

LAPPEENRANNAN-LAHDEN TEKNILLINEN YLIOPISTO LUT
LAPPEENRANTA-LAHTI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY LUT

LUT School of Energy Systems

LUT Scientific and Expertise Publications

Tutkimusraportit – Research Reports

110

Jukka Lassila, Juha Haakana, Jouni Haapaniemi, Otto Räisänen,
Arimo Perosvuo, Jarmo Partanen

Joustava ja toimintavarma sähkönjakeluverkko - Asiakaskatoriski ja käyttöpaikkakohtainen toimitusvarmuus

 LUT
University

Tutkimusraportti 1.9.2020

Joustava ja toimintavarma sähkönjakeluverkko

ASIAKASKATORISKI JA KÄYTTÖPAIKKAKOHTAINEN TOIMITUSVARMUUS

ISSN-L 2243-3376
ISSN 2243-3376
ISBN (pdf): 978-952-335-541-5

Sisällysluettelo

1	Johdanto ja taustaa	3
2	Asiakaskatoriski	4
2.1	Tutkimuksen tavoitteet ja taustatiedot	5
2.1.1	Julkiset aineistot	6
2.1.2	Verkkoyhtiön omat tietoaineistot	7
2.2	Tutkimusmenetelmäkuvaus.....	8
2.3	Tulokset.....	10
2.3.1	Alueelliset tietoaineistot.....	10
2.3.2	Yksilöitävät taustaineistot	11
2.4	Johtopäätökset ja suositukset.....	13
2.4.1	Suosituksien, toimenpide-ehdotukset	14
3	Käyttöpaikkakohtainen toimitusvarmuus.....	16
3.1	Lähtökohdat käyttöpaikkakohtaisen toimitusvarmuusjoukon hyödyntämiselle.....	17
3.2	Periaatteet taloudellisesti kannattavien kohteiden määrittämiselle	18
3.2.1	Joustokohteiden valinta.....	19
3.2.2	Teknitaloudellinen arvo.....	20
3.3	Case-tarkastelu	22
3.3.1	Joustokohteiden vaikutus suurhäiriörisiin kehittymiseen	24
3.3.2	Joustokohteiden taloudellinen arvo	25
3.4	Joukon arvo.....	29
3.5	Siirtohintavaikutukset	30
3.6	Johtopäätökset	31
3.7	Joustopotentiaalin jalkauttaminen, haasteita	32
	Lähteet:.....	34

Liite I: Ruututietokannan tietosisältö

1 Johdanto ja taustaa

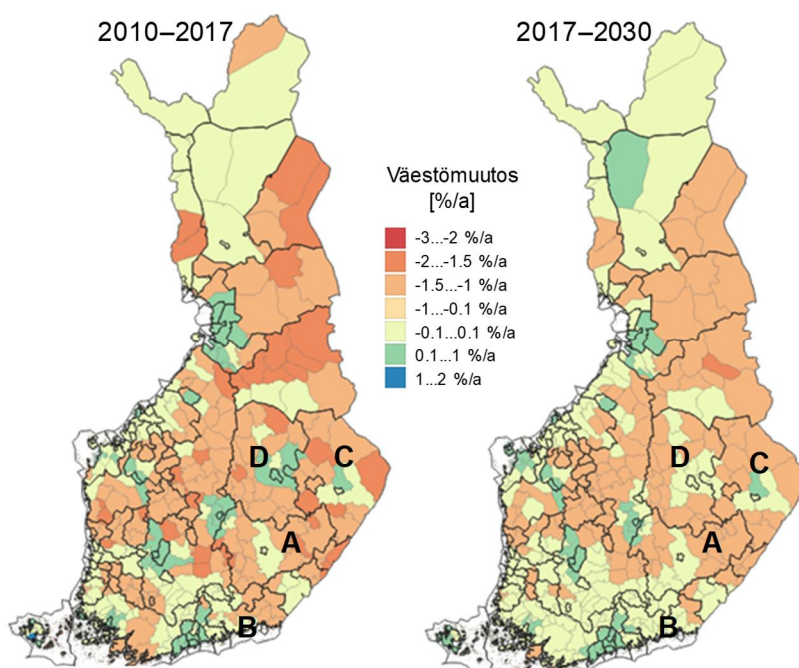
Tässä raportissa esitetään tuloksia sähkönjakeluverkon toimitusvarmuusjoustoan liittyen. Jouston mahdollisuuksia ja haasteita tarkastellaan tutkimuksessa erityisesti sähkönjakeluyhtiön mutta myös pienasiakkaan näkökulmasta. Raportissa käsitellään myös taantuvien alueisiin liittyvää asiakaskatoilmiötä ja siihen liittyviä taustatekijöitä. Toimitusvarmuusjoustoan merkitys voi korostua juuri asiakaskatoriskialueilla.

Kiinnostus sähköjärjestelmiin liittyvään joustoan ei ole pelkästään kansallinen. EU-tasolla joustoan energijärjestelmäintegroitua tavoitellaan laajemmin direktiivien ohjaamana. Direktiivin (2019/944) keskeisimpinä tavoitteina (TEM, Hautakangas) ovat sähkömarkkinoiden joustavampi organisointi ja kaikkien markkinatoimijoiden integrointi (mm. uusiutuvan energian tuottajat, uudet energiapalvelujen tarjoajat, energian varastointi ja kulutusjousto) sekä kuluttajien nostaminen keskeiseen rooliin joustoan tavoiteltaessa.

Direktiivin myötä jakeluverkkoyhtiön rooli muuttuu verkon omistajasta aktiiviseksi järjestelmäoperaattoriksi. Jakeluverkonhaltijoiden on integroitava uusi sähköntuotanto ja mm. uudet lämpöpumpuista ja sähköajoneuvoista saatavat kuormat osaksi omaa järjestelmälähtöistä toimintaa. Regulaation on mahdollistettava ja kannustettava markkinaehtoisen joustoan hyödyntämiseen. Verkkoyhtiöiden onkin selvitettävä kokonaisvaltaisesti, mikä on joustopotentiaali omalla toimialueella ja mikä on sen arvo verkon pitkän aikavälin kehittämisessä sekä verkon operoinnissa. On huomattava, että hajautettujen joustoressurssien on päästävä kaikille markkinapaikoille riippumatta siitä, onko joustosta hyötyä verkkoyhtiölle vai ei. Näiden muutosten ja vaatimusten käytännön toteutusmallit ovat kuitenkin vielä auki. Tulevien vuosien joustoratkaisupilotoinneilla tulee olemaan keskeinen rooli siinä, mitkä ratkaisumallit toimivat ja lähtevät yleistymään erityisesti pohjoismaisessa toimintaympäristössä.

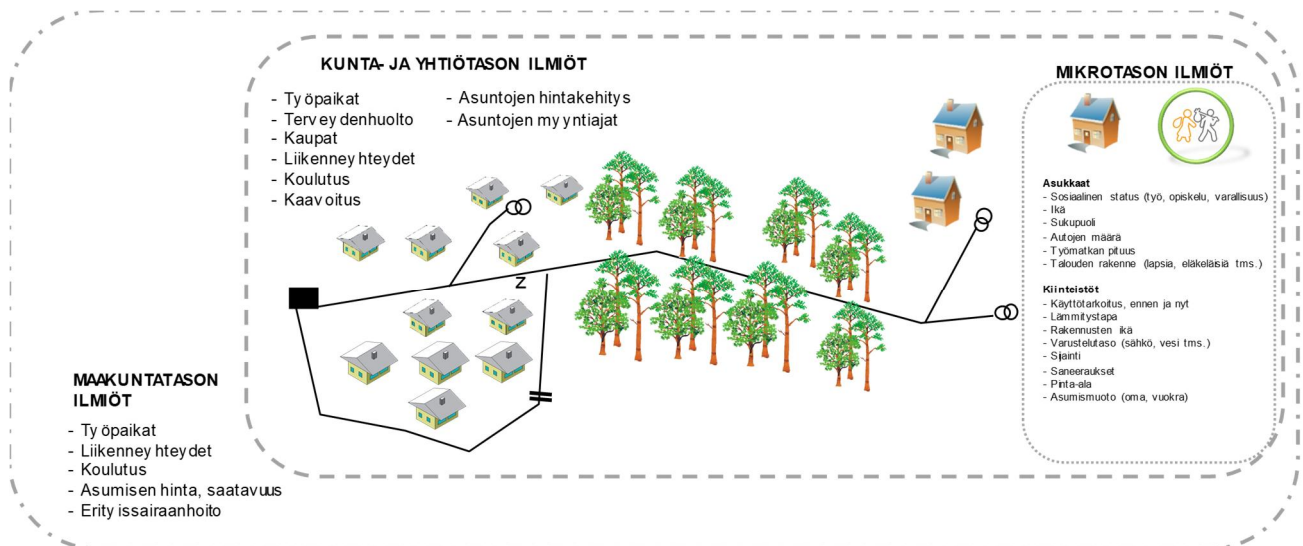
2 Asiakaskatoriski

Sähköverkkoinvestointien pitoajat ovat pitkiä ja investointien tarpeellisuus halutaan varmistaa mahdollisimman pitkälle tulevaisuuteen. Investointien ohjautuessa yhä enemmän haja-asutusalueille on noussut esiin huoli sähkön käyttäjien pysyvyydestä ja verkkoinvestointien lyhyeksi jäävistä pitoajoista. Viime vuosien tilastot alueellisesta väestökehityksestä (kuva 2.1) ja liittymien irtisanomisista taantuvilla alueilla kertovat ilmiön kansallisesta laajuudesta. Ilmiön taustojen ymmärtämiseksi ja sen soveltamiselle verkosto-omaisuuden hallinnassa ja pitkän aikavälin kehittämisessä on perusteltu tarve.



Kuva 2.1. Väestökehitys vuosien 2010–17 välillä sekä vuoteen 2030 ulottuva ennuste (STAT 2020). Kirjaimilla merkitty hankkeessa mukana olleet verkkoyhtiöt. Väestöaineiston lisenssi (CC BY 4.0). (Sähköasiakas ja sähköverkko 2030)

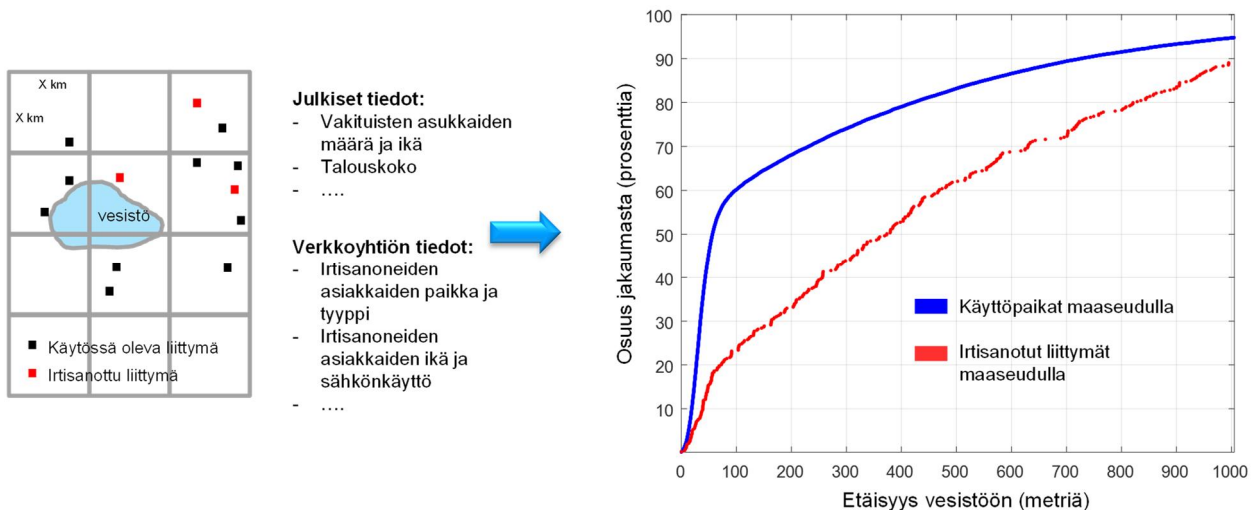
Tehtävä on erityisen haasteellinen ilmiön taustalla olevien tekijöiden välisten monimuotoisten riippuvuuksien takia (kuva 2.2). Tässä osiossa tarkastellaan, miten eri aineistot (julkiset ja luottamukselliset) indikoivat asiakaskatoriskistä ja sähkön käytön päättymisestä. Tutkimuksessa hyödynnetään sekä julkisia (tilastokeskus), että verkkoyhtiöiden omia tilastoaineistoja asiakaskatoriskin arvioinnissa. Tutkimuksessa on keskitytty tiettyjen keskeisten tunnistettujen tekijöiden arviontiin sähkönkäytön jatkuvuuteen liittyen. Verkkoyhtiölähtöisten tietojen osalta keskeisimmät tunnistetut tekijät ovat olleet 1) käyttöpaikkaan liittyvän pääkiinteistön maantieteellinen sijainti, 2) käyttöpaikan sähköntarve ennen irtisanomista sekä 3) liittymän haltijan ikä. Julkisista aineistoista on tarkasteltu mm. irtisanomispaikan lähellä asuvien asukkaiden ikää, taloukokoa sekä koulutusastetta.



Kuva 2.1. Keskeisiä asiakaskatoriskiini liittyviä mikro- ja makrotason ilmiöitä sekä tutkimuksessa hyödynnettäviä taustatietoja.

2.1 Tutkimuksen tavoitteet ja taustatiedot

Tutkimusosion keskeisenä tavoitteena on edistää haja-asutusalueilla toimivissa sähköverkkoyhtiöissä tapahtuvan asiakaskadon ennustettavuutta. Käytännössä tämä edellyttää sitä, että jo tapahtuneille liittymäirtisanomisille on löydettävä yhdistäviä tekijöitä ja niiden oltava tilastollisesti merkittäviä. Kuvassa 2.3 on esitetty esimerkki siitä, miten verkkoyhtiökohtaiset tiedot on jyvitetty väestöruutuihin ja muodostettu riippuvuuskuvaaja.



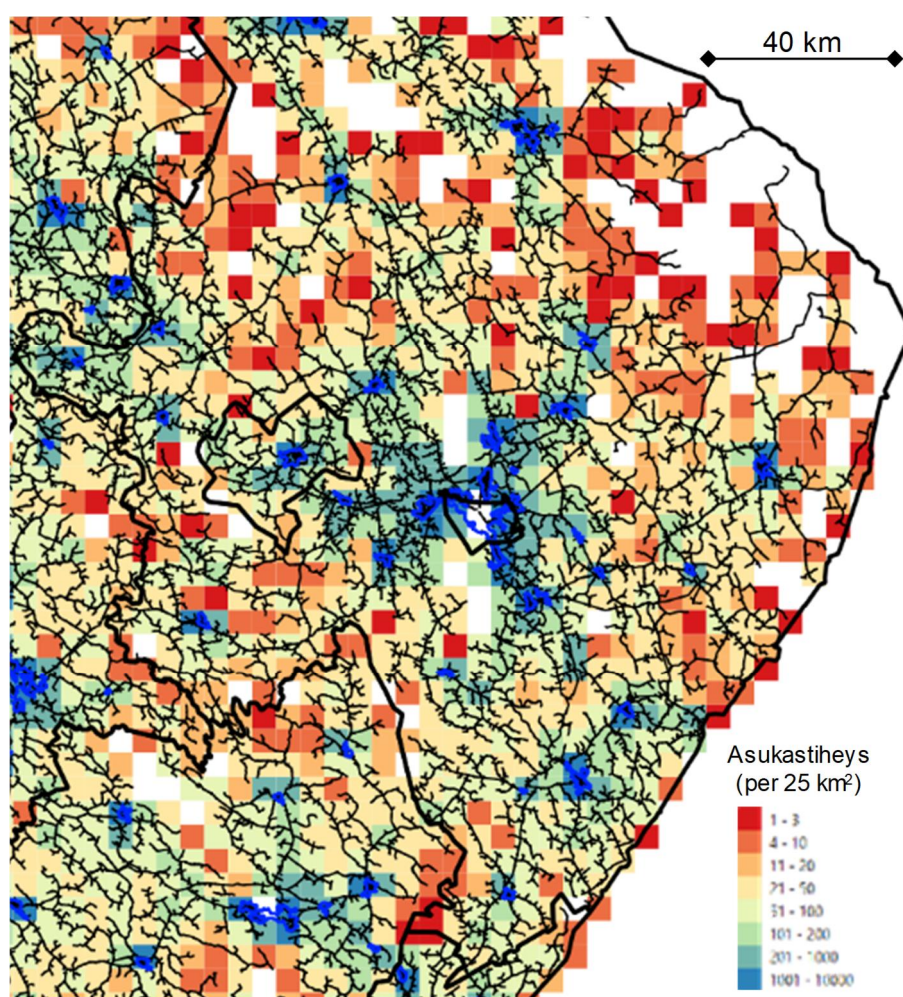
Kuva 2.3. Esimerkinomainen kuva siitä, miten verkkoyhtiökohtaiset tiedot on jyvitetty väestöruutuihin ja muodostettu riippuvuuskuvaaja.

