



Open your mind. LUT.
Lappeenranta University of Technology

Älymittarit ja niiden hyödyntäminen, nykytila ja kehitys- näkymät Suomessa ja Pohjoismaissa

Teemu Saareks

TIIVISTELMÄ

Lappeenranta University of Technology
LUT School of Energy Systems
Sähkötekniikka

Teemu Saareks

ÄLYMITTARIT JA NIIDEN HYÖDYNTÄMINEN, NYKYTILA JA KEHITYSNÄKYMÄT SUOMESSA JA POHJOISMAISSA

2017

Kandidaatintyö.
25 sivua, 6 kuvaa ja 1 taulukko.

Tarkastaja: Professori Jarmo Partanen

Älymittareiden käyttöönotto ja hyödyntäminen on lisääntynyt sähköverkon muuttuessa koko ajan älykkäämmäksi. Asennusprojekteja ovat vauhdittaneet kansainvälisten lainsäädäntöjen lisäksi tarve saada entistä reaaliaikaisempaa tietoa sähkönkulutuksesta, Euroopan unionin asetukset ja muun muassa 2015 laadittu Pariisin ilmastosittemus.

Tämän kandidaatintyön ensimmäisessä osassa käsitellään kirjallisuustutkimuksen kautta älymittareiden hyödyntämiskohteita, sekä hyötyjä ja samalla niiden tuomia haasteita. Toisessa osassa perehdytään Suomen, Ruotsin ja Norjan älymittareiden nykytilaan. Kolmannessa ja viimeisessä osassa luodaan katsaus älymittareiden tulevaisuudennäkymiin edellä mainittujen maiden osalta.

Älymittareiden tarjoama tuntimittaustieto ja etäluettavuus hyödyttävät sähkömarkkinoiden ja sähköverkon eri osapuolia huomattavasti. Suomi ja Ruotsi ovat älymittauksen edelläkävijämaita. Lähitulevaisuudessa edessä on uuden mittarisukupolven käyttöönotto ja Norjassa asennetaan jo parhaillaan kehittyntä mittaustjärjestelmää. Älymittarit ja niiden tarjoama mittaustieto ovat tulevaisuudessa suuremmassa roolissa, kun niitä voidaan hyödyntää tehokkaammin muun muassa markkinoiden käyttöön, verkon kehittämiseen ja kysyntäjouston.

ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology
LUT School of Energy Systems
Electrical Engineering

Teemu Saareks

SMART METERS AND UTILIZE OF THEM, STATUS NOWADAYS AND IN THE FUTURE IN FINLAND AND NORDIC COUNTRIES

2017

Bachelor's Thesis.
25 pages, 6 pictures and 1 table

Examiner: professor Jarmo Partanen

Commissioning and utilizing of smart meters have been increased when electrical grid has turned smarter all the time. The need to get more real-time information about electricity consumption, European Union's acts and 2015 Paris climate agreement among other things have hasten installations.

The first part of this Bachelor's thesis handles utilization of smart meters, benefits and also challenges what smart meters offers. In the second part of research takes look about present state of smart metering in Finland, Sweden and Norway. In the third and last part of research creates an overview of future perspectives in smart metering on countries above-mentioned.

Hourly measurement data and remote readable smart meters benefits all parties who are involved in electricity markets and electricity grid overall. Finland and Sweden are front runners in smart metering. In near future new, second generation meters will be installed in Finland and Sweden, and Norway is currently installing their new smart metering system. Smart meters and data them offers plays bigger role in future when them can be used more effectively for example in improving electricity grid, markets and demand response.

SISÄLLYSLUETTELO

Käytetyt merkinnät ja lyhenteet

1. Johdanto	6
2. Älykäs mittausjärjestelmä	8
2.1.1 Ominaisuudet	8
2.2 Älymittareiden tuomat hyödyt ja haasteet	10
2.2.1 Hyödyt	10
2.2.2 Haasteet	11
3. Nykytila	12
3.1 Suomi	12
3.2 Ruotsi	13
3.3 Norja	14
4. Kehitysnäkymät	15
4.1 Suomi	15
4.1.1 Datahub	17
4.1.2 Pientuotanto ja kysyntäjousto	17
4.2 Ruotsi	18
4.3 Norja	20
4. Yhteenveto	22
Lähteet	24

KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET

AMR	Automatic Meter Reading, automaattinen mittareiden luku
AMS	Automatic Metering and Management System,
kWh	Kilo Watt hour, kilowattitunti
MMR	Manual Meter Reading, manuaalinen mittareiden luku
NVE	The Norwegian Water Resources and Energy Directorate
RAM	Random Access Memory, keskusmuisti

1. JOHDANTO

Sähköverkko on uusien informaatio- ja digitaalitekniikoiden sekä Euroopan Unionin tavoitteiden ja säädösten myötä tulossa entistä älykkäämmäksi (smart grid). Smart gridille ei ole vielä tarkkaa määritelmää, mutta voidaan sanoa, että se on älykäs sähköjakelukanava varustettuna modernilla tieto- ja informaatiotekniikalla. Suomen työ- ja elinkeinoministeriön älyverkkotyöryhmä määrittelee älyverkon seuraavanlaisesti:

”Laaja toiminnallinen kokonaisuus – palvelualusta – joka kattaa sähkön fyysisen siirron ja jakelun lisäksi muun muassa tuotannon, hajautetut energiareсурssit, sähköjärjestelmän joustot ja erilaiset älyverkkosovellukset ja joka yhdistää fyysisen sähkön siirron tukkuja vähittäismarkkinoihin.” [1]

Sähköverkon muuttuessa älykkääksi tarkoittaa se myös sitä, että sähkön mittauskin kehittyy. Uusiutuvan energian lisääntymisen, pientuotannon yleistymisen ja sähköjakelun laadun sekä toimitusvarmuuden takaamisen johdosta tarve saada reaaliaikaista tietoa sähkön kuluksista ja laadusta kasvaa. Vanhat manuaalisesti luettavat kWh-mittarit, niin sanotut MMR-mittarit, ovat korvaantumassa etäluettavilla AMR-mittareilla, joita myös älymittareiksi kutsutaan. Lainsäädäntö ja Euroopan Unionin säädökset ja ilmastotavoitteet ovat osaltaan ajaneet siirtymistä älymittareihin. Uusien mittareiden myötä tietoa sähkönkäytöstä eri osapuolten käyttöön saadaan paljon helpommin ja nopeammin kuin aikaisemmin. Älymittareiden myötä saadaan mittaustuloksista myös paljon enemmän muuta informaatiota kuin ennen, jolloin tieto rajoittui lähinnä sähkön kulutuksen määrään.

Suomi on maailmanlaajuisesti älymittauksen edelläkävijä, kun se otti ensimmäisenä laajamittaisesti käyttöön sähkön älymittauksen. Muista Pohjoismaista Ruotsissa älymittaus aloitettiin ennen Suomea, mutta sen vaatimukset eivät vielä laajamittaisesti täyttäneet älymittauksen vaatimaa etäluettavuutta ja tuntimittausta. Norjassa taas älymittareita ei ole vielä asennettu. Mittareiden pitoaika on noin 10-20 vuotta ja teknisesti käytännössä lyhyempikin. Lähivuosina mittarit tulevat elinkaarensa päähän ja uusia mittareita joudutaan asentamaan tai vanhoja päivittämään sekä Suomessa, että Ruotsissa. Norjassa tullaan myös lähivuosina asentamaan älykäs mittausjärjestelmä.

