

Lauri Aaltonen* ja Kari Lappalainen

Energiamurroksen vaikutukset sähkönkulutukseen ja -tuotantoon suomalaisissa jakeluverkoissa

Tiivistelmä: Tämä artikkeli käsittelee meneillään olevan energiamurroksen vaikutuksia sähkönkulutukseen ja -tuotantoon suomalaisissa sähkönjakeluverkoissa, keskittyen pääpainoltaan Tampereen Energia Sähköverkko Oy:n verkkoalueeseen. Energiamurros, joka sisältää energiatehokkuuden parantamisen sekä siirtymisen uusiutuviin energialähteisiin, muuttaa merkittävästi sähkönjakeluverkkojen toimintaa. Tutkimus pyrkii analysoimaan, miten energiamurros näkyy jo nyt verkkoyhtiöiden toiminnassa ja millaisia historiallisia trendejä on havaittavissa. Tulokset osoittavat pientuotantolaitosten kasvavan verkossa sekä lukumäärältään että tehoiltaan. Uudet asiakkaat hankkivat suurempia liittymiä ja osa vanhoista asiakkaista korottaa liittymäsopimustaan. Tuloksia on mahdollista hyödyntää esimerkiksi sähkönjakelu- ja rakennusautomaatiota suunniteltaessa.

Avainsanat: energiamurros, sähkönjakeluverkko, hajautettu tuotanto, liikenteen sähköistyminen

***Vastaava kirjoittaja:** Lauri Aaltonen Tampereen yliopisto, E-mail: lauri.aaltonen@tuni.fi

Kari Lappalainen: Tampereen yliopisto, E-mail: kari.lappalainen@tuni.fi

1 Johdanto

Energiamurros on meneillään oleva energiasektorin rakenteellinen muutos, jossa perinteiset fossiilisiin polttoaineisiin perustuvat energiantuotantotekniikat korvataan uusiutuvilla energialähteillä ja energiatehokkuutta parantavilla ratkaisuilla. Tämä on yksi keinoista päästä Pariisin ilmastositoumuksen tavoitteisiin vuoteen 2050 mennessä.

Jakeluverkkotasolla energiamurroksen tuomat muutokset liittyvät pääasiassa sähköistymiseen, uusiutuvaan sähköenergian tuotantoon ja energiatehokkuuteen. Sähköistys, suoraan tai epäsuoraan, näkyy muun muassa liikenteen, lämpöjärjestelmien ja teollisten prosessien keskuudessa. Uusiutuvan, sääriippuvan, tuotannon määrä on kasvanut. Kansainvälinen energiajärjestö (IEA) ennustaa uusiutuvien kattavan koko maailman

sähkön tuotannosta melkein puolet vuoteen 2030 mennessä, tuulivoiman ja aurinkovoiman osuuksien kaksinkertaistuessa noin 30 %:iin [1]. Energiatehokkuus on myös näkyvä osa energiamurrosta esimerkiksi lämmitystaparemonttien ja sähkönkäyttäjien aktiivisuuden lisääntymisen muodossa.

Energiamurros tuo haasteita jakeluverkkoyhtiöiden toimintaan. Tampereen Energia Sähköverkko Oy ennustaa vuoden 2024 kehittämissuunnitelmassaan sähköautojen ja pientuotannon määrän kasvavan seuraavan 10 vuoden aikana reippaasti [2]. Sääriippuvaisen hajautetun tuotannon ja uusien kuormien liittämisen verkkoon tulee olla mahdollista samanaikaisesti mahdollisten joustopalveluiden kanssa. Näiden haasteiden vallitessa jakeluverkkoyhtiöiden tulisi suunnitella verkkoinvestointejaan pitäen samalla kustannukset, turvallisuuden ja verkon luotettavuuden halutulla tasolla.

Tämä artikkeli analysoi erilaisia energiamurrokseen liittyviä sähkönkäytön muutostrendejä sähkönjakeluverkoissa Suomessa. Tarkoituksena on saada konkreettista tietoa siitä, mitkä lähiaikoina tapahtuneet muutokset ovat merkittäviä jakeluverkon suunnittelun näkökulmasta.

