

Mikko Harsu

AUSTRALIAN SÄHKÖMARKKINOIDEN KEHITTYMINEN

Kandidaatintyö
Informaatioteknologian ja viestinnän tiedekunta
Tarkastaja: Pertti Järventausta
Huhtikuu 2021

TIIVISTELMÄ

Mikko Harsu: Australian sähkömarkkinoiden kehittyminen
Kandidaatintyö, 32 sivua
Tampereen yliopisto
Tieto- ja sähkötekniikan kandidaatin tutkinto-ohjelma
Huhtikuu 2021

Australian sähkömarkkinoissa on tapahtunut suuria muutoksia viime aikoina. Tällä hetkellä merkittävät muutokset ovat käynnissä, ja kaikista merkittävin tekijä on ollut erityisesti ilmastonmuutos. Tämän takia erityisesti uusiutuvien energialähteiden käyttö on alkanut lisääntymään Australiassa.

Sähkömarkkinat koostuvat sähköntuotannosta, sähkönsiirrosta, sähkönjakelusta ja sähkökaupasta. Tässä työssä keskitytään jokaisen osa-alueen rakenteeseen ja toimintaan. Eniten paneudutaan Australian sähköntuotantoon ja siihen, miten se kehittyi ilmastonmuutoksen vaikutuksesta. Sähkönsiirron ja sähkönjakelun tekniikkaan ei tässä työssä syvällisesti keskitytä, vaan tarkastellaan niiden toimintaa vain sähkömarkkinoiden osana.

Australian sähkömarkkinat avautuivat kilpailu vuonna 1998. Syinä olivat muiden maiden toimivat sähkömarkkinat sekä uusi linja, joka tukee markkinoilla tapahtuvaa kilpailua. Australiassa käytetään sähköntuotannossa pääosin fossiilisia polttoaineita. Merkittäviä uusiutuvia energianlähteitä, joita käytetään Australian sähköntuotannossa ovat vesivoima, tuulivoima ja aurinkosähkö.

Australian sähkönsiirto- ja jakelutoiminta ovat monopoliasemassa, ja niiden toimintaa säännöstellään valtion toimesta. Australiassa on kahdet tukkusähkömarkkinat: NEM (National Electricity Market) ja WEM (Wholesale Electricity Market). Tukkusähkömarkkinoilla suuret kuluttajat ja tuottajat käyvät kauppaa sähköstä. Vähittäismarkkinoilla pienet sähkön käyttäjät ostavat sähkön vähittäismyyjiltä. Tässä työssä verrataan Australian sähkömarkkinoita Suomen sähkömarkkinoihin. Eniten ne eroavat toisistaan sähköntuotantotavoissa ja sähkön tukkumarkkinoiden rakenteessa.

Australian sähköntuotannossa käytetään tulevaisuudessa yhä enemmän uusiutuvia energialähteitä, etenkin tuulivoimaa ja aurinkosähköä. Australian ympäristössä on hyvät edellytykset laajamittaiselle tuulivoiman ja aurinkosähkön käytölle. Älykkäät verkot käyttävät edistynyttä tekniikkaa, jolla tehostetaan verkon toimintaa. Australiassa on ollut älykkäiden verkkojen projekteja, joissa on tutkittu niiden toimintaa, ja miten ne sopeutuisivat Australian ympäristöön. Ydinvoimaa ei tällä hetkellä käytetä Australiassa sähköntuotantoon, vaikka sen uraanivarat ovat maailman suurimpia. Australiassa on valtava potentiaali ydinvoimalla, ja sitä aletaan mahdollisesti käyttämään tulevaisuudessa.

Avainsanat: Australia, sähkömarkkinat, ilmastonmuutos, tuulivoima, aurinkosähkö

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla

SISÄLLYSLUETTELO

<u>1. JOHDANTO.....</u>	<u>1</u>
<u>2. TAUSTA JA HISTORIA.....</u>	<u>2</u>
<u>3. SÄHKÖNTUOTANTO.....</u>	<u>5</u>
3.1 Kivihiili.....	7
3.2 Maakaasu.....	8
3.3 Vesivoima.....	9
3.4 Tuulivoima.....	9
3.5 Aurinkosähkö.....	10
<u>4. SÄHKÖN SIIRTO JA JAKELU.....</u>	<u>12</u>
<u>5. SÄHKÖKAUPPA.....</u>	<u>14</u>
5.1 Tukkusähkömarkkinat.....	14
5.2 Vähittäissähkömarkkinat.....	17
<u>6. VERTAILU SUOMEN SÄHKÖMARKKINOIHIN.....</u>	<u>20</u>
<u>7. TULEVAISUUDENNÄKYMÄT.....</u>	<u>23</u>
7.1 Sähköntuotanto tulevaisuudessa.....	23
7.2 Älykkäät verkot.....	25
7.3 Ydinvoiman käyttö.....	26
<u>8. YHTEENVETO.....</u>	<u>28</u>
<u>LÄHTEET.....</u>	<u>29</u>

LYHENTEET JA MERKINNÄT

NEM	National electricity market
WEM	Wholesale electricity market
AEMO	Australian energy market operator
NEMMCO	National electricity market management company limited
NEL	National electricity law
NSW	New South Wales
VIC	Victoria
QLD	Queensland
WA	West-Australia
SA	South-Australia
TAS	Tasmania
ACT	Australia Capital Territory
NT	Northern Territory
NEMLA	National Electricity Market Legislation Agreement
AEMA	Australian Energy Market Agreement
RET	Renewable Energy Target
ARENA	Australian Renewable Energy Agency
CEFC	Clean Energy Finance Corporation
ERA	Economic Regulation Authority
AER	Australian Energy Regulator
OTC	Over-the-counter
ASX	Australian Securities Exchange
AEMC	Australian Energy Market Commission
DER	Distributed Energy Resources
AMI	Advanced Metering Infrastructure
SGSC	Smart Grid Smart City
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development

1. JOHDANTO

Australian sähkömarkkinat ovat kehittyneet erittäin paljon viimeisten 20 vuoden aikana, ja tällä hetkellä ne ovat merkittävässä muutosvaiheessa. Tämä työ antaa lukijalle yleiskuvan Australian sähkömarkkinoiden rakenteesta, toiminnasta ja tulevaisuuden näkymistä. Lähteinä on käytetty Andorista ja ScienceDirectista löytyviä artikkeleita ja julkaisuja sekä Australian sähkömarkkinoita valvovien ja hallitsevien järjestöjen nettisivustoja. Tämä työ on puhdas kirjallisuusselvitys.

Sähkömarkkinoiden osa-alueet ovat sähköntuotanto, sähkönsiirto, sähköjakelu ja sähkökauppa. Tässä työssä keskitytään pääosin Australian itäosien sähkömarkkinoihin, joista käytetään lyhennettä NEM (National Electricity Market), mutta muitakin osia käsitellään suppeasti. Syy tälle rajaukselle on NEM:in suuri koko verrattuna muihin sähkömarkkinoihin. Sähkön siirron ja jakelun teknisiin asioihin ei kovin merkittävästi syvennyttä, ja sähkökaupasta käsitellään pääosin tukkumarkkinoita ja vähittäismarkkinoita. Tässä työssä selvitetään Australian sähkömarkkinoiden muutoksen aiheuttamia ongelmia, ja miten ne voisi mahdollisesti välttää.

Luvussa 2 käsitellään Australian sähkömarkkinoiden historiaa ja taustaa. Aluksi tarkastellaan, miten Australia on jakautunut eri alueisiin ja miten sähkömarkkinat ovat jakautuneet. Siinä myös käsitellään yleisesti, minkälainen NEM on ja miksi se syntyi. Seuraavassa luvussa on katsaus Australian sähköntuotantoon. Siinä käsitellään Australian yleisimpiä sähköntuotantoon käytettäviä primäärienergian lähteitä, ja mikä niiden rooli on tulevaisuudessa. Luvussa 4 käsitellään sähkönsiirtoa ja -jakelua, lähinnä kerrotaan yleisesti niiden toiminnasta ja rakenteesta. Luvussa 5 selvitetään, millaiset Australian sähkötukkumarkkinat ja vähittäismarkkinat ovat tällä hetkellä.

Luvussa 6 vertaillaan Australian sähkömarkkinoita Suomen sähkömarkkinoihin. Aluksi esitetään yleiskatsaus Suomen sähkömarkkinoihin, ja sen jälkeen vertaillaan näiden maiden sähkömarkkinoita. Luvussa 7 tutkitaan minkälaisiksi Australian sähkömarkkinat kehittyvät tulevaisuudessa ja miten ilmastonmuutos vaikuttaa sähköntuotantoon. Tässä luvussa myös tutkitaan älykkäiden verkkojen vaikutuksia sähkömarkkinoihin ja Australian suhdetta ydinvoimaan. Lopuksi on yhteenveto, jossa on työn pohdintaa ja jossa kerrotaan työn tärkeimmät tulokset.

2. TAUSTA JA HISTORIA

Australia on eteläisellä pallonpuoliskolla sijaitseva valtio, joka koostuu osavaltioista ja territorioista. Merkittävimmät alueet Australiassa ovat New South Wales (NSW), Victoria (VIC), Queensland (QLD), Länsi-Australia (WA), Etelä-Australia (SA), Tasmania (TAS), Australian pääkaupunkiterritorio (ACT) ja Pohjoisterritorio (NT).[1] Ennen oli myös Snowy-territorio, mutta se jaettiin New South Walesin ja Victorian osavaltioille vuonna 2008 [2].

Australiassa on kolmet sähkömarkkinat, ja ne ovat maantieteellisesti eri osissa: Itä-Australian sähkömarkkinat (National electricity market, NEM), Länsi-Australian sähkömarkkinat (Wholesale electricity market, WEM) ja pohjoisen territorion sähkömarkkinat. AEMO (Australian Energy Market Operator) valvoo ja hallinnoi Australian sähkömarkkinoita, ja se perustettiin 1.7.2009. Ennen sitä Australian sähkömarkkinoita hallinnoi NEMMCO (National Electricity Market Management Company Limited).[3]

Kuvassa 1 on Australian kartta, johon on merkitty osavaltiot, suurimmat kaupungit ja korkeajännitteisimmät siirtojohdot. Keltaisella on merkitty 500 kV siirtojohdot, oranssilla on merkitty 330 kV siirtojohdot ja punaisella 275 kV siirtojohdot. Kuvassa näkyy, kuinka paljon enemmän korkeajännitteistä sähköä siirretään NEM:in alueella verrattuna WEM:in alueeseen.



Kuva 1. Australian kartta ja korkeajännitteisimmät sähkönsiirtolinjat [4]

Ennen 1990-lukua jokaisessa osavaltiossa niiden hallinnon omistamat laitokset hoitivat kaikki sähköntoimituksen osatekijät (tuottaminen, siirto, jakelu ja myyminen). Kaikilla osavaltioilla oli erilliset sähköjärjestelmät ja niitä varten omat virastot, jotka olivat vastuussa näiden sähköjärjestelmien suunnittelusta, kehittämisestä, käyttöönotosta ja toiminnasta. [3] Uudistuksen jälkeen sähkön tuottamisesta ja sähkökaupasta tuli vapaata kilpailutoimintaa [5]. Sähkönsiirrosta ja -jakelusta tuli säänneltyjä monopoleja, koska se on tehokkaampaa, johtuen niiden rakenteesta [5][6].

Australian sähkömarkkinoiden uudistus tapahtui, koska huomattiin, että muut maat olivat huomattavasti tehokkaampia sähköntoimituksessa. Muita syitä olivat Victorian ja Etelä-Australian osavaltioiden heikko talouden tila ja kansallisen kilpailua edistävän linjan käyttöönotto. Kansallinen kilpailua markkinaa tukevaa linjaa vaati, että luonnolliset monopolit avataan kaikille halukkaille kohtuullisilla ehdoilla ja että kaikkien tärkeiden laitosten toiminta tarkastetaan. [2]

New South Wales, Victoria, Queensland, Etelä-Australia ja Australian pääkaupunkiterritorio tekivät sopimuksen nimeltä NEMLA (National Electricity Market Legislation Agreement) toukokuussa vuonna 1996. Sopimuksen perusteella jokainen osapuoli suostui kansalliseen sähkölakiin (National Electricity Law, NEL) [3]. NEL

perusti NEM:iin, ja sen markkina- ja systeemioperaattorin NEMMCO:n [2]. Kun NEL otettiin käyttöön, niin kaikki merkittävät sähköteollisuuden osallistuvat tekijät näissä osavaltioissa edellytettiin osallistumaan yhtenäisiin sähkömarkkinoihin [3].