Työ toteutetaan kirjallisuusselvityksenä ja sen sisältämät tiedot kerätään muuan muassa Lappeenrannan teknillisen yliopiston tietokannoista sekä Euroopan Unionin tekemistä selvityksistä. Työssä tarkastellaan AMR-mittareita, joista käytetään työn aikana yleisimmin nimitystä älymittari tai älykäs mittausjärjestelmä, joka käsittää mittarin lisäksi muitakin toimilaitteita kuin mittarin.

Työssä tullaan vastaamaan seuraaviin kysymyksiin:

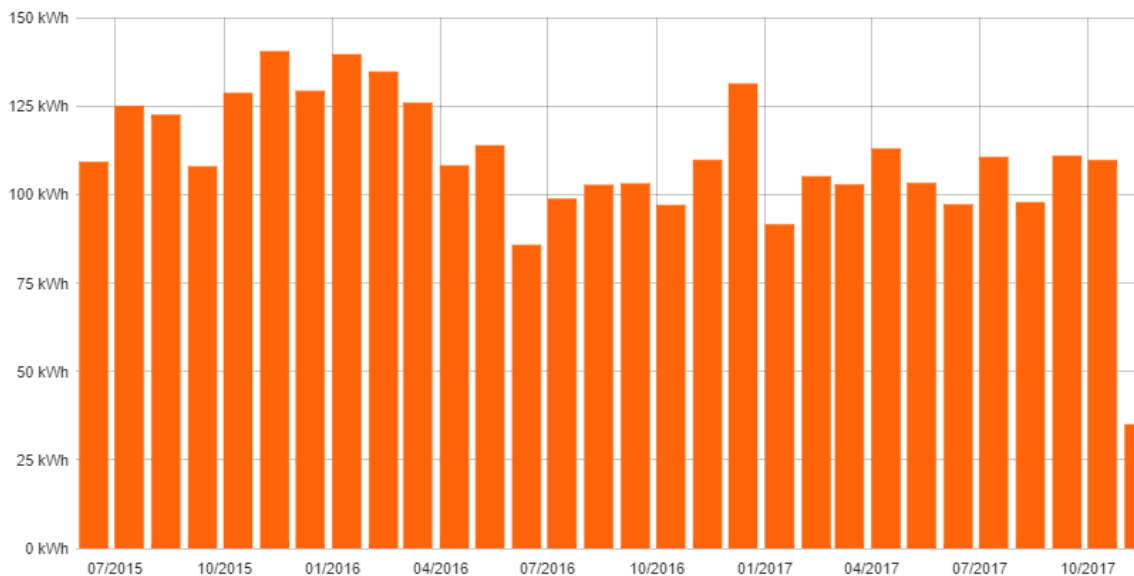
- Millaisia ominaisuuksia älymittareilla on?
 - Mitä hyötyjä älymittareilla saavutetaan ja haasteita niiden mukana tulee?
- Mikä on mittareiden nykytila Suomessa verrattuna Ruotsiin ja Norjiaan?
- Millaisia tulevaisuudennäkymiä älymittareilla on yllämainituissa maissa?

2. ÄLYKÄS MITTAUSJÄRJESTELMÄ

Suomessa sähköverkkoa voidaan jo kutsua älykkääksi, sillä se sisältää nykyaikaista digitaali- ja informaatioteknologiaa, josta esimerkkinä työssä käsiteltävät älymittarit ovat olennainen osa tätä. Älykkääksi järjestelmäksi kutsumisen edellytykseksi luetaan se, että järjestelmä kykenee kaksisuuntaiseen tiedonsiirtoon. Tällä tarkoitetaan käytännössä esimerkiksi sitä, että verkonhaltija pystyy lukemaan mittarista tietoja ja mittarista voi lähettää muun muassa kuormanohjauskäskyjä. Myös koko ajan lisääntyvän sähkön pientuotannon mittaus edellyttää kaksisuuntaista tiedonsiirtoa, kun sähköä kuluttamisen lisäksi myös myydään verkkoon. Nykyään Suomessa lähes 100% sähkökäyttöpaikoista on varustettu älymittareilla. [2, 3]

2.1.1 Ominaisuudet

Älymittareiden tärkein ominaisuus on mitata ja tallentaa kulutetun sähkön tuntikeskiteho tai kumulatiivinen tuntilukema tietyin aikavälein. Suomessa mittausväliksi on asetettu yksi tunti. Nämä tuntitiedot luetaan jakeluverkkoyhtiön toimesta kerran vuorokaudessa, joka tarkoittaa sitä, että seuraavana päivänä kuluttajalla on mahdollisuus tarkistaa oma sähkökäyttönsä verkkoyhtiön tarjoamasta online-palvelusta (kuva 1) tai oman mittarin näytöltä. Mittausasetuksen mukaan näytön on oltava riittävän selkeä ja yksiselitteinen sekä siitä on oltava helposti luettavissa mittaustulos, jonka perusteella laskutus tapahtuu. Mittarin on rekisteröitävä myös oma tuotanto eli verkkoon syötetty teho ja tallennettava se eri rekisteriin kuin verkosta otettu teho. Mittalaitteen ominaisuuksiin kuuluu myös ohjelmoitavuus, sekä etäkatkaisu- ja kytkentäominaisuudet. Ohjelmointi tulee voida pääsääntöisesti suorittaa etänä ja siitä vastaa verkonhaltija tai jokin muu ulkopuolinen valtuutettu taho. Ohjelmoinnilla pidetään järjestelmä ajan tasalla eli päivitetään mittalaitteen ohjelmistoa, ohjataan uusia siirto tuotteita ja asetetaan esimerkiksi kellonaika oikeaksi. Jakeluverkonhaltija voi myös tarjota asiakkaalleen kuormanohjauspalveluita. Mittausasetuksen mukaan tuntimittauslaitteiston on kyettävä vastaanottamaan ja välittämään kuormanohjauskomentoja. [3, 4]



Kuva 1. Esimerkkikuva Lappeenrannan Energian tarjoamasta online-palvelusta asiakkaalle, jossa vaaka-akselilla aika (kk/v) ja pystyakselilla kulutettu energia.

Älykkään mittausjärjestelmän tulee myös kyetä havaitsemaan jännitteen keskeytykset ja rekisteröimään ne. Mittausasetuksen mukaan yli kolme minuuttia kestävä jännitekatko tai -alenema on tallennettava ja sitä on säilytettävä tietojärjestelmässä vähintään kaksi vuotta. Tätä voidaan käyttää hyödyksi myös jännitteen laadun seurannassa käyttämällä hyödyksi verkon tehollisarvoja tai niiden keskiarvoja tietyltä aikaväliltä. Valitsemalla yli- tai alijänniterajat sopiviksi, voidaan päätellä verkkovian laatu (nollavika, pienjänniteverkon yhden tai kahden vaiheen puuttuminen tai keskijänniteverkon vaihekatko). Lisäksi mittausjärjestelmä tulisi ohjelmoida hälyttämään näistä keskeytyksistä. Suurten katkojen sattuessa tulisi ohjelmiston priorisoida tietoa niin, ettei järjestelmä ylikuormitu liiallisesta tiedosta. Myös mittausjärjestelmän tietoturvan ollessa uhattuna, tulisi sen hälyttää mahdollisesta huijausyrityksestä. [4, 5]

2.2 Älymittareiden tuomat hyödyt ja haasteet

Pääosin älykäs mittaus tarjoaa paljon mahdollisuuksia ja esimerkiksi tuntimittaustiedoilla on paljon sovelluskohteita. Kuitenkin yleensä kaikissa uusissa järjestelmissä on alkuun haasteita. Hyödyt ja haasteet jakautuvat verkko- ja myyntiyhtiön, järjestelmävastaavan ja asiakkaan kesken. Näitä tarkastellaan tässä kappaleessa.

