

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

Huom! Tämä on rinnakkaistalenne.

To cite this Article / Käytä viittauksessa alkuperäistä lähdettä:

Korpela, A., Huikkola, M., Markkula, T., Rättyä, A. & Virtanen, K. (2024) Synteettisen inertian ratkaisut hajautetuissa sähköverkoissa. TAMK-konferenssi – TAMK Conference 2024. Tampereen ammattikorkeakoulun julkaisuja, s. 13-19.

URL: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-7592-00-7>

Aki Korpela, yliopettaja, Sovelletun tutkimuksen keskus, Tampereen ammattikorkeakoulu

Miika Huikkola, lehtori, Pedagogiset ratkaisut ja kulttuuri, Tampereen ammattikorkeakoulu

Toni Markkula, projektiasiantuntija, Teollisuusteknologia, Tampereen ammattikorkeakoulu

Atte Rättyä, lehtori, Rakennettu ympäristö ja biotalous, Tampereen ammattikorkeakoulu

Klaus Virtanen, lehtori, Teollisuusteknologia, Tampereen ammattikorkeakoulu

HANKKEIDEN NIMET: VETYTALouden TEKNOLOGIAT SEKTORI-INTEGRAATIOSSA

Asiasanat: sähköenergiajärjestelmä, energiamurros

SYNTEETTISEN INERTIAN RATKAISUT HAJAUTETUISSA SÄHKÖVERKOISSA

Sähköenergiajärjestelmän stabiilisuutta edistäviä hankkeita TAMKissa

Käynnissä oleva energiamurros on tehnyt energiasta ja erityisesti sähköenergiasta säännöllisen aiheen valtakunnan uutisissa. Paljon on kirjoitettu tuulivoimasta, aurinkosähköstä, vedystä ja myös hieka-akuista, mutta ylivoimaisesti eniten on kuitenkin uutisoitu pörsisähkön voimakkaasti vaihtelevista hinnoista. Kokonaisuudessa on kyse energiamurroksen vaikutuksista sähköenergiajärjestelmään, joka on järjestelmänä varsin herkkä jatkuvan tehotasapainovaatimuksensa vuoksi. Energiamurroksen myötä sääriippuva sähköntuotanto lisääntyy voimakkaasti, ja samalla markkinoilta katoaa fossiilista säätövoimaa. Ja kun suurten voimalaitosten poistumisen myötä verkon stabiilille toiminnalle tärkeä inertia vähenee, tuotannon ja kulutuksen välisen tehotasapainon hallinta on muuttunut aiempaa haastavammaksi. Kun perinteisesti kulutuksen minimoimisen on ajateltu olevan hyve, uudessa tilanteessa oleellisinta on verkon tehotasapainon tukeminen. TAMKissa on alkamassa useita teemaan liittyviä hankkeita, joista tässä artikkelissa esitellään kahta: Vetytalouden teknologiat sektori-integraatiossa ja Syn-teettisen inertian ratkaisut hajautetuissa sähköverkoissa.

Suomen sähköenergiajärjestelmä on kokenut viime vuosina suuria muutoksia. Tuulivoimaa on lisätty voimakkaasti noin vuodesta 2010 lähtien, eikä vauhti ole näillä näkymin ainakaan hidastumassa. Myös ydinvoiman tuotanto on Olkiluoto 3:n myötä lisääntynyt merkittävästi, ja toisaalta päästökaupan aiheuttama hintojen nousu on poistanut fossiilista tuotantoa markkinoilta. Myös se on suomalaisen sähköenergiajärjestelmän kannalta merkittävää, että Venäjän hyökkäyssota Ukrainassa lopetti hinnaltaan edullisen sähköntuonnin itänaapurista. Muutokset ovat olleet nopeita, mutta Suomen voi kuitenkin sanoa selvinneen niistä varsin hyvin. Sähköenergian pörssihinnan vaihtelun lisääntyminen on ollut sääriippuvan tuotannon lisääntymisen myötä ennalta tiedossa, mutta vaihtelun voimakkuus on silti ehkä yllättänyt. Moneen muuhun Euroopan maahan verrattuna Suomen tilanne on kuitenkin siinä mielessä hyvä, että riippuvuutemme fossiilienergiasta on jo vuosia ollut varsin vähäistä. Uusiutuvaan energiaan ja energiamurroksen vaikutusten hallintaan tehdyt investoinnit ovat edesauttaneet muutoksen onnistumista, mutta toisaalta myös haasteita on vielä ratkaistavana.

