

Heikki Kurki (Oamk), Ville Valima (OY) ja Tero Hietanen (Oamk)

# Älykkään sähköverkon käytön optimointi ja digitaalinen mallinnus

**Abstrakti:** OAMK:n hybridilaboratorion älykäs sähköverkko on paikallinen mikroverkko. Se palvelee oppimis- ja tutkimusalueena, jossa voidaan opiskella, tutkia ja pilotoida pienehköjen hajautettujen energiaressurssien käyttöön liittyviä ratkaisuja. Meneillään olevan MicroGrid-hankkeen puitteissa ollaan toteuttamassa mikroverkon hallintasovellusta, jonka avulla optimoidaan verkon resurssien käyttöä. Simulink-virtuaalimallina toteutettua verkon digitaalista kaksosta voidaan hyödyntää fyysisen sähköverkon suunnittelu- ja kehitystyön tukena sekä erilaisten käyttötilanteiden simuloinnissa.

**Asiasanat:** mikroverkko, digitaalinen kaksonen

**Heikki Kurki:** E-mail: [Heikki.Kurki@oamk.fi](mailto:Heikki.Kurki@oamk.fi)

**Second Author: Ville Valima:** [Ville.Valima@oulu.fi](mailto:Ville.Valima@oulu.fi)

## 1 Johdanto

**Mikroverkko**-nimitystä (engl. microgrid) käytetään sähköverkosta, johon on liitetty hajautettuja sähköenergian tuotanto- ja varastointiyksiköitä, kulutusjoukosta osallistuvia kuormituksia ja rajallinen määrä asiakkaita. Sen sähköntuotantolaitteistojen kokonaisteho on tyypillisesti alle 100 kVA. Standardissa SFS 6008-2 käytetään vastaavasta järjestelmästä nimitystä **Tuottaja-kuluttajan sähköasennus** eli **PEI-asennus** (Prosumer's Electrical Installation). Standardin mukaan PEI-asennus on pienjännitesähköasennus, joka voi toimia yleiseen jakeluverkkoon kytkettynä tai itsenäisenä saarekeverkkona paikallisten teholähteiden tai sähkövarastojen avulla. Sen energiavirtoja valvotaan ja ohjataan energianhallintajärjestelmän avulla. (1, s. 7)

Kiinnostus mikroverkkoja ja energiayhteisötoimintaa kohtaan on kasvussa. Meneillään oleva energiamurros ilmenee muun muassa siten, että pienimuotoinen hajautettu energiantuotanto lisääntyy. Tavoitteena on myös vähentää hiilidioksidipäästöjä ja parantaa energiatehokkuutta. Tähän pyritään tuottamalla energiaa paikallisesti hyödyntäen päästöttömiä tai hiilineutraaleja energialähteitä. Viime aikoina on korostunut erityisesti energiaomavaraisuuden ja huoltovarmuuden merkitys sekä pyrkimys suojautua sähkön hintavaihteluilta.

## 2 Hybridilaboratorion mikroverkko

Hybridilaboratorion mikroverkko on liitetty yleiseen sähkönjakeluverkkoon 20/0,4 kV muuntajan ja

kampusverkon kautta. Mikäli syöttö sieltä estyy, mikroverkko siirtyy saareketilaan. Sähköä voidaan saarekekäytössä tuottaa UPS-G-laitteistolla, joka on 50 kW dieselgeneraattorin ja superkondensaattoriyksikön muodostama kokonaisuus. Sähkökatkositilanteessa superkondensaattorit syöttävät mikroverkkoon tarvittavan tehon, kunnes dieselgeneraattori on käynnistynyt ja tahdistunut.

Mikroverkkoon liitetyn aurinkoenergiajärjestelmän huipputeho on 35 kW<sub>p</sub> ja sen tuotanto painottuu luonnollisesti kesäkuukausiin. Akkuenergiavaraston kapasiteetti on 50 kWh ja sen suurin antoteho on 40 kVA. Suurimmat yksittäiset kuormitukset ovat sähköautojen latausasemat (2 x 22 kW), sähkökattila (36 kW) ja lämminvesivaraaja (18 kW). Niiden avulla toteutetaan tarvittaessa kulutusjoukosta, jolla kulutuksen huipputeho rajoitetaan enintään 50 kW:iin.