2.2.1 Hyödyt

Verkkoyhtiöillä on sähkömarkkinalain nojalla vastuu sähkön toimitusvarmuudesta. Nopeasta mittaustiheydestä johtuen sähkökatkojen hallinta tehostuu ja toimitusvarmuus paranee, kun tieto katkosta ja sen paikasta saadaan nopeammin verkkoyhtiölle. Sähkön laadun tarkkailu helpottuu ja häiriötilanteisiin voidaan reagoida nopeammin. Euroopan unionin energiatehokkuusdirektiivi vaatii vähentämään energian käyttöä puolitoista prosenttia vuosittain. [6] Energiatehokkuuden edistämiseksi ja energian säästämisen kannalta älymittareiden tarjoama tuntimittautieto on myös hyödyllistä, koska jo pelkästään tarkemmalla kulutustiedolla on todettu olevan energiaa säästävää vaikutus. Lisäksi kustannussäästöjä saadaan, kun ihmisen tekemä työ vähenee. Esimerkkinä asukkaan vaihtuessa varsinkin vuokra-asunnoissa, pystytään muuttoluenta ja mahdollinen katkaisu suorittamaan etänä. Myös verkon suunnittelu sekä kehitys tehostuvat laaja-alaisen ja tarkemman mittaustiedon avulla. Verkon tilaa, muun muassa tehotasapainoa, pystytään hallitsemaan paremmin mittaustiedon avulla.

Sähkön myyntiyhtiöt hyötyvät mittaustiedosta ja pystyvät hyödyntämään saatua informaatiota koko ajan kiristyvässä kilpailutilanteessa. Tarkempi mittaustieto mahdollistaa tehokkaammin kysyntäjoustop hyödyntämisen ja markkinoille saadaan tuotua uudenlaisia tuotteita, jotka seuraavat sähkön markkinahintaa paremmin. Myyntiyhtiö hyötyy myös siirtymisestä arviointilaskutuksesta lukemalaskutukseen, kun laskutus yksinkertaistuu ja sen kustannukset pienenevät. Säästöjä saavutetaan laskujen vähentymisen kautta, kun yhden paperilaskun käsittely maksaa noin 5-7€. [7]

Asiakkaan näkökulmasta älykäs mittaus ja tuntimittautieto parantavat asiakaspalvelun laatua ja nopeutta. Omaa kulutusta pystyy seuraamaan online-palveluiden ja sovellusten avulla

ja tätä kautta voi vaikuttaa omaan kulutukseensa. Asiakas voi tuntimittaustiedon avulla vaikuttaa myös oman sähkölaskunsa suuruuteen hyödyntämällä kysyntäjoustoja ja ostamalla esimerkiksi markkinahintaan sidotun tai muun omaan kulutukseen parhaiten sopivan tuotteen. Myös kuluttaja verkko- ja myyntiyhtiön tapaan hyötyy lukemalaskutuksesta, kun laskutus nopeutuu ja tarkentuu. [3,8]

2.2.2 Haasteet

Mittausjärjestelmän asentaminen on aikaa vievä, kallis prosessi, jossa hyödyt eivät välttämättä lankea tasan prosessin rahoittajien kesken. Suomessa verkkoyhtiö on lain mukaan velvollinen asennuttamaan ja rahoittamaan mittareiden asennukset. Sähkömarkkinalain mukaan verkkotoiminnan valvonta tapahtuu neljän vuoden pituisissa valvontajaksoissa ja valvontajaksolle 1.1.2012-31.12.2015 määriteltiin uutena menetelmänä innovaatiokannustin. Sen tarkoituksena oli kannustaa verkkoyhtiöitä kehittämään innovatiivisia ja teknisiä ratkaisuja verkkotoiminnassaan. Valvontajaksolla Energiamarkkinavirasto Pöyry Management Consulting Oy:ltä tilaaman selvityksen avulla linjasi, että alle 63A pääsulakkeilla varustettujen käyttöpaikkojen vuosikustannusten kannustetason suuruus on viisi euroa, jolla mittarien luennasta aiheutuvat operatiiviset kustannukset. [9] Mittareiden lähettäessä ja vastaanottaessa tietoa verkosta, ovat ne aina alttiita väärinkäytöksille ja hakkeroinnille. Mittareiden tietoturva onkin yksi oleellinen haaste, kun puhutaan esimerkiksi tuntimittaustiedosta ja sen joutumisesta väriin käsiin.

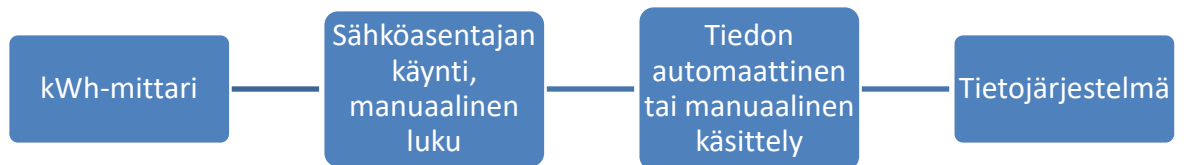
Haasteena on myös aktivoida kuluttaja käyttämään mittareiden mahdollistamia palveluita. Adato Energia Oy:n tekemässä haastattelututkimuksessa online-palveluiden käyttäminen tuntui hankalalta ja osittain turhalta varsinkin niille käyttäjille, joilla ei ollut sähkölämmitystä ja joiden sähkölasku oli muutenkin verrattain pieni. [10] Rahallinen säästö verraten vaivaan esimerkiksi sähkökiukaan lämmityksen siirtämisestä halvempaan aikaan ei välttämättä motivoi ihmisiä.

3. NYKYTILA

Tässä kappaleessa luodaan katsaus älymittareiden nykytilaan Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa. Jokainen maa on osaltaan hyvin erilaisessa tilanteessa, joten valitut maat sopivat hyvin vertailukohteiksi.

3.1 Suomi

Aikaisemmin kotitalousasiakkaiden ja muiden sähkön pienkäyttäjien sähkön kulutus on mitattu mittarilla, jonka lukemiseen vaadittiin sähköasentajan käynti yleensä kerran vuodessa. Tätä järjestelyä havainnollistetaan kuvassa 2. Tällöin sähkönkäytön laskutuksessa käytettiin mallia, joka perustui arvioon aikaisemman sähkökulutuksen perusteella. Vuoden lopussa maksettiin arvion ja todellisen kulutuksen erotus eli niin sanottu tasauslasku. Tavanomaista kWh-mittausta on havainnollistettu kuvassa 1.