2 Menetelmät ja aineisto

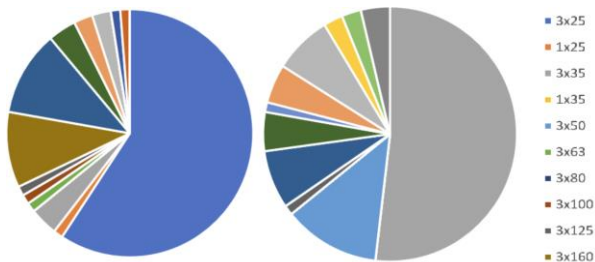
Tutkimuksessa hyödynnetään yhden manner-Suomen jakeluverkkoyhtiön, Tampereen Energia Sähköverkko Oy:n (TAES), dataa sähkönkulutuksesta ja -tuotannosta saatavilla olevan julkisen datan lisäksi. Yhtiö toimii pääasiassa Tampereen kaupungin alueella käsittäen useita erilaisia alueita kuten ydinkeskustan, teollisuusalueita, taajama-alueita ja haja-asutusalueita.

Tietoa on haettu TAES:in verkko-, energia- ja asiakastietojärjestelmistä. Verkkotietojärjestelmästä on saatu tietoa jakeluverkon nykyisistä komponenteista sekä niiden ikärakenteesta ja pitoajoista. Asiakastietojärjestelmässä puolestaan on tietoa solmituista liittymissopimuksista. Energiatietojärjestelmässä on saatavilla asiakkaiden sähkönkulutustiedot.

3 Tulokset

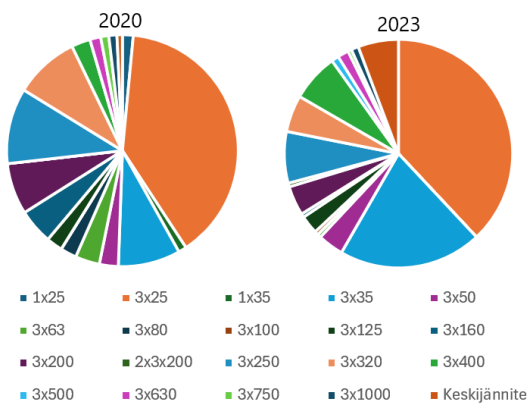
Liittymäsopimusten muutoksia tarkasteltiin vuosilta 2020–2023. Tieto liittymäsopimuksen muutoksesta on verkkoyhtiölle tarpeellinen, sillä kulutustottumukset muuttuvat tällä hetkellä radikaalisti esimerkiksi lämmitystaparemonttien tai sähköautojen hankinnan seurauksena. Kaikista 668:sta saatavilla olevista tarkastellusta liittymäsopimuksen muutoksesta 59 % oli vanhan 3x25 A:n sulakekoon liittymien muutoksia. Toiseksi suosituin korotettava liittymä oli 3x160 A, 7 %:n osuudella.

Kuvassa 1 esitetään vuoden 2023 liittymäsopimusmuutokset. Kun tarkastellaan liittymäsopimusten muutoksia, voidaan havaita, että valtaosa vanhoista liittymistä on 3x25 A -liittymiä ja uusista 3x35 A -liittymiä. Vuonna 2023 120 kpl 3x25 A -liittymiä päivitti liittymäkokoaan isompaan. 95 % vaihtoi seuraavaan mahdolliseen, 3x35 A:n liittymään ja loput joko 3x50 A:n tai 3x63 A:n liittymään.



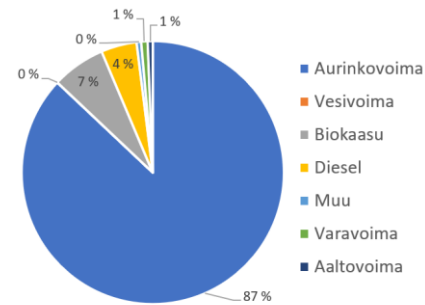
Kuva 1. Liittymäsopimusten muutokset vanhasta (vas.) liittymästä uuteen (oik.) vuonna 2023

Uusia liittymiä on otettu käyttöön 2020 alusta vuoden 2023 lokakuun alkuun 1204 kappaletta. Kuvassa 2 on esitettynä uudet liittymät TAES:n verkkoalueella. Uusissa liittymissä näkyy samanlainen trendi mitä liittymäsopimusten muutoksissa. Koon 3x25 A -liittymä on menettänyt suosiotaan ja 3x35 A on kasvattanut suosiotaan. Muita liittymiä on verrattain vähän, joten niistä on vaikeampi havaita trendiä luotettavasti.



