

# Sähkönjakeluverkon saarekekäyttöratkaisut

- Sähkötutkimuspoolin sekä Sähkötekniikan ja energiatehokkuuden edistämiskeskus ry:n (STEK) rahoittama tutkimusprojekti

Energia-alan tutkimusseminaari, 30.1.2024



Prof. Pertti Järventausta  
Sähkötekniikka  
Tampereen yliopisto

## Tutkimusprojektin taustaa (1/3)

- **Vihreä siirtymä (=energiamurros)** vaikuttaa monella tavoin sähkönjakeluverkkoihin sekä sähköteknisten kysymysten sekä sähköverkkoliiketoiminnan näkökulmasta, esim.:
  - hajautettuja energia-resursseja voidaan hyödyntää monin tavoin **joustavina resursseina** paikallisen sähkönjakeluverkon kehittämisessä esim. käyttövarmuus- ja siirtokapasiteettivaatimusten näkökulmasta sekä koko voimajärjestelmän käyttö- ja häiriöreserveinä reservimarkkinoilla.
  - avaa myös uusia mahdollisuuksia esim. **paikallisten saarekkeiden** (mikroverkkojen) muodostamiseen
- Saarekekäyttöratkaisut, olipa saareke osa jakeluverkkoyhtiön julkista jakeluverkkoa tai asiakkaan oma kiinteistöverkko, tuovat mukanaan **uusia haasteita ja tutkimuskysymyksiä**, jotka voivat olla:
  - sähkötekniisiä, esim. eri tuotantoyksiköiden säätö ja suojauksen toiminnan turvaaminen saarekkeessa.
  - liiketoimintaan ja verkkoyhtiöiden valvontamalliin tai sähköturvallisuuteen ja lainsäädäntöön liittyviä.
- Saarekeratkaisuja on hyvin erilaisia ja niiden erityispiirteet riippuvat mm. tuotantoyksikön tyypistä (akku, aurinkopaneeli, dieselvaravoima, polttokenno, mikroturpiini...), jännitetasosta ja -tyypistä (AC vai DC), energiaresurssien saatavuudesta, kuormitusten ominaisuuksista ja suojauksien toteutuksesta.
  - kaikkiin saarekekäyttöratkaisuihin ei välttämättä sovellu samanlaiset säätö-, tehonohjaus- ja suojaustavat

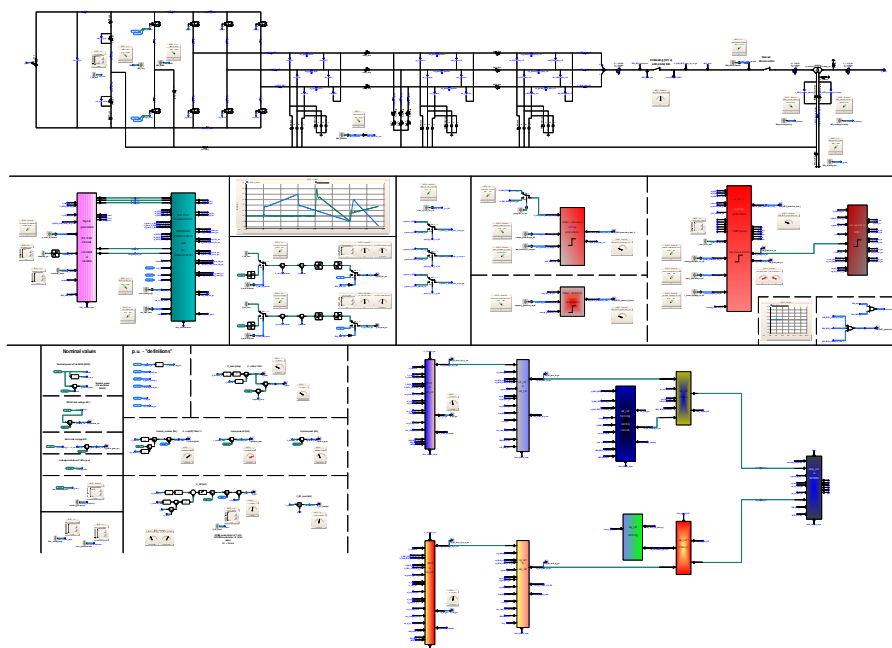
## Tutkimusprojektin taustaa (2/3)

- Sähkömarkkinadirektiivi (EU) 2019/944 ja kesällä 2021 voimaan tullut uusi sähkömarkkinalaki edellyttävät, että perinteisten investointivaihtoehtojen rinnalla jakeluverkkoyhtiön pitää tarkastella myös hajautettujen resurssien tarjoamia joustoja osana verkon kehittämissuunnitelmaa.
- Vuoden 2024 alussa voimaan tullut uusi sähköjakeluverkkojen verkkoliiketoiminnan valvontamalli sisältää verkkotoimintaa tukevien joustojen hankintaa edistävän uuden joustokannustimen.
- Sähkömarkkinadirektiivi (EU) 2019/944 määrittelee energiajärjestelmän uuden oikeudellisen toimijan, kansalaisten energiayhteisön, jonka tietyt implementaatiot mahdollistavat myös paikallisten mikroverkkojen muodostamisen joko asiakkaiden omina ratkaisuin (esim. kiinteistöverkot) tai osana julkista jakeluverkkoa (esim. paikallinen hajautettu energiayhteisö).

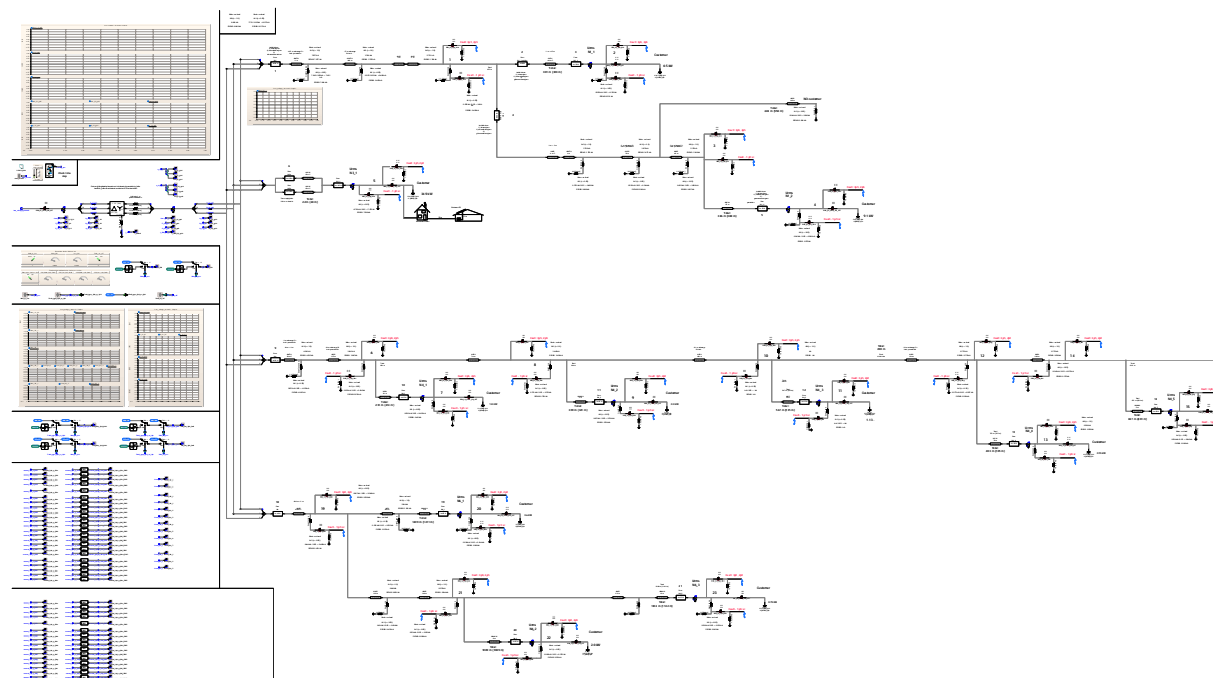
## Tutkimusprojektin taustaa (3/3)

- Tutkimusprojektin lähtökohtana oli vuonna 2021 Caruna Oy:lle tehty erilliselvitys akkuvarastoon pohjautuvan saarekkeen suojauskysymyksistä, erityisesti sulakesuojauksen herkkyiden ja selektiivisyyden toteutumisesta (<https://www.epressi.com/tiedotteet/energia/tutkimustietoa-sahkovarastoista-caruna-mallinsi-tampereen-yliopiston-kanssa-akkujen-toimintaa.html>)
  - Selvityksen yhteydessä muodostettiin akkuvarmennetusta keski- ja pienjänniteverkosta yksityiskohtainen PSCAD-simulointimalli, jota voitiin osin hyödyntää lähtökohtana kehitettäessä ”Sähkölakeluverkon saarekekäyttöratkaisut” –projektin simulointimallia

