



Open your mind. LUT.

Lappeenranta University of Technology

**ÄLYKKÄÄT SÄHKÖMITTARIT EUROOPASSA,  
YHDYSVALLOISSA JA AUSTRALIASSA**  
**Smart meters in Europe, the US and Australia**  
Ossi Sarmala

## TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto  
LUT School of Energy Systems  
Sähkötekniikka

Ossi Sarmala

### **Älykkäät sähkömittarit Euroopassa, Yhdysvalloissa ja Australiassa**

2019

Kandidaatintyö.

27 s.

Tarkastaja: TkT Salla Annala

Tässä kandidaatintyössä tutkittiin kirjallisuustutkielman keinoin älykkäiden sähkömittarien käyttöä eri puolilla maailmaa. Työssä käytettävät lähteet ovat kerätty pääosin alueiden energiaviranomaisten ja niiden yhteistyöelinten kokoamista aineistoista. Työssä päätavoitteena on selvittää älykkäiden sähkömittarien käyttöä eri puolilla maailmaa. Työn alussa perehdytään älymittareista syntyviin hyötyihin ja haittoihin, jonka jälkeen tarkastellaan mittarien käyttöä Euroopan unionissa, Yhdysvalloissa ja Australiassa.

Älykkäiden sähkömittarien suurin hyöty syntyy verkonhaltijan ja mittarin välisestä tiedonvälityksestä ja sen mahdollistamista palveluista. Kulutustietojen automaattinen lukeminen ja sähköverkon muutosten tarkkaileminen ovat verkonhaltijalle tärkeitä ominaisuuksia, jotka mahdollistavat paremman asiakaspalvelun asiakkaalle. Älymittarien suurin haitta syntyy mittarien vaatimista investointikustannuksista. Laitteiden hankinta, asennus, kommunikaatioverkon ylläpitäminen ja palveluiden kehittäminen tarvitsevat paljon investointeja, esimerkiksi Euroopan unionissa älymittarien kustannus on keskiarvoltaan 223 euroa mittaria kohden.

Euroopan unionin alueella älykkäisiin sähkömittareihin siirtyminen perustuu valtioiden kustannus-hyötyarvioihin. Valtioille, joissa kustannus-hyötyarviot ovat positiivisia, on asetettu 80 prosentin asennusvaatimus vuoteen 2020 mennessä. 28 jäsenvaltioista 19 on ottamassa kokonaan tai osittain käyttöön älymittarit. Vuoteen 2017 mennessä vain viisi jäsenmaata oli päässyt tähän tavoitteeseen.

Yhdysvalloissa ei ole asetettu liittovaltiotasolla vaatimuksia älykkäiden mittarien asennuksessa, osavaltiot saavat itse päättää mittarien asentamisesta. Yhdysvalloissa älykkäiden mittarien asennusprosentti on kasvanut vuosittain noin 10 prosenttiyksikköä. Vuoteen 2020 mennessä arvoitu älykkäiden mittarien lukumäärä ylittyy 90 miljoonan mittarin rajan.

Australiassa pelkästään Victorian osavaltiossa älykkäiden mittarien asennus on pakollista kotitalouksissa ja pienyrityksissä. Muissa osavaltioissa älykkäiden mittarien asentaminen on vapaaehtoista ja asentaminen on siirretty verkonhaltijalta sähkönvähittäismyyjän vastuulle. Vuoden 2017 jälkeen asennettavien sähkömittarien pitää olla kuitenkin olla älymittareita myös muissa osavaltioissa.

Älykkäiden sähkömittarien lukumäärä on kasvanut merkittävästi viimeisen 10 vuoden aikana jokaisella tarkastellulla alueella. Kaikilla alueilla älykkäistä sähkömittareista saavat edut ovat lähes samanlaiset ja uuden sukupolven älymittarit ja mittareiden keräämät tiedot mahdollistavat uusien etujen kehittämisen.

## ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology  
LUT School of Energy Systems  
Electrical Engineering

Ossi Sarmala

**Smart meters in Europe, the United States and Australia**  
2019

Bachelor's Thesis.

27 p.

Examiner: D.Sc. (Tech.) Salla Annala

In this bachelor's thesis, smart meter usage was studied through literature research. The sources used in this thesis have been collected mainly from materials compiled by energy authorities and their co-operatives. The main goal of this thesis is to find out what are the advantages and disadvantages of smart meters and to study the usage of smart meters in the European Union, the United States of America and Australia.

The biggest advantage of smart meters is communication between distribution system operators (DSO) and meter and services which it enables. Automatic reading of consumption and electrical grid monitoring are important features for the DSO, both features enable better services for the customer. The biggest disadvantage of smart meters is the investment cost. Purchasing, installing, maintaining communication network and developing services requires lots of investments, for example in the European Union cost of smart meter was estimated to be on average 223 € per meter.

In the European Union, switching to the smart meter is based on cost-benefit analyses. Member states where the cost-benefit estimates are positive, are required to rollout smart meters for 80 percent of customers by 2020. Out of 28 member states, 19 had positive cost-benefit estimation. By 2017 only five member states had reached this target.

In the United States of America, federal government has not issued requirements for smart meters or rollout targets. The installation percent of smart meter has increased by round 10 percentage units per year for last 10 years. By 2020, the estimated number of smart meters will exceed 90 million smart meters.

In Australia, smart meters are mandatory only in the state of Victoria. In the other states, installing smart meters is optional and smart meter rollout have been transferred from DSO to electricity retailers. After 2017, all electric meters to be installed must be smart meter also in the other states.

The number of smart meters has increased significantly in last 10 years in every region. In all regions, the benefits of smart meters are almost same and next generation smart meters and meter collected data enables discovery and development of new benefits.

## SISÄLLYSLUETTELO

1.	Johdanto.....	5
1.1	Työn tavoite ja tutkimuskysymykset.....	5
2.	Älykkäät sähkömittarit .....	6
2.1	Älykkäiden mittarien hyödyt.....	6
2.2	Älykkäiden mittarien haitat .....	6
3.	Älykkäiden sähkömittarien käyttö eri alueilla.....	8
3.1	Euroopan unioni .....	8
3.1.1	Määritelmä.....	8
3.1.2	Nykyinen käyttöaste .....	9
3.1.3	Hyödyt .....	12
3.1.4	Tulevaisuus.....	14
3.2	CASE Suomi .....	14
3.2.1	Määritelmät Suomessa.....	14
3.2.2	Hyödyt Suomessa .....	14
3.2.3	Suomen nykytilanne .....	15
3.3	CASE Italia.....	16
3.3.1	Määritelmät Italiassa.....	16
3.3.2	Italian nykytilanne .....	16
3.4	Yhdysvallat.....	17
3.4.1	Määritelmä.....	17
3.4.2	Nykyinen käyttöaste .....	17
3.4.3	Tulevaisuus.....	19
3.5	CASE Kalifornia .....	19
3.5.1	Hyödyt Kaliforniassa.....	19
3.5.2	Nykyinen tilanne .....	20
3.6	Australia .....	21
3.6.1	Määritelmä.....	21
3.6.2	Nykyinen käyttöaste .....	21
3.6.3	Hyödyt .....	22
3.6.4	Tulevaisuus.....	22
4.	Johtopäätökset .....	23
	Lähteet .....	24

## 1. JOHDANTO

Älykkäällä sähkömittarilla tarkoitetaan yleensä mittaria, jolla voidaan lähettää tietoja sähköverkonhaltijalle. Älykäs sähkömittari pystyy kaksisuuntaiseen kommunikointiin, pystyy tallentamaan kuluttajan sähkön kulutusta tietyn väliajoin ja lähettämään ne eteenpäin. Samalla mittari pystyy valvomaan sähkön laatua. (Koponen, 2008)

Älykään sähköverkon käyttöönotto on kasvanut viimeisen kymmenen vuoden aikana merkittävästi. Suomi on ollut edelläkävijä älymittarien asennuksessa Euroopassa, suurella osalla asiakkaista on ollut käytössä älymittari jo muutaman vuoden ajan (USmartConsumer project, 2017). Teollisuusmaissa älykkäisiin mittareihin ollaan siirtymässä suurella nopeudella. Älykkäät sähkömittarit ovat yksi tärkeimmistä osista älykkäissä sähköverkoissa (Souza et al., 2018).

Älykkäällä mittarilla tarkoitetaan sähkömittarin lisäksi esimerkiksi kaasumittaria, mutta tässä kandidaatintyössä keskitytään pelkästään sähkömittareihin.

### 1.1 Työn tavoite ja tutkimuskysymykset

Tämän kandidaatintyön tavoite on selvittää älykkäiden sähkömittareiden käyttöastetta eri puolilla maailmaa.

Työ on rajattu koskemaan pelkästään Euroopan unionin jäsenmaita (EU28), Yhdysvaltoja ja Australiaa. Työssä tutkitaan edellä mainittujen alueiden tämänhetkistä älymittarien käyttöastetta, kartoitetaan vaihtamiseen johtaneet syyt ja tulevaisuuden suunnitelmat. Samalla selvitetään älymittarin määritelmä alueella sekä älymittarin hyödyt yleisesti perinteiseen mittariin verrattuna.

Tutkimuskysymyksiä:

- Mitkä ovat älykkäiden sähkömittarien hyödyt ja haitat perinteiseen sähkömittariin verrattuna?
- Mikä on älykkäiden sähkömittarien määritelmä alueittain?
- Mikä on älykkäiden sähkömittarien käyttöaste alueittain?
- Mikä on syy vaihtaa sähkömittarien tyyppiä alueella?
- Mikä on älymittarien tulevaisuus alueella?

Työ toteutetaan kirjallisuustutkimuksena, jossa aineisto kerätään pääasiassa alueiden energiaviranomaisten ja niiden yhteistyöelinten kokoamista aineistoista. Tiedot pyritään keräämään mahdollisimman uusista lähteistä.

## 2. ÄLYKKÄÄT SÄHKÖMITTARIT

Tässä luvussa tutkitaan älykkäiden sähkömittarien yleisimmät hyödyt ja haitat perinteiseen sähkömittariin verrattuna.

