

Please note! This is a self-archived version of the original article.

Huom! Tämä on rinnakkaistallenne.

To cite this Article / Käytä viittauksessa alkuperäistä lähdettä:

Korpela, A., Lehtonen, J., Markkula, T. & Parkkila, E. (2023) Sähköenergiaturroksen hankkeita TAMKissa. TAMK-konferenssi – TAMK Conference 2023. Tampereen ammattikorkeakoulun julkaisuja, Erillisjulkaisuja, s. 49-56.

URL: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-7266-78-6>

Aki Korpela, yliopettaja, Teknologiateollisuus, Tampereen ammattikorkeakoulu

Jarkko Lehtonen, lehtori, Teknologiateollisuus, Tampereen ammattikorkeakoulu

Toni Markkula, projektiasiantuntija, Teknologiateollisuus, Tampereen ammattikorkeakoulu

Esa Parkkila, laboratorioinsinööri, Teknologiateollisuus, Tampereen ammattikorkeakoulu

HANKKEEN NIMI: ÄLYKKÄÄT OHJAUKSET MODERNEISSA ENERGIAJÄRJESTELMISSÄ, ÄLYKKÄIDEN SÄHKÖVERKKOJEN SIMULOINTIYMPÄRISTÖ

SÄHKÖENERGIAMURROKSEN HANKKEITA TAMKISSA

Asiasanat: energiamurros, älykkäät sähköverkot

Energiantuotannolla on keskeinen roolinsa ilmastonmuutoksen hidastamisessa, sillä energiasektori on perinteisesti ollut merkittävin hiilidioksidipäästöjen aiheuttaja. Päästöt ovat pääosin peräisin fossiilisista polttoaineista, joita on yleisesti käytetty sekä sähkön- että lämmöntuotannossa. Energiamurroksella tarkoitetaan sitä, että fossiilisten polttoaineiden hyödyntämistä energiantuotannossa pyritään vähentämään, ja vastaavasti vähäpäästöisempiä vaihtoehtoja, kuten uusiutuvia tuotantomuotoja ja ydinvoimaa, pyritään lisäämään. Tämän energiamurroksen voi sanoa olleen käynnissä koko 2000-luvun ajan, mutta vuoden 2022 energiakriisi on kiihdyttänyt murrosta merkittävästi, kun Eurooppa pyrkii pikavauhdilla eroon venäläisestä fossiilisesta energiasta. Vaikka ennätyskorkea sähkön hinta koetteleekin kaikkia Euroopan valtioita, ylivoimaisesti hankalimmassa asemassa ovat kuitenkin ne, joiden energiajärjestelmä on näihin päiviin asti ollut voimakkaasti riippuvainen maakaasusta ja muusta fossiilienergiasta. Suomen energiariippuvuus Venäjästä on jo vuosia ollut melko vähäistä, joten meillä energiakriisin vaikutukset rajoittuvat lähinnä kalliiseen sähköenergiaan sekä energian riittävyysriskiin erityisen kylminä talvipäivinä, jolloin kulutus on korkealla ja tuulivoiman tuotanto yleensä vähissä. Jos vuoden 2022 energiakriisistä pitää hakea jotakin positiivista, voidaan ajatella, että tavallisten ihmisten arvostus Suomen korkealaatuista sähköenergiajärjestelmää kohtaan on noussut sen ansaitsemalle tasolle, eikä korkealaatuista sähköenergiaa ehkä pidetä enää niin itsestäänselvytenä kuin aiemmin. Energiamurros aiheuttaa sähköenergiajärjestelmään merkit-

täviä teknisiä muutoksia, joihin Suomessa on panostettu jo ainakin 15 vuoden ajan. Näiden panostusten arvo nousee nyt suureksi, sillä niiden ansiosta Suomen on kohtuullisen helppoa irtautua kokonaan venäläisestä energiasta. Vuosien saatossa TAMKissa on toteutettu useita hankkeita, joissa on tarkasteltu energiamurroksen teknisiä vaikutuksia sähköenergiajärjestelmään. Tässä julkaisussa käsitellään kahden käynnissä olevan hankkeen tuloksia. Toinen hankkeista keskittyy energiamurroksen sähkökäyttöjen älypohjaisiin ohjauksiin, ja toisessa kehitetään mikroverkkojen simulointiympäristöä.