Kuva 2. Tavanomainen mittarinlukujärjestelmä.

Vuonna 2009 astui voimaan Valtioneuvoston asetus sähköntoimituksen selvityksestä ja mittauksesta. Asetus edellytti, että vuoden 2013 loppuun mennessä 80% sähkönkäyttöpaikoista täytyi olla tuntimittauksen piirissä. Asetus salli poikkeuksen, että enintään 20% 3*25A pääsulakkeen omaavista sähkönkäyttöpaikoista tai yli 3*25A, joilla sähkönkulutus oli enintään 5000 kWh vuodessa, sai jättää pois tuntimittauksen piiristä. Lisäksi mittauslaitteistolle asetettiin muita minimivaatimuksia, joita ovat:

1. Etäluentaominaisuus eli laitteiston rekisteröimä tieto voidaan lukea myöhemmin viestintäverkon kautta.
2. Yli kolme minuuttia kestävä jännitteettömän jakson alkamis- ja päättymisajankohta on rekisteröitävä.
3. Mittareiden tulee kyetä vastaanottamaan ja panemaan käytäntöön tai välittämään eteenpäin kuormanohjauskäskyjä.
4. Rekisteröidyt tiedot tulee tallentaa tietojärjestelmään, jossa tuntikohtainen mittaus-tieto säilytetään vähintään kuusi vuotta ja jännitteettömän jakson tiedot vähintään kaksi vuotta.
5. Tietojärjestelmän ja mittauslaitteiston tietosuojan on oltava asianmukaisesti varmistettu. [11]

Ennen asetuksen antamista suurten yli 3*63A kohteiden tuli olla jo entuudestaan tuntimit-tauksen piirissä. Nykyään mittareiden asennusprosentti kaikissa sähkökäyttöpaikoissa on jo hyvin lähellä 100 %.

3.2 Ruotsi

Vuonna 2003 alkoi AMR-mittareiden asennus, joka päättyi vuonna 2009. Ruotsi oli Euroo-pan ensimmäinen maa, joka suoritti täysmittaisen etälueuttavien mittareiden asentamisprojek-tin. Asentamisesta vastasi Suomen tapaan verkkoyhtiö. Vuoteen 2006 mennessä yli 3*63A sulakkeilla varustetut käyttöpaikat täytyi olla tuntimittauksen piirissä. Vuoteen 2009 men-nessä taas pienemmät alle 3*63A käyttöpaikat täytyi olla kuukausimittauksella varustettuja. Arviolaskutuksesta päästiin eroon, kuten Suomen tapauksessakin. Noin 90 % asennetuista mittareista kuitenkin on kykeneväisiä rekisteröimään tuntimittaustietoa, mutta vain noin 30 % tiedonkäsittelykeskuksista pystyy käsittelemään tätä tietoa. [12]

Lokakuussa 2012 astui voimaan laki, joka velvoitti verkkoyhtiön siirtämään asiakkaan tun-timittauksen piiriin ja asentamaan mittariin tarvittavat ominaisuudet ilman maksua hänen niin halutessaan, jos sähkösopimus perustui tuntimittaukseen.

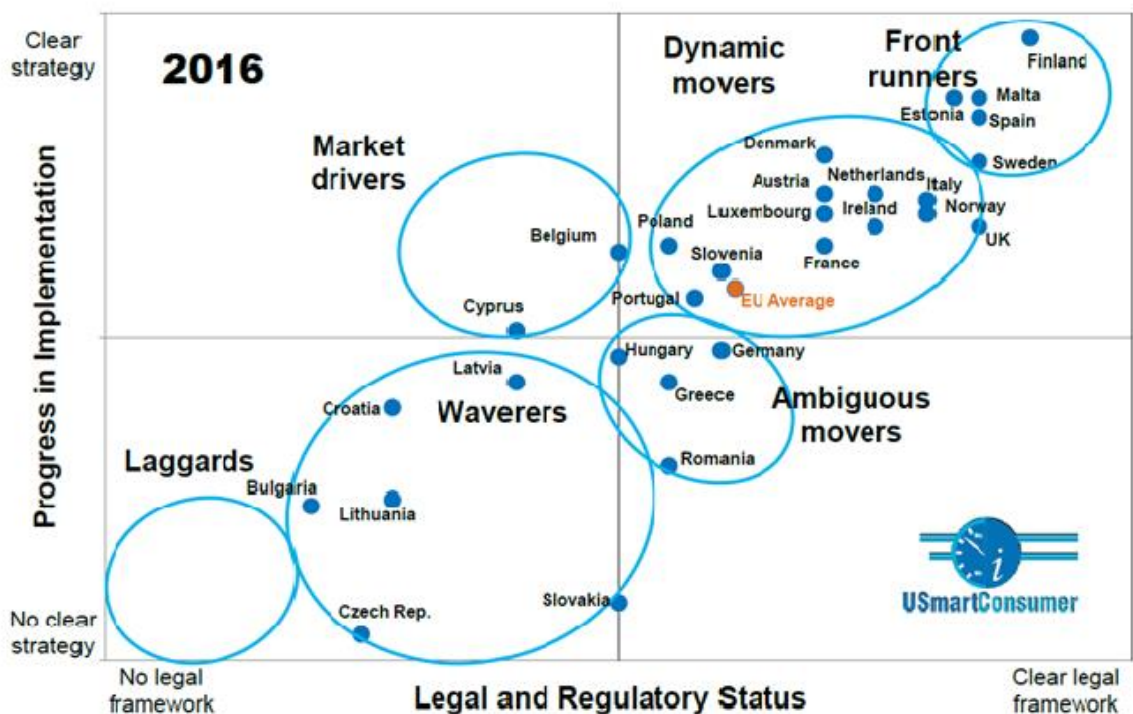
3.3 Norja

Norjassa älymittareiden asentamisessa ei ole kiirehditty, vaan on odotettu muiden maiden kokemuksia mittariasennuksista. Lisäksi roll-outia hidasti yhteisten standardien puuttuminen. Vuoteen 2014 mennessä vain noin 7 % sähkökäyttöpaikoista oli varustettu tuntimitauslaitteistolla. Nämä 7% edustivat pääasiassa suuria, yli 10000 kWh vuodessa kuluttavia asiakkaita. [11, 13] Mittareiden luenta oli aikaisemmin kuluttajan vastuulla ja mittareiden luenta kotitalousasiakkailta tapahtui kerran vuodessa.

