistymisestä sähköyhtiöiden kanssa. Tällä hetkellä tämän aihepiirin ympärillä on käynnissä useita hankkeita, kuten esim. HÄTY-yhteistyö ja Krivat-palvelu, jotka aktiivisesti lisäävät tiedonvaihtoa. Kokemukset näistä ovat olleet varsin positiivisia, joskin koordinoitua eri hankkeiden välillä voisi olla enemmänkin. Lisääntynyt tiedonvaihto ei kuitenkaan tarkoita, etteikö parannettavaa vielä löytyisi – paljonkin. Vaikka osapuolet vaihtavatkin tietoja ja pitävät järjestelmissään kirjaa kriittisistä ja priorisoitavista kohteista, tilanteet ovat hyvin muuttuvia ja vaativat häiriön aikaista yhteistyötä sekä tehtävien uudelleenpriorisointia ja synkronointia. Tätä työtä tulisi kehittää eteenpäin.

Tilannetietoisuudessa ja tilannekuvan muodostamisessa on yhteistyön ja tiedon jakamisen lisäksi suurelta osin kyse myös tiedon esitystavoista ja määristä. Tarkastellaanpa esimerkiksi, joka tuli esille haastatteluissa. Joku ilmoittaa, että tiellä numero 101 kulkee 30 000 ajoneuvoa. Jokaiselle, joka liikkuu pääkaupunkiseudulla, on selvää, mistä tiestä on kysymys, mutta kuinka moni ymmärtää tuosta yksinkertaisesta lauseesta enemmän? Olisiko asian sisäistäminen ollut helpompaa, jos sama tieto olisi annettu karttapojalla, esim. tieosuudet liikennevalvarein ilmaistuina numerotietojen ollessa kuvassa lisätietoina? Tilannekuvan muodostamiseksi mahdollisimman nopeasti tietoa ei saa tulla liikaa, tiedon on oltava selkeästi esitettyä ja ymmärrettävää ja sillä on oltava merkitys joko menneisyydessä, nykyhetkessä tai tulevaisuudessa. Suurhäiriön hallinnassakin toistuvat kysymykset, mitä on tehty, mitä tehdään parhaillaan ja mitä pitäisi tehdä seuraavaksi. Silloin, kun päätöksiä pitää pystyä tekemään minuuteissa, tieto on lisäksi saatava nopeasti. Tällöin järjestelmissä, joista tietoa haetaan, toimintavarmuuden, käytettävyyden ja yhteensopivuuden merkitys korostuu. Laadukkaat ja nopeat tiedonsiirtoyhteydet tulevat tärkeiksi. Tässäkin työssä tuli esille muutamia konkreettisia tapoja parantaa kriittisen infrastruktuurin tiedonsiirtoa häiriötilanteissa.

Haastatteluissa kävi ilmi, että pelastustoimelle tilannekuvan muodostaminen on haasteellista, koska se on loppukäyttäjän roolissa sekä sähköön, tietoliikenteeseen että useisiin teknisiin järjestelmiin nähden. Teleoperaattoreille ja sähköyhtiöille, joilla hyvin suuri osa tiedoista tulee omista verkon- ja palvelunhallintajärjestelmistä ja jotka pystyvät joko itse

kehittämään järjestelmiään tai ainakin paremmin vaikuttamaan niiden kehitykseen, tilanne on helpompaa. Tilannekuvan muodostamiseen vaikuttaa aina myös vastuu tiedon jakamisesta ja tehtäväkenttä eli kuinka paljon toiminnot ovat riippuvaisia muilta saatavasta tiedosta.

Yhteistä tilannekuvajärjestelmää käytettäessä ja ylipäätään tilannekuvaa jaettaessa on tärkeää, että jokainen tietoa tuottava on valmis panostamaan tiedon jalostamiseen muidenkin ymmärtämään muotoon. Suurhäiriön kaltaisissa nopean toiminnan tilanteissa on myös tärkeää, että kaikki kriittiset toimijat toimivat yhteistyössä ja ovat halukkaita jakamaan tilannekuvaansa.

Haastatteluissa kävi ilmi, että kaikilla kolmella tarkastelun kohteena olevalla toimijalla on yhteinen pyrkimys ennakoitiin – suurhäiriötilanteessa pyritään pääsemään ”tilanteiden edelle”. Ennusteiden ja vaikuttavuuksien laskeminen on helpompaa, jos tietoa jaetaan. Yhteistä tietoa voidaan jalostaa pidemmälle ja tehdä analyysejä, jolloin uudenlaisia merkityksiä nousee esille. Tämä on erityisen tärkeää tulevaisuudessa, jossa automaation määrä kasvaa, verkot muuttuvat dynaamisemmiksi ja järjestelmät hankalammin tulkittaviksi.

Tällä hetkellä sähkönjakeluyhtiöt fokuoivat säävarman verkon rakentamiseen. Haastatteluissa toistui pohdinta, onko vuonna 2030 ylipäätään sähkönjakelun suurhäiriötä. Sähkön tuotannossa, käytössä ja markkinoissa tapahtuu kuitenkin paljon muutoksia, joita ei pitäisi unohtaa. Voi tulla uusia häiriöiden syitä, joista tutkimuksessa oli esimerkkinä kyberhyökkäys. Verkkojen informaatiotarpeet kasvavat, etähallinta lisääntyy ja markkinat tuovat uusia tarpeita, jolloin mm. tietoturvaan on kiinnitettävä erityistä huomiota.

11.2 Päätelmät simuloinneista

Järjestelmätoteutuksen tavoitteena oli laajentaa olemassa olevia verkkosimulaattori- ja tilannekuvasovelluksia palvelemaan sekä kriittisen infrastruktuurin palveluntuottajien ja -käyttäjien tarpeita. Tavoitteeksi asetettiin kaikkien kolmen tilannekuvajärjestelmän perusvaatimuksen täyttäminen:

- a) Sen tulee tarjota hyvä käsitys kaikista kriittiseen infrastruktuuriin sisältyvistä komponenteista ja niiden välisistä riippuvuuksista,
- b) sen tulee tarjota mahdollisimman tarkka ymmärrys nykytilanteesta ja
- c) sen tulee kyetä peilaamaan nykytilanne ja järjestelmien tila tulevaisuuteen sekä antaa parempi tuki korjaustöiden priorisoinnille.

Simuloinneissa mallinnettiin sama suurhäiriötilanne vuoden 2016 ja 2030 infrastruktuurimalleilla. Vuoden 2030 mallissa testattiin lisäksi myös kyberhyökkäys- ja vaikutuskenaariota sekä teleoperaattoreiden keskinäisen yhteistyön, nk. MAA-konseptin, käyttöä kriittisen infrastruktuurin tiedonsiirron varmistamiseksi. Verkkosimulaattorin ja tilannekuvajärjestelmän toiminnallisuuksia muokattiin tukemaan haastateltujen tahojen esille nostamia tarpeita. Vuoden 2030 infrastruktuurimalliin pohjautuvissa skenaarioissa hyödynnettiin akkujen kestosta saatavaa lisätietoa lähitulevaisuuden ennustamisessa sekä tilannekuvajärjestelmän priorisointilistoja korjaustöiden nopeuttamisessa. Verkkosimulaattori laski ennusteet 1h, 3h ja 4h aikaikkunalla ja tilannekuvajärjestelmä laski vastaavasti korjauspriorisointitarpeet vaikuttavuusalgoritmin pohjalta.

Merkittävin ero ihmisten väliseen kommunikaatioon on se, että järjestelmien välillä voidaan välittää hyvin suuria tietomääriä nopeasti. Tätä tietoa voidaan jalostaa ja tarjota ylemmälle tasolle parantamaan tilannetietoisuutta ja ymmärrystä tilanteen kehittymisestä ja keskinäisvaikutuksista nykyistä tehokkaammin ja visuaalisemmin. Tämän lisäksi toisen infrastruktuurin

hallinnasta saatu tilannetieto on jo valmiiksi numeerisessa muodossa ja siten liitettävissä omaan tilannetietoon ja jalostettavissa edelleen. Dataintegraation perustana käytettiin Joint Directors of Laboratories -mallin tarjoamaa prosessimallia. Tilannekuvajärjestelmään toteutettiin kaikki mallin kuusi tasoa sekä tilannetietoisuuden parantamiseksi myös graafiteoriaa ja ennusteita hyödyntävä vaikuttavuusalgoritmi.