Energiasta on käynnissä olevan energiakriisin vuoksi tullut kesto-utinen vuoden 2022 aikana. Sähköenergian hinta on noussut ennätyskorkeisiin lukemiin, ja moni kotitalous onkin aidosti vaikeuksissa talvikauden sähkölaskujensa kanssa. Tämä on kokonaan uusi asia Suomessa, jossa sähkön hinta on perinteisesti ollut niin alhainen, ettei tavallisen ihmisen ole juurikaan tarvinnut panostaa omassa arjessaan sähköenergian säästämiseen. Vaikka Ukrainan sota ja siitä seurannut energiakriisi ovatkin hyvin murheellisia asioita, ilmaston kannalta energiakriisi on pitkällä aikavälillä positiivinen asia (IEA 2022). Energiamurros on merkittävästi kiihtynyt, kun Euroopan valtiot pyrkivät hankkiutumaan eroon venäläisestä fossiilisesta energiasta. Ja kun uudet energiainvestoinnit keskittyvät pääasiassa hiilidioksidivapaaseen tuotantoon, eurooppalaisen energiakäytön ilmakehärasitus tulee merkittävästi vähenemään energiakriisin seurauksena.

Fossiilisesta energiasta luopuminen ei kuitenkaan onnistu nopeasti. Uusien energiainvestointien aikaikkuna on vuosia, ja lisäksi on keskeisen tärkeää ymmärtää, että murros edellyttää merkittäviä teknisiä muutoksia myös koko sähköenergiajärjestelmään. Kaiken taustalla on laadukkaan sähköenergia-järjestelmän vaatimus jatkuvasta tehotasapainosta tuotannon ja kulutuksen välillä. Jotta korkealaatuista sähköenergiaa on jatkuvasti tarjolla, tuotannon ja kulutuksen on oltava joka hetki yhtä suuret. Energiakriisin uutisoinnin myötä on käynyt selväksi, että sähkömarkkinoilla hinta vaihtelee tunneittain. Tässä tuntitason hintavaihtelussa on kyse siitä, että sähkömarkkinoilla hinta määräytyy markkinaehtoisesti kysynnän ja tarjonnan perusteella tu-

levan vuorokauden jokaiselle tunnille. Tämä tuotannon ja kulutuksen tuntitaso tasapaino on osa jatkuvan tehotasapainon hallintaa, sillä sen avulla jokaisen käyttötunnin keskimääräiset tehot saadaan lähelle toisiaan. Lopullinen tehotasapainon hallinta tapahtuu kuitenkin sekuntitasolla jokaisen käyttötunnin sisällä. Tämä reservimarkkinaksi kutsuttu säätösähkömarkkina sisältää viisi erilaista säätötuotetta, joiden avulla sähköenergiajärjestelmän jatkuva tehotasapaino pystytään takaamaan (Fingrid 2022). Laadukas sähköenergia ei siis todellakaan ole itsestäänselvyys, vaan se edellyttää jatkuvaa säätötoimintaa kellon ympäri vuoden jokaisena päivänä.