Vuonna 2011 NVE (Norwegian Water Resources and Energy Directorate) teki muutoksia vanhaan mittarointia koskevaan lakiin, joka edellytti AMS-järjestelmän (Automatic Metering and Management System) asennukseen vuoteen 2019 mennessä kaikkiin kotitalouksiin. [18] Mittareiden asentaminen alkoi vuonna 2015 ja suurin osa mittariasennuksista tehdään vuonna 2017. [12]

4. KEHITYSNÄKYMÄT

USmartConsumer Project tekee raportteja älymittauksen ja sen mahdollistamien innovatiivisten palveluiden tasosta Euroopassa. Kuvasta 2, jossa pystyakselilla on mittariasennuksen toimeenpanon aste ja vaaka-akselilla lainsäädännöllinen aste vuonna 2016, nähdään, että Suomi ja Ruotsi ovat tällä asteikolla älymittauksen edelläkävijöitä (Front runners). Myös kolmas tarkastelunmaa Norja tulee liittymään tähän kastiin vuosien 2017-2018 aikana, kunhan mittareiden roll-out saadaan päätökseen. [14]



Kuva 3. Älymittareiden toimeenpano Euroopassa eri näkökohdista vuonna 2016. [13]

4.1 Suomi

Suomen älymittareiden asennusprojekti sijoittui vuosille 2009-2013 ja niiden käyttöikä on arvioitu 15-25 vuotta, joten mittarikanta vanhenee skenaariorist riippuen vuosina 2024-2038. [2] Suurin osa Suomeen asennetuista mittareista ovat modulaarisia ja mahdollista päivittää etänä. Tämä lisää mittareiden elinikää, kun esimerkiksi RAM (Random Access Memory) muistia voidaan lisätä ja tätä kautta parantaa muun muassa mittarin laskentakykyä.

Mittarikannan pikaisen vanhenemisen vuoksi seuraavan sukupolven mittareiden ja mittausjärjestelmien suunnittelu olisi aloitettava mahdollisimman nopeasti. Verkonhaltijat, jotka ovat nykyisellä lainsäädännöllä velvollisia suorittamaan mittareiden asennukset, tarvitsevat tietoa älymittareiden vaatimuksista niiden hankintaa ja sen suunnittelua varten. Koska kyseessä on seuraavan sukupolven mittari, olisi sen hyvä sisältää myös nykyiset tarkoituksenmukaiset toiminallisuudet ja vaatimuksia tulisi tarpeen mukaan tarkentaa ja kehittää vastaamaan tulevaisuuden sähkömarkkinoiden ja asiakkaan tarpeita.

Euroopan Unioni haluaa tulevaisuudessa yhdenmukaistaa sähkömarkkinoiden tasejaksot eri maiden välillä. Tasejakson pituudeksi on muodostumassa 15 minuuttia. Tämä tarkoittaisi, että myös mittausjakson olisi lyhennyttävä neljännekseen nykyisestä vastaamaan tasejakson pituutta.

Tarkennuksia ja tietoja uusien mittareiden vaatimuksista Energiategollisuuden näkemyksen mukaan tarvitaan ainakin jännitteen keskeytyksen mittauksiin sekä rekisteröintiin, etäkytkentään ja -päivitettävyyteen. Nykyisellään mittareiden on rekisteröitävä yli kolmen minuutin pituinen jännitejakso. Uusilla mittareilla tulisi olla kyky rekisteröidä myös tätä lyhyemmät keskeytykset. Tämä tehostaisi entisestään verkostosuunnittelua ja katkojen hallintaa, lisäämättä kustannuksia kuitenkaan merkittävästi. Etäkytkentä/katkaisu ei nykyisellään ole mittareilta vaadittava ominaisuus, vaikka moni yksilö siihen jo kykeneekin, mutta tulevaisuudessa se voitaisiin asettaa pakolliseksi ominaisuudeksi. Sama koskee etäpäivitettävyyttä, jotta uusia ominaisuuksia voitaisiin ottaa käyttöön markkinoiden ja asiakkaan tarpeiden kehittyessä ja niin vaatiessa. [15]

Kustannuksien kannalta Suomen tilanteessa tärkeintä olisi varmistaa riittävän pitkä siirtymäaika uuden sukupolven mittareiden käyttöönotolle. Euroopan Unionin komission alkupe-
räinen ehdotus oli, että siirtyminen 15 minuutin tasejaksoon ja siihen, että asiakkaan pitäisi saada tieto kulutuksesta helposti ja visualisoituna, tapahtuisi vuoteen 2019 mennessä. Nykyisellään siirtymäaika on kuitenkin saatu neuvoteltua pidemmäksi. Uuden mittarisukupolven ja sen vaatimien ominaisuuksien tulee olla käytössä vuoteen 2025 mennessä. [16, 17]

4.1.1 Datahub

Fingrid käynnisti vuonna 2015 Datahub-projektin, jonka tarkoituksena kerätä älymittareiden tallentama mittaustieto yhteen paikkaan. Datahubin arvioitu käyttöönotto on syksyllä 2019. Tällä hetkellä tallennettu data sijaitsee hajautetusti eri yhtiöiden tietojärjestelmissä. Fingrid hankkii datahubin julkisena hankintana ja järjestelmän kustannukseksi on arvioitu noin 20 miljoonaa euroa. Tarkoituksena olisi, että järjestelmän kustannukset tulisivat siitä hyötyvien eli käyttäjien, myyjien, verkonhaltijoiden ja niin kutsuttujen kolmansien osapuolten maksettavaksi. [18] Datahubiin keskitetysti kerätty tieto tehostaa eri osapuolten välistä tiedonvaihtoa. Esimerkiksi kuluttajan vaihtaessa myyjää tai muuttaessa uuteen osoitteeseen, saadaan tieto tästä nopeasti Datahubista. Kolmansien osapuolten sähkömarkkinoita tukevat sovellukset mahdollistuvat, kun mittaustiedot ovat niiden saatavissa. Myös jakeluverkon taseselvitys tullaan tulevaisuudessa tekemään uudessa järjestelmässä. Mittaustiedot sijaitsevat tällä hetkellä hajautetusti yritysten järjestelmissä. Datahubin myötä tieto kerätään kaikkien yhteisesti käytössä olevaan järjestelmään. Nykyisen mittausasetuksen mukaan mittaustieto ja jännitteetöntä aikaa koskeva tieto tallennetaan ja säilytetään määrätty aika verkonhaltijan tietojärjestelmässä. Tulevaisuudessa tämä velvoite verkonhaltijalta mahdollisesti poistuu.



Kuva 4. Esimerkkikuva tiedonvaihdosta Datahubissa. [19]

4.1.2 Pientuotanto ja kysyntäjousto

Hajautettu tuotanto ja varsinkin hajautettu pientuotanto on lisääntynyt ja tulee tulevaisuudessa lisääntymään entisestään Suomessa. Pientuotanto perustuu ilmastonmuutoksen torjunnan vuoksi suurilta osin uusiutuvaan energiaan. Uusiutuvalle energialle luonteenomaista on sähköntuotannon vaihtelevuus ajallisesti. Tämä luo haasteita sähköverkon tasapainolle ja asiakkaan näkökulmasta sähkön hintaan sen vaihtelevan saatavuuden vuoksi. Kysyntäjoustolla tarkoitetaan sähkönkäytön siirtämistä korkean kulutuksen ja hinnan ajalta edullisempaan ajankohtaan tai käytön hetkellistä muuttamista tehotasapainon säilyttämiseksi.

