



Roves – Energiaomavarainen yrittäjäyhteisö ”eRoves”

loppuraportti 16.9.2020

LAKEUDEN ETAPPI

Sami Tuomisto



ETELÄ-POHJANMAAN LIITTO
REGIONAL COUNCIL OF SOUTH OSTROBOTHANIA

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



SISÄLLYSLUETTELO	SIVU
SISÄLLYSLUETTELO	2
LYHENNELUETTELO	7
TIIVISTELMÄ	8
1 JOHDANTO	9
2 RAHKOLAN TEOLLISUUSALUE	12
3 UUSIUTUVAT ENERGIANLÄHTEET	13
3.1 Aurinkoenergia	13
3.2 Vesivoima	14
3.3 Tuulivoima	14
3.4 Palaminen ja hiilidioksidipäästöt	15
3.5 Metaani	16
3.6 Maakaasu	16
3.7 Biokaasu	17
3.8 Kaatopaikkakaasu	18
3.9 Nestemäiset biopolttoaineet	19
3.10 Kiinteät biopolttoaineet	19
4 UUSIUTUVAN ENERGIAN TUOTANTO	20
4.1 Yhdistetty lämmön- ja sähköntuotanto	20
4.1.1 Suuren kokoluokan CHP- laitokset	21

4.1.2	Pien- ja mikro- CHP- laitokset	22
4.2	Aurinkoenergia	23
4.2.1	Aurinkosähkö	24
4.2.2	Aurinkolämpö	28
4.3	Tuulivoima	29
4.3.1	Pientuulivoima	31
4.4	Lämpöpumput	35
4.4.1	Maalämpöpumppu	36
4.4.2	Lämpöpumpun muita sovelluksia	37
4.5	Uusiutuvan energiantuotannon tekniikat tulevaisuudessa	37
4.5.1	ORC- turbiiniteknologia	38
4.5.2	Polttokennot	38
4.5.3	Stirling moottori	38
4.5.4	Geoterminen energia	39
5	UUSIUTUVAN ENERGIAN JAKELU	41
5.1	Lämpöverkot ja niihin liittyvä lainsäädäntö	42
5.2	Sähköverkot ja niihin liittyvä lainsäädäntö	44
5.2.1	Verkkoyhtiöiden tehtävä	46
5.2.2	Jakeluverkko	46
5.2.3	Jakeluverkon sähköverkkolupa	46
5.2.4	Jakeluverkon rakentaminen	47
5.2.5	Suljettu jakeluverkko	48
5.2.6	Suljetun jakeluverkon sähköverkkolupa	49
5.2.7	Suljetun jakeluverkon rakentaminen	49
5.2.8	Kiinteistöverkko	49

5.2.9	Kiinteistöverkon vaatimat luvat	50
5.2.10	Kiinteistöverkon rakentaminen	50
5.2.11	Tasevastuu	51
5.2.12	Taseselvitys	51
5.2.13	Sähkön mittaus	51
5.2.14	Sähköntoimittajan valinta	51
5.2.15	Sähköverkkoon syötettävän sähkön tuotanto	52
5.3	Muut energianjakelun tavat	53
5.3.1	Biokaasu	53
5.3.2	Nestemäiset biopolttoaineet	53
5.3.3	Kiinteät biopolttoaineet	54
6	UUSIUTUVAN ENERGIAN VARASTOINTI	55
6.1	Lämmön varastointi	56
6.2	Sähkön varastointi	57
6.2.1	Akkuvarastot	59
6.2.2	Pumppuvoimalaitokset	62
6.2.3	Aurinkolämpövoimalaitokset	63
6.2.4	Mekaaniset ja pneumaattiset energiavarastot	64
6.2.5	Superkondensaattorit	65
6.2.6	Vetyenergiavarastot	65
6.2.7	Power-to-gas	66
7	UUSIUTUVAN ENERGIAN TUOTANTO RAHKOLAN ALUEELLA	67
7.1	Tuulivoima	67
7.2	Aurinkosähkö	68
7.3	Biomassat	69

7.4	Kaatopaikkakaasu	70
7.5	Muut mahdolliset tavat tuottaa uusiutuvaa energiaa alueella	71
8	UUSIUTUVAN ENERGIAN JAKELU RAHKOLAN ALUEELLA	72
8.1	Lämmönjakelu	72
8.2	Sähkönjakelu	73
8.2.1	Kiinteistöverkko	73
8.2.2	Suljettu jakeluverkko	73
8.2.3	Perinteinen jakeluverkko	74
8.2.4	Sähköverkkotoimintaan liittyvien tahojen intressit	75
8.2.5	Älyverkkotyöryhmän ehdottama sähkönsiirron erillislinja	77
8.2.6	Sähkönjakelun vaihtoehdot Rahkolan alueella	78
8.3	Uusiutuvan energian tuotantoa ja jakelua tukeva energiaverkko Rahkolassa	79
9	UUSIUTUVAN ENERGIAN VARASTOINTI RAHKOLAN ALUEELLA	81
9.1	Lämmön varastointi	81
9.2	Sähkön varastointi	81
9.3	Muut energian varastoinnin tavat	82
10	ENERGIANTUOTANNON LIIKETOIMINTAMAHDOLLISUUDET	83
11	ALUEELLE SIJOITTUVAN YRITYSTOIMINNAN KRITEERIT	85
12	SEINÄJOEN KIERRÄTYSASEMAN ENERGIARATKAISU	86
12.1	Hybridivoimalan sähköntuotto	86
12.2	Taloudellinen tarkastelu	89
13	RAHKOLAN ALUEEN ENERGIANTUOTANNON MALLI	92
13.1	Vaihe 1, kiinteistökohtainen energiantuotanto	92

13.2	Vaihe 2, alueen lämpöverkko	93
13.3	Vaihe 3, alueen mikroverkko	94
13.4	Vaihe 4, alueen keskitetty energiantuotanto	94
14	ENERGIARATKAISUJEN SOVELTUMINEN MUIHIN KÄYTTÖKOHTEISIIN 95	
15	TEHTYJEN HAVAINTOJEN SOVELTAMINEN KAAVOITUKSESSA	96
16	POHDINTA	98
17	JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOTOIMENPITEET	100
18	YHTEENVETO	102
19	HANKKEEN ARVIOINTI	106
	LÄHDELUETTELO	107

LYHENNELUETTELO

Lyhenteet

CH ₄	Metaani
CHP	Yhdistetty lämmön- ja sähköntuotanto (Compined Heat and Power)
COP	Lämpöpumpun lämpökerroin (COP, Coefficient Of Power)
ECE	Ulkoisen palamisen lämpövoimakone (External Combustion Engine)
ICE	Sisäisen palamisen lämpövoimakone (Internal Combustion Engine)
KAISU	Keskipitkän Aikavälin Ilmastosuunnitelma
ORC	ORC- prosessi (ORC, Organic Rankine Cycle)
SCOP	Lämpöpumpun vuosilämpökerroin (SCOP, Seasonal Coefficient Of Power)

LAKEUDEN ETAPPI

Raportin nimi:	Roves – Energiaomavarainen yritys yhteisö ”eRoves” loppuraportti
Raportin laatija:	Sami Tuomisto
Hankkeen nimi:	Roves – Energiaomavarainen yritys yhteisö ”eRoves”
Hankekoodi:	A73879
Hankkeen aloitus:	09/2018
Hankkeen valmistuminen:	05/2020
Sivumäärä: 120	

TIIVISTELMÄ

eRoves hankkeen tarkoitus oli tutkia voidaanko Seinäjoen kaupungin Rahkolan alueelle toteuttaa energiaomavarainen yritys yhteisö. Tehty tutkimus on suoritettu lähinnä kirjallisuustutkimuksena, koska aiheesta oli saatavilla melko paljon aikaisempaa tutkimustietoa.

Tehtyjen selvitysten perusteella energiaomavarainen yritys yhteisö on teknisesti mahdollista toteuttaa. Suurin este toteutukselle liittyy sähköverkkotoimintaa sääntelevään sähkömarkkinalakiin. Voimassa oleva sähkömarkkinalaki ei käytännössä mahdollista kustannustehokkaasti toimivan sähköverkon perustamista Rahkolan alueelle.

Sähkön kustannustehokas ja toimintavarma saatavuus on minkä tahansa teollisuusalueen toiminnan perusedellytys. Koska energian paikallisen pientuotannon täytyy olla hinnaltaan kilpailukykyistä, tulisi alueen uusiutuvan energiantuotannon energiansiirtoverkkojen toimia mahdollisimman kustannustehokkaasti, myös sähköverkon osalta. Tehtyjen selvitysten perusteella nykyinen sähkömarkkinalaki asettaa sähköntuotannon Rahkolan alueella kuitenkin samaan asemaan, kuin sähkön tuotannon alueen ulkopuolella. Sähkön tuotanto Rahkolassa onkin käytännössä yhtä kannattavaa tai kannattamatonta, kuin missä tahansa Rahkolan alueen ulkopuolella.

Sähkömarkkinalakia ollaan mitä ilmeisimmin muuttamassa energiaomavaraisten yritysalueiden mikroverkot paremmin sallivaksi. Tätä kirjoitettaessa muutoksen sisällöstä ei kuitenkaan vielä ole tietoa. Sähkömarkkinalain tulevien muutosten ollessa epäselviä, liittyy energiaomavaraisten yritys yhteisöjen toteuttamiseen paljon epävarmuustekijöitä. Epävarmuustekijöistä johtuen toteutuksen taloudellista tarkastelua ei ole tässä hankkeessa ole tehty.

AVAINSANAT: eRoves, uusiutuva energia, biopolttoaineet, kiertotalous

1 JOHDANTO

Ilmastonmuutoksen torjuminen ja maapallon keskilämpötilan nousun hillitseminen vaativat ihmiskunnalta mittavia toimia. Vuonna 2018 maailmalaajuiset kasvihuonekaasupäästöt nousivat uuteen ennetykseen, ollen 55,3 gigatonnia vuodessa. Maailmanlaajuisista kasvihuonekaasupäästöistä noin 71 % on peräisin energiantuotannosta. Energiantuotanto on siis merkittävin kasvihuonekaasujen tuottaja maailmassa. Fossiilisten polttoaineiden korvaaminen uusiutuvilla hiilineutraaleilla energianlähteillä onkin tehokas tapa vähentää energiantuotannon kasvihuonepäästöjä.

Tämä loppuraportti liittyy Lakeuden Etapin eRoves ”energiaomavarainen yritys yhteisö hankkeeseen. Hankkeen tarkoitus oli selvittää Seinäjoen kaupungin Rahkolan alueen mahdollisuuksia tuottaa, siirtää sekä käyttää uusiutuvaa energiaa. Hankkeessa tutkittiin sitä onko energiaomavaraisen yritys yhteisön toteuttaminen Rahkolan alueelle nykyteknikalla ja nykyisen lainsäädännön mukaan mahdollista.

Hankkeen aikana toteutettiin mm. seuraavat toimenpiteet:

1. Selvitettiin nykyiset markkinoilla olevat vaihtoehdot uusiutuvan energian tuotantoon, varastointiin sekä jakeluun alueella.
2. Selvitettiin mahdollisuudet tuottaa uusiutuvaa energiaa alueella, kiinteistökohtaisesti sekä keskitetysti.
3. Selvitettiin mahdollisuudet varastoida uusiutuvaa energiaa alueella.
4. Selvitettiin mahdollisuudet energian jakelun toteuttamiseksi alueella.
5. Tutkittiin alueelle tavoiteltavan yritystoiminnan kriteereitä.
6. Tutkittiin lyhyesti uusiutuvan energian tuotantoon liittyviä liiketoimintamahdollisuuksia ja toiminnan taloudellista kannattavuutta.
7. Tehtiin Seinäjoen kaupungille selvitys uusiutuvan energiantuotannon ympäristövaikutuksista Lakeuden Etapin Seinäjoelle rakennettavan uuden kierrätysaseman osalta.
8. Suunniteltiin uusiutuvaa energiaa hyödyntävä energiaratkaisu Lakeuden Etapin Seinäjoen uudelle kierrätysasemalle.

9. Selvitettiin lyhyesti uusiutuvien energiaratkaisujen soveltuvuus Lakeuden Etapin muilla toimipisteillä.

Hankkeessa tehtyjen selvitysten tekemiseen oli käytettävissä runsaasti aikaisempaa tutkimustietoa, esimerkiksi energiayhteisöihin ja uusiutuvan energian tuotantoon liittyen. Tästä syystä hanke toteutettiin lähinnä kirjallisuustutkimuksena aikaisempaa tutkimusta hyödyntäen, eikä erillisiä konsulttien toteuttamia selvitystöitä siksi tarvittu hankkeen toteuttamisessa.

Hankkeessa tutkittiin Seinäjoella sijaitsevaa Rahkolan aluetta ja mahdollisuuksia perustaa energiaomavarainen yritysyhteisö alueelle. Rahkolan alueella ei ole mitään erityisiä uusiutuvan energian lähteitä tai mitään muutakaan erityistä, mikä tekisi alueesta uusiutuvan energian tuotantoon erityisen hyvin soveltuvan, tai täysin soveltumattoman. Tässä loppuraportissa tehdyt havainnot ja selvitykset soveltuvat suurelta osin mille tahansa teollisuusalueelle Suomessa. Tehdyt havainnot ja selvitykset auttavat osaltaan energiaomavaraisen yritysyhteisön suunnittelijoita tiedostamaan aiheeseen liittyvät mahdollisuuden, ja myös ongelmat jo suunnitteluvaiheessa.

Luvussa 2 on Rahkolan alueen lyhyt esittely. Luvussa 3 perehdytään siihen, mitä uusiutuvat energianlähteet ovat. Luvussa 4 käsitellään uusiutuvan energian tuotantoa. Luvussa 5 perehdytään uusiutuvan energian jakeluun ja jakelutekniikoihin. Luvussa 6 käsitellään uusiutuvan energian varastoinnin tekniikoita. Uusiutuvan energian tuotantoon Rahkolan alueella perehdytään luvussa 7. Luku 8 käsittelee uusiutuvan energian jakelutapoja Rahkolan alueella. Luvussa 9 käsitellään uusiutuvan energian varastointia Rahkolan alueella. Energiantuotannon liiketoimintamahdollisuuksia käsitellään lyhyesti luvussa 10. Luvussa 11 on lueteltu muutamia alueelle sijoittuvan yritystoiminnan peruskriteereitä. Lakeuden Etapin uuden Seinäjoen kierrätysaseman energiaratkaisu on esitelty luvussa 12. Luvussa 13 on esitelty yksi mahdollinen energiantuotannon malli Rahkolan alueelle. Luku 14 käsittelee tässä loppuraportissa esitettyjen energiantuotannon ratkaisujen käyttökelpoisuutta Lakeuden Etapin kierrätysasemilla. Luku 15 käsittelee hankkeessa tehtyjen havaintojen soveltamista Rahkolan alueen kaavoituksessa. Luvussa 16 on pohdita. Luvussa 17 on

kerrottu hankkeen johtopäätökset ja suositeltavat jatkotoimenpiteet . Luvussa 18 on raportin yhteenveto. Luvussa 19 on puolestaan hankkeen lyhyt arviointi.

2 RAHKOLAN TEOLLISUUSALUE

3 UUSIUTUVAT ENERGIANLÄHTEET

Uusiutuvaksi energiaksi kutsutaan energianlähteitä, joita voidaan käytännössä pitää loppumattomina. Uusiutuvan energian lähteitä ovat mm. aurinkoenergia, vesi- ja tuulivoima, puuperäiset polttoaineet, nestemäiset biopolttoaineet, biokaasu sekä geoenergia. Vesi- ja tuulivoima syntyvät auringon säteilyenergian vaikutuksesta ja myös puuperäisten biopolttoaineiden syntyyn tarvitaan auringon säteilyenergiaa. Nestemäisiä biopolttoaineita tuotetaan esimerkiksi kotitalousjätteistä ja biokaasua esimerkiksi eläinten lannasta tai biojätteistä. Uusiutuvien energianlähteiden hyödyntäminen ei biopolttoaineiden polttoa lukuun ottamatta tuota kasvihuonekaasuja. Suomessa uusiutuvilla energianlähteillä tuotetaan noin 25 % energiasta (Ilmasto-opas.fi 2020c: 5)

Tässä luvussa käsitellään lyhyesti aurinkoenergiaa, vesi- ja tuulivoimaa, palamista ja hiilidioksidipäästöjä sekä uusiutuvan energian tuottamisessa käytettäviä polttoaineita ja niiden erityispiirteitä.

3.1 Aurinkoenergia

Suomessa aurinkoenergian tuotantopotentiaali on Keski-Euroopan maiden tasolla, valoisin kesän kompensoidessa talven pimeää jaksoa. Suomen etuna Keski-Euroopan maihin verrattuna on matalampi ympäristön lämpötila, joka nostaa aurinkokennojen hyötysuhdetta. Auringon energian talteenotto onnistuu myös talvella, esimerkiksi julkisivuihin tehtyjen matalalla olevan auringon energiaa hyvin keräävien ratkaisujen avulla. Aurinkoenergiaratkaisut voivat olla osa julkisivua, jolloin järjestelmän rakentaminen säästää osaltaan julkisivumateriaalien hankinnassa. (LUT University 2019) Tietoa auringon säteilytehon määrästä Suomessa on saatavilla Euroopan Unionin ylläpitämästä Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) järjestelmästä. PVGIS- järjestelmässä voidaan esimerkiksi määrittää aurinkosähköjärjestelmän vuosituotto valitulla alueella. (European Commission 2020)

3.2 Vesivoima

Vuonna 2016 vesivoiman osuus Suomen energiantuotannosta oli noin 4 prosenttia . Sähkön tuotannossa vesivoiman osuus vaihtelee välillä 12–16 prosenttia vesimääristä riippuen. Suomessa vesivoimaloita on noin 250 kpl ja koko vesivoimakapasiteetti on noin 3200 MW. Vesivoiman hyödyntäminen vaatii soveltuvien vesistöjen olemassaoloa ja vaikka lähes kaikki suurimmat kohteet onkin jo rakennettu, löytyy soveltuvia kohteita edelleen. Vesivoiman rakentamisen esteenä on soveltuvien kohteiden vähäisyyden lisäksi myös ympäristönsuojelulliset syyt. Edellä mainituista syistä johtuen vesivoiman merkittävä lisärakentaminen tulevaisuuden Suomessa onkin epätodennäköistä. (Motiva 2017)

3.3 Tuulivoima

Tuulivoima soveltuu hyvin Suomen rannikoille, merialueille, tuntureille, sekä alueesta riippuen myös sisämaahan. Tuulivoiman tuotanto on huipussaan tuulisten talvikuukausien aikana ja tuulivoima toimii hyvin aurinkosähkön kanssa, kompensoiden aurinkosähkön tuotannon hiipumista pimeinä vuodenaikoina. Tuulivoimalat ovat kooltaan tyyppillisesti luokkaa 2–3 MW, mutta suurempiakin laitoksia on olemassa (Motiva 2019c). Tuulivoimalan tuoton laskennassa voidaan hyödyntää Suomen tuuliatlas tuulienergiakartaston sisältämää aluekohtaisia tuulitietoja. Tuuliatlaksesta löytyy aluekohtaiset laskennalliset tuulitiedot 50–400 metrin korkeudessa. Sen avulla voidaan esimerkiksi tarkastella tietyn alueen tuulitietoja eri kuukausina. (Suomen tuuliatlas 2020)

Tuulivoima on päästötön energiantuotantomuoto, mutta silti sen aiheuttamista ympäristöhaitoista on viime aikoina käyty paljon keskustelua. Tuulivoimaloiden ympäristöhaittoja ovat mm. maisemahaitat, tuuliturbiinien aiheuttama melu sekä turbiinin lapojen aiheuttama välkkyminen. Tuuliturbiinien melun aiheuttamista terveysvaikutuksista on käyty paljon keskustelua, mutta suoraa näyttöä terveysvaikutuksista ei kuitenkaan ole olemassa (Terveystieteiden tutkimuskeskus ja hyvinvoinnin tutkimuskeskus 2020). Ympäristöhaittoja voidaan vähentää voimalaitosten koon valinnalla ja voimalaitosten suunnittelulla. Ympäristöhaittoja voidaan

vähentää myös tuulivoimalojen sijoitusalueiden oikealla valinnalla. (Terveiden ja hyvinvoinnin laitos 2020; Suomen Tuulivoimayhdistys 2020c)