Tässä tutkimuksessa keskitytään ensisijaisesti haja-asutusalueiden pientalojen liittymäirtisanomisiin. Myös haja-asutusalueiden vapaa-ajan asuntoihin liittyviä liittymien irtisanomisia käsitellään joiltakin

osin, vaikka irtisanomisten taustamekanismit eroavatkin toisistaan. Teollisuusasiakkaita ja julkisia toimijoita koskevat liittymäirtisanomiset on rajattu tästä tutkimuksesta pois.

2.1.1 Julkiset aineistot

Tutkimuksessa hyödynnetään sekä julkisia että verkkoyhtiölähtöisiä taustatietoja. Käytetyt julkiset aineistot on hankittu tutkimuksen tarpeisiin Tilastokeskuksen verkkopalvelun kautta. Tietoaineistot ovat ns. ruutuaineistoja, joissa tiedot (mm. asukasmäärä, keski-ikä, talousmäärä jne.) on linkitetty koko Suomen kattavasti pinta-alaruutuihin. Aineistoja on saatavilla 250 m x 250 m, 1 km x 1 km sekä 5 km x 5 km kokoluokkina. Yksityiskohtainen luettelo tietosisällöstä näissä aineistoissa on esitetty liitteessä I. Tässä tutkimuksessa keskityttiin kahteen jälkimmäiseen aineistotarkkuusluokkaan. Tarkimmassa aineistossa (250 m x 250 m) tapausten (esim. vakituiset asukkaat) määrä on harvaanasutuilla alueilla niin pieni, ettei sitä pystytä tietoaineistojen salausehtojen näkökulmasta hyödyntämään. Esimerkkiotos vakituksia asukkaita koskevasta asukastiheyskuvaajasta 5 km x 5 km -rasteriaineistosta on esitetty kuvassa 2.4.

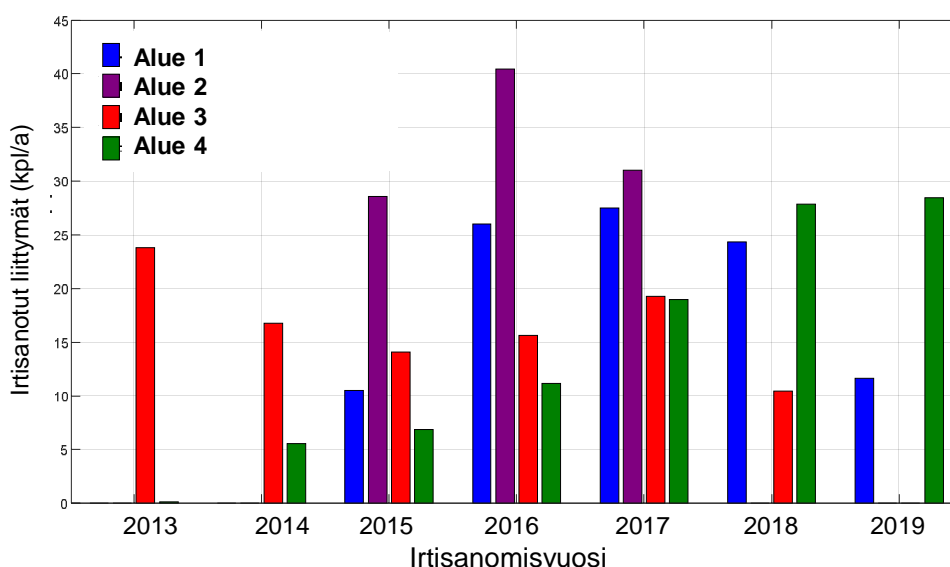


Kuva 2.4. Asukastiheys esimerkkialueella Tilastokeskuksen vuoden 2018 aineiston perusteella. (STAT 2020). Taustalla keskijänniteilmajohtoverkko. (MML 2020). Siniset alueet kuvastavat taajamia ja asutuskeskittymiä. (SYKE 2020). Täysin värittömissä ruuduissa ei ole kyseisen aineiston perusteella vakituksia asukkaita. Aineistojen lisenssi (CC BY 4.0).

Kuvassa 2.4 on taustalla esitetty Maanmittauslaitoksen kautta saatavissa oleva keskijänniteilmajohtoverkkotieto. Kuten kuvasta käy esille, verkon reuna-alueilla asukasmäärät ovat vähäiset. Tutkimuksen paino onkin näillä harvaan asutuilla alueilla, eikä saatuja tuloksia voi (välttämättä) soveltaa kaupunkimaiseen verkkoympäristöön.

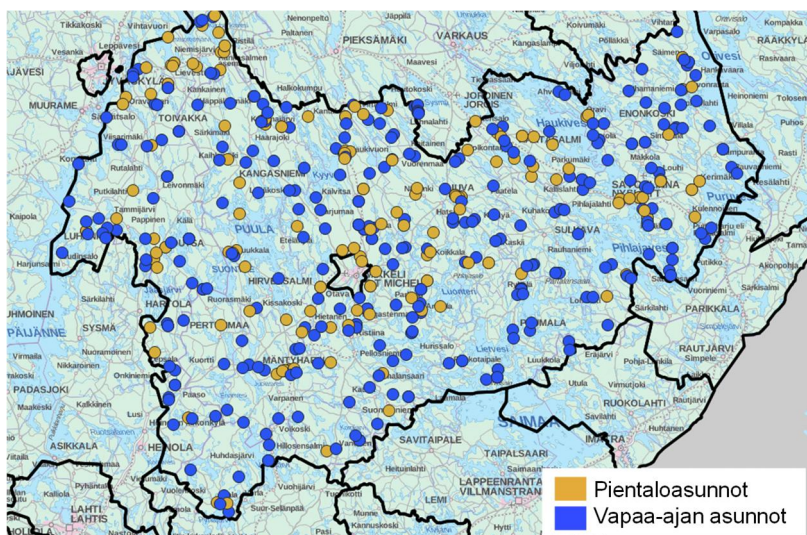
2.1.2 Verkko-yhtiön omat tietoaaineistot

Verkko-yhtiön omat tilastot liittymien kehityksistä ovat keskeisessä roolissa asiakaskatoriskin ymmärtämisessä. Verkko-yhtiöissä on kuitenkin vaihtelevia käytäntöjä liittymätietojen tilastoinnissa, ja vähimmillään tiedossa on liittymän irtisanomisajankohta sekä liittymän paikka. Tämän lisäksi tiedossa voivat olla esimerkiksi liittymän haltijan syntymäaika ja ennen irtisanomista tapahtunut sähkönkäyttö. Kuvassa 2.5 on tässä tutkimuksessa käytettyjen irtisanottujen liittymien lukumäärä eri verkko-yhtiöissä tilastointiajankohdan mukaan.



Kuva 2.5. Irtisanottujen liittymien määrä eri verkko-yhtiöissä.

Tässä tutkimuksessa verkko-yhtiön tilastoimia taustatietoja on hyödynnetty mahdollisimman laajasti. Irtisanomiskohteen paikkatiedon perusteella kohde on voitu sijoittaa maantieteellisesti väestöruutuihin, jolloin vertailu näihin tietoihin on ollut mahdollista. Toisaalta paikkatietoa voidaan hyödyntää arvioitaessa esimerkiksi vesistön tai asutuskeskittymän (kylän) läheisyyden merkitystä sähkön käytön jatkuvuuteen ja liittymien irtisanomiseriskisiin. Kuvassa 2.6 on erään verkko-yhtiön irtisanottujen pientalo- ja vapaa-ajan asuntokohteiden sijainti.



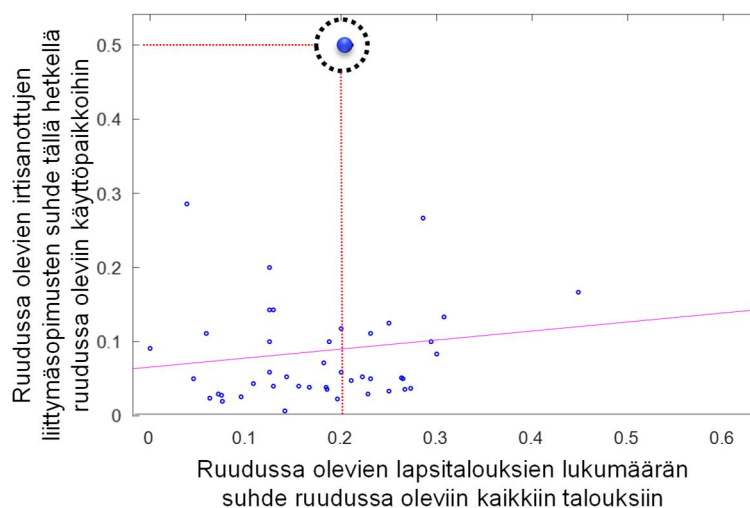
Kuva 2.6. Irtisanottujen liittymien määrä maantieteellisesti esimerkkiverkkoyhtiöissä. Karttapohja (MML 2020), karttapohjan lisenssi (CC BY 4.0).

Kuvasta nähdään, että osa irtisanotuista keskittyy joihinkin pieniin ryppäisiin, mutta valtaosa on tasaisesti hajallaan ympäriinsä. Ryppäiden selitys on se, että näillä kohdin sijaitsee taajama, jolloin luonnollisesti myös irtisanomisia tapahtuu lukumäärällisesti enemmän.

2.2 Tutkimusmenetelmäkuvaus

Tutkimuksessa hyödynnetty menetelmäkuvaus on esitetty yksityiskohtaisemmin lähteessä (Perosvuo 2020). Dokumentissa on kuvattu taustoja väestömuuton taustalla olevista ilmiöistä sekä käsitelty niitä erityisesti liittymäirtisanomisen näkökulmasta. Aineiston analysointiin käytetyt menetelmät ovat olleet Kendallin korrelaatiokerroin sekä PLSR -menetelmä (Partial least squares regression). Irtisanomisen odotusarvon muodostamisessa on käytetty toteutuneiden liittymäirtisanomisten ja vielä käytössä olevien sähkökäyttökohteiden välistä suhdetta.

Kendallin järjestyskorrelaatiokerroin kuvaa kahden muuttujan havaintoarvojen suuruusjärjestyksien yhteensopivuutta, ja se saa arvoja väliltä -1 ja 1. Muuttujien välinen riippuvuus on pieni kertoimen ollessa välillä 0.1–0.29, keskinkertainen välillä 0.3–0.49 sekä suuri kertoimen ollessa vähintään 0.5. (Mellin 2006). Kuvassa 2.7 on esimerkki kahden muuttujan välille lasketun Kendallin kertoimen tuloskuvaajasta Tilastokeskuksen ruutuaineistoja hyödyntämällä.



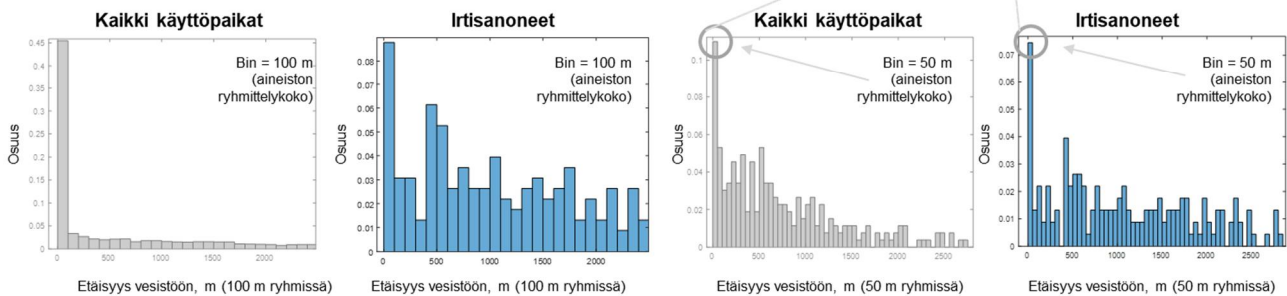
Kuva 2.7. Liittymäirtisanomisten sekä lapsitaloussuhteen välinen korrelaatio Tilastokeskuksen ruututietoja hyödyntämällä. Kendallin kerroin on tässä vertailussa koko otokselle 0.13.

Kuvan 2.7 esimerkkipisteen y-akselin arvo 0.5 voi tulla esimerkiksi siitä, että ruudussa (1 km x 1 km tai 5 km x 5 km) on sähkökäyttöpaikkoja tällä hetkellä 10 ja irtisanottuja liittymäsopimuksia on ollut yhteensä 5 ($y = 5/10$). Kuvan x-akselin arvo tarkoittaa ruudussa olevien lapsitalouksien suhdetta ruudussa olevien kaikkien talouksien lukumäärään. Esimerkiksi jos väestöruudussa on kymmenen taloutta, joista lapsitalouksia on kaksi, on x-akselin arvo 0.2 ($x = 2/10$).

Tutkittavien tekijöiden välisen autokorrelaation vuoksi Kendallin kerroin ei välttämättä yksinään kerro kovinkaan paljon. Tämän vuoksi tekijöitä tarkastellaan kokonaisuutena PLSR-menetelmän avulla. PLSR-menetelmän tarkoitus on luoda tutkittavaa ilmiötä selittävä lineaarinen mallinnus. Menetelmän etuna on, että se toimii silloinkin, kun mallinnuksessa käytettyjen muuttujien välillä on autokorrelaatiota. Menetelmän avulla tarkastellaan sitä, kuvaavatko tarkasteltavaksi valitut tekijät yhdessä tutkittavaa ilmiötä eli tässä tapauksessa liittymäsopimusten irtisanomista. (Perosvuo 2020).

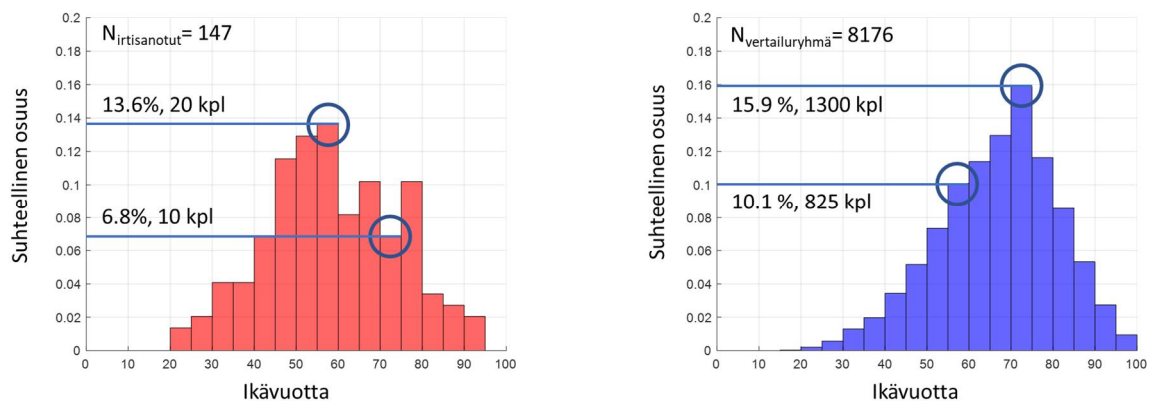
Siinä missä Kendallin kerrointa ja PLSR-mallinnusta käytetään väestöruuduista saatavien tietojen analysointiin, suoraan liittymäpisteeseen kohdistettaviin tietoihin voidaan soveltaa erilaista menetelmää. Menetelmässä valitaan käytössä oleva tarkasteltava kohde, ja verrataan kohteen tiettyä ominaisuutta irtisanoneisiin sekä muihin vielä käytössä oleviin liittymiin. Näin saadaan irtisanomisen odotusarvo tarkasteltavalle kohteelle kyseisen taustatietojen perusteella. Liittymän irtisanomisen odotusarvoa kuvaava menetelmän periaate on esitetty kuvassa 2.8.

$$E(\text{irtisanominen}) = \frac{\text{Irtisanottujen lukumäärä}}{\text{Voimassa olevat sopimukset + irtisanotut - uudet asiakkaat}} = \frac{50 \text{ kpl}}{24\,500 \text{ kpl}} = 0.2 \%$$



Kuva 2.8. Periaatekuva odotusarvon laskemisesta tekijän perusteella.

Kuvassa 2.9 on esitetty esimerkki liittymän irtisanomisen odotusarvon muodostamisesta kohteen omistajan iän perusteella. Esimerkissä ensimmäisen liittymän haltijan ikä on 72 vuotta ja toisen arvioitavan liittymän haltijan ikä 58 vuotta. Tilastoja hyödyntäen määritetään, kuinka monta tämän ikäistä irtisanottujen sekä vielä käytössä olevien asiakkaiden joukossa on, ja muodostetaan näiden lukujen perusteella odotusarvo.



Kuva 2.9. Esimerkilaskelma odotusarvon muodostamisesta kohteen omistajan iän perusteella. Vasemmanpuoleisessa kuvassa irtisanottujen liittymän haltijoiden ikäjakauma, oikeanpuoleisessa kuvassa vertailuryhmä.

2.3 Tulokset

2.3.1 Alueelliset tietoaineistot

Väestöruuduista saatavien tietojen tarkastelun pohjalta voidaan sanoa, että ruuduista valituilla tekijöillä on korrelaatiota liittymäsopimusten irtisanomiseen. Korrelaatiot ovat kuitenkin melko heikkoja, eikä mitään yksittäistä tekijää voida nostaa merkittäväksi indikaatioksi liittymäsopimuksen irtisanomiselle. Lisäksi suuri osa tuloksista on tilastollisesti merkitsemättömiä. Taulukossa 2.1 ovat Kendallin korrelaatiokertoimet 5 km x 5 km aineistolla tarkasteltuna irtisanotuissa pientalokohteissa. (Perosvuo 2020).

