

Kysynnän jousto – Suomeen soveltuvat käytännön ratkaisut ja vaikutukset verkkoyhtiöille (DR pooli)

Hyvinvointia sähköllä – Visio 2030
6.5.2015, Heureka

Pertti Järventausta
Tampereen teknillinen yliopisto (TTY)



TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
Department of Electrical Energy Engineering



Open your mind. LUT.
Lappeenranta University of Technology

Smart Grids - Future Energy Systems

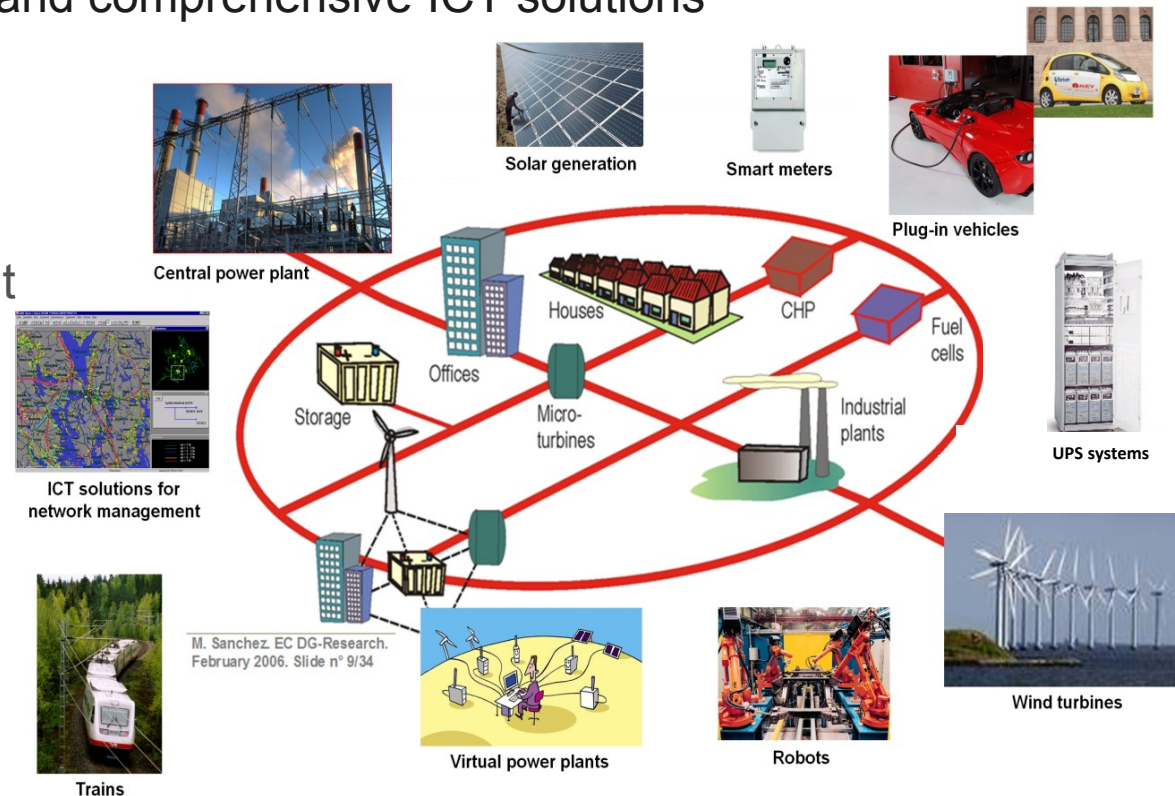
Distributed energy resources with fully integrated network management

Smart grids has **two main functions**, which are challenges to the distribution system:

1) Enabler of energy-efficient and environmentally friendly open energy market
– interactive customer interface, integration of active resources, demand response, common market models and comprehensive ICT solutions

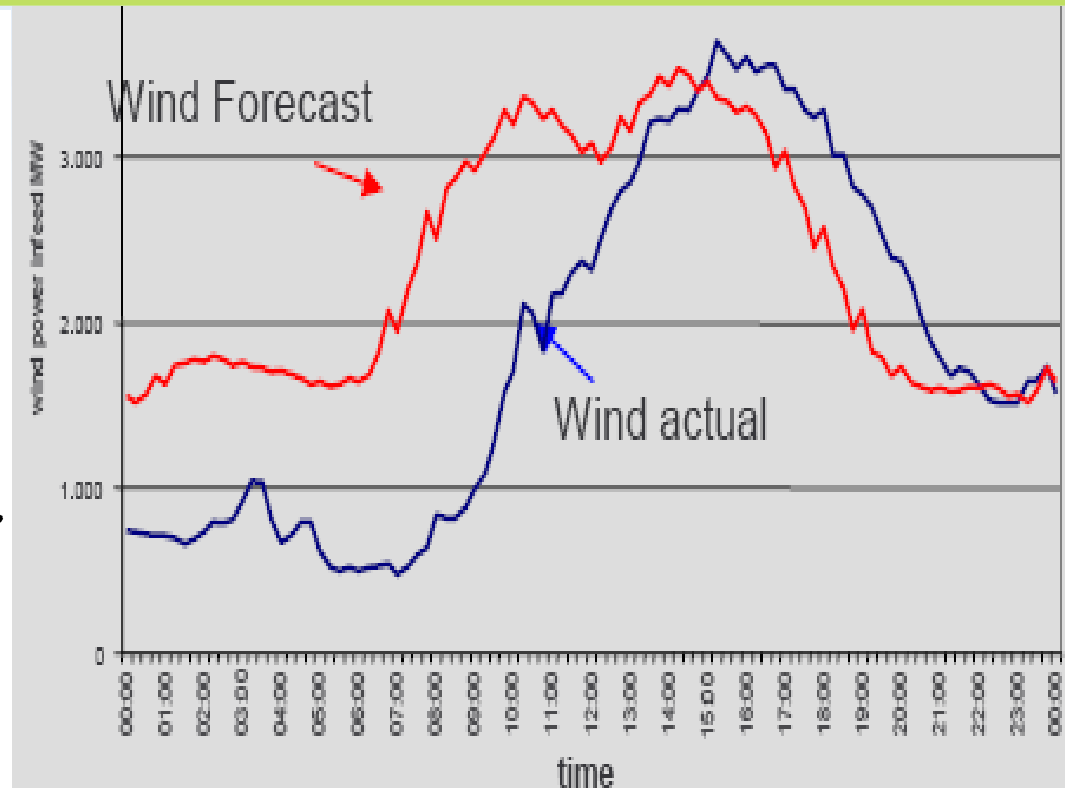
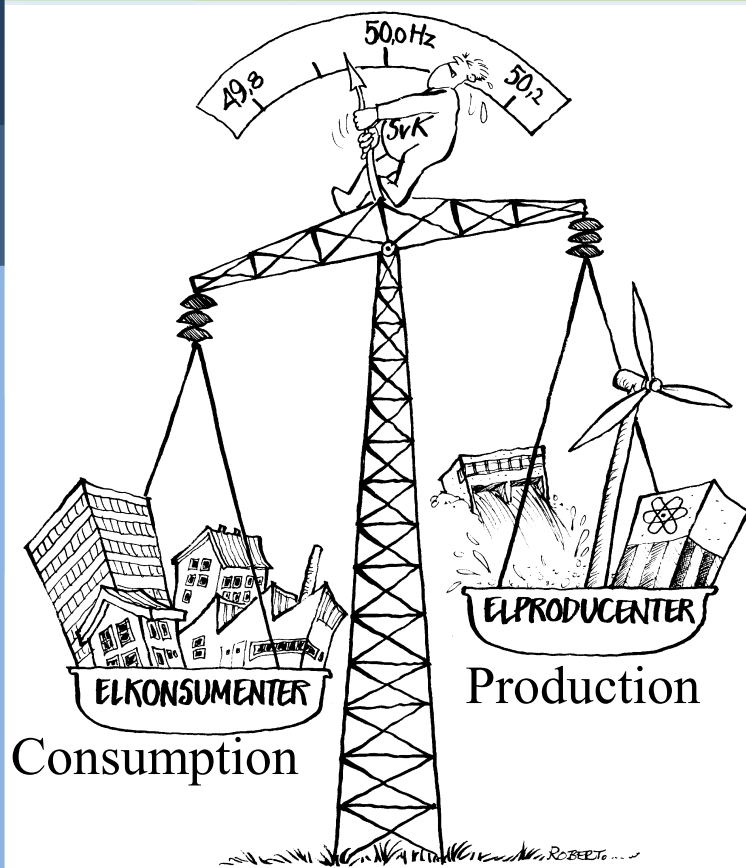
2) Critical infrastructure of society

- fault and major disturbance management
- self-healing networks
- island operation and microgrids



Challenge in integration of renewable energy sources

- availability of emission free balance power



- Wind and solar power requires more balance power
- Smart Grid enables balance by interconnected networks and also by integrated active small resources



Kysynnän jousto – Suomeen soveltuvat käytännön ratkaisut ja vaikutukset verkkoyhtiöille (DR pooli)

Osatehtävät

- 1) Kysynnän jouston tarpeet, hinnoittelurakenteet ja markkinamekanismit
- 2) Kysynnän jouston teknis-taloudellinen potentiaali
- 3) Kuluttajapään tekniset ratkaisut erilaisissa kohteissa
- 4) Kysynnän jouston vaikutukset jakeluverkkoyhtiöille
- 5) Lainsäädäntö ja viranomaisvalvonta

Tutkijaosapuolet

- TTY:n Sähkötekniikan ja Rakennustekniikan laitokset
- TAMK:n Rakentaminen ja teknologia-yksikkö
- LUT:n Sähkömarkkinalaboratorio

Projektiraportit (+ muut julkaisut)

- Loppuraportti, 359 s. (löytyy osoitteesta: <http://URN.fi/URN:ISBN:978-952-15-3485-0>)
- Loppuraportin yhteenveto, 42 s. (<http://URN.fi/URN:ISBN:978-952-15-3486-7>)

Rahoittajat

- ST-Pooli, Energiategollisuus ry, STEK, Ulla Tuominen säätiö, Ympäristöministeriö
- ABB Oy, Empower IM Oy, Enoro Oy, Landis+Gyr Oy, Schneider-Electric Oy, Senaatti-kiinteistöt Oy, Sähköinfo Oy, TeliaSonera, Elenia Oy, Turku Energia Sähköverkot Oy