Älykkäät ohjaukset moderneissa energiajärjestelmissä

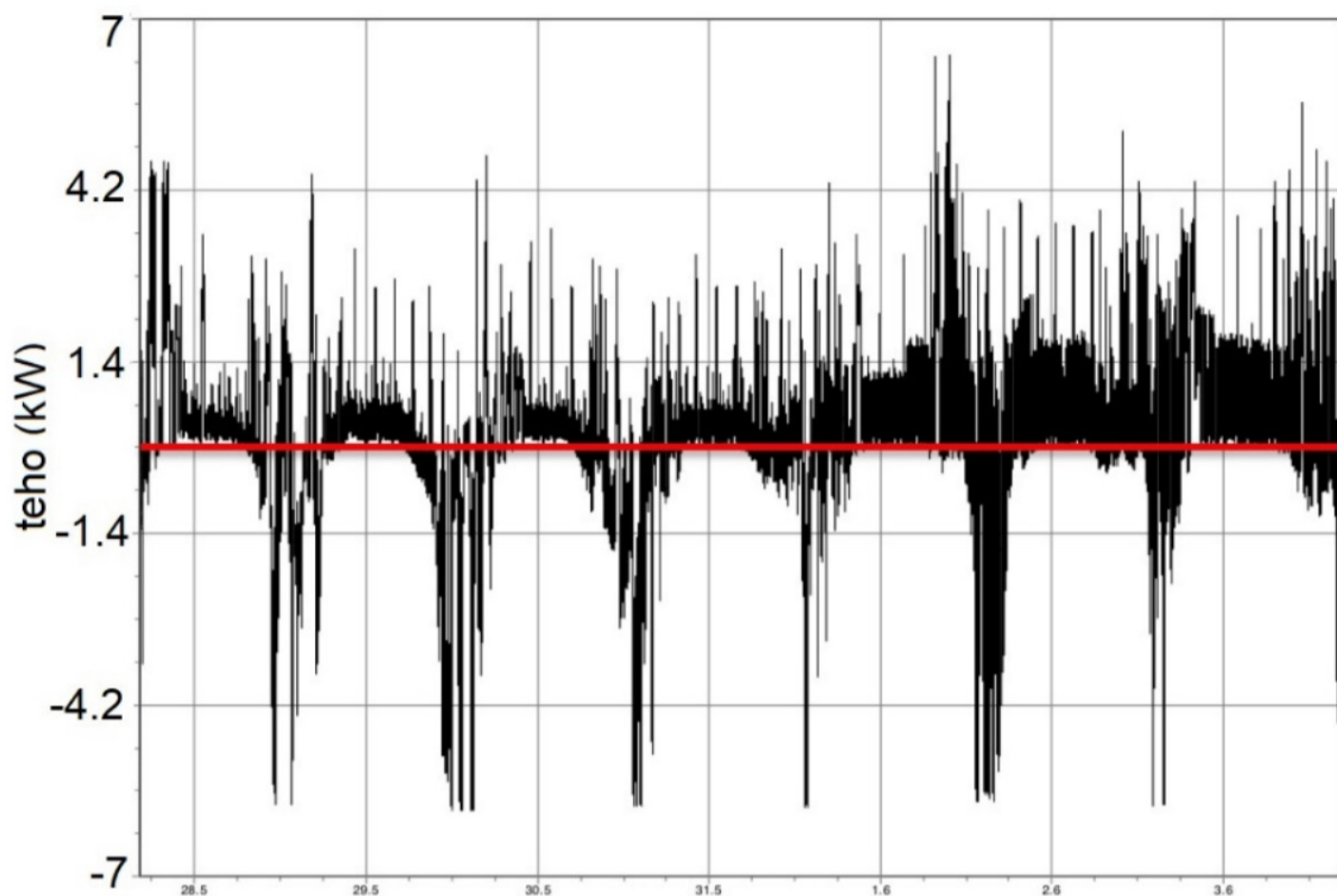
Energiamurroksen edetessä sähköenergian riittävyttä suuremmaksi haasteeksi on näillä näkymin muodostumassa suuri hetkellinen sähkötehon tarve (Lummi 2019). Tällaisia tilanteita syntyy esimerkiksi silloin, kun monta sähköautoa on teholatausasemassa yhtäaikaa, tai kun osatehomoitettut lämpöpumppujärjestelmät tarvitsevat kovilla pakkasilla tuekseen sähkövastuksia. Kokonaisuudessa on kyse megawattiluokan kulutuksista, joihin on joka hetki pystyttävä tuotantuolelta vastaamaan, jotta sähköenergiajärjestelmän tehotasapaino säilyy. Uusia älypohjaisia keinoja haasteen hallintaan ovat esimerkiksi energian varastointi, tehopiikkien leikkaaminen ja kysyntäjousto. Mutta olipa keino mikä tahansa, sen toteuttaminen edellyttää aina kulutuskohteen sähkötehon hallintaa. Tällainen järjestelmä, jossa sähkötehojen hallintaa voidaan toteuttaa sähköverkon, pientuotannon, energiavaraston ja kulutuskohteen kesken, on suunniteltu ja toteutettu liikuteltavana ratkaisuna TAMKin koordinoimassa ja Pirkanmaan liiton rahoittamassa EAKR-hankkeessa *Älykkäät ohjaukset moderneissa energiajärjestelmissä*.