Taulukko 2.1. Tutkittujen tekijöiden Kendallin järjestyskorrelaatiokerroin laskettuna ruutuaineistosta saatavienväestötietojen sekä irtisanottujen liittymäsopimusten ja kaikkien käyttöpaikkojen suhteelle per 5 km x 5 km ruutu vuonna 2010 ja 2018 neljällä alueella pientaloja koskien. Taulukossa lihavoidulla arvolla on tilastollinen merkitsevyys 95 % luottamusvälillä. (Perosvuo 2020).

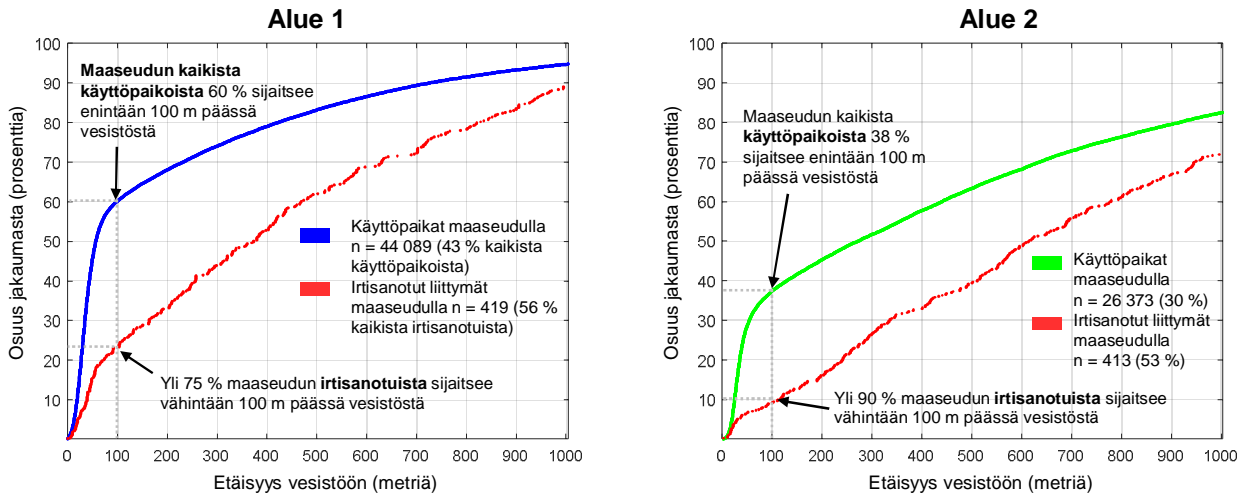
Tekijä, aineistovuosi ja alue	Alue 1		Alue 2		Alue 3		Alue 4	
	2010	2018	2010	2018	2010	2018	2010	2018
Alkutuotannon työpaikkojen osuus	0,24	0,26	0,29	0,18	0,23	0,28	0,41	0,28
Asumisväljyys	0,13	-0,02	0,11	0,11	0,11	0,19	-0,12	-0,06
Keskitulot	0,13	0,15	-0,01	-0,06	-0,05	-0,02	0,08	0,10
Korkeakoulutettujen osuus	-0,14	-0,20	-0,10	-0,13	-0,07	-0,10	-0,15	0,01
Lapsitaloussuhde	-0,02	0,13	-0,05	-0,07	-0,04	-0,15	-0,07	-0,01
Nuorten lapsettomien parien osuus	0,09	0,02	-0,20	-0,13	-0,12	-0,18	-0,14	-0,01
Omistusasuntojen osuus	0,09	0,12	-0,03	-0,12	-0,09	-0,11	0,02	0,22
Palvelualojen työpaikkojen osuus	-0,26	-0,27	-0,11	-0,10	-0,23	-0,30	-0,26	-0,28
Peruskoulutettujen osuus	0,03	0,05	0,06	-0,02	0,00	-0,08	0,01	0,03
Taluskoko	0,20	0,22	0,00	0,06	-0,03	-0,08	-0,08	0,10
Työttömyysaste	-0,22	-0,11	-0,09	-0,07	-0,04	-0,05	0,24	-0,06
Yli 54-vuotiaiden osuus	-0,04	-0,19	0,05	-0,09	0,03	0,09	-0,06	-0,11
ruudut, joissa irtisanottuja rajausehdot huomioiden	108	108	123	123	325	325	30	30
Ruudut, joista tarkastelu tehty/aineisto saatavilla	48	44	53	44	111	107	18	18

Taulukosta nähdään, että vahvinkin yksittäisen tekijän korrelaatio liittymäsopimusten irtisanomisiin tai ylläpitoon siirtymiseen on suuruudeltaan keskinkertainen. Lisäksi suurin osa tuloksista on 95 % luottamusvälillä tilastollisesti merkitsemätön. Heikkoon korrelaatioon voi olla selityksenä tekijöiden välinen autokorrelaatio, mutta PLSR-mallinnus tukee käsitystä, etteivät tutkittavat tekijät yhdessäkään selitä liittymäsopimusten irtisanomista kokonaisuudessaan. (Perosvuo 2020).

Lopputuloksena väestötietoaineistojen tarkastelusta liittymäsopimuksen irtisanomisiin ja ylläpitoon siirtyneisiin voidaan käytetyn aineiston ja tutkimusmenetelmien perusteella sanoa, että tutkittujen väestötekijöiden avulla olisi mahdollista antaa verkkoliittymäasiakkaille riskiluokitus liittymäsopimuksen irtisanomiselle ja/tai ylläpitoon siirtymiselle jonkinlaisella luotettavuudella, mutta nämä tiedot pitäisi saada asiakkaista yksilöidysti. Tällä hetkellä käytettävissä oleva aineisto ei kuitenkaan mahdollista tällaisen riskiluokituksen laatimista, eikä myöskään yksittäisten väestötekijöiden painoarvon määrittämistä liittymäsopimuksen irtisanomista tai ylläpitoon siirtymistä koskien. (Perosvuo 2020).

2.3.2 Yksilöitävät taustaaineistot

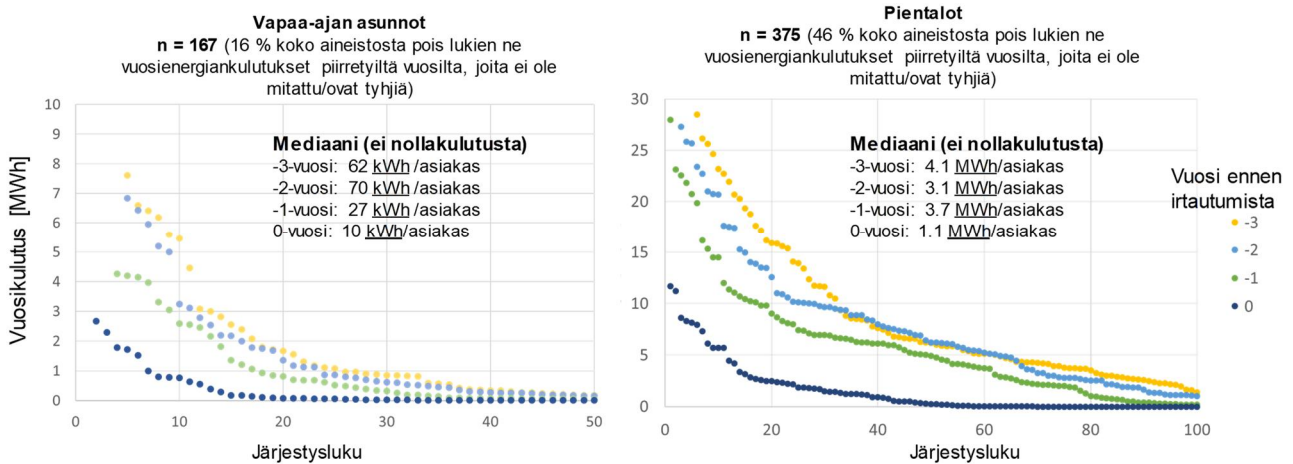
Yksilöitävistä tausta-aineistoista tarkastellaan ensimmäiseksi kohteen maantieteellistä sijaintia erityisesti kohteen vesistöetäisyyden näkökulmasta. Vesistöetäisyys voidaan määrittää Maanmittauslaitoksen maastotietokannasta löytyvien vesistöpolygonien avulla määrittämällä etäisyys liittymäpisteestä vesistöpolygoniin. Kuvassa 2.10 on esitetty kahden alueen maaseudulla sijaitsevien käytössä olevien käyttöpaikkojen sekä irtisanottujen liittymäsopimusten jakauma todennäköisyyden kertymäfunktiona.



Kuva 2.10. Kahden alueen käyttöpaikkojen sekä irtisanottujen liittymäpisteiden etäisyys vesistöön. Tarkastelussa enintään 1 000 m etäisyydellä vesistöstä olevat kohteet. (Perosvuo 2020).

Vesistöetäisyys on merkittävä tekijä irtisanomisen tarkastelussa ja kuten kuvista huomataan, eniten merkitystä tällä on silloin, kun kohde sijaitsee 50–100 metrin etäisyydellä vesistöstä. (Perosvuo 2020).

Toinen tutkimuksessa suoraan kohteeseen kohdistettavissa olevista tekijöistä liittyy sähkönkäyttöön. Tavoitteena on selvittää, voidaanko sähkönkäytön perusteella ennakoida mahdollista irtisanomista. Kuvassa 2.11 on esitetty irtisanottujen pientalo- ja vapaa-ajan asuntokohteiden sähkönkulutukset järjestettynä suuruusjärjestykseen muutamaa vuotta ennen irtisanomisen tapahtumista.

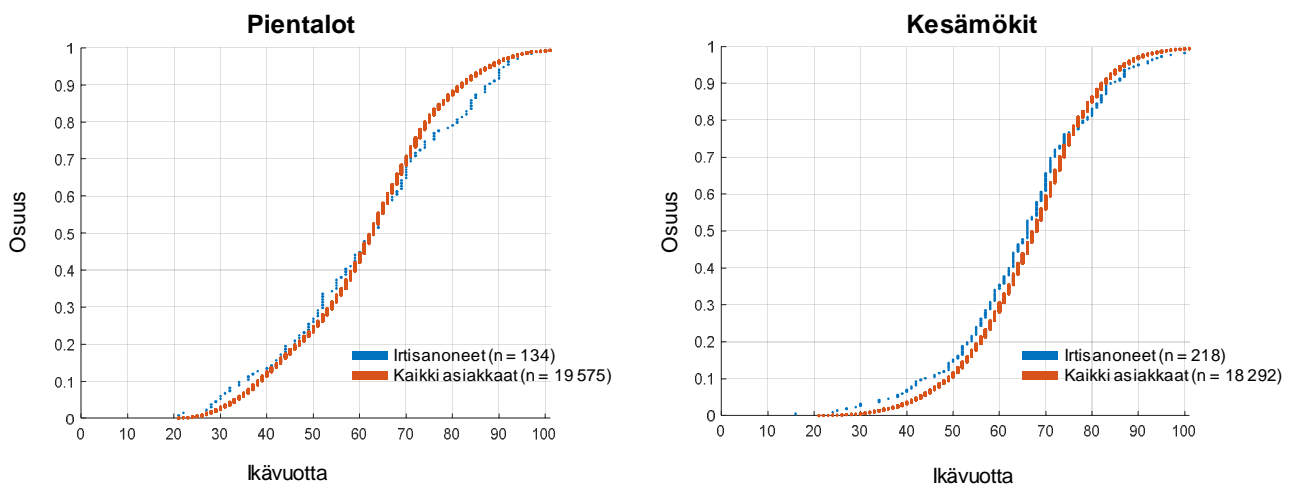


Kuva 2.11. Vapaa-ajan ja pientaloasuntojen vuosienenergiankulutus suuruusjärjestyksessä kolmea, kahta ja yhtä vuotta ennen liittämösopimuksen irtisanomisen tapahtumista sekä irtisanomisvuonna (Perosvuo 2020).

Kuvissa vuosienenergiankulutus on järjestetty joka vuodelta erikseen suuruusjärjestykseen. Samalla järjestysnumerolla olevat eri vuosien energiankulutukset eivät siten kuulu (välttämättä) samalle liittymälle. Kuvat indikoivat kuitenkin hyvin juuri sitä, että energiankäyttö on vähentynyt sekä vapaa-ajan- että pientaloasunnoissa liittämösopimuksen irtisanomisajankohtaa lähestyttäessä. (Perosvuo 2020). On huomattava, että kuva esittää keskimääräistä käyttäytymistä sähkön käytön suhteen.

Yksittäisen asiakkaan kohdalla sähkönkäyttö voi poiketa tästä merkittävästi. Useilla asiakkailla energiankäyttö ei vähene irtisanomista kohti, vaan katkeaa kerralla vasta silloin, kun liittymäsopimus irtisanotaan. Lisäksi energiankulutukseltaan nolla tai lähes nolla olevilla kohteilla tilanne on voinut jatkua jo useita vuosia, ja heräte liittymäsopimuksen irtisanomiseen on voinut tulla esimerkiksi verkkoyhtiön otettua yhteyttä asiakkaaseen. (Perosvuori 2020).

Kolmas kohteeseen kohdistettava tekijä on käyttöpaikan liittymäsopimuksen haltijan ikä. Kuvassa 2.12 ovat erään alueen pientalo- ja kesämökkiasiakkaiden ikäjakauma irtisanoneiden ja käytössä olevien kohteiden osalta.



Kuva 2.12. Erään haja-asutusalueen pientalo- ja kesämökkikohteiden omistajien ikäjakauma.

Kuvista havaitaan, että ainakin nuorimpien ja vanhimpien ikäryhmien jakauma irtisanoneissa eroaa käytössä olevien kohteiden jakaumasta. Näyttäisikin siltä, että vanhin ikäryhmä pitää kiinni asunnostaan tai kesäpaikastaan, ja kohteen irtisanominen jää esimerkiksi kuoleman jälkeen nuoremman ikäpolven hoidettavaksi. Vaikka alustavat tulokset tukevat käsitystä liittymänhaltijan iän vaikutuksesta liittymän irtisanomisen herkkyyteen, ei tilastotarkastelua ole suoritettu samassa laajuudessa, kuin vesistöetäisyyden ja sähkönkäytön tapauksessa.

2.4 Johtopäätökset ja suositukset

Tutkimuksessa käytettävissä olevien aineistojen perusteella voidaan nähdä, että vesistöetäisyys ja sähkön käyttö korreloivat voimakkaimmin irtisanomisilmiön kanssa. Sähkönkäytöltään ns. nollakulutusasiakkaat (0 kWh/a) ovat yliedustettuina irtisanoneiden tilastoissa. Liittymän haltijan ikä näyttää korreloivan irtisanomisten kanssa, mutta ilmiön varmistaminen edellyttää lisätarkasteluja.

Tuloksissa esiintyvä mahdollinen korrelaatio (tai sen puuttuminen) aineistojen välillä ei välttämättä tarkoita sitä, että irtisanomisilmiö korreloisi (tai ei korreloisi) todellisuudessa tutkimuksessa huomioitujen tekijöiden kanssa, koska irtisanomisia ja ylläpitoon siirtymisiä on tarkasteltu väestöruudun asukastietoja vasten. Irtisanoneilta ja ylläpitoon siirtyneiltä asiakkailta ei kuitenkaan ole

yksilöllisesti kysytty tai selvitetty taustatietoja (esim. perhekokoa, koulutustaustaa tms.). Tämän lisäksi väestöruututiedoilla voi olla keskinäisiä moniulotteisia vuorovaikutussuhteita, jotka näyttäytyvät korrelaatiotarkastelussa tunnistamattomalla tavalla. Tässä tarkastelussa eri tekijöitä on analysoitu pääsääntöisesti tekijä kerrallaan. Tarkastelut ja johtopäätökset perustuvat verkkoyhtiöiden tilastoimiin irtisanomisiin ja ylläpitoasiakkaisiin sekä Tilastokeskuksen ruutuaineistoon (1x1 km² ja 5x5 km²).

Keskeisimmät tutkimukselliset haasteet liittyvät yhtiökohtaisten tilastojen kattavuuteen, aineistosisältöjen tarkkuuteen ja vaihteleviin tilastointikäytäntöihin sekä julkisten aineistojen salauksiin liittyviin rajoituksiin. Tilastokeskuksen aineistoja (ns. ruutuaineistot) koskevat salausrajat konkretisoituvat juuri harvaan asutuilla alueilla (ruudussa, esim. 1x1 km², on vain vähän asukkaita). Lisäksi irtisanomisilmiön taustalla olevat syyt ja tekijät voivat olla hyvin monitahoisia, jolloin pelkästään yhden tekijän ja irtisanomisen välille ei löydy välttämättä vahvaa korrelaatiota.

