



LAND OF THE CURIOUS



 12.10.2022

ENERGIAMURROS JA SÄHKÖALAN MUUTOKSET



Jouni Haapaniemi

Tutkijatohtori | Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT

Jouni.haapaniemi@lut.fi



HENKILÖESITTELY

- » Opiskelu Lappeenrannan teknillisellä yliopistolla 2010-2014
- » Diplomityö Mäntsälän sähkölle 2014 aiheesta: "Siirtohinnoittelun kehittäminen etäluettavilta mittareilta saatavan datan avulla sähkönjakeluyhtiö Mäntsälän Sähkö Oy:lle"
- » Nuorempi tutkija LUT:lla 2015-2022
 - Tutkimushankkeita:
 - Jakeluverkon tariffirakenteen kehitysmahdollisuudet ja vaikutukset 2016-2017
 - Sähköasiakas ja sähköverkko 2030, 2017-2019
 - Joustava ja toimintavarma sähkönjakeluverkko, 2019-2022
 - Laaja-alaisen aurinkosähkön yleistymisen huomioivat sähköverkon mitoitusperiaatteet 2021-2022
 - Opetusvastuut:
 - Sähköiset piirit (laskuharjoitukset), 2015-
 - Sähkönsiirtotekniikka (laskuharjoitukset), 2017-2022.
 - Laboratory Course in Electrical Power Engineering, 2020-
- » Väitöskirja 2/2022: "Power-based electricity distribution tariffs providing an incentive to enhance the capacity effectiveness of electricity distribution grids"
- » Tutkijatohtori LUT-yliopistolla 2022-



ESITYKSEN SISÄLTÖ

- » Lyhyesti LUT-yliopiston energiapuolen tutkimuksesta ja sähkömarkkinalaboratoriosta
- » Energiamurros ja sähköalan muutokset
- » Tutkimushankkeiden tuloksia

LUT CAMPUS AREA AT LAPPEENRANTA



LUT LUKUINA 2021

1969 perustettu 1969 – alusta asti
tekniikka ja talous yhdessä

6300 perus- ja jatkotutkinto
-opiskelijaa

1 027 tieteellistä julkaisua (2021)

400 tohtorikoulutettavaa

101 M€ rahoitus 101 M€: opetus- ja kulttuuriministeriö 54,5 M€
täydentävä rahoitus 46,5 M€ (2020)

1 089 henkilökunnan jäsentä (2021)

94 eri kansallisuutta kampuksilla

1/3 uusista opiskelijoista ulkomaisia

LUT ELECTRICAL ENGINEERING

- Smart Grids and Evolving Energy Markets
- Electric Energy Conversion
- Industrial Electronics
- Solar Economy

LAB. OF ELECTRICITY MARKETS & POWER SYSTEMS



LABORATORY OF ELECTRICITY MARKET AND POWER SYSTEMS – RESEARCH STAFF 2022



Prof. Samuli Honkapuro



Prof. Jukka Lassila



Prof. Jamshid Aghaei



Dr. Salla Annala



Dr. Gonçalo Mendes



Dr. Mousa Afrasiabi



Leticia Tomas Fillol



Araavind Sridhar



Dr. Nadezda Belonogova



Dr. Juha Haakana



Ville Tikka



Dr. Jouni Haapaniemi



Dr. Janne Karppanen



Dr. Aleksei Romanenko



Henock Dibaba



Dr. Antti Pinomaa



Dr. Aleksi Mattsson



Otto Räisänen



Ville Sihvonen

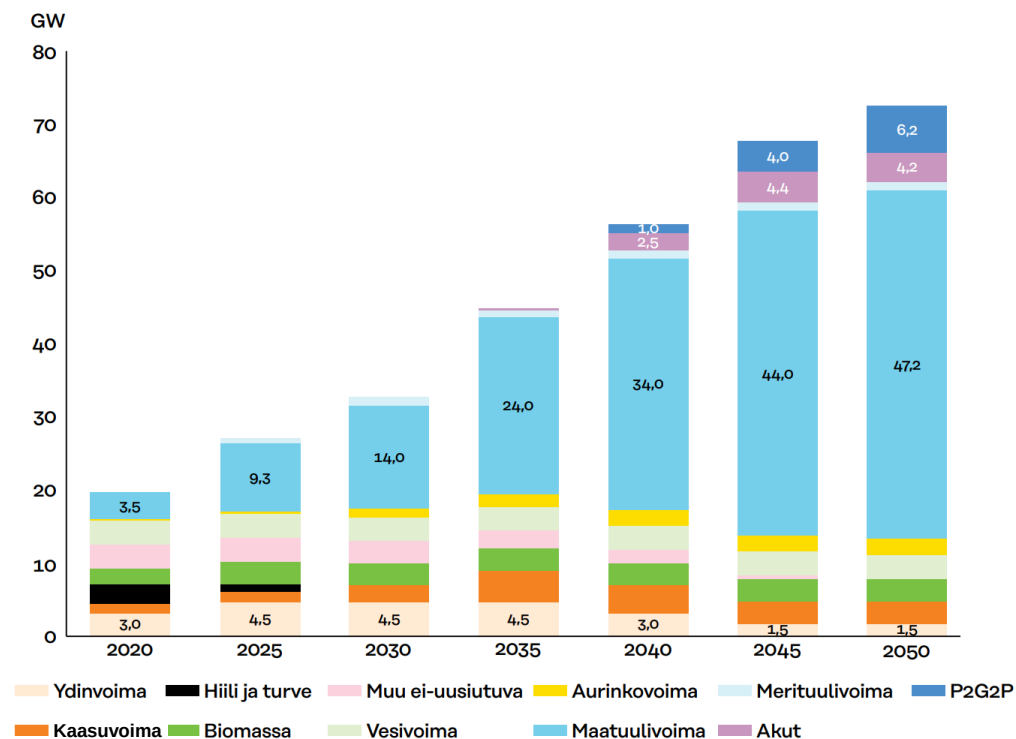


ENERGIAMURROS

- » Suomen ilmastotavoitteet: **Hiilineutraali 2035** ja päästötön pian sen jälkeen.
- » Pääasiallisena keinona päästöjen vähentämiseen on **fossiilisten polttoaineiden korvaaminen** eri sektoreilla: sähkön ja lämmön tuotannossa, liikenteessä ja teollisuudessa.
- » Energiatehokkain ratkaisu on **suora sähköistäminen** – Esimerkiksi lämpöpumput kiinteistöissä, kaukolämpöverkoissa, ja sähköautot
- » Aina ei mahdollista ja vaaditaan **epäsuoraa sähköistämistä**, eli esimerkiksi sähköllä tuotettua vetyä tai synteettisiä polttoaineita (P2X) – Meri- ja lentoliikenne, teräs- ja kemiateollisuus.
- » Johtaa valtavaan **sähköenergian tarpeen kasvuun** – Sähkönkysynnän voidaan odottaa jopa kaksinkertaistuvan vuoteen 2050 mennessä.

TULEVAISUUDEN SÄHKÖNTUOTANTO

- » Kasvanut sähkönkysyntä vaatii merkittävän määrän uutta edullista hiilineutraalia tuotantokapasiteettia.
- » Maatuulivoimalla selvästi edullisin tuotantokustannus.
- » Aurinkovoimalle on Suomessa hyvät mahdollisuudet, etenkin kun tuotanto tulee kuluttajan omaan käyttöön.
- » Hiili- ja turvetuotanto loppuu jo ennen 2030.
- » Kaasuvoimakapasiteetti tärkeää täydentämään tuulituotannon vaihtelua. Polttoaineena pääasiassa biokaasu ja synteettiset polttoaineet.



Ennuste sähköntuotantokapasiteetista vuoteen 2050 asti.
Lähde: Sitra (2021), Enabling cost-efficient electrification in Finland.

ENERGIAVERKOT

» Sähkönjakeluverkot

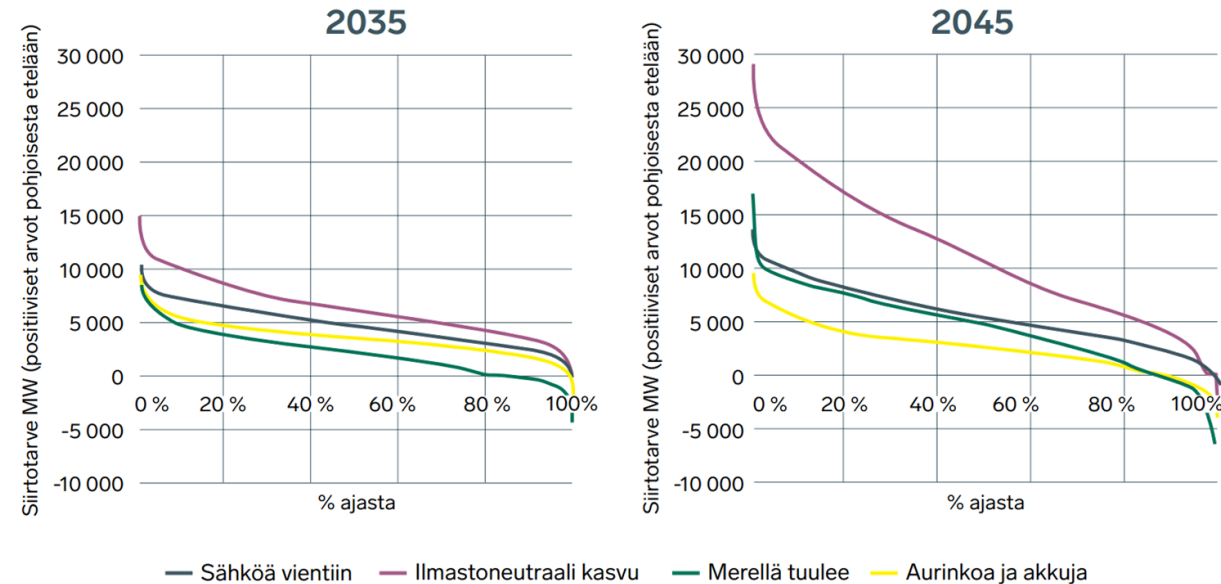
- » Sähköautojen lataus ja pientuotannon lisääntyminen.
- » Sähköautojen latauksen ohjauksella merkittävä rooli vähentämään verkkojen investointitarvetta.

» Sähkönsiirtoverkot

- » Kasvavan kysynnän ja tuotannon takia tarve uudelle siirtokapasiteetille kasvaa erittäin nopeasti – Haasteena etenkin 400 kV siirtoyhteyksien pitkät luvitus- ja rakennusajat.

» Kaasu- ja vetyverkot

- » Tulevaisuudessa etenkin teollisuudessa suuri tarve vedylle – Tarvitaan uutta infrastruktuuria siirtoon ja varastointiin.



Siirtotarve Keski-Suomen poikkileikkauksessa (P1) Fingridin eri skenaarioissa vuosille 2035 ja 2045. **Siirtotarve vuonna 2019 oli 2 500 MW.** Lähde: Fingrid (2021), Verkkovisio.

» Kaukolämpöverkko

- » Voimakas sähköistyminen etenkin suurilla lämpöpumpuilla ja teollisuuden hukkalämmön parempi hyödyntäminen.
- » Matalampi lämpöverkon lämpötila (alle 100 °C) – Parempi hyötysuhde.



JOUSTORESURSSIT

- » Vaihtelevan uusiutuvan energian (tuuli- ja aurinkovoima) osuuden kasvaessa, nousee tarve uusille **joustoresursseille**.
- » Tuotantoa ei voida ohjata samalla tavalla, kuin ennen, joten muun muassa kulutuspuolelle tarvitaan paljon uusia ratkaisuja.
- » **Älykkäät kuormanohjaukset ja kysyntäjousto** – Kodin kuormien ohjaaminen, kuten lämminvesivaraaja tai sähköauton lataus.
- » **Varastoratkaisut** – Akuilla tärkeä rooli sähkövoimajärjestelmän päivänsisäisessä tasapainottamisessa – Synteettisillä polttoaineilla tasataan kausivaihtelua.



TUTKIMUSHANKKEISTA

- Sähköasiakas ja sähköverkko 2030
- Joustava ja toimintavarma sähkönjakeluverkko
- Laaja-alaisen aurinkosähkön yleistymisen huomioivat sähköverkon mitoitusperiaatteet



SÄHKÖASIAKAS JA SÄHKÖVERKKO 2030

- Monivuotisen hankkeen vetovastuussa on ollut LUT-yliopisto ja hanke on toteutettu tiiviissä yhteistyössä Järvi-Suomen Energia Oy:n, Kymenlaakson Sähköverkko Oy:n, PKS Sähkönsiirto Oy:n ja Savon Voima Verkko Oy:n kanssa vuosien 2017 ja 2018 aikana.
- Tutkimuskysymyksiä:
 - Miltä pienasiakkaan sähköntarve (energia ja teho) näyttää vuonna 2030 – luopuvatko asiakkaat verkkoliittymistä?
 - Miten sähköautojen ja aurinkosähkövoimaloiden lisääntyminen näkyy sähkönjakeluverkossa?
 - Millä verkkoratkaisuilla vastataan tulevaisuuden kuormitusmuutoksiin sekä samalla sähkömarkkinalain edellyttämiin toimitusvarmuusvaatimukseen kustannustehokkaasti?

Sähköasiakas ja sähköverkko 2030

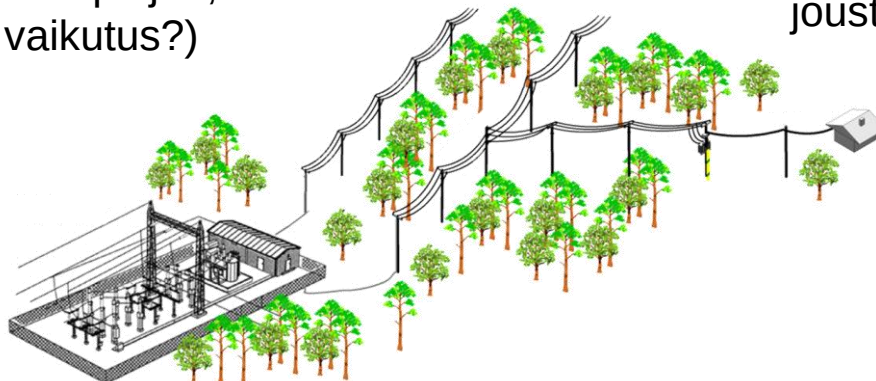
SÄHKÖNJAKELU JA MUUTOSTEKIJÄT

Pientuotanto

Vaikuttaako verkon suunnitteluun ja käyttöön?
(millä aikataululla, mihin, miten suuria, miten suuri
tuotannon omakäyttö, joustavuus, mikä vaikutus?)