NEMLA korvattiin uudella sopimuksella AEMA:lla (Australian Energy Market Agreement) vuonna 2004, ja tämä sopimus edisti siirtymistä erillisistä sähköjärjestelmistä kansallisiin energiasäännöksiin. Tasmania liittyi NEM:iin toukokuussa vuonna 2005, ja sen sähköverkko on yhdistetty Victorian osavaltion sähköverkkoon merenalaisella Basslink-kaapelilla [2][3].

NEM aloitti toimintansa 13. joulukuuta vuonna 1998, ja se on yksi maailman kaikista pisimpiä kytkettyjä vaihtosähköjärjestelmiä [2]. NEM toimii viidessä Australian osavaltiossa: Queensland, New South Wales (jossa on mukana Australian pääkaupunkialue), Victoria, Tasmania ja Etelä-Australia. Uudistuksina NEM paransi sähkön hinnoittelua viemällä monopoliverkon osatekijät talous- ja käyttöoikeussääntöjen piiriin. NEM:in alueella olevat hallintoalueet kehittivät täydentäviä uudistuksia, joissa eroteltiin valtion omistamia laitoksia toisistaan ja esiteltiin kilpailu sähkön tuottajille ja vähittäiskauppiaille. Länsi-Australiaa ja Pohjoisterritoriota ei ole liitetty NEM:iin, koska niiden etäisyys itärannikosta on liian suuri. [3]

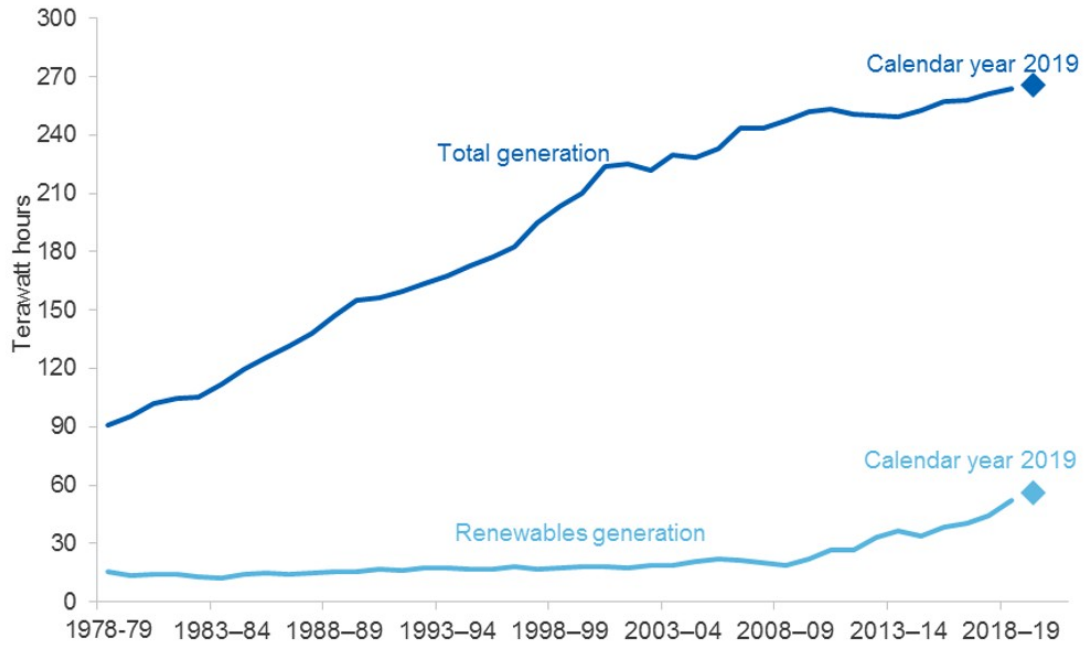
Länsi-Australian pohjoisosissa, Pohjoisterritoriolla ja muilla eristetyillä alueilla toimii pääosin pienet sähköjärjestelmät, jotka toimittavat kuluttajille sähkön. Länsi-Australian eteläosissa toimii SWIS (South-West Interconnected Systems), joka on Länsi-Australian pääsähköjärjestelmä. SWIS:in alueella toimii WEM, joka aloitti toimintansa 21. syyskuuta vuonna 2006. [2][3]

3. SÄHKÖNTUOTANTO

Sähköntuotanto on sähkömarkkinoiden osa, jossa voimalaitokset muuttavat primäärienergian muotoja sähköksi [3]. Sähkön tuottamisen voi jakaa kahteen osaan sen mukaan, onko käytetty primäärienergian muoto uusiutuva vai uusiutumaton. Sähköenergiaa on vaikea säilöä, minkä takia sitä pitää tuottaa tarpeen mukaan [3]. Sähköenergian säilömisen vaikeus johtuu siitä, että sähkö pitää muuttaa toiseksi energiamuodoksi säilömisen ajaksi [7]. Queenslandin ja Tasmanian osavaltioissa valtion omistamat yritykset hallitsevat suurinta osaa sähköntuotantokapasiteetista [6]. Victorian, NSW:n ja Etelä-Australian osavaltioissa omistus on toisinpäin, eli yksityiset yritykset omistavat suurimman osan sähköntuotantokapasiteetista [6].

Vuonna 2019 Australia tuotti kokonaisuudessaan sähköenergiaa noin 265 TWh, ja siinä on myös mukana omissa kotitalouksissa ja yrityksissä tuotettu sähkö. Australiassa sähköenergia tuotetaan pääosin uusiutumattomilla energialähteillä, jonka kokonaisuus sähköenergian tuotosta vuonna 2019 oli noin 79 %. Uusiutuvilla energialähteillä oli samana vuonna tuotettu noin 21 % kaikesta sähköenergiasta. Käytetyimmät uusiutumattomat energialähteet olivat kivihiili, maakaasu ja öljy. Uusiutuva sähköenergia tuotettiin pääosin vesivoimalla, tuulivoimalla ja aurinkosähköllä. [8]

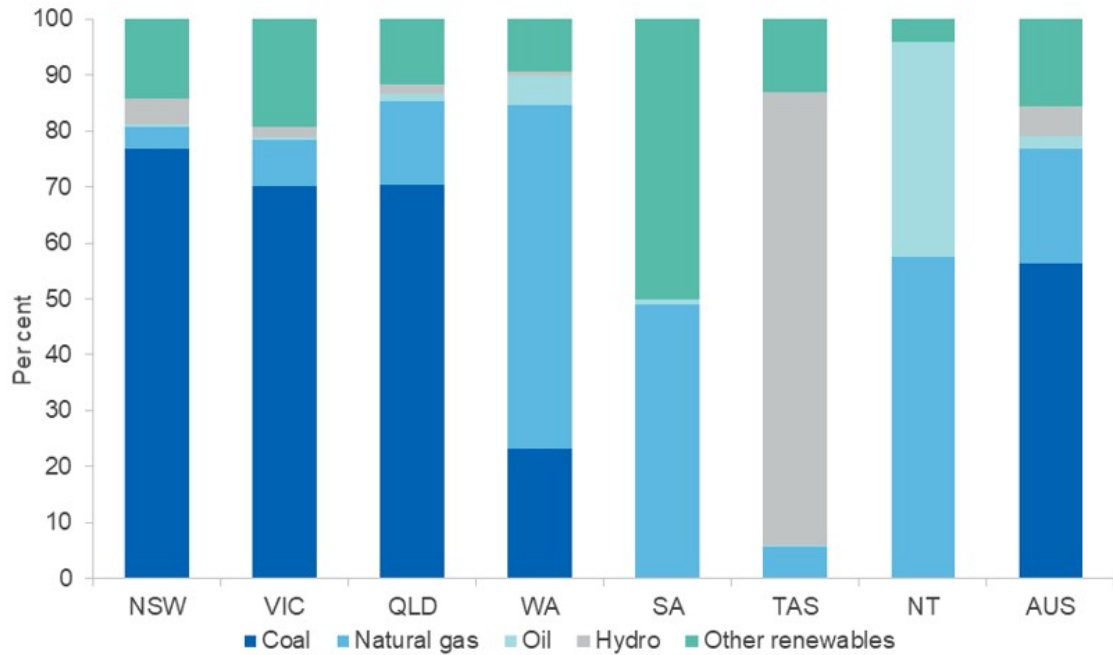
Kuvassa 2 on esitetty Australian kokonaissähköntuotanto TWh, ja siinä on myös esitetty uusiutuvilla energialähteillä tuotettu sähköenergia erikseen. Kuvasta 2 pystyy huomaamaan, miten sähköntuotanto on kasvanut melko tasaisesti vuosien varrella, ja kuinka uusiutuvilla energialähteillä tuotettu sähkö on pysynyt tasaisena vuosiin 2008-09 asti, minkä jälkeen niiden käyttö on alkanut kasvamaan.



Kuva 2. Australian sähköntuotannon kehitys [8]

Australian sähköntuotannossa on alettu painottumaan enemmän uusiutuvien energialähteiden käyttöön, ja sitä on auttanut RET-hanke (Renewable Energy Target). RET-hanke kannustaa uusiutuvien energialähteiden käyttöä sähköntuotannossa, jotta päästöt vähentyisivät. RET-hanke aloitettiin vuonna 2001 Australian hallituksen toimesta, ja siinä energian vähittäiskauppiaita edellytetään ostamaan uusiutuvan energian sertifikaatteja, joiden avulla he saavat lisätuloja myydyn sähkön lisäksi. [6][9]

Kuvassa 3 on näytetty, miten sähkö on tuotettu Australian osavaltioissa ja Pohjoisterritorion alueella vuonna 2019. Kuvasta voi nähdä, että Tasmaniassa käytetään erityisen paljon vesivoimaa ja, että Etelä-Australiassa käytetään paljon muita uusiutuvia energialähteitä. Maakaasua käytetään erityisesti Länsi-Australiassa, Etelä-Australiassa ja Pohjoisterritoriossa. Muissa uusiutuvissa energialähteissä merkittävimmät lähteet ovat tuulivoima ja aurinkosähkö.



Kuva 3. Australian sähköntuotanto aluettain vuonna 2019 [8]

Ilmastonmuutos on aiheuttanut monia muutoksia, ja sen vaikutusten vähentämiseksi on tehty kansainvälisiä sopimuksia. Viimeisin sopimus on ollut Pariisin ilmastopöytäkirja, jossa Australia on mukana. Pariisin ilmastopöytäkirja tuli voimaan vuonna 2016, ja siinä yritetään rajoittaa maapallon keskilämpötilan nouseminen selvästi alle 2 °C [10]. Lähtökohdaksi on ollut esiteollisuutta edeltäneen ajan lämpötila [10]. Australia on luvannut vähentää kasvihuonekaasupäästöjään vuoteen 2030 mennessä noin 26-28 % vuoden 2005 päästötasosta [10]. Vuonna 2020 Australia varmisti vuoden 2030 tavoitteensa ja on ottanut uusia tapoja käyttöön saavuttaakseen tavoitteensa [10].

3.1 Kivihiili

Australian sähköntuotannossa eniten käytetty primärenergian lähde on kivihiili, jonka osuus vuonna 2019 oli 56,4 % kaikesta sähköntuotosta [8]. Kivihiiltä Australiassa on noin 6 % koko maailman varoista [11]. NEM:in sähköntuotannosta kivihiilivoimalat toimivat osavaltioissa QLD, NSW, VIC ja WA [6]. Australiassa käytetään pääosin kahdenlaista kivihiiltä: musta hiili ja ruskohiili. Musta hiili tuottaa enemmän energiaa kuin ruskohiili, ja se on myös ympäristöystävällisempää sähköntuotannossa [6]. Ruskohiiltä käytetään pääosin Victorian osavaltiossa, ja syy siihen on sen erittäin halpa hinta [6].