### 2.1 Älykkäiden mittarien hyödyt

Älykkäiden sähkömittarien toiminta perustuu tiedonvälitykseen mittarin ja verkkoyhtiön välillä. Sähköyhtiö pysyy selvittämään sähkönkulutuksen, vaihekulman ja taajuuden tietyssä osassa sähköverkkoa. (Depuru et al., 2011)

Älykkäiden sähkömittarien verkko pystyy havaitsemaan muutoksen sähköverkossa ja ilmoittamaan mahdollisista ongelmista mittarien hallintakeskukselle. Jännitteessä tapahtuvat muutokset, sähköverkon kuorman muutokset ja sähkökatko voidaan havaita älykkäiden mittarien avulla ja mittarit pystyvät lähettämään virheilmoituksen verkkoyhtiölle. (Morello et al, 2017a)

Sähköverkonhaltijat pystyvät tuottamaan parempia palveluita asiakkailleen, asiakkaiden liittäminen sähköverkkoon ja irtikytkentä nopeutuu, sähkökatkosten havainnointi ja korjaaminen parantuu ja nopeutuu, jonka seurauksesta kustannukset pienentyvät. Kaksisuuntainen kommunikatio verkonhaltijan ja kuluttajan välillä mahdollistaa myös älykkään latauksen ladattavissa ajoneuvoissa. (The Edison Foundation, 2011)

Älykkäiden sähkömittarien hyötyihin myös kuuluu piensähköntuottajien tuotannon valvonta. Tuotetun sähkö määrää ja sähköverkkoon syötetyn sähkön laatua, voidaan valvoa automaattisesti keskuksista. Älykkäiden sähkömittarien käyttö osana älykästä sähköverkkoa mahdollistaa sähkönkulutushuippujen tasaamisen sähköverkossa. (Morello et al, 2017b)

Energian kulutuksessa älykkäät mittarit eivät itsestään säästä, vaan mittarit mahdollistavat asiakkaille kulutuksen vähentämisen ja kulutuksen tasaamisen. Asiakkaan energian kulutuksen vähentäminen onnistuu antamalla asiakkaalle tietoa energian kulutuksen vähentämisestä ja ottamalla käyttöön palkintojärjestelmä energian kulutuksen vähentämisestä. (ESMA, 2009)

Sähkönkulutuksen pienentyminen ja kulutushuippujen tasaantuminen vähentää tarvetta uusille voimalaitoksille ja hyötysuhteeltaan huonompien laitosten käyttö voidaan vähentää. Kulutushuippujen tasaantuminen myös pienentää sähköntuotannon reservien tarvetta, reservin ylläpitäminen on kallista ja yleensä reservissä olevat sähkölaitokset pystyvät tuottamaan nopeasti sähköä, mutta tuottavat enemmän kasvihuonekaasuja. (CPUC, 2019)

### 2.2 Älykkäiden mittarien haitat

Älykkäiden mittarien suurin haitta on niihin tarvittavat investoinnit. Laitteiston hankinta, asennus ja kommunikaatioverkon ylläpitäminen vaativat suuria summia sähköverkonhaltijalta. Euroopan komission mukaan älykkäiden mittarien hinta-arviot vaihtelevat 77 eurosta 766 euroon valtioittain ja keskiarvoltaan 223 euroa sähkömittaria kohden (Euroopan komissio, 2014a).

Asiakkaan tietoturva on myös suuri kysymys älykkäissä mittareissa. Tietojen tallentaminen tietyltä ajanjaksolta mahdollistaa kulutuksen seurannan tarkemmin, mutta myös mahdollistaa asunnon aktiivisuuden seurannan. Asunnon aktiivisuudesta voidaan päätellä, onko asunnossa henkilöitä ja mitä laitteita on käytössä (Depuru et al., 2011).

### 3. ÄLYKKÄIDEN SÄHKÖMITTARIEN KÄYTTÖ ERI ALUEILLA

Tässä luvussa käydään läpi älykkäiden mittarien käyttöä Euroopan unionissa, Yhdysvalloissa sekä Australiassa. Alueittain käydään läpi älykkäiden mittarien määritelmät, nykyinen käyttöaste, vaihtamiseen johtaneet syyt ja hyödyt ja älymittarien tulevaisuus alueella.

Luvussa tarkastellaan älykkäiden sähkömittarien käyttöä yleisesti alueella, eikä paneuduta syvällisesti valtioiden tai osavaltioiden käyttöön. Alueittain otetaan pari case-tapausta, joissa käydään tarkemmin älykkäiden mittarien käyttöaste sekä mittarien muuttamiseen johtaneet syyt.

#### 3.1 Euroopan unioni

Tässä kappaleessa tutkitaan älykkäiden sähkömittarien käyttö Euroopan unionin alueella. Kappaleessa käydään läpi älymittarien määritelmät, nykyinen käyttöaste, hyödyt sekä Suomi ja Italia case-tapaukset.

##### 3.1.1 Määritelmä

Euroopan komission suositus määrittää älykkään mittausjärjestelmät seuraavanlaisesti (Euroopan komissio, 2012):

*'Älykkäällä mittausjärjestelmällä' tarkoitetaan sähköistä järjestelmää, joka voi mitata energiankulutusta ja tarjota enemmän tietoa kuin tavanomainen mittari sekä lähettää ja vastaanottaa tietoja sähköisen viestinnän muodossa.'*

Samassa suosituksessa asetettiin toiminnalliset vähimmäisvaatimukset mittareille:

- Asiakkaan olisi saatava mittarilukemat suoraan mittarista ja lukemat pitäisi päivittää tarpeeksi säännöllisesti
- Mittarioperaattorin olisi voitava etälukea mittari, viestinnän pitäisi toimia kaksisuuntaisesti (ylläpidon ja valvonnan takaamiseksi), mittarilukemat olisi voitava ottaa tarpeeksi säännöllisesti.
- Mittarien olisi tuettava pitkälle kehitettyjä tariffijärjestelmiä ja toimituksen virran päälle- ja päältäkykentä- tai virranrajoitusetätoimintoja.
- Turvallisuuden ja tietosuojan kannalta yhteydet pitäisi olla suojatut ja petoksen torjunta ja havaitseminen mahdollista.
- Hajautetun tuotannon osalta kaksisuuntainen ja reaktiivinen mittaus.

Euroopan unioni ei ole muuten määrittänyt älykkäitä mittareita ja jäsenvaltioiden pitää itse määrittää ominaisuudet, jotka soveltuvat valtiolle. Yleisen määritelmän puutteen takia älymittarijärjestelmän kokonaiskustannusten hinnat heittelevät valtioiden välillä suuresti, 77 eurosta 766 euroon. (Euroopan komissio, 2014b)

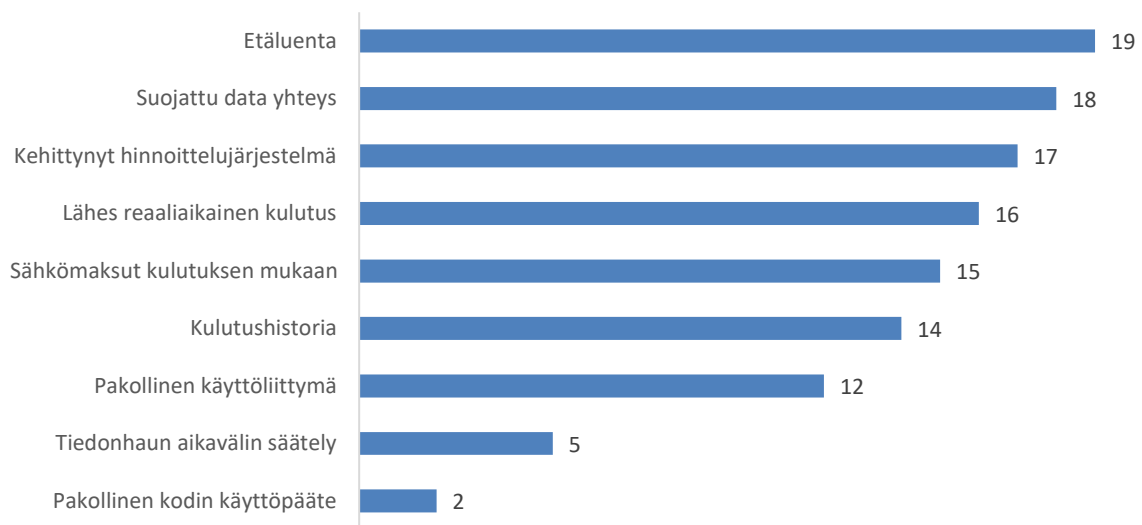
Puhtaan energian pakettiin (Clean Energy for all Europeans) kuuluvassa direktiiviesityksessä (2016/0380/COD) ehdotetaan uusia vaatimuksia mittarien toteutukselle. Mittarien pi-



tää pystyä mittaamaan tarkasti tosiasiallista sähkönkulutusta ja antava käyttäjälle tietoa todellisesta käyttöajasta. Loppukäyttäjälle mittaustiedot pitää olla helposti saatavilla, ilmaisia ja lähes reaaliaikaisia.

Direktiiviesityksessä ehdotettiin, että myös niissä valtioissa, jossa älykkäitä mittauksia ei oteta järjestelmällisesti käyttöön, loppukäyttäjällä on oikeus saada pyynnöstä ja kohtuullisin ehdoin asennutettua älymittari.

Älymittarien vähittäisvaatimukset ja muut vaatimukset oli jo vuonna 2017 määritetty 19 jäsenvaltioissa laissa. Kuvassa 3.1 on koottu yleisimmät mittarein vaatimukset jäsenvaltioissa.



Kuva 3.1 Euroopan unioni jäsenmaiden vaatimukset älykkäiltä sähkömittareilta. Taulukossa tarkasteltu 19 valtiota, joissa älymittarien toiminnot ovat laissa määritetty. (Acer/Ceer, 2018)

### 3.1.2 Nykyinen käyttöaste

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivissä 2009/72/EY asetettiin velvoite jokaiselle jäsenmaalle (EU27) tehdä arvio älykkäiden mittarien käyttöönoton kustannuksista ja hyödyistä. Valtioilta, joiden arvio oli myönteinen, vaadittiin että vuoteen 2020 mennessä 80 prosenttia mittarikannasta olisi älykkäitä mittareita.