Verkon ikä, kunto ja toimitusvarmuus

Edellyttääkö investointeja?
(milloin, mihin, miten paljon, millä
tekniikalla, mikä vaikutus?)



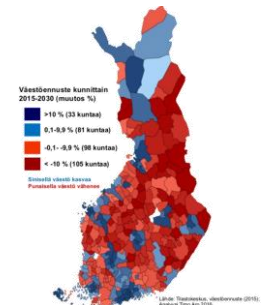
Sähköautoilu

Vaikuttaako verkon suunnitteluun ja
käyttöön?
(millä aikataululla, mihin, latausten
ajoittuminen ja energiatarve,
joustavuus, mikä vaikutus?)



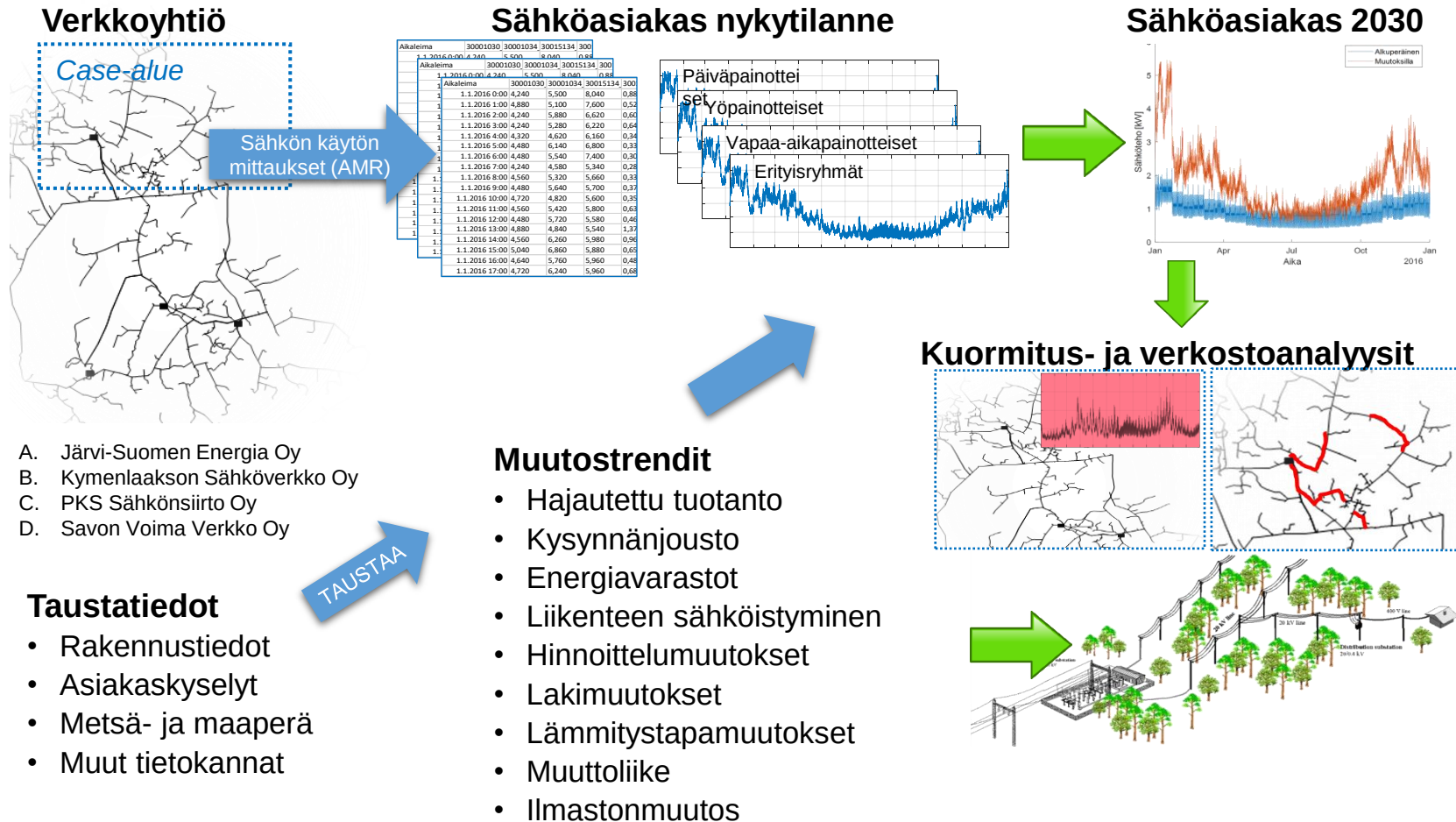
Muuttoliike ja liittymät

Voidaanko huomioida verkon
suunnittelussa?
(millä aikataululla, mistä ja mihin,
mikä vaikutus?)



Sähköasiakas ja sähköverkko 2030

ANALYSOINTIPROSESSI



Sähköasiakas ja sähköverkko 2030

TARKASTELUALUEET

	Käyttö- paikat	Muuntajat		Verkko [km]			Pj [km/as.]*	Huippu- teho [MW]	Vuosi- energia [GWh]	Asiakkaan huipputeho [kW/as.]	Asiakkaan vuosienergia [MWh/as.]*
		[kpl]	[as./m.]	Kj	Pj	pj/kj*					
Case A	1 995	258	8	335	548	164 % (209 %)	275 (177)	4,1	11,2	5,8	5,6 (9,0)
Case B	4 026	386	10	431	606	141 % (167 %)	151 (79)	14,6	49,5	8,3	12,3 (11,2)
Case C	1 988	391	5	562	449	80 % (124 %)	226 (139)	5,1	16,3	6,7	8,2 (10,6)
Case D	2 799	276	10	333	470	141 % (121 %)	168 (123)	11,6	31,6	8,6	11,3 (12,5)

Case A, vapaa-ajanasuntopainotteinen alue

Suurin osa (85%) sähkönkäyttöpaikoista vapaa-ajan asuntoja

Case B, maatalouspainotteinen alue

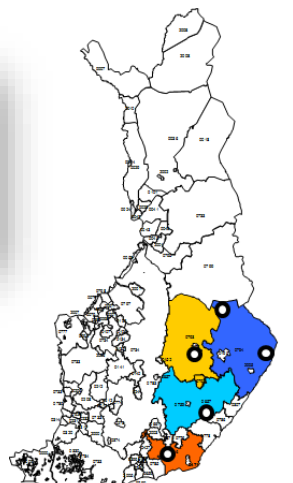
Alueella merkittävä osuus maatiloja (30%) ja kotitalouksia (60%).

Case C, harvaan asuttu haja-asutusalue

Etäisyydet sähkönkäyttöpaikkojen kesken ovat pitkiä ja asuintiheys on matala. Sähkönkäyttöpaikat muodostuvat kotitalouksista (50 %), vapaa-ajan asunnoista (30 %) ja maatiloista (10 %).

Case D, kyläpainotteinen alue

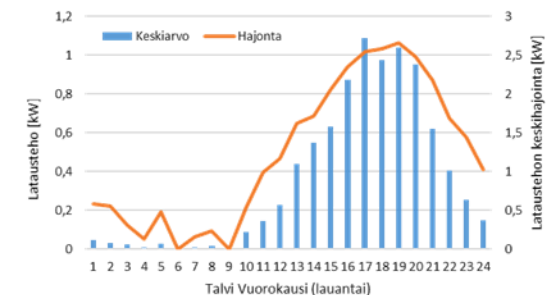
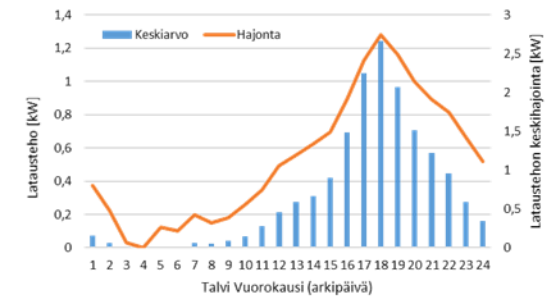
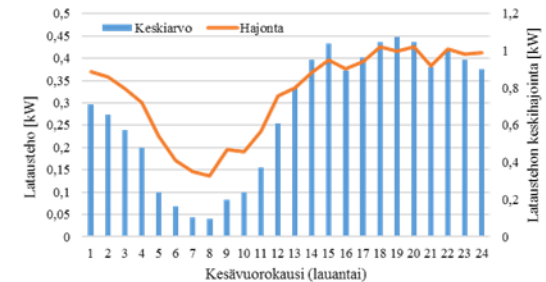
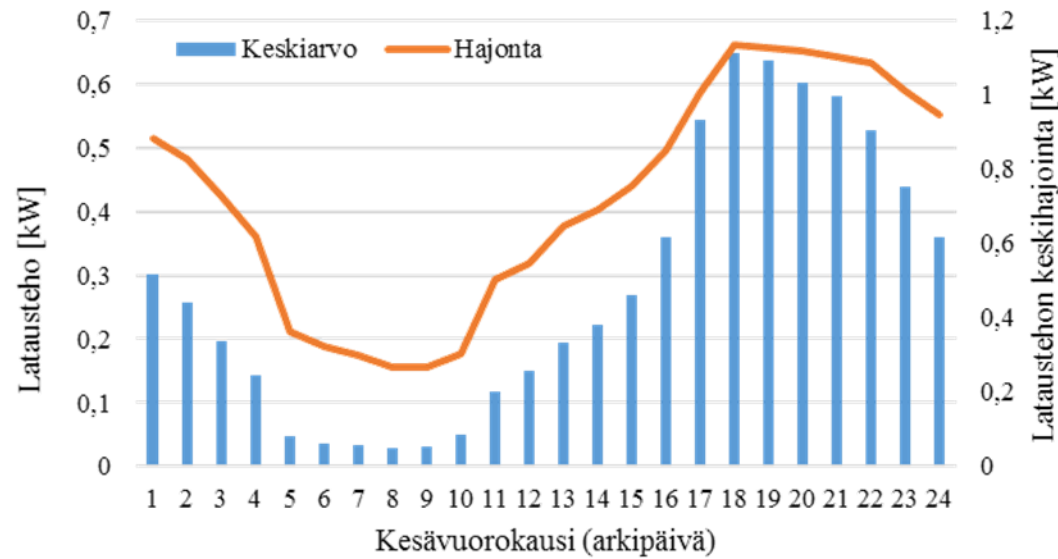
Kasvukeskuksen läheisyydessä sijaitseva alue sisältäen joitakin kyläkeskittymiä. Sähkönkäyttöpaikat muodostuvat kotitalouksista (60 %), vapaa-ajan asunnoista (30 %) ja maatiloista (10 %).



Sähköasiakas ja sähköverkko 2030

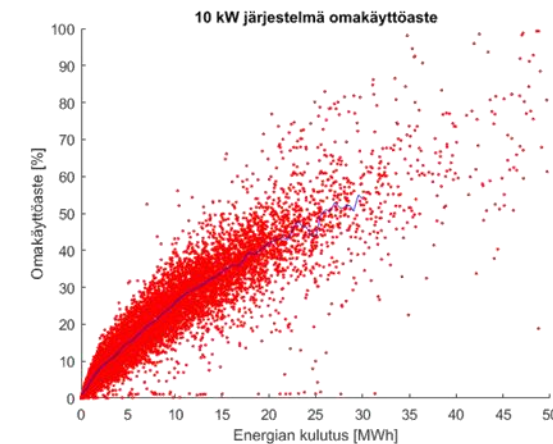
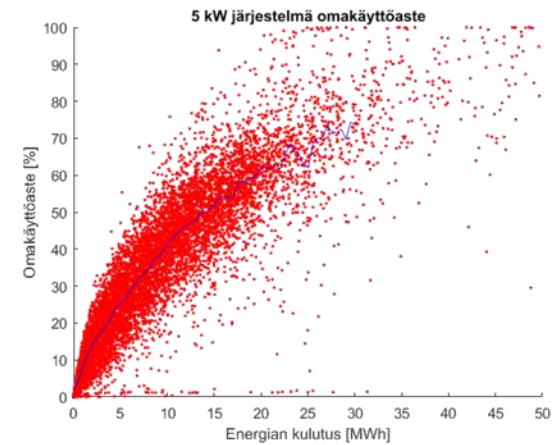
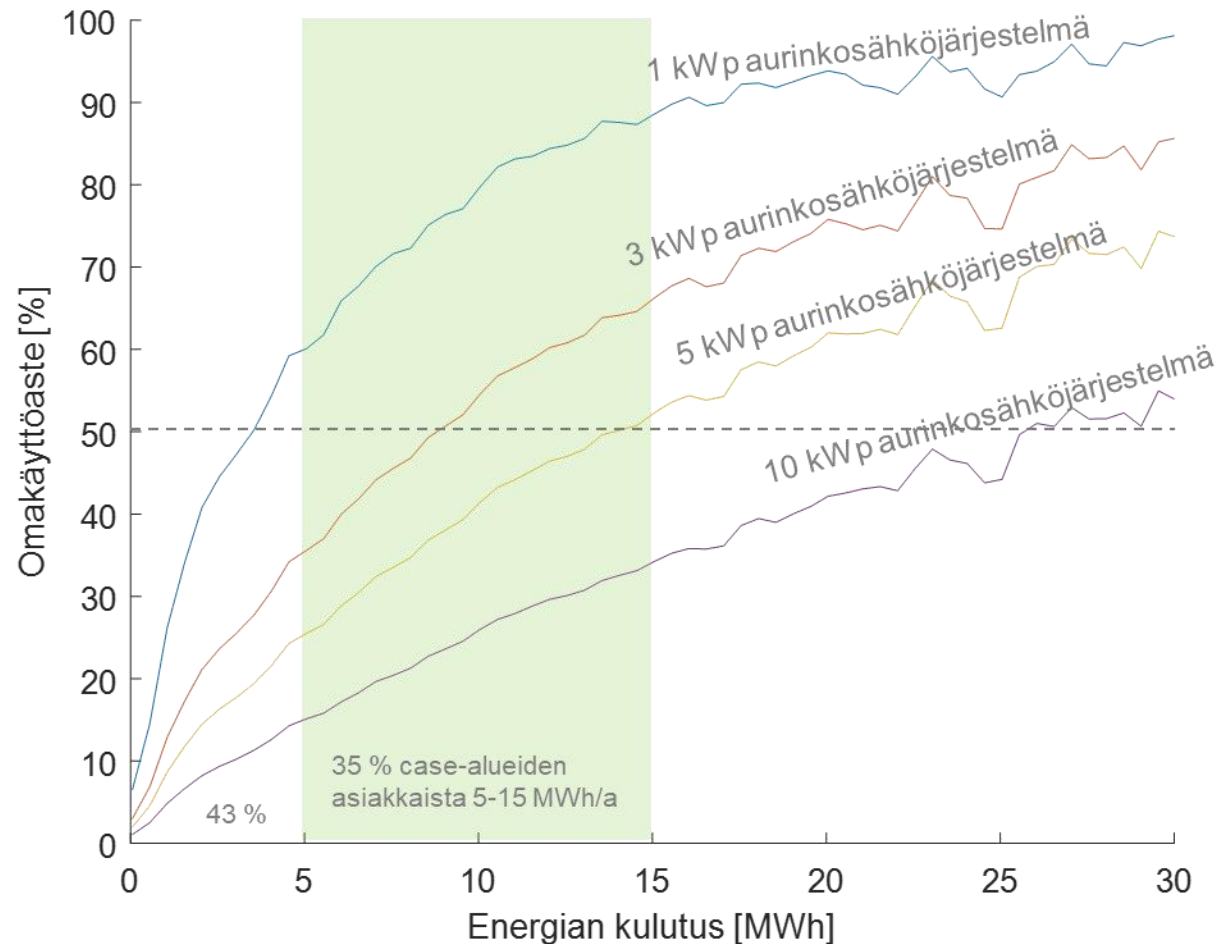
SÄHKÖAUTOT, KUORMITUKSEN MALLINTAMINEN