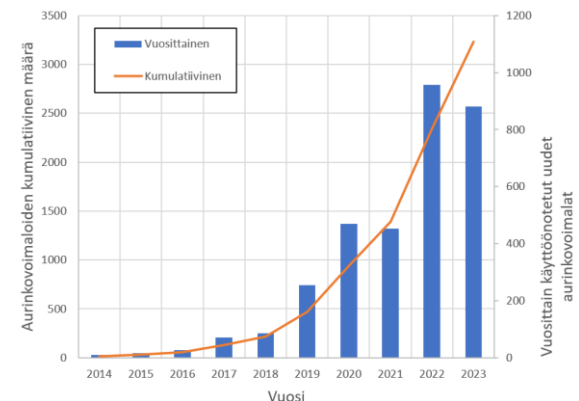
Kuva 2. Uusien liittymien sulakekoko vuosina 2020 ja 2023.

Aurinkovoimalat yleistyvät verkossa kansallisesti. Vuonna 2017 aurinkovoimalat tuottivat Suomessa sähköenergiaa 49 GWh. Vuonna 2022 vastaava luku oli 392 GWh. [3] Dataa tutkittavan verkkoalueen aurinkovoimaloista on haettu viimeisen 10 vuoden ajalta. Kuvassa 3 on Tampereen Energia Sähköverkko Oy:n verkkoalueen kaikki pientuotantopaikat (< 1 MW) esitettynä tuotantotavan mukaan. Kuvaajasta voidaan havaita, että valtaosa pientuotannosta painottuu aurinkovoimaan. Kaasu- ja dieselvoimaa on myös huomattava määrä.



Kuva 3. Pientuotannon (< 1 MW) tuotantomuodot verkkoalueella, nimellistehon mukaan.

Kuvassa 4 on esitetty alle 1 MVA:n aurinkovoimaloiden kumulatiivinen lukumäärä ja vuosittainen käyttöönotettujen voimaloiden lukumäärä TAES:n verkkoalueella. Kumulatiivinen käyrä nousee hyvin jyrkästi, vaikka viimeisimpänä vuonna asennusten määrä ei ole enää ollut kasvussa.

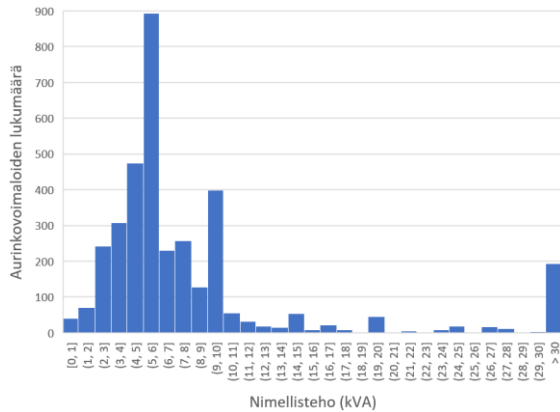


Kuva 4. Alle 1 MVA:n aurinkovoimaloiden yleistyminen verkossa kappalemäärinä.

Kuvassa 5 on esitetty verkkoalueen aurinkovoimalat jaoteltuna nimellistehon mukaan. Kuten voidaan havaita, suosituin aurinkovoimalan teholuokka on 5–6 kVA. Huomattavaa on myös 9–10 kVA:n aurinkovoimaloiden yleisyys. Yli 30 kVA:n voimaloita on myös huomattava määrä.