2.4.1 Suositukset, toimenpide-ehdotukset

Tutkimuksessa saavutetut tulokset perustuvat melko laajaan, mutta kuitenkin toistaiseksi rajattuun tilastokokonaisuuteen. Tutkimuksen perusteella suositellaan, että irtisanomisilmiöön liittyvää tilastointia kehitetään aiempaa yksityiskohtaisemmaksi ja kattavammaksi. Tutkimuksessa nyt tarkasteltujen useimpien tekijöiden merkittävyyttä voidaan arvioida vain irtisanomispaikkaa ympäröivän väestöruututietojen kautta, ei itse irtisanomiskohteen yksilötietojen perusteella. Vaikka tutkimuksessa esille otettujen tekijöiden tilastolliseen käyttäytymiseen liittyy epävarmuutta, suositellaan selvimpien tekijöiden huomioimista verkon pitkän aikavälin kehittämisessä erityisesti alueilla, joissa irtisanomisen riski on tekijöiden perusteella tunnistettavissa. Asiakaskatoilmiön laajan kansallisen vaikuttavuuden takia suositellaan tilastointitapojen yhtenäistämistä sekä laaja-alaista tutkimusta aiheen ympärillä. Tilastoinnin kehittämisen yhteydessä on huomioitava EU:n yleiset tietosuoja-asetukset (GDPR). Suositukset yleisesti seuraavassa.

- Nykyisiä asiakkaita sekä irtisanomisia ja ylläpitoon siirtymisiä koskevia tilastointitapoja kehitetään jatkoa ajatellen monipuolisemmaksi ja yhtenäiseksi. Keskeisimpinä seurattavia tekijöitä mm. asukkaiden ikä, talouskoko, kiinteistön ja tontin vesistöetäisyys, käyttöpaikan käyttötarkoitus, kiinteistön ikä ja saneeraushistoria
- Nykyisen tilastoaineiston arvoa ja käytettävyyttä parannetaan erilaisilla asiakaskyselyillä
- Tarkastellaan toistaiseksi analysoimattomia tekijöitä (mm. liittymän sijainti asutuskeskittymiin nähden, kiinteistön sijaintikorkeus ympäröivään alueeseen verrattuna) irtisanomisilmiön näkökulmasta
- Tilastollisesti luotettavimpia havaintoja hyödynnetään verkostosuunnittelussa, mutta epävarmemmissa tapauksissa suositellaan suoraa, mahdollisesti ajallisesti monivaiheista asiakaskontaktointia kohteen sähkönkäytön jatkuvuuteen liittyvän riskin arvioimiseksi ja mahdollisen irtisanomisen ennakoimiseksi

- Verkostosuunnittelun tueksi suoritetaan aluekohtaisia analyysejä ja tuloksia tarkastellaan erilaisten teemakarttojen ja riski-indeksien avulla
- Tietojärjestelmiä kehitetään tukemaan asiakaskatoriskin huomioimista verkostosuunnittelussa
- Yksittäisien, toistaiseksi tilastollisesti niukkojen tekijöiden seurantaan ja vertailuun perustuvien havaintojen yleistyessä ennustemallin (Perosvuo 2020) kehitystyötä on jatkettava, siten että mallissa voidaan huomioida yhä paremmin verkkoyhtiön toimintaympäristöön liittyvät ominaispiirteet

3 Käyttöpaikkakohtainen toimitusvarmuus

Jakeluverkkojen saneeraaminen toimitusvarmuusvaatimuksia vastaavalle tasolle vaatii huomattavia investointeja tulevina vuosina. Merkittävä osa toimitusvarmuusinvestoinneista kohdistuu taajamien ulkopuolelle, harvaanasutuille seuduille. Toimitusvarmuusvaatimukseen vastaaminen on erityisen haastavaa siellä, missä verkko on avojohtotekniikkaan perustuvaa ja johtokatu sijaitsee metsässä. Asiakasta kohti määritettynä saneerauksen kustannukset ovat korkeimmillaan juuri tällaisilla alueilla. Perinteisten saneerausratkaisuiden lisäksi on siis perusteltua tarkastella vaihtoehtoisia lähestymistapoja toimitusvarmuuden takaamisessa ja sähkönjakeluinfrastruktuurin kehittämisessä.

Toimitusvarmuuden kehittämiseksi verkkoyhtiöllä on kolme periaatteellista toimintamallia. Nämä ovat seuraavat:

1. Verkkoyhtiö varmistaa toimitusvarmuuden (perinteisillä) verkostoinvestoinneilla
2. Verkkoyhtiö varmistaa toimitusvarmuuden ostopalveluilla
3. Verkkoyhtiö ostaa jouston asiakkaalta ja asiakas hyväksyy riskin heikommalle toimitusvarmuudelle tai varmistaa sähkön saannin itsenäisesti

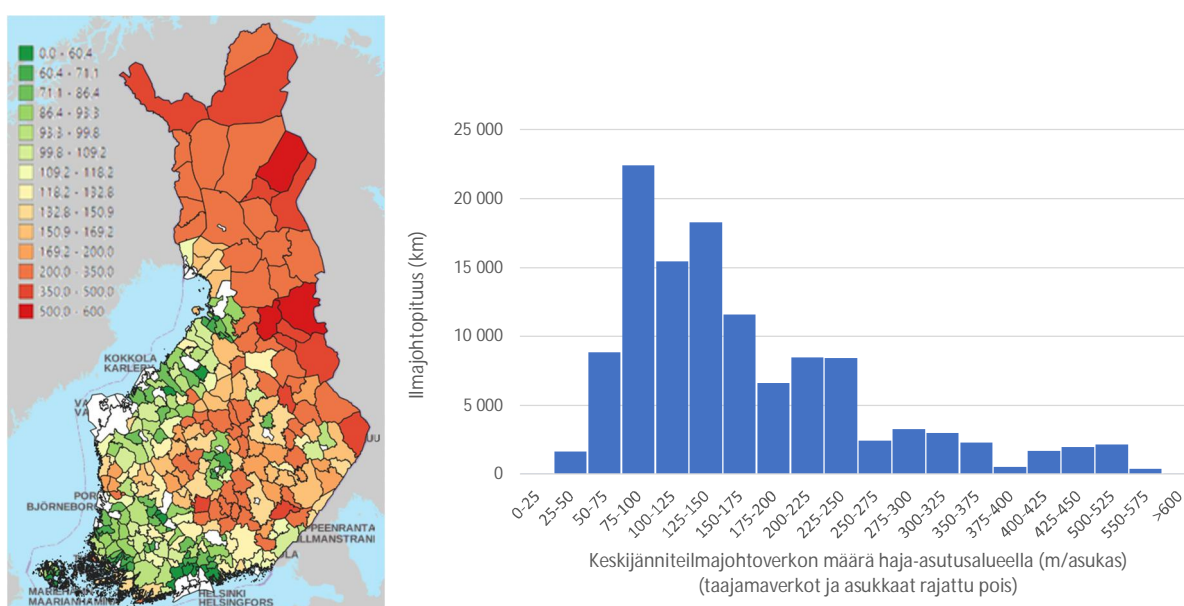
Ensimmäisessä vaihtoehdossa toimitusvarmuusvaatimukseen vastataan perinteisillä verkostoinvestoinneilla. Tämä tarkoittaa verkkoyhtiön toimintaympäristöstä ja kehittämisstrategiasta riippuen erilaisia laaja-alaisia verkostoinvestointeja, kuten keski- ja pienjänniteverkkojen maakaapelointia, johtojen siirtoa tienvarsiin, leveitä johtokatuja jne. Harvaanasutuilla ja taantuvilla alueilla investoinnit ovat asiakasta kohti laskettuna suuria, ja niihin sisältyy usein riski mahdollisesta asiakaskadosta tai liittymätarpeen muutoksesta.

Toisessa vaihtoehdossa verkkoyhtiö varmistaa erilaisin ostopalvelutoteutuksin sen, että toimitusvarmuusvaatimukset täyttyvät asiakkailta. Verkkoyhtiö voi viivästyttää hallitusti verkon saneerausta tällaisilla alueilla tai toteuttaa ne verkkoteknisesti kevyemmällä ratkaisulla. Palveluntuottaja varmistaa paikallisesti, että vaatimukset toteutuvat asiakaspisteissä. Toistaiseksi tällaiset palvelumarkkinat ovat vielä marginaaliset, mutta erityisesti älyverkkotekniikan kehittyminen voi tarjota tähän tulevaisuudessa paremmat lähtökohdat.

Kolmannessa vaihtoehdossa verkkoyhtiö sopii asiakkaan kanssa siitä, että sähkön toimitusvarmuus ei välttämättä toteudu lain vaatimalla tasolla, mutta asiakas saa tästä kompensaation. Sopimalla tällä tavoin asiakas hyväksyy riskin heikommalle laadulle tai varmistaa itsenäisesti sähkön saannin jatkuvuuden mahdollisissa verkon vikatilanteissa. Lähtökohtana sopimussuhteen muodostamisessa on, että vaihtoehto on sekä sähkön käyttäjälle että sähköverkkoyhtiölle taloudellisesti (elinkaarikustannuksiltaan) kannattava. Vaihtoehtoon liittyy useita avoimia kysymyksiä. Seuraavassa on käsitelty yksityiskohtaisemmin, mitä tämä vaihtoehto tarkoittaa ja miten taloudellinen kannattavuus määritettävissä.

3.1 Lähtökohdat käyttöpaiikkohtaisen toimitusvarmuusjouston hyödyntämiselle

Merkittävä osa Suomen jakeluverkoista sijaitsee haja-asutusalueilla. Asukas- ja asiakastiheydet ovat matalia ja verkkopituus asiakasta kohti on suuri. Toimitusvarmuusvaatimuksiin on ensimmäisessä vaiheessa vastattu panostamalla saneerauksissa asutuskeskittymiin kuten taajamiin. Tällä tavoin investoinneilla on saavutettu suuri määrä asiakkaita säävarman verkon piiriin. Nyt ollaan vaiheessa, jossa saneeraustarpeet ja investoinnit ohjautuvat yhä voimakkaammin kaavoitettujen alueiden ulkopuolelle. Toimitusvarmuuden kehittämisen toimintamallit ovat tästäkin näkökulmasta erityisen ajankohtaisia. Kuvassa 3.1 on esitetty keskijänniteilmajohtoverkon pituus asukasta kohti määritettynä Suomen kunnissa haja-asutusalueilla. Aineisto perustuu Maanmittauslaitoksen kartta-aineistoon sekä Energiaviraston keräämiin tunnuslukuihin.



Kuva 3.1. Keskijänniteilmajohtoverkon pituus asukasta kohti määritettynä Suomen kunnissa haja-asutusalueilla. Aineisto perustuu Maanmittauslaitoksen kartta-aineistoon sekä Energiaviraston keräämiin tunnuslukuihin. Mukana verkkoyhtiöt, joissa keskijänniteverkon kaapelointiaste on ollut alle 20 % vuonna 2013.

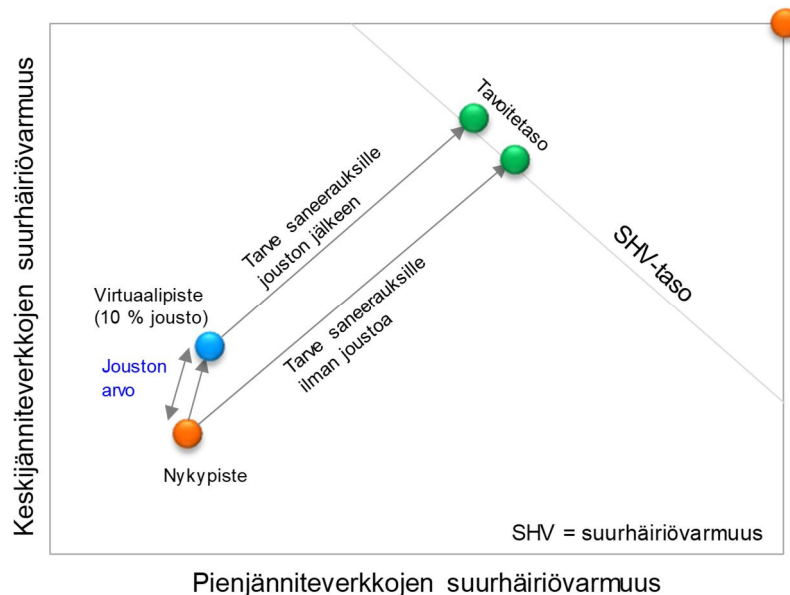
Saneerausratkaisuna asutuskeskittymissä on ollut pääsääntöisesti maakaapelointitekniikka. Harvaanasutuilla alueilla saneerausratkaisujen valintaan liittyy taajama-alueita enemmän haasteellisuutta. Useissa haja-asutusalueilla toimivissa verkkoyhtiöissä taajamaverkkojen osuus voi olla vain 10–20 % verkon kokonaispituudesta. Haja-asutusalueilla sovellettavat ratkaisut muodostavat siis merkittävän osan yhtiön investointitarpeesta ja pääomasta. Haja-asutusalueella olevien verkkojen ikä, kunto ja ympäristöolosuhteet vaihtelevat suuresti. Alueella, jossa verkko on nuorta mutta säälle haavoittuvissa olosuhteissa, voidaan verkkoa joutua saneeraamaan ennen käyttöikänsä toimitusvarmuusvaatimusten täyttämiseksi. Kun samanaikaisesti alueen asiakasmäärä on vähäinen, voi sähkökäyttöpaikkaa kohti laskettuna saneerausinvestointien määrä olla korkea.

Tutkimuksessa on tarkasteltu asiakaskohtaista toimitusvarmuusjoustoja ja sen tuomia mahdollisuuksia vaikei nykyainsäädäntö mahdollistakaan asiakaskohtaista sopimista. Joustoratkaisussa verkkoyhtiö

kartoittaa verkostaan sellaiset alueet ja johto-osat, joissa on teknistaloudellisesti järkevät lähtökohdat jouston soveltamiseen ja sopii käyttöpaikkakohtaisesti sähkön toimitusvarmuuteen liittyvistä asioista. Tavoitteena on, että joustosopimuksella voidaan välttää ennenaikaiset saneeraukset verkossa ja keskittää saneerausresurssit alueille, joissa investoinneista on suurin kansantaloudellinen hyöty. Tämän kaltainen jousto voi mahdollistaa lisäksi alueiden kehityksen seuraamisen mm. mahdollisen muuttoliikkeen ja asiakaskadon näkökulmasta ja sillä tavoin edesauttaa investointien oikean suuruisen ja oikea-aikaisen kohdistamisen.

3.2 Periaatteet taloudellisesti kannattavien kohteiden määrittämiselle

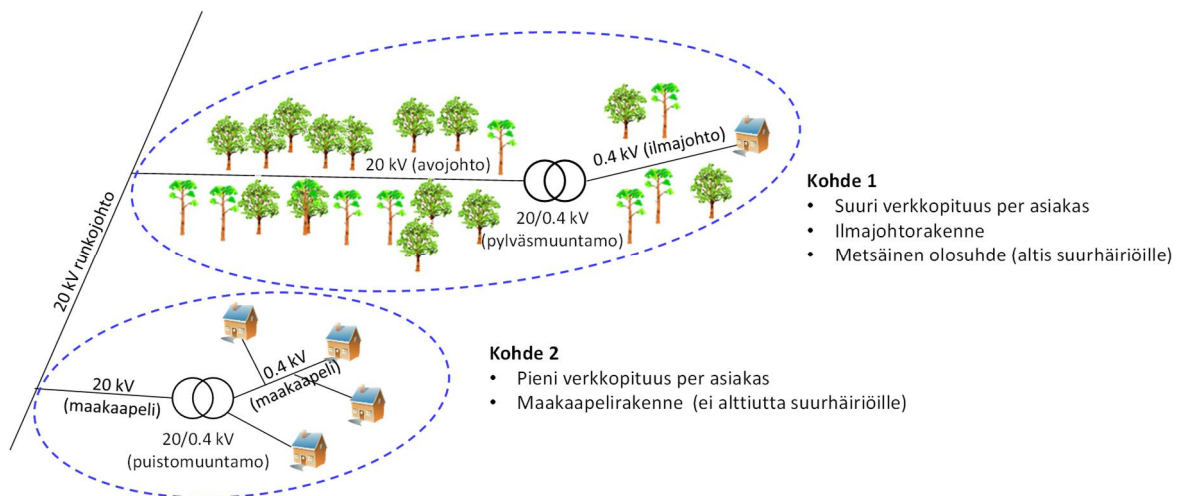
Verkkoyhtiöt ovat arvioineet kehittämissuunnittelussa, missä määrin verkossa on tehtävä toimenpiteitä tulevina vuosina, että verkko täyttäisi sille asetetut vaatimukset (6/36 h). Toimitusvarmuusinvestointien tarvearvio voi perustua esimerkiksi myrskyhistorian kautta määritettyyn tavoitetasoon. Tavoitetaso kuvastaa sellaista verkkoa, minkä viankorjausorganisaatio pystyy korjaamaan tavoiteajoissa. Asiaa on havainnollistettu kuvassa 3.2, missä on esitetty verkon (keskijännite ja pienjännite) suurhäiriövarmuuden kehittyminen nykypisteestä tavoitetasolle. Käyttöpaikkakohtaisen toimitusvarmuusjoustoparhaimen soveltuvien kohteiden vaikutus suurhäiriövarman verkon kehittämistarpeeseen. Mitä enemmän joustokohteiden myötä vapautuu verkon saneerausvelvoitetta, sitä vähemmän verkossa on tarvetta todellisille toimitusvarmuusinvestoinneille. Kuvan virtuaalipiste kuvaa esimerkinomaisesti tilannetta, jossa joustoon sitoutuneita asiakkaita syöttävät verkonosat on huomioitu lopullisessa saneeraustarpeessa.