Esimerkki kesäajan arkipäivän latauskäyrästä



Sähköasiakas ja sähköverkko 2030

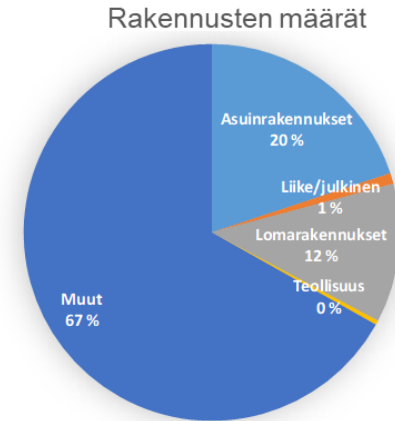
AURINKOSÄHKÖ, TUOTANNON OMAKÄYTTÖASTE



Sähköasiakas ja sähköverkko 2030

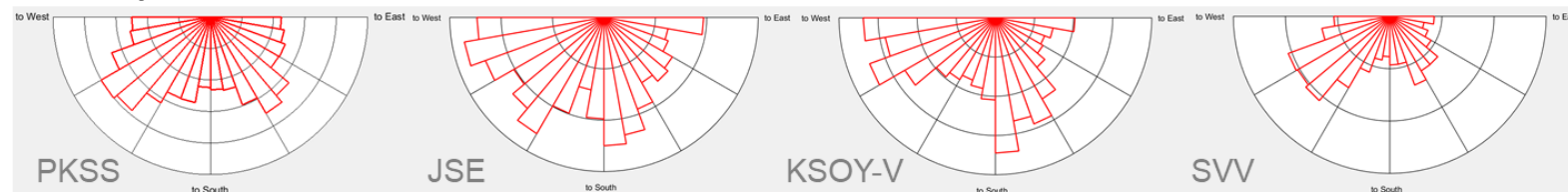
AURINKOSÄHKÖPOTENTIAALI

Tunnusluvut (EV)	PKSS	JSE	KSOY-V	SVV
Huipputeho, MW	263	258	270	434
Energian siirto, pj, GWh	879	857	1076	1378
Energian siirto, kj, GWh	84	223	155	199



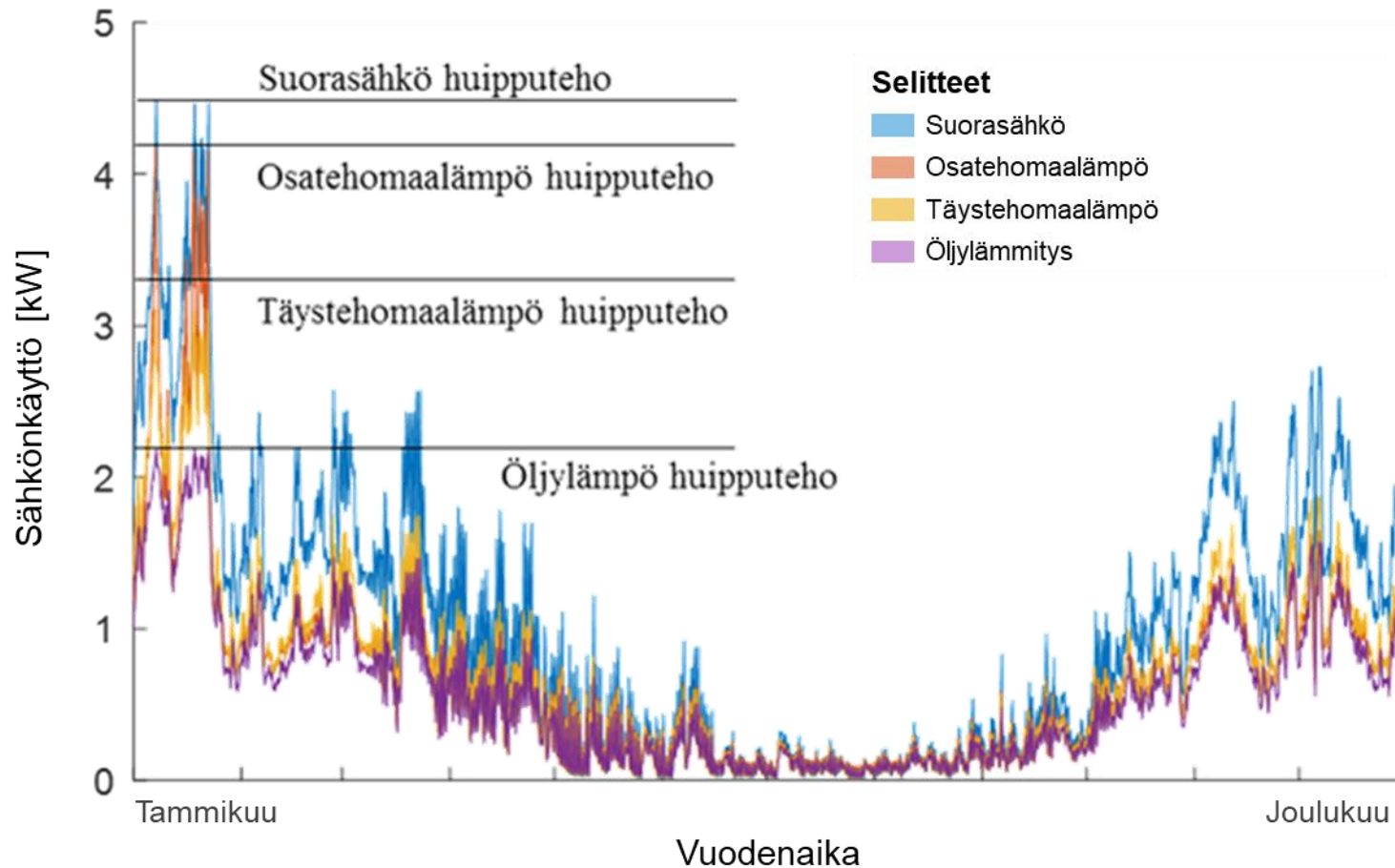
Rakennusluokka	Rakennusten määrä (kpl)				Rakennusten pinta-ala (km ²)				Teoreettinen potentiaali, S _n (MVA)			
	PKS	JSE	KSOY-V	SVV	PKS	JSE	KSOY-V	SVV	PKS	JSE	KSOY-V	SVV
Asuinrakennukset	52 076	46 645	49 274	66 417	7,7	7,2	8,2	10,9	385	359	411	545
Liike/julkinen	2 282	2 226	2 627	3 001	1,3	1,2	1,6	2,1	64	58	78	107
Lomarakennukset	26 532	53 253	18 092	30 590	1,8	3,7	1,3	2,2	90	187	65	111
Teollisuus	852	728	1 325	1 114	1,0	0,8	1,8	1,7	50	41	92	83
Muut	179 121	215 816	117 594	207 928	13,9	15,5	12,7	17,7	695	774	634	888
Yhteensä	260 863	318 668	188 912	309 050	25,7	28,4	25,6	34,7	1 284	1 417	1 279	1 734

Rakennusjakauma ilmansuunnittain



Sähköasiakas ja sähköverkko 2030

LÄMMITYSJÄRJESTELMÄT



Osatehomitoitetun maalämpöjärjestelmän huipputeho muistuttaa suorasähkölämmitystä. Muutoin tehot ovat lähellä täystehomitoitettua maalämpöjärjestelmää.

Sähköasiakas ja sähköverkko 2030

KYSYNTÄENNUSTE 2030

Tarkastelualueita koskevat tulokset

BAU

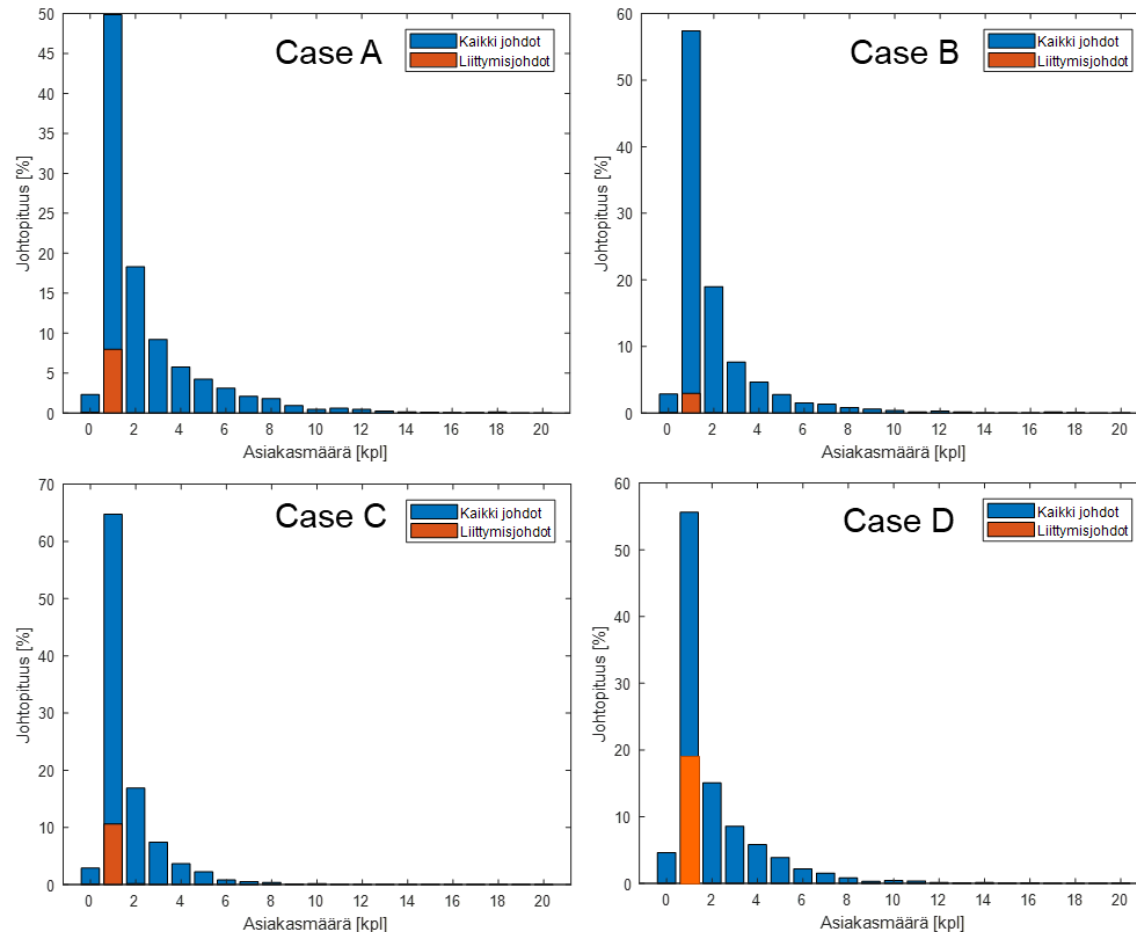
	Case A	Case B	Case C	Case D	Case A	Case B	Case C	Case D
Vuosienergia ja nykyinen huipputeho	12,9	56,1	18,2	36,7	3,6	14,3	5,0	10,4
	GWh	GWh	GWh	GWh	MW	MW	MW	MW
Muutostekijä (ja penetraatio)	Muutos energiassa v. 2030 [%]				Muutos huipputehossa v. 2030 [%]			
Aurinkosähkö (8 %)	-4,9	-2,3	-3,5	-2,4	0	0	0	0
Lämpöpumput (2–9 %)	-4,0	-1,8	-3,1	-2,7	-2,4	-0,6	-0,9	-0,8
Sähköautot (7 %)	+2,9	+1,4	+2,1	+1,5	+7,4	+3,4	+5,6	+1,0
Muutosten yhteisvaikutus	-6,0	-2,7	-4,5	-3,6	+5,5	+2,7	+4,9	+0,2

+++

Muutostekijä (ja penetraatio)	Muutos energiassa v. 2030 [%]				Muutos huipputehossa v. 2030 [%]			
Aurinkosähkö (35 %)	-21,7	-10,0	-15,3	-10,7	0	0	0	0
Lämpöpumput (4–18 %)	-4,7	-2,7	-3,8	-3,8	-2,0	-1,2	-1,3	-2,3
Sähköautot (30 %)	+12,5	+5,9	+8,9	+6,2	+21,6	+10,4	+14,7	+3,8
Muutosten yhteisvaikutus	-13,8	-6,9	-10,2	-8,2	+21,4	+9,2	+14,1	+1,7