Akun ja vaihtosuuntaajan malli ohjauslogiikoinen (PSCAD)



PJ-verkon simulointimalli (PSCAD)

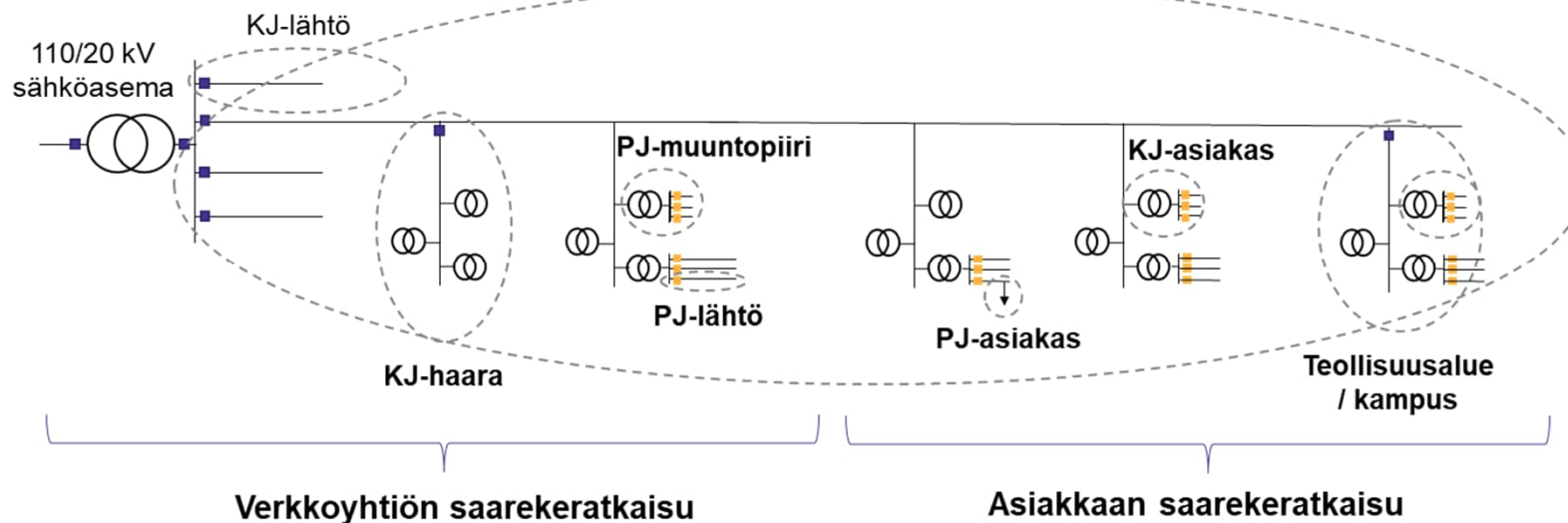


# Tutkimusprojektin osatehtävät ja toteutus

- Projektin tavoitteena oli luoda ymmärrystä saarekekäyttöihin liittyvistä ratkaisuisista ja peruseriaatteista, sekä tehdä yksityiskohtaisempia tarkasteluja valituista saarekekäyttöön liittyvistä sähköteknisistä kysymyksistä
- Tutkimusprojekti jakautui kolmeen osatehtävään:
  - 1) Saarekekäyttöön liittyvien tutkimuskysymyksien ja ratkaisuvaihtoehtojen kartoitus
  - 2) Saarekekäyttöihin liittyvät sähkötekniset kysymykset
  - 3) Verkkoliiketoimintaan ja lainsäädäntöön liittyvät kysymykset
- Tutkimusmenetelmät
  - Kirjallisuusselvitykset sekä laaja verkkoyhtiöille ja asiakkaille kohdennettu kyselytutkimus
  - PSCAD-simulointimallin kehitys ja sillä tehdyt tarkastelut
- Tutkimuksen toteutuksesta on vastannut Tampereen yliopiston (TAU) Sähkötekniikan yksikön tutkimusryhmä (DI Lasse Peltonen, tekn. yo. Kukka Leppänen sekä prof. Pertti Järventausta ja prof. Sami Repo) yhteistyössä Tampereen ammattikorkeakoulu (TAMK) sähköisen talotekniikan ryhmän (DI Kari Kallioharju, DI Juho Ylipaino ja TkL Pirkko Harsian) kanssa.

# Saarekeratkaisujen hyödyntäminen joustoressursseina

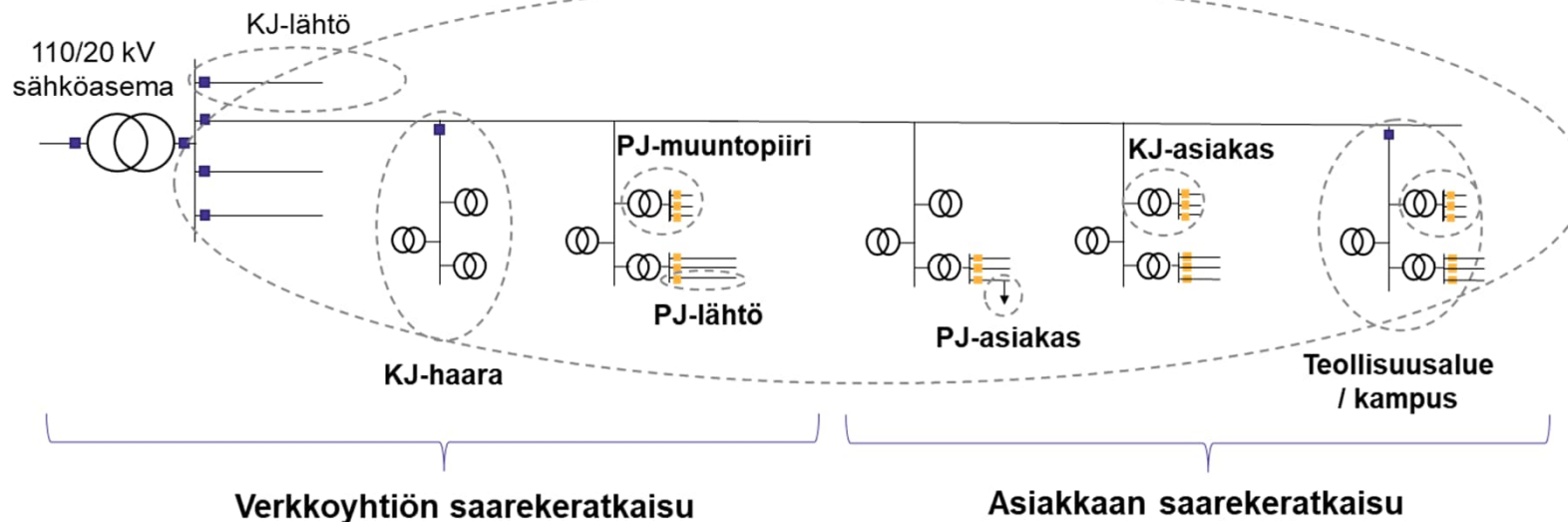
- ”Perinteiset” jakeluverkkoyhtiön oman verkon saarekekäytöt (sisältää myös mobiilivaravoiman)
- Uudet verkkoyhtiöiden verkossa olevat ratkaisut
  - Akkupohjaiset ratkaisut (verkkoyhtiön oma / ostettava palvelu)
  - Hajautettu paikallinen energiayhteisö (jakeluverkon yli toimiva yhteisö)
- Asiakkaiden (kiinteistö/kiinteistöryhmä) omat ratkaisut
  - ”Perinteiset” varavoimaratkaisut (kaupat, maatilat)
  - Kiinteistön sisäinen energiayhteisö
  - Kiinteistörajan ylittävän erillisen linjan mahdollistama energiayhteisö



# Saarekeratkaisujen hyödyntäminen joustoressursseina

- ”Perinteiset” jakeluverkkoyhtiön oman verkon saarekekäytöt (sisältää myös mobiilivaravoiman)
- Uudet verkkoyhtiöiden verkossa olevat ratkaisut
  - Akkupohjaiset ratkaisut (verkkoyhtiön oma / ostettava palvelu)
  - Hajautettu paikallinen energiayhteisö (jakeluverkon yli toimiva yhteisö)
- Asiakkaiden (kiinteistö/kiinteistöryhmä) omat ratkaisut
  - ”Perinteiset” varavoimaratkaisut (kaupat, maatilat)
  - Kiinteistön sisäinen energiayhteisö
  - Kiinteistörajan ylittävän erillisen linjan mahdollistama energiayhteisö

- Käyttö- ja hyödyntämistavat
  - Keskeytystilanteiden hallinta
  - Kapasiteettijoustot (pullonkaulatilanteet)
  - Saarekekäyttöjen hyödyntäminen tehopulatilanteissa
  - Kuormien ohjauksen hyödyntäminen saarekkeen hallinnassa (laajuus ja kesto)