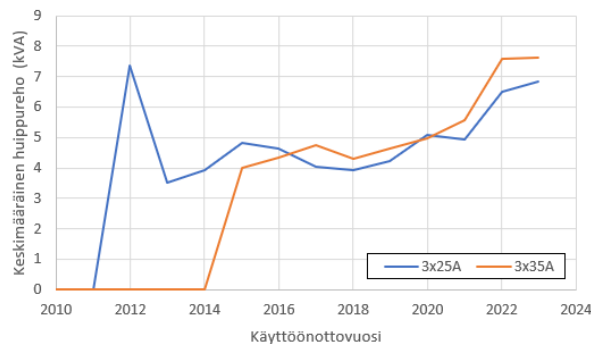
Kuvassa 6 esitetään aurinkovoimaloiden keskimääräistä nimellistehoa kahden tyyppillisen omakotitalon pääsulakekoon kohteissa. Vuosina 2010–

2014 asennetuissa voimaloissa keskimääräinen nimellisteho heittelehti paljon, voimaloiden pienen määrän vuoksi. Viimeisimmän viiden vuoden aikana tilanne on muuttunut huomattavasti. Vuonna 2018 nimellistehojen keskiarvot olivat noin 4–5 kVA ja 2023 ne olivat jo 6–8 kVA.



Kuva 5. Aurinkovoimaloiden nimellistehojen jakautuminen

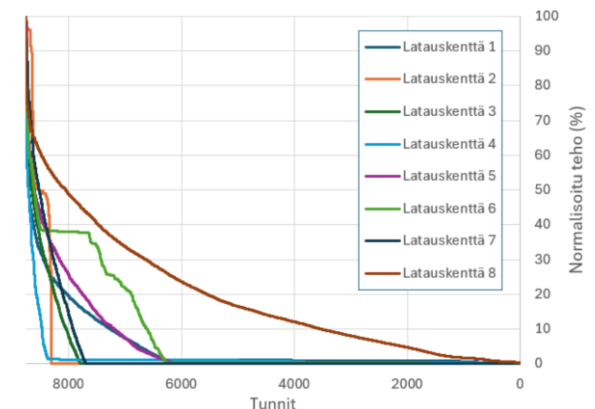
Aurinkovoimaloiden kasvu verkkoalueella johtaa myös pitkällä aikavälillä kehittyneempiin automaatiotratkaisuihin. Suurin osa tuotetusta aurinkoenergiasta halutaan käyttää mahdollisuuksien mukaan itse. Tämä vaatii automaatiotratkaisuja kiinteistön kuormiin tai jopa tarvetta energiavarastoille. Jakeluverkkoyhtiöllä on taas omat tavoitteensa, jotka poikkeavat sähkönkuluttajasta. Näitä ovat esimerkiksi joustopalvelut ja mahdolliset saarekekäytöt.



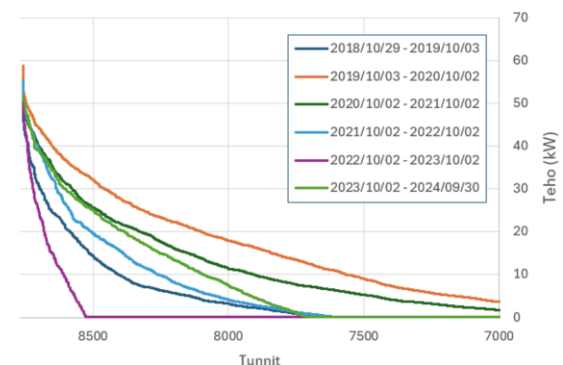
Kuva 6. Aurinkovoimaloiden nimellistehon keskiarvo käyttöönottovuoden funktiona kahden eri sulakekoon kohteissa.