Sähköasiakas ja sähköverkko 2030

VERKON RAKENNE, PJ-VERKKO



Merkittävä osa jakeluverkko-omaisuudesta yhden käyttöpaikan pj-johtoja: selvitettävä näiden johto-osuuksien asiakkaiden

- tulevaisuuden näkymät,
- johto-osuuksien iät,
- jännitejännitteet ja
- suurihäiriövarmuus (rakenne ja sijainti)

Sähköasiakas ja sähköverkko 2030

VERKKOVAIKUTUKSET, MITOITUSPERIAATTEET

	Sähköautot	Pientuotanto	Lämpöpumput	Väestömuutos	Siirtohinnoittelu
P (kW) Liittymä	Nykyinen liittymäkaista riittää, kun asiakas valitsee latauslaitteiston ja –ajankohdan muun kuormituksen huomioiden	Nykyinen liittymäkaista riittää, kun asiakas huomioi sen laitteistokoon valinnassa	Nykyinen liittymäkaista riittää, kun asiakas huomioi sen laitteistokoon ja -tyypin valinnassa	Merkittävä osa pj-verkoista (50–60 % case-alueella) syöttää vain yhtä asiakasta. Saneerauksen yhteydessä selvitettävä, voidaanko mahdollinen sähkönkäytön hiipuminen huomioida saneerauksessa	Luo kannusteen asiakkaalle välttää oman huipputehon kasvua (esimerkiksi sähköautojen lataustehon optimointi tai aurinkosähköjärjestelmän mitoitus)
	U (V, %)	Jännitejälkyisyys (minimi oikosulkuvirta) varmistettava latauslaitteisto huomioiden	Jännitejälkyisyys (minimi oikosulkuvirta) varmistettava laitteisto huomioiden		
PJ-verkko	Arvioitava latausten kerrostuminen nykyisen huippukuorman päälle. Johdoista 50–65 % on sellaisia, jotka syöttävät useampaa kuin yhtä asiakasta.	Arvioitava asennuspotentiaali ja huipputuotantotehot eri johto-osuuksilla.			Arvioitava pitkän aikavälin vaikutukset (voidaanko huomioida kapasiteetin mitoituksessa).
Jakelu-muuntaja	Arvioitava latausten kerrostuminen nykyisen huippukuorman päälle. Vahvimmassa skenaariossa (+++) 20–30 % muuntajista ylikuormassa.	Arvioitava tuotannon kerrostuminen pienellä kuormituksella (+++)			
KJ-verkko	Arvioitava latausten kerrostuminen nykyisen huippukuorman päälle. Vahvimmassa skenaariossa (+++) huipputehot kasvavat keskimäärin 10–20 %.*	Arvioitava tuotannon kerrostuminen pienellä kuormituksella (+++)	Ei vaikutusta	Ei vaikutusta	Ei vaikutusta
Pää-muuntaja	Arvioitava latausten kerrostuminen nykyisen huippukuorman päälle. Vahvimmassa skenaariossa (+++) huipputehot kasvavat noin 10-15 %.*	Arvioitava tuotannon kerrostuminen pienellä kuormituksella (+++)	Ei vaikutusta	Ei vaikutusta	Ei vaikutusta

* Huomioitava esimerkiksi sähköasemien korvaustarkasteluissa (varmistettava riittävät siirto- ja päämuuntokapasiteetit korvaustilanteissa)



JOUSTAVA JA TOIMINTAVARMA SÄHKÖNJAKELUVERKKO

- Hankekokonaisuus on jatkoa vuosina 2017-2018 olleeseen Haja-asutusalueen sähköasiakas ja sähköverkko 2030 -tutkimushankkeeseen.
- **Hankekokonaisuuden pääpaino on:**
 - joustoresurssien ja siihen vaikuttavien tekijöiden kartoituksessa sekä jouston merkityksen määrittämisessä
 - toimitusvarmuuden tavoitteluun tähtäävien verkkoinvestointien tarkastelussa verkon tehokkaan operoinnin näkökulmasta
 - joustavan verkon käyttötoiminnan vaikuttamismahdollisuudet verkon saneerausratkaisuihin, sekä
 - verkkoliiketoiminnan muuttuvassa sääntelyssä sekä keskeisimpien tunnistettujen muutostekijöiden vaikutusten kokonaisvaltaisessa arvioinnissa.

Joustava ja toimintavarma sähkönjakeluverkko

HANKEKOKONAISUUS



JOUSTORESURSSIT OSANA
VERKOSTON KEHITTÄMISTÄ



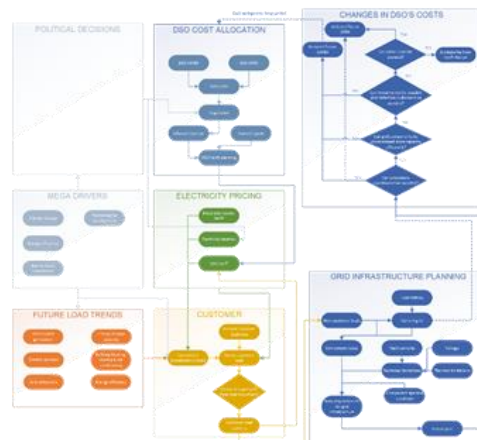
Sähköautot



Aurinkosähkö



VERKON KÄYTTÖTOIMINTA



TEHOHINNOITTELU
SÄHKÖNJAKELUTOIMINNASSA



Akkuvarastot



Lämmitys ja
jäähdytys



Asiakaskato

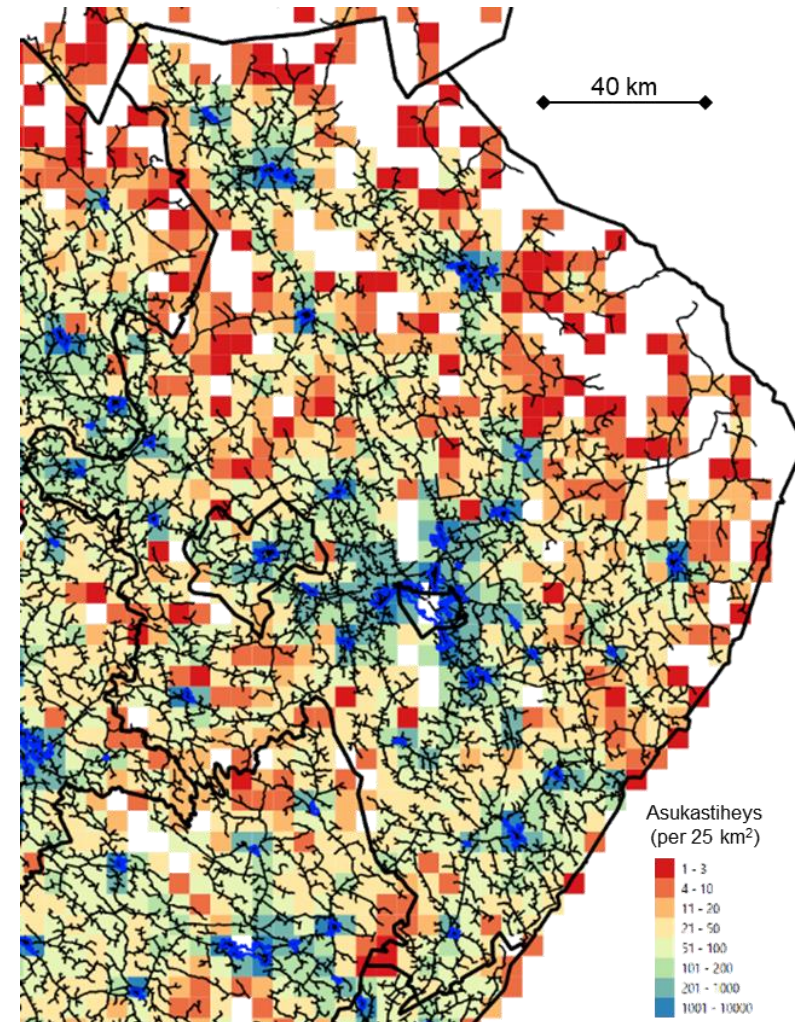


MUUTTUVAN SÄÄNTELYN
VAIKUTUKSET

Joustava ja toimintavarma sähköjakeluverkko

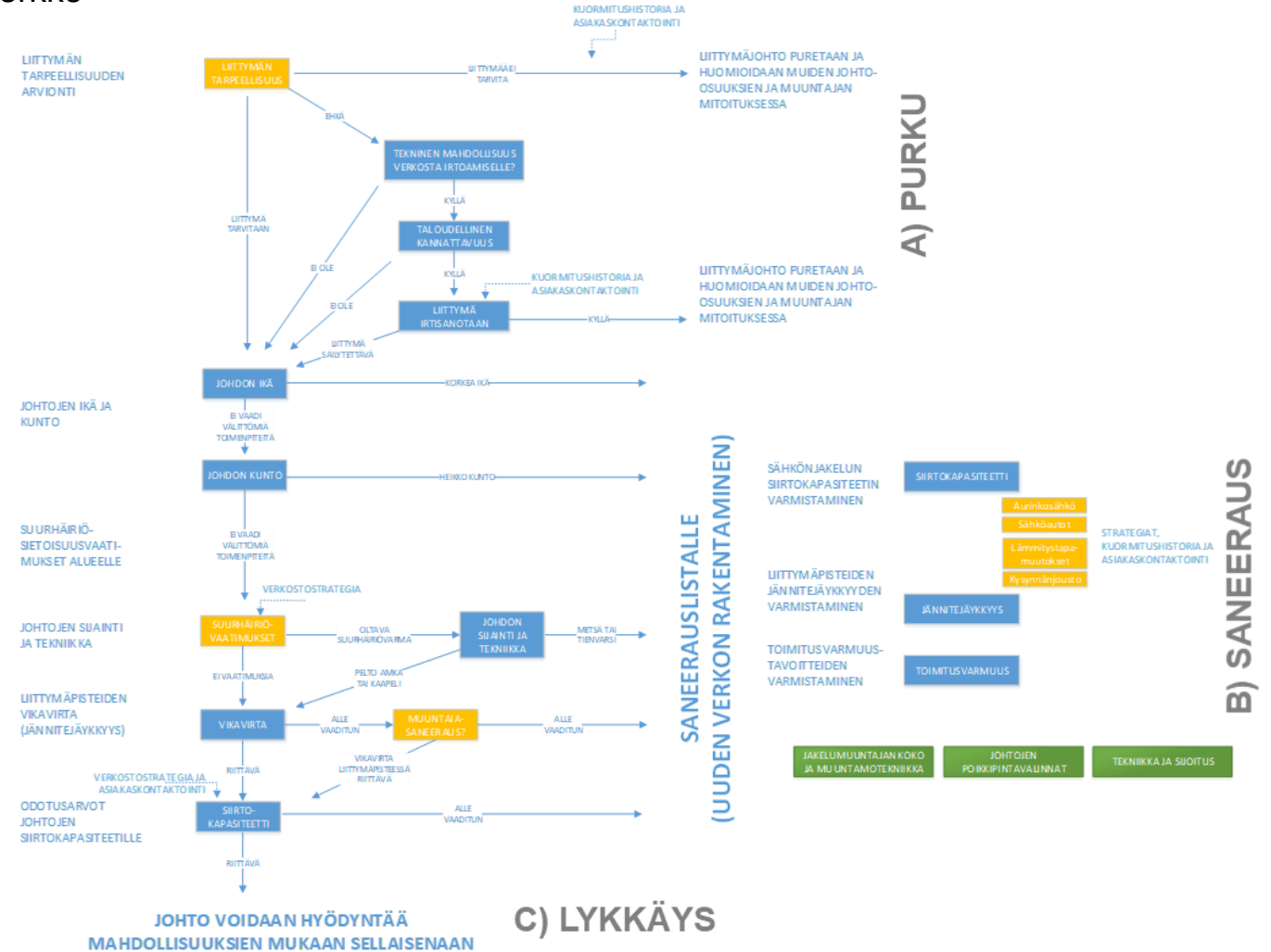
ASIAKASKATORISKI

- » Toimitusvarmuuslähtöiset investoinnit kohdistuvat yhä enemmän haja-asutusalueille
- » Maaseudut autioituvat, onko verkostoinvestoinnit riski taantuville alueille?
- » Miten hyvin asiakaskatoilmiö tunnetaan, mitä taustatietoja käytettävissä?
- » Onko asiakaskatoriski määritettävissä ja voidaanko se huomioida verkon kehittämisessä?



ASIASKATORISKI

- A. saneerataan
- B. lykätään, vai
- C. puretaan?