Simuloinneissa kävi ilmi, että mallintaminen avoimen aineiston pohjalta on hyvin haastavaa. Tietoa on saatavilla runsaasti, mutta riittävän tarkkojen mallien rakentaminen vaatii paljon käsityötä, tilastotietojen käyttöä sekä kenttämittauksia. Tästä syystä verkkosimulaattori on rakennettu siten, että mahdollisimman suuri määrä tietoa on korvattavissa aineistolla, jonka nykyiset operatiiviset järjestelmät tuottavat. Esimerkiksi matkapuhelinoperaattoreiden tukiasemapaikat ja parametrit, peittoalue-ennusteet sekä sähköverkon rakenne ja mahdolliset uudelleenkytkennät suurhäiriön aikana sekä etähallinnassa käytettävien päätelaitteiden paikat, käyttämät teknologiat ja operaattorit ovat vaihdettavissa. Jos luottamuksellinen infrastruktuuritieto olisi ladattavissa suoraan tai epäsuorasti infrastruktuuritoimijoiden järjestelmistä, laskentamallit olisi mahdollisimman helppo räätälöidä tilannekuvajärjestelmien hyödynnettäväksi ja laskentatulokset palvelemaan tilannekuvajärjestelmän käyttäjiä.

Sähkö- ja tietoliikenneverkkojen tulevaisuuteen liittyy hyvin paljon epävarmuuksia, joten työn puitteissa pystyttiin analysoimaan vain yhtä tulevaisuusskenaariota. Simuloinnit toivat esille, että vuoden 2011 Hannu-Tapani-myrskyn kaltainen myrsky vaikuttaisi edelleen tuntuvasti Raaseporin alueella, vaikka tilanne on jo säävarman sähköverkon myötä selvästi parantunut vuodesta 2011. Tuloksista kävi ilmi, että jo pienikin maakaapelointiasteen kasvu pienentää sähköttömien asukkaiden osuutta sellaisilla alueilla, joilla asutus keskittyy voimakkaasti kaupunkiin ja taajamiin – lähelle sähköasemia. Tietoliikenteen osalta hyöty ei ole niin suoraviivainen, varsinkin kun tilannetta tarkastellaan makrosolutasolla ja peittoaluepohjaisesti. Maaseudulla matkaviestinverkot suunnitellaan pääosin peittopohjaisesti, jolloin tukiasemat sijaitsevat maantieteellisesti hajallaan eivätkä hyödy maakaapeloinnista vastaavalla tavalla.

Vuoden 2030 tilanteessa myrskyn vaikutus näkyy sähköverkon laidoilla, joissa käytetään edelleen ilmajohtoja. Sähkökatkot vaikuttavat pieneen joukkoon asukkaita ja hätäpuhelupeittokin on luonnonilmiöiden osalta varsin hyvin säävarmistettu. Sen sijaan vuoden 2030 tilanteessa kyberhyökkäyksen tai järjestelmän sisäisen vian riski kasvaa samalla, kun sähköverkkojen etäohjaus ja matkapuhelinverkon laajakaistapalvelujen käyttö kasvavat. Vaikka kyberhyökkäys voidaan tehdä sekä sähköverkon että tietoliikenneverkon etäohjattaviin laitteisiin, hyökkäys sähköverkkoon aiheuttaa kriittiselle infrastruktuurille moninaisempia ongelmia sähköjakelun häiriintyessä. Tietoliikenneverkon osalta vaikutukset ovat pääosin paikallisia ruuhkautumisia palvelunestohyökkäysten tuloksena. Tukiaseman kautta tapahtuviin hyökkäyksiin matkapuhelin- ja dataoperaattorit voivat vaikuttaa tietoturvajärjestelmillään ja käyttäjäestoilla. Vaikka simulointien osalta näyttää siltä, että sähköverkot ovat avainasemassa, on kuitenkin syytä muistaa, että tietoliikennehäiriöt estävät häiriötilanteessa tiedonvälityksen kentältä valvontakeskuksiin ja paikkapohjaisten palvelujen käytön lakkaaminen voi aiheuttaa yllättäviä haasteita kentällä toimiville tahoille.

Tulosten valossa vaikuttaa siltä, että tulevaisuudessa tietoliikenteen riskien arvioinnissa ja suurhäiriön hallinnassa on keskityttävä yhä enenevässä määrin peiton sijasta vaadittavan datasiirtokapasiteetin turvaamiseen. Tämä hyödyttäisi suoraan sekä kaikkien infrastruktuurien ylläpitäjiä että kriittisen infrastruktuurin käyttäjiä. Simulointituloksista nähdään, että vaatimus kaikkien operaattoreiden yhteistoiminnasta hätäpuheluiden turvaamiseksi auttaa suurhäiriötilanteissa. Samaa palvelumuotoa voisi ajatella myös tulevaisuudessa kriittisten datapalvelujen yhteydessä, jotta mm. pelastustoimen, poliisin ja puolustusvoimien toimintaedellytykset sekä uusien työvälineiden käyttö häiriöalueella voitaisiin turvata.

Simulointituloksista kävi ilmi, että datapalvelusta saatava hyöty riippuu siitä, kuinka hajallaan eri operaattoreiden mastot ovat toisistaan. Datapalvelun koko on pienempi, joten alueelta ei välttämättä löydy toisen operaattorin tukiasemia siinä mittakaavassa kuin hätäpuhelualueiden tapauksessa käy. Operaattoreiden välistä yhteistoimintaa vastaava toiminnallisuus on toki rakennettavissa käyttäjien puolella monioperaattori-SIM-korttien avulla, mutta silloin käyttö on hyvin päätelaite- ja toimijakeskeistä, jolloin luotettavaa koko maan kattavaan järjestelmää ei voida saavuttaa.

11.3 Aihepiirin jatkokehitys

Dynaaminen vikakohteiden korjauksen priorisointi häiriötilanteen aikana vaikuttaa hyvältä ratkaisulta, mutta tehdyissä simuloinneissa ei kyetty tuomaan esiin sen koko potentiaalia. Tuloksista kävi ilmi, että vikaviestit tulevat tyypillisesti verkkorakenteen alimmilta tasoilta (laitteilta), jolloin vaikuttavuuden arviointi vaatii vikailmoitustietojen paikkasidonnaista ja hierarkiamaista yhdistelyä (root-cause-analysis). Tässä hankkeessa tätä ei tehty ja näin ollen vaikuttavuuden arviointi jäi liikaa laitetiedon varaan.

Simuloinneissa kävi ilmi, että järjestelmien välinen tiedonvaihto on toiminnan kannalta kriittinen. Yksityiskohtaista ja ajantasaista tietoa vaaditaan, jotta järjestelmät kykenevät muodostamaan riittävän tarkan tilannekuvan kaikkien toimijoiden osalta. Tältä osin käytäntöjä niin tiedon tuottamiseen kuin käyttämiseen on syytä tarkentaa. Toteutettu järjestelmä ei ole mitenkään valmis operatiiviseen käyttöön, mutta siitä voisi jatkokehittää työkalua tilannekuvajärjestelmien kehittäjille tai toimintamallien suunnittelijoille. Järjestelmän avulla voidaan testata erilaisia nyky- ja tulevaisuusskenaarioita ja visualisoida erilaisia vuorovaiikutuksia. Esimerkiksi valmiusharjoitusten suunnittelussa olisi mahdollista testata harjoituksen vaikutuksia järjestelmiin etukäteen. Vastaavasti jälkikäteen valmiusharjoituksen tuloksia olisi mahdollista skaalata vastaamaan suurempia häiriötilanteita ja siten tuottaa aineistoa näiden vaikutusten arvioimiseen.

12 YHTEENVETO

Tutkimus sähköjakelu- ja tietoliikenneverkoista sekä pelastustoimesta suurhäiriötilanteessa pohjautui sekä haastattelutietoon että kirjallisuusselvityksiin tietoliikenne- ja sähköjakeluverkkojen kehityksestä niin teknologioiden kuin käytön ja palvelujenkin kannalta. Haastatteluilla kerättiin tietoa eri toimijoiden menettelytavoista suurhäiriön hallinnassa sekä teknisistä ratkaisuista verkkojen korjauksissa ja hallinnassa. Samalla selvitettiin toimijoiden välisiä kytkentöjä suurhäiriötilanteissa sekä arvioita vuoteen 2030 mennessä tapahtuvista muutoksista. Haastatteluilla selvitettiin myös tilannetietoisuusvaatimuksia, joilla myöhemmin ohjattiin tilannekuvajärjestelmän suunnittelua ja toteutusta.