Kivihiilivoimalaitoksissa generaattori pyörii, kun sen turbiiniin viedään korkeapaineista höyryä, joka on tuotettu kivihiilen poltolla. Kivihiilivoimalaitoksilla on korkeat käynnistys- ja sammutuskustannukset, koska niiden käynnistäminen voi viedä päiviä. Mutta ne tuottavat halpaa sähköä markkinoilla, ja niiden käyttökustannukset ovat pienet. Kivihiilivoimalaitokset myös parantavat sähköjärjestelmien vakautta. [6]

Australia on jo aloittanut kivihiilivoiman käytön vähentämisen, jotta maa saavuttaisi ilmastotavoitteensa. Vuonna 2017 Australia luopui eniten päästöjä aiheuttaneesta kivihiilivoimalastaan. Se oli Victoriassa sijaitseva Hazelwoodin voimala, jonka teho oli 1600 MW. Hazelwoodin ruskohiilivoimalaitos oli merkittävä, koska se tuotti noin 5 % NEM:in koko tuotannosta. Myös Etelä-Australiassa suljettiin merkittävä ruskohiilen voimalaitos, Northern vuonna 2016. Seuraavaksi on suunnitelmassa luopua New South Walesissa sijaitsevassa AGL Energy's Liddell -voimalaitoksesta, joka on 2000 MW:n voimalaitos. [6]

3.2 Maakaasu

Maakaasun osuus Australian sähkön kokonaistuotannosta oli vuonna 2019 noin 20,5%, ja se on toiseksi käytetyin primäärienergian lähde Australian sähköntuotannossa [8][11]. Australian arvioidut maakaasuvarat ovat noin 2 % koko maailman varoista [11]. Itä-Australiassa nesteytetään noin 70 % maakaasusta, ja se viedään pääasiassa Aasiaan [6].

Maakaasuvoimaloissa poltetaan maakaasua lämmittämään paineilmaa, joka sen jälkeen ohjataan turbiiniin, jotta generaattori alkaisi tuottamaan sähköä. Sen hyötysuhdetta voi parantaa käyttämällä ylimääräisen lämmön vesihöyryn tuottamiseen ja käyttäen sitä toisen turbiinin ajamiseen. Maakaasuvoimalat toimivat joko joustavana tai huippuvoimalana, koska maakaasu on suhteellisen kallis polttoaine sähköntuotannossa. Kivihiilivoimasta luopuminen on lisännyt maakaasun merkitystä sähköntuotannossa, koska uusiutuva sähkö ei ole pystynyt täydellisesti korvaamaan kivihiilen jättämää tarvetta. [6]

Maakaasuvoimala pystyy vastaamaan sähkömarkkinoiden äkillisiin muutoksiin, minkä takia se toimii hyvin tuulivoimaloiden ja aurinkovoimaloiden kanssa. Tuulivoimaloiden ja aurinkovoimaloiden sähköntuotanto riippuu erittäin paljon säätilasta, ja siksi maakaasuvoimalalla voi kompensoida niitä helposti tarvittaessa, koska maakaasuvoimala voi toimia joustavana voimalana. Erittäin tehokkaan kivihiilivoimalan päästöt ovat yli kaksi kertaa suuremmat kuin erittäin tehokkaan maakaasuvoimalan päästöt, joten maakaasu on ympäristöystävällisempää kuin kivihiili. [6] Maakaasun

käyttöä todennäköisesti jatketaan pidempään kuin kivihiilen käyttöä, koska maakaasu toimii hyvin tuulivoiman ja aurinkovoiman kanssa, ja se on paljon ympäristöystävällisempää kuin kivihilli.

3.3 Vesivoima

Vesivoima on uusiutuva energian tuotantotapa ja sen osuus oli vuonna 2019 noin 5,4% Australian kaikesta tuotetusta sähköstä [8]. Suurin osa Australian vesivoimalaitoksista on yli 40 vuotta vanhoja vesivoimahankkeita [6]. Australiassa on myös pieniä vesivoimajärjestelmiä, jotka voivat toimia joessa tai padossa, ja niitä käytetään veden hyötykäyttöön [6]. Australian vesivoimalat sijaitsevat pääosin New South Walesissa ja Tasmaniassa, koska näissä osavaltiossa on alueita, joissa on suuri korkeustaso ja sademäärä [11].

Vesivoimalaitoksilla tuotetaan sähköä veden avulla. Niissä ohjataan putoavaa vettä turbiinien läpi, ja kun virtaava vesi alkaa pyörittämään akselin teriä, niin silloin generaattori muuttaa liikettä sähköenergiaksi. Vesivoimalaitosten polttoaine on yleensä saatavissa, joten ne voi kytkeä tarvittaessa pois päältä tai päälle riippuen tarvittavasta sähköenergiasta. Vesivoimalan polttoaine on halpaa, mutta sen toimintaa rajoittaa varastokapasiteetti ja sademäärä. [6] Vesivoiman merkittävää laajentumista haittaa suuressa osassa Australiaa oleva kuiva ilmasto ja vaihteleva sademäärä [11].

Tasmanian osavaltio on erittäin riippuvainen vesivoimasta, ja sen vuonna 2019 tuottamasta sähköstä 84 % oli tuotettu vesivoimalla. Lumisella vuoristoalueella (The Snowies) on myös merkittävä vesivoimalaitos, joka on tärkeä New South Walesin ja Victorian osavaltioille. Vesivoimalla tuotetun sähkön määrä on vaihdellut paljon viime vuosina. Vuonna 2018 vesivoimalla tuotettiin sähköä noin 29 % enemmän kuin edellisenä vuonna, ja vuonna 2019 vesivoimalla tuotettiin 18 % vähemmän kuin vuonna 2018. Nämä muutokset ovat johtuneet sään vaihtelusta, markkinoiden kannustimista tuottamiseen ja RET-ohjelman aiheuttamista tukijärjestelyistä. [6]

3.4 Tuulivoima

Uusiutuvista energiantuotantotavoista tuulivoima on kaikista nopeimmin kasvava tuotantotapa monissa maissa, ja se kasvaa todennäköisesti erittäin paljon vuoteen 2030 mennessä [12]. Tuulivoimalla tuotetun sähkön osuus Australiassa vuonna 2019

oli noin 7,4 %, ja samana vuonna tuulivoima oli myös suurin uusiutuvan energianlähde [8]. Australiassa on erittäin hyvä potentiaali tuulivoimalle, ja Australian mantereeseen eteläosissa tuulen voimakkuus on erityisen korkea [6][11].

Tuulivoimassa muutetaan tuulen kineettistä energiaa sähköksi tuuliturbiinien avulla [6]. Kun virtaava ilma osuu tuulivoimalan teriin, tuulen liike-energia muuttuu akselin pyörimisenergiaksi [12]. Lopulta pyörimisenergia muutetaan generaattorin avulla sähköenergiaksi [12]. Sähkön tuottamiseen tuulivoimalla vaikuttaa erityisen paljon säätila ja tuulennopeus [6]. Tuuliturbiinit toimivat usein maksimissaan tuulen nopeudella 90 kilometriä tunnissa [6]. Jos tuulen nopeus tulee liian suureksi, turbiinit sammuvat itsestään ja alkavat taas toimimaan, kun tuulen nopeus palaa turbiinin toiminta-alueella [6].

NEM:in sähköntuotantoprojekteista noin kolmasosa on tuulivoimaan liittyvää. Vuoden 2020 aikana on suunniteltu ottaa käyttöön kymmenen tuulihanketta, joiden teho on yli 1500 MW. Tuulivoiman kapasiteettia lisättiin NEM:ssä vuoden 2019 aikana yli 1000 MW, ja samana vuonna tuulivoimalat olivat kokonaiskapasiteettista noin 10 %. Tuulivoima on kasvanut merkittävästi NEM:ssä, ja siihen on vaikuttanut hallituksen kannustus ja myös RET-ohjelma. [6]

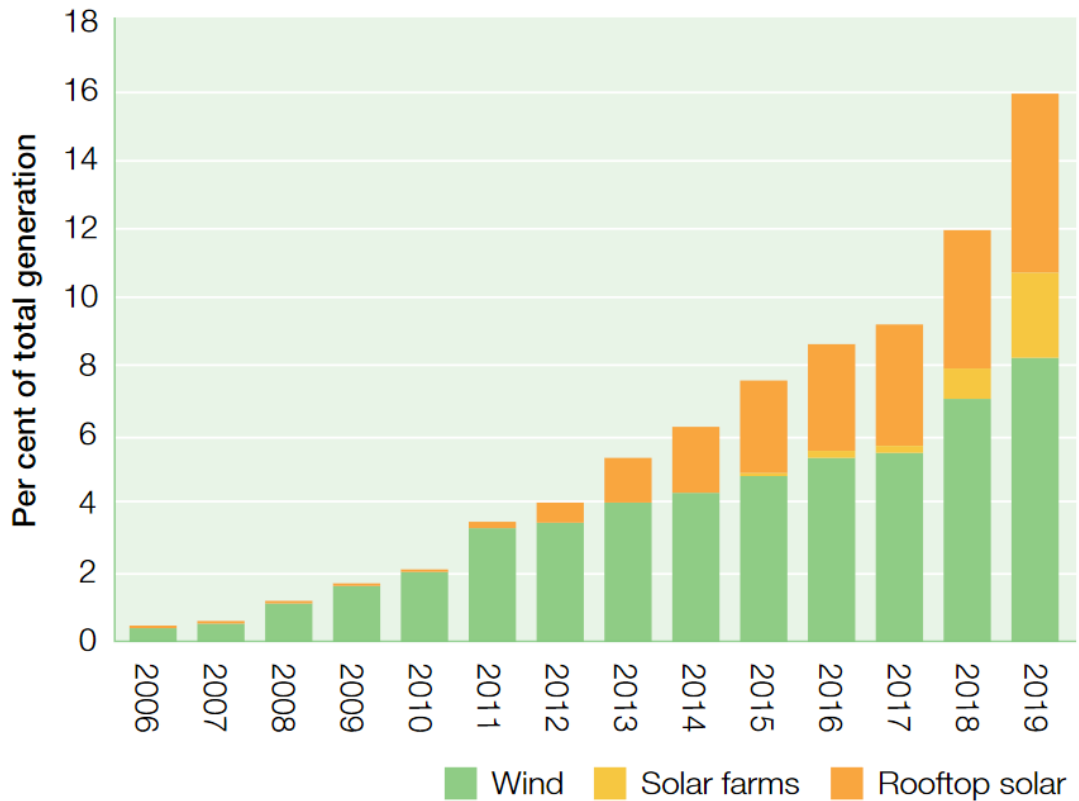
3.5 Aurinkosähkö

Australiassa aurinkosähkön käyttäminen on ollut pitkään vain pieni ilmiö, ja vasta viime vuosina on tapahtunut merkittäviä muutoksia sen käytössä. Vuonna 2019 Australiassa tuotettiin noin 6,8 % sähköstä aurinkosähköllä [8]. Australian mantereelle tulee keskimäärin auringonsäteilyä noin 58 000 000 petajoulea vuodessa, ja sillä on kaikista suurin auringonsäteily neliometriä kohden kaikista maailman mantereista [6]. Sen takia Australialla on yhdet maailman parhaista potentiaaleista aurinkosähkön tuottamiseen [13].

Aurinkoenergian tuottamiseen on kaksi päätapaa: aurinkosähköteknologia ja aurinkolämpöteknologia. Aurinkosähkössä käytetään puolijohdekennoja, jotka muuttavat auringonvaloa sähköksi. Aurinkolämpöteknologiassa muutetaan auringon valoa lämmöksi, ja sillä voi tuottaa sähköä höyryn ja turbiinien avulla. Näitä tapoja voi myös käyttää yhdessä, jolloin saadaan tuotettua sekä sähköä että lämpöä. [13][14]

Kuvassa 4 on esitetty tuulivoiman ja aurinkosähkön käyttö NEM:in alueella vuosien 2006-2019 välillä. Suuret aurinkosähkövoimalat on merkitty kuvaan nimellä Solar farms, ja pienet aurinkosähkövoimalat esiintyvät kuvassa nimellä Rooftop solar.

Kuvasta voi nähdä, kuinka suurien aurinkosähkövoimaloiden käyttö alkoi vuonna 2015, ja minkälaisen hypyn se koki vuosien 2018-2019 välillä. Tuulivoiman ja pienten aurinkosähkövoimaloiden käyttö on kasvanut merkittävästi kymmenen vuoden aikana, minkä voi myös nähdä kuvasta.