3.4 Palaminen ja hiilidioksidipäästöt

Palaminen on aineen kemiallista reagenttia hapen kanssa. Reaktiossa hiilestä ja hapesta syntyy hiilidioksidia sekä lämpöä ja vedystä ja hapesta vettä sekä lämpöä. Ideaalitilanteessa – palotapahtuman ollessa täydellinen – palamisessa ei hiilidioksidin ja veden lisäksi synny muita palamistuotteita. (European Chemistry Thematic Network 2020)

Hiilidioksidi on palamisen tuote ja sitä syntyy palamisessa aina. Syntyvän hiilidioksidin määrä riippuu suoraan poltettavan polttoaineen määrästä. Hiilidioksidin määrää voidaan pienentää ainoastaan poltettavan polttoaineen määrää pienentämällä. Käytännössä poltettavan polttoaineen määrän pienentäminen voidaan tehdä laitteiston hyötysuhdetta parantamalla, esimerkiksi hukkalämmön osuutta pienentämällä. Käytännön sovelluksissa palaminen ei ole täydellistä ja palakaasut sisältävät hiilidioksidin ja veden lisäksi päästökäkomponentteja, kuten häkää, palamattomia hiilivetyjä, typenoksideja, rikkioksideja sekä kiintoaïnehiukkasia. Palamisessa syntyvien päästökäkomponenttien määrää voidaan pienentää poltettavan polttoaineen määrää vähentämällä, palotapahtuman optimoinnilla sekä polttoaineen laatua parantamalla. (Tuomisto 2019: 23)

Fossiilisten polttoaineiden hiili on peräisin eloperäisestä materiaalista, joka on vuosimiljoonien aikana kerääntynyt raakaöljy-, hiili- ja maakaasuesiintymiin. Fossiilisten polttoaineiden polttamisessa ongelmallista on, että maaperään pitkän ajan kuluessa varastoitunut hiili pääsee polton yhteydessä jälleen ilmakehään hiilidioksidina. Toisin sanoen ilmastojärjestelmän hiilidioksiditasapaino häiriintyy ja hiilidioksidipitoisuus ilmakehässä kasvaa fossiilisten polttoaineiden polttamisen seurauksena. (Ilmasto-opas.fi 2020a)

Uusiutuvien biopolttoaineiden sisältämä hiili muuttuu poltossa – fossiilisten polttoaineiden tapaan – hiilidioksidiksi ja vapautuu ilmakehään. Esimerkkinä uusiutuvasta biopolttoaineesta voidaan mainita puu. Puun poltossa ilmakehään vapautuva hiilidioksidi poistuu

ilmakehästä uuden puumassan kasvaessa. Fossiilisista polttoaineista poiketen biopolttoaineita poltettaessa ilmakehän hiilidioksidipitoisuus pysyy siis tasapainossa, kunhan uutta puuta kasvaa poltetun tilalle samassa suhteessa. (Ilmasto-opas.fi 2020a)

Maapallon tärkeimpinä hiilinieluinä toimivat meret ja metsät. Lisäksi hiilidioksidia varastoituu leviin, kasveihin ja maaperään. Suomessa tärkeimpinä hiilinieluinä toimivat noin puolet Suomen kokonaishiilidioksidipäästöistä kattavat metsät. Fossiilisten polttoaineiden polttamisen ohella merkittävin ilmakehän hiilidioksidipitoisuutta lisäävä tekijä onkin hiilinieluinä toimivien metsien hakkuut. (Maa- ja metsätalousministeriö 2020)

3.5 Metaani

Metaani on yksinkertaisin hiilivety ja se koostuu yhdestä hiiliatomista ja siihen liittyneistä neljästä vetyatomista. Metaani syntyy eloperäisen aineksen hajotessa hapettomissa olosuhteissa. Metaani on hiilioksidin jälkeen toiseksi merkittävin kasvihuonekaasu ja hiilioksidin verrattuna metaanin ilmastoa lämmittävä vaikutus lyhyellä aikavälillä on moninkertainen (Ilmasto-opas.fi 2020b). Metaani on siis voimakas, mutta lyhytkestoinen kasvihuonekaasu. Metaanin yksinkertaisen molekyyliarakenteen ansiosta hiukkasia syntyy palamisessa huomattavasti vähemmän esimerkiksi dieselpolttoaineeseen ja kaasuöljyyn verrattuna. Puhtaan metaanin lämpöarvo on luokkaa 50–55 MJ/kg (World Nuclear Association 2018).

3.6 Maakaasu

Maakaasu on fossiilinen polttoaine, eikä siten kuulu uusiutuviin energianlähteisiin. Maakaasun ominaisuudet ovat hyvin samankaltaisia rikastetun biokaasun kanssa. Maakaasua voidaankin käyttää korvaavana energianlähteenä biokaasulaitteistoissa, esimerkiksi silloin kun biokaasua ei ole saatavilla. Maakaasu sisältää 80–90 % metaania, loppuosan ollessa mm. etaania, butaania, hiilidioksidia ja typpeä. Paineistetun maakaasun tehollinen lämpöarvo on luokkaa 34–39 MJ/m³ tuotantoalueesta riippuen. Nesteytetyn maakaasun

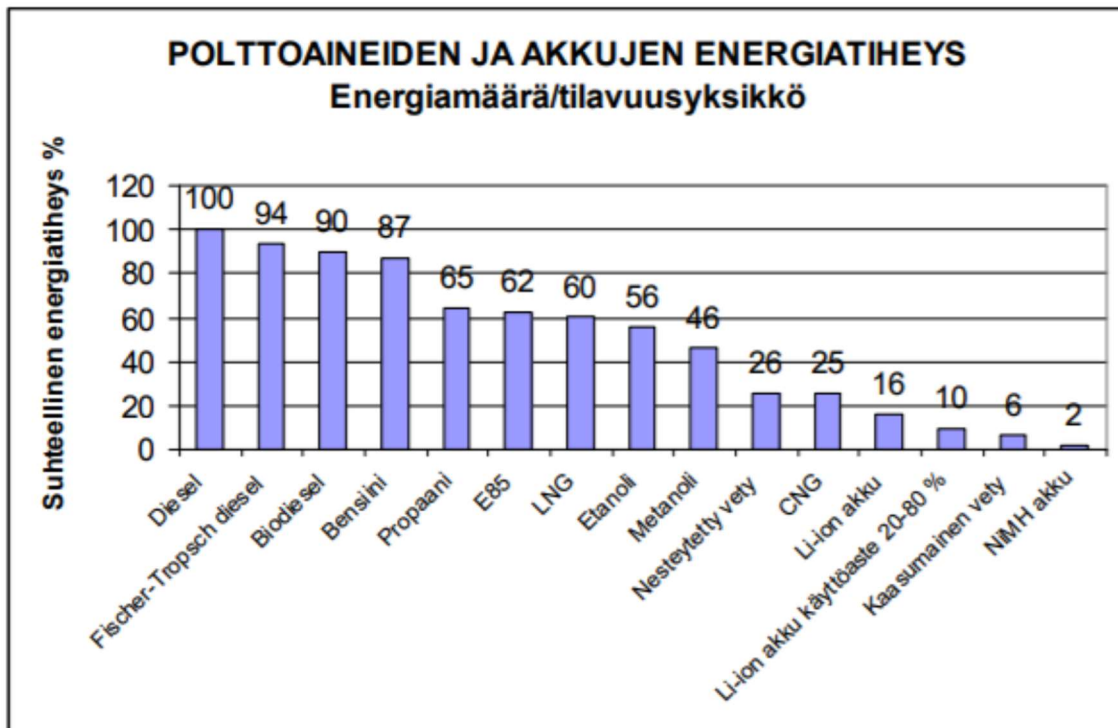
lämpöarvo on puolestaan luokkaa 55 MJ/kg (World Nuclear Association 2018). Maakaasua voidaan käyttää sellaisenaan polttoaineena kattilalaitoksissa, mikroturbiineissa, kaasumootoreissa sekä yhdistetyssä lämmön- ja sähköntuotannossa.

3.7 Biokaasu

Käsittelemättömän biokaasun metaanipitoisuus on maakaasua alhaisempi, ja se sisältää runsaasti kaasun energiasisältöä laskevia inerttejä kaasuja, kuten typpeä ja hiilidioksidia. Käsittelemätön biokaasu sisältää myös epäpuhtauksia, kuten siloksaatteja, ammoniakkia ja rikkiä. Sen lämpöarvo on maakaasua alhaisempi. Rikastamatonta biokaasua voidaan käyttää kattilalaitoksissa ja mikroturbiineissa. Mikroturbiinikäyttö vaatii kuitenkin kaasun puhdistamisen ja kuivaamisen. Biokaasu täytyy puhdistaa ja rikastaa poistamalla hiilioksidi ja epäpuhtaudet kaasusta, ennen kuin sitä voidaan käyttää polttoaineena esimerkiksi liikennekäytössä. (Söderena 2017:12)

Paineistetun raakabiokaasun lämpöarvo on luokkaa 14,4–21,6 MJ/m³. Rikastettu biokaasu muistuttaa ominaisuuksiltaan maakaasua, ja sen lämpöarvo on maakaasun kanssa samaa tasoa tai vähän pienempi (Turunen & Niemi 2002: 612).

Paineistetun maakaasun energiatiheys on vain noin 25 % dieselpolttoaineen ja kaasuöljyn energiatiheystä. Nesteytetyn maakaasun energiatiheys on korkeampi, noin 60 % dieselpolttoaineen ja kaasuöljyn energiatiheystä (Nylund ym. 2010). Rikastetun biokaasun energiatiheys vastaa hyvällä tarkkuudella maakaasun energiatheyttä. Kuvassa 2 on esitetty puristetun ja nesteytetyn maakaasun suhteellinen energiatiheys dieselpolttoaineisiin verrattuna.



Kuva 2. Puristetun ja nesteytetyn maakaasun suhteellinen energiatiheys dieselpolttoaineisiin nähden (Nylund ym. 2010: 22).

3.8 Kaatopaikkakaasu

Kaatopaikkakaasu koostuu jätteen – aerobisessa sekä anaerobisessa – hajoamisessa muodostuvista kaasuista, kuten metaanista, hiilidioksidista, typestä, vedystä, ammoniakista, rikistä ja hapestä. Kaatopaikkakaasussa on pieninä määrinä myös muita eloperäisen aineksen hapettomassa hajoamisessa muodostuvia kaasuja. (New York State – Department of Health 2020) Rikastetun kaatopaikkakaasun lämpöarvo on rikastetun biokaasun kanssa samaa luokkaa (World Environmental Library 2020). Biokaasun tapaan kaatopaikkakaasua voidaan käyttää sellaisenaan kattilalaitoksissa. Ja puhdistettuna mm. mikroturbiineissa. Liikennekäytössä kaatopaikkakaasu on puhdistuksen lisäksi rikastettava suuremman energiatheyden saavuttamiseksi.

3.9 Nestemäiset biopolttoaineet

Nestemäisiä biopolttoaineita voidaan tuottaa erilaisista biomassoista usealla tuotantotekniikalla. Tyypillisiä nestemäisiä biopolttoaineita ovat bioetanoli ja biodieselöljy (Motiva 2020f). Nestemäiset biopolttoaineet soveltuvat hyvin liikennepolttoaineiksi niiden korkean energiasisällön ansiosta (Kuva 2.). Nestemäiset biopolttoaineet soveltuvat polttoaineiksi myös kattilalaitoksiin, kaasuturbiineihin ja polttomootoreihin.

3.10 Kiinteät biopolttoaineet

Kiinteitä biopolttoaineita ovat esimerkiksi polttopuu, briketit, pelletit, puuhake ja -murske, kuori, sahanpuru, kutterinlastut ja energiajyvät. Kiinteät polttoaineet soveltuvat polttoaineeksi mm. kattilalaitoksiin, höyryturbiineille ja muihin ulkoista palamista hyödyntäviin lämpövoimakoneisiin (Ravinne ja energia 2020). Kiinteiden biopolttoaineiden lämpöarvo vaihtelee suuresti luokkaa 6–20 MJ/kg polttoaineesta riippuen.

4 UUSIUTUVAN ENERGIAN TUOTANTO

Suomalaisen energia- ja ilmastostrategian tavoitteena on nostaa uusiutuvan energian osuus loppukulutuksesta yli 50 prosenttiin 2020- luvun aikana. Vuonna 2016 päivitetyn energia- ja ilmastostrategian lisäksi uusiutuvien energianlähteiden käyttöä pyritään lisäämään syyskuussa 2017 hyväksytyn keskipitkän aikavälin ilmastosuunnitelman (KAISU) avulla. KAISUUN on kirjattu keinot päästökaupan ulkopuolisen sektorin, kuten liikenteen, maatalouden, lämmityksen ja jätehuollon kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi. (Motiva 2020g)

Uusiutuvaa energiaa voidaan tuottaa monella tavalla. Aurinkosähkö ja -lämpö hyödyntävät suorasti auringon säteilyenergiaa. Tuuli- ja vesivoima puolestaan epäsuorasti. Lisäksi uusiutuvaa energiaa voidaan tuottaa esimerkiksi lämpöpumpuilla ja biopolttoaineita polttamalla.

Tässä luvussa käsitellään uusiutuvan energian yleisesti käytössä olevia tuotantotapoja. Kappaleessa 5.5 luodaan lyhyt katsaus tulevaisuudessa mahdollisesti potentiaalisiin tekniikoihin.

4.1 Yhdistetty lämmön- ja sähköntuotanto

Yhdistetty lämmön- ja sähköntuotanto on energian tuotannon tekniikka, jossa lämpöä ja sähköä tuotetaan yhdistetyssä prosessissa. Energiantuotanto CHP- laitoksissa (Combined Heat and Power) voidaan toteuttaa usealla eri tekniikalla. Uusiutuvia energianlähteitä hyödyntävät tekniikat voivat perustua esimerkiksi höyryturbiineihin ja muihin höyryvoimalaitteisiin tai polttomoottoreihin ja kaasuturbiineihin.

CHP- energiantuotanto voidaan kokonsa perusteella jakaa kolmeen koko luokkaan. Suuren kokoluokan CHP-voimalaitosten nimellisteho on luokkaa yli 10 MW. Pien-CHP- laitoksissa sähköteho on luokkaa 1–2 MW ja lämpöteho luokkaa 3–5 MW. Mikro- CHP- laitosten koko on alle 50 kW. (Micropolis 2013: 4)

CHP- energiantuotanto on tyypillisesti sääolosuhteista ja vuodenaajoista riippumatonta. Sitä voidaan käyttää myös säätövoimana sääolosuhteiden ja vuodenaikojen mukaan vaihtelevan tuuli- ja aurinkoenergian tuotannon vaihteluiden tasaamiseen (Energiateollisuus 2020).

4.1.1 Suuren kokoluokan CHP- laitokset

CHP- energiantuotanto on perinteisesti toteutettu esimerkiksi kivihiiltä tai turvetta polttoaineenaan käyttävissä isoissa teollisuusmittakaavan höyryturbiineilla varustetuissa vastapainehöyryvoimalaitoksissa. Höyryturbiiniprosessi onkin yleisin sähköntuotantoteknologia teholuokassa 10–500 MW_e. Voimalaitoksille tyypillinen suuri koko johtuu mm. siitä, että laitoksen ominaisinvestointi €/kW laskee laitokseen kasvaessa (Huhtinen ym. 2013: 90).

Vastapainehöyryvoimalaitoksessa osa polttoaineen polton yhteydessä syntyvästä lämpöenergiasta muutetaan höyryturbiini – sähkögeneraattorin avulla sähköenergiaksi. Lopputuote syntyvästä lämpöenergiasta syötetään esimerkiksi kaukolämpöverkkoon tai teollisuusprosessiin (Huhtinen ym. 2013: 12). Teollisuusmittakaavan vastapainehöyryvoimalaitoksissa polttoaineena voidaan käyttää esimerkiksi hakkeen ja kivihiilen sekoitusta tai pelkästään biopolttoaineita.

Höyryturbiineissa ja muissa höyryvoimalaitteissa polttoaine poltetaan turbiinin tai höyryvoimalaitteen ulkopuolella. Polttomoottori ja kaasuturbiiniprosesseista poiketen palaminen ja lämmönvaihto tapahtuu höyrykehittimessä. Höyrynkehitin tuottaa korkeapaineista höyryä höyryturbiinille tai esimerkiksi höyrymoottorille. Ulkoisen palamisprosessin ansiosta höyryturbiinien ja muiden höyryvoimalaitteiden polttoaineen vaatimuksen ovat kaasuturbiineihin ja polttomoottoreihin verrattuna vähäisempiä. Päästölainsäädäntö asettaa polttoaineille kuitenkin vaatimuksia myös ulkoisen palamisen lämpövoimakoneissa. (Micropolis 2013: 7–8)

Yhdistetty lämmön ja sähköntuotanto on sähkön erillistuotantoon nähden polttoaineta- loudellisesti kannattavampaa. Tämä johtuu CHP- laitosten korkeammasta hyötysuhteesta pelkkää sähköä tuottaviin laitoksiin nähden (Fortum 2020: 12–14).

4.1.2 Pien- ja mikro- CHP- laitokset

Polttomoottoreihin ja kaasuturbiineihin perustuvissa CHP- laitoksissa lämmön- ja sähköntuotannon tarvitsema energia tuotetaan polttamalla polttoaine polttomoottorissa tai kaasuturbiinissa. Kyseessä on sisäiseen palamiseen perustuva lämpövoimakone.

Pien- CHP- laitosten kokonaishyötysuhde vaihtelee ollen luokkaa 80–95 %. Toisin sanoen käytetyn polttoaineen sisältämästä energiasta 80–95 % voidaan muuttaa lämmöksi ja sähköksi. Loput polttoaineen energiasta kuluu laitoksen häviöihin. Sähkön osuus muunnosta on noin 30 % ja noin 70 % on lämpöä (Micropolis 2013: 4). Edellä esitetyt luvut vaihtelevat käytetystä tekniikasta riippuen. Perussääntö on, että CHP- energiantuotannossa syntyy aina enemmän lämpöä kuin sähköä.

Polttomoottoritekniikalla toteutettujen CHP- laitosten teholuokka on laaja ja moottoritehot vaihtelevat muutamista kymmenistä kilowateista joka 300 megawattiin (Huhtinen ym. 2013: 181). Polttomoottoreilla toteutettuihin CHP- laitoksiin soveltuvia biopolttoaineita ovat, käytetystä moottoritekniikasta riippuen, mm. bio- ja kaatopaikkakaasut, biodieselöljy ja bioetanoli. Biomassoista, kuten puuhakkeesta, voidaan pyrolyysin avulla tuottaa tuotekaasua, jota voidaan niin ikään käyttää polttomoottorilla toteutettujen CHP- laitosten polttoaineena.

Polttomoottoritekniikka on luotettavaa ja edullista rakentaa ja siksi polttomoottoreita käytetään laajasti CHP- voimalaitoksissa. Polttomoottorit ovat mikroturbiineihin verrattuna rakenteeltaan monimutkaisempia. Tämä lisää osaltaan korjauksen ja huollon tarvetta ja siten käyttöön liittyviä kustannuksia. Laitteiston toiminnan takaamiseksi polttomoottoreissa käytetyn polttoaineen tulee olla puhdasta ja tasalaatuista.

Bioetanoli soveltuu kipinäsytytteisten polttomoottorien polttoaineeksi. Biodieselöljyä voidaan puolestaan käyttää puristusyttyteisissä polttomoottoreissa. Bio- ja kaatopaikkakaasua voidaan käyttää sekä dual-fuel, että kipinäsytytteisissä polttomoottoreissa. Dual-fuel moottorit tarvitsevat polttoainekaasun lisäksi dieselöljyä pilottipolttoaineena kaasupolttoaineen syttymisen varmistamiseksi. Pilottipolttoaineena voidaan käyttää biodieselöljyä (Micropolis 2013: 5–6; Tuomisto 2019: 14–21).