Hankkeessa on suunniteltu ja toteutettu liikuteltava hybridienergiajärjestelmä, jonka avulla on mahdollista demonstroida monia energiamurrokseen liittyviä moderneja sähkökäyttöjä, joissa tehojen hallinnalla, energian varastoinnilla ja sääriippuvalla uusiutuvalla sähköenergialla on keskeiset roolinsa. Hankkeessa toteutettu järjestelmä

on sähkötekniisesti edistynyt ja varsin monimutkainen, sillä sähköisesti erilaisten lähteiden ja kuormien yhteensovittamisen lisäksi sen pitää pystyä ohjaamaan tarkasti sähkötehon virtauksia eri kohteiden välillä. Ja kun järjestelmä on rakennettu kahteen perävaunuun, sen liikuteltavuus mahdollistaa testikohteiden saavuttamisen kohtuullisen helposti. Kyseessä onkin kansallisesti ainutlaatuinen ja myös kansainvälisesti poikkeuksellisen monipuolinen hybridienergiajärjestelmä. Tässä julkaisussa ei kuitenkaan keskitytä järjestelmän tekniikkaan, vaan esitellään muutamia testituloksia, jotka ovat käynnissä olevan energiakriisin kannalta ajankohtaisia. (Korpela 2021)

Energiakriisin kannalta erityisen kiinnostava demonstraatio järjestettiin Ylöjärven Karhessa toukokuussa 2022. Kohteena oli aurinkosähköjärjestelmällä varustettu sähkölämmitteinen omakotitalo, josta haluttiin tehdä energiavaraston ja tehonhallinta-järjestelmän avulla teho-omavarainen. Käytännössä teho-omavaraisuudella tarkoitetaan sitä, että kohde saa jokaisena hetkenä kaiken tarvitsemansa sähköenergian omasta järjestelmästä, jolloin sähköverkkoa ei periaatteessa tarvita lainkaan. Aurinkosähköjärjestelmän ja akuston yhdistelmällä tämä on Suomessa mahdollista vain kevästä syksyyn, sillä marraskuun ja maaliskuun välisellä ajanjaksolla aurinkosähkötuotanto jää hyvin vaatimattomaksi, ja samaan aikaan sähköenergian tarve on tyyppillisesti korkeimmillaan. (Semi 2022)

Kuvassa 1 on esimerkki teho-omavaraisen omakotitalon demonstraation testimittauksista. Kuva esittää kiinteistön liittymän sähkötehoa yhden viikon ajalta toukokuussa siten, että positiiviset teholutukset edustavat energian kulutusta, kun taas negatiiviset teholutukset edustavat itse tuotetun aurinkosähkön syöttöä verkkoon. Kuten kuvasta nähdään, negatiiviset tehot ajoittuvat kunakin viikonpäivänä päiväsaikaan, jolloin aurinkosähkötuotanto on parhaimmillaan. Kuvassa ylituotannon energiamäärä on 75 kWh, ja kun ostosähkön tarve on 72 kWh, teho-omavaraisuus on tarkasteluviikon aikana sopivan energiavaraston avulla juuri ja juuri saavutettavissa.



Kuva 1. Kiinteistön sähköliittymän mitattu teho viikon ajalta (Semi 2022).