Kuva 4. Tuulivoiman ja aurinkosähkön käytön kasvu NEM:in alueella [6]

Aurinkosähköntuotannon voi jakaa kahteen osaan: suuren ja pienen mittakaavan aurinkosähköntuotantoon [8]. Suuren mittakaavan aurinkosähkövoimaloilla tuotettiin vuonna 2019 noin 2,1 % kaikesta sähköntuotannosta, ja pienen mittakaavan aurinkosähkövoimaloilla tuotettiin 4,7 % kaikesta sähköstä [8]. Suuret aurinkosähkövoimalat ovat vielä varsin uusia NEM:ssä [8]. Investoinnit suuren mittakaavan aurinkosähkövoimaloihin alkoivat vasta vuonna 2018, vaikka rahoitus tuli merkittävilta tekijöiltä ARENA:lta (Australian Renewable Energy Agency) ja CEFC:ltä (Clean Energy Finance Corporation) [6]. Pienen mittakaavan aurinkosähköntuotanto tarkoittaa katolla olevaa aurinkovoimalaa, joiden avulla kuluttaja voi tuottaa itse sähkönsä [6]. Suurella mittakaavalla tuotettu aurinkosähkö kasvoi merkittävästi vuonna 2019, jolloin se kasvoi noin 135 % ja pienen mittakaavan aurinkosähkön tuotanto kasvoi 25 % [8].

4. SÄHKÖN SIIRTO JA JAKELU

Sähkönsiirto- ja sähköjakeluverkot ovat sähköverkon osia, ja niiden avulla tuotettu sähkö kuljetetaan asiakkaille [6]. Australian sähköverkot voidaan jakaa siirtoverkkoon, jakeluverkkoon ja pieniin alueellisiin järjestelmiin [6]. AER hallinnoi seitsemää siirtoverkkoa ja 14 jakeluverkkoa NEM:in ja Pohjoisterritorion alueella. Länsi-Australiassa sähköverkkoja hallinnoi Economic Regulation Authority (ERA) [6]. NEM:in sähköverkko on noin 918 000 km pitkä, ja se on maailman suurimpia sähköverkkoja [15].

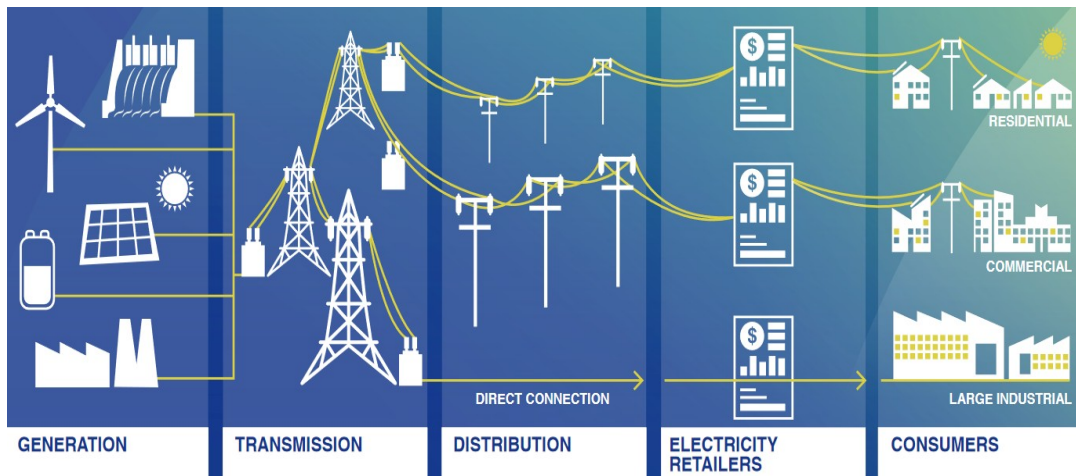
Siirtoverkon avulla sähköä siirretään suurjännitteisenä pitkiä matkoja generaattoreista suurimpiin kuormituskeskuksiin [15][16]. Sähköjakelussa siirretään sähkö alhaisilla jännitteillä pienille yrityksille ja kuluttajille [16]. NEM:in alueen siirtoverkossa ja jakeluverkossa toimivat palvelun tarjoajat, joiden tehtävänä on rakentaa, ylläpitää ja käyttää verkkoa [16]. Suurille sähkön kuluttajille, niin kuin kaivoksille ja paperitehtaille, siirtoverkko toimittaa sähkön suoraan [15]. Osavaltioiden ja territorioiden hallitukset asettavat sähköverkoille luotettavuusstandardit, joita niiden pitää noudattaa [16].

Suurjännitteisessä siirtoverkossa on sähköasemia, joissa niiden jännitettä pienennetään [6][17]. Näin tehdään, jotta jännite olisi tarpeeksi turvallinen jakeluverkossa [6][16]. Kun siirtoverkosta on siirretty sähkö sähköasemien kautta jakeluverkkoon, niin sähkö jaetaan jakeluverkossa loppukäyttäjille [6][16]. Loppukäyttäjät ostavat vähittäismyyjiltä sähköpaketin, johon vähittäismyyjät ovat koonneet tukkumarkkinoilta ostetun sähkön ja verkkopalvelun tarjoajan palvelut yhdeksi tuotteeksi [6].

Sähköverkkojen omistuksissa on merkittäviä eroja osavaltioiden ja territorioiden välillä [6]. Queenslandin, Tasmanian, Pohjoisterritorion ja Länsi-Australian alueilla valtio omistaa sähköverkot täysin [6]. Etelä-Australiassa ja Victoriassa sähköverkot ovat kokonaan yksityistetty [15]. New South Walesissa on neljä sähköverkkoa, ja yksi verkko on täysin valtion omistuksissa [15]. Kaksi verkkoa on osittain yksityisten omistuksissa, ja yksi verkko on täysin yksityistetty [15]. Australian pääkaupunkiterritoriolla sähköverkko on osittain yksityistetty [15]. Sähköverkon haltijalla on vastuu verkon toimivuudessa ja turvallisuudessa [15].

Kuvassa 5 on otos sähkömarkkinoiden rakenteesta ja siitä, miten sen osa-alueet ovat suhteessa keskenään. Kuvassa näkyvät sähköasemat, joiden avulla jännite muutetaan

ennen siirtoverkkoa ja sen jälkeen. Muutoksen avulla saadaan jännite haluttuun suuruuteen, jotta sen voi siirtää mahdollisimman tehokkaasti ja turvallisesti [6][17].



Kuva 5. Sähkömarkkinoiden rakenne [17]

Verkkomaksut ovat vähentyneet vuodesta 2015 asti, ja ne vaihtelevat alueittain [15]. Sähköverkkosten keskimääräiset kustannukset laskevat sähköntuotannon kasvaessa, sillä sähköverkot ovat pääomavaltaisia [6]. Tämän takia on tehokkaampaa, että tietyillä alueilla on vain yksi verkkopalvelija kuin monta verkkopalvelijaa, jotka tarjoaisivat saman palvelun. Sen takia sähköverkot toimivat luonnollisina monopoleina [6]. Monopolirakenteen takia niillä ei ole kilpailun painetta, minkä takia ne voivat tehdä kuluttajille epäedullisia päätöksiä [6]. Sen takia ne ovat tiukassa taloudellisessa sääntelyssä, ja AER (Australian Energy Regulator) huolehtii siitä, ettei kuluttajille tule liian suuria laskuja [6][15].

Sähköverkot ovat alkaneet muuttua teknologian takia, mikä voi mahdollistaa perinteisen sähkön yksisuuntaisen siirtymisen kaksisuuntaiseksi [6]. Merkittävimmät näistä ovat katolla olevat aurinkovoimalat sekä uudet sähkön varastointi- ja akkuteknologiat [15][17]. Aurinkovoimalan avulla käyttäjä voi tuottaa omaa sähköä, ja ylimääräisen sähkön voi myydä takaisin, jotta joku muu voi käyttää sen [6][17]. Ylimääräisen sähkön voi myös säilöä uusien varastointitapojen avulla, ja silloin sen voi käyttää myöhemmin [6][17]. Eri tapoja voidaan käyttää yhdessä, jolloin kuluttajat mahdollisesti säästävät rahaa sähkölaskuissa, ja infrastruktuurin investointeja voidaan pienentää [15].

5. SÄHKÖKAUPPA

Sähkökauppa on sähkömarkkinoiden osa, jossa sähköstä käydään kauppaa ja lopulta myydään loppukäyttäjille. Tässä luvussa keskitytään Australian tukkusähkömarkkinoihin ja vähittäissähkömarkkinoihin. Sähkön suuret kuluttajat, tuottajat ja välittäjäyhtiöt käyvät sähkökauppaa tukkumarkkinoilla [18]. Vähittäissähkömarkkinoilla vähittäismyyjät ostavat sähkön tukkumarkkinoilta ja huolehtivat sen myynnistä loppukäyttäjille [19]. Sähköenergian varastoinnin vaikeuden takia sähkömarkkinat toimivat spot-markkinoina [5].

Australian tukkusähkömarkkinat ovat NEM ja WEM. Itä-Australiassa NEM aloitti toimintansa vuonna 1998, ja sitä ennen sähkökauppa oli valtiopohjaista monopolitoimintaa [3]. WEM aloitti toimintansa vuonna 2006, ja se toimii Länsi-Australian eteläosissa [3]. NEM:in vähittäismarkkinoiden kilpailu avautui hitaasti, mutta nykyään asiakas voi valita vähittäismyyjänsä kaikista NEM:in vähittäismyyjistä [2].

5.1 Tukkusähkömarkkinat

Australian suurin tukkusähkömarkkina on NEM, joka toimii viidessä osavaltiossa ja kahdessa territoriossa [20]. WEM toimii Länsi-Australian osavaltion eteläosissa, ja se on paljon pienempi kuin NEM [20]. NEM:in tukkusähkömarkkinoilla on yli sata sähköntuotantoyritystä ja noin 30 vähittäiskauppiasta [21]. Siellä myydään ja ostetaan sähköä kahdella tavalla, joko spot-markkinoilla tai sopimusmarkkinoilla [21].

Australian energiamarkkinaoperaattori AEMO hallitsee tukkumarkkinoita ja vähittäismarkkinoita [20][22]. Sähkömarkkinoilla AEMO:n vastuulla on varmistaa, että sähköntuotanto ja -kulutus ovat yhtä suuret yhtä aikaa [21]. Jos varmistusta ei tehtäisi, niin sähköjärjestelmät eivät toimisi ja kustannukset nousisivat [21]. Mekanismi, jonka avulla tämä tehdään, on spot-markkinat, ja siinä sähkö myydään ja ostetaan spot-hinnoilla [21]. Jokaisessa NEM:in alueessa on eri spot-hinnat, ja ne muuttuvat puolen tunnin välein [23].

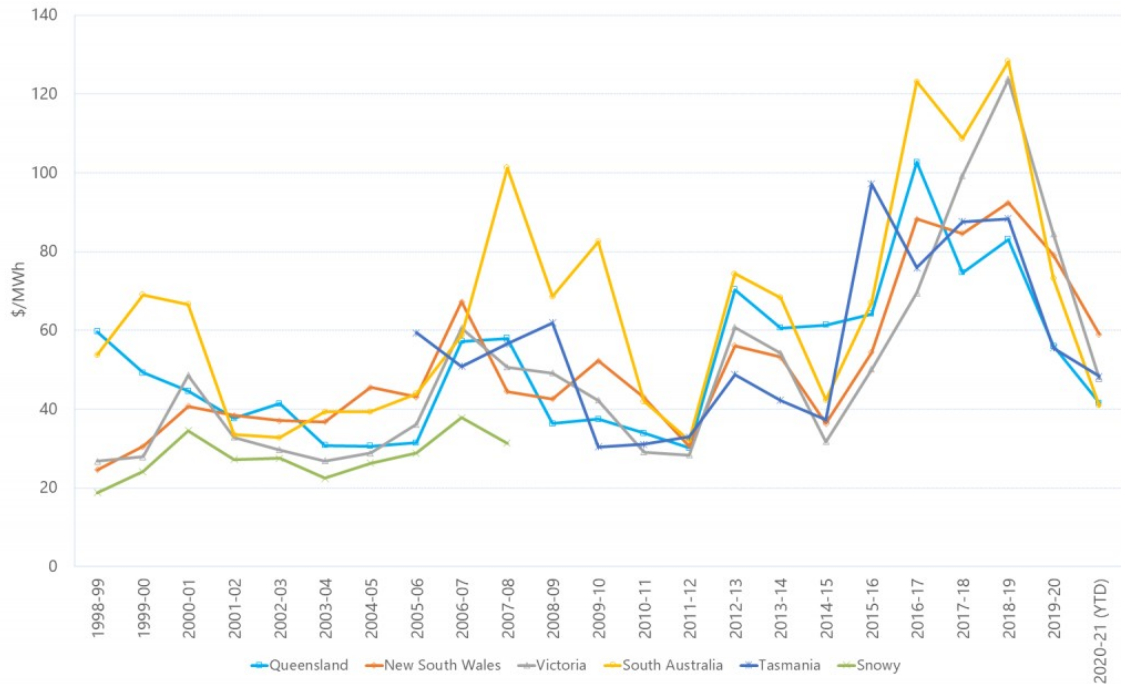
NEM on vain energiaan pohjautuva sähkömarkkina, ja sen takia sähköntuottajilla on vain kaksi tapaa ansaita tulonsa, joko spot-markkinaliiketoimilla tai ennalta määrätyillä sopimuksilla (contract market) [2]. Tämä myös tarkoittaa, että NEM:ssä ei ole erillisistä

kapasiteettimarkkinaa, ja spot-hintojen sallittu suuruus on erittäin korkea [2]. Spot-hinnat saavat olla maksimissaan \$14 700/MWh ja minimissään -\$1000/MWh [6]. NEM:in alkuvaiheissa hintakatto oli \$5000/MWh, mutta se kasvoi, koska hintakaton ylitys tapahtui liian helposti [2]. Spot-hintojen keskiarvo NEM:ssä vuonna 2019 oli noin \$100/MWh [6].