Joustava ja toimintavarma sähkönjakeluverkko

ASIAKASKATORISKI

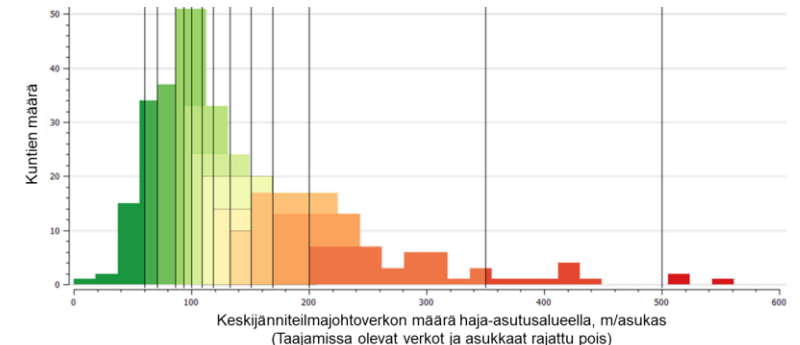
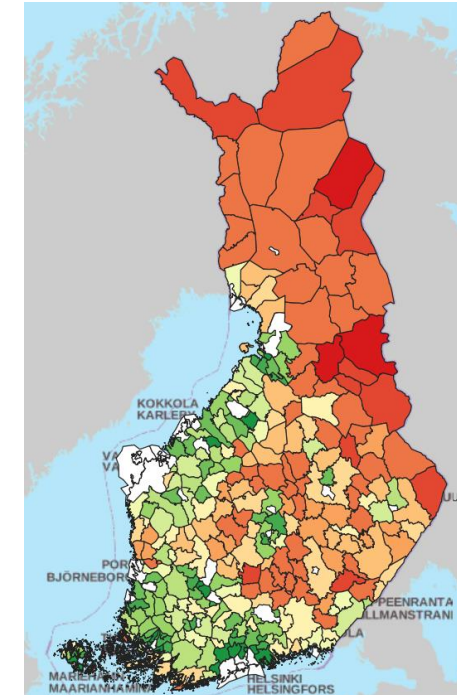
Johtopituudet haja-asutusalueilla/asukas

	Alue 1		Alue 2		Alue 3		Alue 4	
Tekijä, aineistovuosi ja yhtiö	2010	2018	2010	2018	2010	2018	2010	2018
Talouskoko	0,20	0,22	0,00	0,06	-0,03	-0,08	-0,08	0,10
Lapsitaloussuhde	-0,02	0,13	-0,05	-0,07	-0,04	-0,15	-0,07	-0,01
Keskitulot	0,13	0,15	-0,01	-0,06	-0,05	-0,02	0,08	0,10
Työttömyysaste	-0,22	-0,11	-0,09	-0,07	-0,04	-0,05	0,24	-0,06
Omistusasuntojen osuus	0,09	0,12	-0,03	-0,12	-0,09	-0,11	0,02	0,22
Korkeakoulutettujen osuus	-0,14	-0,20	-0,10	-0,13	-0,07	-0,10	-0,15	0,01
Yli 54-vuotiaiden osuus	-0,04	-0,19	0,05	-0,09	0,03	0,09	-0,06	-0,11
Alkutuotannon työpaikkojen osuus	0,24	0,26	0,29	0,18	0,23	0,28	0,41	0,28
Palvelualojen työpaikkojen osuus	-0,26	-0,27	-0,11	-0,10	-0,23	-0,30	-0,26	-0,28
Asumisväljyys	0,13	-0,02	0,11	0,11	0,11	0,19	-0,12	-0,06
Nuorten lapsettomien parien osuus	0,09	0,02	-0,20	-0,13	-0,12	-0,18	-0,14	-0,01
Peruskoulutettujen osuus	0,03	0,05	0,06	-0,02	0,00	-0,08	0,01	0,03
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

Vihreä: tietojen välillä negatiivinen korrelaatio

Punainen: tietojen välillä positiivinen korrelaatio

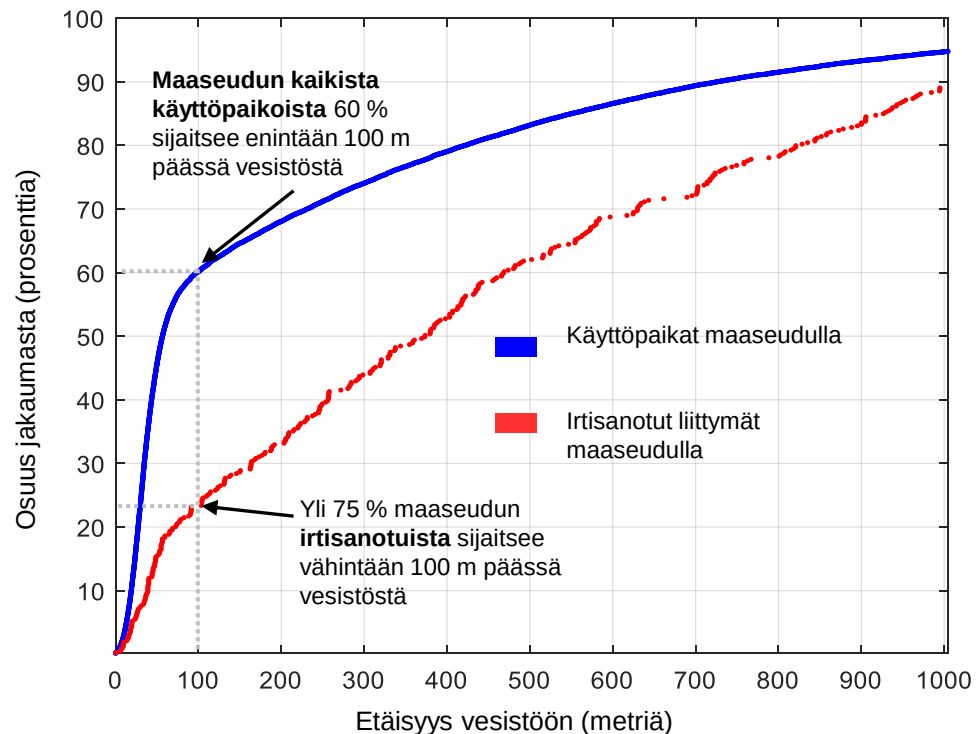
Mikäli kertoimen fontti on lihavoitu, tulos on tilastollisesti merkitsevä 95 % luottamusvälillä.



Joustava ja toimintavarma sähkönjakeluverkko

ASIAKASKASKATORISKI

Käyttöpaikan ja irtisanottujen asiakkaiden vesistöetäisyys harvaan asutulla maaseudulla (ei sisällä taajamia)



- Vesistöetäisyys voidaan määrittää Maanmittauslaitoksen maastotietokannasta löytyvien vesistöpolygonien avulla
- Vesistöetäisyys on merkittävä tekijä irtisanomisen tarkastelussa; kun kiinteistö sijaitsee 50–100 metrin etäisyydellä vesistöstä, on liittymän irtisanomisriski pienempi kuin kiinteistöillä, jotka sijaitsevat kauempana vesistöstä

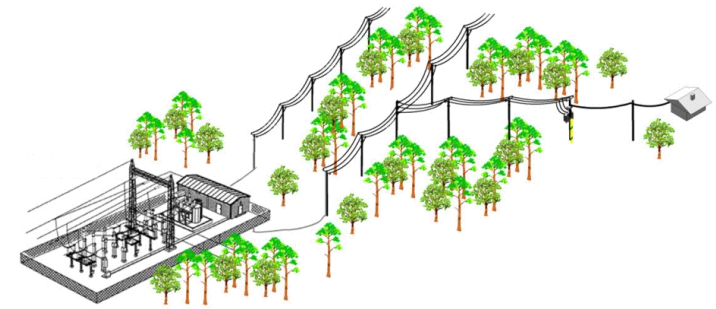
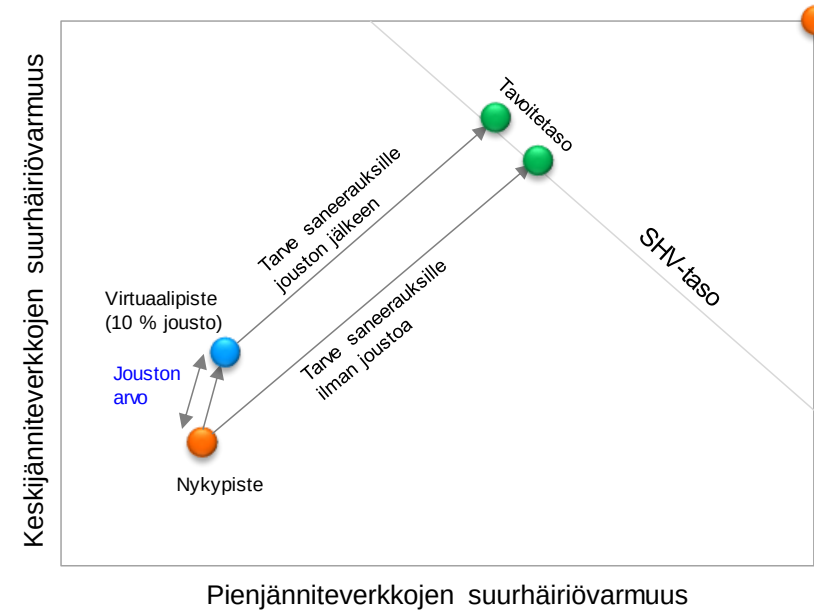
Joustava ja toimintavarma sähköjakeluverkko

KÄYTTÖPAIKKAKOHTAINEN TOIMITUSVARMUUSJOUSTO, LÄHTÖKOHDAT

Mikä vaikutus ja arvo on käyttöpaikkakohtaisella joustolla, jos joustolla voidaan välttää toimitusvarmuusvaatimuksiin vastaavat saneeraukset ja saneeraus voidaan tehdä kevyemmin (perinteisin keinoin) haja-asutusalueella? Asiakasjoustokohteissa sähkökatkon pituudelle ei aseteta tuntimääräistä rajaa.

Kehittämisen toimintamallit

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

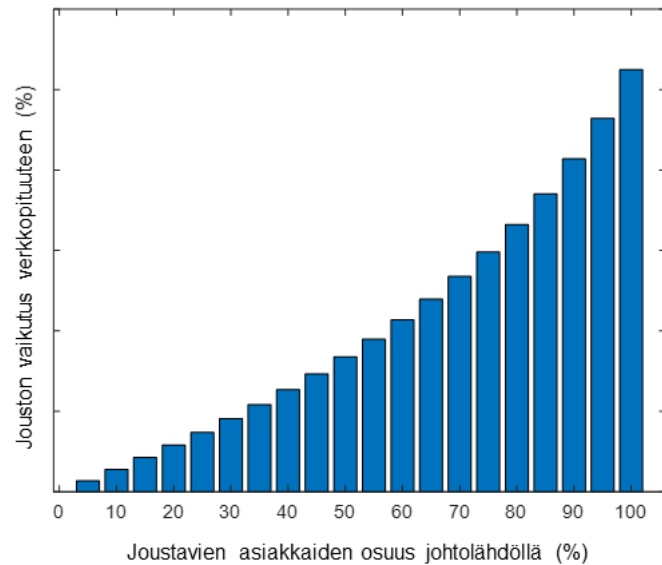


 Joustava ja toimintavarma sähkönjakeluverkko

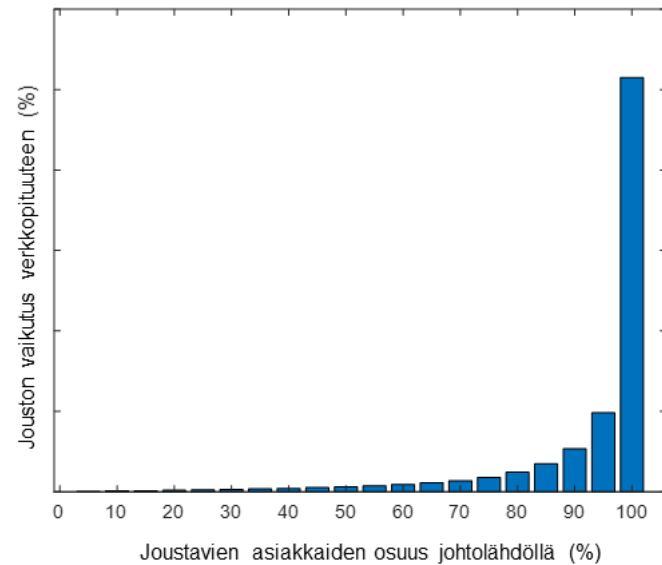
KÄYTTÖPAIKKAKOHTAINEN TOIMITUSVARMUUSJOUSTO, JOUSTOKOHTEIDEN VALIKOITUMINEN SATTUMANVARAISESTI

Mitä jos käyttöpaikat valikoituisivat sattumanvaraisesti jouston piiriin? Miten paljon joustava asiakkaat vapauttavat verkkoa saneerausvelvoitteesta (suurhäiriöriskiverkon saneerausvelvoite)?

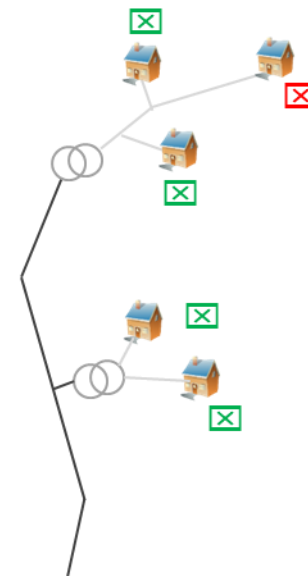
Pj-verkko



Kj-verkko

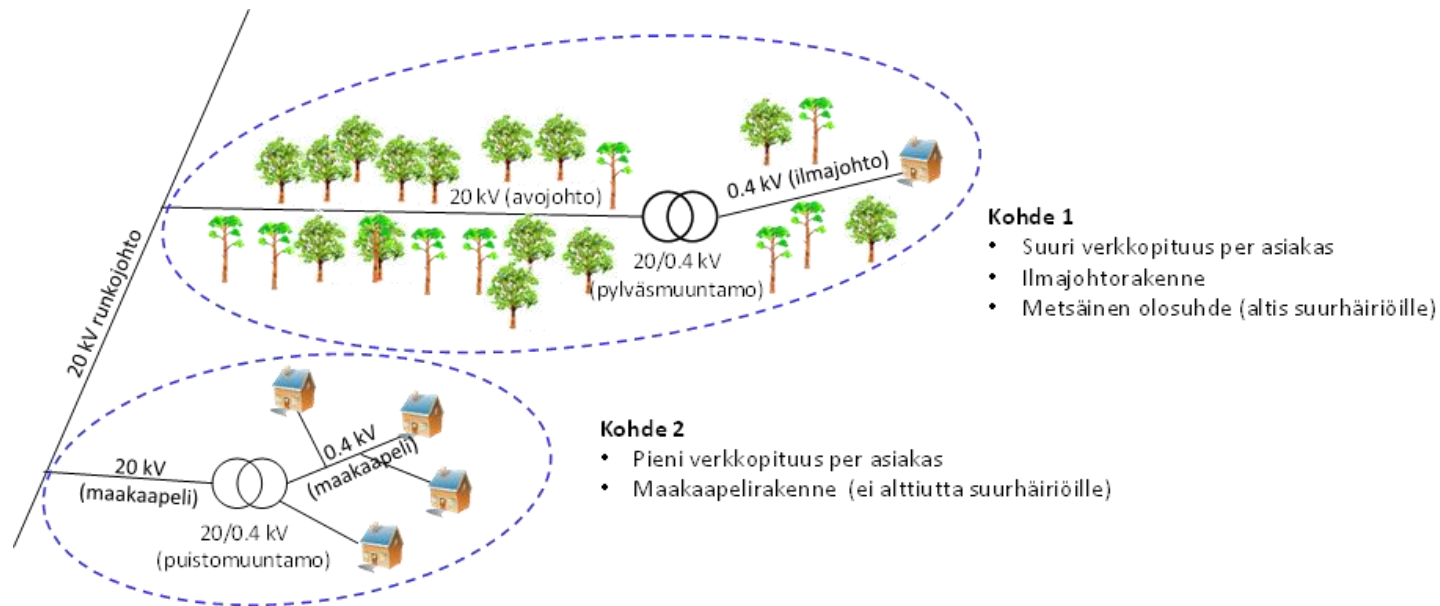


Halukkuus joustoon?