Laboratorion mikroverkkoa voidaan nimittää myös älysähköverkoksi, jolle on ominaista kattava tiedonkeruu ja suuri mittausrikkäisyys. Jakokeskusten johtolähtöjen jännite-, virta-, teho- ja energiatiedot mitataan ja tallennetaan SQL-tietokantaan. Tiedon analysointityökaluna ja visualisointiympäristönä toimii Schneider Electricin energianhallintaan ja -valvontaan soveltuva selainpohjainen PME (Power Monitoring Expert) -tehonhallintajärjestelmä.

## 3 Mikroverkon hallintaohjelmisto

Parhailaan on meneillään SICAM-ympäristössä toimivan mikroverkon hallintajärjestelmän hankinta. Sen avulla pystytään hyödyntämään verkon energiaressursseja optimaalisesti eri käyttötilanteissa. Hallintajärjestelmä koordinoi ja optimoi kunkin mikroverkkoon energiaressurssin käyttöä yksilöllisesti ottaen huomioon verkkotoiminnalle määritellyt tavoitteet, joiksi on valittu energiansäästön maksimointi, CO<sub>2</sub>-päästöjen minimoointi sekä kustannussäästöjen maksimointi. (2, s. 20)

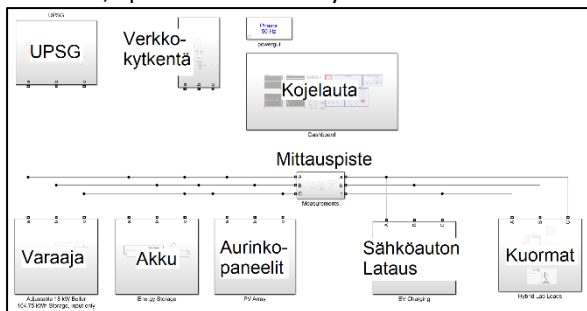
Energianhallintasovellus ohjaa järjestelmää hyödyntämään aurinkosähköllä tuotetun energian täysimääräisesti käyttäen akustoa energiaravastona. Näin pienennetään CO<sub>2</sub>-päästöjä. Silloin kun oma energiantuotanto on suurempi kuin kulutus, ylijäämä siirtyy yleiseen sähkönjakeluverkkoon. Joustavat kuormitukset ja akusto ovat keskeisiä välineitä myös silloin, kun halutaan kustannussäästöjä eli pienentää sähkölaskua. Spot-hinnan ollessa korkea on järkevää käyttää omalla aurinkosähkölaitteistolla tuotettua tai

edullisella spot-hinnalla hankittua, akustoon varastoitua sähköä. Näitä tavoitteita edistetään myös kulutusjoustoon osallistuvien kuormitusten avulla.

Optimoinnissa otetaan huomioon muuttuvina parametreinä mm. sähkön spothinta, polttoaineen hinta, reaaliaikainen säätieto, seuraavan päivän sääennuste ja laboratorion kuormitusennuste. Hallintaohjelmisto tuottaa edellisenä päivänä ennusteiden perusteella järjestelmän tuotanto- ja kulutussuunnitelman ja muodostaa ajo-ohjelman seuraavalle päivälle. Kunkin päivän aikana järjestelmä ohjaa energiaresursseja reaaliaikaisesti ja tekee tarvittavat korjaukset ajo-ohjelmaan optimoiden resurssien käyttöä asetettujen tavoitteiden perusteella. Se päivittää kunkin resurssilaitteiston asetusravot siten, että mikroverkon tehotasapaino säilyy kuormitusten satunnaisvaihtelusta huolimatta.

#### 4 Mikroverkon digitaalinen kaksonen

Sähköverkosta on tehty digitaalinen kaksonen hankeyhteistyössä Oulun yliopiston kanssa. Mallinnuksessa käytetty ohjelmistoversio on Matlab 2022a. Keskeisin mallinnukseen käytetty Matlab-työkalupaketti on loogisten blokkidiagrammien suunnitteluohjelma Simulink ja sen lisäosa Simscape Electrical; Specialized Power Systems.