DR-pooli –projektin toteutuksesta

- Mittausaineistot ja tietokannat
 - Sähkön myyntiyhtiön dataa talvikuukausilta (290 GWh kokonaismyynti)
 - Verkkotiedot yhden sähköaseman syöttämästä jakeluverkosta
 - 457 km KJ ja 793 km PJ-verkkoa, 469 jakelumuuntajaa, 7612 asiakasta, joiden AMR mittaukset useammalta vuodelta käytettävissä
 - Yksittäisten kohteiden tarkempia mittauksia (mm. Vuoreksen asuntomessualue)
 - Rakennuskantaan ja energiankäyttöön liittyvät tietokannat
- Kyselyt
 - Verkkoyhtiökysely
 - AMR-toimittajakysely
 - Myyntiyhtiökysely
 - Urakoitsija ja suunnittelijakysely
- Työpajat
 - Kysynnän jouston toiminnot ja eri osapuolten roolit (SWOT –analyysit)
 - Tekniset ratkaisut
 - Lainsäädäntö, viranomaismääräykset ja ohjeet
 - Roadmap

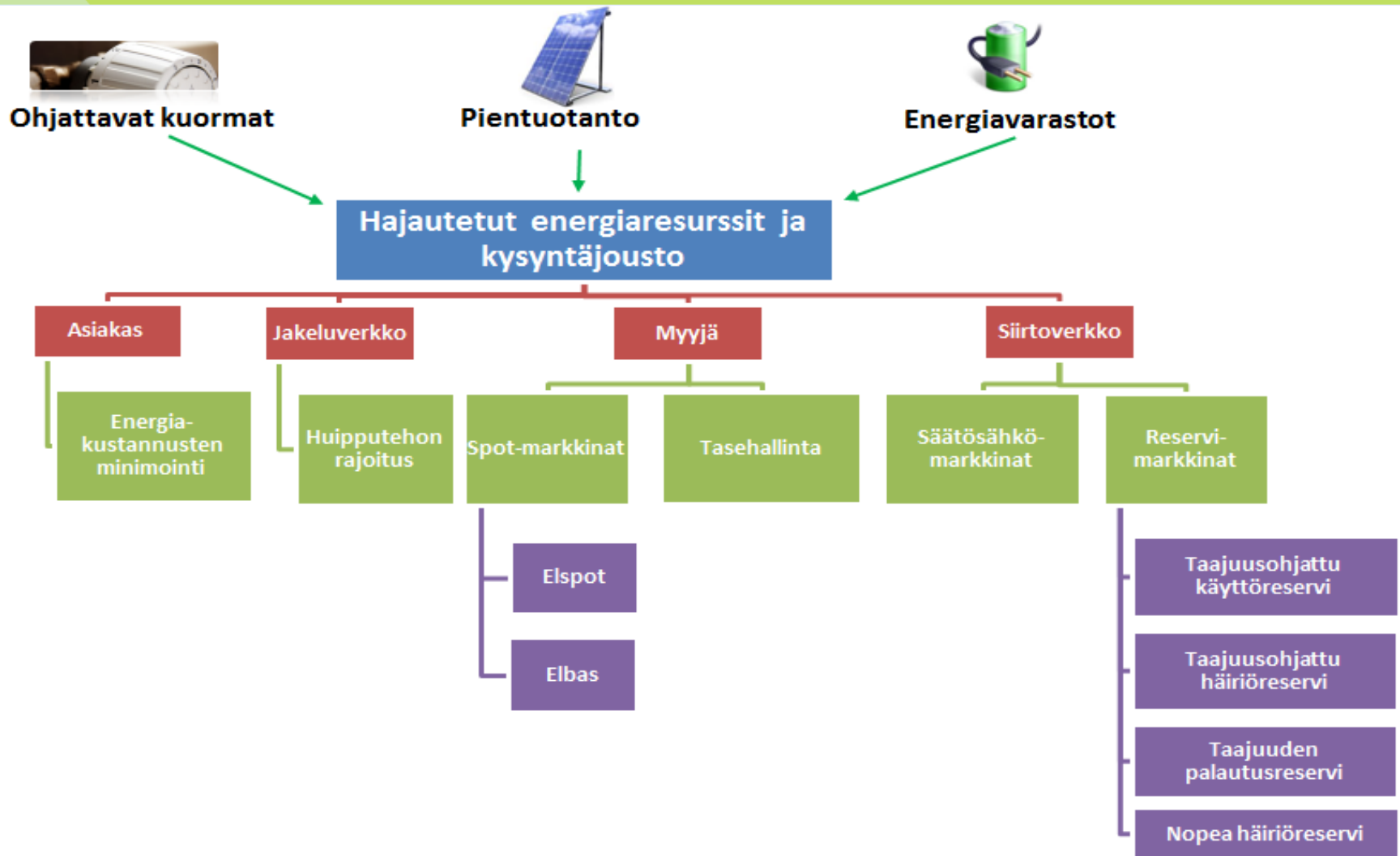


Kysynnän jousto – toimijat ja tarpeet

- Useita toimijoita, tarpeita ja ansaintamalleja
 - **Sähkön käyttäjä**
 - käyttö edullisen hinnan aikana, ostosähkön vähentäminen, oman tuotannon täysimääräinen hyödyntäminen, liittymäkoon rajoittaminen
 - **Sähkön myyjä**
 - hankinnan suunnittelu, tasehallinta, säätösähkö, uudet tuotteet
 - **Jakeluverkkoyhtiö**
 - huipputehon rajoittaminen (verkon suunnittelu)
 - poikkeustilanteiden hallinta (reaaliaikainen käyttötoiminta)
 - **Kantaverkkoyhtiö**
 - taajuuden säätö, häiriöreservi, tehopulan hallinta
 - **Palvelun tarjoaja / ”Jousto-operaattori”**
 - infrastruktuuri, palvelut



Kysynnän jousto – toimijat ja tarpeet



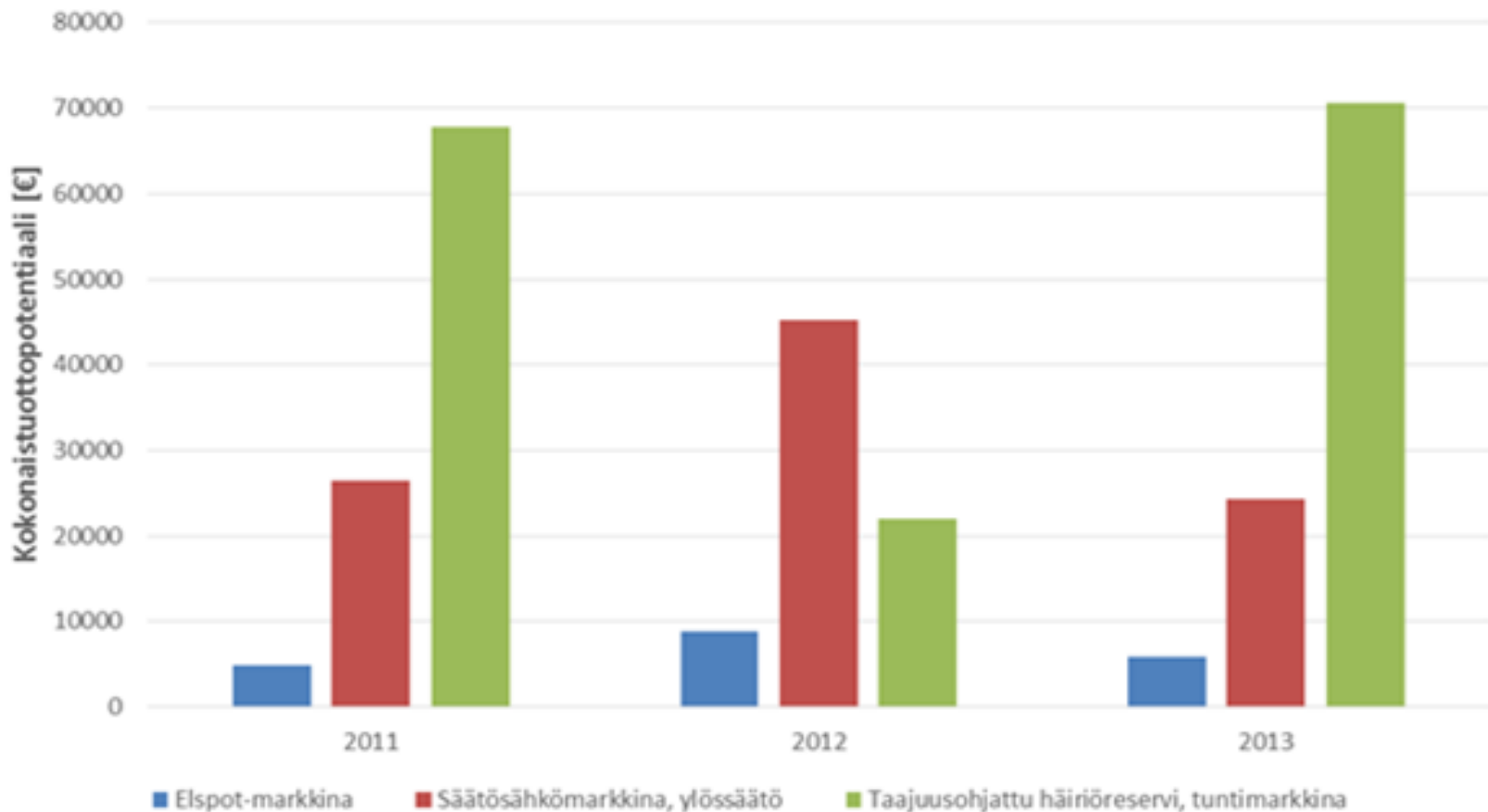
Kantaverkkoyhtiön olemassa olevat reservimarkkinat

Markkinapaikka	Sopimustyyppi	Minimi-säättö	Säädettävyyys ja aktivoitumisaika vaatimukset	Aktivointi
Säätösähkö-markkina	Tasepalvelu- tai säätösähkömarkkinasopimus	10 MW	15 min	Useita kertoja vuorokaudessa
Taajuusohjattu käyttöreservi	Vuosi- ja tuntimarkkinat	0,1 MW	Taajuusalueella 49,9-50,1 Hz, aktivoiduttava 3 min. +/- 0,1 Hz:n muutoksesta	Jatkuvasti
Taajuusohjattu häiriöreservi	Vuosi- ja tuntimarkkinat	1 MW	Voimalaitoskoneisto: Aktivoiduttava 50% / 5 s ja 100% / 30 s kun f alle 49,9 Hz.	Voimalaitoskoneisto: Useita kertoja vuorokaudessa
			Relekuorma: Kytkeydyttävä irti 30 s kun f alle 49,7 Hz tai 5 s kun f alle 49,5 Hz	Relekuorma: Melko harvoin
Taajuusohjattu häiriöreservi (on-off-malli)	Pitkäaikainen sopimus	10 MW	Välittömästi, kun f alle 49,5 Hz	Harvoin
Automaattinen taajuudenhallintareservi	Tuntimarkkinat	5 MW	2 min	Fingrid ilmoittaa etukäteen tunnit joille reserviä hankitaan
Nopea häiriöreservi	Pitkäaikainen sopimus	10 MW	15 min	Harvoin
Tehoreservijärjestelmä	Pitkäaikainen sopimus	10 MW	15 min	Harvoin