# Sähkönjakeluverkkoon liittyvät saarekekäytöt, käyttötapaukset ja niiden kannattavuuden perusteet

- Diplomityö
  - Kukka Leppänen, Sähkönjakeluverkkoon liittyvät saarekekäytöt, käyttötapaukset ja niiden kannattavuuden perusteet. Tampereen yliopisto, 2023 (<https://trepo.tuni.fi/handle/10024/151654>)
- Diplomityön tutkimuskysymykset
  - Mitä sähkönjakeluverkkoon liittyvällä saarekekäytöllä tarkoitetaan ja mitä saarekeverkolta vaaditaan?
  - Millaisia saarekekäyttöjä jakeluverkkoyhtiöillä ja heidän asiakkailaan Suomessa on käytössä tai suunnitteilla?
  - Mitkä tekijät vaikuttavat saarekekäytön taloudelliseen kannattavuuteen?
  - Minkälaisia toimenpiteitä vaaditaan, ja miten saarekekäyttöä pitää kehittää, jotta saarekekäyttö yleistyisi?
- Toteutukseen liittyy mm. laaja laaja verkkoyhtiöille ja asiakkaille kohdennettu kyselytutkimus

## 1. JOHDANTO

### 2. SÄHKÖJAKELUVERKKOON LIITTYVÄT SAAREKEKÄYTÖT

- 2.1 Sähköverkon saarekkeen energiaresurssit ja kuormat
  - 2.1.1 Dieselgeneraattori
  - 2.1.2 Aurinkovoimala
  - 2.1.3 Polttokenno
  - 2.1.4 Energiavarastot
  - 2.1.5 Saarekeverkon kuormat

### 2.2 Saarekekäyttö

### 2.3 Saarekeratkaisujen sijainti

### 2.4 Saarekkeen käyttö- ja hyödyntämistavat

### 2.5 Saarekekäyttö verkkoliiketoiminnan valvonnan näkökulmasta

### 2.6 Esimerkkejä sähkönjakeluverkon saarekkeista

## 3. SÄHKÖVERKON SAAREKKEET JA ENERGIAYHTEISÖT

## 4. TUTKIMUSMENETELMÄ JA AINEISTON HANKINTA

### 4.1 Kyselytutkimus tutkimusmenetelmänä

### 4.2 Kyselytutkimuksen kohderyhmät

### 4.3 Kyselytutkimuksen toteutus

## 5. KYSELYTUTKIMUKSEN TULOKSET JA ANALYYSI

### 5.1 Sähköverkkoyhtiöille teetetyn kyselyn tulokset

#### 5.1.1 Verkkoyhtiön omat saarekeratkaisut

#### 5.1.2 Asiakkaiden saarekekäytöt verkkoyhtiön verkkoalueella

#### 5.1.3 Saarekekäytön kehitystarpeet ja mahdollisuudet

### 5.2 Maatilayrittäjille teetetyn kyselyn tulokset

### 5.3 Yhteenveto kyselytutkimuksen tuloksista

## 6. SAAREKEKÄYTÖN TALOUDELLISEN KANNATTAVUUDEN PERUSTEET

### 6.1 Saarekekäytön taloudellisen kannattavuuden arviointi

### 6.2 Käyttötapauksen taloudellisen kannattavuuden arviointi esimerkkiverkossa

## 7. JOHTOPÄÄTÖKSET JA TOIMENPIDE-EHDOTUKSET

## 8. YHTEENVETO

### LÄHTEET

#### LIITE A: KYSELY JAKELUVERKKOYHTIÖILLE

#### LIITE B: KYSELY MAATILAYRITTÄJILLE

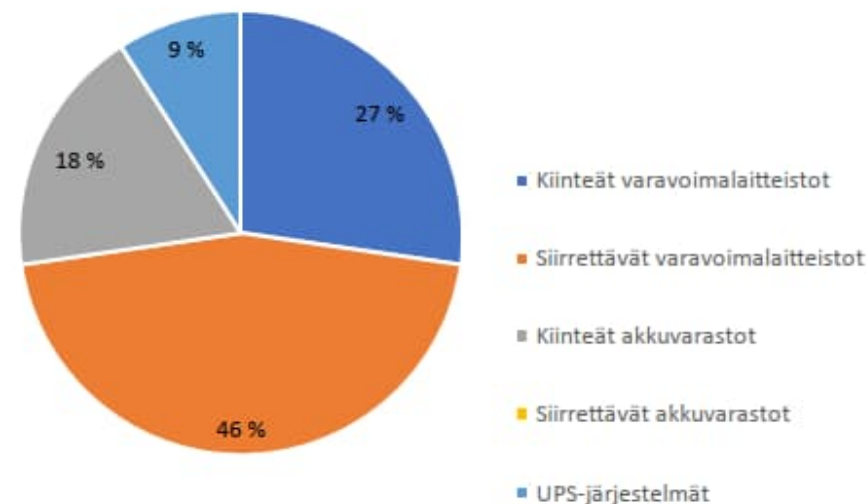
#### LIITE C: KYSELY KAUPAN ALAN YRITYKSILLE JA HUOLTOASEMILLE



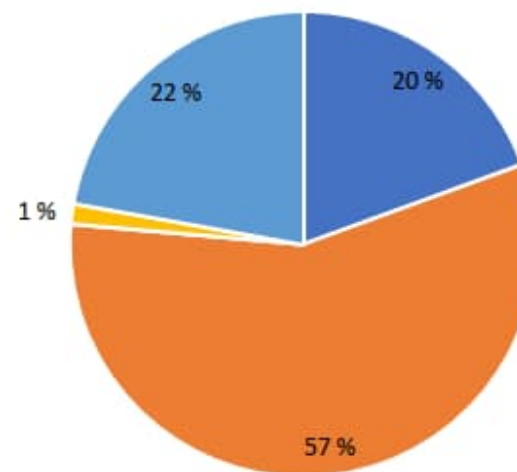
# Kyselytutkimus

- Jakeluverkkoyhtiöt
  - Saarekekäyttömahdollisuudet, niissä käytetyt energiaressit, hyödyntämistavat, saarekoitumis- ja ohjaustavat, suojaus sekä sähköturvallisuus
  - Verkkoalueella olevat asiakkaiden saarekekäyttömahdollisuudet, vuorovaikutus asiakkaiden kanssa
  - Asiakkaiden saarekekäyttömahdollisuuksien hyödyntäminen toimitusvarmuus- ja kapasiteettijoustopalveluna
  - Haasteet ja mahdollisuudet
- Maatilayrittäjät, kaupan alan yritykset ja huoltoasemat
  - Varavoimailaitteistot, niiden hyödyntämistavat, saarekoitumis- ja ohjaustavat, suojaus sekä sähköturvallisuus
  - Toimitusvarmuus- ja kapasiteettijoustopalveluiden tarjoaminen
  - Haasteet ja mahdollisuudet

Energiaresurssit jakeluverkkoyhtiöillä



Energiaresurssit maataloilla



## Nostoja kyselyn tuloksista - hyödyntämistapoja

- Saarekkeita käytettiin lähinnä keskeytystilanteissa turvaamaan kriittisten kuormien toimintaa tai pienentämään taloudellisia tappioita
  - Kaapelointi vähentänyt hyödyntämistarvetta haja-asutusalueilla
- Ei vielä juurikaan hyödynnetty investointien lykkäykseen/energiakustannusten pienentämiseen
- Käyttömäärät yleisimmin muutamia kertoja vuodessa
- Maatiloilla varauduttu pidempään saarekekäyttöön kuin jakeluverkkoyhtiöissä
  - Laissa määrätty varajärjestelmät eläinten hyvinvointia ylläpitäville laitteistoille
  - Maatilojen saarekekäytöt tunneista useisiin päiviin
  - Jakeluverkkoyhtiöiden saarekekäytöt vähintään joitain tunteja

## Nostoja kyselyn tuloksista – haasteet ja mahdollisuudet

- Haasteita saarekekäytössä
  - Sähkön laatu saarekkeessa
  - Riittävä vikavirta
  - Polttoaineen riittävyys
  - Ohjeistuksen puute laitteistoista ja saarekekäytöstä
- Loppukäyttäjillä kiinnostusta hyödyntää PJ-verkon saarekkeita ja energiayhteisöitä
  - toimitusvarmuuden parantuminen, yksittäiselle jäsenelle pienemmät investointikustannukset
- Jakeluverkkoyhtiöillä ja loppukäyttäjillä kiinnostusta kehittää toimitusvarmuus- ja kapasiteettijoustopalveluita
  - Teknisesti toimiva ja taloudellisesti kannattava kaikille osapuolille
  - Jakeluverkkoyhtiöiden mukaan käyttö- tai keskeytyskustannukset palvelun hinnan määrittämisessä
  - Maatilayrittäjät arvioivat palvelun hintaa polttoainekustannusten perusteella
    - arviot maltillisia, ei korostettu taloudellisen hyödyn mahdollisuutta
  - Osapuolten vastuu, maksut, palveluehdot, toimintamallit, käytettävät laitteet yms. määritettävä etukäteen