Kaasuturbiinivoimalaitoksista puhuttaessa tarkoitetaan useimmiten 0,5–100 MW_e tehoisia voimalaitoksia. Kaasuturbiinivoimalaitoksille soveltuvia biopolttoaineita ovat esimerkiksi bio- ja kaatopaikkakaasu sekä biodieselöljy. Mikroturbiinit ovat kaasuturbiineja, joita hyödyntävien pien- CHP- voimalaitoksien teholuokka on tyylillisesti 1–250 kW_e. Suurempien kaasuturbiinien tapaan mikroturbiinien biopolttoaineina voidaan käyttää sekä nestemäisiä, että kaasumaisia biopolttoaineita, kuten bio- tai kaatopaikkakaasua, tuotekaasua tai biodieselöljyä. (Micropolis 2013: 6)

Mikroturbiinitekniikalla toteutetun pien- CHP- voimalaitoksen hinta on noin kaksinkertainen polttomoottorilla toteutettuun pien- CHP- voimalaitokseen verrattuna. Mikroturbiinitekniikalla toteutettujen CHP- voimalaitosten etu polttomoottori CHP- voimalaitoksiin nähden on niiden kompaktimpi rakenne (Micropolis 2013: 6). Kompaktin rakenteen ansiosta huollettavia komponentteja on vähemmän. Uudet tekniikat – kuten turbiinin ilmalaakerointi – vähentävät huollon tarvetta entisestään. Ilmalaakeroituissa turbiineissa ei käytetä voiteluöljyä lainkaan. Turbiinin voiteluöljytön rakenne vähentää osaltaan huollon tarvetta ja huollosta aiheutuneita kustannuksia sekä vähentää osaltaan myös ympäristön kuormitusta (Turbomachinery Laboratory 2020: 9–10).

4.2 Aurinkoenergia

Energiantuotannossa auringon säteilyenergiaa voidaan hyödyntää passiivisilla ja aktiivisilla järjestelmillä. Passiivisia järjestelmiä ovat esimerkiksi rakennusten sijoittelu siten, että auringon valo pääsee lämmittämään ja valaisemaan rakennuksen sisäosia mahdollisimman tehokkaasti. Aktiivisia järjestelmiä ovat puolestaan aurinkosähkön ja -lämmön

tuotanto aurinkopaneelien ja aurinkolämmönvaihtimien avulla. Eräs aurinkoenergian tuotannon merkittävimpiä ominaisuuksia on se, ettei tuotannossa synny lainkaan hiilidioksidipäästöjä. (Niemi 2017: 4) Tässä raportissa tarkastellaan aurinkoenergiaa aktiivisesti hyödyntäviä järjestelmiä.

4.2.1 Aurinkosähkö

Aurinkoenergian muuntaminen sähköksi aurinkopaneelien avulla on 200–400 kertaa tehokkaampaa, kuin saman auringon säteilyenergiamäärän absorboineen biomassan konvertointi sähköksi voimalaitosprosessissa. Aurinkosähkön osuus Suomen sähköntuotannosta on vain alle prosentti. Verkkoon kytketyn kapasiteetti on vuoden 2016 jälkeen kuitenkin tuplaantunut vuosittain ollen vuonna 2017 yhteensä noin 80 MW. (LUT University 2019)

Aurinkosähköä tuotetaan tyypillisesti yksi tai monikeiteisistä piikennoista rakennettujen aurinkopaneelien avulla. Nykyiset kaupalliset aurinkopaneelitoteutukset perustuvat tähän niin sanottuun ensimmäisen sukupolven aurinkopaneeliteknologiaan. Toisen sukupolven teknologian perustuvat niin ikään piistä tai muista puolijohtavista materiaaleista valmistettuihin ohutkalvoaurinkokennoihin. Vielä tutkimuksen asteella olevat kolmannen sukupolven teknologiat perustuvat puolestaan mm. nanokidekennoihin. (Niemi 2017: 4)

Tyypillisesti 1 kW aurinkokennojärjestelmästä saadaan sähköenergiaa 700–1200 kWh vuoden aikana. Energian tuotto riippuu aurinkokennojen hyötysuhteesta, eli kyvystä muuntaa auringon säteilyenergiaa sähköenergiaksi. Piikidekennoihin perustuvien ensimmäisen sukupolven aurinkokennojen hyötysuhde on luokkaa 9–11 %. Tällä hetkellä paras hyötysuhde on ohutlevykennoilla, joiden hyötysuhde on luokkaa 14–17 %. Aurinkopaneelien hyötysuhde heikkenee ajan myötä, keskimäärin 0,1–0,5 % vuodessa. Aurinkopaneelien takuuajat ovat pitkiä, luokkaa 25 vuotta. (Niemi 2017: 5)

Aurinkopaneelit tuottavat aina tasasähköä, joka järjestelmästä riippuen muunnetaan tarvittaessa vaihtosähköksi invertterin avulla. Elektroniikkaa sisältävien invertterien

käyttöikä ei yleensä ole yllä aurinkopaneelien käyttöiän tasolle ja ne joudutaan tyypillisesti vaihtamaan aurinkopaneelien käyttöiän aikana. (Niemi 2017: 5)

Tässä hetkellä markkinoilla olevien aurinkokennojen nimellisteho on tyypillisesti luokkaa 250–300 W_p. Jännite ja tehotason nostamiseksi yksittäiset aurinkokennot kytketään yleensä isommiksi ryhmiksi. Aurinkopaneelit voidaan kytkeä invertteriin joko isompana ryhmänä tai käyttää paneelikohtaisia mikroinverttereitä. Järjestelmältä vaadittava jännite ja tehotaso saavutetaan aurinkopaneelien kulloiseenkin tarkoitukseen sopivalla kytkentä-kombinaatiolla. (Niemi 2017: 10)

Tyypillisesti aurinkopaneelit asennetaan joko rakennusten katoille (Kuva 3.), seinustoille (Kuva 4.) tai maahan (Kuva 5.). Katto- ja seinäasennus tehdään joko asennustelineiden avulla tai vaihtoehtoisesti voidaan käyttää rakenteisiin integroituja aurinkopaneeleja. Maa-asennus tehdään esimerkiksi ruuvipaaluperustaisten telineiden avulla. Aurinkopaneelit voidaan liittää myös TPO- kestomuovista valmistettuun geomembraaniin liimaamalla tai hitsaamalla. Tällainen aurinkopaneelien kiinnitystapa soveltuu käytettäväksi esimerkiksi suljetuilla kaatopaikoilla. (Niemi 2017: 19)



Kuva 3. Aurinkopaneelien kattoasennus (Aurinkovirta.fi 2020).



Kuva 4. Aurinkopaneelien seinäesennus (Finwind 2020a).



Kuva 5. Aurinkopaneelit maa-asennuksena (Finwind 2020b).

Aurinkopaneelien asennuksessa paneelin paras hyötysuhde saavutetaan suuntaamalla paneeli mahdollisimman tarkasti optimaaliseen säteilykulmaan. Ero vaakatasoon ja optimikulmaan asennettujen aurinkopaneelien vastaanottamassa auringon säteilyenergian määrässä on luokkaa 20–25 %. (Niemi 2017: 8) Käytännössä paneelien suuntaus on useimmiten kompromissi optimikulman ja rakennusteknisesti järkevästi saavutettavan tuloksen välillä. Asennuskulman optimoinnissa tulee huomioida se, etteivät aurinkopaneelit pääsen varjostamaan toisiaan. Paneelien varjostuksesta johtuva varjostushäviö laskee paneelien kykyä absorboida auringon säteilyenergiaa ja heikentää siten paneelien hyötysuhdetta. (Niemi 2017: 9)

Aurinkopaneelien hinnat kattoasennuksessa ovat tyypillisesti luokkaa 0,8–0,9 €/W_p ja maa-asennuksessa luokkaa 0,9–1,25 €/W_p. Hinta sisältää yleensä tarvittavan tehoelektiikan, perustason perustustyön sekä asennuksen. (Hannula 2019)

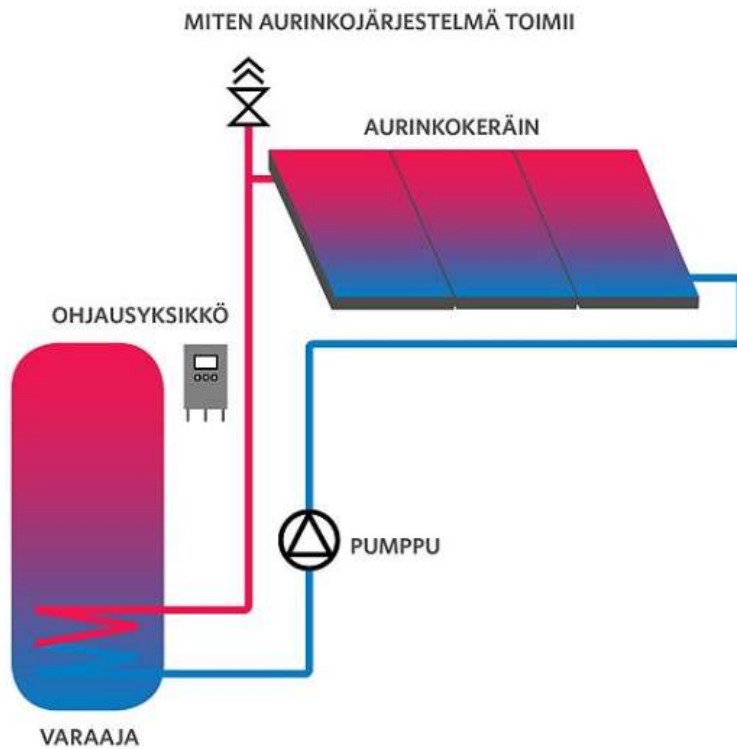
4.2.2 Aurinkolämpö

Aurinkosähkön tapaan myös aurinkolämpö hyödyntää auringon säteilyenergiaa. Aurinkolämmön talteenotto tapahtuu aurinkolämpökeräimien avulla. Aurinkokeräimissä lämmönsiirtoaine voi olla nestettä tai ilmaa. Aurinkolämpökeräin voi olla esimerkiksi tasokeräin tai ns. tyhjiöputkikeräin. Aurinkokeräinten hyötysuhde on aurinkopaneeleja huomattavasti korkeampi, ollen luokkaa 70 % tai ylikin. Järjestelmän kokonaishyötysuhde riippuu kuitenkin useista tekijöistä ja on yleensä pelkän aurinkokeräimen hyötysuhdetta huompi (Motiva 2019a).

Aurinkolämpöjärjestelmässä auringon säteilyenergia lämmittää aurinkolämpökeräimessä kiertävää lämmönsiirtoainetta. Ilmaa lämmönsiirtoaineenaan käyttävillä aurinkolämmönkeräimillä lämmitetään tyypillisesti suoraan sisäilmaa. Nestettä lämmönsiirtoaineena käyttävillä aurinkolämmönkeräimillä voidaan lämmittää käyttövettä tai käyttövettä sekä huonetiloja tai esimerkiksi teollisuuden prosessivettä. (Motiva 2019b: 31)

Nestettä lämmönsiirtoaineena käyttävissä aurinkolämpöjärjestelmissä aurinkolämmönkeräin on tyypillisesti kytketty lämpövaraajaan. Omakotitaloluokan järjestelmissä varaaajan koko on joitakin satoja tai tuhansia litroja ja teollisuuskokoluokan järjestelmissä kymmeniä tuhansia litroja. (Finsolar 2016) Kuvassa 6. on esitetty yksinkertaistettu kaaviokuvan vesivaraajaan kytketystä aurinkolämmönkeräimestä.

Aurinkolämpöjärjestelmän ja asennuksen hinta pienissä järjestelmissä on luokkaa 500–1000 €/keräinneliö ja teollisuuskokoluokan järjestelmissä 280–340 €/keräinneliö (Finsolar 2016).



Kuva 6. Kaaviokuva vesivaraajaan kytketystä aurinkolämmönkeräimestä (Motiva 2019b).

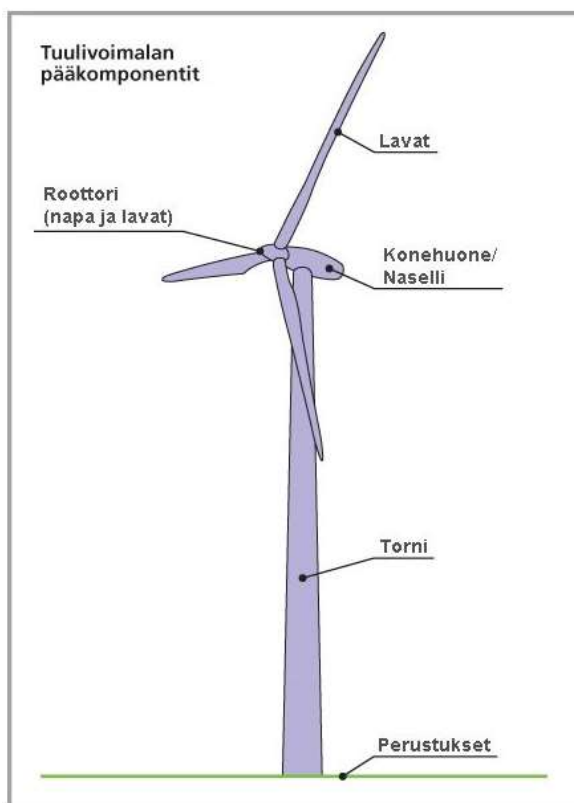
4.3 Tuulivoima

Suomessa tuulivoima on melko uusi energiantuotantomuoto. Tuulivoiman rakentaminen on lisääntynyt viime vuosina ja vuoden 2017 lopussa Suomessa oli 7000 tuulivoimalaa ja kokonaistuotantokapasiteetti 2044 MW. Tuulivoimalla tuotettiin vuonna 2017 noin 5,6 % Suomen sähkönkulutuksesta. (Suomen Tuulivoimayhdistys 2020)

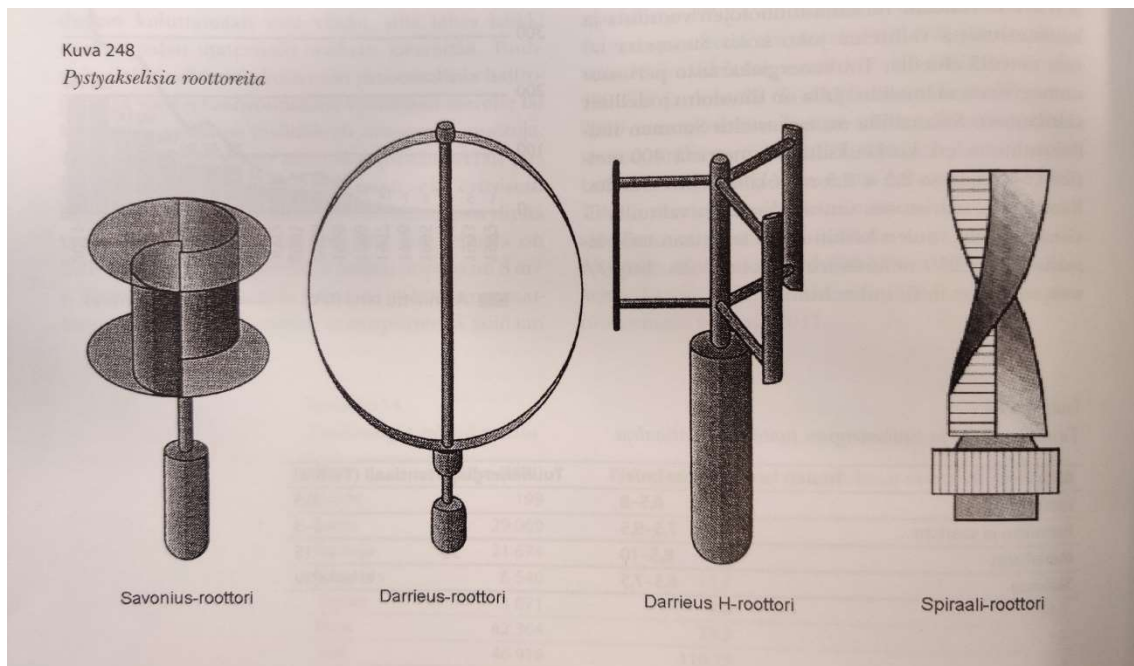
Tuulivoimaa voidaan tuottaa useilla tekniikoilla. Kaikille tekniikoille on yhteistä se, että tuulen liike-energia muunnetaan turbiinin avulla pyörimisliikkeeksi ja edelleen generaattorin avulla sähköenergiaksi. Aurinkoenergian tuotannon tavoin yksi tuulivoiman merkittävimmistä eduista on se, ettei energian tuotannossa synny lainkaan hiilidioksidipäästöjä. Yleisin ja tällä hetkellä lähes ainoa käytössä oleva tuuliturbiinityyppi on kolmilapainen vaaka-akselinen tuuliturbiini (Kuva 7.). Muita selvästi vähemmän käytettyjä tekniikoita

ovat Savonius-roottori, Darrius-roottori, Darrius H-roottori ja Spiraaliroottori (Kuva 8.). (Huhtinen ym. 2013: 282)

Tuuliturbiinien tehot vaihtelevat pientuuliturbiinien alle kilowatin tehoista suurten tuuliturbiinien useiden megawattien tehoihin (Motiva 2018). Tuulivoiman tyypilliset investointikustannukset ovat luokkaa 1300–1500 €/kW, mutta vuosittaiset käyttö- ja ylläpito-kustannukset vain murto osa investointikustannuksista ollen luokkaa 15–25 €/kW (Huhtinen ym. 2013: 287). Suurten tuulivoimaloiden tornin korkeus vaihtelee ollen välillä 50–140 metriä. Roottorin halkaisija vaihtelee, ollen 40–140 metriä. Pientuulivoimaloissa edellä mainitut mitat ovat huomattavasti vaatimattomampia ja tornin korkeus vaihtelee muutamasta metrillä noin 30 metriin. Roottorin halkaisijat ovat alle metrillä muutamia metreihin. (Suomen Tuulivoimayhdistys 2020) Tässä raportissa keskitytään kolmilapaisiin vaakakselisiin pientuulivoimaloihin ja niiden erityispiirteisiin.



Kuva 7. Kolmilapainen vaakakselinen tuuliturbiini (Motiva 2018).



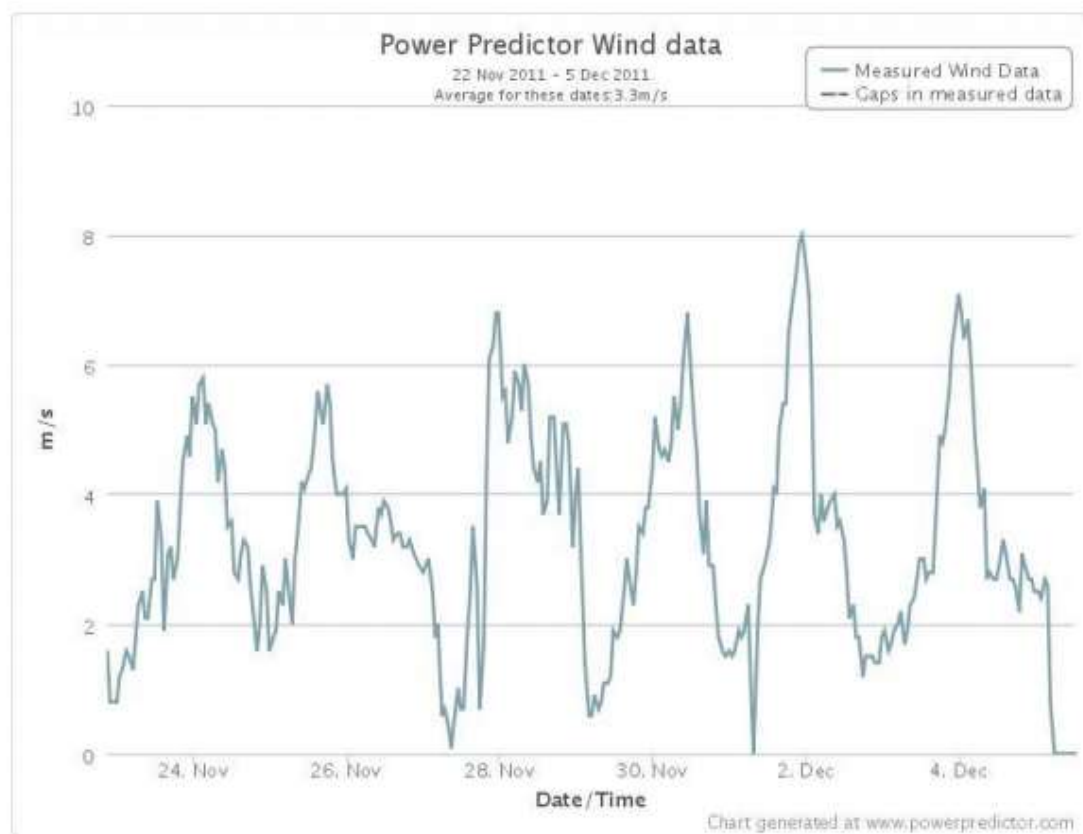
Kuva 8. Savonius-roottori, Darrieus-roottori, Darrieus H-roottori ja Spiraaliroottori (Huhtinen ym. 2013: 282).