Tulevaisuudessa kuormanohjaus tulee siirtymään kellon ja kalenterin mukaan tapahtuvasta ohjauksesta markkinaehtoiseen kysyntäjoustoan, sisältäen kuitenkin edelleen verkonhaltijan oikeudet ohjauksiin tietyissä poikkeustilanteissa (tehopula, häiriötilanteet tai suunnitellut keskeytykset). [20] Nykyisellään älymittarin rooli kysyntäjoustopuolella on, että sen tulee kyetä vastaanottamaan tai välittämään eteenpäin viestintäverkon kautta välitettäviä kuormanohjauskomentoja. DR-poolin tekemän laajamittaisen kysyntäjoustopuolelle mukaan järjestelmään on kytketty noin 1800 MW sähkölämmityskuormaa. [21] Mittarin kautta toteutettavat, varsinkin nopeat ohjaukset ovat nykyisellä tekniikalla ja toimintatapojen standardoinnilla haastavaa ja epävarmaa. Älymittarien avulla on kuitenkin mahdollista ja kannattavaa toteuttaa rajattuihin käyttötarpeisiin soveltuvaa kysyntäjoustopuolella. Ennalta sovitun aikarajan ja hyvissä ajoin esitetyn ohjauspyynnön puitteissa älymittariin asennettavan ohjausreleen kautta pystyisi toteuttamaan kysyntäjoustopuolella. Kuitenkin nopea ohjauksen, jossa vasteaika on minutteja, mahdollistavan infrastruktuurin asentaminen on yleistymässä. Niin sanotun kotiautomaation kautta on tulevaisuudessa mahdollisesti mahdollista suorittaa lähes reaaliajassa tapahtuvaa kysyntäjoustopuolella.

4.2 Ruotsi

Ruotsin mittarikannan elinikä tulee tiensä pänsä lähivuosina. Mittareiden käyttöajaksi on arvioitu 10 vuotta ja asennuksien tullessa loppuun vuonna 2009, täytyy ne vaihtaa viimeistään vuoden 2020 alussa. Ensimmäinen ehdotus toisen sukupolven älymittareiden toimintavaatimuksista julkaistiin vuonna 2015, mutta teollisuus ja muut sidosryhmät eivät tätä hyväksyneet. Uusi korjattu ehdotus julkaistiin tänä vuonna 2017 lokakuussa, ja se määrittelee

tarkemmin uusilta älymittareilta vaadittavia ominaisuuksia. Kourallinen pienempiä verkonhaltijoita on jo aloittanut uusien mittareiden asennukset. Kolme suurta verkonhaltijaa E.ON, Ellevio ja Vattenfall aloittanevat asennusprojektin piakkoin sääntelyn selvittyä. [22]

Ruotsin energiamarkkinaviraston Ei:n lokakuussa 2017 julkaisemassa raportissa *Funktionskrav på elmätare* eli sähkömittareiden toiminnalliset vaatimukset määritellään seitsemän seuraavan sukupolven älymittareilta vaadittavaa ominaisuutta. Toimintavaatimukset tiivistetyt ovat:

1. Mittarin on mitattava jännite jokaiselta vaiheelta erikseen, sekä rekisteröitävä pätö- ja loistehon virtaamat
2. Sähkömittarit tulee varustaa asiakasrajapinnalla, joka pohjaa avoimeen standardiin ja tekee asiakkaille mahdolliseksi saada mittaustietoja lähes reaaliajassa
3. Mittareiden on oltava varustettu etäluettavia ja sisällettävä myös etäluentaominaisuus sähkökatkoille
4. Mittarin on rekisteröitävä siirretyn energian määrä tunnissa ja oltava valmius tähän myös 15 minuutin syklillä
5. Mittarin tallennettava yli kolmen minuutin pituisen jännitteettömän jakson aloitus- ja lopetusaika
6. Verkkoyhtiön täytyy pystyä etäpäivittämään mittareita
7. Mittareissa tulee olla etäkatkaisu ja -kytkentäominaisuus

Julkaisun mukaan toimintavaatimukset tehostavat sähköverkkotoimintaa, helpottavat mikro- ja pien- ja pientuotannon integrointia sähköverkkoon, edistävät kysyntäjoustopalveluita, lisäävät ja vahvistavat asiakkaan roolia sähkömarkkinoilla ja säästävät kustannuksissa, kun esimerkiksi kalliita kenttäkäyntejä ei enää tarvita. Ei:n ehdotuksen mukaan alle 63A sulakkeella varustetut sähkönkäyttöpaikat tulisi olla varustettu uudet vaatimukset täyttävillä mittareilla 2025 mennessä ja suuremmat sähkönkäyttöpaikat vuoteen 2030 mennessä. [23]

Ruotsissakin suunnitellaan keskitetyn tiedonvaihtoratkaisun datahubin käyttöönottoa. Suunnittelu aloitettiin vuonna 2016 ja datahub voi olla käytettävissä aikaisintaan vuoden 2020 lopussa. [24]

4.3 Norja

Kuten kappaleessa 3.3 todettiin, Norjassa on parhaillaan käynnissä AMS-järjestelmän roll-out. Norjan viivytellessä mittareiden ja mittausjärjestelmien asennusta, on se saanut paljon tärkeää informaatiota ja kokemuksia muista maista. Järjestelmän minimivaatimukset ovat hyvin samanlaiset kuin esimerkiksi Suomessa, sisältäen myös uusia toiminnallisuuksia. Norjan AMS-järjestelmän tulee sisältää seuraavat toiminallisuudet:

1. Vähintään tuntimittaus, mutta valmius myös mitata 15 minuutin välein
2. Sisältää standardisoidun ja avoimen käyttöliittymän, joka helpottaa kommunikointia ulkopuolisten laitteiden kanssa
3. On yhdistetty ja kommunikoi muiden mittareiden (vesi, kaasu) kanssa
4. Varmistetaan, ettei tallennettu tieto häviä sähkökatkojen aikana
5. Pystytään rajoittamaan ja katkaisemaan sähkönkäyttöä jokaisella mittaripisteellä
6. Pystytään lähettämään ja vastaanottamaan tietoa sähköhinnasta ja tariffeista, sekä välittää kuormanohjauskäskyjä ja tietoa maavioista
7. Suojaus tiedon väärinkäyttöä vastaan ja suojaus ulkopuolisten pääsyä ohjaustoimintoihin
8. Rekisteröi päto- ja loistehon virtaamat [12]

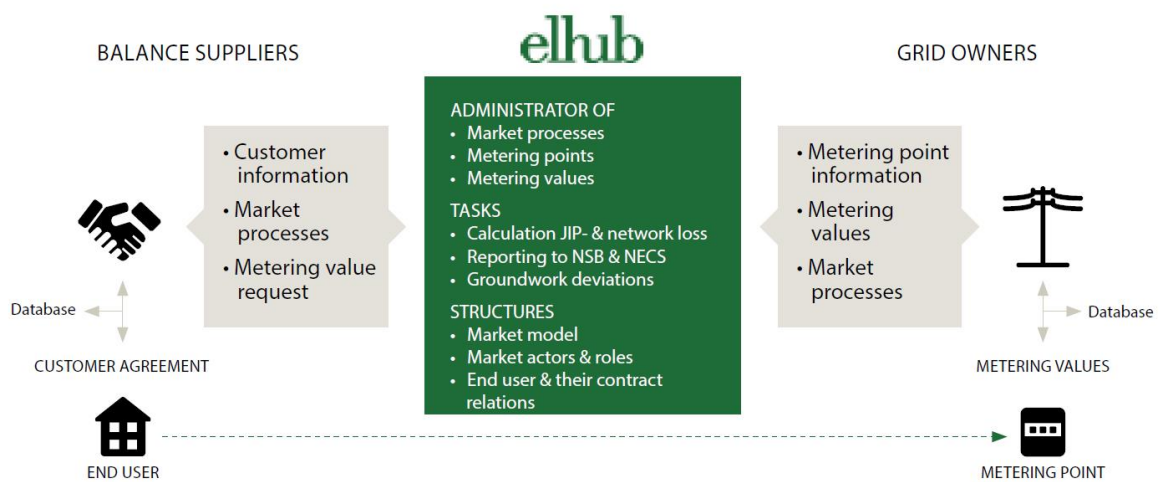
NVE:n AMS-raportin suunnitelmien mukaan mittareiden asennus on pääosin suoritettu vuoden 2018 mennessä (kuva 5).