Kohteen aurinkosähköjärjestelmän nimellisteho on noin 7 kW, ja kun kohteeseen vietiin liikuteltavan hybridienergiajärjestelmän myötä 100 kWh:n energiavarasto sekä älykäs tehojenhallintajärjestelmä, kiinteistön teho-omavaraisuus olisi saatu toteutumaan hieman sääolosuhteista riippuen noin huhtikuusta syyskuuhun. Kun aurinkosähköjärjestelmän ja akuston kokoa kasvatetaan, teho-omavaraisuusaika venyy molemmista päistään, mutta samalla kesän ylituotanto kasvaa voimakkaasti.

Älykkäiden sähköverkkojen simulointiympäristö

Energiayhteisöt ja niihin liittyvät mikroverkot ovat tärkeä osa energiamurrosta. Pirkanmaan voi sanoa olevan alan pioneeri, sillä Lempäälän Marjamäkeen toteutettu energiayhteisö on Suomen mittakaavassa toiminut monessakin mielessä edelläkävijänä (Kettunen 2021). Energiayhteisöissä tavoitteina ovat yleensä energiaomavaraisuuden kasvattaminen, tietyn alueen energiansaannin turvaaminen ja älykkäiden energiajärjestelmien kehittäminen. Energiayhteisöissä tuotantolaitok-

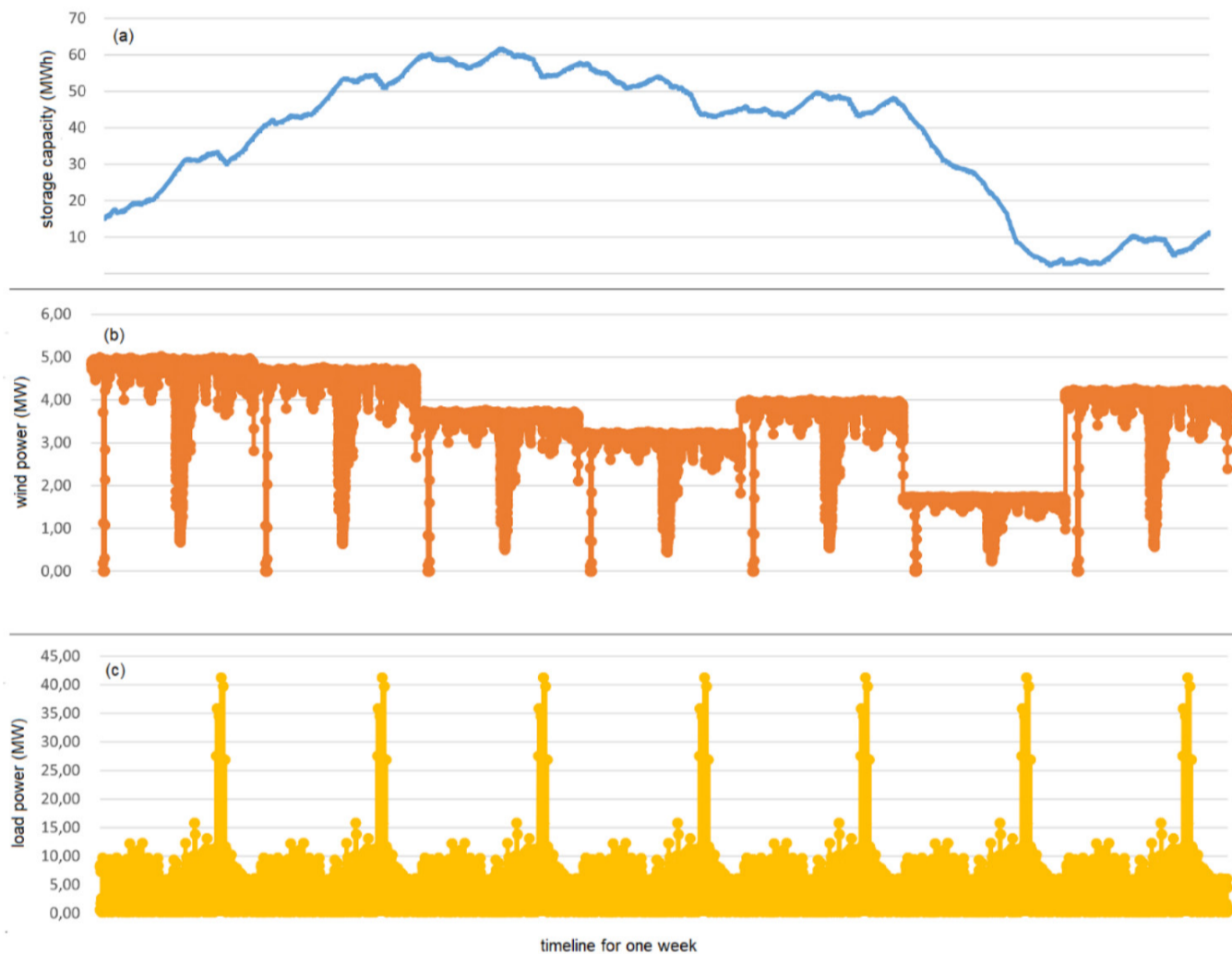
set, kulutuskohteet ja energiavarastot kytketään toisiinsa mikroverkolla, josta on yleensä yhteys valtakunnan verkkoon. Mikroverkko voi yleensä toimia omana saarekkeenaan tarjoten yhteisölle sähköä, vaikka valtakunnan verkko olisi alhaalla.