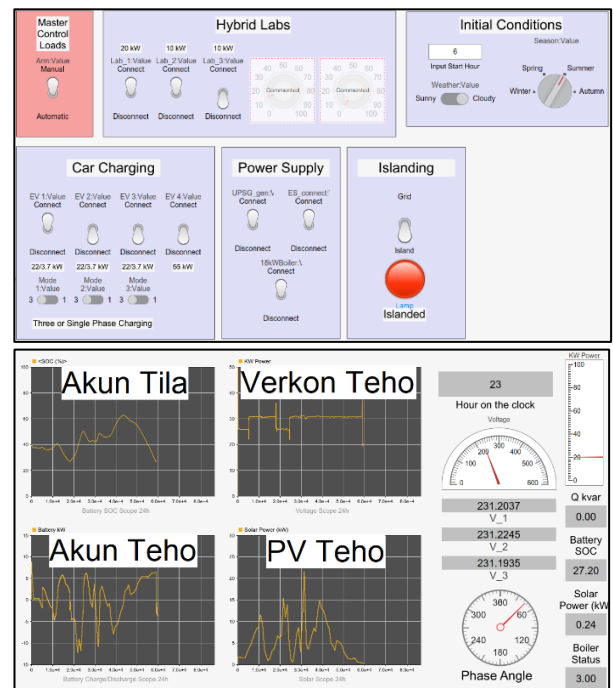
Kuva 1. Laboratorion mikroverkon Simulink-malli

Digitaalisesta kaksosesta on kaksi eri mallia; jatkuva (Continuous-) malli, joka kuvaa yksityiskohtaisemmin verkon vaihtovirtakomponenttien toimintaa, mutta on laskennallisesti raskas, sekä yksinkertaistempi osoitin- (phasor-) malli, joka käyttää laskennassa kompleksisia virta- ja jänniteosoittimia ennalta määritellyllä taajuudella. Jatkuva malli sopii paremmin alle sekunnin kestävien ilmiöiden kuten laitteiden käynnistymisen ja sammumisen aiheuttamiin taajuus- ja jännitepoikkeamien kuvaamiseen. Phasor-malli sopii puolestaan päiviä tai viikkoa kestävien tapahtumien kuten energiavaraston tilan tai aurinkopaneelien tuotannon kuvaamiseen.

Mikroverkon phasor-mallissa (kuva 1) pääasiallisina energian tuottajina ovat PID-ohjattu 50 kW generaattori ja aurinkosähköjärjestelmä. Aurinkopaneelien tuotanto on mallinnettu toteutuneen tuotantodatan pohjalta. Käyttäjä voi simuloinnissa määrittää vuodenajan ja sään, joiden perusteella mallin sisäinen logiikka valitsee päivittäisen

tuotantoprofiilin. Mallissa oleva akusto ja generaattori tasoittavat jännitteen vaihtelua verkossa. Tilanteissa, joissa jännite on alle nimellisarvon, akusto syöttää energiaa ja generaattori nostaa tehoa. Vastaavasti jos jännite on yli normaalin, akku varastoi energiaa verkosta ja generaattori vähentää tehoa. Ylimääräinen energia voidaan myös johtaa lämminvesivaraajaan, joka käyttäytyy mallin näkökulmasta kuin yksisuuntainen akku.

Mallissa olevia laboratorion muita kuormitusta sekä ja sähköauton latauskuormia vastaavat staattiset kolmivaihekuormitukset, jotka voidaan kytkeä verkkoon tai irrottaa siitä mallin ohjauspaneelistä löytyvillä vipukytkimillä (kuva 2).



Kuva 2. Simulointimallin "kojelautaikkunat". Ylempänä alkuarvojen ja kuormitusten asettelupaneeli ja alempana seurattavien suureiden havainnollistus.

#### 5 Yhteenvedo

Hybridilaboratorion älykäs sähköverkko ja sen digitaalinen kaksonen ovat jo kehitysvaiheessaan osoittautuneet havainnolliseksi ja monipuoliseksi oppimis- ja kehitysympäristöksi, joka palvelee sekä opetusta että alan tki-toimintaa. Siinä voidaan tutkia ja havainnollistaa mikroverkon toimintaa eri käyttötilanteissa ja pilotoida erilaisia toimintamalleja.

#### Lähteet

1. SFS 6008-2:2020. Pienjännitesähköasennukset. Osa 8-2: Toiminnallisuus. Tuottaja-kuluttajan pienjännitesähköasennukset. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 2020.
2. SFS 6008-1:2020. Pienjännitesähköasennukset. Osa 8-1: Toiminnallisuus. Energiatehokkuus. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 2020.