Tutkimuksen toisessa vaiheessa haastattelutulosten sekä kirjallisuusselvitysten perusteella sähkö- ja tietoliikenneverkkosimulaattoriin tehtiin muutoksia sekä kehitettiin sähkö- ja tietoliikenneverkoista perusmallit Raaseporin ja sen muutaman ympäristökunnan alueelta. Samalla verkkosimulaattoriin lisättiin väestötietojen käyttö suurhäiriön vaikuttavuuden arvioimiseksi. Vuoden 2030 skenaariotarkastelua varten verkkosimulaattoriin rakennettiin yhden ennustepolun pohjalta mallit tulevaisuuden sähkö- ja tietoliikenneverkoille. Näiden mallien pohjalta simuloitiin Hannu-Tapani-myrskyä vastaavan myrskyn ja kyberskenaarion vaikutusta sähkö- ja tietoliikenneverkoissa. Yleinen tilannekuva muodostettiin eri infrastruktuurien yli koneiden välistä kommunikaatiota ja tiedon jatkojalostusta hyödyntäen. Vuoden 2030 mallin avulla kehitettiin myös infrastruktuurien ja tilannekuvajärjestelmän välistä tiedonvaihtoa erityisesti vikojen vaikutusten havainnoimisessa ja korjausten priorisoinnissa. Verkkosimulaattoria kehitettiin proaktiivisen vianhallinnan suuntaan toteuttamalla simulaattoriin lähitulevaisuuden ennustaminen sekä dynaaminen korjauskohteiden priorisointi tilannekuvajärjestelmästä saatavien priorisointilistojen avulla. Etäohjauksen lisääntymisen ja yhteiskunnan kasvavan digitalisoitumisen vuoksi pääpaino kyberhyökkäyksen analysoinnissa oli vuoden 2030 tilanne. Simuloinnit toivat ilmi, että säävarma sähköverkko ja akkujen käyttö parantavat koko infrastruktuurin säävarmuutta. Uusina uhkina esille nousevat kyberhyökkäykset ja muut laajat laiteviat samalla kun yhteiskunnan riippuvuus sähköstä ja tietoliikenteestä jatkaa kasvuaan.

Verkkosimulaattori-tilannekuvajärjestelmä -toteutuksen tavoitteena oli myös selvittää, mitä pelastustoimien vaatimien tilannekuvatarpeiden vieminen alaspäin järjestelmätasolle vaatisi ja millaisia haasteita operatiivisen järjestelmän toteuttamiseen liittyy. Tänä päivänä tilannetiedon välitys eri kriittisen infrastruktuurin palvelutuottajien ja -käyttäjien välillä tapahtuu suurhäiriötilanteessa pääasiassa ihmisten kautta puhelimitse ja tukiohjelmien avulla. Prosessit ja vastuut tilanteissa ovat selvät eri toimijoiden kesken ja yhteistyökäytäntöjä kehitetään systemaattisesti ja pitkäjänteisesti. Eräs tutkimuksen tavoite oli viedä samoja piirteitä järjestelmätasolle niin, että se tarjoaisi loppukäyttäjälle paremmin soveltuvaa ja ajantasaisempaa tietoa päätöksentekoon. Tärkeä tavoite oli myös esittää tiedot numeerisessa muodossa, jotta tieto olisi hyödynnettävissä suoraan eri toimijoiden järjestelmissä ja jatkojalostettavissa tilannekuville esitettäväksi. Järjestelmätoteutuksen haasteena on se, että toimijoita ja samalla myös järjestelmiä on paljon, jolloin eri lähteistä kootun tiedon tulkinta vaikeutuu.

Tutkimuksen lähtökohdaksi otettiin kaksi perusinfrastruktuuria eli sähkö- ja tietoliikenneverkot ja niiden liittäminen tilannekuvajärjestelmään. Toteutetun prototyypin suorituskykyä analysoitiin vuoden 2016 ja 2030 skenaarioilla. Verkkotasolla simuloinnit tuottivat paljon informatiivista tietoa, mutta tiedon muokkaaminen ja esittäminen loppukäyttäjälle helposti ymmärrettävään muotoon vaatii edelleen jatkokehitystä. Toimivan järjestelmän toteuttaminen vaatii

paljon ja hyvin yksityiskohtaista tietoa eri järjestelmistä. Avoimeen aineistoon ja tilastolliseen dataan perustuvat lähtötiedot eivät ole riittäviä.

Tilannekuvajärjestelmien kehittäminen vaatii kriittisen infrastruktuurin palvelutuottajien ja -käyttäjien aktiivista osallistumista ja tiedonjakoa. Raportissa esitettyjä tuloksia ja etenkin simulointien tuomia mahdollisuuksia asiantuntijatyötä tukevana työkaluna olisi hyvä arvioida työryhmissä. KRIVAT-palvelu on hyvä esimerkki yhteistyön lisääntymisestä eri toimijoiden välillä. Vastaavaa mallia voitaisiin tulevaisuudessa hyödyntää operatiivisten järjestelmien tasolla, mutta se vaatii vielä paljon työtä ja yhteisiä määritelmiä ja sopimuksia järjestelmien välisistä rajapinnoista, jaettavasta tiedosta ja sen käytöstä.

KÄSITTEET JA MÄÄRITELMÄT

Advanced Persistent Threat (APT) on kehittynyt kyberoperaatio, jonka suorittaa ammattitaitoinen ja varusteltu uhkatoimija usein pitkän ajanjakson aikana.

Elintärkeä toiminto on yhteiskunnan toiminnalle välttämätön toimintokokonaisuus. Elintärkeiden toimintojen turvaamisella ylläpidetään valtiollinen itsenäisyys, yhteiskunnan turvallisuus sekä väestön elinmahdollisuudet. [5]

Huoltovarmuus on väestön toimeentulon, maan talouselämän ja maanpuolustuksen kannalta välttämättömien taloudellisten toimintojen ja niihin liittyvien teknisten järjestelmien turvaamista poikkeusolojen ja niihin verrattavissa olevien vakavien häiriöiden varalta. [5]

Häiriötilanne on ”uhka tai tapahtuma, joka vaarantaa yhteiskunnan turvallisuutta, toimintakykyä tai väestön elinmahdollisuuksia. Tilanteen hallinta edellyttää viranomaisten ja muiden toimijoiden tavanomaista laajempaa tai tiiviimpää yhteistoimintaa tai viestintää”. [5]

Kriittinen infrastruktuuri (Critical Infrastructure, CI) käsittää ne rakenteet ja toiminnot, jotka ovat välttämättömiä yhteiskunnan jatkuvalla toiminnalle. Selvityksessä käytetään Ted Lewisin määritelmää kriittisestä infrastruktuurista, joka koostuu 11 eri infrastruktuurin sektorista [1].

Kybertoimintaympäristö on sähköisessä muodossa olevan informaation (tiedon) käsittelyyn tarkoitettu, yhdestä tai useammasta tietojärjestelmästä muodostuva toimintaympäristö [59].

Kyberturvallisuus tarkoittaa tavoitetilaa, jossa kybertoimintaympäristöön voidaan luottaa ja jossa sen toiminta turvataan [59]. Kybertoimintaympäristö muodostuu toisistaan riippuvista verkostoista, sisältäen erilaiset tieto- ja tiedonsiirtoverkot, internetin, puhelinverkot, tietokonejärjestelmät sekä kriittisen tuotannon sulautetut prosessorit ja ohjauslaitteet.

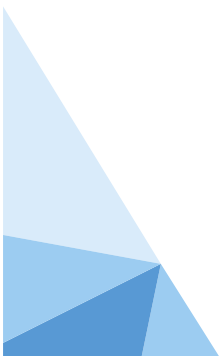
Kyberuhka tarkoittaa mahdollisuutta sellaiseen kybertoimintaympäristöön vaikuttavaan tekkoon tai tapahtumaan, joka toteutuessaan vaarantaa jonkin kybertoimintaympäristöstä riippuvaisen toiminnon. [59]

Palvelunestohyökkäys (Denial-of-service) on tietoliikenneverkon palveluun tai palvelimeen kohdistuva hyökkäys, jonka tarkoituksena on häiritä sen toimintaa tai lamauttaa se. Palvelunestohyökkäys tapahtuu yleensä siten, että palvelimeen lähetetään enemmän viestejä kuin se kykenee käsittelemään.

Pelastustoimi koostuu onnettomuuksien ehkäisystä, pelastustoiminnasta ja väestönsuojelusta. Pelastustoimintaa ovat kiireellisesti suoritettavat tehtävät, jotka onnettomuuden sattuessa tai uhatessa toteutetaan ihmisten, omaisuuden ja ympäristön suojaamiseksi ja pelastamiseksi sekä vahinkojen rajoittamiseksi. Tässä työssä rajoitetaan tarkastelemaan pelastustoimintaa. [5]

Simulointimalli on yksinkertaistettu esitys reaali maailman järjestelmästä. Simulointimenetelmä käyttää ko. mallia.