NEM:in tukkusähkömarkkinoilla sähkönmyyjät lähettävät ennen seuraavaa päivää sähköntuotantohintansa ja määrätarjouksensa AEMO:lle hyväksyttäväksi [24]. Maksimissaan saa lähettää kymmenen eri hintaluokan tarjousta, ja niitä voi muuttaa reaaliajassa [2]. Sähkön tarpeen täyttämiseksi halvimmat tarjoukset lähetetään ensimmäisinä, ja näin jatketaan, kunnes tarve on täytetty [24]. Toimitushinta on suurin marginaalisesti tarjottu, lähetetty ja hyväksytty hinta viiden minuutin aikavälillä [2][24]. Lopulta spot-hinta on puolen tunnin aikana olleiden kuuden eri toimitushinnan keskiarvo [2].

Kun spot-hinta kasvaa, tarvitaan enemmän sähköä markkinoilla, ja tästä syystä käynnissä olevat generaattorit alkavat tuottamaan enemmän sähköä, tai kalliimpien tuotantomuotojen generaattoreita aletaan käynnistämään, jotta tasapaino säilyy. Jos spot-hinta alkaa laskemaan, kalliimpien tuotantomuotojen generaattoreita aletaan sammuttamaan. Tämä siis tarkoittaa, että spot-hinta kertoo markkinoiden sähkön tarpeesta. [21]

Kuvassa 6 on NEM:in vuosittaiset spot-hintojen keskiarvot eri osavaltioissa. NEM:in spot-hinnat ovat vaihdelleet erittäin paljon 20 vuoden aikana. Kuvasta voi nähdä Northern- ja Hazelwood-kivihiilivoimalaitosten sulkemisen vaikutuksen Etelä-Australian ja Victorian osavaltioiden spot-hintojen kasvuna vuosina 2016-2017 [6]. Etelä-Australian valtava piikki vuosina 2007-2008 johtui äärimmäisistä sääilmiöistä, yhdysjohtojen siirtokapasiteettirajoista ja sähköntuottajien hinnoittelusta [25]. Vuodesta 2019 eteenpäin hinnat ovat laskeneet jokaisessa osavaltiossa.



Kuva 6. NEM:in spot-hintojen vuosittaiset keskiarvot alueittain [26]

Sopimusmarkkinoissa vähittäiskauppiat ja sähköntuottajat tekevät sopimuksen, jonka pohjalta sähkölle tulee kiinteä arvo [21]. Sopimuksissa oleva hinta on tulevaisuuden spot-hinnan keskimääräinen arvio [21]. Sen avulla parannetaan varmuutta ja vähennetään riskejä, joita voisi tulla spot-markkinoilla [21]. Koska vähittäismyyjillä on sopimusmarkkinoiden avulla tarkka hinta sähköstä, he voivat tehdä kuluttajien kanssa pitempiä sopimuksia [27]. Sähköntuottajat saavat myös rahoitusta investointeja varten, koska niillä on sopimusmarkkinoiden takia tasaisemmat tulot [27].

Australiassa OTC-markkinat (Over-the-counter) ja sähköpörssi tukevat sähkötukumarkkinoita. OTC-markkinoilla osapuolet tekevät sopimuksen keskenään, ja tällä sopimuksella saadut tuotteet muotoutuvat vastapuolten vaatimusten mukaisiksi. Australian sähköfutuuri tuotteista käydään kauppaa ASX Energy -pörssissä (Australian Securities Exchange), ja ne on standardoitu likvideetin kannustamiseksi. Futuurisopimusten avulla voi lukita sähkölle tietyn hinnan, jonka avulla voi tulevaisuudessa ostaa tai myydä tietyn määrän sähköä. OTC -markkinoilla osapuolten pitää luottaa toistensa luottokelpoisuuteen, koska toimintaa ei julkisteta. Sähköpörssissä sopimukset hoidetaan keskitetyn toimituskeskuksen välityksellä, ja se toimii liiketoimien vastapuolena. ASX Energy -pörssissä toiminta on julkista toisin kuin OTC -markkinoilla. [6]

Spot-hinnan aikaväli tulee pienentymään 30 minuutista viiteen minuuttiin heinäkuussa vuonna 2022 [6]. Muutos tapahtuu, koska se on nykyteknologian avulla mahdollista, ja uusiutuvien energiavarojen lisääntynyt kasvu yhdistetyssä sähköntuotannossa on

aiheuttanut ongelmia [6][27]. Tämän viiden minuutin ratkaisun avulla sopeudutaan yllättäviin muutoksiin uusiutuvan energian tuotannossa nopeammin, ja se myös tulee mahdollisesti pitkällä aikavälillä tekemään sähkötukkuhinnoista pienempiä [6][28]. Hintojen pieneneminen johtuu siitä, että se asettaa taloudelliset päätökset ja operatiivisen lähetyksen samaan aikaan [28]. Tämän takia tulee tehokkaampia tarjouksia ja investointeja, mitkä ajan saatossa voivat johtaa pienempiin tukkuhintoihin [28].

5.2 Vähittäissähkömarkkinat

Vähittäismyyjä ostaa sähkön sähkötukku markkinoilta. Sen jälkeen vähittäismyyjät kokoavat sen palvelumaksujen ja lisätuotteiden kanssa yhtenäiseksi tuotteeksi. Lopulta vähittäismyyjät myyvät tämän tuotteen loppukäyttäjille. [6] NEM:in alueella kuluttajat voivat valita haluamansa sähkön vähittäismyyjän kaikista tällä alueella olevista myyjistä [29]. Australian itä- ja eteläosissa vähittäismyyjän lasku kotitaloudelle vuosina 2018-2019 tyypillisesti koostui sähkön ostamisesta sähkötukku markkinoilta (33 %), verkkokustannuksista (43 %), ilmastoohjelmista (8 %), palvelumaksuista (11 %) ja vähittäismyyjän marginaalista (4 %) [6]. Australian kolme isointa vähittäismyyjää (AGL Energy, Origin Energy, EnergyAustralia) toimittaa sähkön noin 63 % pieniasiakkaista [6].

Vähittäismyynnissä kilpailu alkoi kunnolla vasta New South Walesin ja Victorian osavaltioiden toimesta vuonna 2002 [2]. Sitä ennen oli ollut esivaihe, jossa sitä otettiin vähitellen käyttöön 1990-luvun lopulla ja 2000-luvun alussa [2]. NEM:in asiakkaat kaikkialla paitsi Tasmaniassa pystyivät valitsemaan haluamansa vähittäismyyjän vuoden 2007 puolivälissä [2][30]. Lopulta Tasmania otti käyttöön vuonna 2014 täydellisen vähittäiskaupan kilpailuttamisen, jolloin se pääsi samaan piiriin muiden NEM:in alueiden kanssa [2][30].

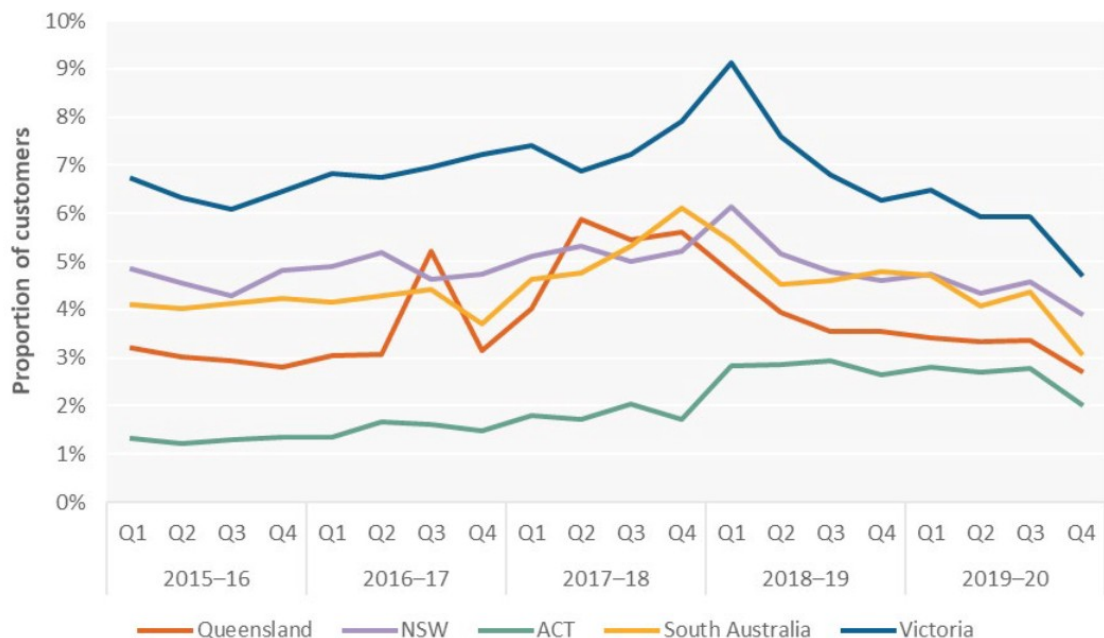
Sähkön vähittäismyyntiliiketoiminta voi olla yksityisomistuksessa tai valtion omistuksessa. Ne myös voivat olla rakenteensa puolesta vertikaalisesti integroituja tai itsenäisiä. Valtion omistuksessa olevalla vähittäismyynnillä on rajoituksia strategisissa tavoitteissa ja pääoman saamisessa, mutta se voi saada helpommin halpaa pääomaa kuin yksityisomistuksessa oleva vähittäismyynti. Sähkötukku markkinoiden kanssa ne toimivat yleensä samanlailla. [31]

Vertikaalisesti integroidussa vähittäismyyntiliiketoiminnassa sähkön myynnin lisäksi myös tuotetaan sähköä, jolloin yritykset voivat hallita sähkötukku markkinoiden hintojen vaihtelua paremmin [6][31]. Niiden ei myöskään tarvitse ostaa montaa

sähkön tuotantosopimusta, koska niillä on suora pääsy sähköntuotantoon omasta takaa [31]. Mutta on harvinaista, että sähköntuotanto ja myyminen ovat täydellisessä tasapainossa, joten riskien vähentämiseksi niiden pitää ostaa johdannaistuotteita [31]. Australiassa melkein kaikki suurimmat sähkön vähittäismyyjät ovat rakenteeltaan vertikaalisesti integroituja [6].

Itsenäisillä vähittäismyyjillä ei ole sähköntuotantoa, ja verrattuna vertikaalisesti integroituihin vähittäismyyjiin niiden pitää tehdä enemmän kaupallisia sopimuksia [31]. Sopimuksia pitää olla enemmän, jotta niiden tuotto on tarpeeksi suojattu [31]. Sen takia itsenäisellä vähittäismyyjällä on myös keskimäärin suuremmat palvelukustannukset kuin vertikaalisesti integroidulla vähittäismyyjällä [31]. NEM:in suurimmat itsenäiset vähittäismyyntiliiketoiminnot ovat amaysim ja M2 Energy, ja niiden asiakasmäärät ovat noin prosentin luokkaa NEM:in kaikista asiakkaista [6].

Sähkönkäyttäjien vähittäismyyjien vaihtelu viime vuosina on esitetty kuvassa 7. Victoriassa on kaikista suurin vaihtuvuus, ja se oli huipussaan 2018-2019 ensimmäisellä neljänneksellä. Tämä huippu saattoi johtua Victorian hallituksen aloittamasta bonusmaksusta, joka oli käytössä 1.7.2018-30.6.2020 [32]. Siinä Victoriassa asuvat sähkökäyttäjät saivat 50 Australian dollaria, jos he käyttivät osavaltion tekemää vertailusivustoa [32]. Aikavälin lopussa vaihtuvuus pienentyi kaikilla alueilla, ja se johtui mahdollisesti koronapandemiasta [32].