Silloisesta 27 jäsenvaltiosta, 16 kustannus-hyötyarviot olivat positiiviset, seitsemällä jäsenvaltiolla arviot olivat kielteiset tai epävarmat ja kolmella jäsenvaltiolla ei ole tällä hetkellä suunnitelmia käyttöönotolle. Saksassa, Latviassa ja Slovakiassa kustannus-hyötyarviot olivat kielteiset, mutta mittareista katsottiin olevan hyötyä ja nämä valtiot suorittavat osittaisen siirtymisen älymittareihin vuoteen 2020 mennessä. Kroatia liittyi vuonna 2013 Euroopan unioniin, jonka takia valtiolta ei vaadittu kustannus-hyötyarviota. (Euroopan komissio, 2014c)

Valtioiden kustannusarvioiden tulokset löytyvät taulukosta 3.1.

Taulukko 3.1 Euroopan unionin jäsenvaltioiden älykkäiden mittarien kustannus-hyötyarvioiden lopputulokset.  
(Euroopan komissio, 2014c)

<b>Valtiot</b>	<b>Positiivinen kustannus-hyötyarvio</b>	<b>Negatiivinen kustannus-hyötyarvio</b>	<b>Osittainen siirtyminen</b>	<b>Puuttuu</b>
Alankomaat	x			
Espanja	x			
Irlanti	x			
Italia	x			
Itävalta	x			
Kreikka	x			
Luxemburg	x			
Malta	x			
Puola	x			
Ranska	x			
Romania	x			
Ruotsi	x			
Suomi	x			
Tanska	x			
Viro	x			
Yhdistynyt kuningaskunta	x			
Belgia		x		
Latvia		x	x	
Liettua		x		
Portugali		x		
Saksa		x	x	
Slovakia		x	x	
Tšekki		x		
Bulgaria				x
Kypros				x
Slovenia				x

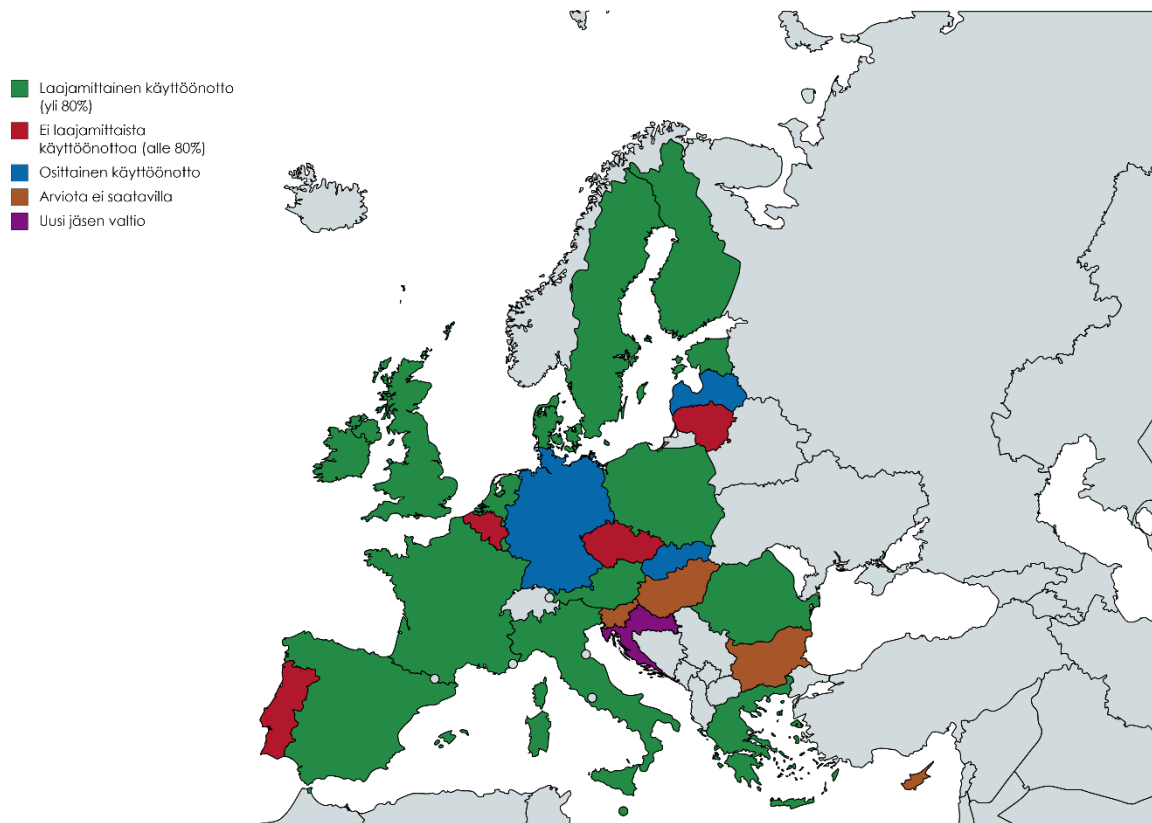
Euroopassa tällä hetkellä älymittarien edelläkävijöinä ovat Espanja, Malta, Ruotsi, Suomi ja Viro. Näiden viiden valtion mittarikannasta 75 prosenttia on älykkäitä mittareita vuoteen 2016 mennessä. Näiden valtioiden älymittarilainsäädäntö on selvä ja suurimmat haasteet älymittarien käyttöönotossa selvitetty. (USmartConsumer project, 2016)

Näiden valtioiden lisäksi 11 jäsenvaltiota ovat siirtyneet eteenpäin mittarien asennuksessa, mutta osassa näissä valtioissa asennukset ovat vielä kesken tai valtiolla on ongelmia mittarien kanssa. Nämä valtiot ovat Alankomaat, Irlanti, Italia, Itävalta, Luxemburg, Puola, Portugali, Ranska, Slovenia, Tanska ja Yhdistynyt kuningaskunta. Esimerkiksi Italiassa asennusprosentti lähenee 100 prosenttia, mutta palvelut asiakkaille ovat vähäiset. Näiden valtioiden ja edelläkävijöiden valtioiden lukumäärä vastaa 60 prosenttia koko Euroopan unionin valtioista. (USmartConsumer project, 2016)

Saksassa, Kreikassa, Romaniassa ja Unkarissa lainsäädännön perusrakenne on saatu aikaiseksi, mutta lainsäädännössä olevat epäselvyydet estävät suuren asentamisen ja pelkätään osa verkonhaltijoista ovat päättäneet asentaa älymittarit. Kyproksella ja Belgiassa pakollista mittarien asennusta ei ole, mutta asennukset ovat aloitettu verkkoyhtiöiden toimesta. (USmartConsumer project, 2016)

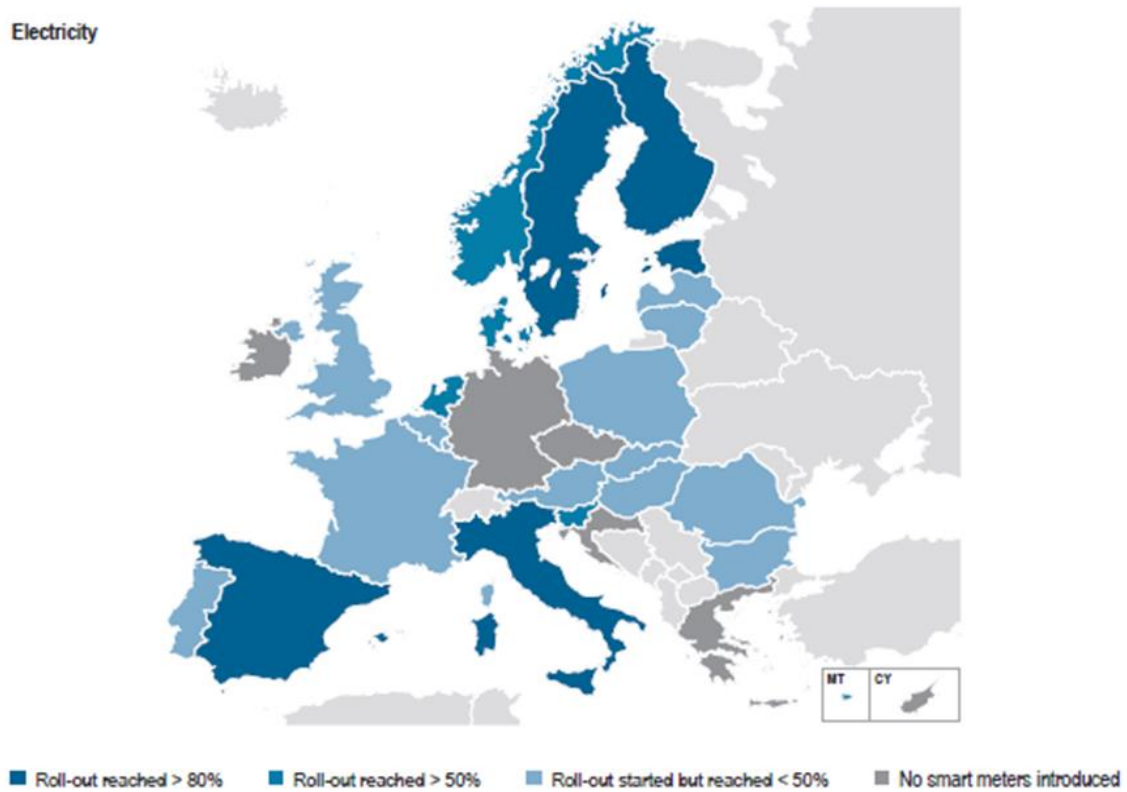
Kuudessa valtiossa ei ole minkäänlaista lainsäädäntöä tai suunnitelmat mittarien asennuksista tapahtuvat lähitulevaisuudessa. Nämä kuusi valtiota ovat Latvia, Liettua, Kroatia, Bulgaria, Slovakia ja Tšekki. (USmartConsumer project, 2016)

Kuvassa 3.2 esitetty Euroopan unionin jäsenvaltioiden asennustavoitteet vuoteen 2020 mennessä. Suuressa osassa jäsenmaita siirrytään tai osittain siirrytään älykkäisiin mittareihin.



Kuva 3.2 Euroopan unioni älymittarien tavoitteet vuoteen 2020 mennessä. (Joint Research Centre, 2019)

Vuonna 2018 ACER:n ja CEER:n julkaiseman raportin mukaan viisi valtiota ovat päässeet 80 prosentin tavoitteeseen vuoden 2017 loppuun, nämä valtiot ovat Espanja, Italia, Ruotsi, Suomi ja Viro (ks. kuva 3.3). Yli 50 prosentin asennusprosenttiin ovat päässeet Tanska, Alankomaat ja Slovenia. Kuvassa 3.3 on esitetty asennusprosentit vuonna 2017 valtioittain Euroopan unionissa.