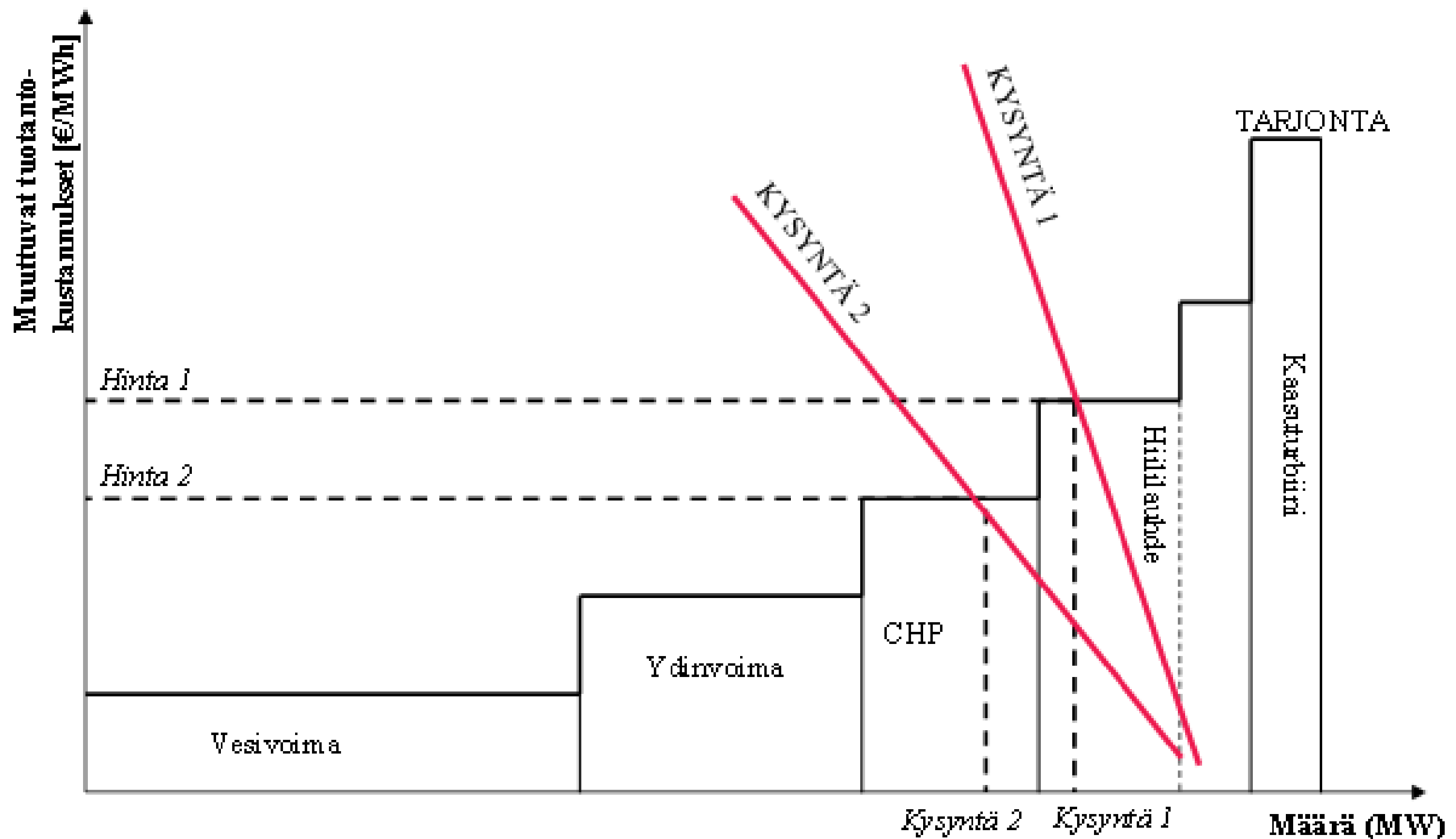


Kysynnän jouston taloudellisen potentiaalin analysointi – esimerkki

- 1 MW:n ohjattavan kuorman simuloitu vuotuinen taloudellinen potentiaali eri markkinapaikoilla vuosien 2011-2013 hintatiedoilla.



Sähköenergian tukkumarkkinahinnan (spot-hinta) muodostuminen

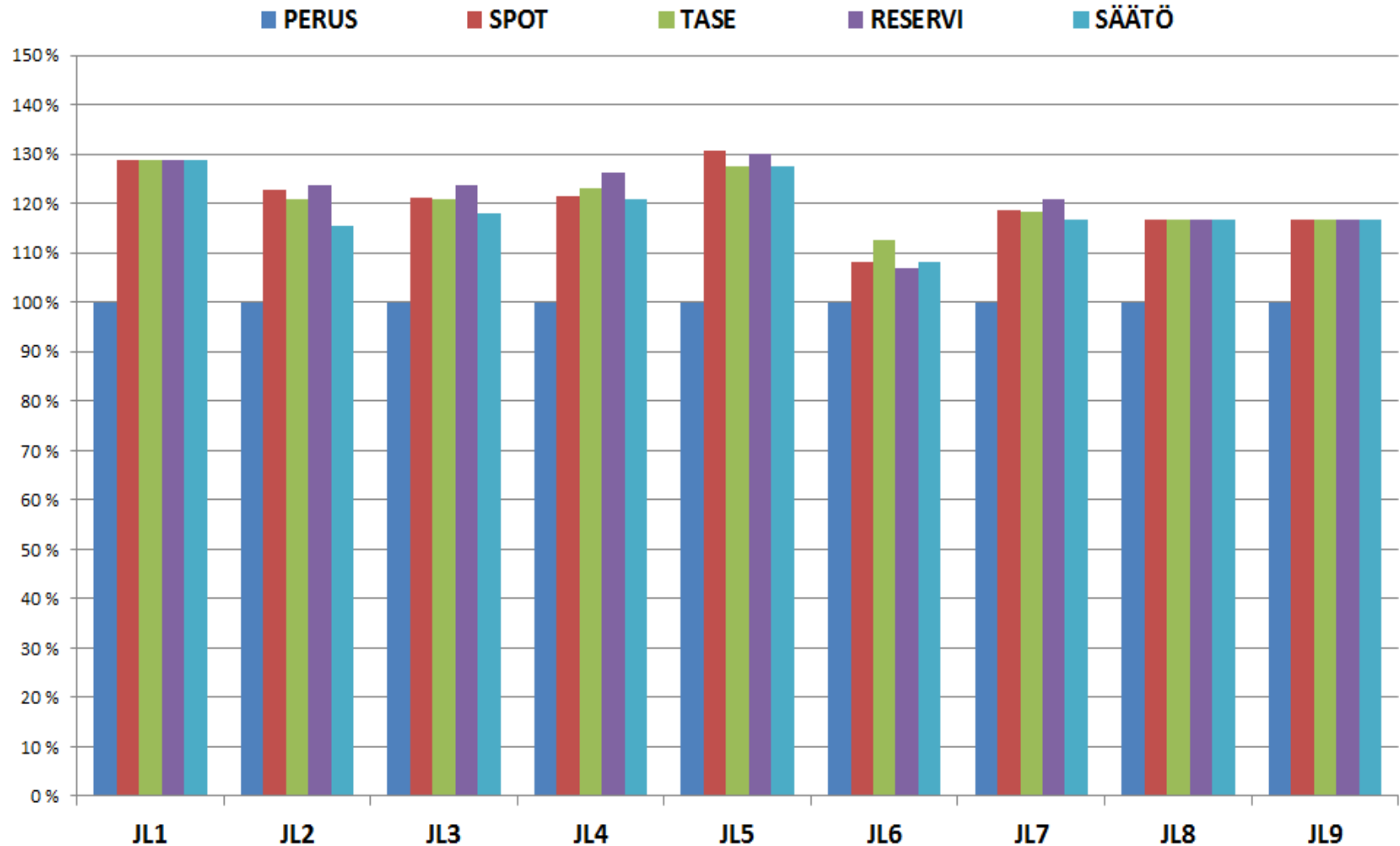


Kysyntäjousto sähkönmyyjän ja verkkoyhtiön näkökulmasta

- Sähkönmyyjällä ja verkkoyhtiöllä on periaatteellinen eturistiriita suhteessa kysynnänjoustoon
- Kumpikin osapuoli voi tarjota kysyntäjoustoon vaikuttavia ja liittyviä tuotteita
 - sähkönmyyjä: Spot-hinta pohjaiset tai muut muuttuvahintaiset tuotteet
 - verkkoyhtiö: uudet teho- ja/tai aikapohjaiset siirtotuotteet
- Spot-hinta pohjaisen sähkösopimuksen sekä erilaisten tehopohjaisten siirtotariffien vaikutuksia jakeluverkkoon simuloitu n. 7 600 asiakasta sisältävän sähkönjakeluverkon alueella