Kuva 3.2. Esimerkinomainen kuva toimitusvarmuusinvestointien ja jouston vaikutuksista suurhäiriövarmuuden tavoittelussa. SHV-taso = tavoiteltu suurhäiriövarmuustaso.

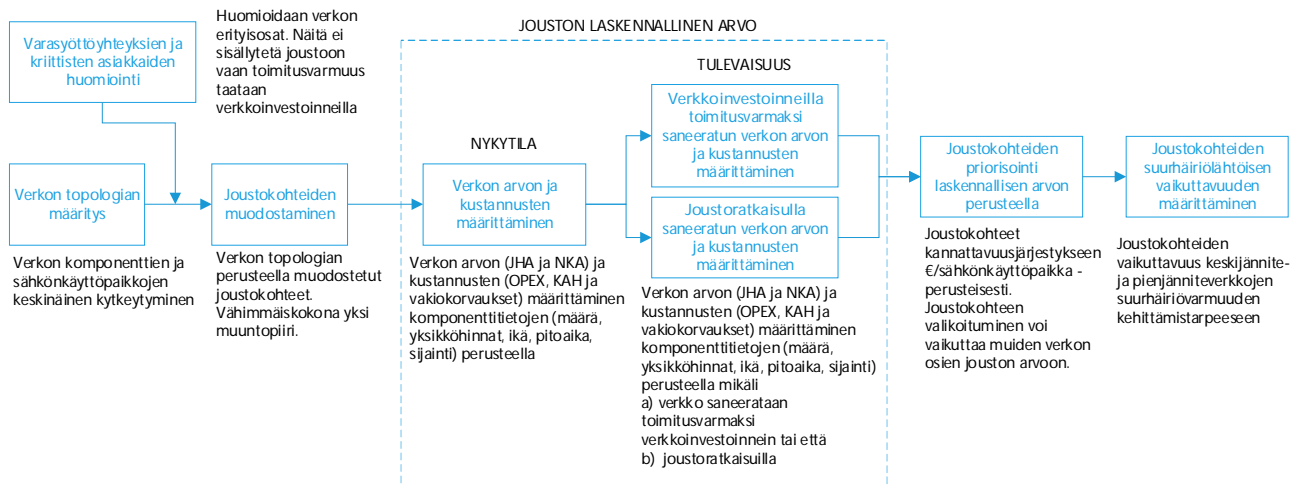
3.2.1 Joustokohteiden valinta

Tutkimuksen tavoitteena on arvioida toimitusvarmuusjouston vaikuttavuutta huomioiden todelliset lähtökohdat jakeluverkossa. Joustopotentialin arvioiminen perustuu verkostoanalyysiin. Analyysissä kartoitetaan, minkälaiset lähtökohdat nykyisen verkon teknologia, topologia, asiakastiheys, suurhäiriöriskialttius ja ikä muodostavat joustoratkaisun soveltamiselle. Kuvassa 3.3 on esitetty esimerkki toimitusvarmuusjouston sovellettavuuden arvioimisesta kahdessa eri kohteessa. Toimitusvarmuusjousto tavoitellaan vain johtohaaroilta, koska runkojohtojen on sähköasemien varayhteyslinkkeinä oltava haarajohtoja luotettavampia. Lisäksi edellytyksenä on, että joustosopimisella saavutetaan verkon näkökulmasta riittävän yhtenäinen alue, jotta sillä voisi käytännössä olla vaikutusta verkoston kehittämiseen. Tässä tutkimuksessa joustokohteen koko on ollut vähintään yhden muuntopiirin kokoinen (eli kaikki samassa pj-verkossa olevat sähkökäyttäjät ovat mukana joustossa). Joustokohteessa voi muodostua yhdestä tai useammasta sähkökäyttäjistä. Kuvan esimerkin ylempi johtohaara edustaa kohdetta, jossa on hyvät lähtökohdat joustosta sopimiselle koska johtohaara on pitkä ja asiakkaita vähän sekä olemassa oleva verkko on avojohtorakenteinen ja altis ulkoisille häiriöille. Kuvan alemmassa johtohaarassa joustosta sopiminen haastavampaa suuremman asiakasmäärän ja joustosta saatavat hyödyt ovat pienet verkon olemassa olevan rakenteen takia (maakaapeliverkko tai muuten säävarma verkko).



Kuva 3.3. Esimerkinomainen kuva joustopotentialin määrittämisestä. Ylempi johtohaara edustaa kohdetta, jossa hyvät lähtökohdat joustosta sopimiselle. Alemmassa johtohaarassa joustosta sopiminen haastavampaa suuren asiakasmäärän takia ja joustosta saatavat hyödyt ovat olemattomat verkon jo olemassa olevan suurhäiriövarman rakenteen takia (maakaapeliverkko tai muuten säävarma).

Joustopotentialin ja jouston taloudellisen arvon määrittämiseen ei ole vielä saatavilla kaupallisia ohjelmistotyökaluja. Tutkimuksessa on kehitetty analysointimetodiikkaa tätä tarvetta vasten. Metodiikan pohjalta toteutetun verkostoanalyysin pelkistetty prosessikaavio on esitetty kuvassa 3.4. Prosessi suoritetaan koko jakeluverkolle. Tutkimuksessa on käytetty todellisia sähköverkkomalleja, joissa verkonosien todellinen keskinäinen kytkeytyminen eli topologia, verkon ikä- ja arvotiedot, olosuhteet sekä asiakastiedot ovat käytettävissä.



Kuva 3.4. Periaateprosessikaavio joustopotentialin kartoittamisesta ja joustokohteiden taloudellisen arvon määrittämisestä.

Verkonosan joustosoveltuvuuteen ja arvoon voivat vaikuttaa mm. seuraavat tekijät.

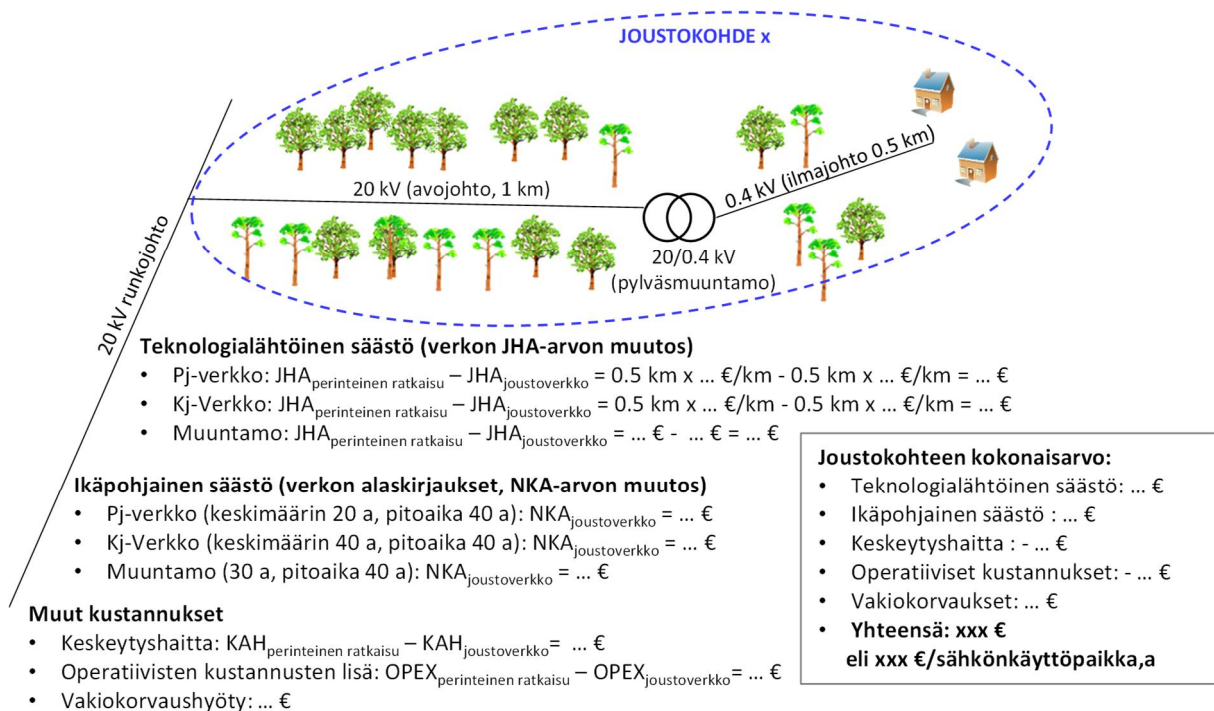
1. **Verkon nykyinen teknologia:** mikäli olemassa oleva verkko on maakaapeloitu tai toteutettu muuten säävarmalla teknologialla, kohde ei ole altis suurhäiriöriskeille eikä siten kannattava kohde toimitusvarmuusjoustoille
2. **Verkon sijainti (olosuhde):** mikäli verkko on ilmajohtorakenteinen ja sijaitsee metsässä tai on muuten puuston kaatumiselle ja myrskyille alttiina, on joustolle perustellut lähtökohdat
3. **Verkon ikä:** mikäli verkko on iältään nuorta ja muut tekijät edellyttävät toimitusvarmuuslähtöistä saneerausta, on joustolle hyvät lähtökohdat, sillä joustolla voidaan välttää enneaikainen kesken käyttöikä tapahtuva uusiminen
4. **Asiakastiheys:** mikäli asiakkaita on harvassa (suuri verkkopituus/asiakas), on joustolle hyvät lähtökohdat
5. **Tavoiteverkon teknologia:** mikäli säävarmuutta tavoitellaan nykyistä verkkoa elinkaarikustannuksiltaan selvästi arvokkaammilla ratkaisuilla, on joustoratkaisulle hyvät lähtökohdat. Joustoratkaisussa verkko saneerataan minimikustannuksin. Mikäli alueen kehittämisessä käytetään perinteisille keskijännitehaarajohdoille kilpailukykyistä kehittämisvaihtoehtoa (1000 V pienjännitejakelua), rajautuvat nämä kohteet pois joustopotentialisista.
6. **Asiakkaan sähkön käyttö:** mikäli asiakkaan sähkökäytön jatkuvuus on kriittinen, voi joustosta sopiminen olla haasteellista. Mikäli taas asiakkaan sähkökäytön jatkuvuus on epävarmaa, luo tämä jouston sopimiselle kannustimen, sillä joustolla voidaan välttää verkon uusiminen kohteessa, missä viimeinen asiakas lopettaa sähkökäytön muutaman vuoden sisällä

3.2.2 Teknistaloudellinen arvo

Teknistaloudellinen kannattavuuden taustalla ovat edellä esitetyt asiat. Joustoratkaisussa verkon arvo ja kustannukset kehittyvät eri tavoin verrattuna siihen, että verkko saneerattaisiin perinteisin keinoin suurhäiriövarmaksi. Jouston taloudellinen arvo määritetään verkon arvossa (jälleenhankinta-arvo ja nykykäyttöarvo), KAH- ja OPEX -kustannuksissa sekä vakiokorvauksissa tapahtuvia muutoksia analysoimalla. Seuraavassa on kuvattu periaatteet yksityiskohtaisemmin.

1. **Verkon jälleenhankinta-arvon (JHA) muutos eli ns. teknologialähtöinen säästö:** Joustoratkaisussa verkkoa uusitaan maltillisesti ylläpitävin investoinnein eikä verkkoa ei tarvitse saneerata nykyistä kalliimmalla vaihtoehdolla esim. siten, että nykyinen ilmajohto korvattaisiin maakaapelirakenteella. Näin syntyy säästöä investointien erotuksen verran jouston piiriin kuuluvassa pienjänniteverkossa, jakelumuuntamoilla sekä keskijänniteverkossa. Tätä säästöä merkitään tarkasteluissa ns. *teknologialähtöisenä säästönä*.
2. **Verkon alaskirjaukset eli ns. ikäpohjainen säästö:** Joustoratkaisussa ei vaadita ennenaikaisia investointeja, jolloin nykyiset verkkorakenteet säilytetään käyttöikänsä loppuun saakka. Tätä säästöä merkitään tarkasteluissa ns. *ikäpohjaisena säästönä*.
3. **Keskeytyksistä aiheutuneet haitat, KAH-kustannukset:** Joustoratkaisussa verkko jää nykyisen kaltaiseksi ja verkonosa vikaantuu vaihtoehtoista kehittämistapaa (esim. maakaapelointia) enemmän. Tästä aiheutuu muulle verkonosalle (asiakkaille) keskeytyshaittoja. Tätä lisäkustannusta merkitään tarkasteluissa ns. *KAH-kustannuksena*.
4. **Operatiiviset kustannukset:** Joustoratkaisussa verkko jää nykyisen kaltaiseksi ja verkonosaan kohdistuu vaihtoehtoista kehittämistapaa (esim. maakaapelointia) korkeammat ylläpitokustannukset. Tätä lisäkustannusta merkitään tarkasteluissa ns. *OPEX-kustannuksena*.
5. **Vakiokorvaukset:** Joustoratkaisussa joustosopimuksen tehneet asiakkaat eivät ole tarkastelussa *vakiokorvaukseen* oikeutettuja. Tällä tavoin yhtiön maksamien vakiokorvausten määrä on pienempi kuin tilanteessa, jossa joustoasiakkaita ei ole. Joustokohteiden verkko jää nykyisen kaltaiseksi ja verkonosa voi vikaantua suurhäiriön muodossa vaihtoehtoista kehittämistapaa (esim. maakaapelointia) todennäköisemmin. Verkonosan vikaantuessa se voidaan kuitenkin erottaa muusta verkosta, eikä siitä aiheudu pidempikestoista sähkönjakelun keskeytystä muille asiakkaille.

Kuvassa 3.5 on esitetty esimerkki jouston arvon määrittämisestä yksittäisessä joustokohteessa. Kohde muodostuu kahden asiakkaan muuntopiiristä (pj-verkko, jakelumuuntaja ja -muuntamo) sekä keskijännitehaarajohdosta. Esimerkissä on esitetty kustannuskomponenttikohtaisesti se, miten säästö tai mahdollinen lisärasite joustosta muodostetaan vertailemalla suurhäiriövarmuuden tavoittelua verkkoteknisin keinoin (kuvassa *perinteinen ratkaisu*) tai joustosopimuksella asiakkaan kanssa (kuvassa *joustoverkko*).



Kuva 3.5. Periaate jouston arvon määrittämisestä esimerkkitilanteessa. Perinteinen ratkaisu = toimitusvarmuusvaatimukseen tähtäävä saneeraus toteutetaan verkkoratkaisuilla, joustoverkko = verkko saneerataan kevyesti ja verkkoon voi jäädä suurhäiriöriski (asiakas hyväksyy tämän joustosopimuksessa)

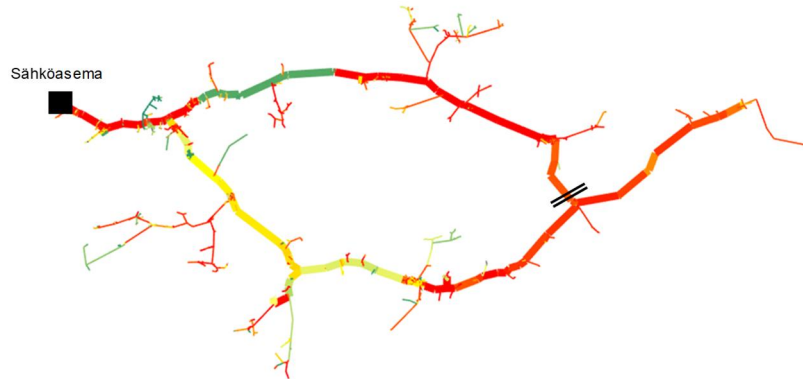
Joustopotentialissa verkko saneerataan vain ikä- ja kuntovelvoitteet huomioiden. Suurhäiriövarmuutta joustopotentialissa ei tarvitse tavoitella joustosopimuksen myötä. Kuvassa esitetyistä yhtälöistä käy hyvin esille esimerkiksi se, että jouston arvo riippuu voimakkaasti siitä, miten arvokkaalla verkkoteknisellä ratkaisulla toimitusvarmuutta tavoiteltaisiin ilman joustoa ja miten paljon verkolla on vielä käyttöikä ja -arvoa jäljellä. Analyysin lopputuloksena saadaan kohdekohtaisesti sähkökäyttöpaikkakohtainen jouston vuosittainen taloudellinen arvo (€/sähkökäyttöpaikka,a).

3.3 Case-tarkastelu

Seuraavassa on esitetty todelliseen jakeluverkkoon liittyvä tarkastelu käyttöpaikkakohtaisen toimitusvarmuusjouston määrittämisestä, potentiaalista ja jouston kokonaisarvosta. Joustopotentiaali määräytyy verkon haavaisuuden ja suurhäiriöalttiuden mukaan. Mikäli verkossa ei ole haarajohtoja ja runkojohtot on oltava toimitusvarmoja esimerkiksi asemien välisinä yhteyslinkkeinä, ei joustolle ole potentiaalia. Samoin jos verkko on entuudestaan säävarma, ei toimitusvarmuusjoustolle ole tarvetta. Joustopotentiaalia määritettäessä on lisäksi huomioitava ns. kriittiset kohteet. Tällaisia kohteita voivat olla esimerkiksi teletukiasemat ja vedenottamot. Tarkasteluissa kriittiset kohteet huomioidaan niin, että kohteille voidaan taata ns. suurhäiriövarma sähkön syöttö. Nämä kohteet ja kohteita syöttävät verkonosat eivät siten kuulu määritettävään joustopotentiaaliin.