Suuronnettomuus on onnettomuus, jota on kuolleiden tai loukkaantuneiden taikka ympäristöön tai omaisuuteen kohdistuneiden vahinkojen määrän taikka onnettomuuden laadun perusteella pidettävä erityisen vakavana. [5]



Tilannekuva on ”tarpeen perusteella valittu yksittäisistä tiedoista koottu esitys tilanteesta tai suorituskyvystä, mikä antaa perusteet tilannetietoisuudelle”. [5]

Tilannetietoisuus (Situational awareness, SA) on päättäjien ja heitä avustavien henkilöiden ymmärrys tapahtuneista asioista, niihin vaikuttaneista olosuhteista, eri osapuolien tavoitteista ja tapahtumien mahdollisista kehitysvaihtoehdoista, joita tarvitaan päätösten tekemiseksi tietystä asiasta tai asiakokonaisuudesta. Selvityksessä käytetään Mica Endsleyn kehittämää tilannetietoisuuden mallia, joka koostuu kolmesta tasosta. Tasot koskevat tilanteen eri osien havaitsemista, nykytilanteen ymmärtämistä ja tulevaisuuden tilanteen arviointia [48].

Tietoturvasat määrittelevät organisaatiolle ja tietojenkäsittely-ympäristöille tekniset ja hallinnolliset tietoturva-vaatimukset. Tietoturvallisuustasot kuvaavat niitä tietoturva-toimintaan ja -prosesseihin liittyviä vaatimuksia, jotka jokaisessa organisaatiossa tulee toteuttaa. [60]

Turvallisuustilanne on uhkan tasosta johtuva ajallinen yhteiskunnan tila, joka jaetaan normaalioloihin, häiriötilaan ja poikkeusoloihin. [61]

Normaaliolot on jokapäiväinen tila, jossa esiintyvät uhkat voidaan ehkäistä ennalta, torjua ja niiden vaikutuksista toipua voimassa olevilla säädöksillä ja voimavaroilla. Normaaliolojen järjestelyt luovat perustan toiminnalle häiriötilassa ja poikkeusoloissa.

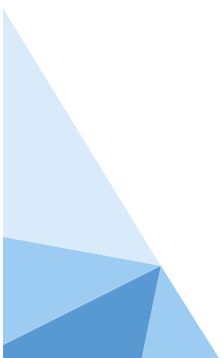
Häiriötila on normaalioloissa tapahtuva poikkeava, odottamaton tai äkillinen turvallisuustilan muutos, joka aiheuttaa uhkaa yhteiskunnan toimivuudelle ja väestön turvallisuudelle. Tilanne voi vaatia valtionjohdon ja viranomaisten erityisiä toimia. Normaaliolojen häiriötila saattaa edellyttää myös säädösten tarkistamista.

Poikkeusoloja ovat valmiuslaissa ja puolustustilalaissa säädetyt tilanteet, joiden hallitseminen ei ole mahdollista viranomaisten säännönmukaisin toimivaltuuksin tai voimavaroin.

Varautuminen on ”toimintaa, jolla varmistetaan tehtävien mahdollisimman häiriötön hoitaminen kaikissa tilanteissa. Varautumistoimenpiteitä ovat esimerkiksi valmiussuunnittelu, tekniset ja rakenteelliset etukäteisvalmistelut, koulutus, valmiusharjoitukset sekä tilojen ja kriittisten resurssien varaukset” [5].

Yhteinen tilannekuva on samanaikaisesti useamman toimijan käytössä oleva tilannekuva ja käsitys jostakin, joka on näille toimijoille jollain tapaa yhteistä.

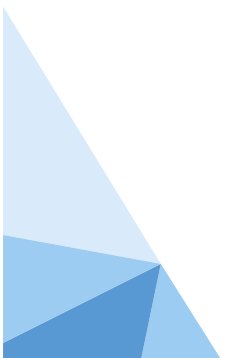
Älykkäät sähköverkot (Smart grid) ovat tulevaisuuden tarpeita tyydyttäviä sähköjakeluverkkoja, joiden tehokkuutta, luotettavuutta ja joustavuutta on kehitetty automaatio-, tieto- ja viestintä- teknologialla, ja jossa kuluttajat osallistuvat nykyistä enemmän sähkömarkkinoiden toimintaan kaksisuuntaisen tiedonkulun kautta. [62].



LYHENNELUETTELO

2G	Yleinen lyhenne ns. "toisen sukupolven" matkapuhelinteknologioille (digitaaliset standardit kuten eurooppalainen GSM)
3G	Yleinen lyhenne ns. "kolmannen sukupolven" matkapuhelinteknologioille (Euroopassa yleisin standardi UMTS (Universal Mobile Telecommunications System))
4G	Nimitys, jota käytetään Suomessa kahdesta eri matkapuhelintekniikasta: LTE ja DC-HSPA
5G	Seuraava langattomien verkkojen sukupolvi
3GPP	Usean standardointijärjestön yhteistyöorganisaatio, joka pyrkii luomaan kolmannen sukupolven matkapuhelinjärjestelmille (3G-järjestelmille) maailmanlaajuisia teknisiä määrittelyjä
DC-HSPA	(Dual Carrier High-Speed Packet Access) Matkapuhelinverkon UMTS-tekniologia
D2D	(Device-to-Device) Laitteiden välinen suora kommunikointi
DMS	(Distribution Management System) Sähköjakeluverkon käytöntukijärjestelmä
IoT	(Internet of Things) Internet-verkon laajentuminen laitteisiin ja koneisiin sekä näiden ohjaaminen ja seuranta ko. verkon välityksellä
JOTKE	Sisäasianministeriön tilannekuvajärjestelmä pelastustoiminnan johtamista ja seurantaa varten
KAH	(Keskeytyksistä aiheutunut haitta) Laskennallinen arvo, joka kuvaa asiakkaalle koituvaa haittaa toimittamatta jääneestä sähköstä
KEJO	Turvallisuusviranomaisten yhteinen kenttäjohtojärjestelmä
LUOVA	Ilmatieteen laitoksen luonnononnettomuuksien varoitusjärjestelmä
LTE	(Long Term Evolution) Edistynyt 3G-tekniikka (joissain yhteyksissä myös 4G:ksi kutsuttu), jonka tarkoitus on kasvattaa datan siirtonopeuksia, lyhentää viiveitä, parantaa palveluja ja vähentää kuluja
NPT	(Network Planning Tool) Simulointityökalu, joka mahdollistaa matkaviestin- ja sähköjakeluverkkojen yksityiskohtaisen mallintamisen
M2M	(Machine-to-Machine) Verkottuneiden laitteiden tiedonvaihto
MAA	Mutual Assistance Agreement, operaattoreiden välinen yhteistyösopimus
MML	Maanmittauslaitos
MPKK	Maanpuolustuskorkeakoulu

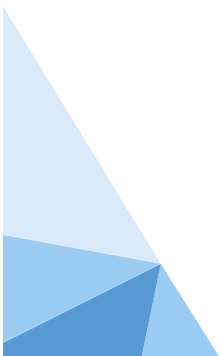
PEKE	Pelastuslaitoksen kenttäjohtojärjestelmä
POKE	Poliisin kenttäjohtojärjestelmä
ProSe	(Proximity Services) Paikallinen palvelu, joka voidaan toteuttaa esimerkiksi tietyllä alueella lähetettävän langattoman verkon avulla
SCADA	(Supervisory Control and Data Acquisition) Sähköjako- ja vedenjakoverkon käytönvalvontajärjestelmä
SON	(Self Organising Networks) Itseorganisoituvat verkot
SYKE	Suomen ympäristökeskus
Virve	Koko Suomen kattava viranomaiskäytössä oleva radioverkko
VoLTE	(Voice over LTE), IP-verkon yli siirrettävä puhelupalvelu LTE-verkossa
VTT	Teknologian tutkimuskeskus VTT