## Toimenpide-ehdotukset (1/2)

Toimenpide-ehdotus	Kohde- tai vastuutaho
Hajautetun tuotannon ja saarekekäyttömahdollisuuden suunnittelu mukana rakennuksen tai kohteen suunnittelun alusta asti.	Saarekeratkaisun omistaja/kohteen rakennuttaja
Ratkaisuiden ympäristöystävällisyyden huomioiminen käyttötarkoitus huomioiden.	Saarekeratkaisun omistaja
Valtakunnallisen tason määrittely, mitä laitteistoilta ja niiden käytöltä vaaditaan erilaisten ratkaisuiden yleistyessä.	Viranomaisen/jakeluverkkoyhtiö
Ilmoitusvelvollisuuden laajentamisen luokkiin 1 ja 2 hyötyjen ja vaikutusten selvitys.	Viranomaisen
Liiketoiminta- ja palvelumallien kehittäminen sekä jakeluverkkoyhtiöiden että loppukäyttäjien saarekeratkaisuille sekä niiden testaaminen.	Jakeluverkkoyhtiö/saarekeratkaisun omistaja
Käytössä olevien saarekekäyttömahdollisuuksien kartoittaminen sekä niiden toiminnallisuuden ja suojauksen toiminnan testaus.	Saarekeratkaisun omistaja/jakeluverkkoyhtiö
Omistajuus- ja vastuunjakokysymysten selvittäminen joustopalveluita ja saarekekäyttöä hyödynnettäessä.	Jakeluverkkoyhtiö/viranomaisen

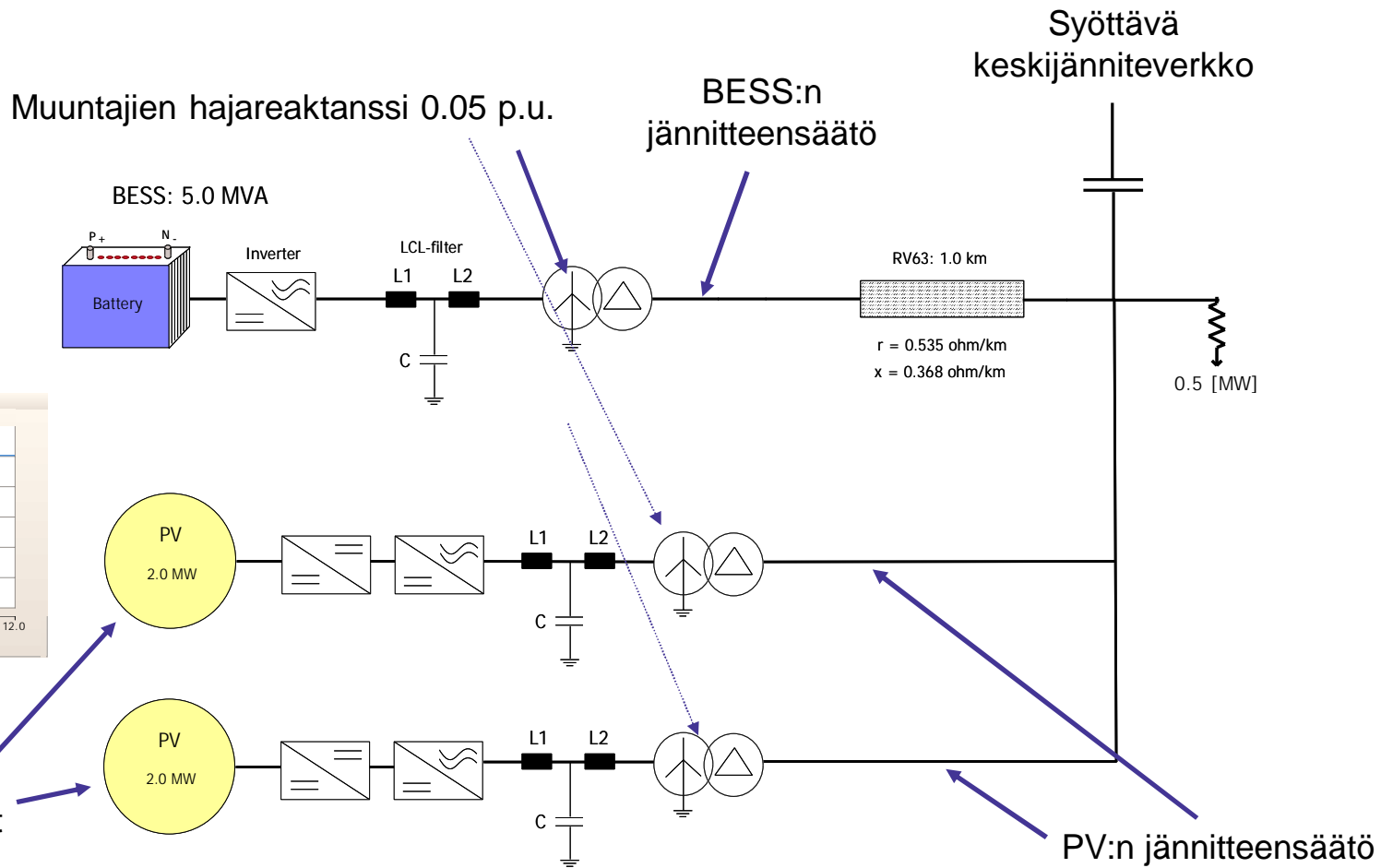
## Toimenpide-ehdotukset (2/2)

Toimenpide-ehdotus	Kohde- tai vastuutaho
Selvennys saarekekäytön ja joustopalveluiden vaikutuksista vakiokorvauksiin ja regulaatiomallin joustokannustimen hyödyntämiseen.	Viranomaisen/jakeluverkkoyhtiö
Polttoaineen saatavuuden turvaaminen laajoissa ja pidempiaikaisissa sähköjakelun keskeytyksissä parantamalla huoltoasemien varautumista	Huoltoasemat
Ulkoisten palveluntarjoajien palveluiden kehittäminen saarekekäyttöä ja energiayhteisöitä ajatellen.	Ulkoinen palveluntarjoaja/jakeluverkkoyhtiö
Energiaresursseihin, saarekekäyttöön ja energiayhteisöihin liittyvän tiedotuksen lisääminen.	Jakeluverkkoyhtiö/viranomaisen/Motiva
Henkilöstön koulutus varavoimalaitteistojen käytössä yrityksissä, joissa hyödynnetään varavoimalaitteistoja ja saarekekäyttöä.	Ulkoinen palveluntarjoaja/saarekeratkaisun omistaja
Markkina-alustojen kehittäminen.	Ulkoinen palveluntarjoaja

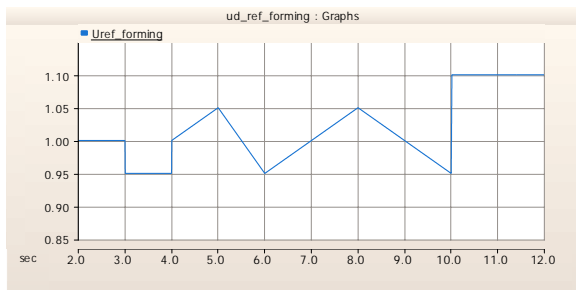
## Esimerkkejä simulointitarkasteluista

- **Case A:** Kahden lähekkäin olevan MW-kokoluokan aurinkovoimalan (PV) osallistuminen saarekekäytön jännitteensäätöön
  - 5.0 MVA:n akku (BESS) muodostaa saarekkeena toimivan mikroverkon (grid-forming) ja syöttää passiivista resistiivistä 0.5 MW:n kuormaa
  - Kaksi 2.0 MVA:n aurinkovoimalaa tuottavat pätötehoa ja säätävät liitäntäpisteidensä jännitettä Q/U-droop –periaatteella
  - Kuorman aiheuttamat jännitteen vaihtelut mallinnetaan simuloinnissa muuttamalla BESS:n referenssijännitettä
- Tarkoituksena tutkia, miten eri sähköisten parametrien muuttaminen vaikuttaa PV:n jännitteensäätöön
  - Syntyykö tilanteita, joissa kaksi sähköisesti lähekkäin olevan PV:n jännitteen droop-säätö aiheuttaa odottamatonta/ei-toivottua värähtelyä jännitteessä tai taajuudessa tai molemmissa?
- **Case B:** Akulla (BESS) muodostetaan PJ-verkon saareke, joka syöttää asiakasta, jolla on kW-kokoluokan aurinkovoimaloita kiinteistön sähköverkossa.