Mikroverkkojen sähkötekniistä simulointia on kehitetty XAMKin ja TAMKin yhteis-EAKR-hankkeessa *Älykkäiden sähköverkkojen simulointiympäristö*, jota rahoittaa Etelä-Savon maakuntaliitto. Hankkeessa on tehty testimallinnuksia mikroverkoille, joissa sääriippuvaa aurinko- ja tuulituotantoa tuetaan energiavaraston avulla. Simuloinnin keskeisenä tavoitteena on selvittää, kuinka suuri kapasiteetti tuulivoimaa, aurinkosähköä ja energiavarastoa tarvitaan, jotta tietty määrä kulutuskohteiksi valikoituneita kerrostaloja saa tarvitsemansa energian mikroverkosta jokaisena ajanhetkenä. Simuloinneissa keskityttiin saareketilanteisiin, joissa yhteys valtakunnan verkkoon oli poikki. (XAMK 2020)

Kuva 2 havainnollistaa yhden testiverkon viikon mittaisen simuloinnin tuloksia. Kyseisen mikroverkon ainoa tuotantolaitos oli nimellisteholtaan 5 MW:n tuulivoimala, jonka tuottama sähköenergia syötettiin yhteensä 70 kerrostalosta koostuvalle kuormalle. Lisäksi mikroverkkoon kuului akkuteknologiaan perustuva energiavarasto. Tavoitteena oli selvittää mikroverkon toimivuutta sääolosuhteiden vaihdellessa. Koska yhteyttä sähköverkkoon ei ole, energiavaraston tila määrittää mikroverkon toimivuuden. Mikroverkko pysyy siis toimintakuntoisena niin kauan, kuin energiavarastossa riittää energiaa verkon syöttämiseen. Teknisesti tilanne ei ole aivan näin yksinkertainen, sillä simulaatioissa mallinnettiin mikroverkon toiminnalle keskeisiä pätö- ja loistehotasapainoa sekä verkon solmupisteiden potentiaaleja. Käytännössä simulaatioiden lopputuloksena kuitenkin saatiin, että mikroverkko pysyy sähkötekniisesti laadukkaana niin kauan, kuin varastossa riittää energiaa.