LÄHDELUETTELO

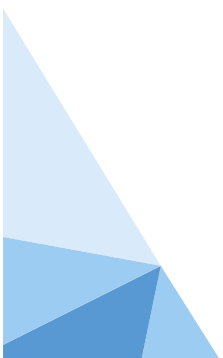
- [1] T. G. Lewis, *Critical Infrastructure Protection in Homeland Security: defending a networked nation*, John Wiley & Sons, 2006.
- [2] S. M. Rinaldi, J. P. Peerenboom ja T. K. Kelly, "Identifying, understanding, and analyzing critical infrastructure interdependencies," *IEEE Control Systems Magazine*, osa/vuosik. 21, nro 6, pp. 11-25, 2001.
- [3] "Cybersecurity Strategy of the European Union: An Open, Safe and Secure Cyberspace," European Commission, Brussels, 7.2.2013. [Online]. Available: http://eeas.europa.eu/policies/eu-cyber-security/cybsec_comm_en.pdf. [Haettu 10. 3. 2016].
- [4] M. R. Endsley, "Toward a theory of situation awareness in dynamic systems.," *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, vol. 37, no. 1, pp. 32-64, 1995.
- [5] "Yhteiskunnan turvallisuusstrategia.," 2010. [Online]. Available: http://www.defmin.fi/files/1696/Yhteiskunnan_turvallisuusstrategia_2010.pdf. [Haettu 10. 3. 2016].
- [6] "Varautumisen kehitystarpeet turvallisessa yhteiskunnassa," [Online]. Available: <http://vnk.fi/documents/10616/1152948/Varautumisen+kehitystarpeet+turvallisessa+yhteiskunnassa.pdf/b0049420-6422-4daf-94b6-42df555d20b1>. [Haettu 10. 3. 2016].
- [7] H. Seppänen, *Kriittisten informaatio- ja laatutarpeiden määrittäminen kriisienhallinta-yhteistyössä*, väitöskirja, 2015.
- [8] "Länsi-Uudenmaan pelastuslaitos," 2016. [Online]. Available: <http://www.lup.fi/fi-FI>. [Haettu 8. 3. 2016].
- [9] "Caruna yrityksenä," 2016. [Online]. Available: <http://www.caruna.fi/caruna/yrityksemme/jaamme-hyvaa-energiaa>. [Haettu 8. 3. 2016].
- [10] "Tietoa Elenia-konsernista," 2016. [Online]. Available: http://www.elenia.fi/yritys/elenia_info. [Haettu 8. 3. 2016].
- [11] "Elisa Oyj," 2016. [Online]. Available: <http://corporate.elisa.fi/elisa-oyj/>. [Haettu 8. 3. 2016].
- [12] "DNA yrityksenä," 2016, [Online]. Available: <https://www.dna.fi/dna-oy/dna-yrityksena>. [Haettu 8. 3. 2016].
- [13] J. Salmela, Interviewee, *Incident Manager, Elisa Oyj*. [Haastattelu]. 13. 1. 2016.
- [14] M. Tuominen, Interviewee, *Rikoskomisario, Itä-Uudenmaan poliisilaitos*. [Haastattelu]. 13. 1. 2016.
- [15] J. Dahlqvist, Interviewee, *Käyttötoimintojen johtaja, Caruna Oy*. [Haastattelu]. 26. 1. 2016.
- [16] M. Manninen, Interviewee, *Osastopäällikkö (radioverkot), Elisa Oyj*. [Haastattelu]. 27. 1. 2016.
- [17] H. Kervinen, Interviewee, *Palopäällikkö, Länsi-Uudenmaan pelastuslaitos*. [Haastattelu]. 28. 1. 2016.
- [18] J. Ström, Interviewee, *Käyttö- ja turvallisuuspäällikkö*. [Haastattelu]. 29. 1. 2016.
- [19] O. Ryhänen, Interviewee, *Palomestari, Länsi-Uudenmaan pelastuslaitos*. [Haastattelu]. 1. 2. 2016.
- [20] A. Keskinen, Interviewee, *Smart Grid – verkon kehitys, Caruna Oy*. [Haastattelu]. 2. 2. 2016.

- [21] H. Paananen, Interviewee, *Käytön suunnittelupäällikkö, Elenia Oy*. [Haastattelu]. 5. 2. 2016.
- [22] T. Rikman, Interviewee, *Palvelunhallinnasta vastaava johtaja, DNA Oy*. [Haastattelu]. 17. 2. 2016.
- [23] "Pelastuslaki 29.4.2011/379," [Online]. Available: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110379#L6>. [Haettu 5. 3. 2016].
- [24] "Pelastustoimen toimintavalmiuden suunnitteluohje," Sisäasiainministeriö, Sisäinen turvallisuus, Sisäasiainministeriön julkaisuja 21/2012, 2012. [Online]. Available: <https://www.intermin.fi/julkaisu/212012?docID=33309>. [Haettu 5. 3. 2016].
- [25] "Laki julkisen hallinnon turvallisuusverkko toiminnasta," 13. 1. 2015. [Online]. Available: <http://vm.fi/documents/10623/1096506/Laki+julkisen+hallinnon+turvallisuusverkko+toiminnasta/038ca89b-7463-43c7-a736-fe19bc4dc114>. [Haettu 5. 3. 2016].
- [26] "Sähkömarkkinalaki 588/2013," [Online]. Available: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2013/20130588?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=s%C3%A4hk%C3%B6markkinalaki>. [Haettu 5. 3. 2016].
- [27] K. Pylkkänen, "Tilannekuvan hallinta sähköjakeluverkon häiriötilanteissa," Tampereen teknillinen yliopisto, 2015.
- [28] "Tietoyhteiskuntakaari 7.11.2014/917," [Online]. Available: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2014/20140917>. [Haettu 5. 3. 2016].
- [29] Viestintävirasto, "Määräys viestintäverkkojen ja -palvelujen varmistamisesta sekä viestintäverkkojen synkronoinnista," 17. 12. 2014. [Online]. Available: <https://www.viestintavirasto.fi/attachments/maaraykset/Viestintavirasto54B2014M.pdf>. [Haettu 5. 3. 2016].
- [30] "Suomen turvallisuusviranomaisille luodaan jättimäinen yhteinen kenttäjärjestelmä," Helsingin Sanomat, 21. 1. 2015. [Online]. Available: <http://www.hs.fi/kotimaa/a1421807924488>. [Haettu 3. 3. 2016].
- [31] "Luonnononnettomuuksien varoitusjärjestelmä," Liikenne- ja viestintäministeriö, 2005. [Online]. Available: http://www.lvm.fi/documents/20181/819315/Julkaisu+29_2005.pdf/baa51772-e335-4dee-a844-93b67f7dd6d6?version=1.0. [Haettu 5. 3. 2016].
- [32] "Varoitus- ja hälytysjärjestelmien rakentaminen ja ylläpidon tukeminen," Maanpuolustuskorkeakoulu, Turvallinen Suomi 2013 julkaisu, 2013. [Online]. Available: http://www.puolustusvoimat.fi/wcm/7e521d0041244006af8eaf1c0b52473c/TS_2013_verkkoartikkelit.pdf?MOD=AJPERES. [Haettu 5. 3. 2016].
- [33] K. Sääntti, "Luonnononnettomuuksien varoitusjärjestelmän LUOVA," Ilmatieteen laitos, [Online]. Available: <http://www.sppl.fi/files/1818/LuentoBergman.pdf>.
- [34] "Krivat kohentaa yhteiskunnan toipumiskykyä," Erillisverkot, Erve Uutiset, 17. 3. 2015. [Online]. Available: <http://erveuutiset.erillisverkot.fi/kumppanuus/krivat-kohentaa-yhteiskunnan-toipumiskykya/>. [Haettu 5. 3. 2015].
- [35] I. Meriäinen, *KRIVATin mahdollisuudet valvomojen välisessä viestinnässä*, 2015.
- [36] "Sähköverkon haltijat," Energiavirasto, [Online]. Available: <https://www.energiavirasto.fi/sahkoverkon-haltijat>. [Haettu 5. 3. 2016].
- [37] E. Koski, Interviewee, *Sähköposti*. [Haastattelu]. 23. 8. 2016.
- [38] "Alert (IR-ALERT-H-16-056-01) Cyber-Attack Against Ukrainian Critical Infrastructure," ICS-CERT, 25. 2. 2016. [Online]. Available: <https://ics-cert.us-cert.gov/alerts/IR-ALERT-H-16-056-01>.