# Case A: Kahden lähekkäin olevan PV:n osallistuminen jänniteensäätöön



Jännitteen ohjearvo muuttuu ajan funktiona



- Identtiset säätöparametrit
- Jännite- ja taajuussuojaukset ovat aktivoituneina

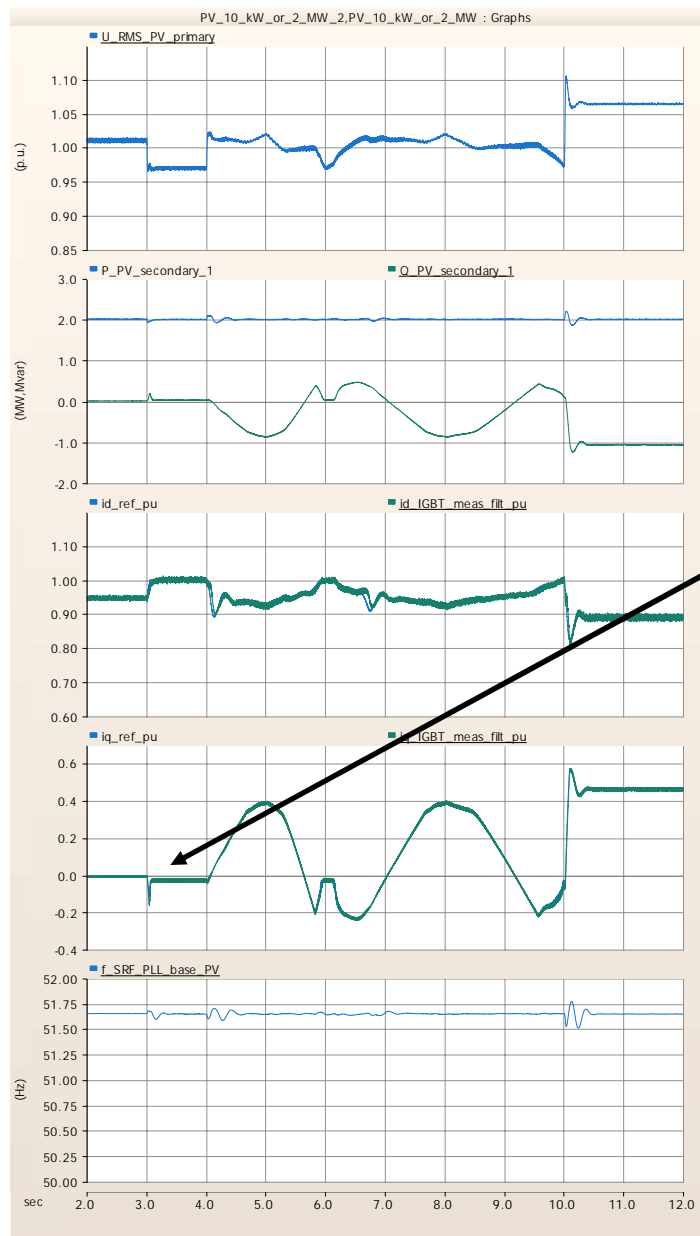
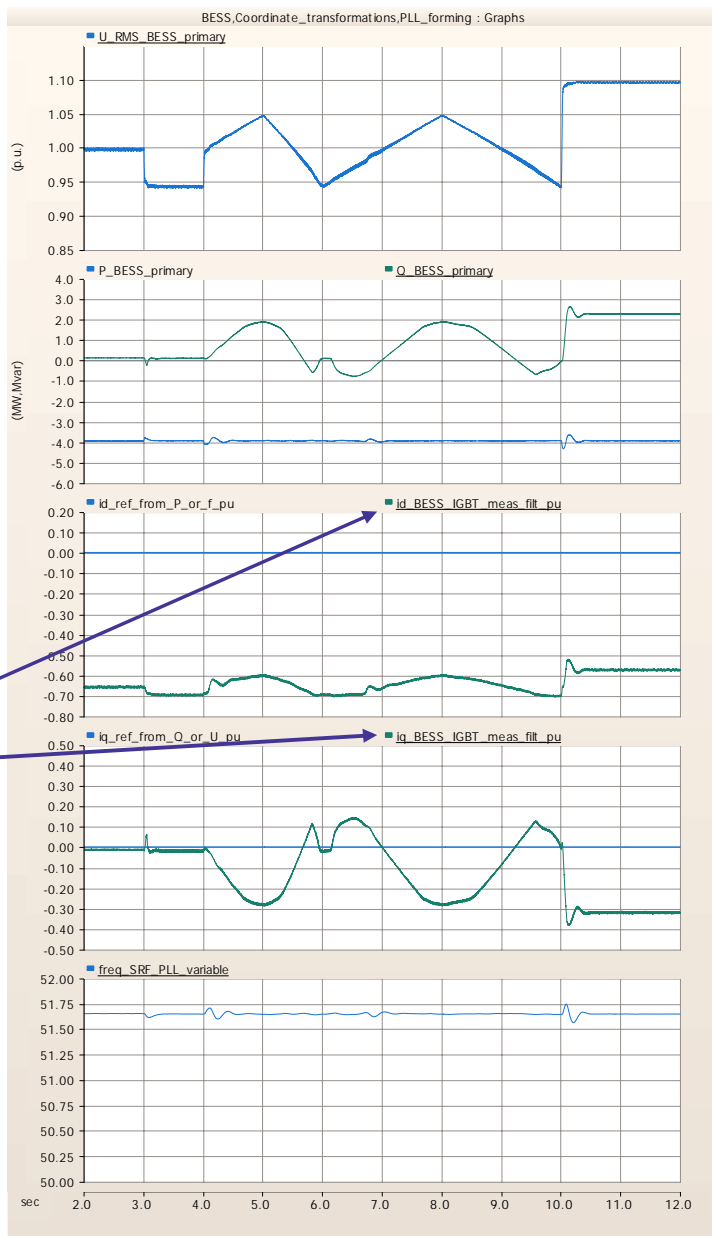
# BESS

Jännite

Päto- ja loisteho

Mitatut id- ja iq-virrat

Taajuusreferenssi BESS:n signaaligeneraattorilta



Jännite

Päto- ja loisteho

Jänniteensäätö  
kytketty päälle: t = 3.0 s

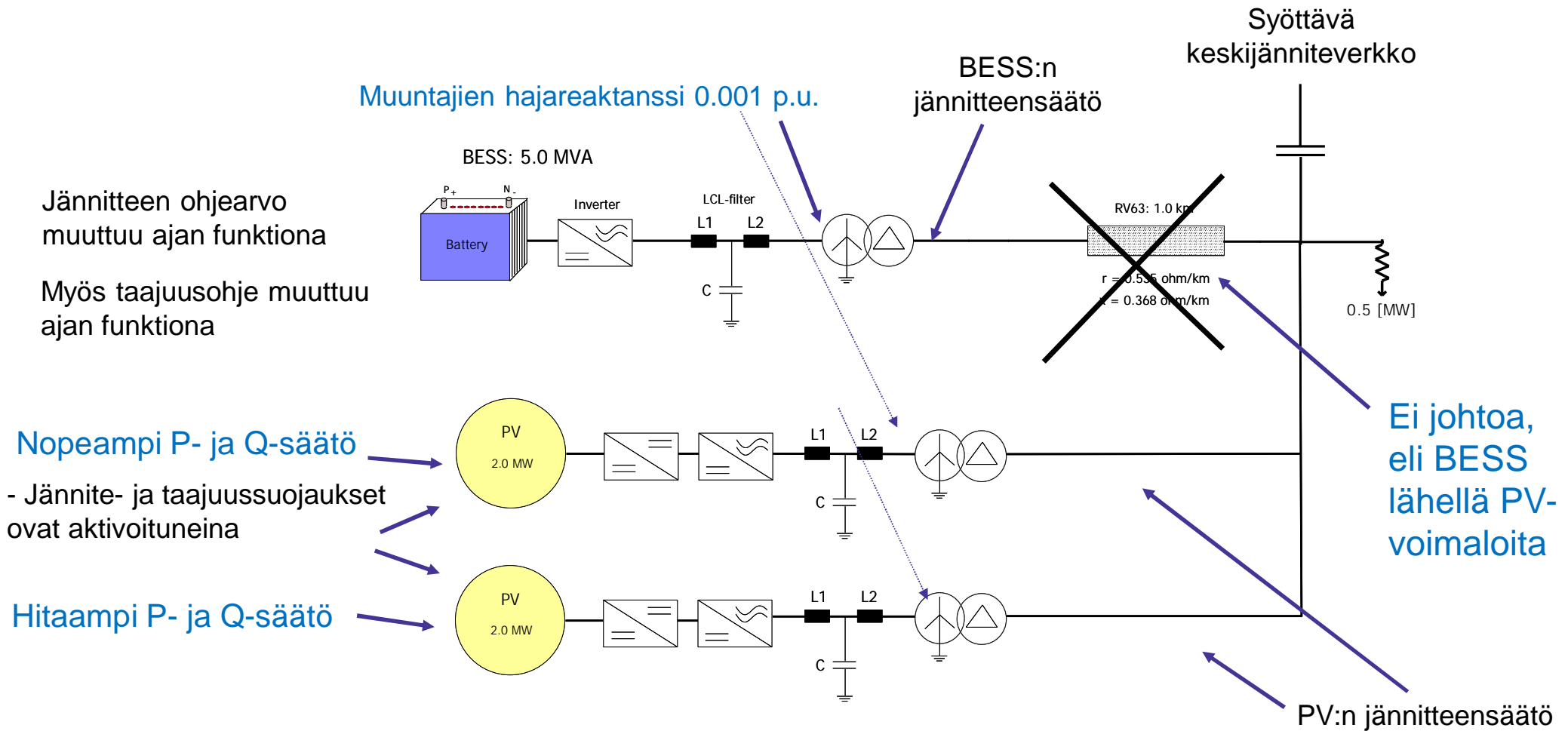
Referenssi- ja mitatut id- ja iq-virrat

Mitattu taajuus (PLL)