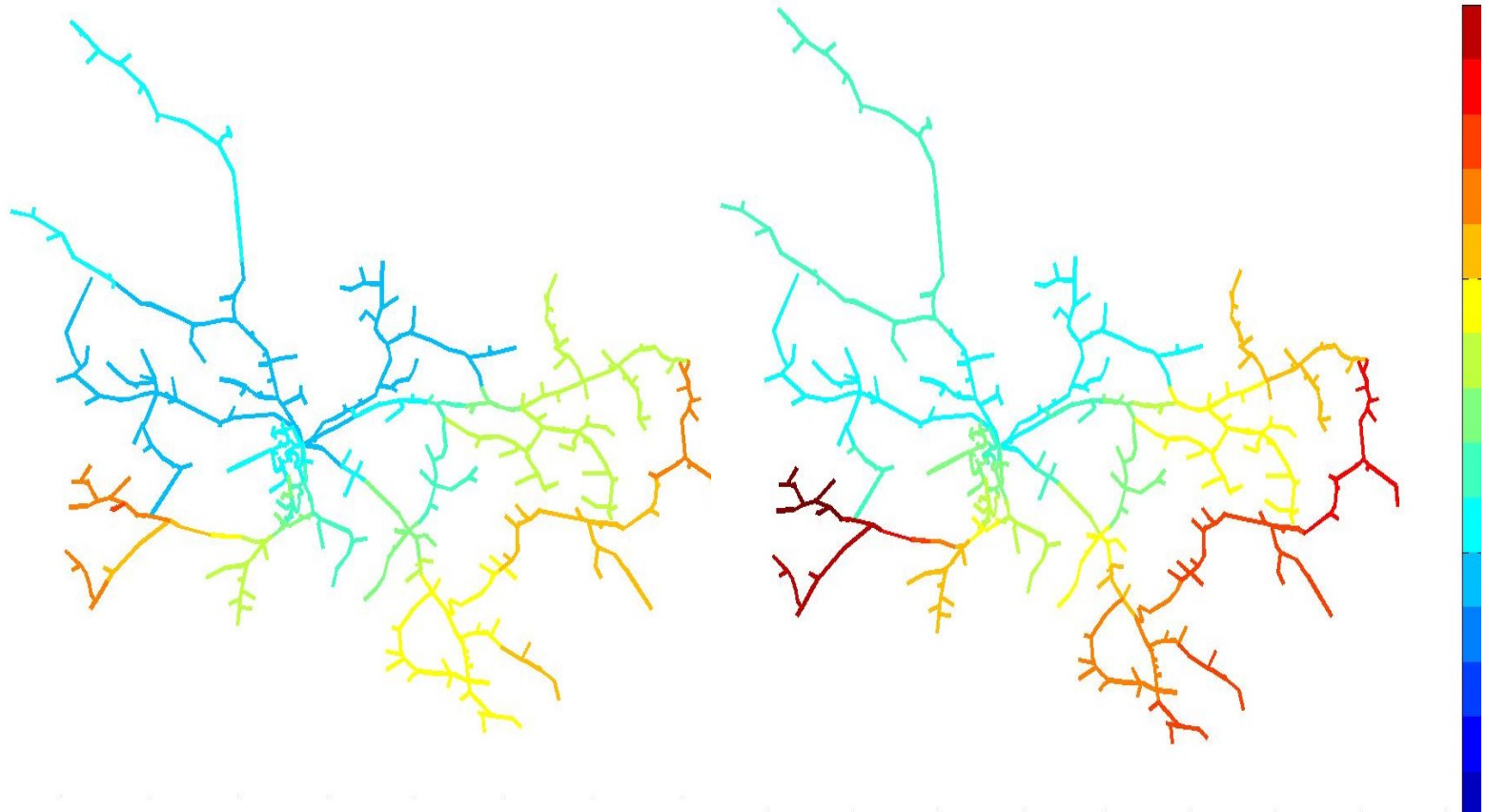


Eri markkinoille tarjottavien kuorman ohjauksen vaikutukset ko. verkon johtolähtöjen huipputehoihin

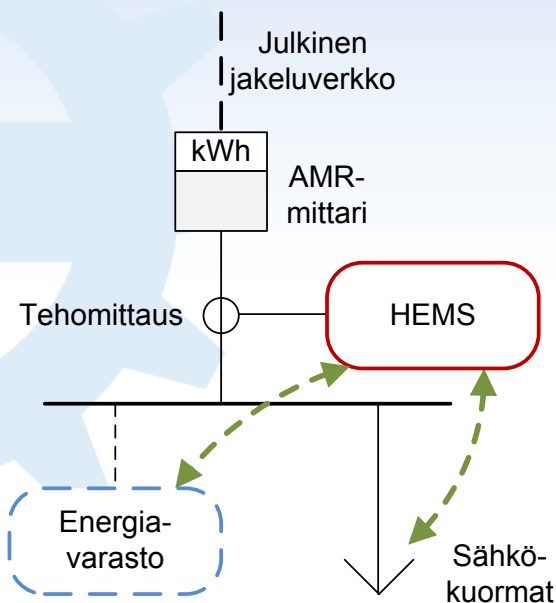


Myyjän tekemien ohjausten vaikutukset jakeluverkkoon

Mallinnettu suurinta SPOT ohjauksen aiheuttamaa muutosta jakeluverkossa. Vaikutukset on mallinnettu jännitteen alenemana. Kuvassa vasemmalla verkko huipputuntien aikaan ilman ohjauksia (21 MW), ja oikealla huippukuormituksen aikaan kuormanohjausten seurauksena (25 MW).

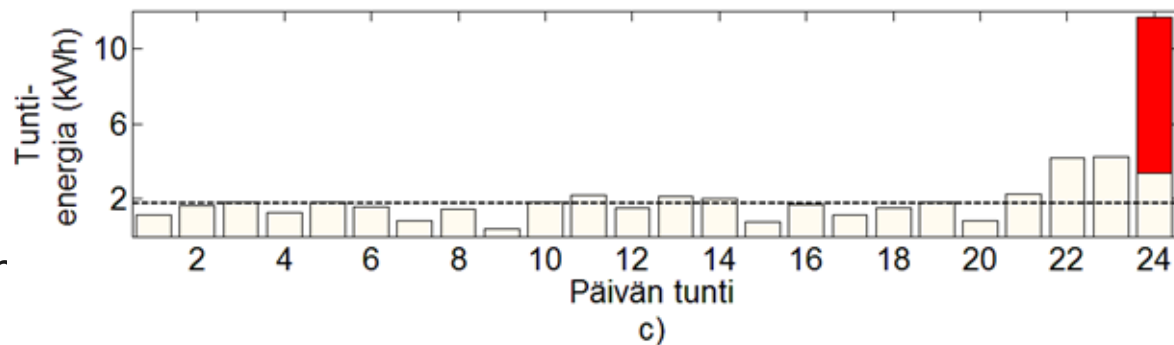
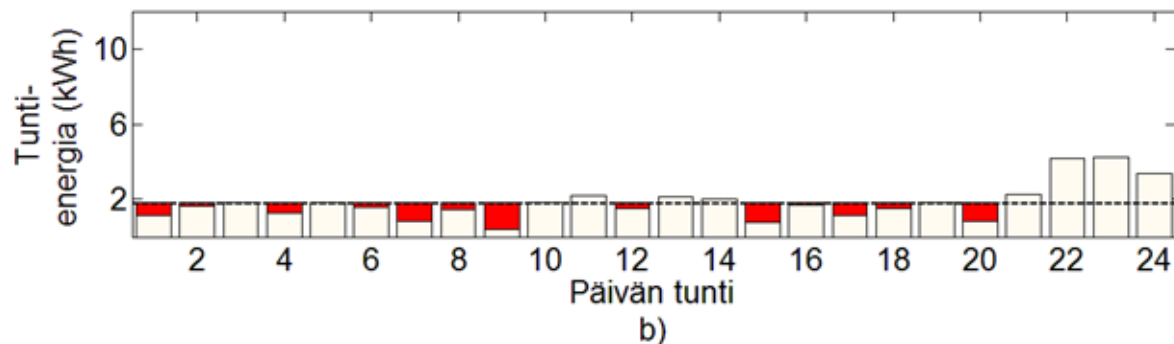
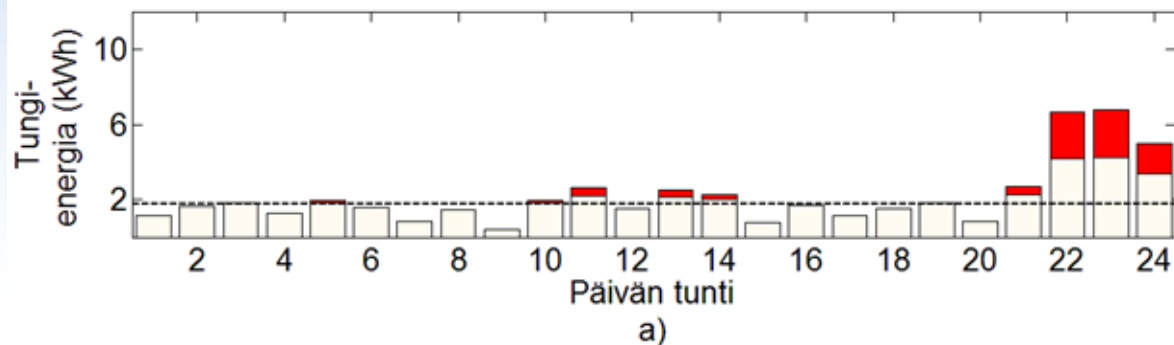


”Hypoteettinen” asiakkaiden kuormanohjausjärjestelmä



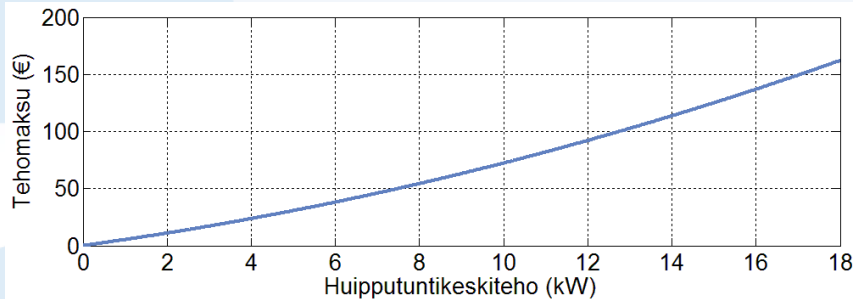
Simuloidut case-tapaukset

- ohjaus pelkän Spot-hinnan perusteella
- ohjaus pelkän siirtotariffin perusteella
- ohjaus edellisten yhdistelmär

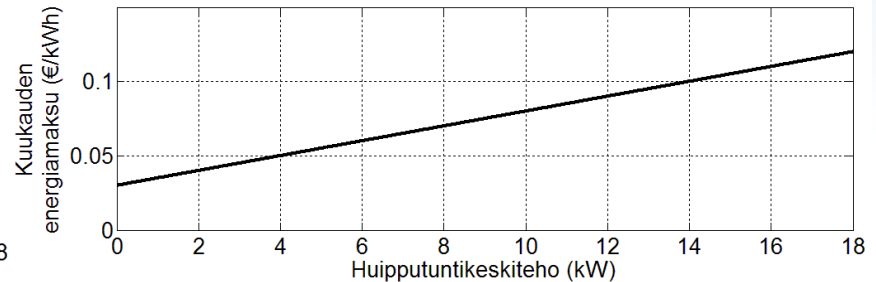


Simuloidut tehopohjaiset siirtotariffit

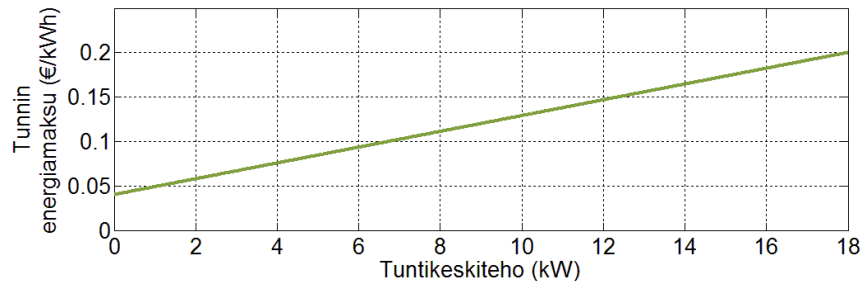
1. Perinteinen tehotariffi (ST1)