Kuva 7. Sähkönkäyttäjien vähittäismyyjien vaihtelemisen osuudet prosentteina [32]

Sähkönkäyttäjien tyytyväisyys vähittäismyyjien tarjonnasta riippuu monesta asiasta, ja se on yksi tekijä, minkä takia asiakkaat vaihtavat sähkön vähittäismyyjiään. Vuonna 2019 NEM:in alueella 74 % yksityisasiakkaista oli tyytyväisiä energian

toimitusjärjestelyihinsä [6]. Vaihtaminen on yleistä silloin, kun laatu on huonoa tai hinta on liian korkea, minkä takia etsitään toinen vähittäismyyjä [6]. Vähittäismyyjien vaihtaminen voi kertoa asiakkaiden osallistumisesta markkinoihin ja siitä, miten he reagoivat markkinoiden muutoksiin [6][33]. Sähkökäyttäjien vähittäismyyjien vaihtoa kuvaavaa dataa vääristää uudet sopimukset saman vähittäismyyjän kanssa ja toiseen asuntoon muuttaminen [6].

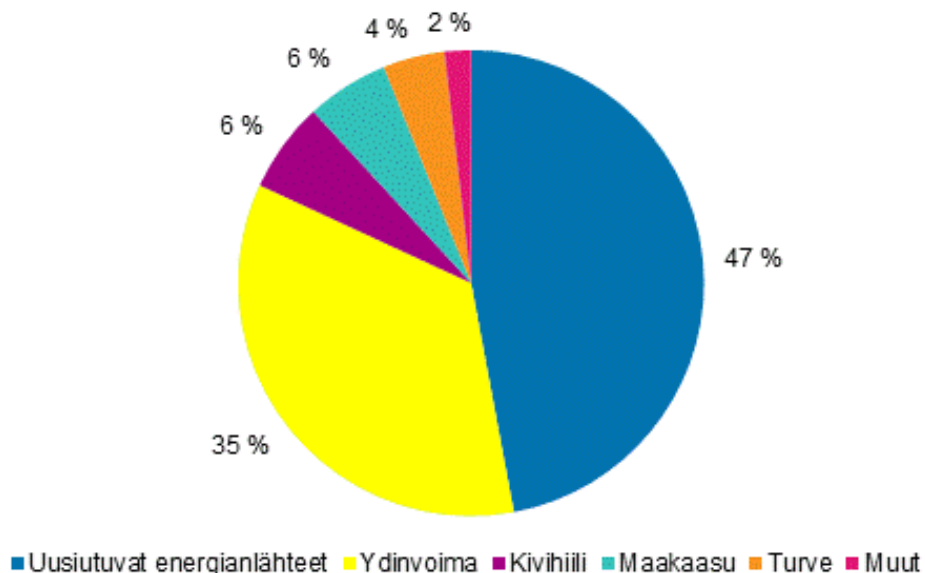
Vähittäismarkkinoiden pitää noudattaa vähittäiskaupan lakia (National Energy Retail Law), ja nämä lait asettaa AEMC (Australian Energy Market Commission). Energian pienkuluttajien sähköjärjestelyjä suojaa vähittäiskaupan laki ja Australian kuluttajalaki (Australian Consumer Law). Tässä tapauksessa energian pienkuluttaja on alle 100 MWh vuodessa kuluttava yksityisasiakas tai pieni yritys. [6]

Vähittäismarkkinat ovat alkaneet kehittyä uudella tavalla teknologian ansiosta ja asiakkaat ovat alkaneet osallistua enemmän markkinoihin. Älykkäiden mittareiden avulla vähittäismyyjät voivat tarkkailla energiankulutusta tarkemmin, minkä avulla he voivat tarjota parempia tuotteita tai palveluja. Asiakkaat voivat myös sijoittaa omaan taloonsa aurinkojärjestelmiä, joiden avulla he voivat itse tuottaa sähkönsä tai osan siitä. Sähkön hallintaa voi parantaa akkuteknologialla tai kuormanhallintalaitteilla, ja ne myös antavat uuden tavan toimia markkinoilla. [6]

6. VERTAILU SUOMEN SÄHKÖMARKKINOIHIN

Suomessa tuotettiin sähköä vuonna 2019 noin 66 TWh ja tuotiin noin 20 TWh. Tuotetusta sähköstä 47 % oli tuotettu uusiutuvilla energiamuodoilla, ja niihin kuuluivat vesivoima (40 %), tuulivoima (19 %), puupolttoaineet (38 %) ja muut uusiutuvat (2 %). Kokonaistuotannosta vesivoimalla tuotettiin 18 %, tuulivoimalla 9 % ja puupolttoaineilla 18 % sähköstä. Ydinvoimalla tuotettiin 35 % ja turpeella 4 % sähköstä. Fossiilisilla polttoaineilla tuotettiin 14 % sähköstä, ja niistä merkittävimmät ovat kivihiili (6 %) ja maakaasu (6 %). [34]

Kuvassa 8 on Suomen sähkön tuotannossa käytetyt energialähteet vuonna 2019. Uusiutuvat energialähteet koostuvat pääasiassa vesivoimasta, tuulivoimasta ja puupolttoaineista. Suomessa tuotetaan suurin osa sähköstä uusiutuvilla energialähteillä, ja myös merkittävä osuus tuotetaan ydinvoimalla. Pienemmät osuudet tuotettiin turpeella, kivihiilellä ja maakaasulla.



Kuva 8. Suomen sähkön tuotanto vuonna 2019 energialähteittäin [35]

Australia ja Suomi eroavat sähkön tuotannossa merkittävästi. Sähköä tuotettiin Australiassa vuonna 2019 noin neljä kertaa enemmän kuin Suomessa, mutta suhde on

samaa suuruusluokkaa, jos määrät suhteuttaa väkilukujen kanssa. Fossiilisilla polttoaineilla tuotetaan suurin osa Australian sähköstä, melkein 80 %, mikä on Suomeen verrattuna noin viisi kertaa suurempi osuus sähköntuotannossa. Ydinvoimalla on merkittävä osuus Suomen sähköntuotannossa, mutta Australiassa sitä ei käytetä ollenkaan, mistä kerrotaan tarkemmin luvussa 7.

Sähköntuotannossa Australia on omavarainen toisin kuin Suomi, johon tuodaan vuosittain sähköä ulkomailta. Molemmissa valtioissa käytetään merkittävästi uusiutuvia energiamuotoja, niin kuin vesivoimaa ja tuulivoimaa. Suomessa tuotetaan myös merkittävästi sähköä puupolttoaineilla. Vesivoimaa käytetään suhteellisesti paljon enemmän Suomessa kuin Australiassa, mutta tuulivoiman suhteellinen osuus kokonaistuotannosta on molemmissa suunnilleen sama. Australiassa aurinkosähkö on alkamassa saada merkittävää osuutta sähköntuotannossa, ja Suomessakin se kasvaa mutta on vielä erittäin marginaalinen ilmiö [34]. Syitä ovat maiden eroavat auringon säteilytasot ja sijainti päiväntasaajasta.

Suomessa sähkömarkkinat avautuivat osittain kilpailulle vuonna 1995 ja syksyllä vuonna 1998 kaikki sähkökäyttäjät pystyivät kilpailuttamaan sähkön myyjänsä [36]. Suomi on mukana NordPool:ssa, joka on pohjoismainen sähköpörssi [37]. Suomen vähittäismarkkinat ovat kansalliset, vaikka sähkötukku markkinat ovatkin yhteiset pohjoismaiden kanssa [37]. Energiavirasto valvoo Suomen sähkömarkkinoita ja edistää niiden kilpailua [38].

Suomessa sähkötukkukauppaa käydään sähköpörssissä ja OTC-markkinoilla kuten Australiassa [37]. Suomen OTC-markkinat eivät eroa kovin merkittävästi Australian OTC-markkinoista. Suomen spot-hinta määräytyy tunnin välein toisin kuin Australiassa, jossa se määräytyy puolen tunnin välein [39]. Suomessa spot-hinta oli keskimäärin 44,04 euroa/MWh vuonna 2019 ja Australian dollareina se oli \$67,667/MWh [39][40]. Spot-hinta oli selvästi pienempi Suomessa vuonna 2019, kuin se oli Australiassa. Australian suuri spot-hinta, johtui äärimmäisistä sääolosuhteista ja sähkövoimaloiden ongelmista [6]. Mahdollisesti myös fossiilisista voimalaitoksista luopuminen on kasvattanut hintoja.

Australia ei ole minkään toisen maan kanssa samassa sähköpörssissä, ja tähän on mahdollisesti vaikuttanut se, että Australia on saarivaltio. Sen takia sillä ei ole verkkoyhteyksiä muihin valtioihin tai mantereisiin. Suomessa vähittäismyyjät ostavat tukku markkinoilta sähkönsä tai tuottavat sen itse [6]. Rakenteeltaan Australian ja Suomen vähittäismyyjät ovat samanlaisia. Sähkö myyjää vaihtoi Suomessa noin 14 % asiakkaista vuonna 2019, mikä on merkittävästi suurempi osa kuin Victoriassa, missä vaihdetaan selvästi eniten sähkömyyjä NEM:in alueista. [39]

7. TULEVAISUUDENNÄKYMÄT

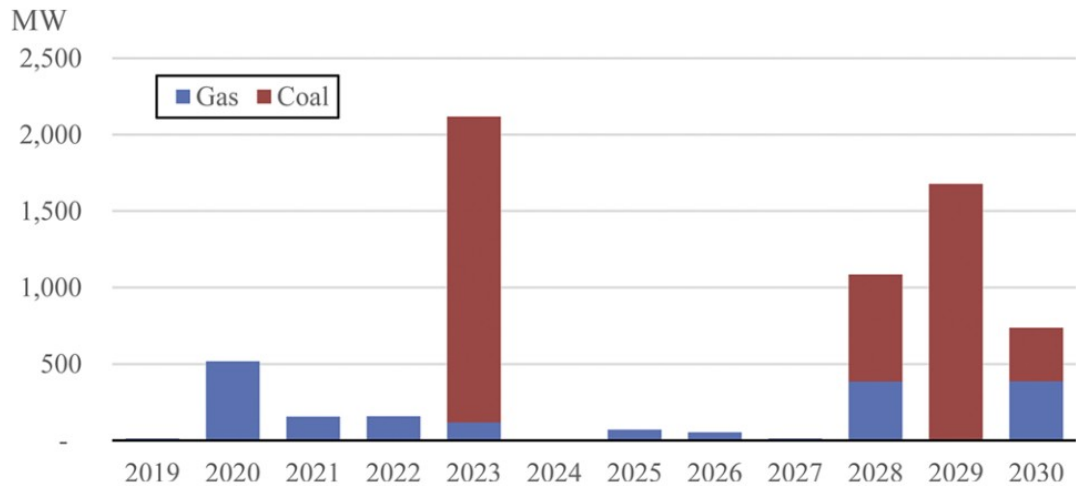
7.1 Sähköntuotanto tulevaisuudessa

Ilmastonmuutos on suuri haaste ihmiskunnalle, ja se vaikuttaa merkittävästi sähkön tuotannon kehittymiseen [41]. Ilmastonmuutoksen vaikutusten vähentämiseksi ja estämiseksi on tehty kansainvälisiä sopimuksia kuten Kioton pöytäkirja (Kyoto Protocol) ja Pariisin ilmastosopimus, joihin Australiakin on sitoutunut [42]. Tällä hetkellä Australiassa on meneillään siirtymävaihe, jossa se on luopumassa fossiilisista polttoaineista ja siirtymässä uusiutuviin energiatuotantotapoihin [5]. Tämän siirtymän ajava voima on ollut kansainvälinen sitoutuminen rajoittaa ilmaston lämpenemisen 2 °C [41].

Australian sähkömarkkinat ovat erittäin riippuvaisia kivihiilellä tuotetusta sähköstä [6]. Jotta Australia saavuttaisi ilmastotavoitteensa, sen pitää tehdä valtavia muutoksia [6]. Suurin osa Australian kivihiilivoimaloista tulee olemaan vuonna 2030 yli 40-vuotiaita, ja uusia voimaloita ei todennäköisesti tulla rakentamaan poliittisen ilmapiirin takia [43]. Tämä tarkoittaa, että korvaavia tuotantotapoja tarvitaan [43]. Kaikista päästövoimakkaimpia ovat ruskohiililaitokset, mustahiililaitokset ja maakaasulaitokset [6]. Tämän takia uusiutuvista energiantuotantotavoista, niin kuin tuulivoimasta ja aurinkovoimasta, tulee tulevaisuudessa erittäin tärkeitä.