	<i>2015</i>	<i>2016</i>	<i>2017</i>	<i>2018</i>	<i>2019</i>	<i>2020</i>
No. of meters installed per year	1/9383	34/286	153924/	8/3890	14310	14489
Percentage of meters installed per year	6	12	52	30	0,5	0,5

Kuva 5. Vuosittainen asennussuunnitelma älymittareille [25]

Uusi järjestelmä tulee valmistuessaan olemaan Euroopan tasolla hyvin edistynyt. Varsinkin standardisoitu avoin käyttöliittymä luo mahdollisuuksia kolmannen osapuolen ohjelmistokehittäjille luoda uusia sovelluksia, esimerkiksi hälytyksiä tai uusia energiatuotteita. Tuntimittautiedon luovuttamisesta kolmansille osapuolille päättää kuitenkin kuluttaja. [26]

NVE on tehnyt myös päätöksen keskitetyn tiedonvaihtomallin käyttöönotosta. Suunnitelmassa tiedonvaihto ja muut ominaisuudet vaikuttavat hyvin samanlaisilta kuin Suomen suunnittelemassa Datahubissa.



Kuva 6. Havainnekuva elhub-ratkaisusta Norjassa. [27]

4. YHTEENVETO

Suomessa mittareiden asennusta ohjailee vahvasti lainsäädäntö ja valtioneuvoston asetusten nojalla mittausjärjestelmä on päivitetty nykyisiin älykkäisiin mittareihin. Mittausjärjestelmä on päivittynyt nykyaikaan ja integroitunut osaksi älykästä verkkoa sekä saanut monia uusia hyödyllisiä ominaisuuksia. Mittausasetuksessa määritellään tarkemmin mittareiden vähimmäisvaatimukset, joihin kuuluvat muun muassa tuntiluenta etänä ja jännitekatkojen rekisteröinti. Älymittarit ja niiden tarjoama tuntimittaustieto mahdollistavat paljon uusia tuotteistamismahdollisuuksia ja kysyntäjoustop sovelluksia, joista hyötyvät asiakkaan lisäksi myös sähköverkkoyhtiö ja myyntiyhtiöt. Järjestelmällä on hyötyjen lisäksi myös haasteita esimerkiksi kustannusten ja tietoturvan suhteen.

Euroopan mittakaavassa Suomi ja Ruotsi ovat älymittauksen edelläkävijöitä varhaisilla mitauslaiteinvestoinneillaan. Ruotsi sai mitauslaiteasennuksensa päätökseen ensimmäisenä täysin vuonna 2009 ja Suomi vastaavasti vuonna 2013. Lähitulevaisuudessa Suomessa, sekä Ruotsissa on edessä kuitenkin seuraavan sukupolven mittareiden käyttöönotto nykyisten tullaessa pitoaikansa loppuun ja Euroopan komission esittäessä uusia vaatimuksia älymittareille. Norjan viivytellessä ensimmäisen sukupolven mittarien asennusprojektin aloittamista saa se uudet mittarit käyttöönsä laajamittaisesti vuonna 2019. Kaikissa kohdemaissa tulevaisuuden mittarit tulevat olemaan toiminnallisuuksiltaan ja ominaisuuksiltaan nykyistä edistyneempiä, vastaavat Euroopan Unionin vaatimuksia ja tehostavat entisestään sähköverkkojen sekä markkinoiden toimintaa. Lisäksi keskitetyn tiedonvaihtomallin, joka kerää mittauksista saatavan tiedon yhteen paikkaan, kehitys on myös käynnissä kaikissa maissa ja se tullaan ottamaan käyttöön tulevaisuudessa. Alla olevassa taulukossa on esitetty Suomen, Ruotsin ja Norjan älymittareiden nykytila ja tulevaisuus tiivistetysti.

Taulukko 1. Vertaileva yhteenveto kohdemaista

	Mittareiden asennus [%]	Nykytila	Tulevaisuus
Suomi	~ 100	<ul style="list-style-type: none"> Lähes kaikki sähkökäyttöpaikat tuntimittauksen piirissä Uusia tuotteita ja mahdollisuuksia (kysyntäjousto/kuormanohjaus) 	<ul style="list-style-type: none"> Toisen sukupolven mittareiden asentaminen (~2025) Siirtyminen 15 minuutin tasejaksoon Keskitetty tiedonvaihtoratkaisu datahub (2019)
Ruotsi	~ 100	<ul style="list-style-type: none"> Nykyinen mittarikanta vanhenee, uusien asentaminen käynnissä Tuntimittaus vain yli 63A sulakkeilla varustetuille kohteille 	<ul style="list-style-type: none"> Mittareiden ominaisuudet lähes yhteneväiset Suomen nykyisten mittareiden kanssa, lisäksi etäatkaisu ja -kytkentä sekä etäpäivitettävyys Siirtyminen 15 minuutin tasejaksoon Keskitetty tiedonvaihtoratkaisu datahub (2020)
Norja	~7%	<ul style="list-style-type: none"> Vain suuret sähkökäyttöpaikat varustettu etäluettavalla tuntimittauksella Uusien älymittareiden asennus käynnissä 	<ul style="list-style-type: none"> Lähes kaikissa kohteissa kehittynyt älymittari vuoden 2019 alkuun mennessä Keskitetty tiedonvaihtoratkaisu Elhub

Pohjoismaissa ollaan parhaillaan älymittareiden suhteen käännekohdassa, kun uuden sukupolven mittausjärjestelmät tekevät tuloaan. Kysymyksiksi jää tulevaisuuden osalta varsinkin Suomessa muun muassa se, mikä on älymittareiden rooli kysyntäjoustopuolella ja millaisia vaatimuksia älymittareille asetetaan. Älyverkko kehittyy jatkuvasti ja saa uusia sovelluksia, esimerkiksi pientuotanto ja tasasähkö mikroverkoissa sekä sähköautot ja niiden älykäs lataus. [28] Kaikissa näissä älymittarilla on myös oma roolinsa.