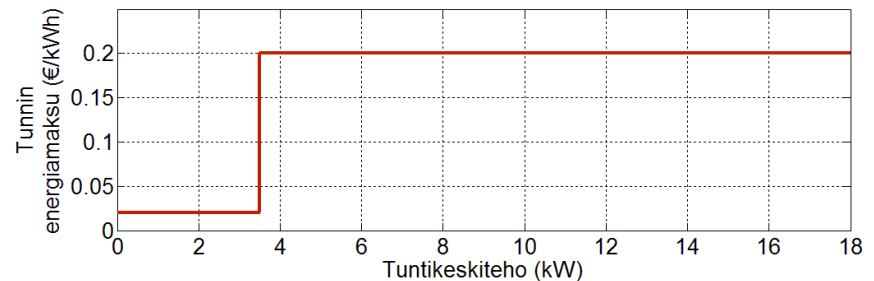
2. Huipputuntiperusteinen energiamaksutariffi (ST2)



3. Tuntikohtainen tehopohjainen siirtomaksu, jatkuva versio (ST3)



4. Tuntikohtainen tehopohjainen siirtomaksu, askelmainen versio (ST4)



5. Tehokaistatariffi: 5, 8, 10 ja 13 kW

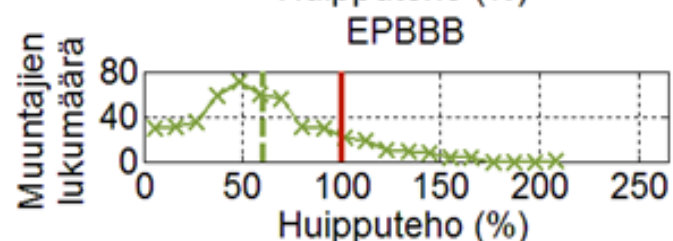
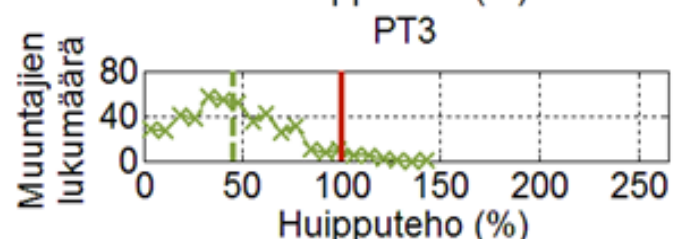
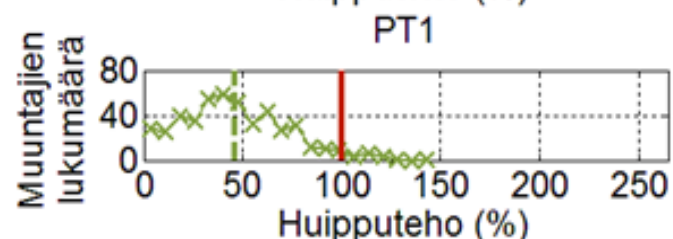
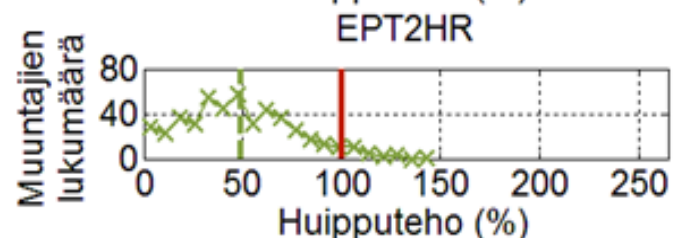
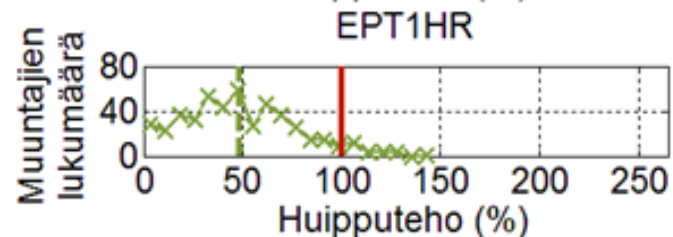
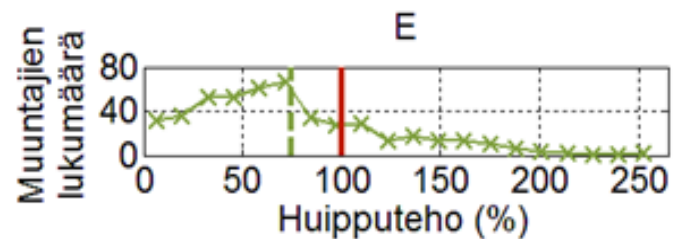
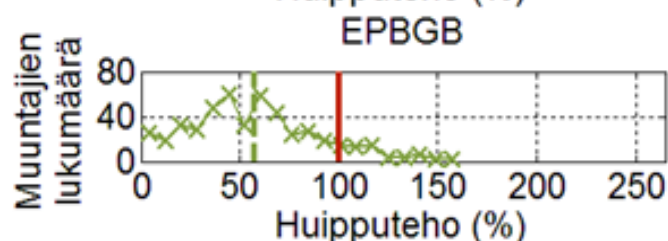
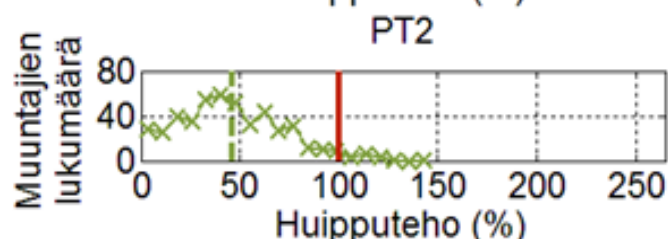
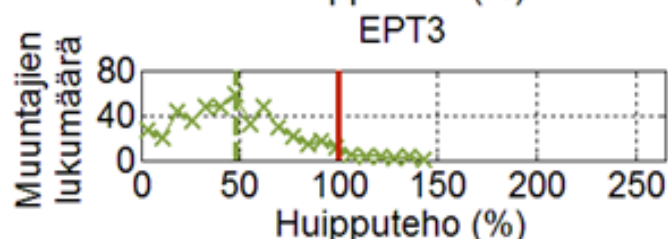
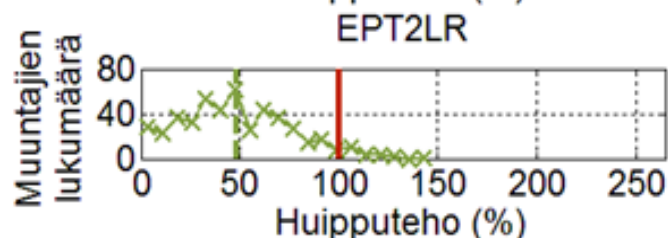
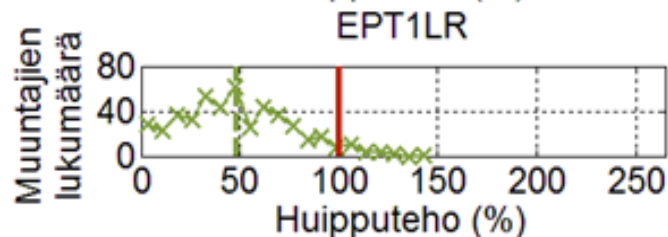
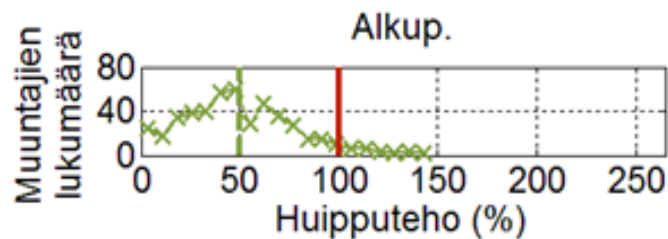