4.3.1 Pientuulivoima

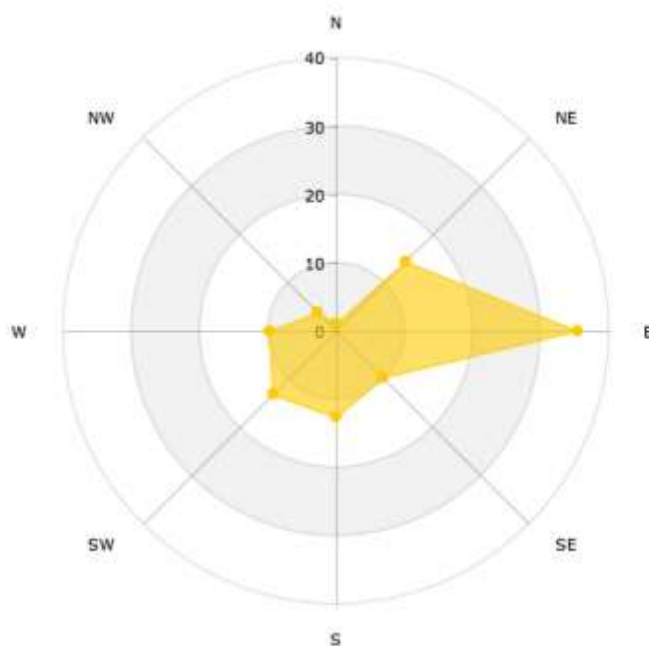
Pientuulivoimaloissa käytetyin turbiinimalli on kolmilapainen vaaka-akselinen tuuliturbiini. Pientuuliturbiineiksi luetaan tuuliturbiinit, joiden potkurin pinta-ala on alle 200 m² ja nimellisteho alle 50 kW. (Suomen Tuulivoimayhdistys 2020) Pientuulivoimala on mekaaninen laite, joka tuottaa – suurten tuulivoimaloiden tapaan – ääntä. Ääntä syntyy lähinnä turbiinin siivissä, havaittavaa ääntä alkaa syntyä vasta tuulennopeudesta 8 m/s ylöspäin. Tällöin tuulen ympäristössä itsessään aiheuttamat äänet yleensä peittävät pientuuliturbiineista syntyvän äänen alleen (Eklund 2011: 7).

Pientuulivoima voi olla energiataloudellisesti järkevä tapa tuottaa sähköä myös sisämaassa, mutta sijoitusalueella tulee olla suotuisat tuuliolosuhteet. Sisämaassa tuulen nopeus on keskimäärin luokkaa 2,5–4 m/s. Tuulen keskinopeus 4 m/s on energiantuotannon kannalta jo hyvä arvo ja se voidaan saavuttaa sisämaassa korkean maston avulla ilman virtaukselle edullisessa maastossa (Eklund 2011: 16).

Tietoa aluekohtaisista tuuliolosuhteista voi hakea Suomen tuuliatlaksesta, joka ilmoittaa tuuliolosuhteet minimissään 50 metrin korkeudella. Pientuuliturbiinien sijoituskorkeus on tyypillisesti alle 30 metriä, joten tuuliatlas antaa vain viitteellistä tietoa vallitsevista todellisista tuuliolosuhteista (Suomen tuuliatlas 2020). Tarkempaa tietoa tuulen keskinopeudesta ja myös tuulen suunnasta voidaan saada tuulimittauksilla saadaan. Koska tuuliolosuhteet vaihtelevat voimakkaasti eri vuodenaikoina, tulisi tuulimittausten kestää useita kuukausia tai jopa vuoden. Kuvassa 9 on esitetty tuulimittauksesta saatu kuvaaja ja kuvassa 10 tuulen suuntaa kuvaava tuuliruusu. (Eklund 2011: 16–19)



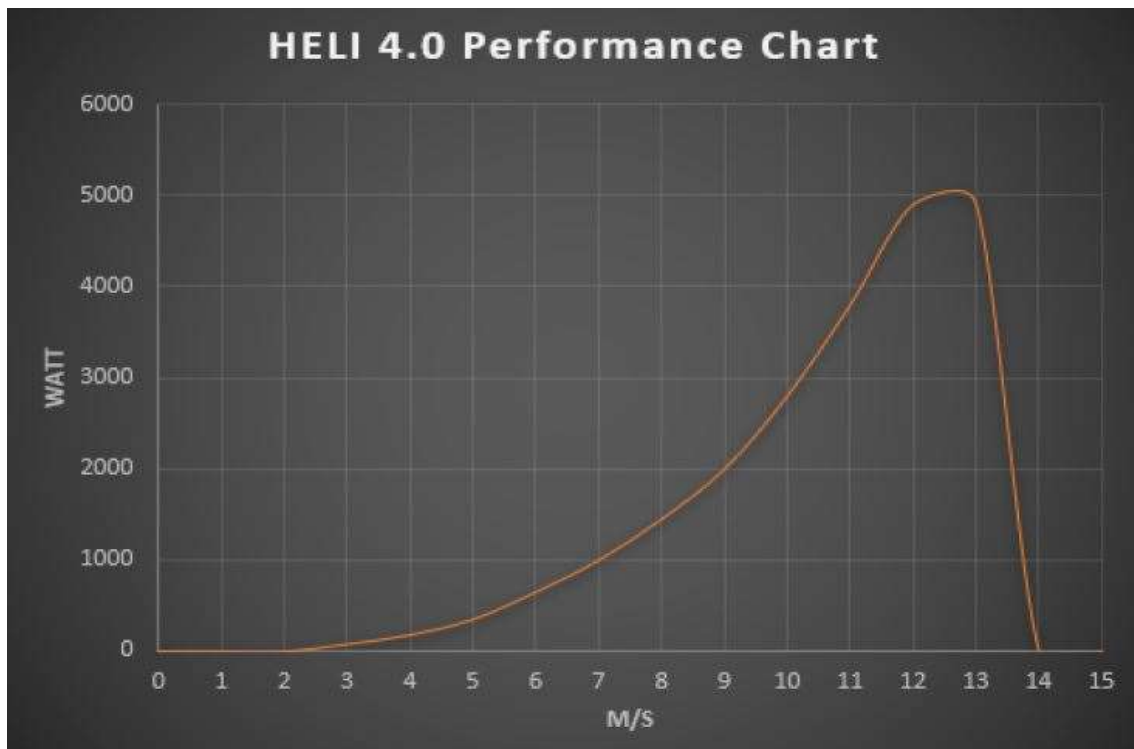
Kuva 9. Tuulimittauksesta saatu kuvaaja (Eklund 2011: 18).



Kuva 10. Tuulen suuntaa kuvaava tuuliruusu (Eklund 2011: 19).

Tuuliturbiinien tuulennopeudesta riippuva toiminta-alue selviää valmistajan ilmoittamasta tuottokäyrästä. Tuottokäyrä on tuuliturbiinityypistä ja sen ominaisuuksista riippuvainen. Kuvassa 11 on esitetty 4 kW Ista Breeze Heli 4.0 pientuuliturbiinin tuottokäyrä (Saaristotekniikka 2020). Tuottokäyrästä nähdään, että tuuliturbiinin käynnistystuulen nopeus on noin 2,5 m/s ja maksimi tehontuotto tapahtuu tuulennopeudella 12–13 m/s. Sisämaassa, jossa tuulen keskinopeudet ovat esimerkiksi rannikkoseutuja matalampia on tuuliturbiinin energianmaksimituoton kannalta edullista, että tuuliturbiinin nimellisteho saavutetaan mahdollisimman alhaisilla tuulennopeuksilla. Tuuliturbiinin tehoa matalilla tuulennopeuksilla voidaan hieman parantaa turbiinin siipien lukumäärää kasvattamalla. Esimerkiksi viisisiipinen turbiini voi toimia hieman kolmitoimista tehokkaammin matalilla tuulen keskinopeuksilla. Ero ei kuitenkaan ole merkittävä. (Eklund 2011: 8)

Pientuuliturbiinin tuottama sähkö voidaan käyttää omassa sähkönkulutuksessa tai vaihtoehtoisesti lämmittää esimerkiksi vesivaraajaa. Tai se voidaan syöttää verkkoinvertterin kautta sähköverkkoon. Energiategollisuus ry:n suosituksen mukaan korkeintaan 3,7 kW teholla toimivan pientuuliturbiinin verkkoon syöttö



Kuva 11. 4kW Ista Breeze Heli 4.0 pientuuliturbiinin tuottokäyrä (Saaristotekniikka 2020).

voi tapahtua yksivaiheisesti. Yli 3,7 kW teholla syötön tulisi tapahtua kolmivaiheisesti (Eklund 2011: 13).

Pientuulivoimala tarvitsee suotuisat olosuhteen toimiakseen tehokkaasti. Pientuulivoimala toimii hyvin paikassa, jossa vallitsevan tuulen suunnassa ei ole paljon ilman virtausta häiritseviä esteitä. Sisämaassa pientuulivoimaloille soveltuvia sijoituspaikkoja ovat peltoaukeat ja muut alueet, joissa pientuulivoimalan ja esteiden välillä on riittävästi välimatkaa. Kuvassa 12 on havainnekuva esteen vaikutuksesta ilman virtaukseen. Kuvasta voidaan havaita, että esimerkiksi puusto häiritsee tuulen laminaaria virtausta aiheuttaen virtaukseen turbulenssia, eli tuulen pyörteisyyttä. Nyrkkisääntö on, että tuulivoimalan etäisyyden esteestä tulisi olla vähintään kymmenen kertaa esteen korkeus. Rakennusten katoille rakennetun pientuulivoiman tulisi sijaita vähintään 10 metriä rakennuksen harjan yläpuolella. (Eklund 2011: 6)

TURBULENSSIN VAIKUTUS

Turbulenssi eli tuulen pyörisyys heikentää tuulen voimaa esteen edessä ja takana. H:n korkuinen este synnyttää taakseen $20 \times H$ pituisen alueen, jossa tuulivoimala toimii heikosti.



Kuva 12. Esteen vaikutus tuulen virtaukseen (Eklund 2011: 6).

4.4 Lämpöpumput

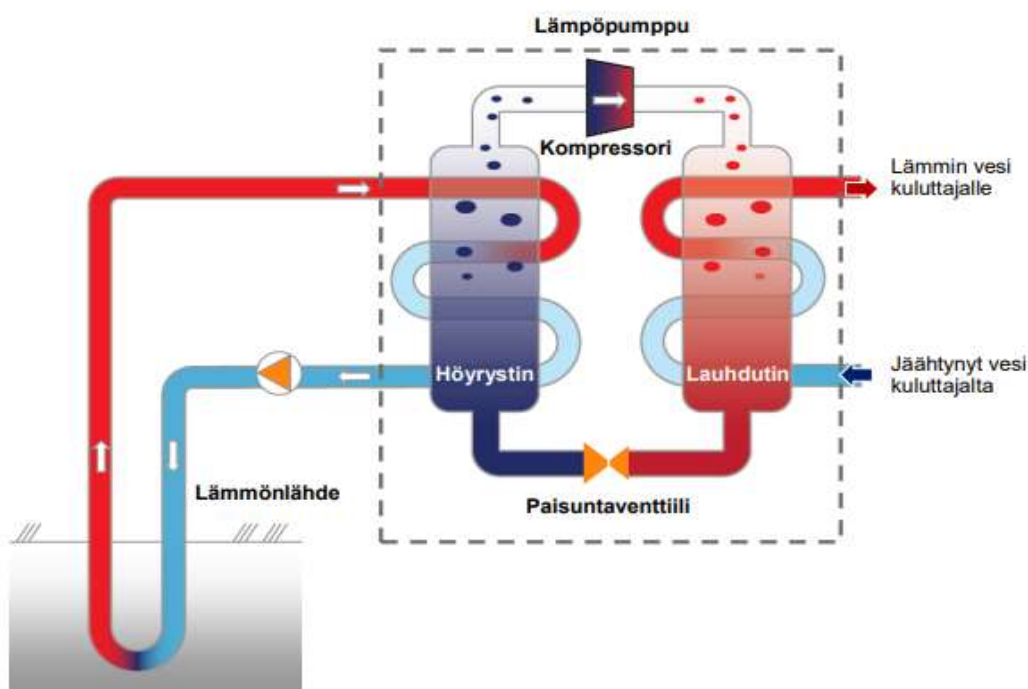
Lämpöpumput perustuvat aineen olomuodon muutokseen ja siihen, että aineen olomuodon muutokset sitovat tai vapauttavat energiaa. Veden höyrystyminen vesihöyryksi vaatii energiaa ja vesihöyryn muuttuminen nesteeksi vapauttaa energiaa. (Peda.net. 2020)

Perinteisen kompressorilla toimivan lämpöpumpun pääkomponentit ovat höyrystin, kompressor, lauhdutin, paisuntaventtiili ja kylmäaine (Kuva 13.). Yksinkertaistettuna lämpöpumppu toimii seuraavasti:

- Kompressor puristaa matalapaineisen kylmäainehöyryn nesteeksi ja siirtää sen lauhduttimeen
- Nesteeksi muuttuessaan kylmäaine vapauttaa lämpöä, joka poistetaan lauhduttimesta ulkoiseen lämpönieluun.
- Tämän jälkeen nestemäinen korkeapaineinen kylmäaine virtaa paisuntaventtiiliin, jossa nesteen paine laskee.
- Paisuntaventtiilistä matalapaineinen kylmäaine virtaa höyrystimeen ja ottaa höyrystymisen vaatiman energian ulkoisesta lämmönlähteestä.
- Kompressor imee kylmäainehöyryn höyrystimestä ja puristaa sen nesteeksi, jolloin kierto alkaa alusta.

Lämpöpumpun höyrystin sijoitetaan siihen tilaan, josta matalammassa lämpötilassa olevaa energiaa halutaan siirtää. Ilmalämpöpumpussa matalammassa lämpötilassa olevaa

energiaa siirretään ulkoilmasta lämpöpumpun avulla huoneilmaan, jolloin huoneilman lämpötila nousee. Jääkaapissa kaapin sisällä olevaa matalammassa lämpötilassa olevaa energiaa siirretään lämpöpumpun avulla huoneilmaan, jolloin jääkaapin lämpötilan laskee. Lämpöpumppu tuottaa enemmän lämpötehoa, kuin mitä laitteen toiminta kuluttaa sähkötehoa. (IEA HPT 2020)



Kuva 13. Lämpöpumpun toimintaperiaate (Malinen 2017: 17).

4.4.1 Maalämpöpumppu

Maalämpöpumppu on lämpöpumppu, jossa maaperä toimii matalammassa lämpötilassa olevan energian lähteenä ja lämmitettävä kohde, kuten talo tai esimerkiksi teollisuusprosessi lämpönieluna. Maalämmössä energia siirretään lämpöpumpun höyrystimelle lämpöpiirissä kiertävän lämmönsiirtoliuoksen avulla. Siirrettävä energia on lämpönä varastoitunutta auringon säteilyenergiaa, sekä osittain maankuoren geotermistä energiaa. Lämpöä voidaan kerätä maahan tai vesistöön sijoitetun keräyspiirin tai porakaivon kautta. Maahan tai vesistöön sijoitettu keruupiiri vaatii paljon tilaa ja tällä hetkellä suurin osa – noin 70 % – maalämpötoteutuksista tehdäänkin porakaivon avulla. Porakaivon avulla

maalämpö voidaan toteuttaa pienellekin tontille. Muiden lämpöpumppujen tapaan myös maalämpöpumppua voidaan käyttää jäähdytykseen. Tällöin lämpöpumpun prosessi käännetään siten, että jäähdytettävä tila tai esimerkiksi teollisuusprosessi toimii alhaisemman lämpötilan energianlähteenä ja maaperä lämpönieluna. (Motiva 2020e: 41)

Maalämpöpumpun hyötysuhdetta ilmaistaan lämpökertoimen (COP, Coefficient Of Power) tai nykyään yhä enenevässä määrin vuotuisen lämpökertoimen (SCOP, Seasonal, Coefficient Of Power) avulla. Jos maalämpöpumpun COP on 4, tarkoittaa tämä sitä, että pumppu tuottaa 4 kW lämpötehoa kuluttaen 1 kW:n sähkötehoa. Nykyaikaisten maalämpöpumppujen COP kertoimet ovat luokkaa 4,5–5,5 (RefGroup 2020).

4.4.2 Lämpöpumpun muita sovelluksia

Absorptiolämpöpumpuissa ulkoinen lämmönlähde korvaa mekaanisen kompressorin. Lämmönlähteenä voidaan käyttää esimerkiksi auringon säteilyenergiaa, teollisuusprosessin hukkalämpöä, maakaasua tai esimerkiksi biopolttoaineita. Absorptiolämpöpumpuilla voidaan tuottaa esimerkiksi kaukokylmää. Eräs käytännön esimerkki absorptiolämpöpumpusta on kaasujääkaappi, jossa energianlähteenä käytetään tavallisesti nestekaasua. (Energy.gov 2020)

4.5 Uusiutuvan energiantuotannon tekniikat tulevaisuudessa

Useat teollisessa mittakaavassa jo käytössä olevat CHP- voimalaitostekniikat ovat vasta kokeiluasteella pien- ja mikro- CHP- voimalaitosten kokoluokassa. Tulevaisuudessa pien- ja mikro- CHP laitokset voivat teknisesti perustua esimerkiksi:

- ORC- turbiiniteknologiaan
- Polttokennoihin
- Stirling- moottoreihin
- Geotermiseen energiaan
- Pyrolyysiin

4.5.1 ORC- turbiiniteknologia

ORC- turbiini hyödyntää ORC- prosessia (ORC, Organic Rankine Cycle) joka on muunnos perinteisten höyryturbiinien Rankine-prosessista. ORC- prosessissa käytetään veden tilalla orgaanista nestettä, esimerkiksi tolueenia ja kiertoaineen lämpötilan on perinteisiä höyryturbiineja huomattavasti alhaisempi. ORC- prosessia voidaan hyödyntää erilaisten hukkalämpöjen muuntamisessa sähköenergiaksi. (Rissanen 2014)

4.5.2 Polttokennot

Polttokenno toimii kuten sähköparisto tai akku, mutta ei kulu loppuun tai tarvitse uudelleen latausta. Polttokenno tuottaa sähköä ja lämpöä niin kauan kuin siihen syötetään polttoainetta. Polttokennon hyötysuhde on polttomoottoreita korkeampi ja voi olla jopa 60 %. Polttokenno käyttää vedyn tai uusimmissa kehitysasteissa myös metaanin kemiallista energiaa muuntaen sen sähköenergiaksi. Vetyä käytettäessä polttokenno tuottaa palamistuotteena pelkkää vettä ja metaania käytettäessä myös ainakin hiilidioksidia. Hiilidioksidi voidaan ottaa polttokennosta suoraan talteen ja näin estää hiilidioksidin pääsy ilmakehään. Polttokennoja voidaan hyödyntää laajasti erilaisissa sovelluksissa aina suuren luokan sähköntuotannosta pienten elektroniikkalaitteiden, kuten kannattavien tietokoneiden energianlähteenä. Polttokennojen ongelmana on ollut korkea hinta, toiminnan varmuus, ja niiden kestävyys kenttäolosuhteissa. Kun kohtuuhintainen, toimintavarma ja kestävä polttokennoteknologia on saatu luotua, on polttokennolla mitä luultavimmin käyttöä myös hajautetussa energiantuotannossa. Esimerkiksi CHP- energiantuotannossa biokaasua polttoaineen käyttäen. (Machine Design 2018: 46)

4.5.3 Stirling moottori

Stirling moottori on yksi ulkoista palamista hyödyntävän lämpövoimakoneen sovellus. Stirling- moottorin polttoaineena voidaan käyttää laajasti erilaisia polttoaineita, polttoainekaasuista kiinteisiin biopolttoaineisiin, kuten puupelletteihin (Science Direct 2018). Kuvassa 14 on itävaltalaisen ÖkoFEN Ges.m.b.H:n kehittämä Pellematic-e-max Stirling CHP- voimalayksikkö. Voimalayksikön lämpöteho on luokkaa 50–60 kW ja sähköteho

4–5 kW (ÖkoFen 2020). Pellematic e-max on ilmeisesti vielä pilottivaiheessa, mutta jos kaupallinen tuote tulee markkinoille, voisi sitä hyödyntää uusiutuvan energian hajaute-tussa tuotannossa esimerkiksi tuotantolaitoskohtaisena uusiutuvaa energiaa hyödyntä-vänä voimalaitosyksikkönä.