- [39] "Tietoa varoituksista," Ilmatieteen laitos, 29. 4. 2015. [Online]. Available: <http://ilmatieteenlaitos.fi/tietoa-varoituksista>. [Haettu 10. 3. 2016].
- [40] Energiateollisuus, Suurjännitelaitteistojen sähkötyöturvallisuus 2015, Energiateollisuus ry, 2015.
- [41] A. N. Steinberg, C. L. Bowman ja F. E. White, "Revisions to the JDL Data Fusion Model," tekijä: *Proceedings of SPIE 3719*, 1999.
- [42] J. Timonen, L. Lääperi, L. Rummukainen, S. Puuska ja J. Vankka, "Situational awareness and information collection from critical infrastructure," tekijä: *IEEE 2014 6th International Conference On Cyber Conflict (CyCon 2014)*, 2014.
- [43] L. Lääperi, L. Rummukainen ja J. Vankka, "Kriittisen infrastruktuurin tilannekuvajärjestelmä," tekijä: *Tiede ja ase*, 72(1), 2015.
- [44] S. Puuska, "Modelling and Analysis of Critical Infrastructure for Situational Awareness Applications," Helsingin yliopisto, Helsinki, 2016.
- [45] S. Puuska, K. Kansanen, L. Rummukainen ja J. Vankka, "Modelling and real-time analysis of critical infrastructure using discrete event systems on graphs," tekijä: *2015 IEEE International Symposium on Technologies for Homeland Security (HST)*, 2015.
- [46] Maanmittauslaitos, "Maanmittauslaitoksen Maastotietokanta," Maanmittauslaitos.
- [47] L. Rummukainen, L. Oksama, J. Timonen ja J. Vankka, "Visualizing common operating picture of critical infrastructure," tekijä: *SPIE Sensing Technology+ Applications*, 2014.
- [48] M. R. Endsley, "Situation awareness-oriented design," tekijä: *The Oxford Handbook of Cognitive Engineering*, 2013, p. 272.
- [49] L. Rummukainen, L. Oksama, J. Timonen ja J. Vankka, "Situation awareness requirements for a critical infrastructure monitoring operator," tekijä: *2015 IEEE International Symposium on Technologies for Homeland Security (HST)*, 2015.
- [50] S. Horsmanheimo, N. Maskey, H. Kokkonieni-Tarkkanen, P. Savolainen ja L. Tuomimäki, "A tool for assessing interdependency of mobile communication and electricity distribution networks," tekijä: *2013 IEEE International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm)*, 2013.
- [51] S. Horsmanheimo, N. Maskey, L. Tuomimäki, H. Kokkonieni-Tarkkanen ja P. Savolainen, "Evaluation of interdependencies between mobile communication and electricity distribution networks in fault scenarios," tekijä: *2013 IEEE Innovative Smart Grid Technologies – Asia (ISGT Asia)*, 2013.
- [52] S. Horsmanheimo, N. Maskey ja L. Tuomimäki, "Feasibility study of utilizing mobile communications for smart grid applications in urban area," tekijä: *2014 IEEE International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm)*, 2014.
- [53] S. Horsmanheimo, N. Maskey, L. Tuomimäki ja K. Mäki, "Interoperability of Electricity Distribution and Communication Networks in Large-Scale Outage Situations," tekijä: *2015 IEEE International Telecommunications Energy Conference (INTELEC)*, 2015.
- [54] E. C. E. Ltd., "Operaattorivertailu: Selvitys Suomessa toimivien 3G-matkaviestinverkkojen kuuluvuudesta ja datanopeudesta," 2010.
- [55] Ficora, "Viestintäverkkojen toiminta 2013," 2014. [Online]. Available: https://www.viestintavirasto.fi/tilastotjatutkimukset/katsauksetjaartikkelit/2014/viestintaverkkojentoi_minta2013.html.
- [56] Energiateollisuus, "Keskeytystilasto 2014," 2015.

- [57] Reneco, "Toiminta sähköjakelun suurhäiriössä.," 2012.
- [58] Viestintävirasto, "Uudella taajuusalueella lisää luotettavuutta ja nopeutta langattomalle laajakaistalle," [Online]. Available: <https://www.viestintavirasto.fi/viestintavirasto/ajankohtaista/2016/uudellataajuusalueellalisaaluotettavuuttajanopeuttalangattomallelaajakaistalle-testaus700mhzntaajuuksillaalkoioulussa.html>. [Haettu 13. 11. 2016].
- [59] "Suomen Kyberturvallisuusstrategia," Valtioneuvoston periaatepäätös, 24.1.2013. [Online]. Available: <http://www.yhteiskunnanturvallisuus.fi/fi/materiaalit>. [Haettu 10. 3. 2016].
- [60] "Julkisen hallinnon ICT:n hyödyntämisen strategia 2012-2020, Palvelut ja tiedot käytössä," Julkisen hallinnon ICT-strategia, 2013. [Online]. Available: <http://vm.fi/documents/10623/360816/Julkisen+hallinnon+ICT-strategia/4148ad4f-157e-4aa6-aa44-aaf395b63532>. [Haettu 10. 3. 2016].
- [61] "Yhteiskunnan elintärkeiden toimintojen turvaamisen strategia," Valtioneuvoston periaatepäätös, 23.11.2006. [Online]. Available: http://www.defmin.fi/files/815/YETT_2006.pdf. [Haettu 10. 3. 2016].
- [62] J. Luukkanen, J. Vehmas, A. Karjalainen ja J. and Panula-Ontto, "Energiaskenaarioita vuoteen 2050," 2009. [Online]. Available: https://www.utu.fi/fi/yksikot/ffrc/julkaisut/e-tutu/Documents/eTutu_2009-11.pdf. [Haettu 10. 3. 2016].
- [63] "Sähkön toimitusvarmuus 2030," Energiategollisuus, 27. 8. 2010. [Online]. Available: http://energia.fi/sites/default/files/sahkon_toimitusvarmuus_2030_suositus_20100827_0.pdf. [Haettu 17. 3. 2016].
- [64] "Sähköverkkoyhtiöiden, pelastusviranomaisten, hätäkeskuksen ja Liikenneviraston yhteistyö myrskyvahinkojen torjunnassa.," 2011. [Online]. Available: http://energia.fi/sites/default/files/viranomaisyhteistyö__myrskyvahinkojen_torjunnassa_2013.pdf. [Haettu 10. 3. 2016].



Liite 1: Kriittisten kohteiden priorisoinnissa käytetyt prioriteettiluokat

Prioriteetti	Kiinteistön käyttötarkoitus
1	Keskussairaalat Muut sairaalat Voimalaitosrakennukset
2	Yhdyskuntatekniikan rakennukset Paloasemat
3	Ei käytössä
4	Tietoliikenteen rakennukset Terveyskeskukset Terveystieteiden erityislaitokset Muut terveydenhuoltorakennukset Vanhainkodit Lasten- ja koulukodit Kehitysvammaisten hoitolaitokset Muut huoltolaitosrakennukset Lasten päiväkodit Muualla luokittelemattomat sosiaalitoimen rakennukset Vankilat Museot ja taidegalleriat
5	Myyvälähallit Liike- ja tavaratalot, kauppakeskukset Muut myymälä rakennukset Toimistorakennukset Yleissivistävien oppilaitosten rakennukset Ammatillisten oppilaitosten rakennukset Ammatillisten oppilaitosten rakennukset Korkeakoulurakennukset Tutkimuslaitosrakennukset Teollisuushallit Teollisuus- ja pienteollisuustalot Muut teollisuuden tuotantorakennukset Teollisuusvarastot Kauppavarastot Navetat, sikalat, kanalat yms. Viljankuivaamot ja viljan säilytysrakennukset Kasvihuoneet Turkistarhat Muut maa-, metsä- ja kalatalouden rakennukset
6	Yhden asunnon talot Kahden asunnon talot Muut erilliset pientalot Rivitalot Ketjutalot Luhtitalot Muut asuinkerrostalot Hotellit yms. Loma-, lepo- ja virkistyskodit Vuokrattavat lomamökkit ja -osakkeet

	<p>Muut majoitusliikerakennukset Asuntolat yms. Muut asuntolarakennukset Ravintolat yms. Rautatie- ja linja-autoasemat, lento- ja satamaterminaalit Kulkuneuvojen suoja- ja huoltorakennukset Muut liikenteen rakennukset Teatterit, ooppera-, konsertti- ja kongressitalot Elokuvateatterit Kirjastot ja arkistot Näyttelyhallit Seura- ja kerhorakennukset yms. Kirkot, kappelit, luostarit ja rukoushuoneet Seurakuntatalot Muut uskonnollisten yhteisöjen rakennukset Jäähallit Uimahallit Tennis-, squash- ja sulkapallohallit Monitoimihallit ja muut urheiluhallit Muut urheilu- ja kuntoilurakennukset Muut kokoontumisrakennukset Järjestöjen, liittojen, työnantajien yms. opetusrakennukset Muualla luokittelemattomat opetusrakennukset Muut varastorakennukset Väestönsuojat Muut palo- ja pelastustoimen rakennukset</p>
7	<p>Vapaa-ajan asuinrakennukset Pysäköintitalot Eläinsuojat, ravihevostallit, maneesit yms. Saunarakennukset Talousrakennukset Muualla luokittelemattomat rakennukset</p>

Liite 2: Simuloinneissa käytetyt tietolähteet sekä tiedonvälitys verkkosimulaattorin ja tilannekuvajärjestelmän välisissä rajapinnoissa

Alla olevassa taulukossa on esitetty liitynyt eri tietolähteisiin sekä verkkosimulaattorin ja tilannekuvajärjestelmän väliset rajapinnat vuoden 2016 skenaariossa.