Sähköenergiajärjestelmän toimintaperiaate

Tuotetaanpa sähköenergiaa millä tahansa teknologialla, laadukkaan sähköenergiajärjestelmän toimintavaatimus on aina jatkuva tehota-sapaino tuotannon ja kulutuksen välillä. Sähköä on siis joka ikinen sekunti tuotettava oikealla teholla vastaamaan kulutuksen nimellisteho. Koska sähköverkko ei luontaisesti pysty varastoimaan juurikaan sähköenergiaa, vaatimus jatkuvasta tehotasapainosta tekee sähköenergiajärjestelmästä erittäin herkän. Esimerkiksi kaukolämpöverkko on luontaisesti paljon stabiilimpi, sillä jo pelkästään lämmitysveden lämpökapasiteetti tarjoaa luontaista puskuria. Lisäksi järjestelmään on varsin helppoa lisätä energiavarastoja esimerkiksi lämminvesivaraajien muodossa.

Mietitään, mitä sähköenergiajärjestelmän tehotasapainovaatimus käytännössä tarkoittaa. Todellisuudessa sähköenergiajärjestelmä toimii niin, että tuotettu sähköenergia tulee aina myös kulutettua. Tehotasapainossa onkin tarkkaan ottaen kyse siitä, että todellisen tuo-

tantotehon täytyy aina olla yhtä suuri kuin kulutuksen nimellisteho. Jos näin ei ole, sähköenergian muoto vääristyy. Muodon (erityisesti taajuuden) liiallisen vääristymisen lopullinen seuraus on koko sähköenergia-järjestelmän kaatuminen, joten kyse on keskeisen tärkeästä asiasta. Siksi tehotasapainon jatkuva hallinta on välttämätöntä korkealaatuisessa sähköenergia-järjestelmässä.

Energiamurroksen vaikutukset sähköenergiajärjestelmään

Kun mietitään energiamurroksen vaikutuksia sähköenergiajärjestelmään, keskeiseksi haasteeksi nousee tehotasapainon hallinnan hankaloituminen. Tehotasapainosta on aina pidetty sähköenergiajärjestelmässä huolta, mutta energiamurroksen myötä tilanne on muuttunut merkittävästi. Kolme keskeisintä syytä muutokselle ovat

1. sääriippuvan sähköntuotannon voimakas kasvu,
2. fossiilisen säätövoiman poistuminen,
3. sähköverkon inertian väheneminen.

Vielä 15 vuotta sitten tehotasapainosta huolehdittiin pääasiassa vesivoimalla ja kustannuksiltaan edullisella fossiilisella säätövoimalla. Kovatkaan pakkaset eivät aiheuttaneet suuremmin haasteita, sillä polttoon perustuvien tuotantolaitosten tehonsäätö onnistui vaivattomasti. Verkossa oli tällöin myös pyörivien tahtikoneiden tarjoamaa inertiaa selvästi enemmän kuin nykyään, mikä tarjosi stabiilisuutta sähköverkon taajuudelle. Yleisesti ottaen kokonaisuus oli selvästi helpommin hallittavissa kuin nykyään.