Kuva 3.3 Älymittarien prosenttiosuus vuoteen 2017 mennessä. (Acer/Ceer, 2018)

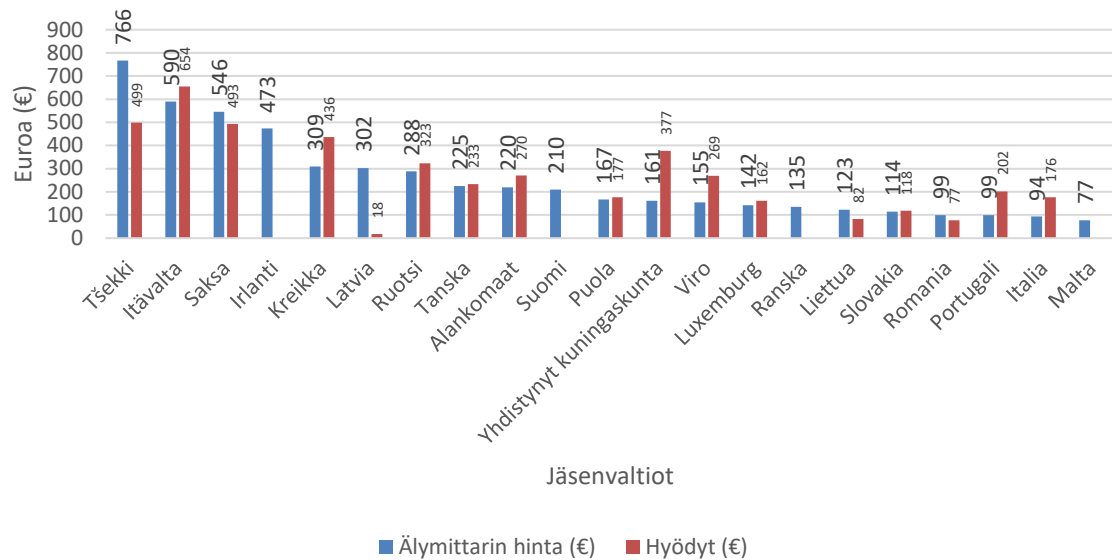
### 3.1.3 Hyödyt

Älymittareihin siirtymällä pyritään saamaan kuluttajat mukaan sähkömarkkinoille ja saada asiakas seuraamaan omaa kulutustaan. Energian kulutusta seuraamalla kuluttaja pystyy muuttamaan omaa kulutustapojaan, esimerkiksi pienentämällä kulutusta tai tasaamalla kulutustaan tasaisemmin päivän ajalle (ESMA, 2010). Kulutuksen seurannan ansiosta sähkön hinnoittelu voidaan tehdä reaaliaikaisena, joka mahdollistaa energiatehokkuuden paranemisesta ja kulutuksen tasaamisesta johtavat säästöt (Euroopan komissio, 2014).

Yleisin älykkäiden mittarien etu on säästöt mittarien lukemisessa ja sähköverkon ylläpidossa. Sähköverkonhaltijat pystyvät tarkkailemaan kulutuslukemia etänä ja samalla sähkön laatua pystytään tarkkailemaan.

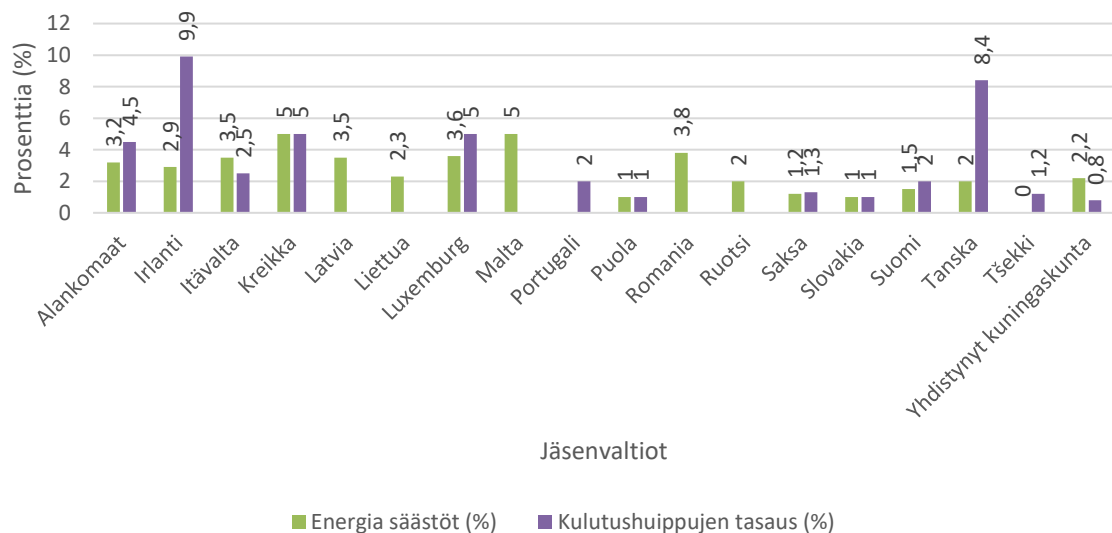
Älykkäiden mittarien hinta-arvioiden ääriarvojen erotus on lähes 700 euroa. Suurimman rahallisen hyödyn älymittaria kohden sai Yhdistynyt kuningaskunta, missä arvioitu hyöty mittaria kohden on 216 euroa. Pienimmän rahallisen arvon mittarien vaihtamisesta sai Latvia,

jokaista mittaria kohden syntyy 284 euroa tappiota. Kuvassa 3.4 esitetty älykkäiden mittarien hinta-arvioita ja älykkäistä mittareista syntyviä hyötyjä valtioittain. Osasta valtioista puuttuu älykkäistä mittareista syntyvät hyödyt.



Kuva 3.4 Älykkäiden mittarien hinnat (sininen) ja mittareista johtuvat rahalliset hyödyt (punainen). Osassa valtioista puuttuvat rahallinen hyödyn laskenta kokonaan. (Euroopan komissio, 2014a)

Mittarien hintojen eroaminen johtuu valtioiden erilaisesta älymittarien määrittelyistä ja ominaisvaatimuksista. Kuvassa 3.5 esitetty älykkäistä mittareista syntyviä energian säästöjä ja kulutushuippujen tasaantumisprosentti. Osalta jäsenvaltiosta puuttuu kokonaan arvio älymittareiden käytöstä syntyvästä kulutushuippujen tasauksesta.



Kuva 3.5 Älykkäiden mittareista johtuvat energian kulutuksen säästöt (vihreä) ja energian kulutuksen tasoittuminen (violetti). (Euroopan komissio, 2014a)

### 3.1.4 Tulevaisuus

Vuoden 2020 tavoitteen jälkeen ei ole vielä asetettu uusia tavoitteita, mutta direktiiviehdotuksessa (2016/0380/COD) asetetaan positiivisen kustannusarvion saaneille valtioille 80 prosentin tavoite vuoteen 2020 mennessä tai kahdeksan vuotta arvion saamisesta. (Euroopan komissio, 2017)

## 3.2 CASE Suomi

### 3.2.1 Määritelmät Suomessa

Suomessa verkkoyhtiöt aloittivat vapaaehtoisesti 2000-luvun alussa asentamaan älykkäitä sähkömittareita. Vasta 2009 Valtioneuvosto laati asetuksen (66/2009), jossa vaaditaan sähkökulutuksen ja pientuotannon mittauksen perustavan tuntimittaukseen ja etäluentaan. Jakeluverkonhaltijalla on mahdollisuus enintään 20 prosentin poikkeukseen tuntimittausvelvoitteesta, riippuen sähkökäyttöpaikasta.

Asetuksessa myös asetettiin vähimmäisvaatimukset älykkäille mittareille:

- Älykkään sähkömittarin muisti pitää pystyä lukemaan etänä.
- Mittarin pitää pystyä rekisteröimään yli kolmen minuutin kestoisen jännitteettömän ajan alku - ja päättymisajankohta.
- Mittarin pitää pystyä vastaanottamaan ja panemaan käytäntöön tai välittää eteenpäin kuormanohjauskomennot.

Asetuksessa asetettiin myös verkonhaltijalle tietojen tallentamisesta vaatimuksia:

- Mittaustieto ja jännitteetöntä aikaa koskevat tiedot tulee tallentaa verkonhaltijan tietokantaan, jossa tuntikohtaiset mittaustiedot tulee säilyttää vähintään kuusi vuotta ja jännitteetön aika vähintään kaksi vuotta.

Perinteinen sähkömittarin lukeminen tapahtuu kolme kertaa vuodessa, joista jakeluverkonhaltija joutuu tarkistamaan vähintään yhden kerran. Älykkäiden mittarien lukemat luetaan vähintään kerran vuorokaudessa.