Hajautetut energialähteet (DER) ovat kuluttajien omistamia laitteita, joita voi käyttää sähkön tuottamiseen tai varastointiin. Niistä merkittävimmät ovat katolla olevat aurinkojärjestelmät ja uudet akkuteknologiat. Sähkön varastoiminen akkuteknologialla on varsin uusi ilmiö NEM:ssä, mutta se on kasvanut yllättävän nopeasti. Nopeiten hajautetuista energialähteistä on kasvanut pienet aurinkovoimalat. Akkuteknologian ja pienten aurinkovoimaloiden kasvu on voinut johtua liian kalliista energialaskuista ja tyytymättömyydestä energiantarjoajiin. Siihen on myös mahdollisesti vaikuttanut kiinnostus itsetuotettuun sähköön. [6]

Kuvasta 9 näkyy, milloin NEM:in kivihiilivoimaloita ja maakaasuvoimaloita suljetaan ja kuinka paljon kapasiteetti pienenee. Kuvasta voi huomata, että maakaasuvoimaloita lakkautetaan melko tasaisesti toisin kuin kivihiilivoimaloita, joita on suunniteltu suuri määrä suljettavaksi tiettyinä vuosina. Kivihiilen kapasiteettia on suunniteltu vähentää merkittävästi vuosina 2023 ja 2029. [44]



Kuva 9. NEM:in kivihiilivoimaloiden ja maakaasuvoimaloiden kapasiteetin suunniteltu poistaminen [44]

Australian sähköntuotannosta on tehty tutkimus mahdollisesta skenaariosta, jossa kaikki Australiassa tuotettu sähkö olisi uusiutuvaa. Tutkimuksessa on tehty muutamia oletuksia, jonka avulla tämä toimisi. Merkittävin oletus on, että 90 % sähköstä tuotetaan tuulivoimalla ja aurinkosähköllä. Loput tuotettaisiin vesivoimalla ja biomassalla, ja näiden tehtävänä olisi ennemminkin tasapainon säilyttäminen. [43]

Australialla on hyvä potentiaali tuulivoiman ja aurinkosähkön tuotantoon, minkä takia niiden käyttö on alkanut yleistymään [43]. Sähköntuotannosta vuonna 2030 voi olla puolet tuotettu uusiutuvilla energialähteillä, jos tuulivoiman ja aurinkosähkön käyttöönottomäärät pysyvät vuosittain 1-2 GW:n tasolla [43]. Näiden käytön kasvua on myös lisännyt RET-hanke, joka kannustaa uusiutuvien käyttöä.

Uusiutuviin energiamuotoihin siirtymisessä on myös tullut esille vaikeuksia. Uudet voimalat sijaitsevat usein verkon reunoilla, jolloin ongelman sattuessa niiden korjaaminen vie kauemmin. Uusiutuvat energiamuodot ovat sääriippuvaisia, jolloin tarvitaan nopeaa ja luotettavaa kapasiteettia, joka toimii, kun sää on epäedullinen uusiutuvien sähköntuotantoon. Niiden kasvu on myös lisännyt taajuuden merkittävää vaihtelua ja jännitteen epävakautta. [6]

Kun kivihiilellä tuotetusta sähköstä vähitellen luovutaan, tarvitaan korvaavaa sähkön tuotantoa. Kaikista edullisimmaksi ratkaisuksi on huomattu uusiutuvien ja maakaasun yhteiskäyttö [45]. Tässä tapauksessa uusiutuvia käytettäisiin energian tuottamiseen, ja maakaasulla tuotettua sähköä käytettäisiin joustavana ja helposti siirettävänä energiana [45].

7.2 Älykkäät verkot

Käsitteelle älykkäät verkot (Smart Grids) on monia määritelmiä, mutta kaikissa niissä yhteisenä ominaisuutena on kulutuksen seuranta, josta saadun tiedon avulla parannetaan verkon toimintaa ja luotettavuutta. Yhden määritelmän mukaan älykkäät verkot ovat sähköverkoja, jotka käyttävät edistynyttä valvonta-, ohjaus- ja viestintäteknikkaa luotettavan ja turvallisen energian toimituksen tuottamiseksi, tehostavat generaattoreiden ja sähköverkon toimintaa ja joustavien valintojen tekemistä kuluttajille, joilla on hajautettua tuotantotekniikkaa [46]. Älykkäät verkot ovat yhdistelmä monimutkaisia fyysisiä verkkojärjestelmiä ja kyberjärjestelmiä, jotka kohtaavat monia teknisiä haasteita [46].

Australia on edistänyt älykkäiden verkkojen kehittymistä, ja se oli maailman ensimmäinen maa, joka kehitti tekniset standardit niille [47]. Älykkäät verkot ovat vielä alkuvaiheessa, mutta kehittyessään ne voivat ratkaista fossiilisiin päästöihin ja ilman puhtauteen liittyviä ongelmia [48]. Australiassa yritetään edistää sähköverkojen luotettavuutta, turvallisuutta, tehokkuutta ja ympäristöä käyttämällä älykkäitä verkkoja [48].

Australiassa oli vuosien 2009-2014 aikana kaksi merkittävää Smart Grid -projektia [47]. Ensimmäinen projekti oli Victorian Advanced Metering Infrastructure -ohjelma (AMI) [47]. Tässä ohjelmassa kaikille Victorian kotitalouksille ja liikeyrityksille asennettiin älykäs mittari [47]. Tämän toteutuksen tekivät varsinaisesti sähköjakeluyritykset, jotka noudattivat Victorian hallituksen määräyksiä [47]. Kaiken kaikkiaan noin 2,8 miljoonaa kehittynyttä mittaria asennettiin tämän projektin aikana [47]. Tämän takia Victorian osavaltio on kaikista kehittynein älykkäiden mittareiden käytössä, ja noin 98 % Victorian pienkäyttäjistä omistaa älykkään mittarin [6].

Toinen projekti oli Smart Grid Smart City -ohjelma (SGSC), jota Australian hallitus rahoitti noin 100 miljoonalla [47][48]. SGSC-ohjelmassa testattiin erilaisia älykkäitä verkkoja, ja miten ne sopivat Australian ympäristöön [48]. Tämä ohjelma tapahtui pääosin New South Walesin kaupungeissa, ja se koostui viidestä eri tutkimuksesta [47]. Nämä tutkimukset käsittelivät informaatio- ja kommunikointiteknologian alustoja, sähköajoneuvoja, hajautettua tuotantoa ja varastointia, asiakassovelluksia ja verkkosovelluksia [47].

Älykkäillä verkoilla on monia hyötyjä, joiden avulla ne pystyvät parantamaan verkon toimintaa. Älykkäät verkot pystyvät vähentämään tai välttämään sähkökatkoista aiheutuvat haitat, ja ne pystyvät ottamaan yksittäiset kuluttajat huomioon [48]. Niillä on enemmän vaihtoehtoja sähkön hinnassa ja tasossa, ja ne myös antavat asiakkaalle enemmän vapautta valita [48]. Ne myös pystyvät tunnistamaan erilaisia häiriöitä ja

reagoimaan niihin oikealla tavalla [48]. Lisäksi niiden avulla voidaan lisätä siirtoreittejä, mikä lisää kuluttajien osallistumista markkinoille [48].

Vaikka älykkäät verkot parantavat verkon toimintaa, niiden käyttöönotossa on kuitenkin haasteita ja ongelmia [49]. Ne ovat verrattain kalliita hankkeita, minkä takia ne tarvitsevat rahoitusta valtioilta tai laitoksilta [48]. Älykkäät verkot voivat aiheuttaa epäluottamusta kuluttajissa, koska organisaatiot voivat saada yksityisyyttä häiritsevää tietoa asiakkaistaan, ja asiakkaiden tietoja voidaan väärinkäyttää [49]. Älykkäiden verkkojen hankkeet myös aiheuttavat kustannuksia kuluttajille, minkä takia niiden käyttöönotossa voi kestää [47]. Älykkäillä verkoilla laskentakomponentit kommunikoivat monimutkaisin tavoin, ja niillä on paljon enemmän komponentteja kuin tämänhetkisillä järjestelmillä [48]. Sen takia on myös entistä tärkeämpää huolehtia verkon turvallisuudesta, koska häiriöiden korjaaminen on sitä vaikeampaa, mitä monimutkaisempi järjestelmä on [48].

7.3 Ydinvoiman käyttö

Maailmanlaajuisesti ydinvoimalla tuotetaan noin 10 % kaikesta sähköstä, ja sitä käytetään pääosin OECD-maissa (Organisation for Economic Co-operation and Development) [50]. Australiassa on yhdet maailman suurimmista uraanivarjoista, mutta ydinvoiman käyttäminen sähkön tuottamiseen on kielletty [51][52]. Se kiellettiin kansan tahdosta vuoden 1999 ympäristölailla (Environmental Protection and Biodiversity Conservation Act 1999) [51]. Australiassa on tällä hetkellä yksi ydinreaktori, mutta sitä ei käytetä sähköntuottamiseen [50]. Sitä on pääosin käytetty lääketieteessä tarvittavien isotooppien tuottamiseen, ja se sijaitsee New South Walesin osavaltioissa [50].

Ydinvoimassa tuotetaan lämpöä reaktorissa, jossa se synnytetään radioaktiivisen aineen fissiolla tai halkaisulla. Radioaktiiviset aineet ovat usein uraanin tai plutoniumin isotooppeja. Veden avulla siirretään lämpö höyryturbiineihin, ja lopulta se muutetaan generaattorin avulla sähköksi. Ydinvoimaloilla on pitkät rakennusajat ja suuret rakentamiskustannukset, mutta niiden hyötyinä ovat alhaiset käyttökustannukset ja pienet päästöt. Mutta ydinvoimalat tuottavat radioaktiivista ydinjätettä, ja jos siitä ei huolehdita kunnolla, niin ympäristöön voi vapautua vaarallista säteilyä. [50]

Australiassa ei ole yhtäkään säilöntäpaikkaa ydinjätteelle, vaikka se tuottaa joka vuosi kymmeniä kuutiometrejä ydinjätettä ainoalla ydinreaktorillaan. Tällä hetkellä suunnitellaan laitoksen rakentamista Etelä-Australiaan, johon voidaan sijoittaa ydinjäte lopullisesti. Vuonna 2019 Australian parlamentin edustajainhuoneen pysyvä ympäristön- ja energiavaliokunta teki tutkimuksen, joka liittyi ydinvoiman käyttöönottoon ja sen edellytyksiin. Myös New South Walesin ja Victorian osavaltioiden parlamentit

ovat tehneet tutkimuksia liittyen ydinvoiman mahdolliseen käyttöön. Nämä tutkimukset ovat edistäneet ydinvoiman käyttöönottoa ja uraaniaivosten toimintaa. Ydinvoimala rakennettaisiin todennäköisesti rannikkoalueelle, koska silloin jäähdytysvesi olisi lähellä. [50] Mahdollisesti tulevaisuudessa aletaan käyttää ydinvoimaa myös Australian sähköntuotannossa, koska se toisi hyvän vaihtoehdon kivihillelle, jonka käytöstä ollaan luopumassa.

8. YHTEENVETO

Tässä työssä käsiteltiin Australian sähkömarkkinoiden kehittymistä ja rakennetta. Tällä hetkellä Australiassa ollaan merkittävässä siirtymävaiheessa, missä fossiilisista polttoaineista luovutaan, ja niiden tilalle otetaan uusiutuvia energialähteitä. Ilmastonmuutos on ollut merkittävä tekijä tässä muutoksessa. Tämän takia on erittäin tärkeää, että Australiassa käytetään mahdollisimman paljon uusiutuvia energialähteitä, jotta ilmastonmuutoksen vaikutuksia voidaan hillitä ja jotta tulevaisuuden sähkön tuotanto voidaan turvata.

Kuluttajien aktiivisuus on myös kasvanut sähkömarkkinoilla. Tähän on vaikuttanut uudet teknologiat kuten hajautetut energialähteet, joiden avulla kuluttajat voivat tulla osaksi sähkömarkkinoita. Myös älykkäät mittarit ovat vaikuttaneet tähän, ja niiden avulla kuluttajat voivat seurata omaa kulutustaan.