15 vuodessa tuulivoimasta on tullut nimellisteholla mitattuna Suomen suurin sähköntuotantomuoto. Sääolosuhteista riippuvaa tuulivoiman tuotantotehoa ei ainakaan toistaiseksi säädetä, vaan tuulivoimalat tuottavat aina kaiken sen sähköenergian, mitä kulloinkin olosuhteet mahdollistavat. Tuulivoiman sanotaan olevan aina markkinalla, eli toimiessaan se syrjäyttää markkinoilta tuotantokustannuksiltaan kalliimpia sähköntuotantomuotoja. Lienee selvää, että sääriippuvan vaihtuvatehoisen tuotannon lisääntyminen tuo lisähaastetta tehotasapainon hallintaan, sillä aiemmin sähköverkon kaikki tuotan-

toteho on ollut joko säädettävää tai vähintäänkin helposti ennustettavaa. Kun sääriippuvan tuotannon osuus kokonaisuudesta kasvaa, samalla kasvaa myös säätövoiman tarve. Energiamurros on vienyt tilannetta kuitenkin päinvastaiseen suuntaan, sillä kun päästökauppa on tehnyt fossiilisesta säätövoimasta taloudellisesti kannattamatonta, Suomen sähköenergiajärjestelmän ainoaksi säätövoimaksi on jäänyt vesivoima. Sen rooli on keskeisen tärkeä, mutta suomalaisen vesivoiman kapasiteetti ei yksinään ole riittävä tehotasapainon hallintaan. Kokonaistilannetta hankaloittaa entisestään vielä se, että verkon inertian vähenemisen myötä sähköenergian taajuus vaihtelee aiempaa helpommin. Tämän seurauksena osa tehotasapainon hallinnan ratkaisuista vaatii niin nopeaa säätökykyä, ettei edes vesivoiman säätöominaisuudet ole siihen riittäviä. Jotta sähköenergiajärjestelmän tehotasapainosta pystytään jatkossakin huolehtimaan, hallintaan tarvitaan uusia teknisiä ratkaisuja. Siksi julkisuudessa on enenevässä määrin puhuttu kulutusjoustosta, energian varastoinnista, älypohjaisesta tehonhallinnasta, vetytaloudesta ja sektori-integraatiosta.

Vetytalouden teknologiat sektori-integraatiossa

Vetytalouden teknologiat sektori-integraatiossa (VETY-tekno) on 3-vuotinen teknologiapainotteinen EAKR-hanke, jossa ratkaistaan vetytalouden yrityslähtöisiä haasteita kokeellisen TKI-työn keinoin. Teknologisia haasteita riittää, sillä vedylle kaavaillaan keskeistä roolia lähivuosisikymmenten CO₂-päästövähennystalkoissa.

Hieman yksinkertaistettuna vetytalouden yleissuunnitelma on seuraavanlainen.

1. Vihreää vetyä tuotetaan tuulivoimalla tai aurinkosähköllä. Kyse on elektrolyysistä, eli vettä hajotetaan sähköenergian avulla vedyksi ja hapeksi. Vedyn tuotanto elektrolyysillä kuluttaa valtavia määriä sähköenergiaa, ja siksi myös Suomen suunnitelmat tuulivoiman lisärakentamisesta ovat valtavia.
2. Vihreää vetyä käytetään teollisuuden prosessien päästöjen vähentämiseen, synteettisten yhdisteiden tuottamiseen sekä polttoaineeksi liikenteeseen ja energiantuotantoon.