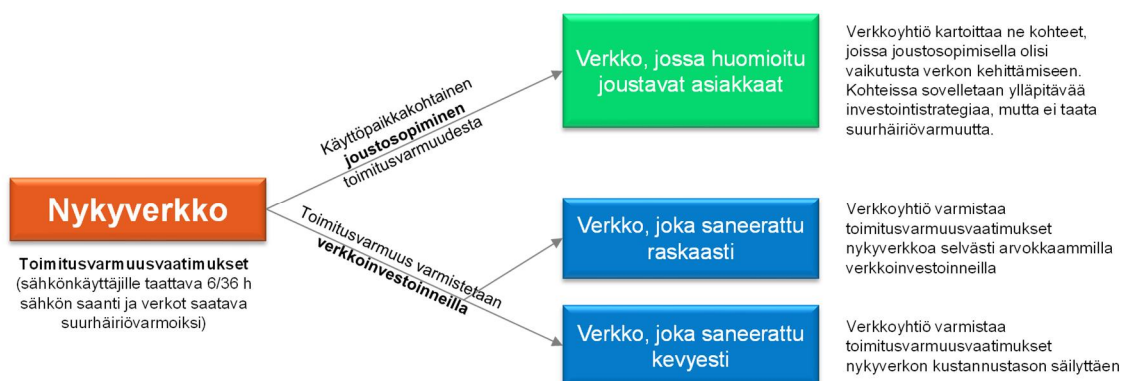
Esimerkkialue sijaitsee harvaan asutulla alueella maaseutumaisessa ympäristössä. Esimerkkialueeseen kuuluvan johtolähdön jakeluverkko on esitetty kuvassa 3.6. Vähäinen asiakasmäärä ja pitkät

välimatkat näkyvät asiakasta kohti määritetyssä johtopituudessa (400–500 m/asiakas). Haarojohtojen suuri osuus (30–50 % keskijännitejohdoista) yhdessä vähäisen asiakasmäärän ja ilmajohtopainotteisen rakenteen sekä metsäpainotteisen asennusympäristön (johdoista 80–90 % metsässä) kanssa luovat hyvät lähtökohdat toimitusvarmuusjoustolle.



Kuva 3.6. Tarkastelussa käytetty esimerkkikeskijännitejohtolähtö todellisesta jakeluverkosta. Verkon värit kuvaavat verkon ikää (punainen = vanha, vihreä = nuori) ja viivan paksuudet johto-osuuden roolia. Runkojohdot on esitetty paksulla viivalla ja haarojohdot ohuilla viivoilla. Joustopotentialin määrittäminen keskittyy haarojohtoihin.

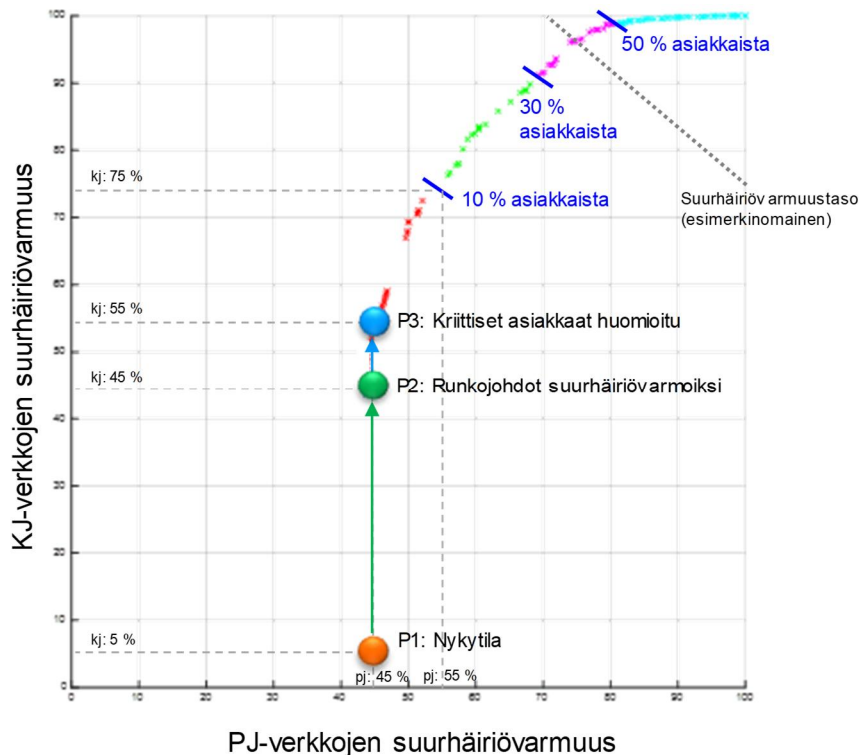
Vaikka joustolle olisi edellä mainittujen periaatteiden mukaisesti hyvät lähtökohdat, on jouston taloudellinen arvo määritettävä verkostanalyysin. Jouston arvon suuruuteen vaikuttavat verkon ikä sekä saneerauksessa sovellettavat teknologiavalinnat. Joustosopimisella voidaan välttää verkon enneaikainen uusiminen ja odotettavissa oleva ikäpohjainen säästö on sitä suurempi, mitä nuorempaa verkkoa joustokohteet sisältävät. Esimerkissä verkko on vanhaa erityisesti haarojohtojen osalta ja siksi odotusarvo ikäpohjaiselle säästölle pieni. Teknologiavalintojen kautta tuleva mahdollinen hyöty riippuu siitä, mitä suurhäiriövarmaa tekniikkaa alueella sovelletaan, ellei joustosopiminen ole mahdollista. Tässä esimerkissä tarkastellaan sekä ns. raskasta että kevyttä saneerausvaihtoehtoa (kuva 3.7) ja verrataan joustoratkaisua näihin. Ensimmäisessä saneerausvaihtoehdossa, mikäli joustoa ei olisi saatavilla, saneeraus toteutettaisiin täysimittaisella maakaapeloinnilla. Toisessa vaihtoehdossa saneeraus hoidettaisiin kevyillä, ylläpitävillä investointitavoilla (esimerkiksi pylväsvaihdot). Suurhäiriövarmuus varmistettaisiin johtokatuja leventämällä.



Kuva 3.7. Periaatteelliset vaihtoehdot case-tarkastelussa.

3.3.1 Joustokohteiden vaikutus suurhäiriöriskin kehittymiseen

Joustokohteet valikoidaan ja priorisoidaan kustannussäästöperusteisesti. Koska kohteet muodostuvat haarajohdoista tai niiden osista ja runkojohdoilta edellytetään toimintavarmuutta suurhäiriötilanteissa, voidaan suurhäiriövarmuuden kehittyminen havainnollistaa kuvan 3.8 mukaisella esitystavalla. Kukin kohde muodostuu vähintään yhdestä muuntopiiristä. Useamman muuntopiirin keskijännitehaara voi olla yksi yhtenäinen joustokohde tai se voi muodostua useammasta erillisestä joustokohteesta sen mukaan, miten osakohteiden arvo erillään (€/asiakas) pärjää vertailussa koko haarajohdon jouston arvoa vastaan.



Kuva 3.8. Esimerkkijohtolähdön suurhäiriövarmuuden nykytila ja kehitysaskleet. 100 % = verkko on immuuni suurhäiriöille.

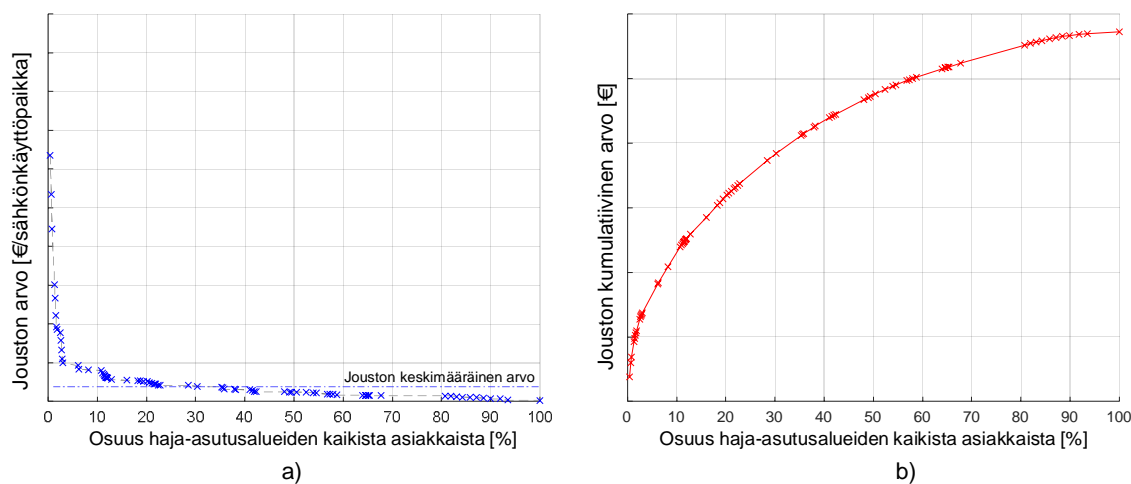
Kuvan 3.8 mukaisesti verkon nykytilanne (P1, jakeluverkon nykyinen suurhäiriövarmuus) on keskijänniteverkon osalta 5 % ja pienjänniteverkossa 45 %. Suurhäiriövarmaksi verkoksi lasketaan maakaapeloidut osuudet sekä pellolla tai muuten avomaalla sijaitsevat ilmajohdot. Teiden varsilla olevista ilmajohdoista huomioidaan puolet, silloin kun johtokatu on tien ja metsän välissä. Runkoverkon saneerauksen myötä suurhäiriövarmuus kehittyy nykytilasta ns. runkoverkon toimivuuden takaavaan toimintapisteeseen (P2: kj 45 %). Nykytilan (P1) ja pisteen P2 välinen matka riippuu runko-osuuksien kokonaismäärän suhteesta haarajohto-osuuksiin sekä siitä, miten paljon runkoverkosta on alun perin suurhäiriöille altista. Joustoa ei siis sovelleta tässä osuudessa, vaan kehittäminen vaatii perinteisemmät suurhäiriövarmuuden takaavat saneerausratkaisut. Osa kriittisistä asiakkaista voi sijaita runko-osuuksilla, jolloin niille muodostuu toimitusvarmuus runkoverkkojen

saneerauksen myötä. Ne kriittiset asiakkaat, jotka sijaitsevat verkon haaraosuuksilla, joudutaan huomioimaan joustopotentialin rajauksessa. Näille asiakkaille järjestetään toimitusvarma sähkönjakelu perinteisillä saneeraustavoilla (pisteiden P2-P3 välinen kehitys) eikä jousto ole sovellettavissa tällä verkko-osuudella. Kuvan esimerkissä kriittiset asiakkaat kytkeytyvät suoraan keskijänniteverkkoon tai pienjänniteverkon pituus asiakaskohteissa on vähäinen tai valmiiksi suurhäiriövarma.

Varsinainen joustokohteiden vaikutus verkon suurhäiriövarmuuden kehittämistarpeisiin näkyy pisteen P3 jälkeisellä osuudella. Kuvassa on havainnollistettu, miten kehitys etenee kohti suurhäiriövarmuustavoitetta. Esimerkkialueella ensimmäisten, jouston tuomien verkkohyötyjen näkökulmasta priorisoitujen 10 % asiakasjoukon osalta toimitusvarmuusjousto vastaisi keskijänniteverkossa noin 20 %-yksikön (=75 % - 55 %) saneerausosuutta ja pienjänniteverkossa noin 10 %-yksikön (=55 % - 45 %) osuutta verkon kokonaispituudesta. Nämä osuudet voitaisiin siis saneerata kevyemmin, koska näissä verkonosissa olevat asiakkaat ovat valmiita joustamaan toimitusvarmuusvaatimuksissa ja hyväksymään heitä syöttäviin johto-osuuksiin liittyvän suurhäiriöriskin.

3.3.2 Joustokohteiden taloudellinen arvo

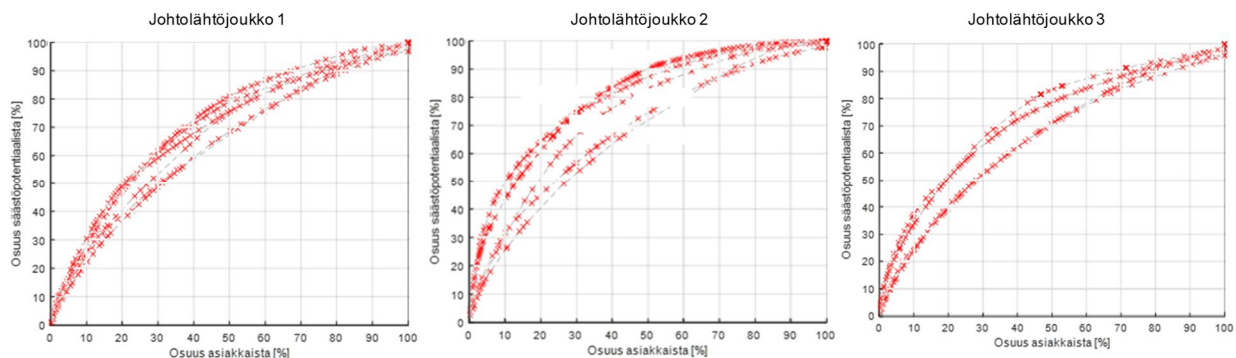
Aiemmin esitettyjä periaatteita seuraten jokaiselle joustokohteelle voidaan määrittää euromääräinen jouston sähkönkäyttöpaikkakohtainen arvo. Kuvassa 3.9a on havainnollistettu jouston kohdekohtainen arvo sähkönkäyttöpaikkaa kohti määritettynä (siniset pisteet). Kohteet on esitetty jouston taloudellisen arvon mukaan suuruusjärjestyksessä. Kuvassa 3.9b Punaisilla pisteillä on esitetty jouston arvon kumulatiivinen kehitys joustoon liittyvien asiakkaiden määrän funktiona. Piste oikealla ylhäällä (x-akselin arvo 100 %) kuvastaa tilannetta, jossa johtolähdön kaikki sähkönkäyttöpaikat ovat mukana joustossa.



Kuva 3.9. Esimerkkikeskijännitejohtolähdön a) jouston keskimääräinen arvo (€/sähkönkäyttöpaikka) kohdekohtaisesti määritettynä sekä b) jouston arvon kumulatiivinen kehitys asiakkaiden määrän funktiona.

Kuvasta 3.9a on nähtävissä suuret kannattavuuserot eri kohteiden välillä. Parhaimpien kohteiden käyttöpaikkakohtaisesti määritetyn jouston arvo voi olla kymmenkertainen koko johtolähdön keskiarvoon verrattuna. Koska kuvan jouston arvo on suhteutettu käyttöpaikkakohtaisesti, ei yksittäinen piste kerro suoraan joustokohteen absoluuttista euomääräistä arvoa eikä siten merkittävyyttä johtolähdön saneerauksessa. Jouston keskimääräinen arvo (€/sähkökäyttöpaikka) voi olla hyvinkin korkea, vaikka joustokohde olisikin verkkomäärältään pieni, jos kustannussäästön jakajia (sähkökäyttöpaikkoja) on kohteessa vähän.

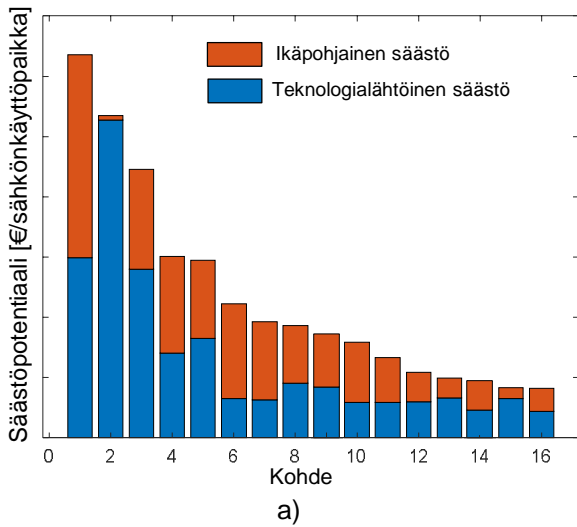
Kuvassa 3.9b on nähtävissä samaisten joustokohteiden arvojen kumulatiivinen kertymä. Kuvasta nähdään, että kyseisellä johtolähdöllä parhaat 10 % joustokohteista muodostaa lähes puolet koko lähdön taloudellisesta joustopotentialista. Jouston arvon kumulatiivinen kertymä ei merkittävästi kasva enää sen jälkeen, kun puolet sähkökäyttöpaikoista on mukana joustossa. Käyrän alkupään jyrkkyys heijastaa joustokohteiden keskinäisiä eroja. Mitä jyrkempi käyrän alkupää on, sitä selvemmin parhaimmat kohteet (esim. pitkät vähäisen asiakasmäärän omaavat keskijännitehaarajohdot) erottuvat kannattavuudeltaan muista kohteista. Kuvassa 3.10 on esitetty jouston arvon kumulatiivisen kertymän kehittymistä suuremmalle haja-asutusalueen johtolähtöjoukolle.