	Lähde	Kohde	Kuvaus
1	Sähköverkkomalli	Verkkojärjestelmä	Rajapinnan kautta luetaan sähköverkkomalli. Se sisältää keskijänniteverkon komponentit sekä linjat. Aineisto pohjautuu avoimeen data-aineistoon. Tulevaisuudessa tieto voi tulla suoraan sähköverkkotoimijalta.
2	Tietoliikenneverkkomalli	Verkkojärjestelmä	Rajapinnan kautta luetaan operaattoreiden eri teknologiaa olevat tietoliikenneverkot, niiden parametrit ja peittoalueet. Simuloinnissa käytetty aineisto on luotu mittauksen ja Maanmittauslaitoksen mastoaineiston avulla. Tiedot tietoliikenneverkoista ja niiden peitoista voi tulevaisuudessa tulla suoraan operaattoreilta.
3	Rakennus- ja asukastiedot	Verkkojärjestelmä	Rajapinnan kautta haetaan tarkastelualueen rakennukset ja kriittiset kohteet. Tiedon perusteella luodaan simulointiympäristöön rakennukset, kriittiset kohteet sekä monitoroitava parametri vian vaikuttavuudesta väestöön. Kriittiset kohteet perustuvat rakennusten luokitustietoihin. Tulevaisuudessa tiedot voivat tulla myös pelastusviranomaisilta.
4	Korkeus- ja maankäyttötiedot	Verkkojärjestelmä	Rajapinnan kautta luetaan Maanmittauslaitoksen korkeus- ja maankäyttöluokitustietojen pohjalta luotu 3D-malli kohdealueesta. Tulevaisuudessa tiedot olisivat mahdollista tuoda aineiston kautta.
5	Simulointiparametrit	Verkkojärjestelmä	Rajapinnan kautta välitetään simulointia ohjaavat parametrit. Ne vaikuttavat verkkojen rakenteisiin, vikojen korjaukseen ja tiedonvälitykseen tilannekuvajärjestelmälle.
6	Verkkojärjestelmä	Vikatapahtumat	Rajapinnan kautta verkkojärjestelmä tallentaa lokitiedostoon kaikki alkuperäiset sekä keskinäisriippuvuuksista johtuvat vikatapahtumat. Tämä mahdollistaa tietojen jälkiprosessoinnin ulkoisilla ohjelmistoilla.
7	Verkkojärjestelmä	Nykytila	Rajapinnan kautta tallennetaan kaikkien simuloinnissa seurattavien komponenttien tilat. Monitoroitavat komponentit määritellään simulointiparametreissa.
8	Verkkojärjestelmä (rakennetiedot)	Tilannekuvajärjestelmä	Rajapinnan kautta verkkojärjestelmä toimittaa tilannekuvajärjestelmälle yhdistetyn mallin, joka sisältää sähkö- ja tietoliikenneverkot, rakennukset ja kriittiset kohteet ja niiden väliset riippuvuudet. Tiedonvälitys tehdään vain kerran tiedostojen kautta.

9	Verkkajärjestelmä (vikatapahtumat)	Tilannekuvajärjestelmä	Reaaliaikaisen rajapinnan kautta tilannekuvajärjestelmä saa tietoa vikatapahtumista sähkö- ja tietoliikenneverkossa sekä toisiovioista, jotka johtuvat verkkojen keskinäisriippuvuuksista.
10	Verkkajärjestelmä (nykytila)	Tilannekuvajärjestelmä	Reaaliaikaisen rajapinnan kautta tilannekuvajärjestelmä saa tietoa verkon nykyisestä tilasta ml. tietoa ilman sähköä ja tietoliikennettä olevista alueista.
11	Tilannekuvajärjestelmä	Tilanneanalyysi ja tilannekuvan esitys	Reaaliaikaisen rajapinnan kautta tilannekuvajärjestelmä lähettää analysoidun tiedon visualisointikomponentille. Se esittää tilannekuvan 2D-kartalla sekä erilaisissa visualisointikomponenteissa.

Alla olevassa taulukossa on esitetty vuoden 2030 skenaarion simulointia varten verkkosimulaattorin ja tilannekuvajärjestelmän välisiin rajapintoihin toteutetut laajennukset.

	Lähde	Kohde	Kuvaus
1	Simulointiparametrit	Verkkajärjestelmä	Rajapinnan kautta luetaan parametrit, jotka vaikuttavat tulevaisuuden sähköverkon ja tietoliikenneverkon rakenteeseen. Parametrien avulla määritellään myös ennusteissa käytettävät parametrit ja aikatiedot.
2	Tietoliikenneverkkomalli	Nykytila ja ennusteet	Rajapinnan kautta tallennetaan tiedot verkkokomponenttien tilasta nykytilan lisäksi myös lähitulevaisuudessa. Ennustuksessa käytettävät aikarajat määritellään simulointiparametreissa.
3	Verkkajärjestelmä (nykytila ja ennusteet)	Tilannekuvajärjestelmä	Rajapinnan kautta tilannekuvajärjestelmä saa tilastotietoa verkon nykyisestä tilasta sekä ennusteet tilan muuttumisesta ml. tietoa ilman sähköä ja tietoliikennettä olevista alueista.
4	Tilannekuvajärjestelmä (priorisointilistat)	Verkkajärjestelmä	Rajapinnan kautta tilannekuvajärjestelmä toimittaa ehdotukset korjausten priorisoinnista käyttäen päätöksenteossa tietoa nykytilanteesta ja ennusteista.
5	Tilannekuvajärjestelmä	Tilanneanalyysi ja tilannekuvan esitys	Rajapinnan kautta tilannekuvajärjestelmä lähettää analysoidun nykytila- ja ennustetiedon visualisointikomponentille, joka esittää nykyisen ja ennustetun tilannekuvan 2D-kartalla ja erilaisissa visualisointikomponenteissa.

Liite 3: Mallinnuksen lähtötietojen yksityiskohtia¹

Tietoverkot

Päätelaitteen ja tukiaseman välistä kuuluvuutta heikentää etäisyydestä, kasvillisuudesta sekä maasto- ym. suurten esteiden kuten rakennusten varjostuksesta aiheutuva signaalin vaimeneminen. Vaimenemisen laskentaan on kehitetty eri etenemismalleja (mm. Egli-, Longley-Rice-, Okumura-Hata-, Walfish-Ikegami- ja WINNER-mallit), joiden avulla tätä vaimenemista voidaan arvioida. Suomalaisia olosuhteita varten laskentamalleihin on lisätty ympäristöstä riippuvia lisätermejä, joiden avulla peittoalue-ennusteet saadaan paremmin sovitettua kohdeympäristöön. Ympäristötermien parametrissa hyödynnettiin myös aiemman SGEM-projektin puitteissa samalle alueelle optimoituja ympäristöparametreja.

Tietoliikenneverkoissa välitettävän datan määrä kasvaa jatkuvasti ja internetin yli käytettävien palveluiden käyttö lisääntyy. Digitalisoituvassa yhteiskunnassa on keskeistä myös varmistaa, että nämä palvelut toimivat mahdollisimman hyvin myös suurhäiriötilanteissa. Nopealla kiinteällä laajakaistalla tarkoitetaan laajakaistaliittymää, joka mahdollistaa vähintään 100 Mbit/s -tiedonsiirron. Se on toteutettu kotiin tai kiinteistöön tulevan kiinteän maa- tai ilmakaapeloinnin avulla. Kiinteässä verkossa laajakaistayhteys voidaan toteuttaa valokuituverkossa huoneistoon tai kiinteistöön asti, kaapeli-TV-verkossa tai lyhyellä kupariyhteydellä kiinteistön sisäverkossa. Vastaavasti matkaviestinverkossa nopea 100 megan laajakaista voidaan toteuttaa LTE-tekniikalla (800, 1800 ja 2600 MHz). Tällä hetkellä mobiililaajakaista kattaa noin 76 % suomalaisista, mutta verkon maantieteellinen kattavuus oli vuoden 2015 lopussa reilut 4 %. Verkkoa rakennetaan lähinnä suurten kaupunkien ja asutuskeskusten ympärille.

Tavoitteena on yhteysnopeuden nostaminen portaittain 10 megabittiin sekunnissa vuoteen 2021 mennessä. Internet-yhteyden vähimmäisnopeus on 2015 lähtien 2 Mbit/s, vuonna 2019 4-6 Mbit/s ja vuoden 2020 8-10 Mbit/s tai enemmän [1]. Suurimmat korotukset kuitenkin edellyttävät, että LTE ja LTE-A-verkot (ns. 4G-verkko) saadaan laaja-alaisesti käyttöön. [2]

Vuonna 2016 laajakaistapalvelut kiinteissä verkoissa:

- DNA Oy: 19 %, josta valokuitua 3 %
- TeliaSonera Finland Oy: 18 %, josta valokuitua 13 %
- Elisa Oy: 15 %, josta valokuitua 10 %

Data- ja puhepalvelualueiden määrittely

Matkaviestinverkossa liiketoiminta on keskittynyt lähes kokonaan kolmelle isoimmalle operaattorille. Elisan markkinaosuus matkaviestinverkon liittymistä oli kesäkuun lopussa 2015 noin 39 %, TeliaSoneran 35 %, ja DNA:n 25 %. Kiinteän verkon laajakaistaliittymämäärällä Elisa on markkinajohtaja 32 prosentin osuudella ja TeliaSoneran osuus on 31 %, DNA:n 24 % ja Finnet-ryhmän 11 %. Päätelaitteiden osalta simuloinneissa käytetään edellä mainittuja markkinaosuuksia. GSM-, UMTS- ja LTE-laiteosuudet on määritelty asiantuntijahaastattelujen pohjalta. [3]

¹ Tässä liitteessä esitetään eri lähteistä kerättyjä mallinnuksen taustatietoja ja viitenumerot viittaavat liitteen omaan lähdeluetteloon.