# PV 1



# Värähtelyherkkä esimerkitapaus



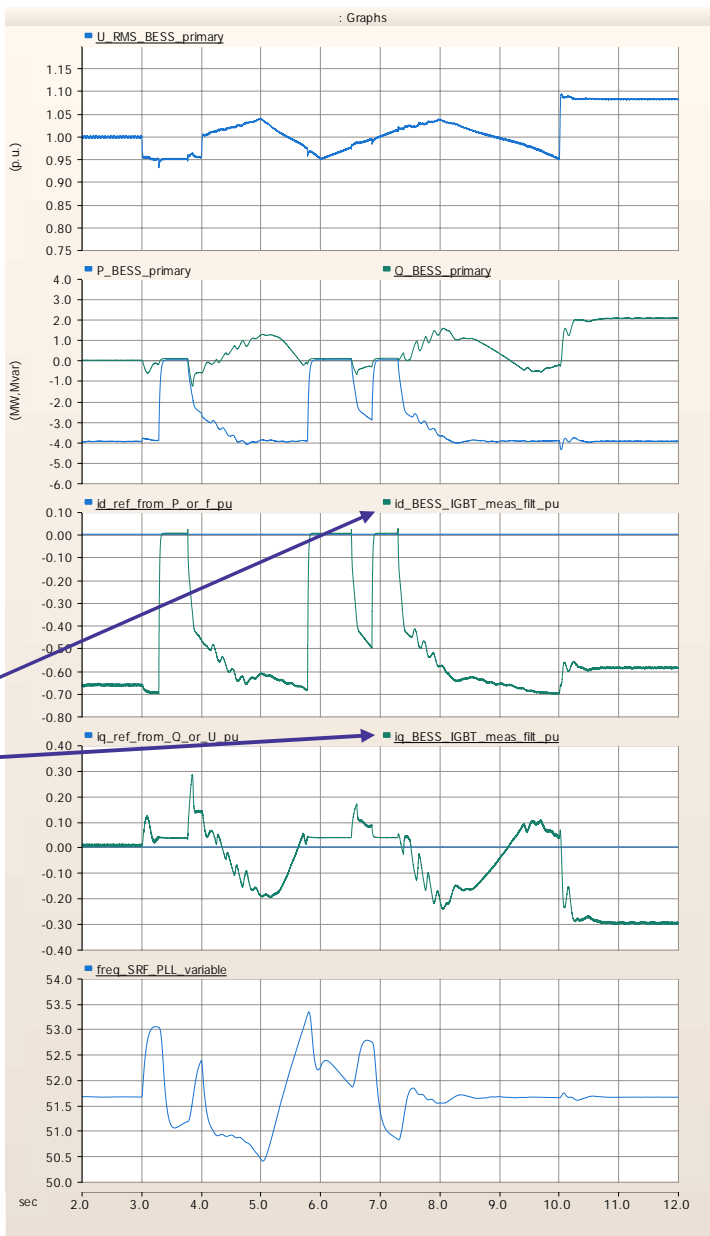
# BESS

Jännite

Päto- ja loisteho

Mitatut id- ja iq-virrat

Taajuusreferenssi BESS:n signaaligeneraattorilta



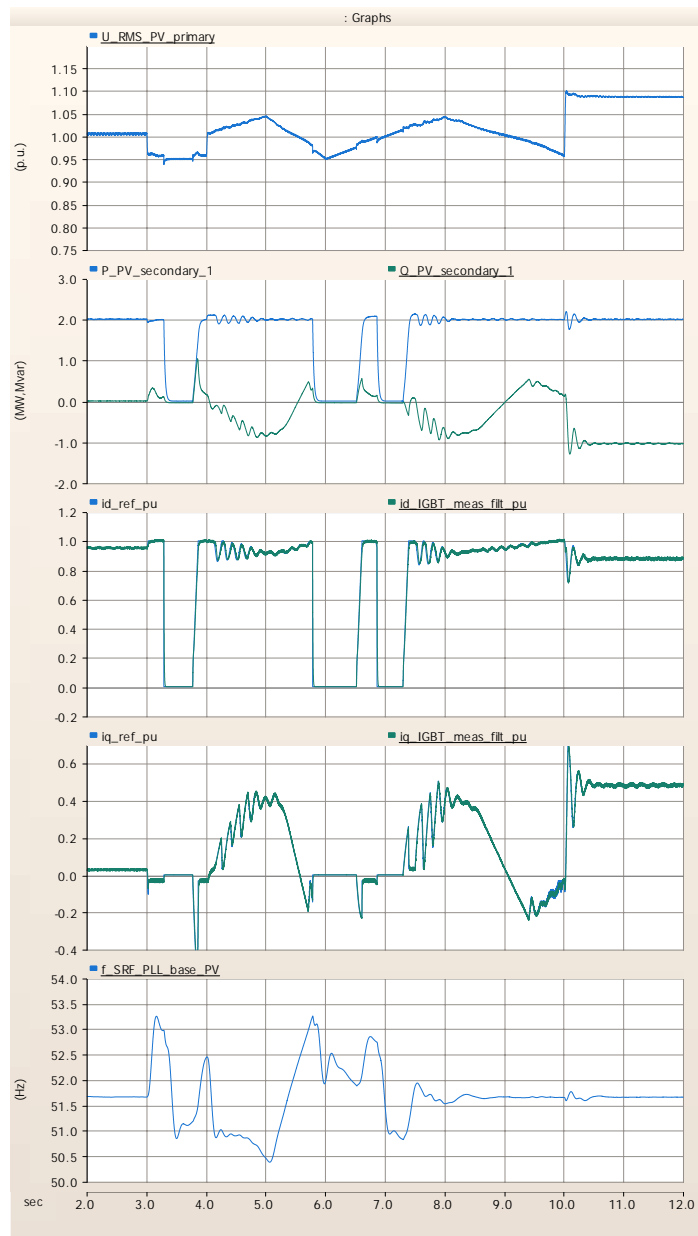
# PV 1

Jännite

Päto- ja loisteho

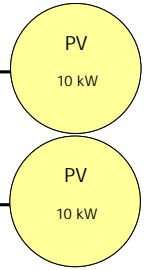
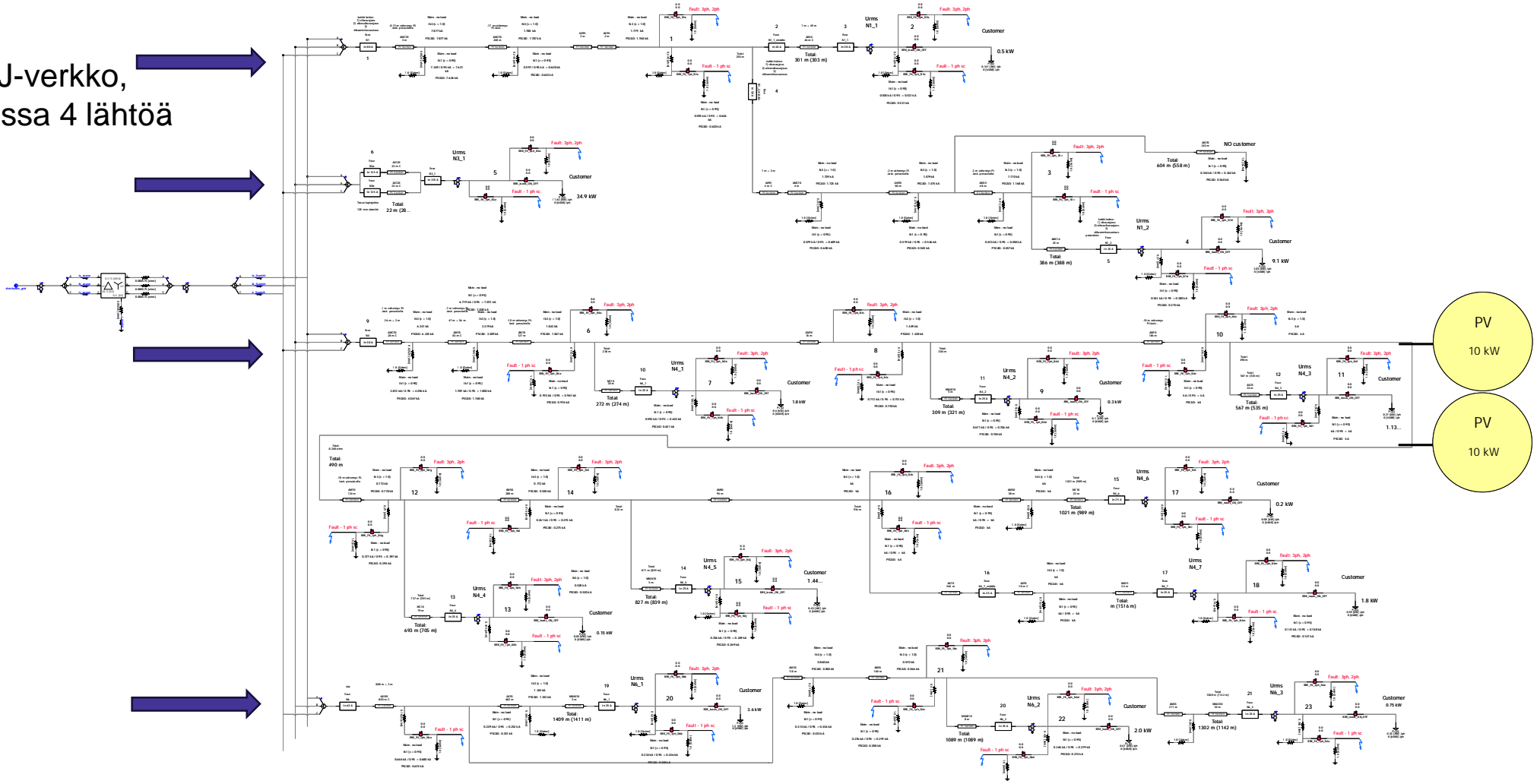
Referenssi- ja mitatut id- ja iq-virrat