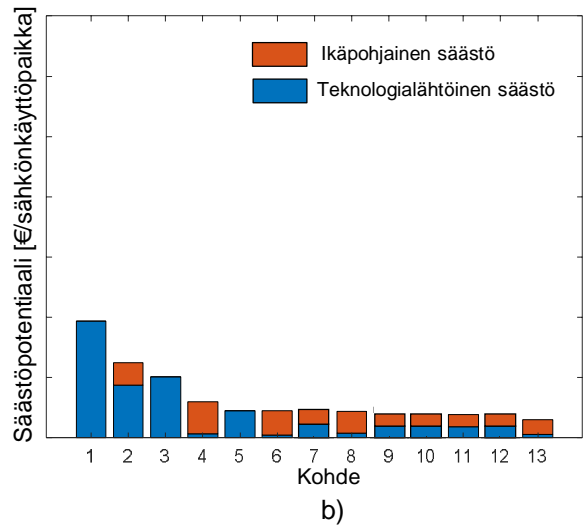
Kuva 3.10. Tarkastelualueen johtolähtöjen joustokohteiden kumulatiivisten arvojen kehittyminen.

Kuvassa 3.11 on tarkasteltu yksityiskohtaisemmin jouston arvon muodostumista kannattavimmissa joustokohteissa. Tarkastelu on rajattu taloudellisesti kannattavimpiin 10 % sähkökäyttäjistä sisältävään kokonaisuuteen. Kuvissa joustosopimista verrataan a) raskaasti tai b) kevyesti toteutettuihin saneerausratkaisuihin. Molemmissa vaihtoehdoissa toimitusvarmuusvaatimukset täytyvät. Joustokohteiden lukumäärä riippuu siitä, miten monta sähkökäyttöpaikkaa yhdessä joustokohteessa on. Kannattavimmat joustokohteet eivät ole välttämättä samoja, vaan ne voivat vaihdella saneerausvaihtoehtojen mukaan. Esimerkijohdolla sähkökäyttäjistä 10 % kattava kokonaisuus muodostuu yhteensä 13–16 erillisestä joustokohteesta. Johtolähdön kokonaisasiakasmäärä on 540 eli 10 % osuus muodostuu 54 sähkökäyttöpaikasta. Osa joustokohteista voi kytkeytyä verkossa toisiinsa siten, että haarajohdon osa (haara haarajohdossa) muodostaa oman erillisen joustokohteensa.

Jousto vs. raskas toimitusvarmuusvaatimuksiin vastaava saneeraus (maakaapelointi)



Jousto vs. kevyt toimitusvarmuusvaatimuksiin vastaava saneeraus (johtojen uusiminen ja johtokatujen levennys)



Kuva 3.11 Jouston arvon muodostuminen parhaimmissa 10 % asiakasjoustokohteissa, kun a) joustosopimista verrataan raskaaseen ja b) kevyeen saneerausvaihtoehtoon.

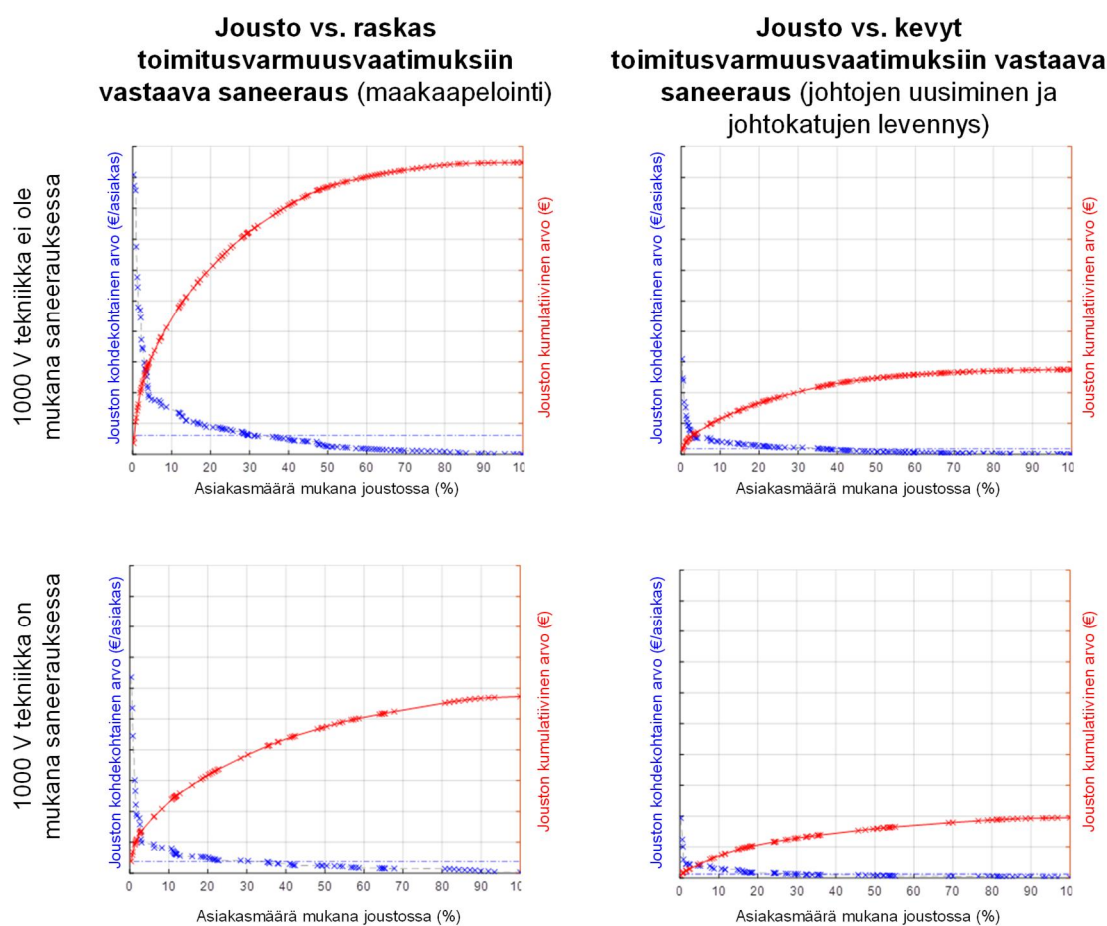
Luvussa 3.2 esitetyn mukaisesti jouston arvo muodostuu teknologiaalähtöisestä sekä ikäpohjaisesta säästöstä. Esimerkkijohtolähdön jouston arvo muodostuu ennen kaikkea pitkistä keskijänniteverkon haaraosuuksista. Arvo riippuu lisäksi joustosopimisen vertailukohdasta (raskas saneeraus, kevyt saneeraus). Raskaassa saneeraustavassa keskijännitekaapeloinnin korkeat yksikköhinnat heijastuvat jouston arvoon. Kevyessä saneerausvaihtoehdossa jouston kautta saavutettavissa olevat säästöt ovat pienempiä sillä verkkoon ei tehdä juurikaan joustoratkaisua enempää verkkoinvestointeja; vain johtokatut levennetään suurhäiriövarmoiksi keskijänniteverkossa. Pienjännitteellä teknologioiden väliset hintaerot ovat selvästi pienempiä. Pienjänniteverkkojen osuus kuvassa esitettyjen joustokohteiden arvoista onkin pääsääntöisesti muita verkkotasoja (keskijänniteverkko, jakelumuuntamot) matalampi. Pienjänniteverkkojen osuus jouston arvosta voi kuitenkin vaihdella alueesta ja teknologiavalinnoista riippuen. Koska esimerkkilähdön keski-ikä on korkea erityisesti keskijänniteverkon osalta, on ikäpohjaisen säästön arvo matalampi. Joustokohteiden tunnuslukuja on esitetty yksityiskohtaisemmin taulukossa 3.1.

Taulukko 3.1. Esimerkkijohtolähdön taloudellisesti kannattavimpien joustokohteiden taustatietoja (26 kohdetta kannattavuusjärjestyksessä).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Asiakasmäärä	2	1	1	3	1	2	1	4	1	2	1	1	1	1	1	1	1	3	1	5	1	6	1	2	1	9
Alle 2500 kWh, 2014-2016 vuosina	1	0	0	2	1	1	1	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	2	0	3	0	2	0	7
Sähkönkulutus, yhteensä (2016)	22,9	2,6	25,0	13,3	1,5	12,7	1,8	113,9	25,5	27,5	0,1	3,0	14,3	5,8	37,8	180,6	1,8	11,4	1,2	39,5	8,5	41,1	80,8	0,5	9,0	18,5
Sähkönkulutus/asiakas (2016)	11,5	2,6	25,0	4,4	1,5	6,3	1,8	28,5	25,5	13,8	0,1	3,0	14,3	5,8	37,8	180,6	1,8	3,8	1,2	7,9	8,5	6,8	80,8	0,3	9,0	2,1
Alle 100 kWh kuluttavia asiakkaita	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0

Taulukosta nähdään, että kannattavimmissa kohteissa muuntopiirit (tai useamman muuntopiirin kokonaisuudet) sisältävät vain vähäisen määrän asiakkaita. Esimerkiksi kaikkein kannattavimmassa joustokohteessa on vain kaksi asiakasta. Lisäksi taulukko paljastaa, että toinen kyseisen joustokohteen asiakkaista on vähän sähköä käyttävä asiakas (vuosina 2014–16 alle 2500 kWh/a).

Jouston arvon kokonaiskuvan ymmärtämiseksi on tarkasteltava eri teknologiavalintojen vaikusta arvon muodostumiseen. Kuten aiemmin esitettiin, arvoon vaikuttaa vahvasti se, minkälaiset kehittämissvaihtoehdot verkkoyhtiöllä on käytössä jo nykyisellään. Kuvassa 3.12 on havainnollistettu, miten jouston käyttöpaikkakohtaisesti määritetty arvo ja kumulatiivinen kehitys vaihtelee verkon kehittämistekniikoista riippuen. Kaikki osakuvat on piirretty samalla asteikolla, jolloin jouston arvot ovat keskenään vertailukelpoisia.



Kuva 3.12 Teknologiavalintojen vaikutus jouston arvon kehittymiseen esimerkkijohtolähdöllä. Kuvien kaikki asteikot ovat samat.

Kuvan vertailun lähtökohdaksi on otettu haja-asutusalueille soveltuvia teknisiä toteutusvaihtoehtoja. Vasemmanpuoleisissa kuvissa verkon saneerauksen toteutustapana käytetään ns. raskasta saneerausta ja oikeanpuoleisissa kuvissa suurhäiriövarmuustavoitteisiin vastaavaa saneerausta toteutetaan kevyemmin esim. pylväiden vaihdon ja johtokatuja levennyksen kautta. Vaikka todellisuudessa verkkojen saneerauksissa käytetään usein eri tekniikoiden yhdistelmiä, antavat nämä ääripään vaihtoehtovalinnat mielikuvan siitä, missä suuruusluokassa jouston arvo liikkuu, ja miten eri tekniikkavalinnat vaikuttavat arvoon. Ylä- ja alarivin kuvissa on tarkasteltu harvaanasutuille haja-asutusalueille soveltuvan 1000 V pienjännitetekniikan vaikutusta jouston arvoon. Keskeisimmät havainnot kuvaan liittyen ovat:

- **Teknisiltä valinnoiltaan raskas (kallis) saneeraus nostaa joustosopimisen arvoa:** mikäli verkon suurihäiriövarmuustavoitteisiin vastaava kehittäminen perustuu teknologiavalinnoiltaan nykytekniikkaa selvästi arvokkaampiin verkkoratkaisuihin, on jouston arvo korkeampi. Joustovaihtoehdossa arvokkaita saneerauksia voidaan lykätä tai ne voidaan jättää kokonaan tekemättä.
- **Tekniikaltaan kevyesti (edullisesti) toteutettava saneeraus pienentää jouston arvoa:** mikäli verkon suurihäiriövarmuustavoitteisiin vastaava kehittäminen perustuu teknologia- ja toimenpidevalinnoiltaan vaihtoehtoihin, jotka eivät eroa nykyverkon kustannustasosta, on jouston arvo matalampi. Joustovaihtoehdon mahdollistama maltillinen, ylläpitävä ja ikäperusteinen saneeraus ei juuri poikkea kustannuksiltaan kevyesti suurihäiriövarmuusvaatimukseen vastaavasta kehittämistekniikasta.
- **1000 V tekniikan kustannustehokkuus näkyy jouston potentiaalissa ja arvossa:** 1000 V tekniikka soveltuu hyvin alueille, joissa etäisyydet pitkiä ja tehot pieniä. Tällaiset olosuhteet tarjoavat hyvät lähtökohdat myös joustolle. Jouston arvo olisi näissä kuitenkin olematon (tai negatiivinen), sillä verkon kehittäminen 1000 V tekniikalla voidaan sekä investointien että suurihäiriövarmuuden tavoittelun näkökulmasta toteuttaa kustannustehokkaasti.

3.4 Jouston arvo

Edellä olevat esimerkit ja tulokset liittyvät yksittäiseen tai yksittäisiin johtolähtöihin. Tarkasteltaessa laajemmin edellä esitettyjen periaatteiden mukaisesti haja-asutusalueiden verkkoja, on jouston keskimääräinen vuotuinen arvo teknologiavalinnoista riippuen parhaimmalle kymmenen prosentin sähkönkäyttöpaikkaosuudelle seuraava;

- Ikäpohjainen säästö: 110–180 €/sähkönkäyttöpaikka,a
- Teknologialähtöinen säästö: 90–320 €/sähkönkäyttöpaikka,a
- OPEX -rasite: 5–15 €/sähkönkäyttöpaikka,a
- KAH -rasite: 50–90 €/sähkönkäyttöpaikka,a
- Vakiokorvaushyöty: 10 €/sähkönkäyttöpaikka,a

Toimitusvarmuusjouston arvo on yhteensä **keskimäärin 150–420 €/sähkönkäyttöpaikka,a** kehittämissvaihtoehdosta riippuen. Jouston arvo laskee voimakkaasti tarkastelujoukon koon kasvaessa, kuten esimerkiksi kuvista 3.9, 3.10 ja 3.12 on nähtävissä. Eri verkkotasojen (keskijänniteverkot, jakelumuuntamot, pienjänniteverkot) keskinäiset osuudet vaihtelevat tarkastelualueittain ja teknologiavalinnoista riippuen.

On huomioitava, että käyttöpaikkakohtaisen toimitusvarmuusjoustohyödyn yhteiskunnallinen realisoituminen edellyttää joustolta pitkäjänteisyyttä. Vain tällöin joustokohteet on mahdollista huomioida verkoston pitkän aikavälin kehittämisessä. Käytännössä tämä tarkoittaisi jouston

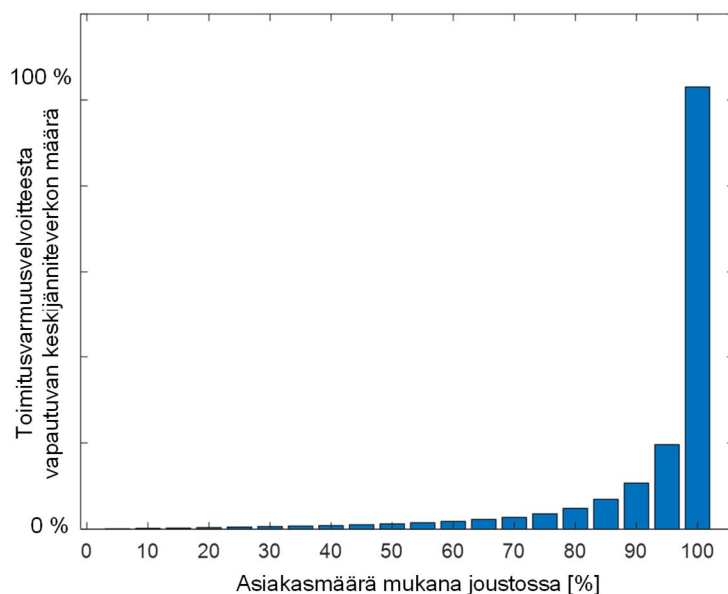
sitouttamista sähkökäyttöpaikkaan. Edellä esitetyissä tarkasteluissa on oletettu, että joustoon sitoutuminen on pitkäaikaista, yhtenäisen alueen näkökulmasta riittävän laajaa ja kattavaa ja näin vertailukelpoinen perinteisille verkkoinvestoinneille. Tämä on yksi useista sopimuksellisista ja lainsäädännöllisistä asioista, jotka on ratkaistava ennen mahdollista toimitusvarmuusjouston käyttöönottoa. On lisäksi huomioitava, että edellä esitetyt jouston euromääräiset arvot eivät suoraan kerro sitä, mikä kompensatio olisi joustoasiakkaille käytännössä jaettavissa.