3. Tuotettu vety toimii myös energiavarastona tarjoten puskuria ja aikajoustoa energiantuotantoon.

Sähköenergiajärjestelmän kannalta vetytalouden eteneminen tarkoittaa sähkönkulutuksen voimakkaan kasvun lisäksi myös sitä, että sektori-integraation kehittymisen myötä kovasti kaivatun kulutusjouston määrä kasvaa voimakkaasti (Fingrid 2022). Sektori-integraatiolla tarkoitetaan sähköverkon, kaukolämpöverkon ja vetyverkon yhdistymistä yhä tiiviimmin yhdeksi kokonaisuudeksi. Hyvänä esimerkkinä nykytilanteen sektori-integraatiosta toimivat kaukolämpöverkon suuret vesiakut, joita lämmitetään sähköllä. Vesiakkujen lämmittäminen toimii nopeasti joustavana kuormana sähköenergiajärjestelmälle, ja toisaalta lämpövarasto tarjoaa joustoa kaukolämpöverkolle. Jatkossa yhtenä keskeisenä sektori-integraationa edistävänä tavoitteena on, että vedyntuotanto toimii joustavana kuormana sähköverkolle, ja toisaalta vedyntuotannon hukkalämpö hyödynnetään kaukolämpöverkossa.

VETY-tekno-hankkeessa ratkaistaan kokeellisen TKI-työn keinoin vetytalouden teknologisia haasteita, joita tulee vastaan vedyn tuotannossa, varastoinnissa, jatkojalostuksessa ja käytössä. Yhtenä esimerkkinä yleisesti kiinnostavasta teknisestä haasteesta mainittakoon epävarmuus elektrolyysereiden sietokyvystä vaihtuvatehoiselle sähkökäytölle. Elektrolyysarit ovat tasasähkölaitteita, jotka on alun perin suunniteltu käytettäväksi muuttumattomalla vakiosähköteholla. Sähköverkon jouston näkökulmasta kulutusjouston mahdollistava vaihtuvatehoinen käyttö on kuitenkin keskeisen tärkeää. Kukaan ei toistaiseksi tunnu kuitenkaan tietävän, kuinka nopeasti elektrolyyserien suorituskyky heikkenee vaihtuvatehoisessa käytössä.

Hankkeen myötä TAMKiin rakentuu vetytalouden liikuteltava testilaboratorio. Liikuteltavuus mahdollistuu aiempien hankkeiden avulla, sillä vetylaitteistot tullaan integroimaan aiemmissä hankkeissa toteutetun liikuteltavan hybridienergia-järjestelmän perävaunuihin. Erittäin hyödyllistä on myös se, että hybridienergia-järjestelmä mahdollistaa monipuoliset ja älypohjaiset sähkönsyöttövaihtoehdot vetytalouden laitteistoille. (Korpela 2023)

Synteettisen inertian ratkaisut hajautetuissa sähköverkoissa

Synteettisen inertian ratkaisut hajautetuissa sähköverkoissa on 2-vuotinen JTF-hanke, joka toteutetaan yhteistyössä XAMKin kanssa. Tässä painotukseltaan matemaattis-luonnontieteellisessä hankkeessa pureudutaan sähköverkojen inertian perusteisiin ja kehitetään ratkaisuja, joiden avulla suuntaajakäyttöiset sähköntuotantomuodot (tuulivoima, aurinkosähkö, energiavarastot) pystyvät tukemaan sähköverkojen taajuutta suurien pyörivien tahtikoneiden tavoin.

Inertialla eli hitausmomentilla tarkoitetaan sähköenergiajärjestelmän yhteydessä sitä, että sähköverkon taajuus on suoraan kytköksissä sähköä tuottavien suurimassaisten tahtigeneraattorien pyörimisnopeuteen. Esimerkiksi ydinvoimaloissa ja teollisuuden tuotantolaitoksissa nämä suurimassaiset sähkökoneet pyörivät jatkuvasti samalla pyörimisnopeudella, minkä seurauksena sähköverkkoon tuotetaan sinimuotoisesti vaihtelevaa sähköenergiaa tasaisella 50 Hz:n taajuudella. Taajuus onkin ensimmäinen mittari aiemmin mainitulle tehotasapainolle: jos tuotanto ja kulutus ovat täsmälleen tasapainossa, verkon taajuus on 50 Hz. Jos tuotantotehoa on liikaa, taajuus nousee 50 Hz:n yläpuolelle, ja jos vastaavasti kuormituksen nimellisteho ylittää tuotantotehon, taajuus laskee 50 Hz:n alapuolelle. Jatkuvassa tehotasapainon hallinnassa onkin ensisijaisesti kyse siitä, että taajuus pidetään jatkuvan säädön avulla mahdollisimman lähellä nimellisarvoaan.