### 3.2.2 Hyödyt Suomessa

Työ- ja elinkeinoministeriön (2008) julkaisu listasi älymittarien hyödyistä verkonhaltijoiden kannalta seuraavat asiat:

- Mittaustietojen luenta ja niiden käsittelyyn liittyvät hyödyt, manuaalisen mittarilukeman selvittämisen poistuminen
- Mittarikannan uusiminen ja uusien mittarien kautta tulevat hyödyt
- Taselaskentaan liittyvät hyödyt
- Parempi asiakaspalvelu, etäkytkentä tariffinvaihdot ja kuorman ohjaus.
- Energian myyntiin liittyvät hyödyt
- Verkostolaskennan lähtötietojen tarkentuminen

- Verkkoinvestointien oikea-aikaisuus
- Verkoston kunnon seuranta
- Jakeluverkon häviöiden määrittäminen
- Lisäpalvelumahdollisuudet

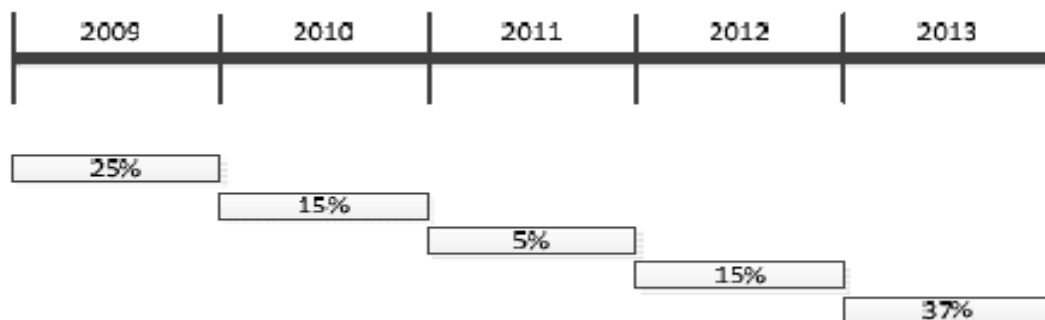
Samassa julkaisussa lueteltiin myös älymittarien hyödyt asiakkaan kannalta:

- Asiakas saa tarkempaa tietoa omasta kulutuksestaan ja kulutuksen ajankohdasta.
- Parempi asiakaspalvelu, asiakaspalvelu pystyy seuraamaan sähkön laatu- ja katkos-tietoja
- Uusien palveluiden mahdollisuus

### 3.2.3 Suomen nykytilanne

Mittarikannan muuttamisen hinta-arvioksi on arvioitu olevan 692 miljoonaa euroa, 3,3 miljoonaa mittaria kohden hintaa tulisi yksittäiselle mittarille noin 210 euroa. Hinta-arviosta 40-55 prosenttia tulee mittarien hinnasta, 5-25 prosenttia mittarien lisälaitteista (releet, kytkimet jne.), 10-25% asennus ja ylläpitokustannuksista ja 5-40 prosenttia kommunikaatiokustannuksista. (Euroopan komissio, 2014b)

Valtioneuvoston asetuksessa 66/2009 määritettiin 80 prosentin tavoite saavutettavaksi viimeistään vuoden 2013 loppuun mennessä. Vuoden 2013 lopussa asennusluvut lähenivät jo 97 prosenttia.



Kuva 3.6 Älykkäiden mittarien asennusmäärät vuosittain 2013 saakka. (Euroopan komissio, 2014b)

Vuoteen 2016 loppuun mennessä älymittarien asennusprosentti oli 99,6 prosenttia, enää 12 000 mittauspisteessä oli käytössä perinteinen sähkömittari. (Pöyry, 2017)

Toisen sukupolven älymittarien vaatimukset ovat vielä suunnittelu vaiheessa. Älyverkko-työryhmän loppuraportissa (2018) ehdotettiin seuraavan sukupolven älymittareille seuraavia uusia vähimmäisvaatimuksia:

- Kuormanohjaustoiminnallisuuden säilyttäminen asiakkailla, joilla on merkittäviä ohjattavia kuormia. Suurin osa yösähköohjauksen piiriin kuuluvista asiakkaista saadaan helposti kulutusjouston ulottuville.
- Mittarien pitää pystyä mittaamaan useampia suureita ja tiheämmällä aikavälillä.

### 3.3 CASE Italia

#### 3.3.1 Määritelmät Italiassa

Ensimmäisen sukupolven älymittarien asennus aloitettiin vuonna 2001. Ensimmäisen sukupolven mittarien vaadittiin keräävän kulutustiedot kolme kertaa kuukaudessa. Verkon kunnon tarkkailu mittarien avulla oli heikkoa, jännitteen muutoksen seuranta ei tehty kaikilla mittareilla vaan vain osalla mittareista ja seuranta ei täytä standardin EN 50160 (yleisen jakeluverkosta syötetyn sähkön jänniteominaisuudet) jännitekuoppien/ylijännitteiden mitausta. Mittareilla oli myös mahdollista tarkkailla sähköverkon vikatiloja, mutta mittarien muistin rajoitteiden takia tarkkailua ei tehty. Kuluttajilla ei ole myöskään helppoa pääsyä omiin kulutustietoihinsa, tiedot pystyvät lukemaan mittarista suoraan tai sähkölaskusta. (Piti et al., 2016)

Vuonna 2016 Italian säätelyviranomaisen (AEEGSI) hyväksyi toisen sukupolven älymittareiden käyttöönottosuunnitelman ja mittareiden kustannusarvion. Toisen sukupolven mittarit pitäisi pystyä mittaamaan kulutustiedot 15 minuutin välein, seuraamaan sähköverkon suurinta ja pienintä jännitettä ja tarkkailemaan verkon vikatiloja. Toisen sukupolven mittarit mahdollistavat paremman kommunikaation kuluttajan kanssa, kulutustiedot olisivat saatavissa kuluttajille 24 tunnin kuluttua mittauksesta. (Piti et al., 2016)

#### 3.3.2 Italian nykytilanne

Älymittarien asennukset alkoivat Italian suurimman jakeluverkon haltijan (Enel) vapaaehtoisesta toimesta vuonna 2001 ja Enel sai asennukset valmiiksi vuonna 2006. Vuonna 2006 Italian säätelyviranomaisen asetti älymittarien asennukset pakolliseksi kaikille verkonhaltijoille. Samalla asetettiin 95 prosentin asennustavoite vuoteen 2011 mennessä. (Euroopan komissio, 2014b)

Mittarikannan muuntamisen hinnaksi on arvioitu 3 400 miljoonaa euroa, 36,7 miljoonaa mittari kohti hintaa tulee noin 94 euroa mittaria kohden. 95 prosenttia mittarin kustannuksista tulee valmistus- ja asennuskustannuksista ja 5 prosentti tietojärjestelmän kehittämisestä, tutkimus ja tuotekehityksestä ja muista kuluista. Älymittarien laskettu hyöty arvoitiin olevan pelkästään verkonhaltijoille noin 6 400 miljoonaa euroa, joka vastaa jokaista mittaria kohden noin 176 euroa. (Euroopan komissio, 2014b)



### 3.4 Yhdysvallat

Tässä kappaleessa tutkitaan älykkäiden sähkömittarien käyttöä Yhdysvalloissa. Kappaleessa käydään läpi määritelmät, nykyinen käyttöaste, tulevaisuus ja case-tapauksena Kalifornian osavaltio.

#### 3.4.1 Määritelmä

Yhdysvalloissa älykkäät mittarit ovat jaettu kahteen luokkaan, automaattisesti lukevat (Automated Meter Reading (AMR)) ja älykäs mittausrakenteita (Advanced Metering Infrastructure (AMI)). (EIA, 2018a)

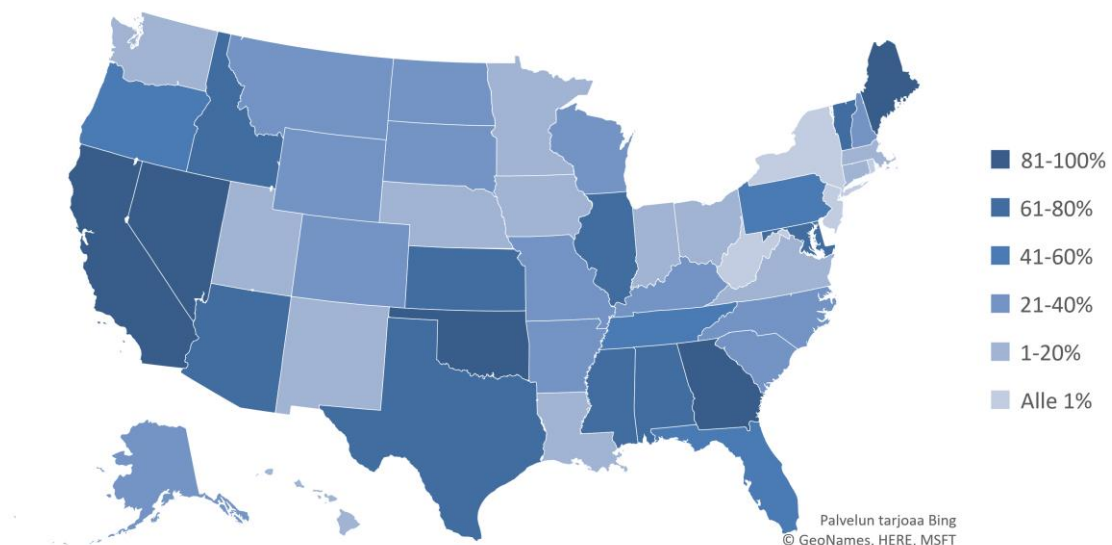
AMR-mittausjärjestelmässä tiedon välitys on yksisuuntaista, yleensä loppukäyttäjältä verkkovaltuutetulle. Kuukausittaisen mittaustietojen kerääminen tapahtuu joko tietoverkon välityksellä, manuaalisesti tai lyhyenkantaman lukulaitteiden avulla. (Energy Information Administration, 2018)

AMI-mittausjärjestelmä muistuttaa enemmän eurooppalaista älykästä mittaria, siihen kuuluu kaksisuuntainen kommunikointi, vähintään tunnein välein tallennettava kulutus ja päivittäinen tiedon välitys.

#### 3.4.2 Nykyinen käyttöaste

Yhdysvaltojen kongressin vuoden 2005 energiasäädöksen kohdassa 1252 (Energy Policy Act of 2005, section 1252) asetettiin osavaltioille vaatimus tehdä tutkimus älykkäiden mittarien käyttöönotosta. Säädöksessä ei edelletty osavaltioiden siirtymistä älykkäisiin sähkömittareihin, vaan asetettiin tavoite tutkia mahdollista käyttöönottoa.

Yhdysvalloissa suurin älykkäiden mittarien asennusprosentti on pääkaupungissa Washington DC:ssä, jossa asennusprosentti on 99,2 prosenttia. Osavaltioissa suurin älykkäiden mittarien asennusprosentti on Nevadan osavaltiossa, jossa asennusprosentti on 94,8 prosenttia. Kuvasssa 3.7 on esitetty AMI-mittarien asennusprosentit osavaltioittain.