Mitatut taajuus (PLL)

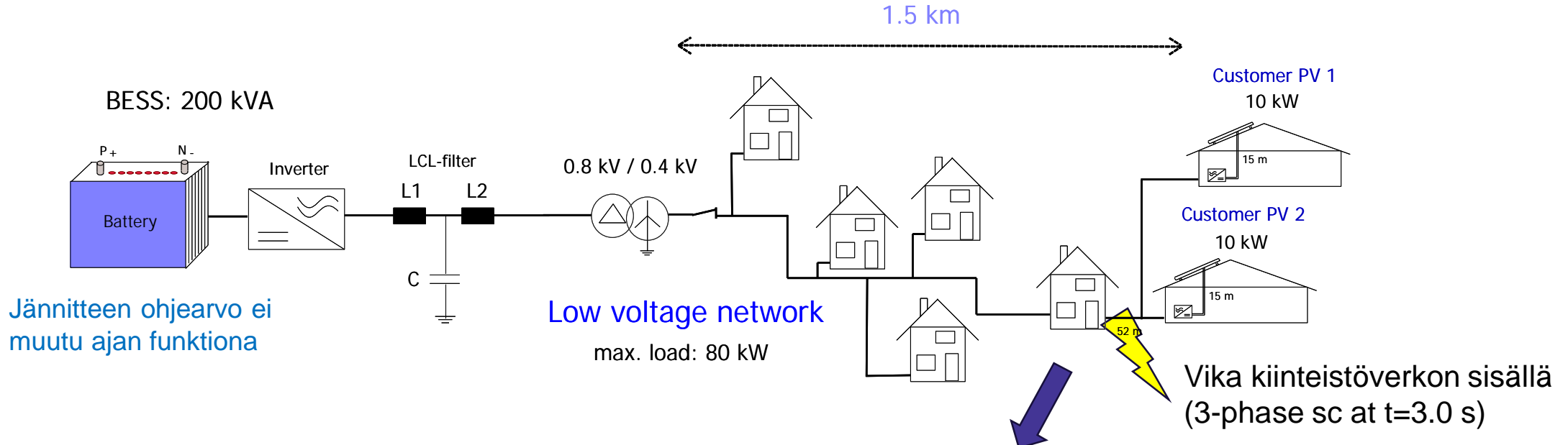


# Case B: PJ-verkon saareke, joka syöttää kaukana muuntamolta olevaa asiakasta, jolla PV:t kiinteistön sähköverkossa

PJ-verkko,  
jossa 4 lähtöä



# Case B: PJ-verkon saareke, joka syöttää kaukana muuntamolta olevaa asiakasta, jolla PV:t kiinteistön sähköverkossa

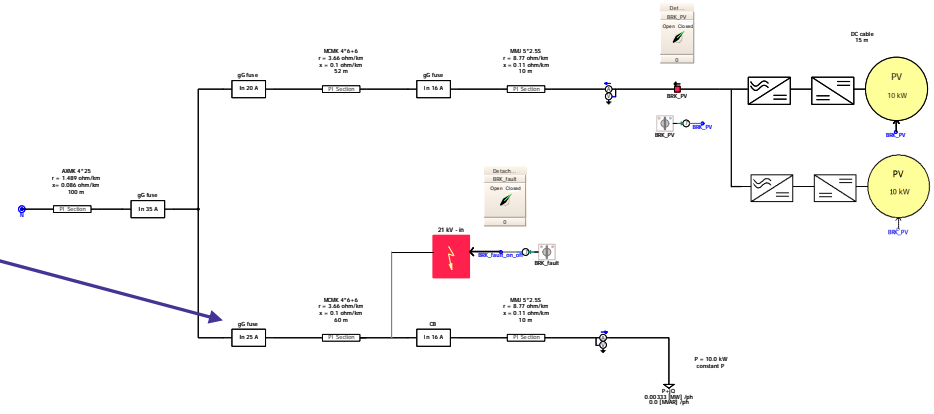


Jännitteen ohjearvo ei muutu ajan funktiona

Low voltage network  
max. load: 80 kW

Vika kiinteistöverkon sisällä  
(3-phase sc at t=3.0 s)

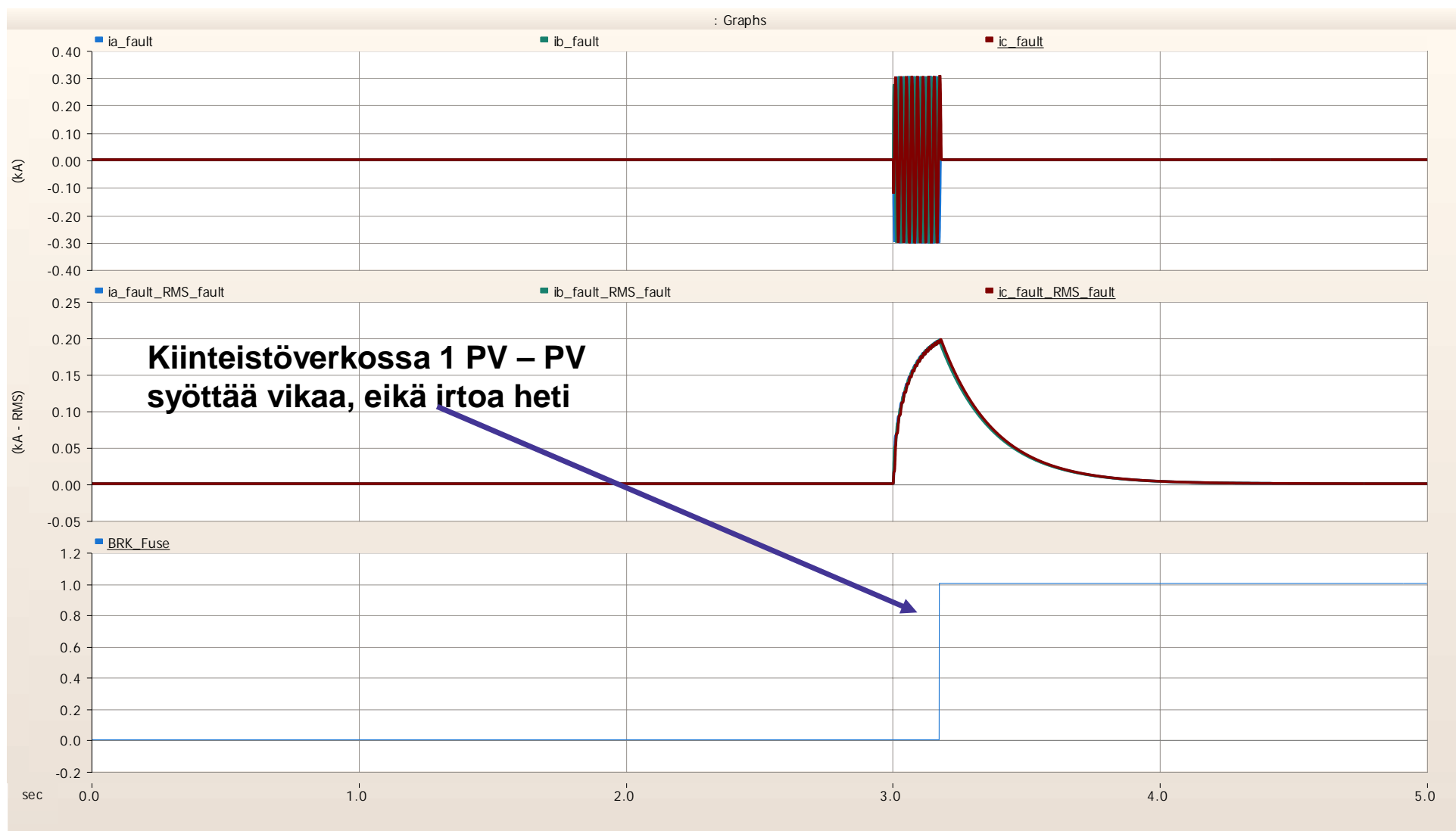
Seuraavat kuvat esittävät tämän sulakkeen palamista