Mitä enemmän sähköverkossa on inertiaa, eli suurimassaisten pyörivien tahtigeneraattoreiden hitausmomenttia, sitä vaikeampaa taajuuden poikkeuttaminen on. Tämä johtuu käytännössä siitä, että taajuuden muuttuminen edellyttää pientä muutosta suurimassaisten tahtigeneraattoreiden pyörimisnopeuteen. Koneiden hitausmomentti siis hidastaa taajuuden muutosta ja tukee täten verkon taajuutta. Mitä enemmän verkossa on inertiaa, sitä suurempi tehoepätasapaino tarvitaan tietyn taajuusmuutoksen syntymiseen. Ja toki riippuvuus toimii myös toisinpäin: mitä vähemmän verkossa on inertiaa, sitä helpompaa taajuuden poikkeuttaminen on. Koska suuntaajakäyttöiset tuotantomuodot (tuulivoima, aurinkosähkö, energiavarastot) eivät tarjoa inertiaa, sähköverkon inertia on vähentynyt energiamurroksen myötä. Tämä on seurausta erityisesti fossiilisen sähköntuotannon alasajosta.

Inertiaa voidaan lisätä sähköenergiajärjestelmään kolmella tavalla: 1) lisäämällä perinteistä sähköntuotantoa (esim. ydinvoima), 2) lisäämällä verkkoon tyhjäkäynnillä pyöriviä tahtikoneita (synkronikompensointoreita), 3) ohjelmoimalla suuntaaja-käyttöisiä sähköntuotantomuotoja siten, että ne tukevat verkon taajuutta tahtigeneraattorien tavoin. Vaihtoehdoista viimeistä kutsutaan synteettiseksi tai virtuaaliseksi inertiaaksi (Manninen 2022).

Synteettisen inertian ratkaisut hajautetuissa sähköverkoissa -hankkeessa suunnitellaan ja toteutetaan sähköverkon dynaaminen laskentamalli, jonka avulla simuloidaan synteettisen inertian mahdollisuuksia hajautettujen verkkojen erilaisissa käyttötilanteissa. Mallinnus edellyttää verkkoa kuvaavien differentiaaliyhtälöiden numeerista ratkaisemista, minkä seurauksena hankkeen toimenpiteissä korostuu matemaattis-luonnontieteellinen osaaminen. Kun testiverkko ja sen inertia-mallinnukset on saatu toimiviksi, sen jälkeen hankkeessa tarkastellaan, millaisia reunaehtoja eri suuntaajakäyttöiset sähköntuotantomuodot asettavat synteettisen inertian tuottamiselle. Lopullisena tavoitteena on ottaa kantaa niihin pelisääntöihin, joilla tuulivoima, aurinkosähkö ja energiavarastot voisivat tulevaisuudessa tuottaa synteettistä inertiaa valtakunnalliseen sähköverkkoon.

Lähteet

Fingrid Oyj. 15.5.2020. Sektori-integraatio auttaa tehotasapainon hallinnassa. Luettu 15.1.2024. <https://www.fingridlehti.fi/sektori-integraatio/>

Korpela, A. et al. 2023. Mobile Hybrid Energy System for Modern Drives of Smart Energy Transition. Smart Grids and Sustainable Energy. Springer. <https://doi.org/10.1007/s40866-023-00162-5>

Manninen, J. 2022. Synteettisen inertian nykytilanne ja tulevaisuus. Lappeenrannan – Lahden teknillinen yliopisto. Kandidaatintyö.