Taulukko 3.1. Data- ja puhepalveluopeitolle käytetyt raja-arvot simuloinneissa [dBm]. [4][5]

	GSM	UMTS	LTE
Puhe	-95	-95	-110
Data	-75	-85	-85

Sähköverkot

Sähköverkkojen kaapelointiin ja vikaantumisiin liittyvät lähtötiedot ovat Energiategollisuuden vuoden 2014 keskeytystilastosta [6].

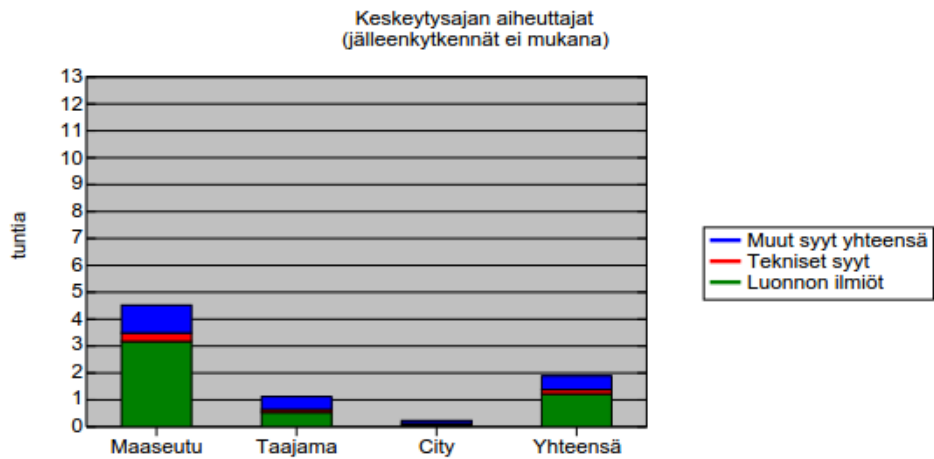
1-45 kV verkko	Maaseutu 0-30%	Taajama 30-75%	City 75-100%	Kaikki yhteensä
Johtopituus yhteensä km*	114751	11394	10517	136707
Avojohto	99573	4620	361	104558
PAS	8261	1045	81	9388
Ilmakaapelit	450	147	65	661
Kaapelit	6461	5582	10007	22091
)* josta PJK ja /tai AJK suojattua	90912	7485	3426	101823
Avojohtoista metsässä (%)	54	31	42	51

Taulukossa jakeluverkot on jaettu kaapelointiasteen perusteella kolmeen koko maan kattavaan verkkotyyppiin: maaseutuun, jossa kaapelointiaste on enintään 30 %, taajamaan, jossa kaapelointiaste on vähintään 30 %, mutta enintään 75 %, sekä cityyn, jossa kaapelointiaste on vähintään 75 %. Tarkastelussamme ei tehdä eroa avojohdon ja PAS-johdon (päälystetyn avojohdo) välillä, koska harvaanasutulla seudulla avojohdo on yli 90 % johto-osuudesta.

Alla olevassa taulukossa on esitetty keskeytysten määrät. Maaseudulla ja taajamissa keskeytysten määrä on dekadia korkeampi kuin kaupungissa. Näin ollen skenaariossamme voidaan kaupunkialueen vikaantumiset jättää huomioimatta.

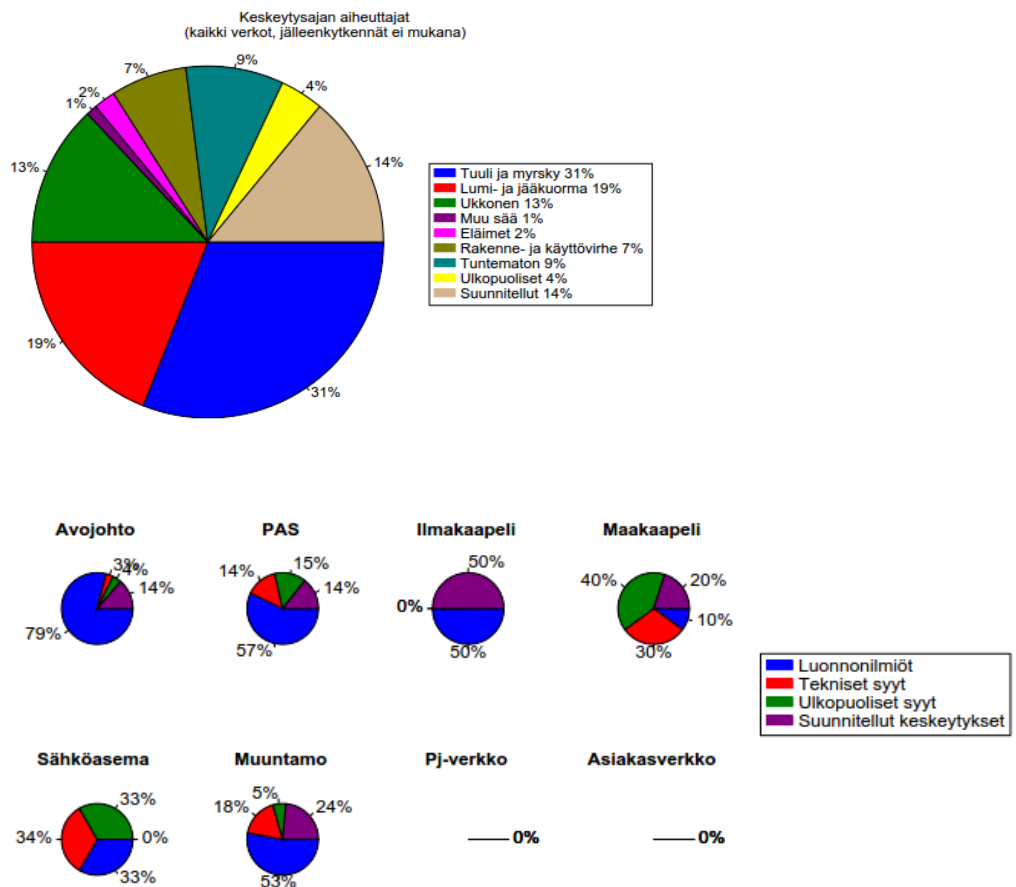
Keskeytyslaji	Maaseutu	Taajama	City	Kaikki yhteensä
Vikakeskeytykset yhteensä	2.77	0.45	0.08	2.74
Suunnitellut keskeytykset	0.51?	0.08	0.03	0.48
Kaikki keskeytykset	3.40	0.55	0.13	3.32

Erot kaupunkien, taajamien ja maaseudun välillä näkyvät selkeimmin seuraavassa histogrammissa. Luonnon ilmiöt ovat suurin vikojen aiheuttaja maaseudulla.



Kuva 3.1. Sähkönjakeluverkon keskeytysajan aiheuttajat [6].

Myrskyjen osuus on 30 % ja avojohtolinjoilla 79 % vioista johtuu luonnonilmiöistä ja 3 % teknisistä syistä. Muuntamotasolla luonnonilmiöiden osuus on 53 % ja teknisten vikojen osuus 18 %. Sähköasemilla keskeytykset jakaantuvat tasaisesti luonnonilmiöiden, teknisten syiden ja ulkopuolisten vikojen kesken.



Kuva 3.2. Sähkönjakeluverkot: vikojen kohdistuminen ja niiden syyt [6].

Lähteitä

- [1] <https://www.lvm.fi/lvm-mahti-portlet/download?did=169936> [Haettu 17. 10. 2016]
- [2] <https://www.viestintavirasto.fi/tilastotjatutkimukset/tilastot/2013/nopeidenyhteyksiensaataavuus.html> [Haettu 17. 10. 2016]
- [3] <https://www.viestintavirasto.fi/tilastotjatutkimukset/katsauksetjaartikkelit/2015/operaattoreidenliittymamaariinperustuvatmarkkinaosuudetlahesennallaan.html> [Haettu 17. 10. 2016]
- [4] [https://elisa.fi/ir/docimages/attachment/Kuuluvuustutkimus - kevat 2010.pdf](https://elisa.fi/ir/docimages/attachment/Kuuluvuustutkimus_-_kevat_2010.pdf) [Haettu 18. 10. 2016]
- [5] <http://www.mobilenetworkguide.com.au/pdf/Mobile-Network-Guide-Improving-Mobile-Signal.pdf> [Haettu 18. 12. 2016]
- [6] Energiateollisuus, "Keskeytystilasto 2014," 2015.



VALTIONEUVOSTON
SELVITYS- JA TUTKIMUSTOIMINTA

vn.fi/teas

ISSN 2342-6799 (pdf)
ISBN 978-952-287-352-1 (pdf)