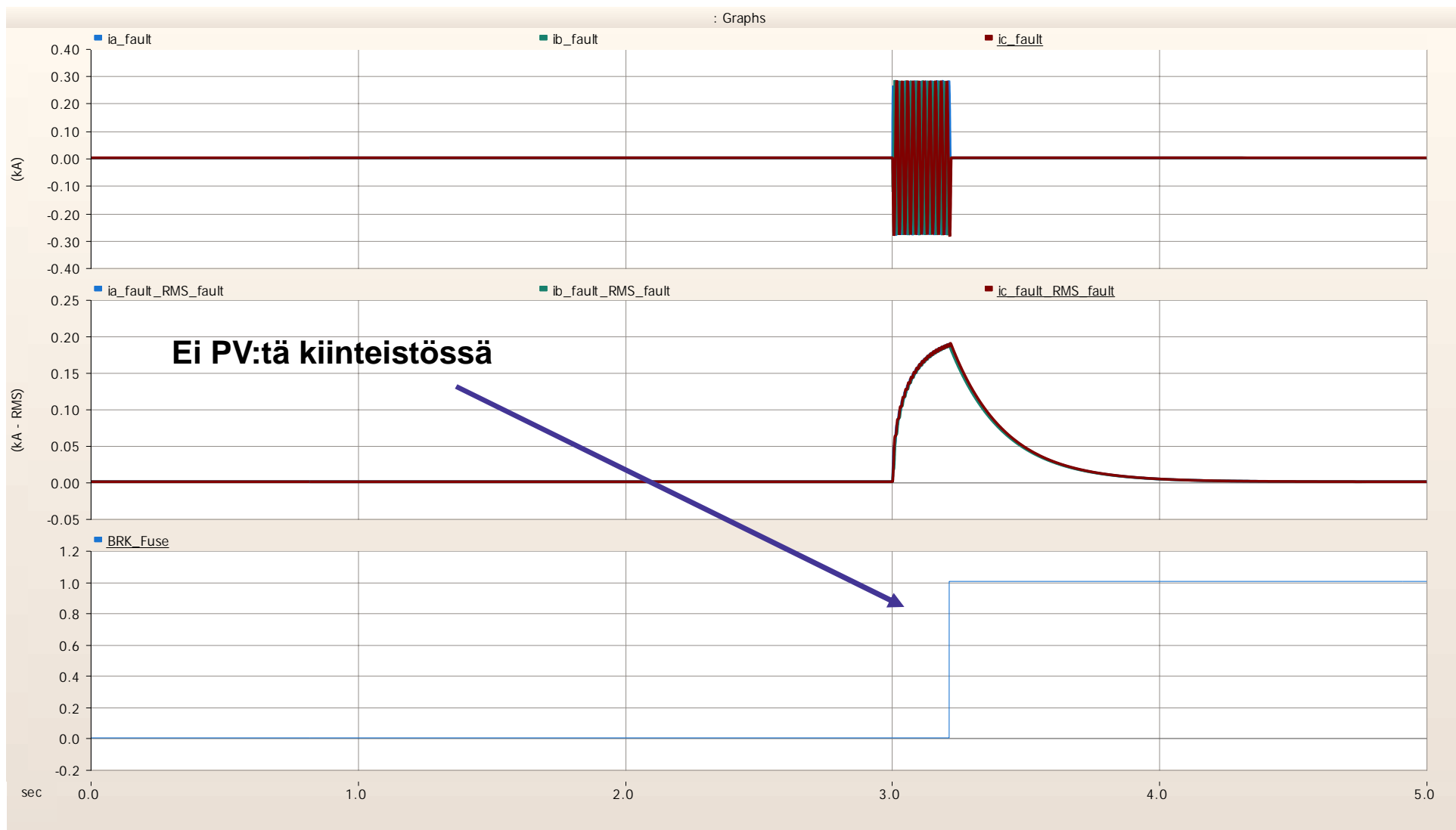
## Case B: PV:n vaikutus kiinteistön sulakesuojaukseen



## Case B: PV:n vaikutus kiinteistön sulakesuojaukseen



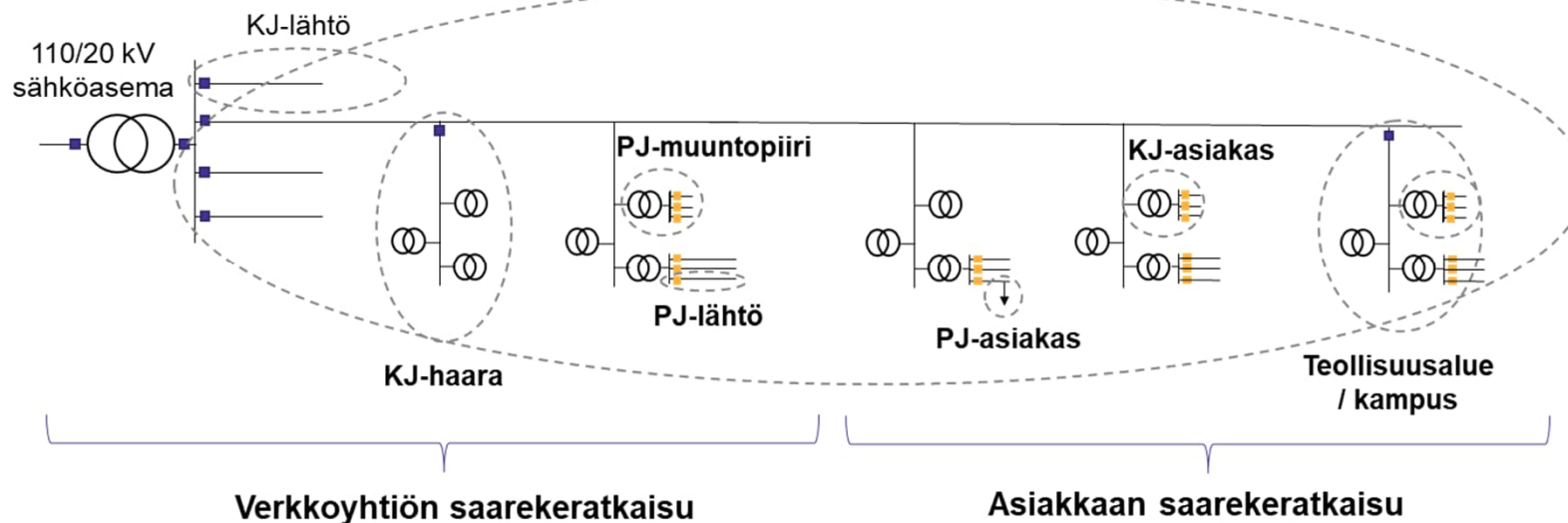
# Case B: PV:n vaikutus kiinteistön sulakesuojaukseen



# Saarekeratkaisujen hyödyntäminen joustoresursseina

- ”Perinteiset” jakeluverkkoyhtiön oman verkon saarekekäytöt (sisältää myös mobiilivaravoiman)
- Uudet verkkoyhtiöiden verkossa olevat ratkaisut
  - Akkupohjaiset ratkaisut (verkkoyhtiön oma / ostettava palvelu)
  - Hajautettu paikallinen energiayhteisö (jakeluverkon yli toimiva yhteisö)
- Asiakkaiden (kiinteistö/kiinteistöryhmä) omat ratkaisut
  - ”Perinteiset” varavoimaratkaisut (kaupat, maatilat)
  - Kiinteistön sisäinen energiayhteisö
  - Kiinteistörajan ylittävän erillisen linjan mahdollistama energiayhteisö

- Käyttö- ja hyödyntämistavat
  - Keskeytystilanteiden hallinta
  - Kapasiteettijoustot (pullonkaulatilanteet)
  - Saarekekäyttöjen hyödyntäminen tehopulatilanteissa
  - Kuormien ohjauksen hyödyntäminen saarekkeen hallinnassa (laajuus ja kesto)





**Kiitos mielenkiinnosta.**

**Kysymyksiä?**