Joustava ja toimintavarma sähkönjakeluverkko

KÄYTTÖPAIKKAKOHTAINEN TOIMITUSVARMUUSJOUSTO, VERKKOYHTIÖLÄHTÖINEN JOUSTOKOHTEIDEN VALINTA

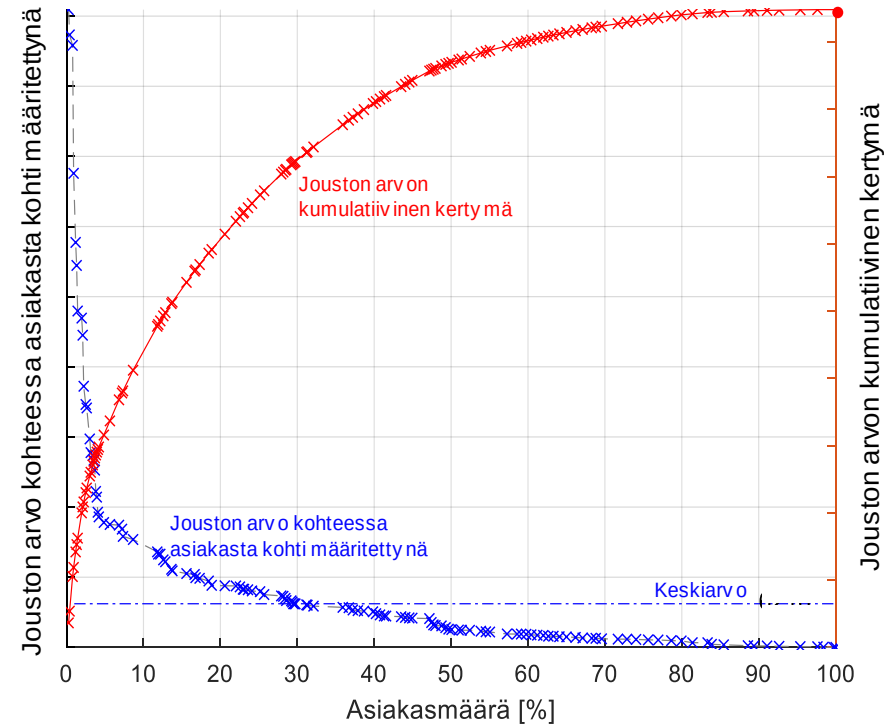
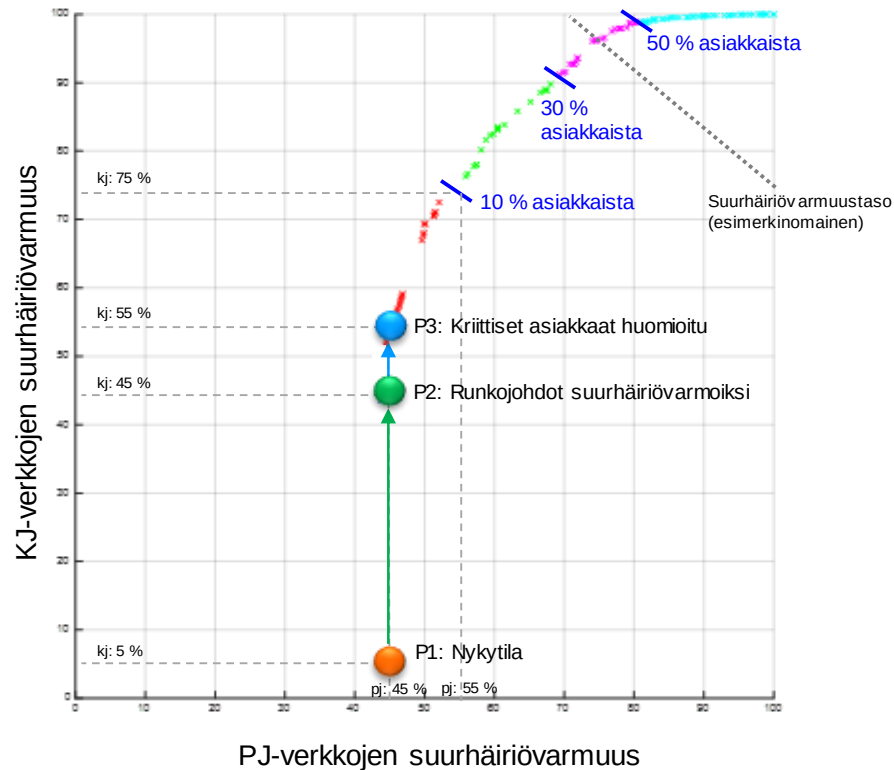


Joustokohteen valintaan ja kannattavuuteen vaikuttavia tekijöitä:

1. Verkon nykyinen teknologia
2. Verkon sijainti (olosuhde)
3. Verkon ikä
4. Asiakastiheys
5. Tavoiteverkon teknologia
6. Asiakkaan sähkön käyttö

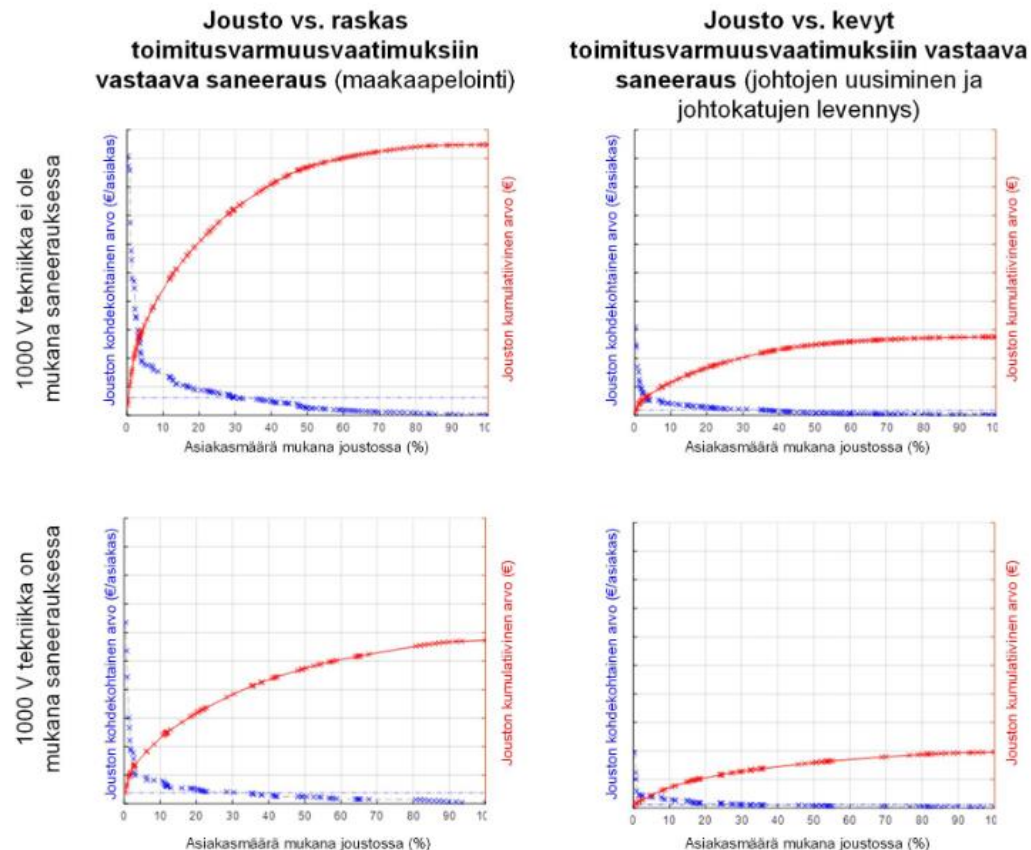
Joustava ja toimintavarma sähkönjakeluverkko

KÄYTTÖPAIKKAKOHTAINEN TOIMITUSVARMUUSJOUSTO, VERKKOYHTIÖLÄHTÖINEN JOUSTOKOHTEIDEN VALINTA



Joustava ja toimintavarma sähkönjakeluverkko

KÄYTTÖPAIKKAKOHTAINEN TOIMITUSVARMUUSJOUSTO, JOUSTOKOHTEIDEN ARVON MUODOSTUMINEN, STRATEGIAVALINNAT



- Jouston arvoon vaikuttaa vahvasti se, minkälaiset kehittämisvaihtoehdot verkkoyhtiöllä on käytössä jo nykyisellään
- Teknisiltä valinnoiltaan raskas (kallis) saneeraus nostaa joustosopimisen arvoa
- Tekniikaltaan kevyesti (edullisesti) toteutettava saneeraus pienentää jouston arvoa
- 1000 V tekniikan kustannustehokkuus näkyy jouston potentiaalissa ja arvossa

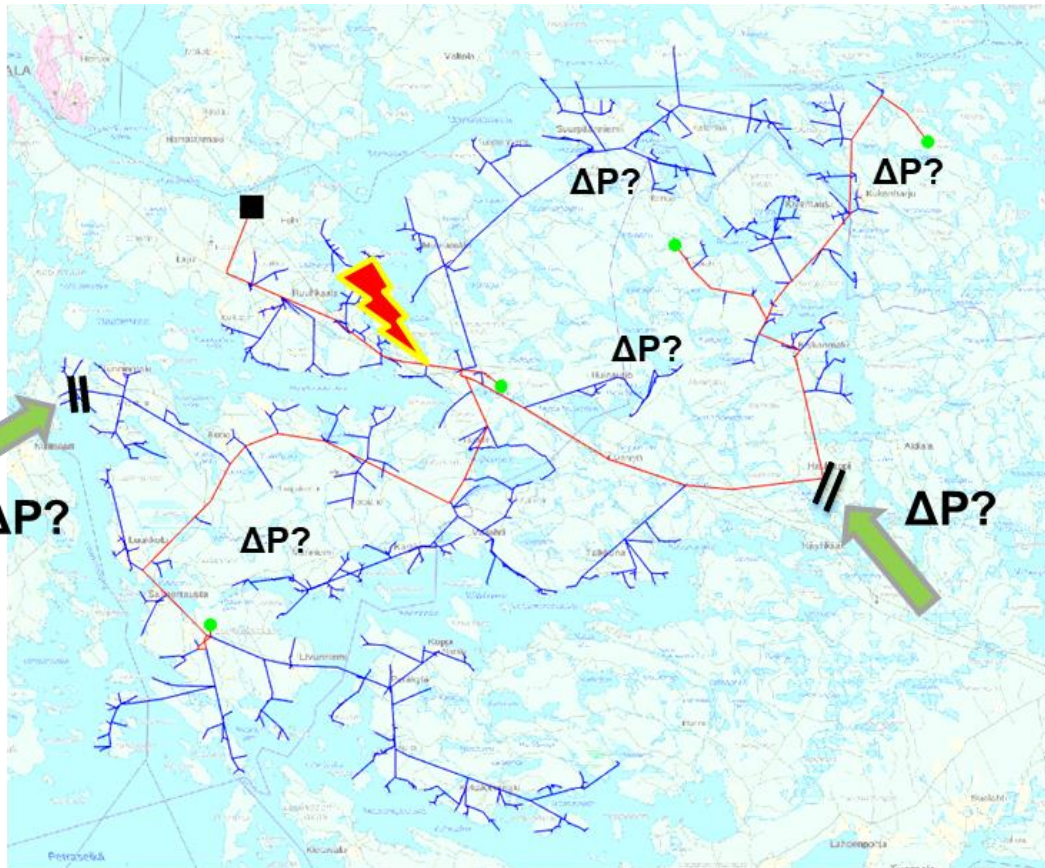
■ Joustava ja toimintavarma sähkönjakeluverkko

KÄYTTÖPAIKKAKOHTAINEN TOIMITUSVARMUUSJOUSTO, TOTEUTTAMISEN HAASTEITA

- 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 käyttöönottoaikajankohda;** 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?

Joustava ja toimintavarma sähkönjakeluverkko

KAPASITEETTIJOUSTO – VERKKOYHTIÖN KANNALTA MYÖNTEINEN



- Häiriötilanne 
- Varasyötöt naapurilähdöiltä?
- Pullonkaulat tehonsyötössä
 - Kapasiteettihaasteet
 - Jännitehaasteet
- Ei mahdollisuutta varasyöttöön huippukuormituksen aikaan kaikille asiakkaille 

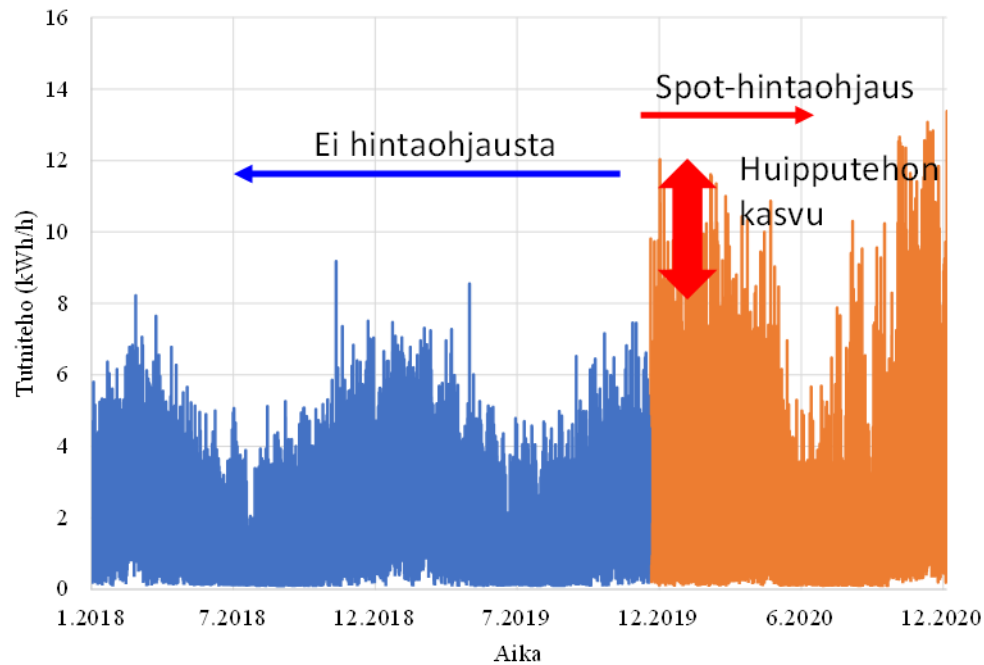
Mahdollisuus kulutusjoustoihin

- Sähköautot 
- Lämmitysjoisto

Sähköjen palautus varasyöttöyhteyksiä ja joustoa hyödyntäen mahdollista kaikille asiakkaille 