Kuva 14. Pellematic-e-max Stirling CHP- voimalayksikkö (ÖkoFen 2020).

4.5.4 Geoterminen energia

Eräs mielenkiintoinen uusiutuvan energian lähde tulevaisuudessa on geoterminen energia. Geotermisellä energialla tarkoitetaan maan sisäistä energiaa, joka on maankuoressa tapahtuvan radioaktiivisen hajoamisen tuloksena syntynyttä lämpöenergiaa. Geoterminen energia on lähes päästötöntä, mutta syvällä yli kuuden kilometrin syvyydessä oleva vesi sisältää mm. rikkioksidia, typpioksidia ja metaania. Vettä ei tästä syystä johdeta suoraan kaukolämpöverkkoon, vaan kaukolämpöverkossa kiertävä vesi lämmitetään lämmön-vaihtimen avulla (Energiateollisuus 2020a).

Suomessa geotermisen energian hyödyntäminen uusiutuvan energian tuotannossa on vasta kokeiluasteella. Geotermisen energian hyödyntämistä tutkii St1, joka rakentaa Suomen ensimmäistä geotermistä voimalaitosta Espoon Otaniemeen. St1:n geotermisen energian hyödyntämiseen pyrkivä pilottihanke on käynnistynyt vuonna 2014. Projektin tarkoitus on toteuttaa voimalaitos, joka tuottaa energiaa Espoon kaupungin kaukolämpöverkkoon. Valmiissa voimalaitoksessa tulee olemaan kaksi noin 6,5 kilometrin syvyistä lämpökaivoa, joiden pohjalla lämpötila on noin 125 °C. Voimalaitoksen toimintaperiaate on melko yksinkertainen. Kuumennettava vesi pumpataan porareikää pitkin alas 6.5 kilometrin syvyyteen, jossa vesi kuumenee geotermisen energian vaikutuksesta. Kuumennut vesi nousee toisesta porareiästä ylös ja se syötetään kaukolämmönvaihtimille. Valmiin laitoksen lämpöteho on 40 MW. (St1 2020)

Suomen kova graniittinen kallioperä vaatii erikoisvalmisteista poraustekniikkaa ja poraaminen vie paljon aikaa. Syvien lämpökaivojen porausteknologian kehittäminen on ollut haastavaa, ja tämä on osaltaan nostanut hankkeen kustannuksia. (St1 2020)

5 UUSIUTUVAN ENERGIAN JAKELU

Energian tuotanto on perinteisesti keskittynyt suuriin tuotantolaitoksiin, joista energiaa jaetaan tuottajalta kuluttajalle yksisuuntaisen jakeluverkon kautta. Tällaisessa energiaverkossa energia virtaa siis tuottajalta (producer) kuluttajalle (consumer), mutta ei toisinpäin.

Hajautetun energiantuotannon yleistyessä on perinteisien energiaverkkojen ohella alettu puhua älykkäistä energiaverkoista. Älykkäissä energiaverkoissa energiaa voidaan ottaa verkosta ja myös syöttää takaisin verkkoon useista verkon eri pisteistä. Taho, joka sekä ottaa, että tuottaa energiaa verkkoon ei ole selkeästi kuluttaja tai tuottaja, vaan pikemminkin tuottajakuluttaja. Tällaisesta tuottajakuluttajasta voidaan käyttää myös nimitystä prosumer (provider-consumer). Nimensä mukaisesti procumer on taho, joka voi sekä tuottaa energiaa toisille procumereille, että kuluttaa toisten procumerien tuottamaa energiaa. Procumeriksi voidaan mieltää esimerkiksi teollisuusalueen mikroverkkoon sähköä tuottava ja mikroverkosta sähköä kuluttava yritys. Ja toisaalta myös yksityishenkilö, joka tuottaa ja kuluttaa energiaa esimerkiksi sähköverkkoyhteyden ulkopuolella sijaitsevalla kesämökkillään. (Björkqvist ym. 2018: 7)

Hajautettu energiantuotanto on tyypillisesti paikallista lämmön tai sähkön tuotantoa tai niiden yhteistuotantoa, esimerkiksi CHP- voimalaitoksissa. Yleisimpiä hajautetun energian tuotantomuotoja ovat lämmöntuotanto lämpökeskuksissa, maalämmöllä, aurinkolämmöllä, tai hukkalämmön talteenotolla. Sähköä tuotetaan tyypillisesti aurinkopaneelilla tai pienen luokan CHP- voimalaitoksilla. Myös pientuulivoimaa hyödynnetään hajautetussa energiantuotannossa. Biokaasua tuotetaan mm. maatalouden energiantarpeisiin sekä työkoneiden ja liikenteen polttoaineeksi. (Valtioneuvosto 2017)

Aurinko- ja tuulivoimalat tuottavat pelkästään sähköenergiaa, jonka siirto kuluttajille voidaan toteuttaa sähköverkon avulla. CHP- energiantuotannossa sähköenergian lisäksi tuotetaan aina myös lämpöenergiaa. Syntyvä lämpöenergia voidaan hyödyntää, joko tuotantopaikalla esimerkiksi teollisuusprosesseissa, tai se voidaan siirtää kuluttajille tai lämpöakkuun lämpöverkon avulla. Lämpöpumpuilla, aurinkolämmönvaihtimilla ja lämpökattiloilla tuotetaan pelkästään lämpöenergiaa ja energian jakelu kuluttajille voidaan toteuttaa

lämpöverkon avulla. (Kokkonen 2015: 5–6) Muita energianjakelun tapoja voivat olla esimerkiksi nestemäisten biopolttoaineiden, biokaasun tai puupellettien jakaminen kuluttajille.

Tässä luvussa tarkastellaan lämmön ja sähkön jakeluun liittyviä yksityiskohtia ja toimintaa koskevaa lainsäädäntöä hajautetun energiantuotannon näkökulmasta. Lisäksi luodaan lyhyt katsaus muihin energianjakelutapoihin.

5.1 Lämpöverkot ja niihin liittyvä lainsäädäntö

Lämpöenergian jakelu voidaan toteuttaa usealla tavalla. Jakelutavat eroavat toisistaan lähinnä lämmönsiirtoon käytetyn välittäjäaineen osalta. Välittäjäaineena voidaan käyttää esimerkiksi vettä tai vesihöyryä. Vesihöyryä käytetään tyypillisesti silloin, kun lämmönsiirrolta vaaditaan korkeita yli 120 °C lämpötiloja. Välittäjäaineena voidaan käyttää myös erityisiä lämmönsiirto-öljyjä. Lämmönsiirto-öljyjen kyky siirtää lämpöenergiaa on vettä tai vesihöyryä parempi, mutta haittapuolena on vuototapauksissa ympäristön saastumisen riski. (Laukkanen 2016: 17) Tässä kappaleessa keskitytään vettä välittäjäaineena käyttävään lämpöverkon tarkasteluun.

Lämpöverkon kyky siirtää lämpötehoa riippuu syöttöveden ja paluuveden lämpötilaerosta ja putkistossa virtaavan veden virtausnopeudesta. Jos syöttöveden ja paluuveden lämpötilaero on pieni, tulee veden virtausnopeuden puolestaan olla suurempi halutun lämpötehon siirtämiseksi. Virtausnopeutta ei kuitenkaan voi kasvattaa rajattomasti, koska tällöin virtauksen turbulenttisuus putkistossa kasvaa. Turbulenttinen virtaus lisää verkoston kulumista ja myös pumppaushäviöiden määrää. Huipputeholle mitoitettussa lämpöverkossa veden virtaus tulisi olla maksimissaan 3 m/s. Jos virtausnopeus ylittyy, on lämpöverkon putkistokokoa kasvatettava tai meno- ja tuloveden lämpötilaeroa kasvatettava. (Laukkanen 2016: 18)

Hajautettua energiantuotantoa ja procumereita tukevan älykkään lämpöverkon tulisi mahdollistaa keskitetty energiantuotanto ja toisaalta myös energian jakelu procumerilta

toiselle. (Malinen 2017: 6) Älykkäässä lämpöverkossa procumer voi tuottaa energiaa verkkoon ja ottaa verkosta energiaa useassa eri lämpötilassa. Älykkäässä lämpöverkossa voi luonnollisesti olla myös perinteisiä kuluttajia, jotka vain ottavat lämpöä lämpöverkosta. Edellä mainittu älykäs lämpöverkko voi toimia kaksiputkisena toteutuksena, mutta verkon kompleksiuudesta riippuen lämpöverkkoon saatetaan tarvita myös kolmas linja käytännön toteutuksen onnistumiseksi. Lämpöverkon kompleksisuuden lisääminen lisää rakentamisen kustannuksia. (Malinen 2017: 8)

Lämpöenergian tavoin lämpöverkoissa voidaan siirtää myös kylmäenergiaa. Kylmäenergian siirto vaatii oman lämpöverkon lämpöenergiaa siirtävän verkon rinnalle. Kylmäenergiaa siirtävä älykäs lämpöverkko voi procumerien kannalta toimia samoin, kuin mitä edellä on kuvattu lämpöenergiaa siirtävän lämpöverkon osalta.

Suomessa lämpöverkkotoiminta ei sähköverkkotoiminnan tavoin ole säänneltyä, vaan perustuu kilpailuun. Lämpöverkkotoimintaa valvoo Energiavirasto, Kilpailu- ja kuluttajavirasto ja Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Energiateollisuus 2020e). Lämpöverkot ovat paikallisia, eikä niitä pitkin siirretä lämpöenergiaa maanlaajuisesti samaan tapaan, kuin sähkönsiirron runkoverkoissa siirretään sähköenergiaa.

Lämpöverkon omistaja on tyypillisesti myös kaukolämmön tuottaja, jolla on yksinoikeus siirtää lämpöenergiaa omistamassaan lämpöverkossa. Suomessa on yli 150 lämpöverkkoa, jotka ovat tyypillisesti paikallisen energiayhtiön omistuksessa. Toisin kuin sähköntuotannossa ja jakelussa, kaukolämmön osalta tuotantoa ja jakelua ei siis ole lainsäädännöllä eriytetty toisistaan. EU- tasolla lämpöverkkojen avaamisesta kilpailulle on keskusteltu ainakin uusiutuvan energian direktiivin uudistamisen yhteydessä. (Pöyry Management Consulting 2018: 6)

Viime aikoina lämpöverkkojen omistajat ovat pyrkineet parantamaan kaukolämmön kilpailukykyä muihin tarjolla oleviin energianlähteisiin nähden. Kilpailukyvyn parantamisessa on käytetty kolmansien osapuolien tarjoamia energianlähteitä, kuten esimerkiksi teollisuuden hukkalämpöjä. Ulkopuolisen energiantuottajan liittymisestä lämpöverkkoon

on näissä tapauksissa sovittu lämpöverkon omistajan ja ulkopuolisen energiantuottajan välillä kahdenkeskisillä sopimuksilla. (Pöyry Management Consulting 2018: 6)

Lämpöverkon rakentamista ei sähköverkkojen tapaan ole luvanvaraista. Rakentaminen edellyttää kuitenkin tiettyjä lupakäytäntöjä. Tarvittavien lupien lisäksi verkon tulee luonnollisesti täyttää lämpöverkoilta vaadittavat muut määräykset. (Kuusinen 2020)

5.2 Sähköverkot ja niihin liittyvä lainsäädäntö

Suomessa sijaitsevassa sähköverkossa sähköverkkotoimintaa saa harjoittaa vain Energia-markkinaviraston myöntämällä sähköverkkoluvalla. Sähköverkkolupaa ei voi siirtää toiselle liiketoiminnan harjoittajalle (Finlex 2020: 4§). Sähköverkkotoiminta on siis tiukasti säänneltyä ja sääntely vaikuttaa kaikkiin sähköverkon toimijoihin. Kuluttajille sääntelyllä pyritään varmistamaan sähkönsiirron kohtuullinen hintataso sekä sähkönsiirtojärjestelmän toimivuus. Yhteiskunnan kannalta sääntelyllä pyritään varmistamaan energijärjestelmien luotettavuus ja kohtuulliset kustannukset järjestelmien ylläpidossa. Verkkoyhtiöille sääntelyllä pyritään takaamaan vakaa ja ennustettava liiketoimintaympäristö sekä toiminnan riittävä kannattavuus ja kyky verkkojen ylläpitämiseen ja kehittämiseen. (Energiateollisuus 2020e)

Sähköverkkotoiminnan sääntelystä vastaa työ- ja elinkeinoministeriö. Sähkönsiirtojakelua valvovat Energiavirasto, Kilpailu- ja kuluttajavirasto ja Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. Energiaviraston vastuulla on sähkömarkkinalain toteutumisen valvonta ja markkinoiden toiminnan edistäminen. Energiavirasto toteuttaa sääntelyä määräämällä verkkoyhtiöille verkkoliiketoiminnasta saatavan tuoton ylärajan ja edellyttämällä verkkoyhtiöiltä hallitsemansa jakeluverkon ylläpitoa ja kehittämistä. Työ- ja elinkeinoministeriön alla toimiva Kilpailu- ja kuluttajavirasto pyrkii edistämään talouden tehokkuutta ja seuraa esimerkiksi energian hinnoittelua. Sähköverkkojen turvallisuutta valvoo puolestaan Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. (Energiateollisuus 2020e)

Suomen sähköverkko muodostuu Fingrid Oy:n hallinnoimasta ja omistamasta kantaverkosta, sekä noin sadasta sähköverkkoyhtiöiden hallinnoimasta ja omistamasta jakeluverkosta. Suurimpia jakeluverkkoyhtiöitä ovat Caruna Oy, Elenia Oy ja Helen Sähköverkot Oy. (Energiateollisuus 2020d) Suurjänniteverkoksi kutsutaan sähköverkkoa, joka toimii 110–400 kV jännitteellä, keskijänniteverkoksi sähköverkkoa, joka toimii 1–70 kV jännitteellä ja pienjänniteverkoksi sähköverkkoa, joka toimii alle 1 kV jännitteellä. Fingridin hallinnoimaa kantaverkkoa käytetään siirrettäessä sähköenergiaa maanlaajuisesti pitkillä siirtoyhteyksillä ja suurilla siirtotehoilla. Kantaverkko on suurjänniteverkko, jonka jännite on korkea siirtohäviöiden minimoimiseksi pitkillä siirtomatkoilla. Kantaverkosta sähköenergia siirretään alueellisiin esimerkiksi tiettyä maakuntaa palveleviin jakeluverkkoihin. Jakeluverkot voivat olla suurjännite-, keskijännite- tai matalajänniteverkkoja, joiden käyttöjännite vaihtelee verkon käyttötarkoituksesta riippuen. (Energiateollisuus 2020c)

Kantaverkossa voimajohtoa on yli 15000 kilometriä. Koska maakaapelointi on kallista, käytetään kantaverkossa pääosin ilmajohtoja. Yhteensä Suomen suurjänniteverkkojen pituus on noin 22500 kilometriä, keskijänniteverkkojen 140000 kilometriä ja pienjänniteverkkojen 240000 kilometriä. Suurjänniteverkot on suurelta osin rakennettu avojohdoilla. Keskijänniteverkoista avojohdoisia on noin 80 %, ilmakaapeleilla toteutettuja 7 % ja maa- ja vesistökaapeleilla toteutettuja 13 %. Pienjänniteverkosta avojohdoisia on 3 %, ilmakaapeleilla toteutettuja 58 % ja maakaapeleilla toteutettuja 39 %. (Energiateollisuus 2020c)

Sähkön tuotannosta vastaavat voimalaitokset voidaan laitoksen tehosta riippuen kytkeä joko kantaverkkoon tai jakeluverkkoihin. Sähköasemat ovat sähköverkkojen solmupisteitä joihin kantaverkko ja jakeluverkot on yhdistetty. Sähköasemilla suoritetaan muunto eri verkkojen jännitetasojen välillä, esimerkiksi kantaverkon jännitteen muunto jakeluverkkojen käyttämälle jännitetasolle. (Energiateollisuus 2020c)

Pienkuluttajien sähkönkulutuskohteet on tyypillisesti kytketty jakeluverkkoon. Jakeluverkkoihin kytketyt jakelumuuntajat muuntavat jakeluverkon korkeamman jännitteen pienkuluttajille soveltuvalla jännitetasolle. Suuremmat kuluttajat, kuten esimerkiksi kaupat, teollisuus ja maatalous, on kytketty joko jakeluverkkoon, suurjännitteiseen

jakeluverkkoon tai kantaverkkoon sähköenergian tarpeen suuruudesta riippuen. (Energiateollisuus 2020c)

Sähkön jakeluun tarkoitettu jakeluverkko voi olla perinteinen jakeluverkko, suljettu jakeluverkko tai kiinteistön tai kiinteistöryhmän sisäiseen sähkönjakeluun tarkoitettu kiinteistöverkko. Perinteinen jakeluverkko on Suomessa yleisin jakeluverkkotyyppi ja esimerkiksi Elenian hallitsemat jakeluverkot ovat perinteisiä jakeluverkkoja. Suljettuja jakeluverkkoja on Suomessa tällä hetkellä vain neljä kappaletta. Yksityisten kiinteistöverkkojen lukumäärä ei ole tiedossa. (Energiavirasto 2020a)

5.2.1 Verkkoyhtiöiden tehtävä

Verkkoyhtiöiden tehtävä on toimia neutraaleina markkinoiden mahdollistajina ja tarjota fyysinen yhteys sähköjärjestelmään ja markkinapaikalle, sekä toimittaa markkinoiden ja verkonkäyttäjien tarpeisiin liittyvät keskeiset tiedot. Jakeluverkonhaltijan tehtävä on lisäksi taata häiriötön sähkönjakelu verkonkäyttäjille ja varmistaa verkon sähköturvallisuus. Jakeluverkonhaltijan ei tulisi vaikuttaa sähkömarkkinoiden toimintaan ohjaamalla suoraan sähköntuotantoa tai -kulutusta. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2018: 12)

5.2.2 Jakeluverkko

Jakeluverkko on alueellisen jakeluverkonhaltijan hallinnoima sähkönjakeluverkko, johon kuluttajat ja yritykset liittyvät jokainen oman liittymänsä kautta. Jakeluverkon etuna on riippumattomuus alueen muista verkkoon liittyjistä ja vapaus valita sähköenergian toimittaja vapaasti. Jakeluverkosta ostetusta sähköstä maksetaan sähköenergian hinta, sähköenergian siirtomaksu ja verot. (Ramboll Finland 2016: 6)

5.2.3 Jakeluverkon sähköverkkolupa

Jakeluverkonhaltijan sähköverkkoluvan myöntää Energiamarkkinavirasto ja siinä määrätään myös maantieteellinen vastuualue jakeluverkon haltijalle. Jakeluverkon haltija voi toisen sähköverkkoluvan haltijan kanssa sopia vastuualueen muutoksesta. Muutoksesta on tiedotettava Energiamarkkinavirastoa ja alueen verkkoon liittyneitä tahoja.