Tuulivoiman ja aurinkosähkön käyttö on kasvanut merkittävästi viime vuosina. Tähän kasvuun on vaikuttanut Australian ympäristö, mikä sopii täydellisesti tuulivoiman ja aurinkosähkön laajamittaiseen tuotantoon. Australian sähköntuotannosta tehtyjen tutkimusten perusteella suurin osa sähköstä tuotetaan uusiutuvilla energialähteillä tulevaisuudessa. Yhden tutkimuksen mukaan kaikki sähkö tuotetaan tulevaisuudessa uusiutuvilla energialähteillä. Tämä tutkimus oli kuitenkin erittäin hypoteettinen, mutta se on mahdollinen, jos Australiassa uusiutuvien sähköntuotanto kapasiteettia kasvatetaan erittäin paljon.

Smart Grids -hankkeita on myös ollut Australiassa, ja niiden avulla opittiin uusia asioita älykkäiden verkkojen toimintatavoista ja rakenteesta. Älykkäiden verkkojen avulla voidaan tehostaa sähköverkkojen toimintaa ja luotettavuutta. Niiden avulla voidaan myös ratkaista uusiutuvista energialähteistä aiheutuvia ongelmia, ja ne auttavat taistelussa ilmastonmuutosta vastaan.

Ydinvoiman käyttöönotto voi tapahtua Australiassa lähivuosina, vaikka sitä vastustetaan erittäin paljon. Ydinvoiman vastustus on vähentynyt viime vuosina fossiilisten päästöjen takia, koska halutaan sähköntuotantotapoja, mitkä eivät ole niin päästövoimakkaita. Jos Australiassa aletaan tulevaisuudessa käyttämään ydinvoimaa, niin sähköntuotannon päästöt ja kustannukset tulevat pienentymään. Myös ydinvoiman käyttöönotolla voidaan luopua kivihillen käytöstä aikaisemmin, ja sen avulla päästöt vähentyisivät.

Ehkä paras ratkaisu tulevaisuuden kannalta olisi fossiilisten polttoaineiden korvaaminen täysin uusiutuvilla energiamuodoilla ja ydinvoimalla. Tämän ratkaisun kanssa käytettäisiin myös älykkäitä verkkoja, joiden avulla pystyttäisiin parantamaan verkon toimintaa. Tällä ratkaisulla voitaisiin vähentää päästöjä merkittävästi, mutta silloin Australian pitäisi investoida erittäin paljon ydinvoimaan, älykkäisiin verkkoihin ja uusiutuviin energiantuotantotapoihin.

LÄHTEET

- [1] States, Territories and Local Government, Australian Government, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 11.3.2021): <https://info.australia.gov.au/about-government/states-territories-and-local-government>
- [2] Moran, A. & Sood, R. (2013) 'Chapter 19 - Evolution of Australia's National Electricity Market', in *Evolution of Global Electricity Markets*. [Online]. Elsevier Inc. pp. 571–614.
- [3] Reducing energy bills and improving efficiency, Chapter 2: Parliament of Australia, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 11.3.2021): https://www.aph.gov.au/Parliamentary_Business/Committees/Senate/Former_Committees/electricityprices/electricityprices/report/c02
- [4] AEMO Map, Australian Energy Market Operator, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 11.3.2021): <https://www.aemo.com.au/aemo/apps/visualisations/map.html>
- [5] National electricity market, Australian Energy Market Operator, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 11.3.2021): <https://aemo.com.au/-/media/files/electricity/nem/national-electricity-market-fact-sheet.pdf>
- [6] State of energy market 2020, Australian Energy Regulator, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 11.3.2021): <https://www.aer.gov.au/system/files/State%20of%20the%20energy%20market%202020%20-%20Full%20report%20A4.pdf>
- [7] Electricity and Energy Storage, World Nuclear Association, verkkosivu, Saatavissa (29.4.2021): <https://www.world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/electricity-and-energy-storage.aspx>
- [8] Australian Energy Update 2020, Australian Government, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 11.3.2021): https://www.energy.gov.au/sites/default/files/Australian%20Energy%20Statistics%202020%20Energy%20Update%20Report_0.pdf
- [9] Renewable Energy Target scheme, Australian Government, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 11.3.2021): <https://www.industry.gov.au/funding-and-incentives/renewable-energy-target-scheme>
- [10] International climate change commitments, Australian Government, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 11.3.2021): <https://www.industry.gov.au/policies-and-initiatives/australias-climate-change-strategies/international-climate-change-commitments>
- [11] Basics, Australian Government, Geoscience Australia, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 11.3.2021): <https://www.ga.gov.au/scientific-topics/energy/basics>
- [12] Wind Energy, Australian Government, Geoscience Australia, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 11.3.2021): <https://www.ga.gov.au/scientific-topics/energy/resources/other-renewable-energy-resources/wind-energy>

- [13] Solar Energy, Australian Government, Geoscience Australia, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 11.3.2021): <https://www.ga.gov.au/scientific-topics/energy/resources/other-renewable-energy-resources/solar-energy>
- [14] Solar energy, Australian Government, Australian Renewable Energy Agency, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 11.3.2021): <https://arena.gov.au/renewable-energy/solar/>
- [15] Guide to Australia's Energy Networks, Energy Networks Australia, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 28.3.2021): <https://www.energynetworks.com.au/resources/fact-sheets/guide-to-australias-energy-networks/>
- [16] Electricity supply chain, Australian Energy Market Commission, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 28.3.2021): <https://www.aemc.gov.au/energy-system/electricity/electricity-system/electricity-supply-chain>
- [17] What is transmission, Energy Networks Australia, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 28.3.2021): <https://www.energynetworks.com.au/resources/fact-sheets/fact-sheet-what-is-transmission/>
- [18] Government priorities, Australian Government, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 28.3.2021): <https://www.energy.gov.au/government-priorities/energy-markets/national-electricity-market-nem>
- [19] About the retail electricity markets, Queensland Competition Authority, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 28.3.2021): <https://www.qca.org.au/project/our-role-electricity/about-the-electricity-retail-market/>
- [20] Energy markets and systems, Australian Energy Market Operator, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 17.3.2021): <https://aemo.com.au/learn/energy-markets-and-systems>
- [21] Spot and contract market, Australian Energy Market Commission, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 17.3.2021): <https://www.aemc.gov.au/energy-system/electricity/electricity-market/spot-and-contract-markets>
- [22] Who we are, Australian Energy Market Operator, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 11.3.2021): <https://www.aemo.com.au/about/who-we-are>
- [23] Smith, M. S. & Shively, T. S. (2018) Econometric modeling of regional electricity spot prices in the Australian market. *Energy economics*. [Online] 74886–903.
- [24] National Electricity Market 2010, Australian Energy Regulator, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 17.3.2021): <https://www.aer.gov.au/system/files/Chapter%201%20National%20Electricity%20Market.pdf>
- [25] National Electricity Market 2008, Australian Energy Regulator, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 28.3.2021): <https://www.aer.gov.au/system/files/Chapter%202%20National%20electricity%20market%202008.pdf>
- [26] Annual volume weighted average spot prices -regions, Australian Energy Regulator, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 28.3.2021):

- <https://www.aer.gov.au/wholesale-markets/wholesale-statistics/annual-volume-weighted-average-spot-prices-regions>
- [27] Fact sheet: How the spot market works, Australian Energy Market Commission, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 17.3.2021):
<https://www.aemc.gov.au/sites/default/files/content/Five-Minute-Settlement-directions-paper-fact-sheet-FINAL.PDF>
- [28] Five minute settlement, Australian Energy Market Commission, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 17.3.2021):
<https://www.aemc.gov.au/rule-changes/five-minute-settlement>
- [29] Retail, Australian Energy Market Commission, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 28.3.2021): <https://www.aemc.gov.au/energy-system/retail>
- [30] State of energy market 2014, Australian Energy Regulator, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 28.3.2021):
https://www.aer.gov.au/system/files/State%20of%20the%20energy%20market%202014%20-%20Complete%20report%20%28A4%29_0.pdf
- [31] Final report 2019 Retail Energy Competition Review, Australian Energy Market Commission, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 28.3.2021):
<https://www.aemc.gov.au/sites/default/files/2019-06/2019%20AEMC%20Retail%20energy%20competition%20review%20-%20Final%20report.PDF>
- [32] Annual retail markets report 2019-2020, Australian Energy Regulator, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 28.3.2021):
<https://www.aer.gov.au/system/files/Annual%20Retail%20Markets%20Report%202019-20.pdf>
- [33] Final report 2020 Retail Energy Competition Review, Australian Energy Market Commission, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 28.3.2021):
https://www.aemc.gov.au/sites/default/files/documents/2020_retail_energy_competition_review_-_final_report.pdf
- [34] Sähkön ja lämmön tuotanto 2019, Tilastokeskus, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 28.3.2021):
https://www.stat.fi/til/salatuo/2019/salatuo_2019_2020-11-03_fi.pdf
- [35] Sähkön ja lämmön tuotanto, Suomen virallinen tilasto (SVT), verkkosivu. Saatavissa (viitattu 20.3.2021):
http://www.stat.fi/til/salatuo/2019/salatuo_2019_2020-11-03_kuv_001_fi.html
- [36] Sähkömarkkinat, Työ- ja elinkeinoministeriö, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 28.3.2021): <https://tem.fi/sahkomarkkinat>
- [37] Partanen, J., Annala, S., Lassila, J., Honkapuro, S., Sähkömarkkinat-opetusmoniste, Lappeenrannan-Lahden teknillinen Yliopisto (LUT), 2020, 88 s. Saatavissa:
<https://moodle.tuni.fi/pluginfile.php/724585/course/section/89012/S%C3%A4hk%C3%B6markkinat-opetusmoniste%202020%20-%20julkaistu%20versio.pdf>
- [38] Sähkön vähittäismarkkinat, Energiavirasto, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 28.3.2021): <https://energiavirasto.fi/sahkomarkkinat>
- [39] National Report 2019 to the Agency for the Cooperation of Energy Regulators and to the European Commission, Energiavirasto, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 28.3.2021):
<https://energiavirasto.fi/documents/11120570/13026619/National+Report+2020+Finland.pdf/7fb2df66-cf5e-ecf5-22a2-635077b6297a/National+Report+2020+Finland.pdf?t=1594791637682>

- [40] Valuuttamuunnin -Australian dollari, Valuuttakurssit-Euro, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 11.3.2021): <https://valuuttakurssit-euro.fi/valuuttamuunnin/AUD/>
- [41] Dodd, T. & Nelson, T. (2019) Trials and tribulations of market responses to climate change: Insight through the transformation of the Australian electricity market. *Australian journal of management*. [Online] 44 (4), 614–631.
- [42] Simshauser, T. (2019) Climate change policy discontinuity and its effects on Australia's national electricity market. *Australian journal of public administration*. [Online] 78 (1), 17–36.
- [43] Blakers, A. et al. (2017) 100% renewable electricity in Australia. *Energy (Oxford)*. [Online] 133471–482.
- [44] Nelson, J. (2020) Australia's National Electricity Market: Financing the transition. *The Electricity journal*. [Online] 33 (9), 106834–.
- [45] Nelson, T. (2018) The future of electricity generation in Australia: A case study of New South Wales. *The Electricity journal*. [Online] 31 (1), 42–50.
- [46] Modernising Australia's Electricity Grid, Engineers Australia, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 28.3.2021): <https://www.aph.gov.au/DocumentStore.ashx?id=cffa564d-c99b-4aa6-8d6e-dfa776fc5f33&subId=510885>.
- [47] Lovell, H. (2019) The promise of smart grids. *Local environment*. [Online] 24 (7), 580–594.
- [48] Haidar, A. M. . et al. (2015) Smart Grid and its future perspectives in Australia. *Renewable & sustainable energy reviews*. [Online] 511375–1389.
- [49] Smart Grids and Smart Meters, Australian Privacy Foundation, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 28.3.2021): <https://privacy.org.au/policies/smart-grids/>
- [50] Australian energy options: nuclear, Parliament of Australia, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 28.3.2021): https://www.aph.gov.au/About_Parliament/Parliamentary_Departments/Parliamentary_Library/pubs/rp/rp2021/AustralianElectricityOptionsNuclear
- [51] Hong, S. et al. (2014) Nuclear power can reduce emissions and maintain a strong economy: Rating Australia's optimal future electricity-generation mix by technologies and policies. *Applied energy*. [Online] 136712–725.
- [52] Bird, D. K. et al. (2014) Nuclear power in Australia: A comparative analysis of public opinion regarding climate change and the Fukushima disaster. *Energy policy*. [Online] 65644–653.