Tehokaista

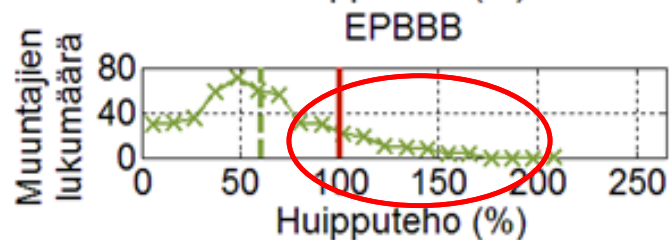
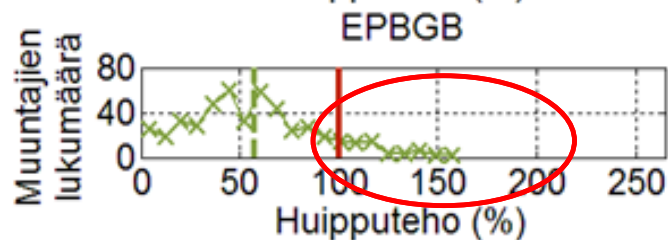
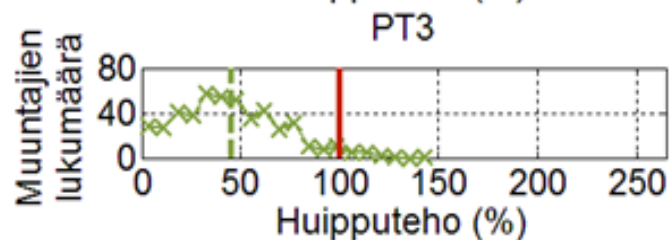
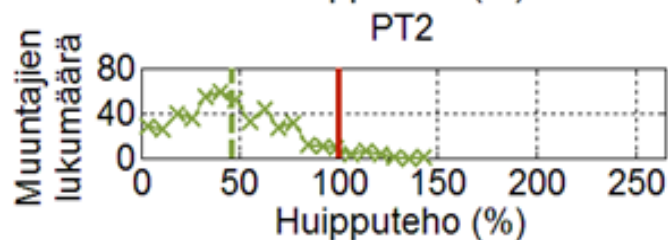
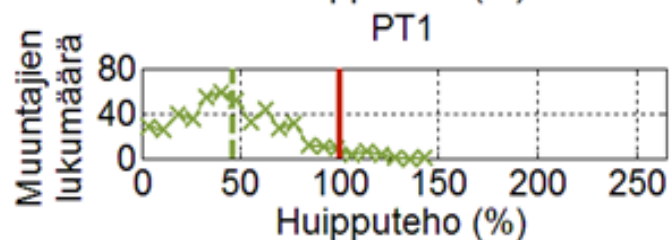
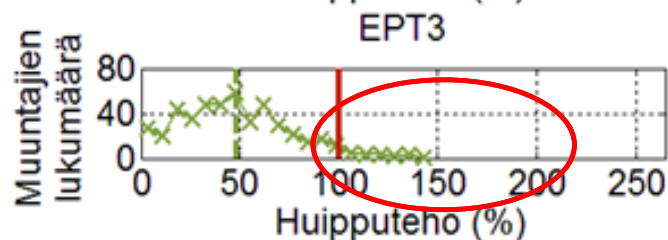
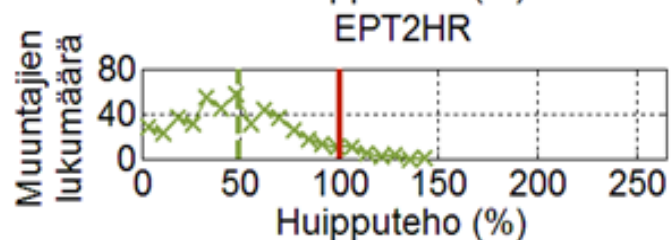
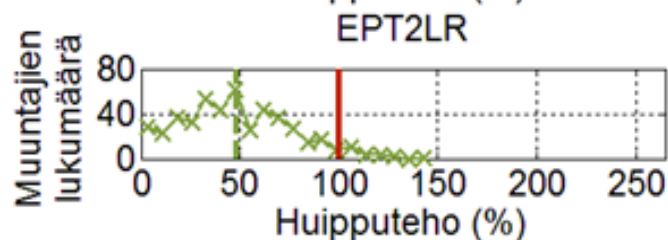
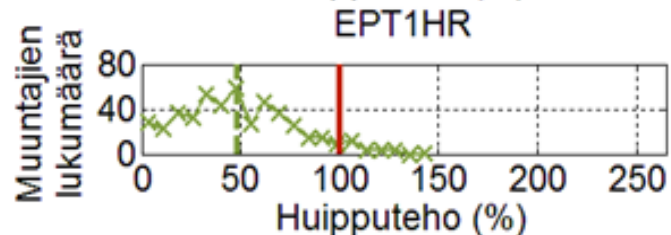
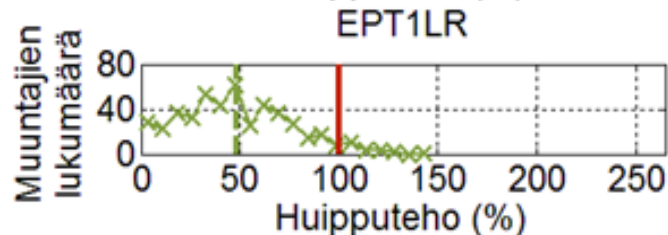
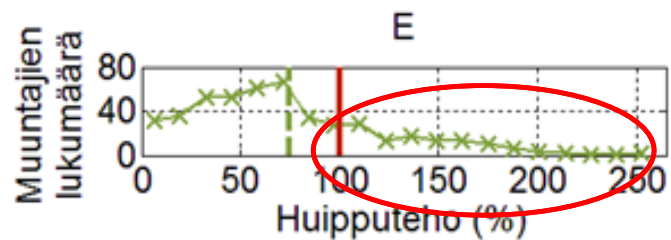
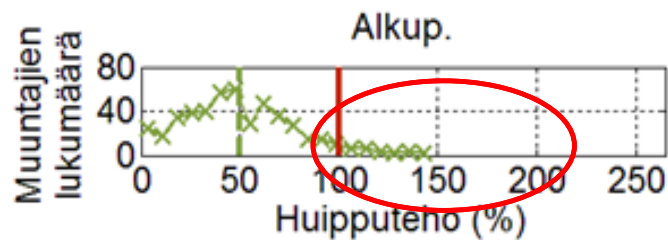
- Tehokaista on asiakaskohtainen tehoraja, jolla on kiinteä kuukausihinta ja jonka asettamisjakso on yksi vuosi
- Oletetaan, että jakeluverkkoyhtiöllä ennalta määrätty kaistatarjonta (näissä tarkasteluissa 5, 8, 10, 13 kW), josta asiakkaalle algoritmi valitsee optimaalisen tehokaistan
- Tehorajan ylityksistä ”sakotetaan”
 - BB (Bad Behaviour): asiakasta ”rangaistaan” ylitysten määrästä
 - GB (Good Behaviour): asiakasta ”rangaistaan” ylitysten suuruudesta
 - ylityksen sakkomaksussa on tehokomponentti
- Jos ennalta asetettu ylitysmäärä vuodessa ylittyy, asiakas siirretään suurempitehoiseen kaistaan



Jakelu- muuntajien huipputehot



Jakelu- muuntajien huipputehot



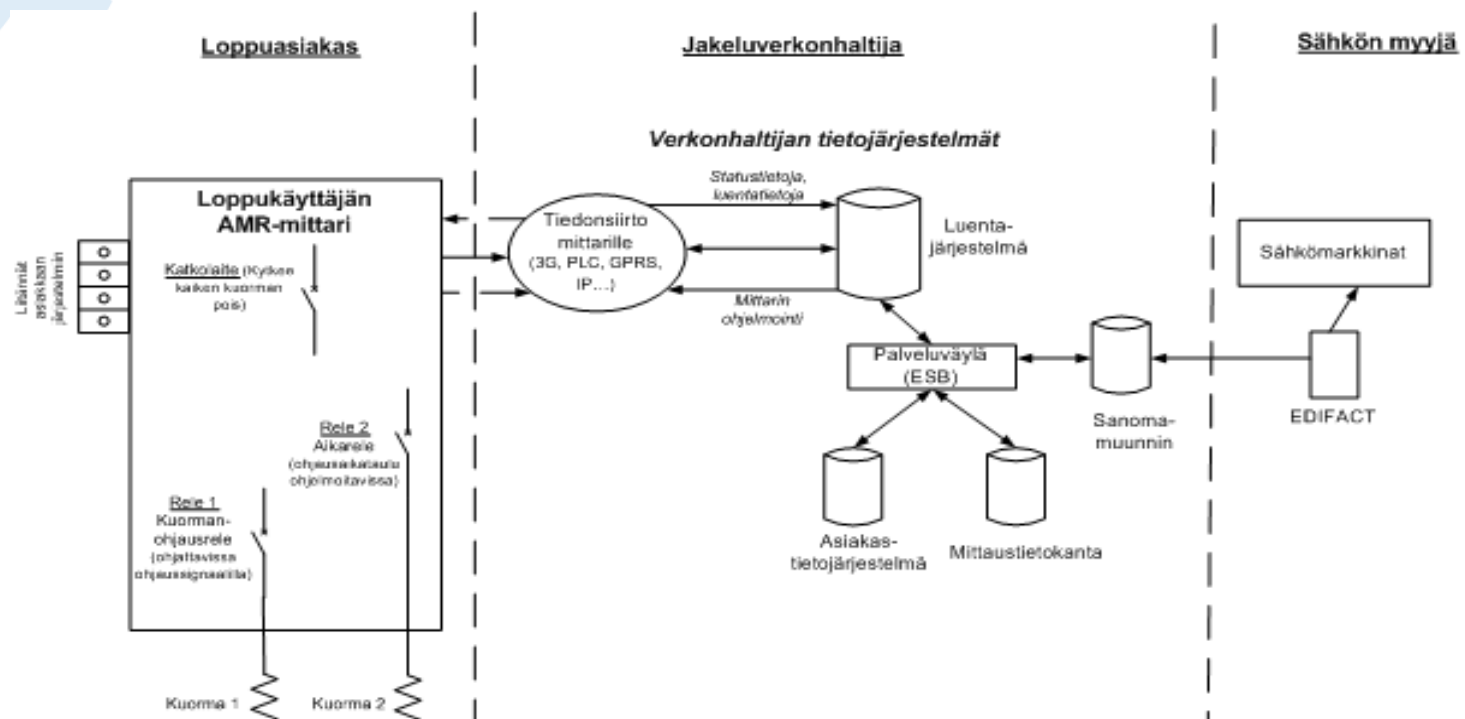
Kysyntäjousto sähkönmyyjän ja verkkoyhtiön näkökulmasta

- Sähkönmyyjällä ja verkkoyhtiöllä on periaatteellinen eturistiriita suhteessa kysynnänjoustoon
- Kumpikin osapuoli voi tarjota kysyntäjoustoon vaikuttavia ja liittyviä tuotteita
 - sähkönmyyjä: Spot-hinta pohjaiset tai muut muuttuvahintaiset tuotteet
 - verkkoyhtiö: uudet teho- ja/tai aikapohjaiset siirtotuotteet
- Spot-hinta pohjaisen sähkösopimuksen sekä erilaisten tehopohjaisten siirtotariffien vaikutuksia jakeluverkkoon simuloitu n. 10 000 asiakasta sisältävän sähkönjakeluverkon alueella
 - **Spot-hinta pohjainen ohjaus kasvattaa verkon kulutushuippuja**
 - **Tehopohjaisella siirtotariffilla voidaan hallita Spot-hinta pohjaisen ohjauksen kasvattamia verkon kulutushuippuja**



Kysynnän jouston toteutusmahdollisuudet (eri markkinapaikoilla)

- 1) **Day-ahead (Elspot) markkinalla** voidaan toteuttaa tuntihintapohjaista ohjausta AMR-mittareiden ohjausaikatauluun kytketyn ohjausreleen kautta. Käyttöön soveltuva ohjattavaa kuormaa on olemassa merkittävästi, verkkoyhtiökyselyn ja tehtyjen laskelmien perusteella yli 1000 MW. Käytännön toteutus vaatii vielä tietojärjestelmärajapintojen standardointia siten, että ohjaussignaalit kulkevat saumattomasti sähkönmyyjien ja verkkoyhtiöiden välillä.



Kysynnän jouston toteutusmahdollisuudet (eri markkinapaikoilla)

- 2) Päivän sisäisen ohjauksen (intra-day, säätösähkö) toteutus on edellistä haasteellisempaa ja sisältää teknisiä haasteita mm. riittävän nopean ja luotettavan tiedonsiirron sekä mittareiden ja keskusten asennusten osalta. Ohjattavaa kuormaa olisi kuitenkin olemassa merkittävästi (edellä mainitun aikaohjatun kuorman lisäksi luokkaa 1000 MW), joskin monessa ohjattavassa kohteessa puuttuu kytkentä AMR-mittarin kuormanohjausreleen ja ohjattavan kuorman välillä.
- 3) Nykyistä AMR –teknologiaa ei voida käyttää sellaisenaan nopeisiin ohjauksiin ja/tai kantaverkkoyhtiön reservimarkkinoille. Esim. paikallisen taajuuden mittauksen hyödyntäminen vaatii vähintään mittarin ohjelmiston päivityksen
- 4) AMR-mittaria kehittyneempiä järjestelmiä (HEMS) tarvitaan pienasiakkaiden ohjauksissa, jos halutaan tarjota ohjauksia reservimarkkinoille tai toteutetaan älykkäämpiä ohjauksia liittyen esim. ohjauksiin hyödynnettäessä pienasiakkaan oman pientuotantoa täysimääräisesti.