Joustava ja toimintavarma sähkönjakeluverkko

KAPASITEETTIJOUSTO – VERKKOYHTIÖN KANNALTA HAASTEELLINEN

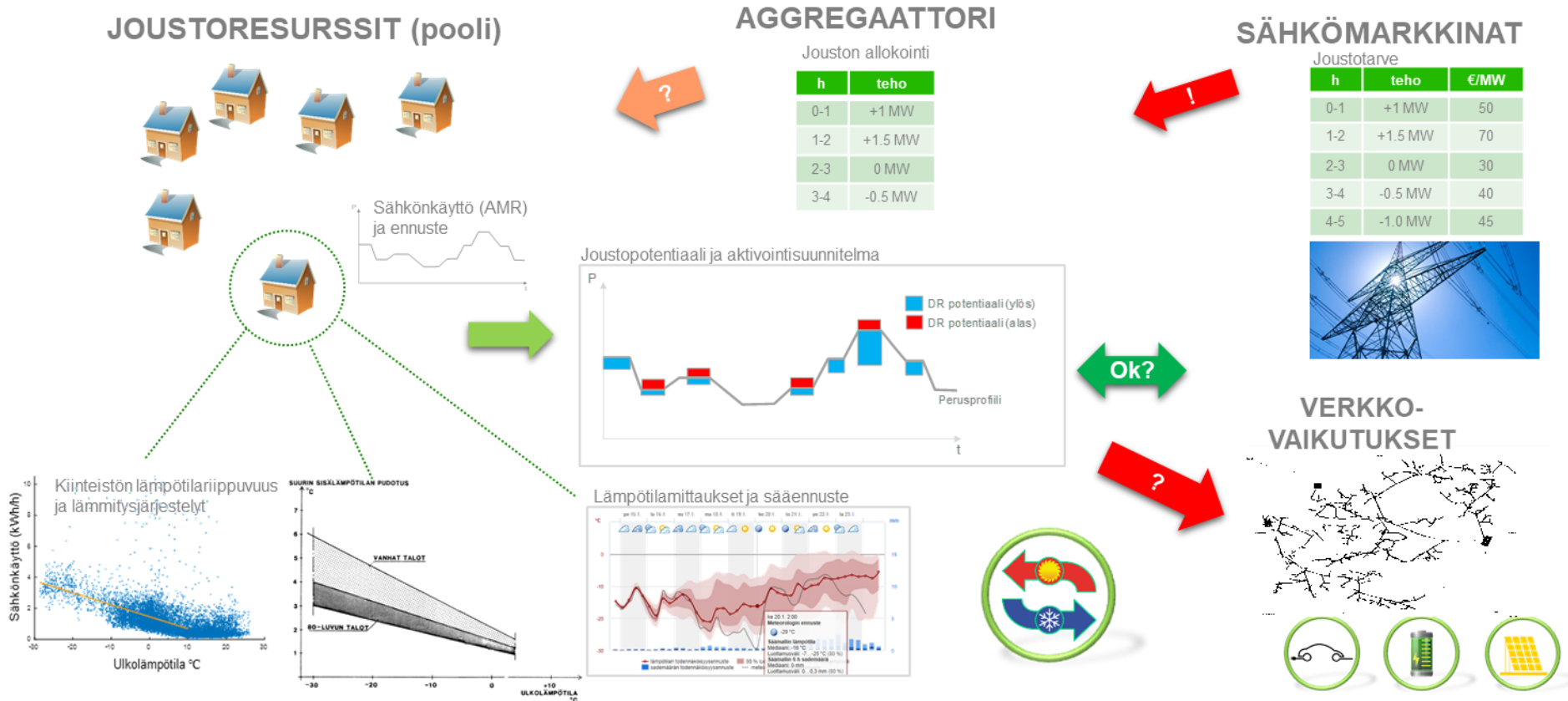


Mikäli verkkoyhtiön intressejä ei huomoida, riski verkon ylikuormittumiselle kasvaa

- Asiakkaiden synkronoitu (aggregoitu) käyttäytyminen voi johtaa huipputehojen kasvuun käyttöpaikoilla ja ylempänä verkossa
- Sähkötmarkkinat ohjaavat joustoja
 - SPOT -energiamarkkina
 - Tehoreservimarkkinat
- Onko riskiasiakkaat tunnistettavissa ja vaikutukset arvioitavissa?
- Onko huomioitavissa verkoston kehittämisessä?
- Verkkoyhtiön mahdollisuus vastajoustohankintoihin?

Joustava ja toimintavarma sähkönjakeluverkko

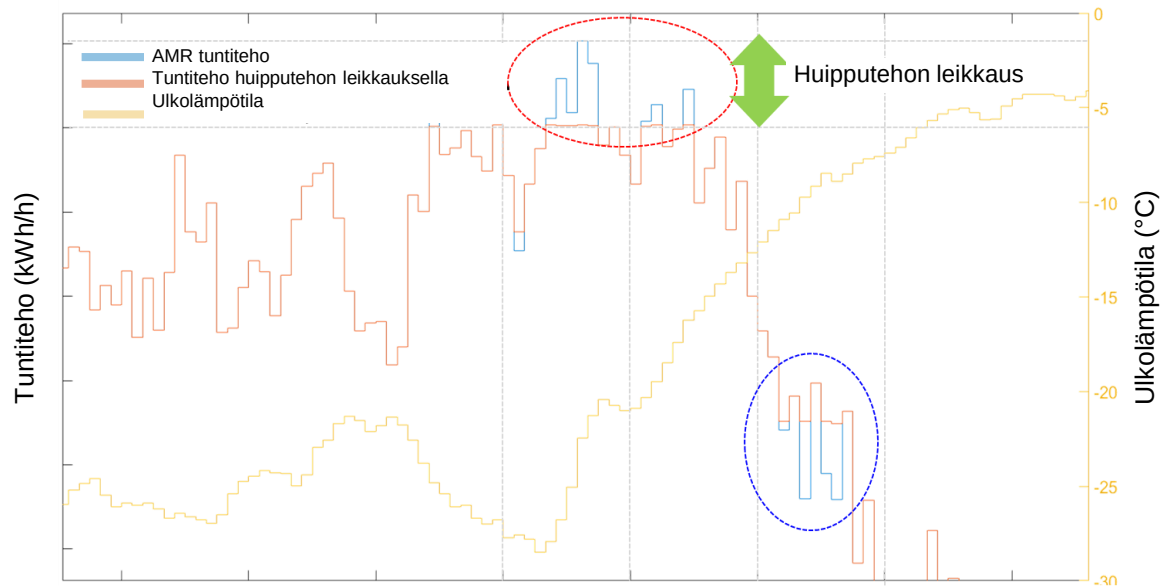
KAPASITEETTIJOUSTO – PIENASIAKAS JOUSTORESURSSINA?



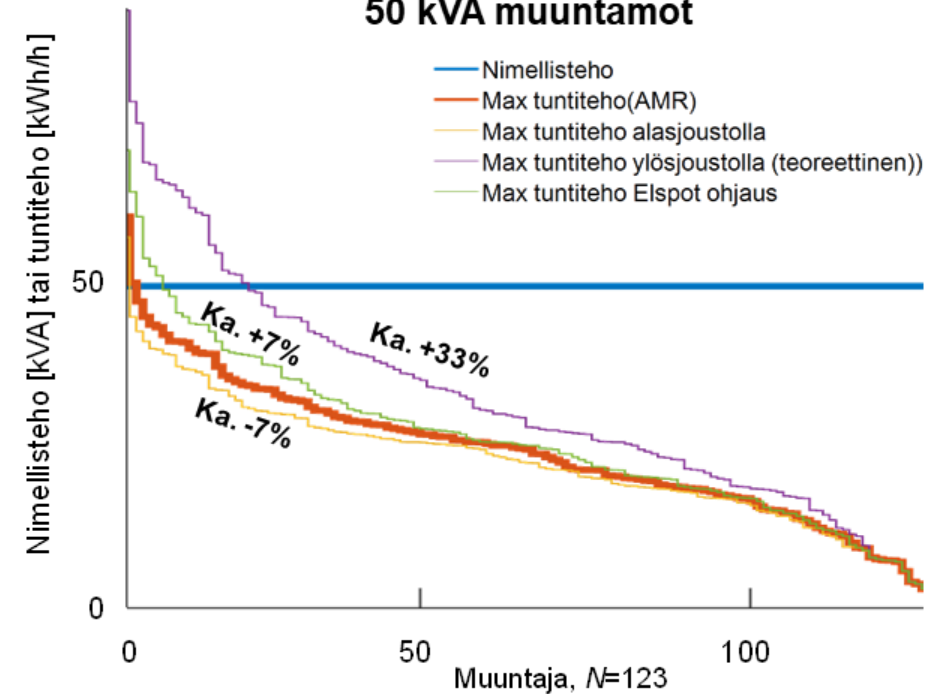
Joustava ja toimintavarma sähkönjakeluverkko

KAPASITEETTIJOUSTO – PIENASIAKAS JOUSTORESURSSINA? LÄMMITYSJOUSTO

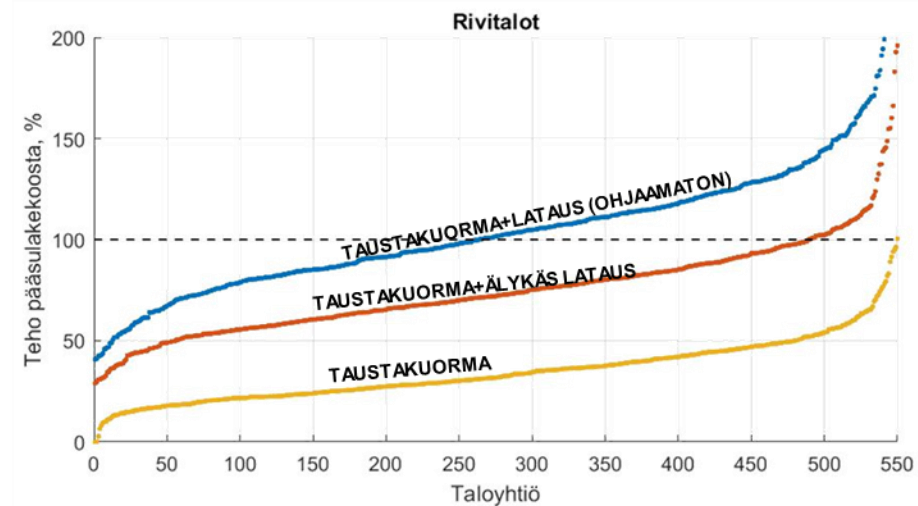
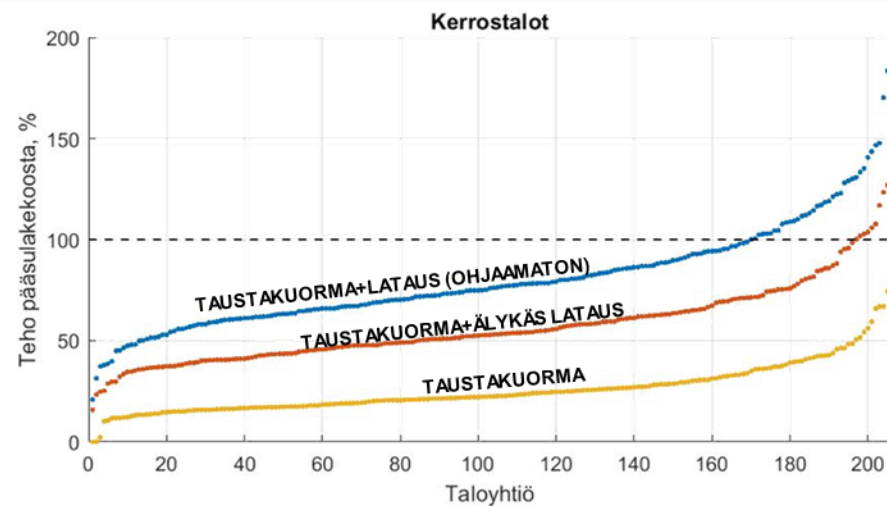
Esimerkkimuuntamo (20/0,4 kV)



50 kVA muuntamot



Tutkimushanke: Sähköautojen latauksen muodostama kuormitus- ja mitoitus-teho erilaisissa toimintaympäristöissä
TALOYHTIÖIDEN HUIPPUTEHOT (KOHTEET JOISSA PÄÄSULAKEKOKO ≥ 63 A)



Onko ilmiö huomioitava
 verkon kehittämisessä?