Sähköautojen latauspisteistä on saatavilla vähemmän dataa, sillä latauspisteen lisäyksestä ei tarvitse kertoa verkkoyhtiölle, ellei laturi kykene kaksisuuntaiseen lataukseen. Isompia, julkisia sähköautonlataukseen tarkoitettuja liittymiä TAES:n verkkoalueelta löytyy ja ne löytyvät verkkotietojärjestelmästä julkista tietoa olevan sijaintinsa avulla. Kuvassa 8 on esitetty 7 liittymän pysyvyyskäyrät viimeisimmän vuoden ajalta normalisoituna liittymän maksimitehon mukaan. Liittymät toimivat tyypillisesti suurimman osan

vuodesta nollateholla. Pienen osan ajasta liittymät toimivat maksimiteholla. Lisäksi latauskenttien hallinnoijat voivat esimerkiksi rajoittaa lataustehoja eri latuereille liittymän takana ja suorittaa huoltotoimenpiteitä. Pysyvyyskäyrän selkeistä "askelista" voi havaita sen, miten liittymän maksimitehoa jakautuu oletettavasti eri latuereiden kesken. Latauskenttä 8 on ainoa tarkasteltu keskijänniteliittymä. Tämän liittymän takana on luultavasti muutakin kuormaa, mikä selittäisi pysyvyyskäyrän muodon pienillä tehoilla. Liittymässä tiedetään olevan myös sähköautonlatausta, joka näkyy pysyvyyskäyrän huipussa. Sulakekoon 3x160 A:n sulakkeiden takana olevalle latauskenttä 7:lle on esitetty pysyvyyskäyrät eri vuosina kuvassa 9. Kuvaajasta voidaan havaita suurta vaihtelua latauskentän käytössä eri vuosien välillä. Kilpailevat toimijat sekä palvelut lähialueella voivat muuttaa latauskentän käyttöä voimakkaasti. Muita mahdollisia syitä muutoksiin ovat huolto- ja ylläpitotoimenpiteet, laitteiston päivitykset ja muutokset latauspalvelun hinnoittelussa.



Kuva 7. Liittymän maksimitehon mukaan normalisoitu pysyvyyskäyrä 7:lle julkiselle latauskentälle.



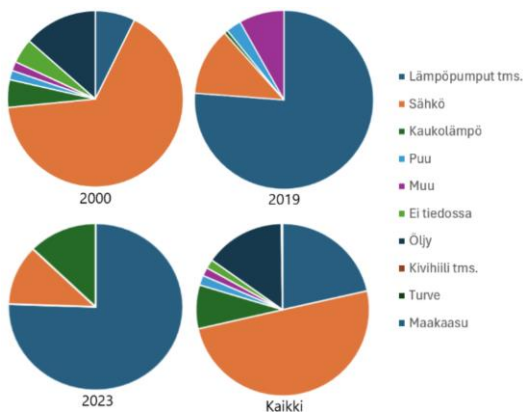
Kuva 8. Pysyvyyskäyrä eri vuosilta latauskenttä 7:lle.

Nykyisiä, pääasiassa passiivisia latauskenttiä tullaan tulevaisuudessa käyttämään aktiivisemmin. Tämä tarkoittaa, että latauskenttää ohjataan kulujen optimoimiseksi esimerkiksi ostetun sähkön hinnan suhteen sekä kuorman tasoittamiseksi samalla pitäen asiakkaiden tyytyväisyyden latauspalveluun riittävänä

esimerkiksi tarpeeksi nopean latauksen, luotettavuuden ja selkeän hinnoittelun avulla. Tämän toteuttaminen tehokkaasti vaatii uusia automaatoratkaisuja.

Suomalaisten kiinteistöjen lämmitystavat ja energiatehokkuudet ovat muuttuneet mm. fossiilisten polttoaineiden hintojen kasvun seurauksena. Yksi tyypillisimmistä remonteista on öljylämmityksestä luopuminen ja lämmitystavan vaihto esimerkiksi erilaisiin lämpöpumpputeknikoihin. Vuosina 2020–2024 ELY-keskuksen tähän tarkoitukseen myöntämän valtionavustuksen määrä oli yhteensä 122 M€. Tampereen alueella noin 2,3 % pientalokannasta hyödynsi tätä avustusta samalla ajanjaksolla. [4]

Mitä enemmän kiinteistöjä siirrytään lämmittämään puun, öljyn tai kaasun sijasta suoralla sähköllä tai epäsuoralla sähköllä esim. maalämpöpumppujen avulla sen suurempi sähkönkulutus verkossa on. Kasvu pätee myös huipputehoille, ellei lämmityksiä ajoiteta järkevästi. Kuvassa 9 on esitetty Tampereen alueen omakotitalojen lämmitystapa [5] eri vuosina rakennetuissa taloissa, lämmitysvoiman mukaan jaoteltuna. Datasta on suodatettu pois kohteet, joiden rakennustilavuudeksi on ilmoitettu 0 m³.