Kysynnän jouston toteutusmahdollisuudet (eri markkinapaikoilla)

- 5) Muiden kuin pienasiakkaiden (kotitalous- ja vapaa-ajan kiinteistöjen) kiinteistöjen ohjauksissa muut kuin AMR-pohjaiset ratkaisut, erilaiset kiinteistöautomaatiojärjestelmät, ovat ensisijainen ratkaisu. Kysynnän jouston laajamittaisempi liikkeellelähtö voikin tapahtua **palvelu-, liike- ja toimistorakennuksista**, joissa kohteissa löytyy monipuolisia taloteknisiä ratkaisuja sekä mahdollisesti selkeämpi liiketoimintahyöty.
- 6) AMR-mittareissa olevaa ”Software fuse” –toimintoa voitaisiin hyödyntää pienasiakkaan **tehopohjaisen tariffikomponentin toteutukseen**. Toiminto löytyy suuresta osasta mittareita, mutta toiminnon käyttöönotto vaati yleensä mittarin ohjelmistopäivitystä. Tehotariffi voidaan kuitenkin toteuttaa myös ilman mittarin ko. toiminallisuutta.
- 7) Sähkönmyyjällä ja jakeluverkkoyhtiöllä on periaatteellinen eturistiriita suhteessa kysynnänjoustoon, mikä näkyy hyvin projektissa tehdyissä kuorman ohjauksen ja verkon simulaatioissa
 - spot-hinta -pohjainen kuorman ohjaus voi kasvattaa merkittävästi verkon kulutushuippuja
 - tehopohjaisella siirtotariffilla voidaan hallita näitä Spot-hinta -pohjaisen ohjauksen vaikutuksia



Toimenpide-ehdotukset

Tutkimusprojektin lopputuloksena esitetään lukuisa joukko toimenpiteitä, joilla voidaan edesauttaa laajamittaisen kysynnän jouston yleistymistä. Toimenpiteet liittyvät:

- kysynnän jouston **tuotteistamiseen** sähkön myyjän ja jakeluverkkoyhtiön toimintojen osalta,
- eri sidosryhmien **informointiin** ja koulutukseen,
- **toimintatapojen yhtenäistämiseen** toimintaprosessien sekä teknisten järjestelmien osalta,
- **lainsäädännön, viranomaismääräysten ja ohjeiden kehittämiseen**, joihin sisältyy erityisesti verkkoliiketoiminnan valvontamallin ja rakennusmääräysten kehittäminen kysynnän jouston edellytysten edistämiseksi.

Vastuu toimenpiteistä jakautuu laajasti toimialan yrityksille (mm. sähkön myyjät ja verkkoyhtiöt), toimialan järjestöjen edustajille sekä viranomaisille.

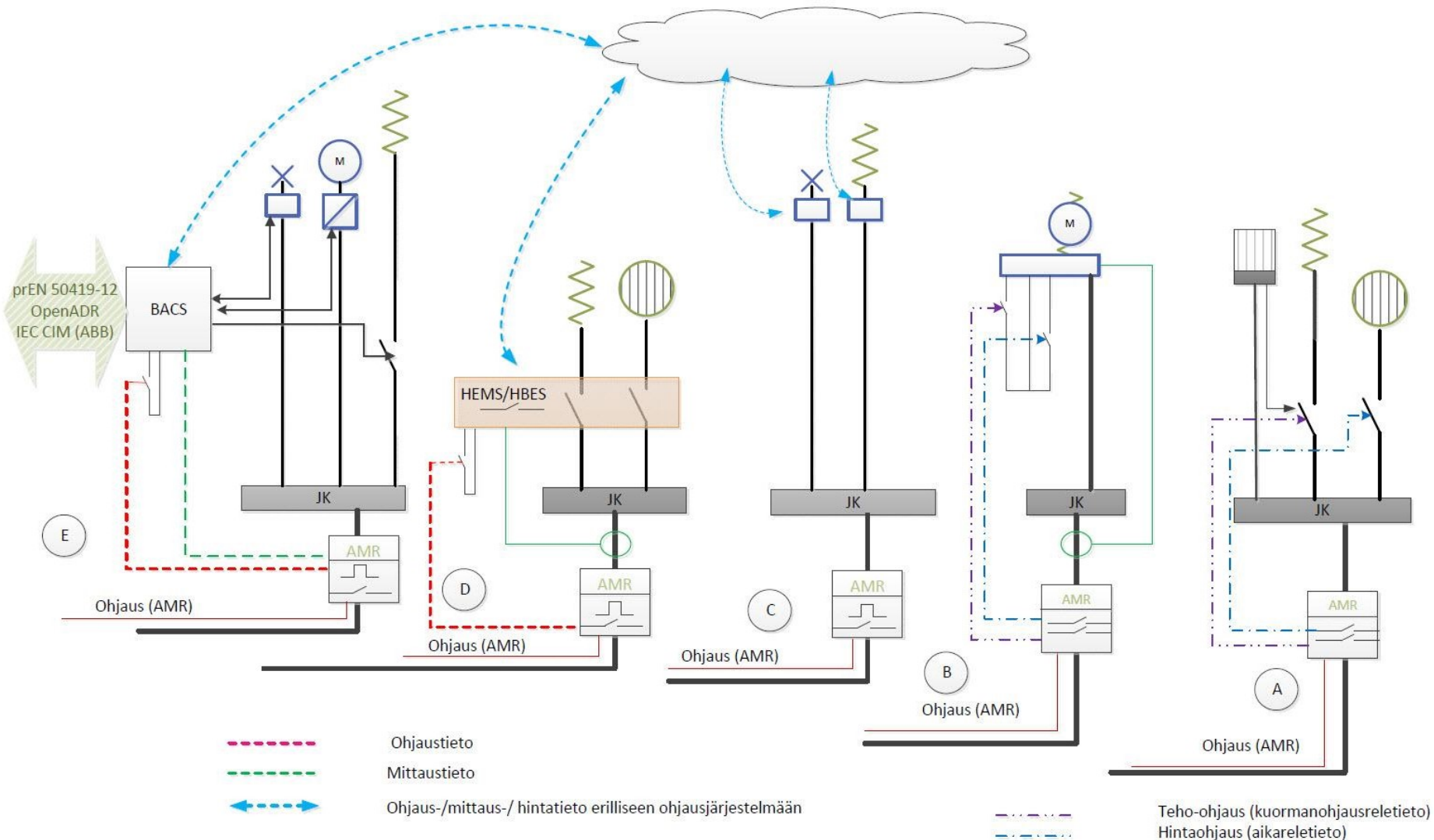


Kuluttajapään tekniset ratkaisut

- Vaihtoehtoisia tarkastelunäkökulmia kiinteistöjen kuormien ohjausmahdollisuuksista, jotka jaoteltiin tutkimusprojektissa seuraavasti:
 - tapahtuuko ohjaus AMR-mittarin välityksellä
 - ohjaus AMR-mittarin ohjausreleeltä suoraan kuormalle
 - välitys AMR-mittarin reletiedosta automaatiojärjestelmään
 - erillisellä järjestelmällä tai siihen varautumisella
 - ohjaustieto sähköyhtiön järjestelmistä tai muista järjestelmistä suoraan kiinteistöautomaatiojärjestelmään
 - ohjaustieto erilliseen ohjausjärjestelmään (esim. HEMS)
 - näiden lisäksi kysynnän joustona voidaan nähdä manuaaliset, kuluttajan ohjaustoimet, jotka tehdään sähkön hinnan mukaan