Kuva 2 (b) esittää tuulivoimatuotantoa viikon päivien aikana. Tuulisuusolosuhteiden oletettiin vaihtelevan päivästä toiseen, ja siksi mitattuun aineistoon perustuvan tuulituotannon taso muuttuu päivän vaihtuessa. Kuvasta huomataan, että maanantai ja tiistai ovat tuulisuudeltaan hyviä päiviä, joiden aikana tuulivoimala toimii lähes ni-

mellistehollaan. Toisaalta lauantai onkin sitten selvästi heikkotuulisempi päivä, jolloin tuotantoteho on pudonnut noin 40%:iin nimellisarvostaan. Kun kuvassa 2 (c) esitetty kulutusteho pysyy päivästä toiseen samanlaisena, kuvassa 2 (a) esitetyn akuston varaustilan havaitaan muuttuvan tuulituotannon vaihdellessa. Maanantaina ja



Kuva 2. Mikroverkon simulointituloksia: (a) energiavaraston energia, (b) tuulivoimalan tuotantoteho, (c) 70 kerrostalon kulutusteho.

tiistaina akusto keskimäärin latautuu, ja keskiviikosta perjantaihin varaustaso säilyy kohtuullisena lievistä laskusta huolimatta. Lauantain heikko tuulituotanto aiheuttaa kuitenkin varaustason rajun pienenemisen, ja mikroverkko onkin lähellä kaatua lauantain päätteeksi. Energiavarasto ei kuitenkaan kokonaan tyhjene, ja koska sunnuntain hyvä tuulituotanto pelastaa tilanteen, mikroverkon toiminta säilyy sähköteknisesti laadukkaana koko simulointijakson ajan. On kuitenkin

kin huomattava, että tarkastellun mikroverkon stabiilisuus ei ole millään lailla taattu, sillä erilaisissa sääolosuhteissa verkko saattaa hyvinkin kaatua energiavaraston tyhjenemisen seurauksena.

Simulointiympäristö toteutettiin Powerworld-ohjelmiston ja Excelin yhdistelmällä. Powerworld on sähköverkkosimulaattori, jonka avulla verkon sähkötekniset suureet, kuten pätö- ja loistehotasapaino sekä solmupisteiden potentiaalit, pystytään luotettavasti ratkaisemaan. Exceliä käytettiin sääriippuvan tuotannon aikavaihteluun sekä energiavaraston tilan seurantaan. Käytännössä Excel syötti lähtötiedot Powerworldiin, joka suoritti laskennan, palautti tulokset Exceliin, ja sai taas seuraavan aika-askeleen lähtötiedot Excelistä. Aika-askeleena oli 10 s, joten viikon mittaiseen simulointiin tarvittiin 60480 laskentakierrosta.

Lähteet

Fingrid 2022. Reservituotteet ja reservien markkinapaikat. Julkinen esitysmateriaali. www.fingrid.fi

IEA 2022. A 10-Point Plan to Reduce the European Union's Reliance on Russian Natural Gas. International Energy Agency. www.iea.org

Kettunen M. & Kivioja O. 2021. Edelläkävijyys energiayhteisössä: hankkeen loppuraportti. www.eehanke.fi

Korpela, A., Alanen, S., Cumini, A., Hietalahti, L., Kohtala, M., Markkula, T. & Virtanen, K. 2021. Älykkäät ohjaukset moderneissa energiajärjestelmissä. TAMK-konferenssi 2021. Tampereen ammattikorkeakoulun julkaisuja. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-7266-55-7>

Lummi, K., Mutanen, A. & Järventausta, P. 2019. Upcoming Changes in Distribution Network Tariffs – Potential Harmonization Needs for Demand Charges. 25th International Conference on Electricity Distribution.

Semi, V. 2022. Energiavaraston vaikutukset aurinkosähkökiinteistön energiaomavaraisuuteen. Teknologiateollisuuden yksikkö. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

XAMK 2020. Älykkäiden sähköverkkojen simulointiympäristö. Hankkeen verkkosivu. n.d. XAMK. Luettu 10.1.2023. <https://www.xamk.fi/tutkimus-ja-kehitys/alykkaiden-sahkoverkkojen-simulointiymparisto-assa/>