3.5 Siirtohintavaikutukset

Keskeisin kysymys käyttöpaikkakohtaiseen toimitusvarmuuteen liittyen on, miten sähkökäyttäjien ja verkkoyhtiön välinen joustosopiminen voisi vaikuttaa verkon pitkän aikavälin kehittämisen kustannuksiin ja sitä kautta sähkön siirtohintaan. Joustosopiminen näkyy aiemmin esitettyjen periaatteiden mukaisesti sekä verkon jälleenhankinta-arvon (tasapoiston) että nykykäyttöarvon (sallitun tuoton ja verkon alaskirjausten) kehittämisessä ja tätä kautta verkkoyhtiön tuottopohjassa. Joustokohteita syöttävät riittävän laajat yhtenäiset verkko-osuudet voidaan jättää sopimisen myötä toimitusvarmuuslähtöisen saneerauksen ulkopuolelle, jolloin joustoalueen verkon jäljellä oleva pitoaika voidaan hyödyntää täysimääräisesti, kun komponentteja ei tarvitse vaihtaa kesken käyttöään. Jälleenhankinta-arvo kehittyy maltillisemmin joustoratkaisussa koska verkon saneerauksessa ei ole välttämätöntä tarvetta käyttää arvokkaampia kehittämistekniikoita. Tämä näkyy tasapoistojen maltillisempänä kehittymisenä.

Tutkimuksessa käytettävissä olleiden laajojen verkkoaineistojen pohjalta tehtyjen analyysien perusteella voidaan sanoa, että toimitusvarmuusjouston laaja-alainen vaikutus verkkotoiminnan kustannuksiin ja sitä kautta sähkön siirtohintaan on maltillinen. Laskelmien mukaan haja-asutusalueelle sijoittuvan jouston hyödyntämisen vaikutus siirtohintoihin olisi noin 1–4 % verkkoyhtiön teknologiavalinnoista riippuen. Nämä lukemat olisivat saavutettavissa tarkastelujakson loppupuolella ja vain silloin, kun kohteet valikoidaan verkon kehittämisen näkökulmasta kannattavimmista paikoista.

Tutkimuksessa on tarkasteltu myös sitä, mikä ero joustokohteiden verkkolähtöisellä valitsemisella on kohteiden sattumanvaraiseen valikoitumiseen verrattuna. Jälkimmäisessä vaihtoehdossa tarkoitetaan tilannetta, jossa sähkökäyttäjät valikoituvat joustoon riippumatta siitä, missä kohdassa verkkoa sähkökäyttöpaikka sijaitsee. Kuten aiemmin esitetyistä esimerkeistä on havaittavissa, yksittäisen sähkökäyttöpaikan joustosopimisen arvo riippuu voimakkaasti siitä, mihin kohtaan verkkoa käyttöpaikka kytkeytyy (verkkotopologia) ja perustuu siihen, että käyttöpaikat ovat mukana joustossa sopivina kokonaisuuksina, jolloin vaikutus verkkoon on mahdollisimman laaja-alainen. Sattumanvaraisessa valikoitumisessa tätä ei saavuteta vaan jouston vaikutus ei juurikaan näy verkossa elleivät kaikki asiakkaat ole siinä mukana. Kuvassa 3.13 on havainnollistettu sitä, miten sattumanvaraisesti valikoituvat asiakkaat kerryttävät jouston mahdollistamaa hyötyä keskijänniteverkosta.



Kuva 3.13 Jouston mahdollistama hyöty keskijänniteverkossa, mikäli asiakkaat valikoituisivat joustoon sattumanvaraisesti.

Kuvasta on havaittavissa, että lähes kaikkien asiakkaiden pitäisi sitoutua joustoon, ennen kuin jouston hyödyt olisivat realisoitavissa täysimääräisesti verkon kehittämisessä. Sattumanvaraisessa valikoitumisessa on todennäköistä, että alueelle jää asiakkaita, jotka eivät halua osallistua joustosopimukseen ja odottavat verkkoyhtiön huolehtivan toimitusvarmuudesta verkkoinvestoinneilla. Toimitusvarmuutta ei voida järjestää kustannustehokkaasti yksittäisille asiakkaille, vaan käytännössä koko alueen verkko on saneerattava samassa yhteydessä. Tällöin saneerauskustannuksissa ei juuri synny säästöä. Alueen joustoon sitoutuneille asiakkaille voisi muodostua vääristynyt tilanne, jossa asiakas saa toimitusvarman sähkönsiirron alueelle tehtävien verkostosaneerauksien myötä, mutta olisi samalla oikeutettu joustosopimuksen mukaiseen kompensatioon. Tämä tilanne ei mahdollistaisi verkkoyhtiölle kustannussäästöjä eikä jouston huomioimista siirtohinnassa. Mikäli asiakkaat valikoituisivat toimitusvarmuusjoustoon sattumanvaraisesti, olisi jouston arvo kohdennettua joustoa selvästi matalampi siirtohintavaikutuksen jäädessä 0,2–0,3 %:iin.

3.6 Johtopäätökset

Tehtyjen analyysien perusteella voidaan todeta, että käyttöpaikkakohtaisen toimitusvarmuusjouston arvo voi olla haja-asutusalueilla alueellisesti suuri. Jouston arvo rakentuu kuitenkin oletukselle, että kohteet pystytään valitsemaan verkon kehittämisen ja verkkoinvestointien näkökulmasta järkevistä paikoista. Vain tällöin joustolla voi olla vaikutusta verkon kustannuksiin ja sitä kautta siirtohintaan. Jotta jousto olisi hyödynnettävissä verkon kehittämisessä, on kyseisen verkonosan kaikkien asiakkaiden oltava mukana joustossa. Vähimmillään käyttöpaikkakohtainen sopiminen vaikuttaa vain asiakkaan liittymisjohtoon. Parhaimmassa tapauksessa asiakassopiminen näkyy keskijänniteverkon puolelle saakka, mikäli pienjänniteverkossa ei ole muita asiakkaita tai muuntopiirin kaikki asiakkaat ovat joustossa mukana. Harvaanasutuilla haja-asutusalueilla on hyvät lähtökohdat joustolle pitkien

haarajohtojen ja vähäisten asiakasmäärien puolesta. Tämä korostuu erityisesti alueilla, joissa väestömäärän muutos on laskeva ja liittymien irtisanomisen riski ilmeinen. Tällöin jousto voi mahdollistaa verkon saneerausajankohdan ja -tarpeen uudelleenarvioinnin ja mahdollisten hukkainvestointien välttämisen.

Jouston euromääräiseen arvoon vaikuttavat keskeisimmin tarkasteltavan verkon ikä, asennusympäristö sekä rakenne. Näiden lisäksi joustoarvon suuruuteen vaikuttaa myös se, mihin vaihtoehtoiseen verkon kehittämistapaan jousto verrataan. Vaihtoehtoisessa ratkaisussa nykyinen verkko saneerataan toimitusvarmuusvaatimukset täyttävälle tasolle. Joustoratkaisussa verkko eikä verkon arvo muutu, kun saneerausta toteutetaan vain ylläpitävin investoinnein. Mikäli toimitusvarmuutta tavoitellaan nykyverkkorakennetta arvokkaammilla ratkaisuilla, kasvaa jouston arvo selvästi. Jos taas verkon ja toimitusvarmuuden kehittämisessä suositaan jo alun perin yksikköhinnoiltaan edullisimpia ratkaisuja, jää jouston mahdollistama teknologiahyöty ja jouston arvo siten matalammaksi. Jouston arvo on korkeampi, mikäli joustolla mahdollistetaan olemassa olevan, vielä käyttöikä omaavan verkon käytön jatkamisen. Vaikka haja-asutusalueiden verkot ovat tyypillisesti ikääntyneitä, löytyy verkosta kohteita, joissa verkko on verrattain nuorta ja jousto voitaisiin soveltaa toimitusvarmuuden tavoittelussa.

Laskelmien mukaan haja-asutusalueelle sijoittuvan jouston hyödyntämisen vaikutus siirtohintoihin olisi noin 1–4 % verkkoyhtiön teknologiavalinnoista riippuen. On huomioitava, että raportissa esitetyissä laskelmissa käytetään Energiaviraston virallisia verkostokomponenttien yksikköhintoja. Mikäli todelliset investointihinnat poikkeavat näistä, muuttuu myös jouston laskennallinen arvo.

3.7 Joustopotentialin jalkauttaminen, haasteita

Joustavuuden hyödyntämiseen liittyy useita vielä ratkaisemattomia kysymyksiä. Seuraavassa on esitetty sekä sähkönkäyttäjän että sähköverkkoyhtiön näkökulmista keskeisiä kysymyksiä. Kohdat 5–11 ovat ensisijaisesti vain verkkoyhtiön näkökulmasta arvioitavia asioita.

Seuraavassa listassa avoimia ja osin haasteellisia kysymyksiä, joihin on määritettävä vastaukset ennen toimitusvarmuusjouston mahdollista käyttöönottoa.

1. **Sopimuksen kesto:** Miten pitkäksi aikaa asiakas voi tai asiakkaan pitää sitoutua joustoon? Lyhyt joustosopimus mahdollistaa asiakkaan näkökulmasta joustavamman tilanteen muutoksen, mikäli asiakkaan tarpeet sähkön toimituksen varmuuden muuttuvat. Pitkä joustosopimus mahdollistaa verkkoyhtiölle pitkäjänteisemmän verkon kehittämisen. Toistuvasti muuttuvat odotusarvot sähkön toimitukselle eivät mahdollista investointien järkevää ja kustannustehokasta suunnittelua ja toteutusta ja joustosopiminen ei tuo tällöin kustannussäästöjä.
2. **Sopimuksen laadulliset reunaehdot;** Mitkä ovat joustosopimuksen reunaehdot katkojen määriä (kpl) ja kestoja (min, h) koskien?

3. **Käyttöpaikan omistajuuden tai tarpeiden muuttuminen;** Miten asukkaan vaihtuminen käyttöpaikalla huomioidaan sopimuksessa, velvoittaako sopimus seuraavia asukkaita (kiinteistöön kohdistuva rasite)?
4. **Kompensaatio toimitusvarmuushaitasta tai -riskistä;** Miten joustoon sitoutuminen korvataan asiakkaalle; kiinteällä vuosikorvauksella vai häiriöperusteisesti?
5. **Joustokohteiden valinta;** Mikä vaikuttaa kohteiden valintaan?
 - a. Taloudellisuus (verkon arvo)
 - b. Sähkön käytön kriittisyys (asiakastyypin)
 - c. Toimitusvarmuustaso (kohteet suurhäiriöriskialueella)
 - d. Asiakkaiden pysyvyys (sähkön käytön jatkuvuus kohteessa)
6. **Joustokohteen koon määrittäminen;** Miten joustokohteet valitaan niin, että ne muodostavat riittävän suuren ja ehjän kokonaisuuden?
7. **Usean sähkönkäyttöpaikan kohteet;** Miten useamman käyttöpaikan kohteessa kaikki kohteen asiakkaat saadaan sitoutumaan joustosopimukseen?
8. **Joustosopimuksen käyttöönottoajankohta;** Milloin joustosopimus tulee voimaan, välittömästi vai vasta toimitusvarmuusmääräajan loppusuoralla?
9. **Verkon käyttötoiminta;** Miten joustosopimukseen liittyviä asiakkaita (ja verkko-osuuksia) käsitellään viankorjauksen aikana?
10. **Joustohyödyn jakaminen ja korvaustaso;** Mikä osuus jouston mahdollistamasta säästöstä jaetaan joustosopimuksen tehneille asiakkaille ja miten korvaustaso määräytyy?
11. **Vakiokorvaukset ja keskeytyskustannukset;** Miten joustoasiakkaiden vakiokorvaukset ja KAH-kustannukset määritetään?

Lähteet:

Avoimien aineistojen tiedostopalvelu (Maastotietokanta), Maanmittauslaitos (MML 2020),
<https://tiedostopalvelu.maanmittauslaitos.fi/tp/kartta>

Ladattavat paikkatietoaineistot, Suomen Ympäristökeskus (SYKE 2020), https://www.syke.fi/fi-FI/Avoin_tieto/Paikkatietoaineistot/Ladattavat_paikkatietoaineistot

Maaseudun verkkoliittymäsopimusten asiakaslähtöiseen irtisanomiseen vaikuttavat tekijät pientalo- ja vapaa-ajan asuntokohteissa, A. Perosvuo (Perosvuo 2020), <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2020051838119>

Nimeä 4.0 Kansainvälinen, Creative Commons (CC BY 4.0),
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.fi>

Paikkatietoaineistot, Tilastokeskus (STAT 2020),
<https://www.stat.fi/org/avoindata/paikkatietoaineistot.html>

Interrface -tutkimushankkeen webinaari 3.6.2020 (TEM, Hautakangas)
<http://www.interrface.eu/events/interrface-webinar-finnish-stakeholders-rewatch-webinar>

Sähköasiakas ja sähköverkko 2030 -tutkimushankkeen loppuraportti, J. Lassila, J. Haakana, J. Haapaniemi, O. Räisänen, J. Partanen (Sähköasiakas ja sähköverkko 2030)
<https://www.lut.fi/school-of-energy-systems/tutkimusryhmat/sahkomarkkinat/tutkimus/haja-asutusalueen-sahkoasiakas-ja-sahkoverkko-2030>

Tilastolliset menetelmät, I. Mellin (Mellin 2006),
<https://math.aalto.fi/opetus/sovtoda/oppikirja/Regranal.pdf>

Ruututietokanta 2018 - tietosisältö

Asukasrakenne (HE) 31.12.2017

Asukkaat yhteensä (2017)
Naiset
Miehet
Asukkaiden keski-ikä
0–2-vuotiaat
3–6-vuotiaat
7–12-vuotiaat
13–15-vuotiaat
16–17-vuotiaat
18–19-vuotiaat
20–24-vuotiaat
25–29-vuotiaat
30–34-vuotiaat
35–39-vuotiaat
40–44-vuotiaat
jne. 5-vuotis ikäryhmittäin
80–84-vuotiaat
85-vuotiaat –

Talouksien käytettävissä olevat rahatulot (TR) 31.12.2016

Taloudet yhteensä (2016)
Talouksien keskitulot
Talouksien mediaanitulot
Alimpaan tuloluokkaan kuuluvat taloudet
Keskimmäiseen tuloluokkaan kuuluvat taloudet
Ylimpään tuloluokkaan kuuluvat taloudet
Talouksien ostovoimakertymä

Rakennukset ja asuminen (RA) 31.12.2017

Kesämökki yhteensä (2017)
Rakennukset yhteensä (2017)
Muut rakennukset
Asuinrakennukset
Asunnot
Asuntojen keskipinta-ala
Pientaloasunnot
Kerrostaloasunnot

Asukkaiden koulutusaste (KO) 31.12.2017

18 vuotta täyttäneet yhteensä (2017)
Perusasteen suorittaneet
Koulutetut
Ylioppilastutkinnon suorittaneet
Ammatillisen tutkinnon suorittaneet
Alemman korkeakoulututkinnon suorittaneet
Ylemmän korkeakoulututkinnon suorittaneet

Työpaikat toimialoittain (TP) 31.12.2016

Työpaikat yhteensä (2016)
Alkutuotanto
Jalostus
Palvelut
A Maatalous, metsätalous ja kalatalous
B Kaivostoiminta ja louhinta
C Teollisuus
D Sähkö-, kaasu- ja lämpöhuolto, jäähdytysliiketoiminta
E Vesihuolto, viemäri- ja jätevesihuolto ja muu ...
F Rakentaminen
G Tukku- ja vähittäiskauppa; moottoriajoneuvojen ja ...
H Kuljetus ja varastointi
I Majoitus- ja ravitsemistoiminta
J Informaatio ja viestintä
K Rahoitus- ja vakuutus toiminta
L Kiinteistöalan toiminta
M Ammatillinen, tieteellinen ja tekninen toiminta
N Hallinto- ja tukipalvelutoiminta
O Julkinen hallinto ja maanpuolustus; pakollinen ...
P Koulutus
Q Terveys- ja sosiaalipalvelut
R Taiteet, viihde ja virkistys
S Muu palvelutoiminta
T Kotitalouksien toiminta työnantajina; kotitalouksien ...
U Kansainvälisten organisaatioiden ja toimielinten toiminta
X Toimiala tuntematon

Asukkaiden käytettävissä olevat rahatulot (HR) 31.12.2016

18 vuotta täyttäneet yhteensä (2016)
Asukkaiden keskitulot
Asukkaiden mediaanitulot
Alimpaan tuloluokkaan kuuluvat asukkaat
Keskimmäiseen tuloluokkaan kuuluvat asukkaat
Ylimpään tuloluokkaan kuuluvat asukkaat
Asukkaiden ostovoimakertymä

Talouksien koko ja elämänvaihe (TE) 31.12.2017

Taloudet yhteensä (2017)
Talouksien keskikoko
Asumisväljyys
Yksinasuvien nuorten taloudet (-34 v.)
Lapsettomat nuorten parien taloudet (-34 v.)
Lapsitaloudet (0-17 v. lapsia)
Pienten lasten taloudet (alle 3 v. lapsia)
Alle kouluikäisten lasten taloudet (alle 7 v. lapsia)
Kouluikäisten lasten taloudet (7-12 v. lapsia)
Teini-ikäisten taloudet (13-17 v.)
Aikuisten taloudet (18-64 v.)
Eläkeläisten taloudet (65 v. -)
Omistusasunnoissa asuvat taloudet
Vuokra-asunnoissa asuvat taloudet
Muissa asunnoissa asuvat taloudet

Asukkaiden pääasiallinen toiminta (PT) 31.12.2016

Asukkaat yhteensä (2016)
Työlliset
Työttömät
Lapset 0-14-vuotiaat
Opiskelijat
Eläkeläiset
Muut (työvoiman ulkopuolella olevat)

Tilastokeskus pidättää oikeudet muutoksiin