Kuluttajapään tekniset ratkaisut



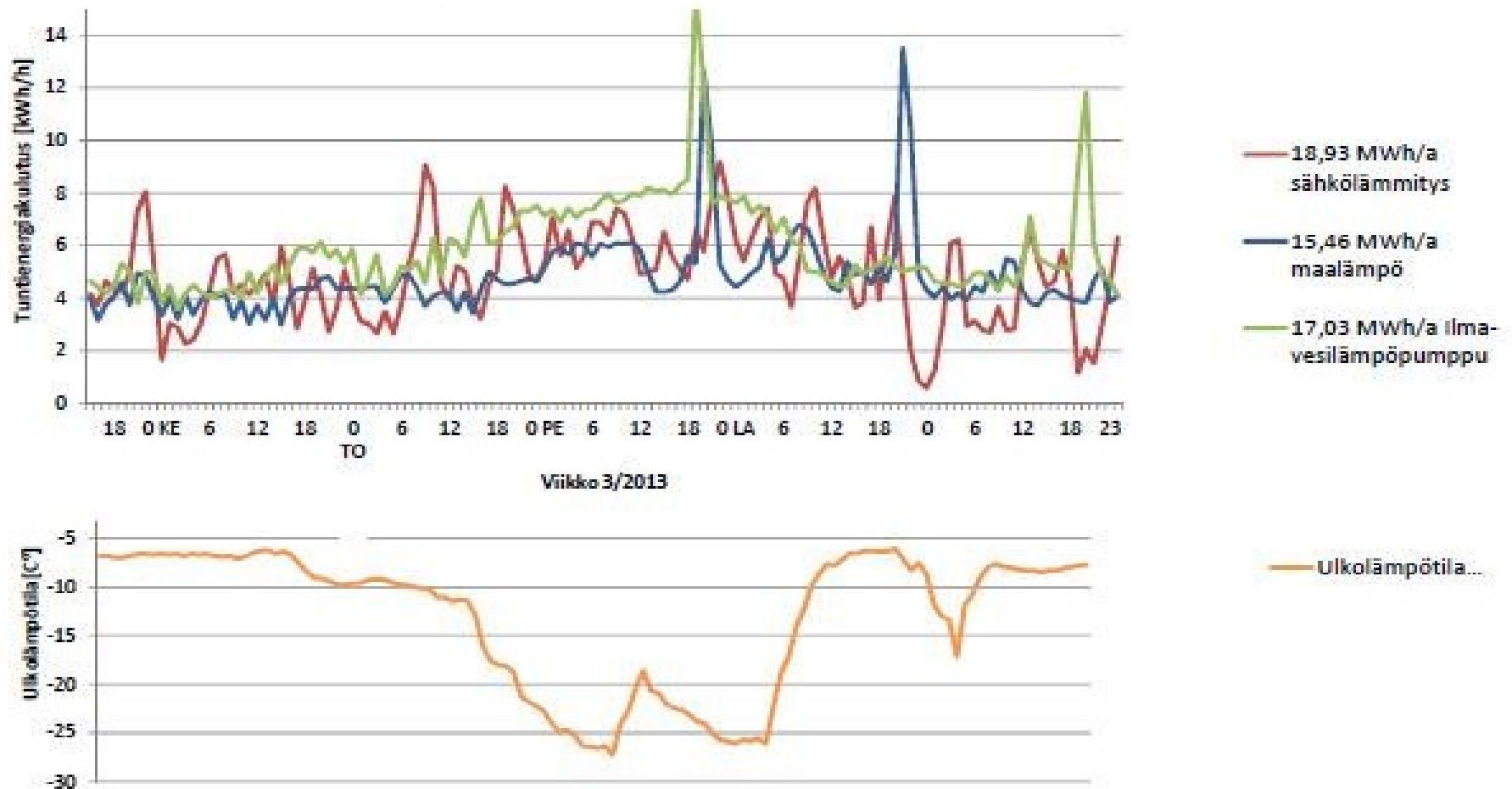
Kuluttajapään tekniset ratkaisut

- A-vaihtoehdossa AMR-mittarin ohjausreleiden tiedolla ohjataan joko aikatiedon tai tehorajoitustiedon mukaan kuormia. Tämä vastaa pitkään käytössä ollutta sähkölämmityksen SLY-kytkentää, mutta soveltuu muuhunkin kuorman ohjaukseen.
- B-vaihtoehdossa ohjaustieto välitetään yksittäiselle laitteelle, jolla on oma ohjausjärjestelmänsä.
- C-vaihtoehdossa yksittäiset ”älykkäät” laitteet saavat ohjaustiedot, kuten esimerkiksi hintatiedon, erillisestä ohjauspalvelusta.
- D-vaihtoehdossa energiahallintajärjestelmä mittaa sähkön käyttöä ja saa hinta- tai muita ohjaustietoja erillisestä palvelusta ja ohjaa tietojen avulla laitteiden sähkön saantia.
- E-vaihtoehdossa kiinteistöautomaatiojärjestelmä voi lukea monipuolisti eri mittaus- ja ohjaustietoja ja suorittaa kuorman ohjauksia samoilla ohjausjärjestelmillä, joilla se tekee muutakin ohjausta.



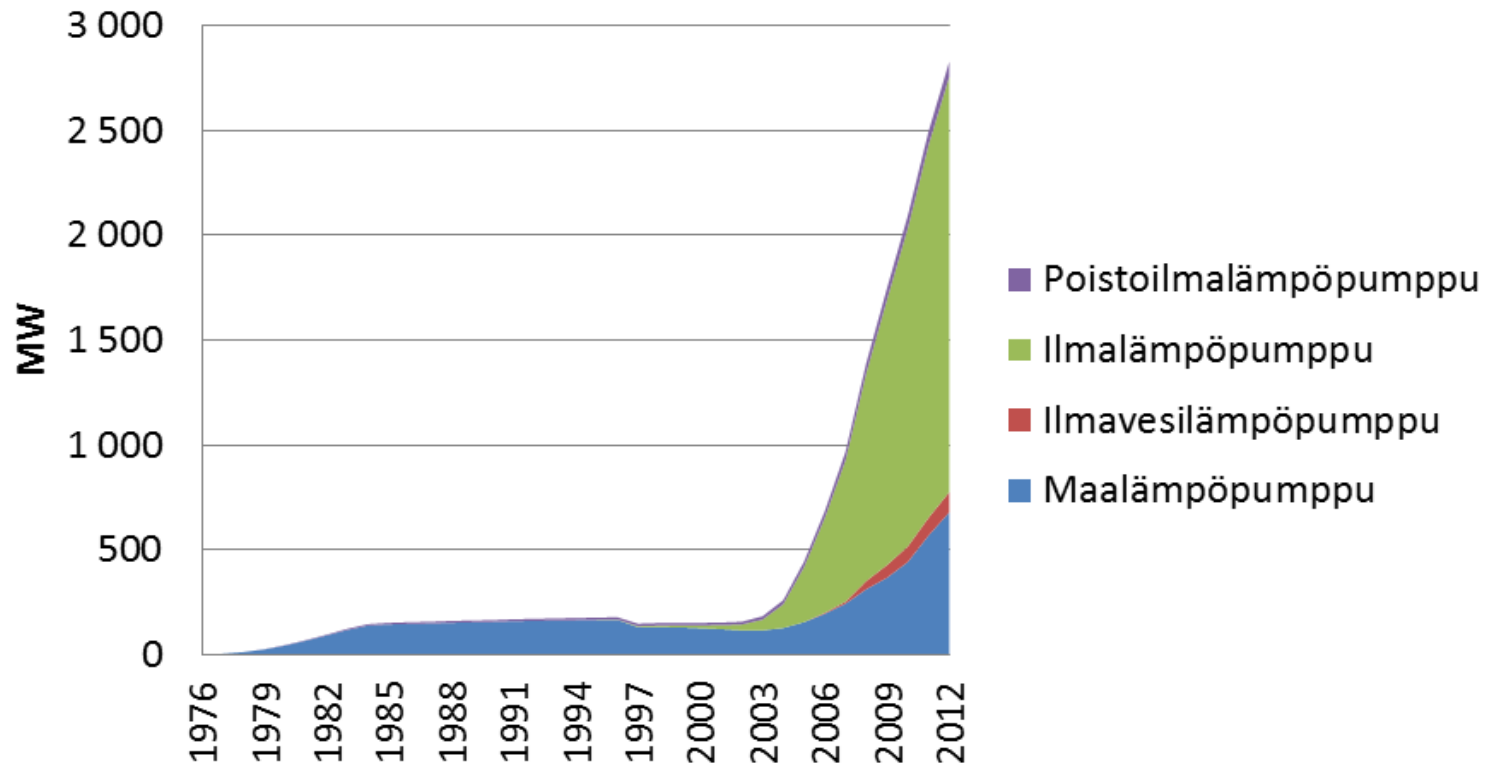
Lämpöpumppujen verkostovaikutukset

Vertailukulutus esimerkkikohteet, viikko 3/2013

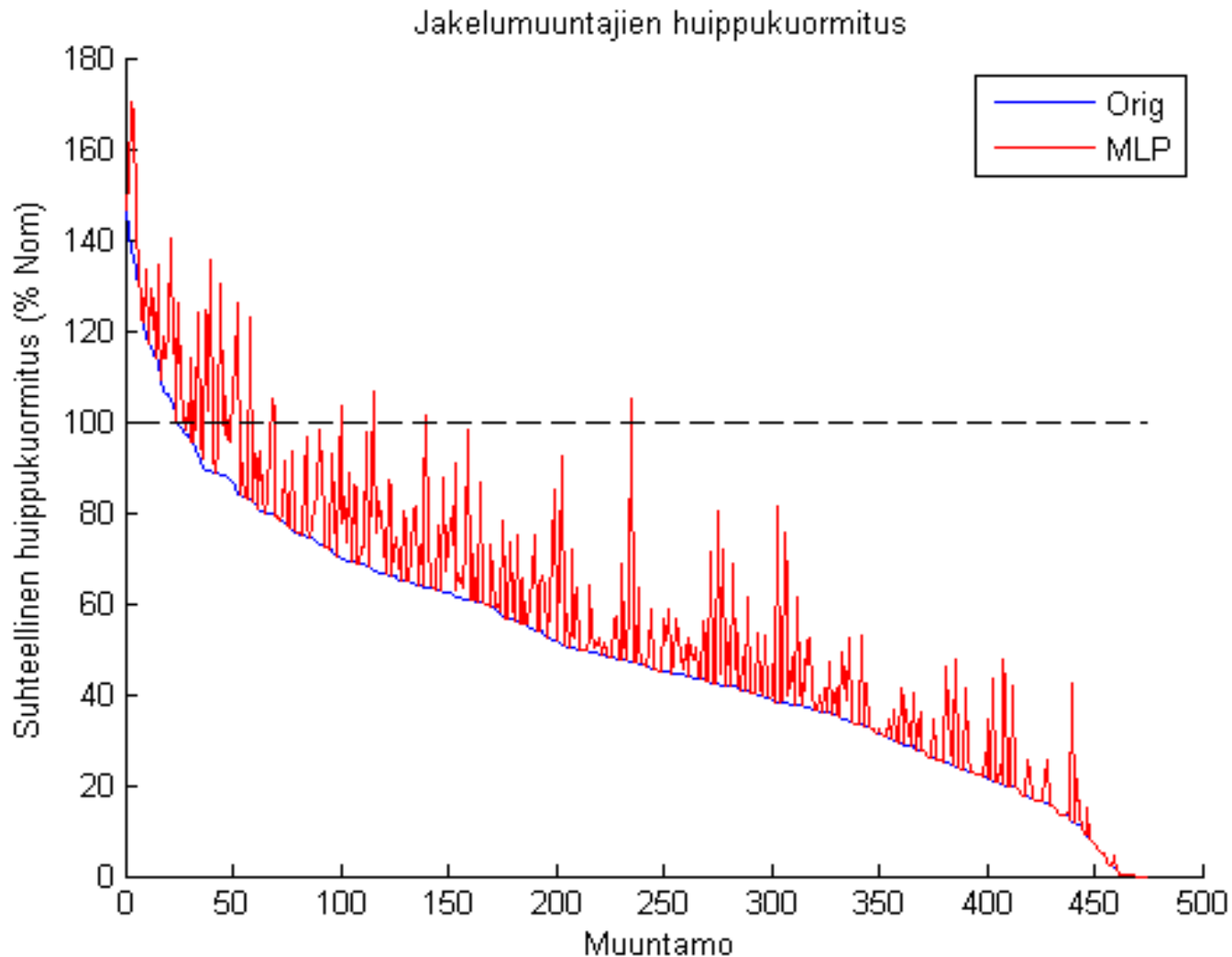


Lämpöpumppujen kapasiteetin kehitys

Asuin- ja palvelurakennusten lämpöpumput,
kapasiteetin kehitys



Maalämpöpumppujen verkostovaikutukset



Arvio liike-, toimisto- ja opetusrakennusten sähkötehoista

	Arvio sähkötehosta / MW					
	Rakennuksia, kkm	Kerrosala, m ²	Ilmanvaihto	Jäähdytys	Valaistus	Sulapilto (sähkö)
Liikerakennukset	42580	28320836	160	140	540	30
Toimistorakennukset	10907	19229947	90	160	240	20
Opetusrakennukset	8916	18104779	160	40	220	20
			410	340	1000	70

Case –tarkastelu (TAMK) ilmanvaihdon ja valaistuksen ohjauksesta reservimarkkinoiden näkökulmasta

Järjestelmä	Laajuus	Ohjaus	Aikaviive	Tehovaikutus käyttöaikana (H-osa, 6800m2)	Arvio koko kiinteistössä (47000m2)
Ilmanvaihto	Koko rakennusosan ilmanvaihto (6 ilmanvaihtokonetta)	pudotus noin 40 % ilmamäärälle	alle 15 s	18-20 kW	noin 130 kW
Yleisvalaistus	Koko rakennusosan säädettävä valaistus (opetus- ja työtilat)	pudotus 30 %	noin 30 s	3-6 kW	noin 30 kW