Vastuualueen muutos voidaan tehdä myös Energiamarkkinaviraston toimesta, mutta vain painavan syyn perusteella. Jakeluverkon sähköverkkoluvan hakijaa koskee tietyt vaatimukset, joita ovat mm:

- Hakijan on oltava yhteisö tai laitos.
- Hakijan organisaation tulee vastata sen harjoittaman sähköverkkotoiminnan luonnetta ja laajuutta.
- Hakijalla tulee olla riittävä henkilöstö, joka vastaa hakijan harjoittaman sähköverkkotoiminnan luonnetta ja laajuutta.
- Hakijan palveluksessa tulee olla käytön johtaja, joka täyttää sähköturvallisuuslaissa (410/1996) ja sen nojalla säädetyt kelpoisuusvaatimukset.
- Jos hakija suorittaa sähkötöitä, tulee hakijalla olla sähkötöiden johtaja. Sähkötöiden johtajan tulee täyttää sähköturvallisuuslaissa (410/1996) ja sen nojalla säädetyt kelpoisuusvaatimukset
- Hakijalla tulee olla taloudelliset edellytykset kannattavaan sähköverkkotoimintaan.
- Hakijalla on päätösvalta sähköverkon käyttöön, ylläpitoon ja kehittämiseen tarvittaviin varoihin sekä päätösvalta tehdä verkon käyttäjien kanssa liittymissopimuksia ja sähköverkkosopimuksia.
- Jos hakija harjoittaa sähköverkkotoiminnan lisäksi muuta toimintaa tai jos hakija harjoittaa sekä kantaverkkotoimintaa että jakeluverkkotoimintaa, hakija on esittänyt selvityksen, että nämä toiminnat on eriytetty toisistaan.

Edellä mainitun lisäksi jakeluverkon sähköverkkolupaa hakevan hakijan 400 voltin jakeluverkossa siirretyn vuotuisen sähkömäärän tulee olla vähintään 200 gigawattituntia. Ja lisäksi hakijan tulee toimia osana sähköntuotantoa- tai toimitusta harjoittavaa yritystä, tai saman tahon määräysvallassa olevaa yritysryhmää. (Finlex 2020: 8§ – 10§)

5.2.4 Jakeluverkon rakentaminen

Jakeluverkon rakentamisen yksinoikeus on vastuualueen jakeluverkon haltijalla. Muut voivat rakentaa sähköverkkoa jakeluverkon haltijan alueella jos:

- Jos kyseessä on liittymisjohto tai varasyöttöyhteys jakeluverkon ja sähkönkäyttöpaikan välillä.

- Jos rakennetaan liittymisjohtoa tai varasyöttöyhteyttä yhdestä tai useammasta voimalaitoksesta vastuualueen jakeluverkonhaltijan tai muun verkonhaltijan sähköverkkoon.
- Kyseessä on kiinteistön tai sitä vastaavan kiinteistöryhmän sisäinen sähköverkko.
- Verkkoluvan haltija antaa toiselle suostumuksensa verkon rakentamisesta.

Vähintään 110 kV jännitetasolla toimivan jakeluverkon rakentamiseen tarvitaan lisäksi Energiamarkkinaviraston myöntämä hankelupa ja tietyissä tapauksissa myös kunnan lupa (Finlex 2020: 13§ ja 14§).

5.2.5 Suljettu jakeluverkko

Suljettu jakeluverkko on sähkömarkkinalakiin vuonna 2013 lisätty uudentyyppinen sähköjakeluverkko. Suljetulla jakeluverkolla tarkoitetaan maantieteellisesti rajatulle alueelle rakennettua teollisuus- tai elinkeinoalueen sähkönsiirrosta vastaavaa sähköverkkoa ja sen rakentaminen vaatii sähköverkkoluvan. Suljettu jakeluverkko on liitetty kanta- tai jakeluverkkoon yhden tai useamman liittymäpisteen kautta. Jakeluverkkoon nähden suljetun jakeluverkon etu on siinä, että siirtomaksua alueen jakeluverkonhaltijalle ei tarvitse maksaa suljetun jakeluverkon sisällä siirretystä sähköenergiasta. Suljetun jakeluverkon haltija voi periä siirtomaksua sisäisen verkon käytöstä, mutta siirtomaksu voi perustua pelkästään verkon ylläpitokustannuksiin ja saattaa näin olla jakeluverkon siirtomaksua edullisempi. Jakeluverkkojen tapaan myös suljettujen jakeluverkkojen siirtomaksun tasoa valvoo Energiamarkkinavirasto. Jakelu- tai kantaverkosta suljettuun jakeluverkkoon, tai suljetusta jakeluverkosta jakelu- tai kantaverkkoon liittymäpisteiden kautta siirretystä sähköenergiasta maksetaan normaalisti alueen jakeluverkonhaltijan määrittämä siirtomaksu. Jakeluverkkotoiminnan tavoin myös suljetun jakeluverkon toiminta on eriytettävä sähköön tuotannosta. Suljettu jakeluverkko voi siis tarjota ainoastaan sähkönsiirtoon liittyvät palvelut ja sähköenergia on tuotettava ja myytävä erillisenä toimintona. (Ramboll Finland 2016: 7–8)

5.2.6 Suljetun jakeluverkon sähköverkkolupa

Suljettuun jakeluverkkoon sovelletaan jakeluverkkoja kevyempää sähkömarkkinalain mukaista lupamenettelyä. Suljetun jakeluverkon osalta myös verkkotoiminnan velvoitteet ovat jakeluverkkotoimintaa lievempiä (Ramboll Finland 2016: 7). Suljetun jakeluverkon sähköverkkolupa voidaan myöntää hakijalle, joka harjoittaa sähköverkkotoimintaa maantieteellisesti rajatulla teollisuus- tai elinkeinoalueella. Tai hakijalla, joka harjoittaa sähköverkkotoimintaa yhteisiä palveluja tarjoavalla alueella sijaitsevassa jakeluverkossa tai suurjännitteisessä jakeluverkossa, jossa ei toimiteta sähköä kuluttajille. (Finlex 2020: §11)

Ja jakeluverkolle, joka täyttää seuraavat ehdot:

- Kyseisen verkon käyttäjien toiminnot tai tuotantoprosessit muodostavat yhteisen kokonaisuuden teknisten tai turvallisuuden liittyvien syiden suhteen. Tai:
- Kyseinen verkko jakaa sähköä ensisijaisesti verkon omistajille tai verkon haltijalle. Tai niihin omistussuhteessa oleville yrityksille.
- Suljettuna jakeluverkkona ei voida pitää jakeluverkkoa, jossa toimitetaan sähköä kuluttajille. Poikkeuksena tilanne, jossa sähköä jaetaan pienellä määrällä kuluttajia ja jotka ovat työsuhteessa ja joilla on vastaavia yhteyksiä suljetun verkkoluvan hakijaan.
- Suljettuun jakeluverkkoon ja suljetun jakeluverkon haltijaan sovelletaan, mitä sähkömarkkinalaissa säädetään suurjännitteisestä jakeluverkosta ja jakeluverkosta sekä jakeluverkonhaltijasta, ellei erikseen toisin säädetä.

5.2.7 Suljetun jakeluverkon rakentaminen

Suljetun jakeluverkon rakentamista koskevat saman määräykset, kuin avoimen jakeluverkon rakentamista (Finlex 2020: 13§ ja 14§).

5.2.8 Kiinteistöverkko

Kiinteistöverkko on tarkoitettu kiinteistön tai kiinteistöryhmän sisällä tapahtuvaan sähkönsiirtoon. Kiinteistöverkon keskeinen etu suljettuun jakeluverkkoon nähden on siinä,

ettei sen perustaminen vaadi sähköverkkolupaa. Kiinteistöverkossa ei tarvitse periä siirtomaksuja ja verkon haltija voi itse päättää mahdollisen siirtomaksun suuruuden. Kiinteistöverkko voi olla liitetty ulkoiseen jakeluverkkoon vain yhden pisteen kautta, jossa myös sähkönsiirron mittausta kiinteistöverkosta jakeluverkkoon tai jakeluverkosta kiinteistöverkkoon suoritetaan. (Ramboll Finland 2016: 8)

Kiinteistöverkon määritelmän täyttyminen edellyttää, että kiinteistöryhmän kiinteistöt, joiden alueella jakeluverkko sijaitsee ovat saman tahon hallinnassa. Hallinta voi olla kiinteistöryhmän omistusta tai alueen vuokrausta kokonaisuudessaan alueen omistajalta. Hallintaan liittyvän vaatimuksen lisäksi tulee kiinteistöryhmään kuuluvilla kiinteistöillä ja niillä harjoitettavalla toiminnalla olla jokin merkittävä toiminnallisesti yhdistävä tekijä. Ellei kiinteistöverkon määritelmän mukaiset edellytykset täyty, tulee verkonhaltijan hakea suljetun jakeluverkon tai vaihtoehtoisesti jakeluverkon sähköverkkolupaa. (FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy 2017: 9).

Huomioitavaa on, että tavanomainen teollisuusalue, jossa eri yrityksen omistavat omat kiinteistönsä ja jossa yritysten välillä ei ole toiminnallista yhteyttä, ei arvioiden mukaan täytä kiinteistöverkon määritelmää. (Ramboll Finland 2016: 8)

5.2.9 Kiinteistöverkon vaatimat luvat

Kiinteistön tai sitä vastaavan kiinteistöryhmän sisäisen sähkönsiirron tarpeisiin rakennettu kiinteistöverkko ei ole sähkömarkkinalaissa tarkoitettua luvanvaraista sähköverkkotoimintaa. Toisin sanoen kiinteistöverkon operoimiseen ei tarvita sähköverkkolupaa, eikä toimintaa säädellä sähkömarkkinalailla (Finlex 2020: 4§).

5.2.10 Kiinteistöverkon rakentaminen

Kiinteistöverkon rakentaminen ei edellytä sähköverkkolupaa tai lupaa alueen jakeluverkon haltijalta. Kiinteistöverkon rakentaminen saattaa kuitenkin vaatia rakennuslupan kunnalta tai kaupungilta. Tämän lisäksi kiinteistöverkon täytyy täyttää sähköverkoille asetetut määräykset.

5.2.11 Tasevastuu

Sähkömarkkinoiden osapuolet vastaavat siitä, että kunkin osapuolen sähköntuotanto ja sähkön hankintasopimukset kattavat osapuolen sähkön tarpeen ja sähköntoimitukset ulkoiselle toimijalle tietyn taseselvitysjakson aikana (Finlex 2020: 73§).

5.2.12 Taseselvitys

Verkonhaltija on velvollinen huolehtimaan taseselvityksen tekemisestä. Taseselvitys tehdään verkkonhaltijan sähköverkossaan suorittamien sähköntoimitusten mittausten perusteella tasevastaavan toimesta. Verkonhaltijan oma tasevastaava voi vastata taseselvityksen laatimisesta itse tai verkkonhaltija voi ostaa palvelun ulkoiselta taseselvityspalveluja tuottavalta taholta. Taseselvitys antaa tiedot sähkömarkkinoiden osapuolten sähkötaseesta, eli tiedot sähkömarkkinoiden osapuolten sähköntuotannosta ja muusta hankinnasta sekä sähkön käytöstä ja sähkön toimittamisesta ulkopuolisille tahoille. Taseselvityksestä selviää myös kunkin sähkömarkkinan osapuolen tasepoikkeama. (Finlex 2020: 74§)

5.2.13 Sähkön mittaus

Verkonhaltija vastaa sähköverkossaan tapahtuvien sähkötoimitusten mittauksesta ja mittausten rekisteröinnistä. Mittaustiedot on ilmoitettava sähkömarkkinoiden osapuolille ja mittaustiedot toimivat taseselvityksen ja laskutuksen perustana. Mittaukset tulee ilmoittaa sähkönkäyttöpaikka- tai mittauskohtaisesti. (Finlex 2020: 22§)

5.2.14 Sähköntoimittajan valinta

Sähköverkkoon liitetyllä taholla on oikeus valita sähköenergian toimittaja ja verkkonhaltijan on tarjottava sähköverkkopalveluja tasapuolisesti ja syrjimättä. Verkonhaltijan on järjestettävä liittyvän tahon sähkönkulutuksen mittaus asianmukaisella tavalla käytetyn sähköenergian laskutuksen mahdollistamiseksi. Liitetyllä taholla on oikeus valita sähköenergian toimittaja jakeluverkoissa, suljetuissa jakeluverkoissa sekä myös kiinteistöverkoissa. (Finlex 2020: 20–22§, 71§)

5.2.15 Sähköverkkoon syötettävän sähkön tuotanto

Sähkön tuotanto ei sähköverkkotoiminnan tavoin ole säänneltyä, eikä siis vaadi Energiamarkkinaviraston tai muunkaan viranomaistahon lupaa, eikä erityistä elinkeinonharjoittamislupaa. Sähkön tuottajan on kuitenkin ilmoitettava uuden voimalaitoksen rakentamisesta, liittämisestä verkkoon tai tuotannosta poistamisesta Energiamarkkinavirastolle. Sähkön tuotantolaitokselta vaadittavat tekniset määräykset täyttävällä voimalaitoksella on oikeus tulla kytketyksi alueen sähköverkkoon. Sähköverkon haltijalle on siis velvollisuus liittää sähkön tuotantolaitokset verkkoonsa. Liittämisestä voidaan periä kohtuullinen liittymismaksu. Kiinteistöverkossa sähköntuotannon liittämisestä verkkoon päättää kiinteistöverkon haltija. (Finlex 2020: 20§)

Jakeluverkossa sähköä voidaan myydä kaikille kuluttajille. Suljetussa sähköverkossa sähköä ei voida myydä kuluttajille, elleivät nämä ole pieni ryhmä ja joilla on työsuhteeseen perustuva tai vastaava yhteys sähköverkon haltijaan. Kiinteistöverkossa kiinteistöverkon haltija päättää sähkön myynnistä kiinteistöverkon sisällä. (Finlex 2020: 11§)

Sähkömarkkinalaissa on sähkön pientuotantoon liittyviä helpotuksia sähköveron (sähköntuotannon valmistevero) ja huoltovarmuusmaksun osalta. Sähkömarkkinalain mukaan pienimuotoista tuotantoa on tuotanto alle 2 MVA tehoisessa voimalaitoksessa. Vuonna 2015 sähkömarkkinalakiin tulleiden muutosten jälkeen sähköntuotanto voidaan jakaa kolmeen ryhmään:

1. Nimellisteholtaan alle 100 kVA mikrovoimalaitokset, jotka ovat kokonaan verotuksen ulkopuolella.
2. Nimellisteholtaan yli 100 kVA pienvoimalaitokset, joiden vuosituotantomäärä on enintään 800 MWh. Pienvoimalaitosten tulee rekisteröityä verovelvolliseksi ja antaa koko vuodelta yksi veroilmoitus tuottamastaan sähköstä. Sähköveroa tuotetusta sähköstä ei kuitenkaan tarvitse maksaa.
3. Nimellisteholtaan yli 100 kVA voimalaitokset, joiden vuosituotanto on yli 800 MWh. Voimalaitosten tulee antaa normaali veroilmoitus kuukausittain, riippumatta siitä syöttääkö voimalaitos sähköä verkkoon vai ei.

Sähköntuotannossa valmisteveron ja huoltovarmuusmaksun maksulta voidaan välttyä jakamalla sähkön tuotantolaitokset siten, että yllä olevan määritelmän kohta 1 tai 2 toteutuu. Esimerkiksi tuulivoimapuiston jokainen tuuliturbiiniyksikkö voi rekisteröityä omaksi tuotantoyksiköksi. Myös aurinkovoimalaitoksen paneelistot voidaan jakaa siten, että maksimi tuotantoyksikkökohtainen vuosituotantomäärä 800 MWh ei ylity. (Ramboll Finland 2016: 9–10)

5.3 Muut energianjakelun tavat

Lämmön ja sähkön jakelun lisäksi energiaa voidaan jakaa myös muilla tavoin. Tässä kapaleessa esitellään muutama mahdollinen tapa siirtää paikallisesti tuotettua energiaa ilman sähkö- tai lämpöverkkoa.

5.3.1 Biokaasu

Biokaasua voidaan valmistaa biokaasureaktoreissa mädättämällä eloperäisestä aineksesta, kuten biojätteistä, lietteistä ja esimerkiksi puutarhajätteistä. Biokaasun jakelu kulluttajille voidaan toteuttaa kaasuverkon kautta tai jakaa liikennepolttoaineeksi polttoaineen jakeluasemien avulla. (Motiva 2020b)

5.3.2 Nestemäiset biopolttoaineet

Nestemäisiä biopolttoaineita ovat mm. bioetanoli ja biodieselöljy. Bioetanolia valmistetaan hapettomissa olosuhteissa hajottamalla orgaanista ainetta entsyymien hiivojen avulla. Orgaanisena aineena voidaan käyttää viljojen ja maissin jyviä sekä esimerkiksi yhdyskuntajätteitä. Bioetanolia voidaan käyttää esimerkiksi liikennepolttoaineena. (Bioste 2020b)

Biodieselöljy valmistetaan esteröimällä kasvi- tai eläinrasvoja alkoholin avulla. Tai Fischer-Tropsch- synteessin avulla. Biodieselin raaka-aineiksi käy esimerkiksi kasvi- ja

eläinperäinen jäte. Biodieseliä voidaan bioetanolin tapaan käyttää esimerkiksi liikenne-polttoaineena. (Bioste 2020a)

5.3.3 Kiinteät biopolttoaineet

Kiinteitä biopolttoaineita ovat esimerkiksi puuperäiset polttoaineet ja peltobiomassa. Kiinteiden biopolttoaineiden jalostuksessa voidaan energianlähteenä käyttää esimerkiksi aurinkosähköä tai -lämpöä sekä tuulivoimaa. Kiinteän biopolttoaineen jalostus voi olla esimerkiksi puun kuivausta, hakettamista tai pelletointia sekä peltobiomassan kuivausta ja pelletointia. Kiinteän biopolttoaineen jalostusarvoa voidaan siis lisätä uusitutuvia energianlähteitä hyödyntäen. Valmis kiinteä biopolttoaine voidaan jakaa kuluttajille esimerkiksi maantiekuljetuksena. (Motiva 2020a)

6 UUSIUTUVAN ENERGIAN VARASTOINTI

Kasvava primäärienergiantarve sekä uusiutuvien energianlähteiden osuuden kasvu lisäävät energian varastoinnin tarvetta. Energian varastoinnilla tarkoitetaan tuotetun energiaa varastointia energiavarastoihin myöhemmän ajankohtana käytettäväksi. Energiavarastojen avulla energian tuotannon ja kulutuksen eriaikaisuudesta johtuvaa epätasapainoa voidaan pienentää. Energiavarastojen avulla energiaa voidaan tuottaa silloin, kun se on edullisinta tai ylipäättään mahdollista. Energiavarastojen avulla voidaan tasata energian kysynnän piikkejä sekä osallistua esimerkiksi sähköverkon taajuuden tukemiseen.

CHP- voimalaitoksissa sähkön- ja lämmöntuotanto on aina kytketty toisiinsa ja siksi energiantuotanto on optimoitava kokonaisuus huomioiden. Tuotettu sähkö voidaan yleensä myydä verkkoon, mutta lämmöntuotannon tarpeen määrää tyypillisesti lähialueen lämpöverkon energiantarve. Jos lämmön kysyntä on pientä, tulee voimalaitoksen tehoa pienentää tai vaihtoehtoisesti syöttää tuotettu lämpö muuhun sopivaan lämpönieluun, esimerkiksi lämpövarastoon. Energian varastointi lisää joustavuutta tuotannon suunniteluun ja vähentää sähkön- ja lämmöntuoton riippuvuutta tosistaan. (Abdollahi ym. 2020: 1)

Aurinko- ja tuulivoiman kohdalla energiantuotannon määrä ja aikataulu ovat sidoksissa sääolosuhteisiin sekä vuorokaudenaikaan. Tuotanto ja kysyntä eivät aina kohtaa ja eroa voidaan tasoittaa energian varastoinnilla. Energiavarastoja voidaan hyödyntää myös tuotantokapasiteetin mitoituksessa. Tuotantokapasiteetti voidaan mahdollisesti mitoittaa pienemmäksi hyödyntämällä energiavarastojen sisältämää energiaa kysyntäpiikkien aikana.

Tässä luvussa perehdytään lämmön varastointiin lämpövaraajiin sekä sähkön varastointiin akkuvarastoihin. Tämän lisäksi käsitellään lyhyesti energian varastoinnin muita tekniikoita.

6.1 Lämmön varastointi

Lämpöä voidaan varastoida sekä lyhyen, että pitkän aikavälin lämpövarastoihin. Lyhyen aikavälin lämpövarastoja ovat esimerkiksi omakotitalon lämminvesivaraajat sekä kaukolämpöverkon lämpöakut. Suomen suurin rakenteilla oleva lämpövarasto on Helen Oy:n kaksi lämpöakkua sisältävä Mustikkamaan 320 000 m³ lämpövarasto. Mustikkamaan lämpövarasto valmistuu vuoden 2021 aikana ja sen varastoitikapasiteetti tulee olemaan 11600 MWh (Helen Oy 2019; Lumme 2018: 23).