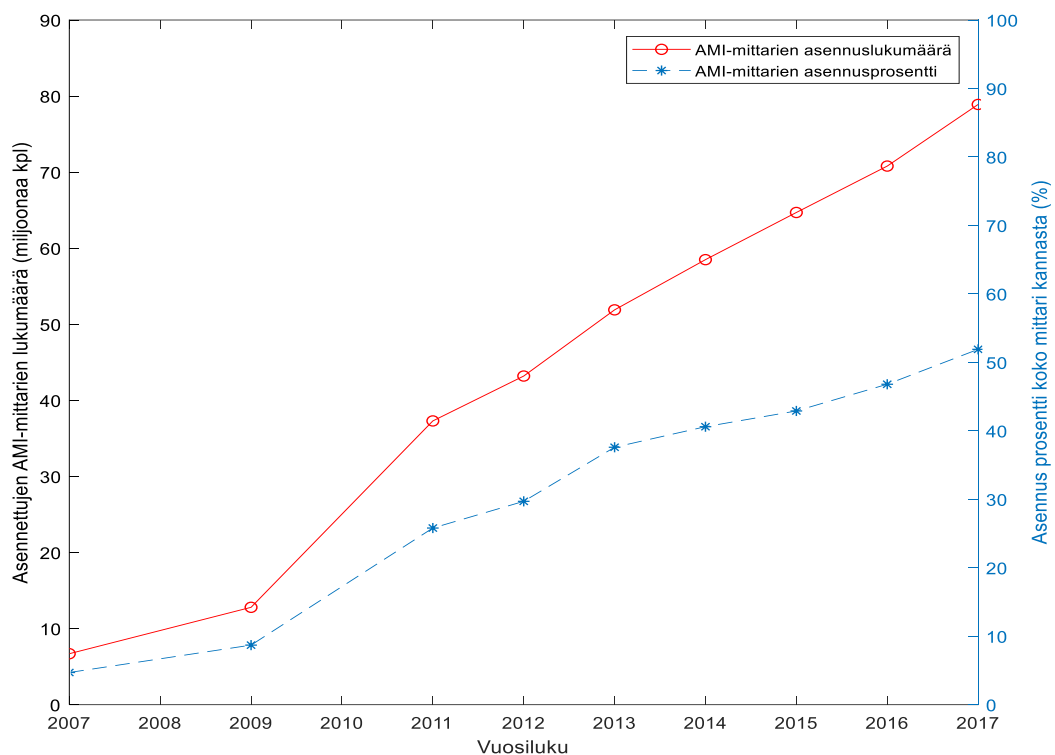


Kuva 3.7 AMI-mittarien asennusprosentit osavaltioittain. (EIA, 2016)

Vuoteen 2016 mennessä 70,8 miljoonaa älymittaria on asennettu, joka vastaa 46,8 prosenttia koko kannasta. Noin 47 prosenttia kotitalouksien mittareista on älykkäitä, 45 prosenttia kaupallisen alan mittareista on älymittareita ja 41 prosenttia teollisuusmittareista on älykkäitä. (FERC, 2018)

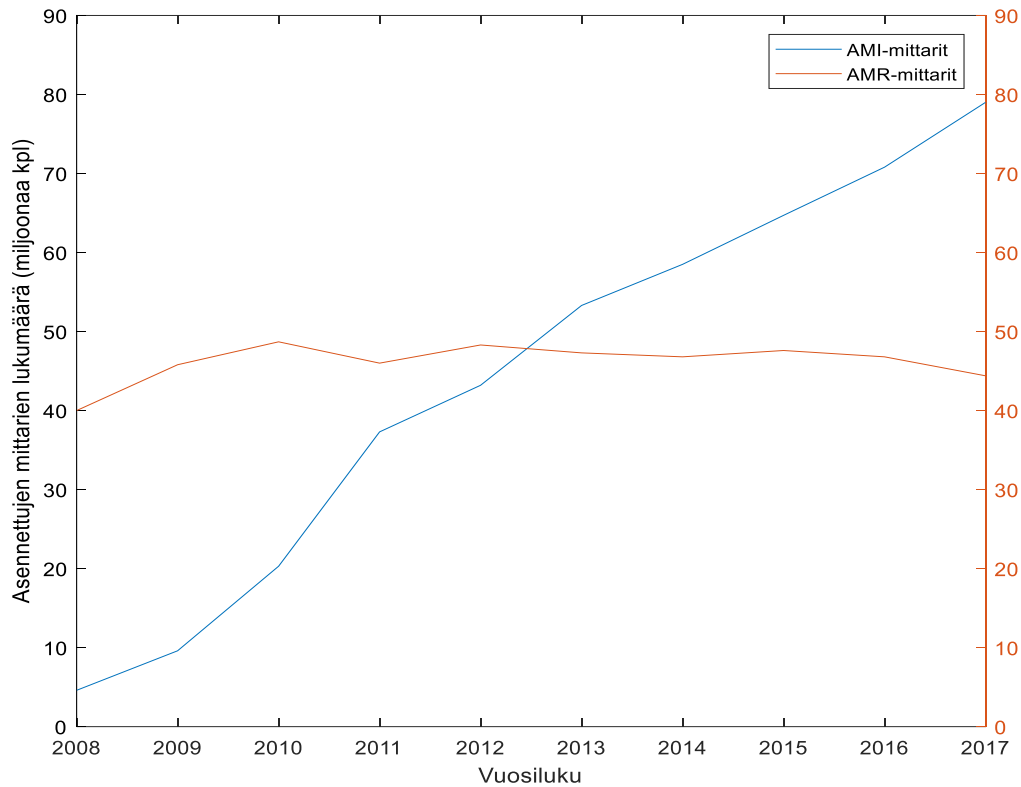
Lukumäärällisesti eniten älymittareita on asennettu Kalifornia osavaltiossa, jossa on vuoteen 2016 mennessä oli asennettu yli 12,6 miljoonaa älymittaria. (EIA, 2016)

Kuvassa 3.8 esitetään AMI-mittarien lukumäärän kasvu kymmenen vuoden aikana ja asennusprosentti koko mittarikannasta. Vuoteen 2017 mennessä 51,9 prosenttia mittarikannasta oli AMI-mittareita, joka vastaa 78,9 miljoonaa mittaria (FERC, 2018).



Kuva 3.8 AMI-mittarit Yhdysvalloissa, kuvassa punaisella asennettujen mittarien lukumäärä miljoonissa ja sinisellä asennusprosentti koko mittarikannasta. (FERC, 2018)

AMR-mittarien määrä on pysynyt viime vuosikymmenen aikana tasaisena, mittarien lukumäärä heittelee 40-50 miljoonana mittarin välissä. Vuosina 2008 – 2010 AMI-mittarien kokonaismäärä kasvoi vuosittain noin kaksinkertaiseksi edelliseen vuoteen verrattuna. Vuodesta 2010 eteenpäin AMI-mittarien lukumäärä mittarikannasta on kasvanut noin 10 prosenttiyksikköä vuodessa. Kuvassa 3.9 esitetään AMI- ja AMR-mittarien lukumäärät kymmenen vuoden aikana.



Kuva 3.9 AMI- ja AMR-mittarien lukumäärät Yhdysvalloissa vuosittain. (EIA, 2018b)

### 3.4.3 Tulevaisuus

Vuoteen 2020 mennessä arvioitu älymittarien määrä ylittää 90 miljoonan mittarin rajan. (The Edison Foundation, 2017)

## 3.5 CASE Kalifornia

Kalifornia on asukasluvultaan Yhdysvaltojen suurin osavaltio ja kolmanneksi suurin pinta-alaltaan. Kaliforniassa lähes kaikki sähkömittarit ovat vaihdettu älykkäisiin mittareihin (The Edison Foundation, 2011).

### 3.5.1 Hyödyt Kaliforniassa

Suurimmat hyödyt älykkäistä sähkömittareista syntyvät sähköverkon kunnon valvonnasta. Sähköverkon vianetsintä ja korjaaminen nopeutuu, jonka seurauksesta asiakkaiden sähkökatkokkien kestot pienenevät. (CPUC, 2019)

Sähkönkulutuksen tasaaminen pienentää tarvetta rakentaa uusia voimalaitoksia ja huonolla hyötysuhteella toimivien laitojen käyttöä voidaan pienentää. Sähkönkulutuksen tasaaminen

myös mahdollistaa varavoimailaitosten käytön pienentämistä. Varavoimailaitosten ylläpitäminen on kallista ja yleisesti varavoimailaitosten kasvihuonepäästöt ovat korkeampia kuin normaali voimailaitosten. (CPUC, 2019)

Asiakkailla on parempi pääsy omiin kulutustietoihin ja sähkön hintaan. Kulutustietojen avulla asiakas pystyy optimoimaan oman sähkönkulutuksen ja samalla tasaamaan omia kulutushuippujaan. Asiakkailla on myös mahdollisuus ostaa tuntisähköä, joka mahdollistaa halvemman sähkön hinnan kulutushuippujen ulkopuolella. Tulevaisuudessa koteihin asennettavat näyttöpäätteet mahdollistavat asiakkaille helpomman pääsyn reaaliaikaiseen kulutukseen ja sähkön hintaan. Näytöt pystyvät kommunikoimaan älymittarien kanssa langattomasti ja näyttöihin liitettävät järjestelmät mahdollistavat kodinkoneiden käynnistyksen sähkön tunti hinnan mukaan. (CPUC, 2019)

Asiakkaiden yksityisyyden suoja paranee vanhaan tietojen keräysmenetelmään verrattuna. Automaattinen kulutuksen seuranta poistaa tarpeen paikan päällä tapahtuvalle kulutustietojen keräämiselle, jonka seurauksena jakeluverkon työntekijöillä ei ole suoraa pääsyä kulutustietoihin. Automaattinen kulutuksen seuranta vähentää verkkoyhtiön kulutustietojen keräämiseen tarvittavia resursseja. (CPUC, 2019)

Kulutustietojen joutuminen väärin käsiin on edelleen uhka, mutta verkkoyhtiön henkilökunnalla ei ole enää pääsyä helposti tietoihin ja tietojen lukemisesta pystytään tallentamaan merkintä tietojen lokiin.

### **3.5.2 Nykyinen tilanne**

Lokakuuhun 2017 mennessä 12,03 miljoonaa älymittaria oli asennettu kolmen suurimman verkonhaltijan toimesta. 54 392 asiakasta jättäytyi älymittarien asennuksesta tai siirtyi takaisin analogiseen mittariin, luku vastaa 0,45 prosenttia kaikista asennetuista mittareista. (CPUC, 2018)

Kokonaisuudessa vuoden 2017 alkuun mennessä älykkäitä mittareita oli asennettu koko osavaltion alueella 12,79 miljoonaa (EIA, 2017).