Kuva 9: Tampereen omakotitalojen lämmitystapa eri vuosina rakennetuissa kohteissa [5].

Rakennusdatasta voidaan havaita monta muutosta. Öljylämmitteisiä omakotitaloja rakennettiin vielä 2000-luvun alussa jonkin verran, mutta enää ei liki ollenkaan. Öljylämmitteisten omakotitalojen osuus nykyisestä rakennuskannasta on vielä kuitenkin huomattava. Toisaalta vuosituhannen vaihteessa suosittu sähkölämmitys ei ole enää yhtä suosittu ja sen jättämää aukkoa ovat korvanneet erilaiset lämpöpumppuratkaisut.

4 Yhteenveto

Tämän artikkelin tarkoituksena oli selvittää energiamurroksen trendejä suomalaisissa

sähköjakeluverkoissa. Pientuotannon määrän havaittiin kasvaneen voimakkaasti sekä verkossa olevan kapasiteetin että yksittäisen voimalan tehon suhteen. Samaan aikaan sähköautot ja lämmitystapamuutokset ovat kasvattaneet sähkökäyttöä. Sähköautojen latauskenttien pysyvyyskäyrät ovat jyrkkiä ja vuosittainen vaihtelu on merkittävää.

Sääriippuvan tuotannon ja sähköajoneuvojen kasvu johtaa isompiin tehoihin ja energiankäyttöön verkkoalueella. Muutokset sähköverkossa kasvattavat uusien automaatoratkaisujen kysyntää. Automaatoratkaisuja täytyy kehittää sekä kuluttajille että verkkoyhtiöille sillä molemmilla on omat tavoitteensa, jotka eivät aina kohtaa. Esimerkiksi kuluttajat saattavat keskittyä pääasiassa säästöihin, kun verkkoyhtiöt taas saattavat painottaa verkon luotettavuutta. Tulevaisuudessa automaatiojärjestelmät tulevat olemaan keskeisessä roolissa energiajärjestelmien optimoinnissa.

Tunnustukset

Kirjoittajat haluavat kiittää Tampereen Energia Sähköverkko Oy:tä tutkimuksen lähtötiedoista. L. Aaltonen on saanut rahoitusta Teollisuuden innovaatioiden tohtorikoulu (DSII) -projektista, jota rahoittaa Tampereen Energia Sähköverkko Oy sekä Tampereen yliopisto. K. Lappalainen on saanut rahoitusta Suomen Akatemialta (rahoituspäätös 348701).

Lähteet

- [1] Kansainvälinen energiajärjestö (IEA), Renewables 2024 [verkkajulkaisu], <https://www.iea.org/reports/renewables-2024>, s. 9. Lisenssi: CC BY 4.0. Viitattu: 2025-03-02.
- [2] Tampereen Energia Sähköverkko Oy, Kehittämissuunnitelma 2024 [verkkajulkaisu]. <https://tampereensahkoverkko.kehittamissuunnitelma.fi/>. Viitattu: 2025-03-06.
- [3] Tilastokeskus. Suomen virallinen tilasto (SVT): Sähkön ja lämmön tuotanto [verkkajulkaisu]. <https://stat.fi/tilasto/salatuo>. Viitattu: 2024-10-09.
- [4] Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus (ELY-keskus): Avustus pientalon öljylämmityksestä luopumiseksi – Avustusten karttasovellus [verkkajulkaisu]. <https://experience.arcgis.com/experience/cac6442d52b94b0c913d39ddc57ec549/>. Viitattu: 2025-02-17.
- [5] Tampereen kaupungin dataportaali. Tampereen rakennukset [verkkajulkaisu]. <https://data.tampere.fi/data/fi/dataset/tampereen-rakennukset>. Viitattu: 2024-11-13.