Lyhyen aikavälin lämpövarastoissa lämpöä varastoidaan tunneista muutamiin vuorokautsiin. Lämpövarastot ovat tyypillisesti säiliöitä, jotka sisältävät lämpöä varastoivan lämmönvarastointimateriaalin. Lämmönvarastointimateriaali voi olla lähes mitä tahansa korkean ominaislämpökapasiteetin omaavaa materiaalia. Tyypillisesti lämmönvarastointimateriaalina käytetään vettä. (Lumme 2018: 8) Vesi on ympäristöystävällinen ja edullinen lämmönvarastointimateriaali, jolla on korkea ominaislämpökapasiteetti. Veden alhainen kiehumispiste 100 °C rajoittaa kuitenkin sen käyttöä korkean lämpötilan sovelluksissa (Lumme 2018: 12–13). Korkeaa varastointilämpötilaa vaativissa sovelluksissa lämmönvarastointimateriaalina voidaan käyttää esimerkiksi sulasuolaa tai erityisiä lämmönvarastointiin tarkoitettuja öljyjä (Lumme 2018: 9).

Lämmön lyhyen aikavälin varastoinnin rakennuskustannus vettä lämmönvarastointimateriaalina käytäviin lämpövarastoihin on noin 10 €/kWh (Einamo ym. 2018: 27). Teknisesti monimutkaisemmat varastointitavat, kuten sulasuolaa tai lämmönsiirtoöljyjä hyödyntävät järjestelmät ovat kalliimpia, kustannusten ollessa luokkaa 40–80 €/kWh (Lumme 2018: 9).

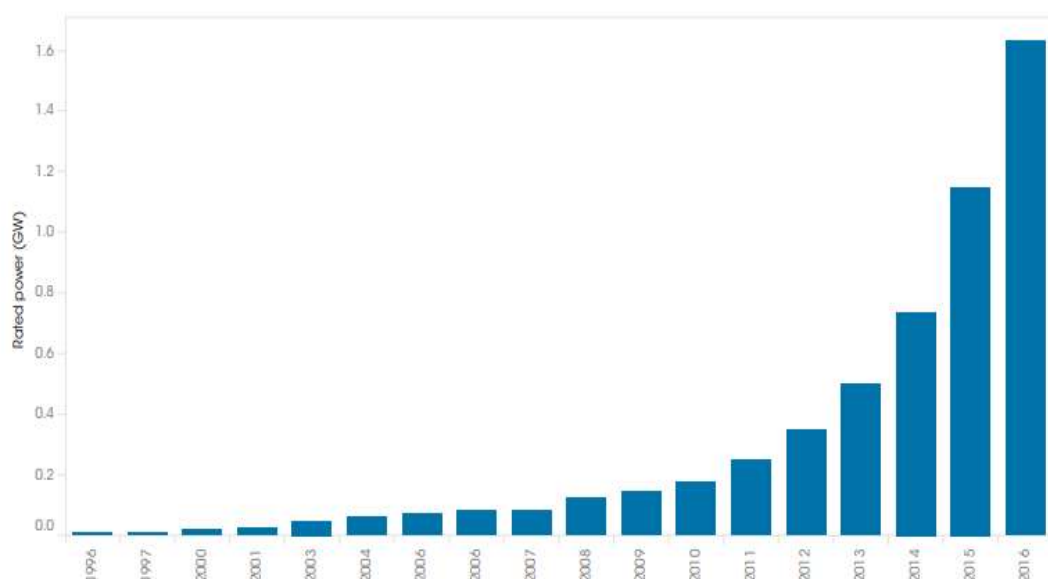
Pitkän aikavälin lämpövarastot ovat vielä kehitysasteella ja tekniikkaa on pilotoitu muutamissa kohteissa ympäri maailmaa. Pitkän aikavälin lämmönvarastointitekniikat perustuvat tyypillisesti lämpöenergian varastointiin suoraan maaperään tai maan alle sijoitettuihin vesivarastoihin. Alustavien tulosten perusteella kehitteillä olevat tekniikat näyttävät lämpöenergian pitkän aikavälin varastoinnin kannalta lupaavilta. (Lumme 2018: 9)

6.2 Sähkön varastointi

Sähköä voidaan varastoida monella tekniikalla, esimerkiksi akkuihin, pumppuvoimalaitoksiin, aurinkolämpövoimalaitoksiin, mekaanisiin ja pneumaattisiin energiavarastoihin, superkondensaattoreihin sekä vetyenergiavarastoihin. Tyypillistä sähkön varastoinnissa on, että sähköenergia muutetaan aina johonkin muuhun energiamuotoon, kuten veden potentiaalienergiaksi, vauhtipyörän liike-energiaksi tai esimerkiksi akun kemialliseksi energiaksi. (Energy Storage Assosiation 2020c) Vuonna 2018 pumppuvoimaloiden kapasiteetti maailmassa oli noin 170000 MW, eli noin 98 % maailman koko sähkönvarastointikapasiteetista. Toiseksi suurin kapasiteetti vuonna 2018 oli litium-ioni akuilla toteutetuilla akkuvarastoilla, joiden kapasiteetti oli yhteensä noin 1600 MW. Kuvassa 15 näkyy eri sähkönvarastotekniikoiden osuuden vuonna 2018. Kuten kuvasta voidaan päätellä, käytetään pumppuvoimaa tyypillisesti suuren kokoluokan sähkövarastojen toteutustekniikkana. Akkuvarastoihin tarvittavan tekniikan halventuessa, niiden osuus sähkönvarastoinnin kapasiteetista tulee luultavasti kuitenkin nousemaan tulevaisuudessa (Kuva 16.).

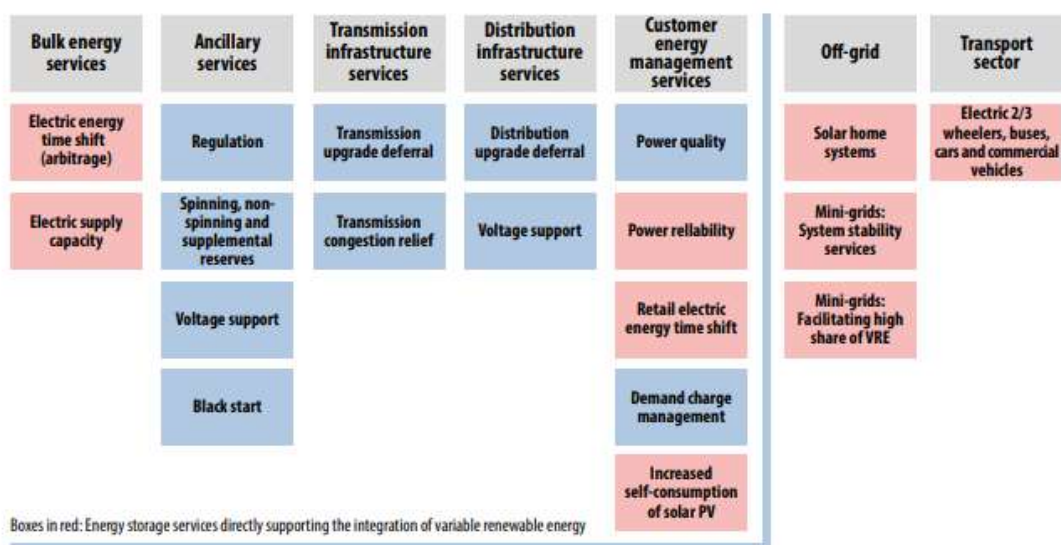
Technology	MW Deployed
Sodium sulfur	189
Lithium-ion	1,629
Lead acid	75
Sodium metal halide	19
Flow battery	72
PSH	169,557
CAES	407
Flywheels	931
Electrochemical capacitor	49
Total	172,928

Kuva 15. Sähkönvarastotekniikoiden osuuden maailmassa vuonna 2018 (Alamy.2019: 21).



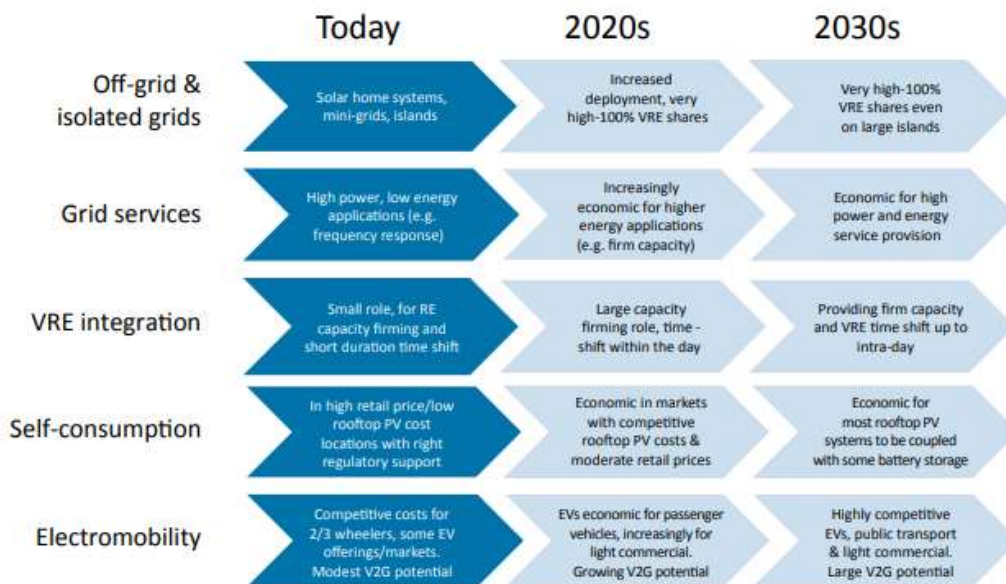
Kuva 16. Akkuvarastojen kokonaiskapasiteetin muutos maailmassa 1996–2016 (IRENA 2017: 32).

Sähkövarastoja voidaan käyttää useilla eri alueilla, kuten sähkönsiirrossa verkon taajuuden tukemiseen, sähköön tuotannossa kysyntäpiikkien tasoittamiseen sekä kotien aurinkosähköjärjestelmien osana. Kuvassa 17 on esitetty sähkövaraston käyttökohteita. Punaisella värjätty laatikot sisältävät käyttökohteita, jotka tukevat suoraan uusiutuvan energian tuotantoa. Tällaisia käyttökohteita ovat esimerkiksi omakotitalojen yhteyteen rakennettuun aurinkosähköjärjestelmään kytketyt sähkövarastot. (PowerTech 2020: 11)



Kuva 17. Sähkövarastojen käyttökohteita (PowerTech 2020: 11).

Kuvassa 18 on esitetty IRENA:n (International Renewable Energy Agency) näkemys sähkövarastojen käytön muuttumisesta vuoteen 2030 mennessä. Kuvasta voi havaita, että sähkövarastojen rooli tulee kasvamaan niin ajoneuvojen akkujen, kuin myös sähköverkkoon tarkoitettujen sovellusten osalta. Sähköverkkojen osalta sähkövarastojen merkitys kasvaa erityisesti uusiutuvan, tuotantoteholtaan vaihtelevan, energiantuotannon lisääntyessä. Sähkövarastot mahdollistavat rakennusten katoilla tuotetun aurinkosähkön varastoinnin ja käytön joustavasti sekä jakeluverkoista erillään olevien off-grid verkkoratkaisujen yleistymisen. Ajoneuvoissa henkilöautojen lisäksi myös bussien ja kevyen tavaraliikenteen ajoneuvojen nähdään muuttuvan sähkökäyttöisiksi. (IRENA 2017: 28)



Kuva 18. Sähkövarastojen käyttökohteiden muutos vuoteen 2030 mennessä (IRENA 2017: 28).

6.2.1 Akkuvarastot

Akkuvarastot perustuvat sähköenergiaa kemialliseksi energiaksi varastoiviin akkuihin. Akkuvarastojen energianvarastointikapasiteetti vaihtelee muutamista kilowattitunneista satoihin megawattitunteihin. Akkuvarastojen tehot vaihtelevat niin ikään muutamista kilowateista satoihin megawatteihin. (Alam ym.2019: 3–8).

Akkua ladattaessa sähköenergia aikaansaa akussa kemiallisen reaktion, jonka ansiosta akku varautuu. Akkua purettaessa akkuun varastoitunut kemiallinen energia muuttuu jälleen sähköenergiaksi ja akku purkautuu. Akun kyky varastoida ja luovuttaa energiaa on rajallinen ja riippuu käytetystä akkutyypistä sekä akun fyysisestä koosta. Myös akun varaus - purkukertojen, eli syklien määrä on rajallinen ja riippuu käytetystä akkutyypistä. Akku siis kuluu käytössä ja on lopulta vaihdettava uuteen. (Australian Academy of Science 2020)

Nykyään käytössä olevia akkutyyppejä on useita ja perinteisin niistä on lyijy- happoakku. Muita akkutyyppejä ovat mm. litium - ioniakut, natrium - rikkiakut, natrium - nikkelikloridiakut ja vanadium - vanadium redox- sekä sinkki - bromi redox- virtausakut. Lyijyakku on akkutyypeistä edullisin, mutta sekä sen teho, että energiatiheys on esimerkiksi litium - ion akkua alhaisempi. (Energy Storage Association 2020d; Alam ym.2019)

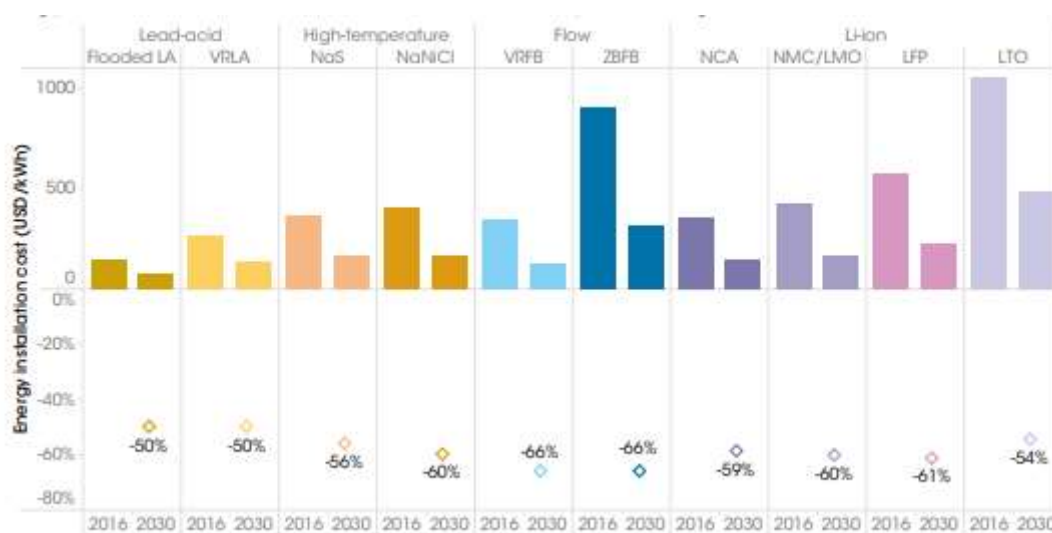
Akkuvaraston kustannukset määräytyvät mm. käytetyn akkutyypin mukaan. Tällä hetkellä lyijyakkujen hinta on noin 100 € / kWh ja litium - ioni akkujen noin viisinkertainen, ollen luokkaa 500 €/kWh. Taloudellista kannattavuutta laskettaessa hyödyllinen lähtötieto on akkuvaraston suorituskykyyn suhteutettu hinta (€/käyttökelpoinen kWh). Suorituskykyyn suhteutettuun hintaan vaikuttaa mm. valitun akkutyypin käyttökelpoinen kapasiteetti, akkujen käyttöikä, akkujen hinta, asennuksen hinta sekä laitteiston rahtikustannukset asennuskohteeseen.

Kuvassa 19 on vertailtu 50 kWh akkuvaraston kokonaiskustannuksia lyijy - happoakuilla sekä litium - ioni akuilla toteutettuna. Vertailusta huomataan, että vaikka lyijy - happoakut ovat edullisempia, on litium - ioni akuilla toteutettu akkuvarasto akkutyypin parempien ominaisuuksien ansiosta kokonaisuutena selvästi edullisempi. Käytetyn akkutyypin lisäksi akkuvaraston kokonaiskustannuksiin vaikuttaa myös akkuvaraston asennuspaikka sekä akkuvarastolta vaaditut ominaisuudet. (PowerTech 2020)

	LEAD-ACID AGM	LITHIUM-ION
Installed capacity	100 KWh	50 KWh
Usable capacity	50 KWh	50 KWh
Lifespan	500 cycles at 50% DoD (Depth of Discharge)	3000 cycles at 100% DoD
Number of installations	6 (1 + 5 replacements)	1
Battery cost	60 000€ (100€/KWh x 100 x 6)	25 000€ (500€/KWh x 50 x 1)
Installation cost	12 000 € (2000 € per install x 6)	2000 € (one shot install)
Transportation cost	6 000€ (1 000€ per transport x 6)	1 000€ (one shot install)
TOTAL COST	78 000€	28 000€
Cost per usable KWh per cycle	0.42€ / usable kWh (78 000 / 3000 / 50)	0.18€ / usable kWh (28 000 / 3000 / 50)

Kuva 19. Vertailua erään kapasiteetiltaan 50 kWh akkuvaraston kustannuksista lyijy – happoakuin sekä litium – ioni akuin toteutettuna (PowerTech 2020).

Kuvassa 20 on esitetty IRENA :n näkemys asennettujen erityyppin akkuteknologioiden kustannusten muutoksesta vuoteen 2030 mennessä. Akkujen prosentuaalinen hintojen lasku tulee IRENA:n mukaan olemaan luokkaa 50–66 % akkutyyppistä riippuen. Erityisesti litium- ioniakkujen sekä sinkki - bromi virtausakkujen euromääräinen hinta näyttää putoavan merkittävästi vuoteen 2030 mennessä. (IRENA 2017: 100)



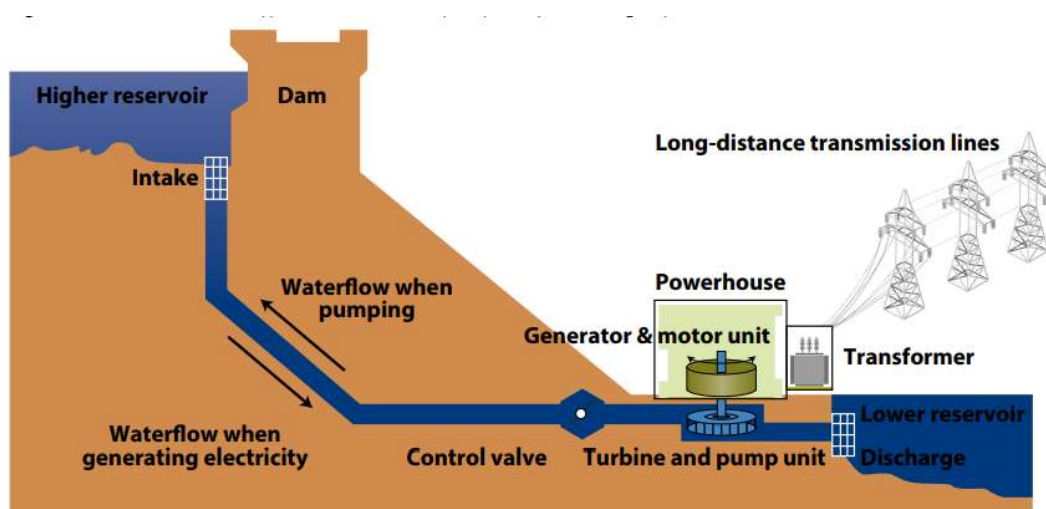
Kuva 20. Erityyppisillä akuilla toteutettujen akkuvarastojen kustannusten muutos vuoteen 2030 mennessä (IRENA 2017: 100).