California Public Utilities Commissionin (CPUC) mukaan Kaliforniassa asiakkaat, jotka eivät tahdo älymittareita asennettavaksi tai palaavat analogisiin mittareihin, joutuvat maksamaan 75 dollarin aloitusmaksun ja 10 dollarin kuukausimaksun. Pienituloisilla asiakkailla, jotka kuuluvat CARE (California Alternate Rates for Energy) etujärjestelmään aloitusmaksu on 10 dollaria ja kuukausi maksu on 5 dollaria. Kuukausimaksut loppuvat 36 kuukauden (kolmen vuoden) jälkeen. (CPUC, 2014)

### 3.6 Australia

Tässä kappaleessa tutkitaan älykkäiden sähkömittarien käyttö Australiassa. Kappaleessa käydään läpi määritelmät, nykyinen käyttöaste, hyödyt, tulevaisuus ja case-tapauksena Victorian osavaltio.

#### 3.6.1 Määritelmä

Australiassa sähkömittarien jaetaan vuosittaisen kulutuksen mukaan mittarityyppeihin. 1-4 mittarityypit ovat tarkoitettu yli 160 MWh vuosittain kuluttaville asiakkaille ja 5-6 ovat tarkoitettu alle 160 MWh kuluttaviin asiakkaille. Älykkäät mittarit kuuluvat tyyppiin 4 ja osittain tyyppiin 5. Älymittarit kuuluvat molempiin asiakasryhmiin, koska mittarit ovat suunniteltu alle 750 MWh kuluttaville asiakkaille. 4 tyyppin mittareiden pitää pystyä mittaamaan kulutus ainakin puolen tunnin välein ja mittarissa pitää olla etäluentaominaisuus. Älykkäisiin sähkömittareihin luetaan mukaan 5 tyyppin mittari. Mittarissa on samoja ominaisuuksia kuin 4 tyyppin älymittarissa, mutta mittarin kustannukset ovat samat kuin normaalilla mittarilla. (AER, 2012)

Taulukko 3.2, sähkömittarityypit Australiassa.

Mittari- tyyppi	Kulutus	Älymittari	Huomautus
1	yli 1000 GWh		Suurkuluttajia, sähkönkulutus yli 160 MWh.
2	100-1000 GWh		
3	0,75 - 100 GWh		
4	0,16 - 0,75 GWh	X	
5	alle 0,16 GWh	X	Pienkuluttajia, sähkönkulutus alle 160 MWh.
6	alle 0,16 GWh		
7	Ei mitattava liittymis- pistettä		Sähkönkulutus arvioidaan esim. katuvalojen kulutus

#### 3.6.2 Nykyinen käyttöaste

Suurin osa älykkäistä mittareista on asennettu Victorian osavaltion alueelle. Yli 97 prosenttia Victorian kuluttajilla on älymittarit asennettu. (AER, 2018)

Victoria osavaltiossa älykkäät sähkömittarit ovat pakollisia kotitalouksissa ja pienyrityksissä. Vuoteen 2014 mennessä asennustyöt saatiin päätökseen. Mittareita asennettiin 2,8 miljoonaa kappaletta. (Energy Networks Australia, 2019)

Muiden osavaltioiden asennusprosentti on noin viisi prosenttia. Tämän lisäksi kuudella prosentilla on pääsy puolen tunnin kulustietoihin, mutta etäluenta ei ole mahdollista. (AER, 2018)

Sähkön jälleenmyyjät ovat Uuden Etelä-Walesin, Queenslandin ja Etelä-Australian osavaltion alueella vaihtaneet 400 000 älymittaria asiakkailleen. (Chandrashekeran, Gill, 2018)

Victoria on ainoa osavaltio, jossa älykkäiden mittarien asennus on pakollinen. Älymittarien aiheuttama sähkölaskun hinnan nostaminen on aiheuttanut paljon epäsuosiota ja älykkäiden mittarien asiakkaille luvattut etuudet eivät ole toteutuneet kokonaan. Muissa osavaltioissa

älykkäiden mittarien vapaaehtoinen siirtyminen on suositumpaa. Älymittarien asentaminen on siirretty verkonhaltijalta sähkövähittäismyyjien vastuulle. Kaikille asiakkaille älymittarien asentaminen ei ole kannattavaa, jonka takia vähittäismyyjät saisivat itse päättää, keille asiakkailleen älymittarit asennettaisiin. (Chandrashekeran, Gill, 2018)

### **3.6.3 Hyödyt**

Victorian osavaltion alueen hyödyt ovat arvioitu olevan vuoteen 2028 mennessä 2 603 miljoonaa Australian dollaria. (Victoria Auditor-General, 2015)

Australiassa suurimmat hyödyt syntyvät ilmastointijärjestelmien kulutuksen hallinnan avulla. DLC (Direct load control) -järjestelmän avulla pystytään hallitsemaan kodinkoneiden tehonkulutusta suurten kulutushuippujen aikana. Asiakkaat saavat kannustimia osallistukseensa DLC-järjestelmään. Deloitte Access Economics:in arvioiden mukaan, jos Citipower ja Powercor verkonhaltioiden asiakkaista 25 prosenttia kuuluisi DLC järjestelmän piiriin vuoteen 2027 mennessä, asiakasta kohden kulutushuipun pieneminen olisi 15 prosenttia. Rahalliset hyödyt nettohyötyarvona olisi 32,7 miljoonaa Australian dollaria, joka vastaa noin 20,3 miljoonaa euroa. Näiden kahden verkonhaltijan nettohyötyarvo hyödyt ovat 2016-2027 välillä yhteensä 99,3 miljoonaa Australian dollaria, noin 61,7 miljoonaa euroa. (Deloitte Access Economics, 2016)

### **3.6.4 Tulevaisuus**

Joulukuun 2017 jälkeen jokaisessa osavaltiossa uuden ja vaihdettavan sähkömittarin pitää olla älymittari. Älymittareista kieltäytyminen on mahdollista vain, jos vanha mittari toimii oikein, kaikki uudet ja vioittuneen tilalle asennettavat mittarit ovat älykkäitä. (AER, 2017)

#### 4. JOHTOPÄÄTÖKSET

Älykkäiden sähkömittarien suurin hyöty tulee tiedonvälityksessä mittarin ja verkonhaltijan välillä. Älykkäät mittarit pystyvät lähettämään asiakkaan kulutustietoja ja verkon tilantietoja tietoverkon välityksellä, jolloin säästytään turhilta tarkistuskäynneiltä. Myös asiakkaan mukaan ottaminen sähkömarkkinoille sekä tarkemman kulutustiedon antaminen asiakkaalle mahdollistavat energiankulutuksen pienenemisen ja kulutushuippujen pienenemisen.

Älykkäiden sähkömittarien suurin haittapuoli on investointikustannukset. Sähkömittarien uusiminen, kehitystyöt ja järjestelmän ylläpitäminen tuottavat suurimmat kustannukset. Kuitenkin suuressa osassa valtioita älykkäiden mittarien kustannukset jäävät paljon pienemmiksi kuin mittareista saatavat hyödyt.

Euroopan unionin alueella vain viisi valtiota on päässyt 80 prosentin asennustavoitteeseen vuonna 2017. Vain parin valtion odotetaan jäävän vuoden 2020 tavoitteesta kokonaan. Vaikka osa valtioista on saavuttanut tavoitteen, on vielä paljon kehitettävää laitteiden käytön osalta. Asiakkaalle kohdennetut sovellukset ja tiedon välityksen kehitys ovat seuraava tavoite suuressa osassa valtioita. Ilman asiakkaan kulutustapojen muuttamista energiansäästöt ovat pieniä. Osassa valtioita, erityisesti Italiassa, Ruotsissa ja Suomessa, toisen sukupolven älymittarien suunnittelu alkaa olla ajankohtaista.

Yhdysvalloissa älykkäiden sähkömittarien asennuslukumäärät ovat kasvaneet lähes 10 prosenttiyksikköä vuodessa viime vuosina. Asennusprosentti oli vuonna 2017 51,9 prosenttia ja AMI-mittarien lukumäärä oli 78,9 miljoonaa. Vuoteen 2020 mennessä AMI-mittarien määrän arvioidaan ylittävän 90 miljoonan mittarin rajan.

Australiassa älykkäiden mittarien asennuksissa ollaan alkutekijöissä. Pelkästään Victorian osavaltiossa suurimmalle osalle asiakkaista on asennettu älymittarit. Muissa osavaltioissa vapaaehtoisempi siirtymistapa on suositumpi, jonka seurauksesta asennusten nopeus on hidasta. Vuodesta 2017 alkaen kaikissa osavaltioissa uudet tai vaihdettavat sähkömittarit pitää olla älymittareita.

## LÄHTEET

Acer/Ceer. 2018. *Annual Report on the Results of Monitoring the Internal Electricity and Natural Gas Markets in 2017- Consumer Empowerment Volume*. [Viitattu 29.11.2018]. Saatavilla: <https://www.ceer.eu/national-reporting-2018>

AER. 2012. *Classification of metering services in NSW*. [Viitattu 05.03.2019]. Saatavilla: [https://www.aer.gov.au/system/files/Discussion paper - Matters relevant to the framework and approach - NSW DNSPs 2014-19 - classification of types 5-7 metering services\\_0.pdf](https://www.aer.gov.au/system/files/Discussion%20paper%20-%20Matters%20relevant%20to%20the%20framework%20and%20approach%20-%20NSW%20DNSPs%202014-19%20-%20classification%20of%20types%205-7%20metering%20services_0.pdf)

AER. 2017. *Smart meters and you*. [Viitattu 16.02.2019]. Saatavilla: <https://www.aer.gov.au/system/files/Smart%20meters%20and%20you.pdf>

AER. 2018. *State of the energy market 2018*. [Viitattu 16.02.2019]. Saatavilla: <https://www.aer.gov.au/publications/state-of-the-energy-market-reports/state-of-the-energy-market-2018>

Chandrashekeran S., Dufty, G., Gill, M. 2018. *Smart-erMetering Policy*. [Viitattu 13.03.2019]. Saatavilla: [https://geography.unimelb.edu.au/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0007/2685643/Smart-er-meter-policy-230218.pdf](https://geography.unimelb.edu.au/__data/assets/pdf_file/0007/2685643/Smart-er-meter-policy-230218.pdf)