LÄHTEET

- [1] Työ- ja elinkeinoministeriö, 2016 Suomen älyverkkovisio [verkkojulkaisu] Suomen älyverkkovisio [viitattu 11.11.2017] Saatavissa: <https://tem.fi/documents/1410877/3481825/%C3%84lyverkkovisio+final/9ddc2545-586e-4574-8195-ef9987a07151>
- [2] European Commission, 2014, Country fiches for electricity smart metering [verkkojulkaisu] [viitattu 10.11.2016] Saatavissa: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52014SC0188&from=EN>
- [3] Anni Sarvaranta, 2010, Älykkäät sähköverkot ja niiden kehitys Euroopan unionissa ja Suomessa [verkkojulkaisu] [viitattu 10.11.2016] Saatavissa: http://energia.fi/files/665/Alykkaat_sahkoverkot_Suomessa_ja_Euroopassa.pdf
- [4] Energiategollisuus, 2016, Tuntimittauksen periaatteita [viitattu 10.11.2016] Saatavissa: https://energia.fi/files/1153/Tuntimittausuusitus_paiv_20161012.pdf
- [5] Koponen, P., Pykälä, M-L., Sipilä, K., 2008, Mittaustietojen tarpeet ja saatavuus rakennuskannan automaattisten energia-analyysien näkökulmasta [verkkojulkaisu] [viitattu 10.10.2016] Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2008/T2438.pdf>
- [6] Euroopan Parlamentti ja Neuvosto, 2012, direktiivi 2012/27/EU [verkkojulkaisu][viitattu] Saatavissa: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:315:0001:0056:FI:PDF>
- [7] Suomen Taloushallinto, 2017, Taltio visio, Saatavissa: <http://www.slideshare.net/taloushallintoliitto/taltio-visio-2017>
- [8] Lehtonen, J., Nurminen, T., 2013, Tuntimittaustiedon avoin palvelualusta, Saatavissa: http://energia.fi/files/1014/Tuntimittaustiedon_avoin_palvelualusta.pdf
- [9] Energiatarkkailuvirasto, 2011, Sähkön jakeluverkkotoiminnan ja suurjännitteisen jakeluverkkotoiminnan hinnoittelun kohtuullisuuden valvontamenetelmien suuntaviivat vuosille 2012-2015 [verkkojulkaisu][viitattu 13.11.2017] Saatavissa: https://www.energiavirasto.fi/documents/10179/0/Sahkonjakeluverkko_suurjannitteinen_jakeluverkko_suuntaviivat_2012_2015.pdf/e9de867e-513b-4ce5-84d2-322e1c585ba0
- [10] Rouhiainen, V., Heiskanen, E., 2015, Tuntimittauksen havainnollistaminen esimerkein, [verkkojulkaisu][viitattu] Saatavissa: https://energia.fi/files/948/Tuntimittauksen_havainnollistaminen_esimerkein_2015.pdf
- [11] Valtioneuvosto. 2009 Valtioneuvoston asetus sähköntoimitusten selvityksestä ja mittauksesta [verkkodokumentti] [viitattu 9.10.2016] Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2009/20090066>
- [12] NordReg, 2014, Common Nordic Metering Methods [verkkojulkaisu][viitattu 10.11.2016] Saatavissa: <http://www.nordicenergyregulators.org/wp-content/uploads/2013/02/Common-Nordic-Metering-Methods.pdf>

- [13] Kärkkäinen, S., Koponen, P., Martikainen, A., Pihalta, H., 2006, Sähkön pienkuluttajien etäluettavan mittaroinnin tila ja luomat mahdollisuudet [verkkajulkaisu] [viitattu 10.10.2016] Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2006/VTT-R-09048-06.pdf>
- [14] USmartConsumer, 2016, European Smart Metering Landscape Report [verkkajulkaisu] [viitattu 11.11.2016] Saatavissa: http://www.escansa.es/usmartconsumer/documentos/USmartConsumer_European_Landscape_Report_2016_web.pdf
- [15] Heikkilä, T., 2017, ET:n näkemys seuraavan sukupolven sähköenergiamittareiden ominaisuuksista [verkkajulkaisu][viitattu 24.10.2017] Saatavissa: https://energia.fi/files/1699/Seuraavan_sukupolven_mittarit_ETn_kantapaperi_hyvaksyty_20170615.pdf
- [16] Koistinen, A., 2017, Uuder älymittarit muuttavat kodin arkea – Sähkökulutuksesta saa pian reaaliaikaista tietoa kännykällä [artikkeli] [viitattu 25.10.2017] Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-9577330>
- [17] European Commission, 2017, Proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council on the international market for electricity [verkkodokumentti] [viitattu 25.10.2017] Saatavissa: http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:9b9d9035-fa9e-11e6-8a35-01aa75ed71a1.0012.02/DOC_1&format=PDF
- [18] Fingrid, 2017, Datahub on sähkömarkkinoiden hermokeskus [esite] [viitattu 26.10.2017] Saatavissa: <http://www.fingrid.fi/fi/asiakkaat/asiakasliitteet/Datahub/Datahub-esite.pdf>
- [19] Fingrid, 2017, Tietoa datahubista [verkkosivu] [viitattu 26.10.2017] Saatavissa: <http://www.fingrid.fi/fi/asiakkaat/datahub/tietoa/Sivut/default.aspx>
- [20] Energiategollisuus, 2017, ET:n näkemys jakeluverkonhaltijan roolista kysyntäjoustop mahdollistajana [verkkajulkaisu][viitattu 27.10.2017] Saatavissa: https://energia.fi/files/1698/Verkon_rooli_kysyntajoustopossa_kantapaperi_hyvaksyty_20170308.pdf
- [21] Järventausta, P., et al., 2015, Kysynnän jousto – Suomeen soveltuvat käytännön ratkaisut ja vaikutukset verkkoyhtiölle (DR pooli) [verkkoraportti] [viitattu 27.10.2017] Saatavissa: https://tutcris.tut.fi/portal/files/4776899/kysynnän_jousto_loppuraportti.pdf
- [22] Ryberg Tobias, 2017, The second wave of smart meter rollouts begin in Italy and Sweden [verkkootikkeli] [viitattu 1.11.2017] Saatavissa: <https://www.metering.com/news/second-wave-smart-meter-rollouts-begins-italy-sweden/>
- [23] Energimarknadsinspektionen, 2017, Funktionskav på elmätare [verkkajulkaisu] [viitattu 1.11.2017] Saatavissa: http://www.energimarknadsinspektionen.se/Documents/Publikationer/rapporter_och_pm/Rapporter%202017/Ei_R2017_08.pdf
- [24] Svenska kraftnät, 2017, Data hub [viitattu 2.11.2017] [verkkootikkeli] Saatavissa: <http://www.svk.se/en/stakeholder-portal/Electricity-market/data-hub/>

[25] The Norwegian Water Resources and Energy Directorate, 2016, Advanced Metering System [verkkajulkaisu] [viitattu 10.11.2017] Saatavissa: https://www.nve.no/Media/5445/advanced-metering-system-ams_report_final.pdf

[26] The Norwegian Water Resources and Energy Directorate, 2016, Smart metering (AMS), [verkkosivu] [viitattu 10.11.2017] Saatavissa: <https://www.nve.no/energy-market-and-regulation/retail-market/smart-metering-ams/>

[27] Elhub, 2017, Elhub [verkkosivu] [viitattu 5.11.2017] Saatavissa: <https://elhub.no/en/elhub>

[28] Smart Grids and Energy Markets, 2014, Älykkäät sähköverkot ja energiamarkkinat [verkkoraportti] [viitattu 11.11.2017] Saatavissa: https://is-suu.com/cleentd/docs/cleentd_sgem_loppuraportti_digipublis