- Taustakuorma + EV ohjaamaton lataus (99 % luottamustaso), huipputuntiteho
- Taustakuorma + EV älykkäät ohjausratkaisut (99 % luottamustaso), huipputuntiteho
- Taustakuorma, huipputuntiteho

Sähköautojen määrä simuloinneissa: Kerrostaloissa 0,8 ja rivitaloissa 1,35 autopaikkaa per liittymän sähkönkäyttöpaikka

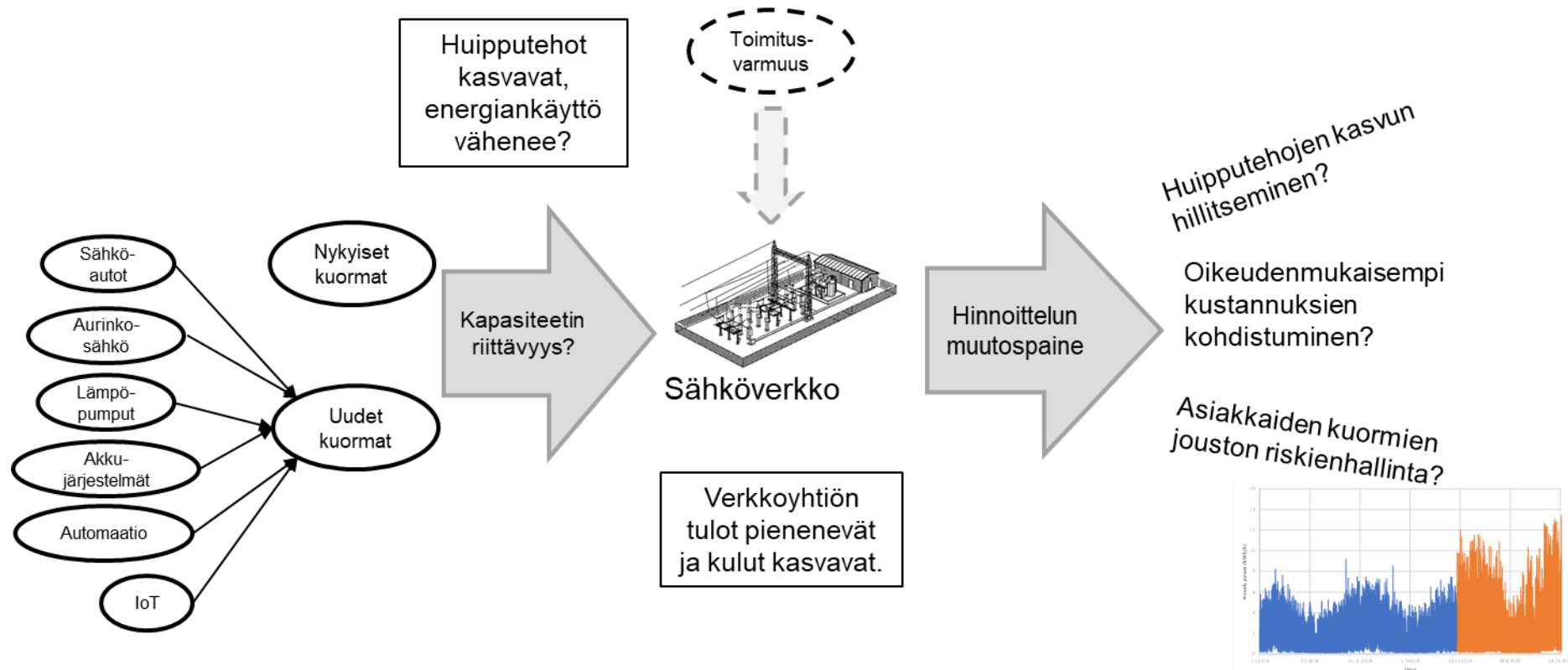
Joustava ja toimintavarma sähkönjakeluverkko

KAPASITEETTIJOUSTO – LÄHTÖKOHDAT JOUSTOTARPEILLE

Tekijä/ilmiö	Riski	Vaikutta- vuus	Todennä- köisyys	Käyttö (ilmiö ja toimenpiteet)															
Laajat lämmitysjärjestelmien muutokset	Ylikuormitus, jännitevaihtelut	<table><tr><td></td><td>P</td><td>U</td></tr><tr><td>PJ</td><td>-</td><td>+</td></tr><tr><td>JM</td><td>++</td><td>+</td></tr><tr><td>KJ</td><td>+</td><td>-</td></tr><tr><td>SA</td><td>-</td><td>-</td></tr></table>		P	U	PJ	-	+	JM	++	+	KJ	+	-	SA	-	-	++	Jakelumuuntajien ylikuormittuminen ja verkon jännitteiden heilunta. (Varautuminen käyttötoiminnassa: 1) normaali käyttötilanne: jakelumuuntajan vaihto tms. verkon vahvistus, vahvistusinvestoinnin viivytys joustoilla 2) poikkeustilanne jakelussa: vastajousto markkinoilta)
	P	U																	
PJ	-	+																	
JM	++	+																	
KJ	+	-																	
SA	-	-																	
Sähköautojen synkronoitu lataus	Ylikuormitus, jännite/jännite-epäsymmetria	<table><tr><td></td><td>P</td><td>U</td></tr><tr><td>PJ</td><td>+</td><td>+++</td></tr><tr><td>JM</td><td>+++</td><td>++</td></tr><tr><td>KJ</td><td>+</td><td>+</td></tr><tr><td>SA</td><td>-</td><td>-</td></tr></table>		P	U	PJ	+	+++	JM	+++	++	KJ	+	+	SA	-	-	++	Jakelumuuntajien ylikuormittuminen ja verkon jännitteiden heilunta. (Varautuminen käyttötoiminnassa: 1) normaali käyttötilanne: jakelumuuntajan vaihto tms. verkon vahvistus, vahvistusinvestoinnin viivytys joustoilla 2) poikkeustilanne jakelussa: vastajousto markkinoilta)
	P	U																	
PJ	+	+++																	
JM	+++	++																	
KJ	+	+																	
SA	-	-																	
Pientuotannon vaihtelu	Jännitevaihtelut, (ylikuormitus)	<table><tr><td></td><td>P</td><td>U</td></tr><tr><td>PJ</td><td>-</td><td>+++</td></tr><tr><td>JM</td><td>+</td><td>+</td></tr><tr><td>KJ</td><td>-</td><td>+</td></tr><tr><td>SA</td><td>-</td><td>-</td></tr></table>		P	U	PJ	-	+++	JM	+	+	KJ	-	+	SA	-	-	+	Jännitteen suuret vaihtelut heikoissa pienjänniteverkoissa ja pientuotantolaitteistojen poiskytkytyminen. (Varautuminen käyttötoiminnassa: 1) normaali käyttötilanne: jakelumuuntajan vaihto tms. verkon vahvistus (vahvistusinvestoinnin viivytys joustoilla) tai jännitteensäätö teknisillä resursseilla esim. käämikytkimellä tai tehoelektroniikalla, 2) poikkeustilanne jakelussa: vastajoustona markkinoilta paikallista kysyntäjoustoa asiakkailta)
	P	U																	
PJ	-	+++																	
JM	+	+																	
KJ	-	+																	
SA	-	-																	
Sähkölämmityksen markkinalähtöinen ohjaus	Ylikuormitus, jännitevaihtelut	<table><tr><td></td><td>P</td><td>U</td></tr><tr><td>PJ</td><td>+</td><td>+</td></tr><tr><td>JM</td><td>++</td><td>+</td></tr><tr><td>KJ</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>SA</td><td>-</td><td>-</td></tr></table>		P	U	PJ	+	+	JM	++	+	KJ	-	-	SA	-	-	+	Jakelumuuntajien ylikuormittuminen ja verkon jännitteiden heilunta. (Varautuminen käyttötoiminnassa: 1) normaali käyttötilanne: jakelumuuntajan vaihto tms. verkon vahvistus, vahvistusinvestoinnin viivytys joustoilla 2) poikkeustilanne jakelussa: vastajousto markkinoilta)
	P	U																	
PJ	+	+																	
JM	++	+																	
KJ	-	-																	
SA	-	-																	
Sähkönjakelun varasyöttötilanne	Jännitevaihtelut, ylikuormitus	<table><tr><td></td><td>P</td><td>U</td></tr><tr><td>PJ</td><td>-</td><td>++</td></tr><tr><td>JM</td><td>-</td><td>++</td></tr><tr><td>KJ</td><td>++</td><td>++</td></tr><tr><td>SA</td><td>+++</td><td>+</td></tr></table>		P	U	PJ	-	++	JM	-	++	KJ	++	++	SA	+++	+	+++	Häiriötilanteen mukanaan tuomat haasteet tulevat erillisten tekijöiden/ilmiöiden päälle. Jännitteiden laskeminen varasyöttötilanteissa sekä varasyöttöjohtojen ylikuormittuminen. (Varautuminen käyttötoiminnassa: jännitteensäätö käämikytkimellä ja hajautetuilla kondensaattoreilla, paikallinen kysyntäjousto asiakkailta, varavoiman käyttö sähköjen palauttamiseksi ja kuormituksen tasaamiseksi)
	P	U																	
PJ	-	++																	
JM	-	++																	
KJ	++	++																	
SA	+++	+																	

Joustava ja toimintavarma sähkönjakeluverkko

TEHOPERUSTEINEN HINNOITTELU



 Joustava ja toimintavarma sähkönjakeluverkko

TEHOPERUSTEINEN HINNOITTELU

- Tehomaksun käyttöönotto luo kannustimet kapasiteettitehokkaisiin valintoihin:
 - Sähköautojen älykäs lataus, automaatio- ja akkujärjestelmät, lämmitystapavalinnat
- Siirtymän suunnittelu tärkeää.
 - Maltillinen siirtymä helpottaa tehomaksun käyttöönottoa sekä asiakkaiden että verkkoyhtiön näkökulmasta.
- Tehomaksun vaikuttavuus asiakkaiden valintoihin epäselvä. Voidaanko huomioida verkoston mitoittamisessa?
 - Vaikka asiakkaat eivät reagoisi, maksut kohdistuvat kustannusvastaavammin.



LAAJA-ALAISEN AURINKOSÄHKÖN YLEISTYMISEN HUOMIOIVAT SÄHKÖVERKON MITOITUSPERIAATTEET

- Hankkeen kesto: 11/2021-10/2022
- Tavoitteena selvittää miten nykyisin käytettävää aurinkosähkön huomioivaa sähköverkon mitoituskäytäntöä kannattaisi kehittää, jotta
 - a) sähköverkkoa ei vahvistettaisi tarpeettomasti/ylimitoitettaisi
 - b) mitoituskäytännöt ja tarkastelutavat vastaisivat myös tulevaisuuden aurinkosähkön yleistymiseen ja verkostovaikutuksiin.
- Tavoitteena myös selvittää joustavien ratkaisuiden, kuten aurinkosähköinvertterien loistehosäädön, merkitys aurinkosähkön verkostovaikutuksiin.

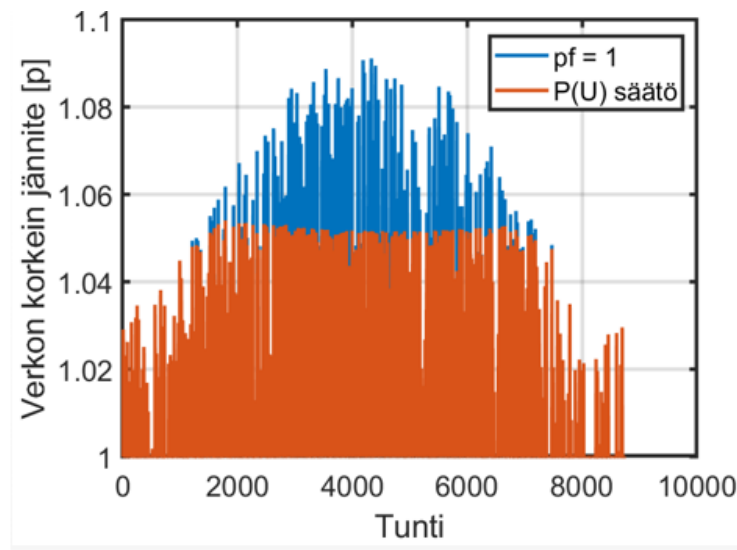
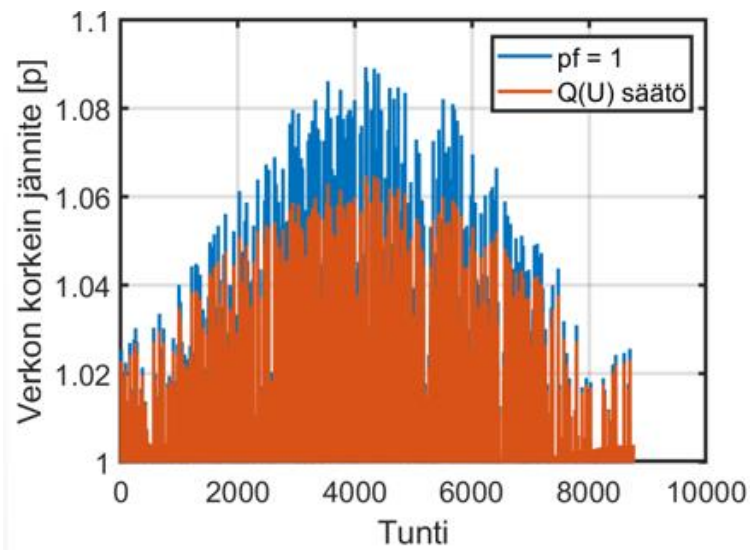


LAAJA-ALAISEN AURINKOSÄHKÖN YLEISTYMISEN HUOMIOIVAT SÄHKÖVERKON MITOITUSPERIAATTEET

- Aurinkosähkön yleistymisen nostaa jännitteitä sähköverkossa.
- Jänniteongelmiin on useita ratkaisuvaihtoehtoja:
 - Perinteiset verkoston vahvistusinvestoinnit
 - Joustavat verkostoratkaisut (käämikytkimelliset jakelumuuntajat, päämuuntajan käämikytkimen säätö)
 - Joustavat ratkaisut asiakkaalla (aurinkosähköinvertertien säädöt, tehonleikkaus, kuormien ohjaus)

LAAJA-ALAISEN AURINKOSÄHKÖN YLEISTYMISEN HUOMIOIVAT SÄHKÖVERKON MITOITUSPERIAATTEET

- Jännitteiden nousuun voidaan vaikuttaa aurinkosähköinverterteiden konfiguroinnilla.
- Loistehon säädöllä voidaan laskea huipputuotannon aikaisia jännitteitä.
- Pätötehotuotannon leikkaamisella voidaan myös vaikuttaa jänniteongelmiin, mutta pätötehoon vaikuttaminen on vaikeammin hyväksyttävissä asiakkaiden näkökulmasta.





LAAJA-ALAISEN AURINKOSÄHKÖN YLEISTYMISEN HUOMIOIVAT SÄHKÖVERKON MITOITUSPERIAATTEET

- Loistehon säätö aurinkosähköinverttereillä on suhteellisen helposti käyttöönotettavissa oleva lähes ilmainen resurssi.
 - Kasvattaa verkon häviöitä.
 - Kasvattaa hieman riskiä jakelumuuntajien ylikuormittumisesta.
 - Säätö voidaan toteuttaa vakio tehokertoimella ($\cos\phi$) tai jännitetasoon reagoivana säätönä, $Q(U)$.
- $P(U)$ -säätö voisi olla hyödyllinen poikkeustilanteissa, esim. varasyöttötilanteiden aikaisten jännitetasojen hallinnassa, kun jännite on noussut hyvin lähelle suurinta sallittua (253 V).