CPUC. 2014. *Decision regarding smartmeter opt-out provisions*. [Viitattu 21.01.2019]. Saatavilla: <http://docs.cpuc.ca.gov/PublishedDocs/Published/G000/M143/K904/143904205.PDF>

CPUC. 2018. *California Smart Grid Annual Report to the Governor and the Legislature*. [Viitattu 23.01.2019]. Saatavilla: [http://www.cpuc.ca.gov/uploadedFiles/CPUC\\_Public\\_Website/Content/About\\_Us/Organizati-on/Divisions/Office\\_of\\_Governmental\\_Affairs/Smart%20Grid%20Annual%20Report%202017.pdf](http://www.cpuc.ca.gov/uploadedFiles/CPUC_Public_Website/Content/About_Us/Organizati-on/Divisions/Office_of_Governmental_Affairs/Smart%20Grid%20Annual%20Report%202017.pdf)

CPUC. 2019. *The Benefits of Smart Meters*. [Viitattu 01.01.2019]. Saatavilla: <http://www.cpuc.ca.gov/General.aspx?id=4853>

Deloitte Access Economics. 2016. *AMI Network Benefits*. [Viitattu 06.03.2019]. Saatavilla: [https://www.energy.vic.gov.au/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0024/44178/Citipower-Powercor-attachment-to-Options-Paper-Deloitte-AMI-Benefits-FINAL-10-Nov.pdf](https://www.energy.vic.gov.au/__data/assets/pdf_file/0024/44178/Citipower-Powercor-attachment-to-Options-Paper-Deloitte-AMI-Benefits-FINAL-10-Nov.pdf)

Depuru, S. S. S. R., Wang L., Devabhaktuni. 2011. *Smart meters for power grid: Challenges, issues, advantages and status*. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Vol. 15:6. S. 2736 – 2742. ISSN 1364-0321.

DOE. 2014. *Smart Grid System Report*. [Viitattu 15.10.2018]. Saatavilla: <https://www.smartgrid.gov/files/2014-Smart-Grid-System-Report.pdf>

The Edison Foundation. 2011. *The Costs and Benefits of Smart Meters for Residential Customer*. [Viitattu 21.01.2019]. Saatavilla: [http://www.edisonfoundation.net/iee/Documents/IEE\\_BenefitsofSmartMeters\\_Final.pdf](http://www.edisonfoundation.net/iee/Documents/IEE_BenefitsofSmartMeters_Final.pdf)



The Edison Foundation. 2017. *Electric Company Smart Meter Deployments: Foundation for a Smart Grid*. [Viitattu 21.02.2019]. Saatavilla: [http://www.edisonfoundation.net/iei/publications/Documents/IEI\\_Smart%20Meter%20Report%202017\\_FINAL.pdf](http://www.edisonfoundation.net/iei/publications/Documents/IEI_Smart%20Meter%20Report%202017_FINAL.pdf)

EIA. 2016. *Annual Electric Power Industry Report, Form EIA-861*. [Viitattu 06.03.2019]. Saatavilla: <https://www.eia.gov/electricity/data/eia861/>

EIA. 2017. *Annual Electric Power Industry Report, Form EIA-861*. [Viitattu 18.03.2019]. Saatavilla: <https://www.eia.gov/electricity/data/eia861/>

EIA. 2018a. *Annual electric power industry report instructions*. [Viitattu: 17.12.2018]. Saatavilla: [https://www.eia.gov/survey/form/eia\\_861/instructions.pdf](https://www.eia.gov/survey/form/eia_861/instructions.pdf)

EIA. 2018b. *Electric Power Annual 2017*. [Viitattu 06.02.2019]. Saatavilla: <https://www.eia.gov/electricity/annual/pdf/epa.pdf>

Energy Networks Australia. 2019. *Smart Metering*. [Viitattu 17.02.2019] Saatavilla: <https://www.energynetworks.com.au/smart-metering>

ESMA. 2009. *Annual Report on the Progress in Smart Metering 2009*. [Viitattu 24.11.2018]. Saatavilla: [https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/sites/iee-projects/files/projects/documents/esma\\_2009\\_annual\\_report\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/sites/iee-projects/files/projects/documents/esma_2009_annual_report_en.pdf)

ESMA. 2010. *European Smart Metering Alliance Final Report*. [Viitattu 28.11.2018]. Saatavilla: [https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/sites/iee-projects/files/projects/documents/esma\\_publishable\\_report\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/sites/iee-projects/files/projects/documents/esma_publishable_report_en.pdf)

Euroopan komissio. 2012. *Komission suositus, annettu 9 päivänä maaliskuuta 2012, älykkäiden mittausjärjestelmien käyttöönoton valmistelusta. 2012/148/EU*. [Viitattu 27.10.2018]. Saatavilla: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=celex:32012H0148>

Euroopan komissio. 2014a. *Cost-benefit analyses & state of play of smart metering deployment in the EU-27*. [Viitattu 28.11.2018]. Saatavilla: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=SWD:2014:189:FIN>

Euroopan komissio. 2014b. *Country fiches for electricity smart metering*. [Viitattu 29.10.2018]. Saatavilla: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52014SC0188>

Euroopan komissio. 2014c. *Komission kertomus – Vertailutiedot älykkään mittauksen käyttöönotosta EU27-maissa painopisteenä sähkö, COM (2014) 356 final*. [Viitattu 26.11.2018]. Saatavilla: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:52014DC0356&from=FI>

Euroopan komissio. 2017. *Ehdotus: Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi sähkön sisämarkkinoita koskevista yhteisistä säännöistä (uudelleenlaadittu). 2016/0380 (COD)*. [Viitattu 31.10.2018]. Saatavilla: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52016PC0864R\(01\)](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52016PC0864R(01))

FERC. 2010. *Assessment of Demand Response and Advanced Metering*. [Viitattu 15.10.2018]. Saatavilla: <https://www.ferc.gov/legal/staff-reports/2010-dr-report.pdf?csrt=2940333951606309582>

FERC. 2017. *Assessment of Demand Response and Advanced Metering*. [Viitattu 15.10.2018]. Saatavilla: <https://www.ferc.gov/legal/staff-reports/2017/DR-AM-Report2017.pdf?csrt=17018322152808956830>

FERC. 2018. *2018 Assessment of Demand Response and Advanced Metering*. [Viitattu 30.12.2018]. Saatavilla: <https://ferc.gov/legal/staff-reports/2018/DR-AM-Report2018.pdf>

Joint Research Centre. 2019. *Smart Metering deployment in the European Union*. [Viitattu: 06.02.2019]. Saatavilla: <https://ses.jrc.ec.europa.eu/smart-metering-deployment-european-union>

Koponen P., VTT. 2008. *Definition of Smart Metering and Applications and Identification of Benefits*. [Viitattu 12.11.2018]. Saatavilla: [https://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2008/Definition\\_of\\_smart\\_metering\\_and\\_applications\\_and\\_identification\\_of\\_benefits.pdf](https://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2008/Definition_of_smart_metering_and_applications_and_identification_of_benefits.pdf)

Morello, R., De Capua, C., Fulco, G., Mukhopadhyay, S. C. 2017a. *A Smart Power Meter to Monitor Energy Flow in Smart Grids: The Role of Advanced Sensing and IoT in the Electric Grid of the Future*. IEEE Sensors Journal. Vol. 17:23. S. 7828 – 7837. ISSN 1558-1748.

Morello, R., Mukhopadhyay, S. C., Liu, Z., Slomovitz, D., Samantaray, S. R. 2017b. *Advances on Sensing Technologies for Smart Cities and Power Grids: A Review*. IEEE Sensors Journal. Vol. 17:23. S. 7596 – 7610. ISSN 1558-1748.

Pitì, A., Bettenzoli, E., De Min, M., Lo Schiavo, L. 2016. *Smart metering: an evolutionary perspective*. [Viitattu 16.02.2019]. Saatavilla: [https://erranet.org/wp-content/uploads/2017/09/Highly-Acknowledged-Paper\\_PitiTeam\\_Paper\\_Award\\_2017.pdf](https://erranet.org/wp-content/uploads/2017/09/Highly-Acknowledged-Paper_PitiTeam_Paper_Award_2017.pdf)

Pöyry, 2017. *Seuraavan sukupolven älykkäiden sähkömittareidenvähimmäistoiminnallisuudet*. [Viitattu 18.03.2019]. Saatavilla: <https://tem.fi/documents/1410877/3481825/AMR+2.0+loppuraportti+15.12.2017>

de Souza R. W. R., Moreira L. R., Rodrigues J. J. P. C., Moreira R. R., de Albuquerque V. H. C. 2018. *Deploying wireless sensor networks-based smart grid for smart meters monitoring and control*. International Journal of Communication Systems. Vol. 31, e3557.

Työ- ja elinkeinoministeriö. 2008. *Sähkön kysyntäjoustop edistäminen*. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja. Energia ja ilmasto 15/2008. ISBN: 978-952-227-039-9.

USmartConsumer project. 2017. *Smart metering benefits for European consumers and utilities*. [Viitattu 12.11.2018]. Saatavilla: [http://www.escansa.es/usmartconsumer/documentos/USmartConsumer\\_Final\\_Report\\_Publishable.pdf](http://www.escansa.es/usmartconsumer/documentos/USmartConsumer_Final_Report_Publishable.pdf)

USmartConsumer project. 2016. *European smart meter landscape report*. [Viitattu 01.12.2018]. Saatavilla: [http://www.escansa.es/usmartconsumer/documentos/USmartConsumer\\_European\\_Landscape\\_Report\\_2016\\_web.pdf](http://www.escansa.es/usmartconsumer/documentos/USmartConsumer_European_Landscape_Report_2016_web.pdf)

Victoria Auditor-General. 2015. *Realising the Benefits of Smart Meters*. [Viitattu 13.03.2019]. Saatavilla: <https://www.audit.vic.gov.au/sites/default/files/20150916-Smart-Meters.pdf>

Yhdysvaltojen kongressi. 2005. *Energy Policy Act of 2005*. [Viitattu 17.03.2019]. Saatavilla: <https://www.congress.gov/109/plaws/publ58/PLAW-109publ58.pdf>

Älyverkkotyöryhmä. 2018. *Joustava ja asiakaskeskeinen sähköjärjestelmä*. [Viitattu 28.03.2019]. Saatavilla: [http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161148/TEM\\_33\\_2018.pdf](http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161148/TEM_33_2018.pdf)