6.2.2 Pumppuvoimalaitokset

Vaikka litium - ioni akkutekniikalla toteutetun sähkövaraston energiatiheys on noin 100-kertainen ja tehotehiys vähintään 1000- kertainen pumppuvoimalaitokseen verrattuna on pumppuvoimalaitos varteenotettava sähkövaraston toteutusvaihtoehto suunniteltaessa teholtaan ja kapasiteetiltaan suurta sähkövarastoa. (IRENA 2017: 42)

Pumppuvoimalaitoksessa esimerkiksi tuuli- tai aurinkovoimalla tuotetun sähkön avulla siirretään vettä matalammasta potentiaalista korkeampaan. Kun sähköä tarvitaan, muutetaan veden potentiaalienergia uudelleen sähköksi pumppuvoimalan turbiinin avulla. Voimalaitoksen turbiini toimii siis tilanteesta riippuen sekä pumppuna, että turbiinina ja sähkö varastoidaan pumppuvoimalaitoksessa veden potentiaalienergiana. Pumppuvoimalaitos tarvitseekin toimiakseen korkeuseroa vesivarastojen välille. Korkeuserona voidaan hyödyntää maanpinnan korkeuseroja tai myös maan alla sijaitsevaa sopivaa tilaa, esimerkiksi käytöstä poistettua kaivoskuilua (Energy Storage News 2017; Kestävä Energiatalous 2018).

Pumppuvoimalaitoksen tarvitsema tekniikka on suhteellisen yksinkertaista ja kokonaisyhtöysuhde hyvä, jopa yli 80 %. Tehonnosto kestää vain muutamia kymmeniä sekunteja, joten pumppuvoimalat soveltuvat myös sähköverkon taajuuden tukemiseen. Pumppuvoimalaitoksen rakennuskustannukset ovat tyypillisesti luokkaa 165–190 €/kWh. (Kestävä Energiatalous 2018) Kuvassa 21 on pumppuvoimalaitoksen periaatekuva.



Kuva 21. Pumppuvoimalaitoksen periaatekuva (IRENA 2017: 50).

6.2.3 Aurinkolämpövoimalaitokset

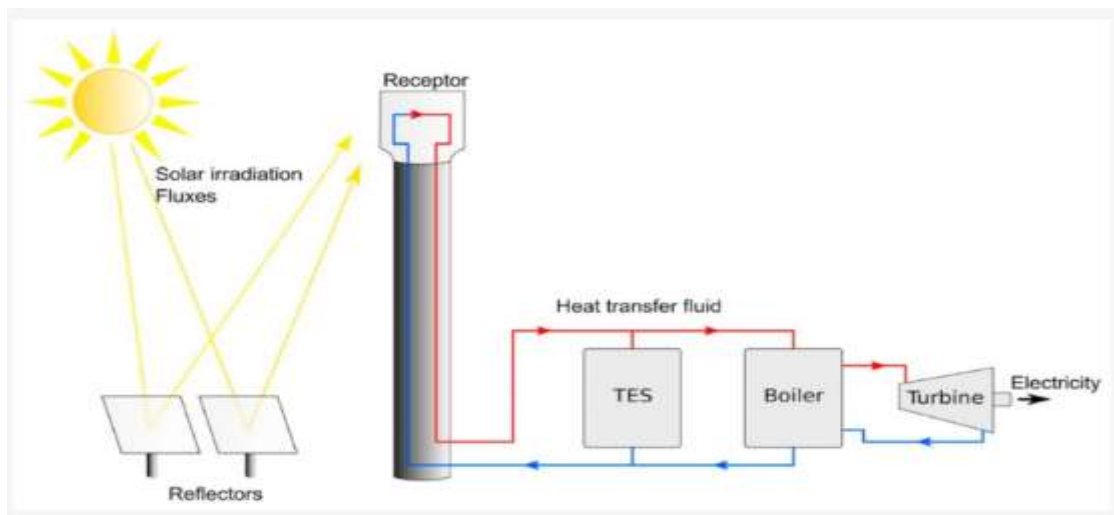
Aurinkolämpövoimalaitoksessa auringon säteilyenergiaa kerätään talteen ja käytetään energiantuotantoon. Aurinkovoimalaitos voidaan toteuttaa monella tekniikalla ja yksinkertainen esimerkki aurinkovoimalaitoksesta on omakotitalon katolle asennetut aurinkolämmönvaihtimet, joiden avulla lämmitetään käyttövettä ja huonetiloja.

Aurinkovoimalaitoksessa energianvarastoinnissa voidaan hyödyntää joko lämmönsiirtoaineen lämpötilan muutosta tai olomuodon muutosta. Lämpötilan muutoksesta on kyse silloin, kun kiertoaineen lämpötila muuttuu prosessin aikana, mutta olomuoto pysyy samana. Olomuodonmuutos on kyseessä silloin, kun kiertoaine muuttaa olomuotoaan esimerkiksi nestemäisestä höyryksi lämpötilan pysyessä vakiona. Olomuotoa muuttavien lämmönsiirtoaineiden energiatiheys on korkea, mutta haittapuolina kallis hinta ja lämmönsiirtokyvyn heikkeneminen käytössä. (Barile 2010)

Perinteinen lämpötilan muutokseen perustuva lämmönsiirtoaine ja energianvaraaja on vesi. Veden käyttöä lämmönsiirtoaineena ja energianvaraajana rajoittaa sen alhainen kiehumispiste 100 °C. Ilmakehän paineessa veden lämmönvaruksen lämpötila-alue on siis melko kapea, ollen teoriassa jäätymispisteestä kiehumispisteeseen. Ja käytännössä vieläkin kapeampi, koska lämmönsiirtoaineena käytettäessä veden alkulämpötila on harvoin lähellä jäätymispistettä. Vedelle onkin kehitetty korvaavia vaihtoehtoja, joiden lämmönvaruksen lämpötilaväli on suurempi. Eräs tällainen lämmönsiirtoaine on ns. Glauber-suola, joka koostuu natrium- ja kaliumnitraatista, ja jonka sulamislämpötila on luokkaa 220 °C, ja joka alkaa hajota vasta 600 °C lämpötilassa. Glauber-suolan lämmönvaruksen lämpötila-alue on siis vettä huomattavasti laajempi. Glauber-suola on veden tavoin ympäristön kannalta vaaratonta. (Barile 2010)

Eräs mielenkiintoinen aurinkovoimalaitoksen variaatio on Glauber-suolaa lämmönsiirto- ja varastointiaineena käyttävä aurinkoenergiaa keskittävä aurinkolämpövoimalaitos. Laitoksessa Glauber-suola on aina sulassa olomuodossa ja aina vähintään 260 °C

lämpötilassa. Kuvassa 22 on esitetty aurinkoenergiaa keskittävän aurinkolämpövoimalaitoksen periaatekuva. Auringon säteilyenergia kohdistetaan torniin sijoitettuun lämmönkeräimeen, joka lämmittää sulan suolan. Tämän jälkeen sula suola virtaa lämmönvaihtimeen, joka tuottaa höyryä höyryturbiinia varten. Höyryturbiini on kytketty generaattoriin, joka tuottaa sähköä. Lämmönvaihtimen lisäksi kuumentunutta suolaa siirretään laitoksen lämpövarastoon. Lämpövaraston sisältämää energiaa käytetään turbiinin pyörittämisessä esimerkiksi yöaikaan, kun auringon säteilyenergiaa ei ole saatavilla. Aurinkoenergiaa keskittävä voimalaitos on siis uusiutuvaa energiaa hyödyntävä voimalaitos, joka voi ainakin teoriassa toimia keskeytyksittä vuorokauden ympäri. (Barile 2010)



Kuva 22. Aurinkoenergiaa keskittävän ja varastoivan aurinkolämpövoimalan toimintaperiaate (Alnaimat & Rashid, 2019).

6.2.4 Mekaaniset ja pneumaattiset energiavarastot

Energiaa voidaan varastoida mekaanisiin energiavarastoihin, joissa hyödynnetään esimerkiksi potentiaali- tai kineettistä energiaa. Potentiaalienergiaa hyödyntävä ratkaisu voi olla esimerkiksi paino, joka energiavarastoa ladattaessa nostetaan sähköenergialla korkeampaan potentiaaliin. Purettaessa energiavarastoa paino laskeutuu alaspäin ja pyörittää nyt generaattorina toimivaa sähkömoottoria, joka tuottaa sähköenergiaa. Kineettistä energiaa hyödyntävä ratkaisu voi olla esimerkiksi vauhtipyörä, jota pyöritetään sähkömoottorin avulla. Sähkömoottorin pyörittäessä vauhtipyörää liike-energia varastoituu vauhtipyörään ja purettaessa energiaa vauhtipyörästä generaattori muuttaa vauhtipyörän liike-

energian takaisin sähköenergiaksi. Paineilmaa hyödyntävässä energiavarastossa ilmaa tai muuta työaineena käytettävää kaasua puristetaan korkeampaan paineeseen kompressorin avulla. Energiavarastoa purettaessa paineistettu työaine pyörittää generaattoria, joka tuottaa sähköenergiaa. (Energy Storage Association 2020b)

Potentiaalienergiaa ja paineilmaa hyödyntävät ratkaisut voivat toimia energian pitkäaikaisessa varastoinnissa. Kineettistä energiaa hyödyntävä vauhtipyörä sen sijaan purkaa siihen ladattua energiaa laitteen sisäisiin häviöihin ja lopulta vauhtipyörän pysähtyessä ladattu energia on kokonaan purkautunut. (Energy Storage Association 2020b)

6.2.5 Superkondensaattorit

Superkondensaattorit ovat kondensaattorityyppi, joille tyypillisiä ominaisuuksia ovat mm. kondensaattorin lähes olematon kuluminen lataus - purkusyklien aikana, suuri virran otto- ja antokyky, erittäin hyvä hyötysuhde, hyvä lämpötilan sietokyky, yksinkertainen latauksen hallinta ja laaja jännitealue. Superkondensaattorien kennojännite on alhainen, joten korkean jännitteen sovelluksissa useita superkondensaattoreita täytyy kytkeä sarjaan. (Qi ym. 2008)

Tyypillisesti superkondensaattoreita käytetään sovelluksissa, jotka tarvitsevat energiaa lyhytkestoisesti ja josta vaativat energiavarastolta nopeaa varaus - purkukykyä. Tällaisia sovelluksia voivat olla esimerkiksi ajoneuvojen jarrutusenergian talteenottojärjestelmät sekä sähköverkon taajuuden lyhytaikainen tukeminen. (Electronic Design 2016)

6.2.6 Vetyenergiavarastot

Vetyenergiavarastossa sähköenergian ja elektrolyysin avulla tuotettu vety varastoidaan myöhempää käyttöä varten. Vetyenergiavaraston avulla esimerkiksi aurinkopaneelein tai tuulivoimalla tuotettua sähköä voidaan muuttaa vedyksi ja polttokennon avulla jälleen sähköksi silloin, kun sähköenergian kysyntä on korkeaa. Vetyenergiavaraston avulla uusiutuvalle energiantuotannolle tyypillistä vaihtelua voidaan siis pienentää ja tuottaa sähköä silloin, kun kysyntä on korkeaa. (Energy Storage Association 2020a)

6.2.7 Power-to-gas

Power-to-gas on tekniikka, jossa vesi hajotetaan elektrolyysissä hapeksi ja vedyksi. Prosessissa muodostuva vety voidaan käyttää energianlähteenä sellaisenaan, tai siitä voidaan valmistaa hiilimonoksidin tai hiilidioksidin kanssa synteettistä metaania. Elektrolyysin vaatima sähköenergia voidaan tuottaa esimerkiksi aurinko- tai tuulivoiman avulla. Syntyvä polttoainekaasu voidaan jakaa kuluttajille kaasuputkiverkon kautta, tai jakaa liikennepolttoaineeksi polttoaineen jakeluasemien avulla. (PowerMag 2019)

Power-to-gas teknologia tarjoaa lisäksi tavan varastoida aurinko- ja tuulienergiaa ja näin tasata tuotannon ja kulutuksen välisiä vaihteluja. Power-to-gas teknologia on vielä kehitystasasteella mutta useita koelaitoksia on jo rakennettu mm. Saksaan. (PowerMag 2019)

7 UUSIUTUVAN ENERGIAN TUOTANTO RAHKOLAN ALUEELLA

Rahkolan alueella voidaan tuottaa uusiutuvaan energiaa useilla eri tavoilla. Alueella ei ole mitään erityistä uusiutuvan energian lähdettä tai muuta etua, jonka avulla alue erottuisi ympäristöstään. Tästä syystä alueelle soveltuvat uusiutuvan energian tuotantotavat ovat hyvin perinteisiä ja tavanomaisia.

Tässä kappaleessa käsitellään Rahkolan alueelle soveltuvia uusiutuvan energian tuotantotapoja tuulivoiman ja aurinkosähkön osalta. Lisäksi tarkastellaan biomassojen ja kaatopaikkakaasun hyödyntämismahdollisuuksia alueen energiantuotannossa. Lopuksi pohditaan millä muilla tavoilla uusiutuvaa energiaa olisi mahdollista tuottaa alueella.

7.1 Tuulivoima

Pientuulivoima soveltuu mahdollisesti Rahkolan alueelle uusiutuvan energian tuotantoon. Soveltuvuus tulee kuitenkin varmistaa tuulimittauksin. Lisäksi sijoittelussa tulee huomioida mm. tuuliturbiinien vaatimat turvaetäisyydet. Koska mitään koko maan kattavaa tuulivoiman rakentamiseen liittyviä määräyskokoelmaa ei ole olemassa, tulee turbiinien teho, maston korkeus turbiinien sijoituspaikat sekä muut pientuulivoiman rakentamiseen liittyvät seikat sopia Seinäjoen kaupungin kanssa.

Jos alueen tuulimittaukset puoltavat pientuuliturbiinien käyttöä, mitään erityisiä teknisiä esteitä niiden käytölle alueella ei ole olemassa. Soveltuvia tuuliturbiinimalleja ja toimittajia on useita ja tekniikka nykyään pääsääntöisesti varmatoimista. Tuulivoiman pientuotannon taloudellinen kannattavuus saattaa asettaa niiden käytölle haasteita. Investointikustannusten tuleekin olla riittävän alhaisia taloudellisen kannattavuuden varmistamiseksi.

7.2 Aurinkosähkö

Aurinkosähkön tuotanto alueella voi olla kiinteistökohtaista tai keskitettyä. Kiinteistökohtainen aurinkosähkön tuotanto voidaan toteuttaa rakennusten rakenteisiin integroiduilla ratkaisuilla ja/tai katto ja maa-asennuksilla.

Jos alueelle päätetään rakentaa keskitetty aurinkosähkövoimala, voidaan suuri ominais-teholtan luokkaa 2–4 MWp aurinkovoimala toteuttaa alueella sijaitsevan suljetun kaatopaikan päälle. Aurinkovoimalan sijoittaminen kaatopaikan päälle mahdollistaa muuten käyttökelvottoman alueen hyödyntämisen uusiutuvan energian tuotannossa.

Kuvassa 23 on esitetty aurinkopaneelien mahdollinen sijoittelu jätetäytön päälle. Kuvassa paneelien optimaalinen sijoitussuunta on rajattu keltaisin viivoin. Aurinkopaneelien optimi sijoituskulma on lähes suoraan etelään, mutta jätetäytön pinnanmuodot huomioon ottaen osa paneeleista voidaan sijoittaa kaakosta lounaaseen suuntautuvalla alueella. Kuten kuvasta voidaan havaita, kallistaa osa jätetäytöstä koillisen ja idän suuntaan. Jos näille alueille sijoitetaan aurinkopaneeleja, tulee kiinnitysrakenteiden mahdollistaa paneelien suuntaaminen rinteiden luonnollisesta kallistussuunnasta poiketen.

Suomessa ei toistaiseksi ole rakennettu jätetäytön päälle sijoitettua aurinkovoimalaa, mutta toimivia toteutuksia löytyy mm. Saksasta ja Yhdysvalloista. Aurinkovoimala voidaan rakentaa niin, ettei se häiritse jätetäytön päälle sijoitettujen sulkukerrosten toimintaa. Toteutustavasta riippuen aurinkovoimalan rakenteilla voidaan jopa parantaa jätetäytön päälle satavien sadevesien poisohjausta ja näin tehostaa sulkukerroksen toimintaa.

Aurinkovoimalan toteutuksen tarkka suunnittelu vaatii lisäselvitysten tekoa ja saavutettavan teholuokan tarkka laskeminen jätetäytön pinta-alan tarkkaa määrittämistä. Aurinkovoimalan teho riippuu myös käytetystä aurinkopaneelitekniikasta. Aurinkovoimalan rakentamisen toteutustekniikoita on useita ja niitä on tarkasteltu tarkemmin Seinäjoen kaupungille tuotetussa Roveksen alueen uusiutuvan energian tuotantomuodot- raportissa.



Kuva 23. Aurinkopaneelien mahdollinen sijoittuminen jätetäytön päälle.

7.3 Biomassat

Rahkolan alueelle rakentuvalle Lakeuden Etapin uudelle kierrätysasemalle tulee noin 1300000 kg risu- ja puujätettä vuodessa. Puupolttoaineiden lämpöarvo vaihtelee runsaasti riippuen siitä onko puu kuivaa vai märkää ja myös mikä puuaines on kyseessä. Jos kierrätysaseman risu- ja puujätteen lämpöarvon oletetaan olevan sama, kuin metsätähde- ja kokopuuhakkeen, on lämpöarvo märälle hakkeelle luokkaa 6–10 MJ/kg eli 1,7–2,8 kWh ja kuivalle hakkeelle 18–20 MJ/kg, eli 5–5,6 kWh/kg. (Motiva 2020c) Kuivan hakkeen lämpöarvo on siis noin kaksinkertainen märkään hakkeeseen verrattuna. Jos jäteasemalle tuleva risu- ja puujäte voitaisiin hyötykäyttöä kokonaan, olisi kuivasta hakkeesta saatava energiamäärä luokkaa 6900 MWh. Risu- ja puujäte on kuitenkin ensin kuivattava ja

haketettava, eli siitä saatava nettoenergiamäärä on edellä mainittua pienempi. Kuivauksessa ja haketuksessa voitaisiin käyttää esimerkiksi alueella tuotettua aurinkosähköä tai kaatopaikan tuottamaa kaatopaikkakaasua.

Muita biomassan lähteitä alueella voisi olla esimerkiksi alueelle sijoittuvan teollisuuden tuotannossa syntyvät biomassat, kuten sahanpuru tai sahausjätteet. Tai esimerkiksi viljan käsittelyssä syntyvät biomassat, kuten viljan kuoret. Näistä biomassoista hakkeen tai esimerkiksi pellettien teko voisi olla järkevää, koska raaka-aine olisi luultavasti kierrätysaseman risu- ja puujätettä kuivempaa.

7.4 Kaatopaikkakaasu

Seinäjoki-Nurmon kaatopaikalla kaatopaikkakaasu koostuu keskimäärin 50 % metaania, 33,35 % hiilidioksidia ja hapestä 0,23 %. Muiden kaasujen osuuksia ei ole ilmoitettu Mesmec Oy:n vuoden 2017 vuosihuoltoraportissa. Vuosihoitoraportin mukaan kaatopaikan kahden soihutpolttimen kaatopaikkakaasun tuotto on tehtyjen mittausten perusteella keskimäärin yhteensä noin 36 Nm³/h. (Mesmec Oy 2017: 3) Kaatopaikkakaasun lämpöarvo vaihtelee kaasun koostumuksesta riippuen välillä 14–21 MJ m³ eli noin 3,8–5,9 kWh/m³ (Kauppinen 2009: 24). Mesmec Oy:n vuosiraportin mukaan kaatopaikan kaatopaikkakaasun vuosituotto on noin 320000 Nm³/a. Kaatopaikkakaasusta saatava energiamäärä on siis luokkaa 1220 MWh – 1880 MWh vuodessa.

Energiantuotannossa voitaisiin käyttää esimerkiksi kaasuturbiinin ja kaasukattilan yhdistelmää. Kaasun virtaus 36 Nm³/h riittää kaasuturbiinille, jonka sähköteho on 30kW ja lämpöteho 60 kW. Sekä tämän lisäksi kaasukattilalle, jonka lämpöteho on luokkaa 80kW. Laitteistolla voidaan tuottaa sähköä noin 220 MWh ja lämpöenergiaa noin 700 MWh vuodessa, jos laitteisto käy 20 h vuorokaudessa. Käyntiajan lyhentäminen laskee luonnollisesti vuosituoton määrää.

Edellä kuvatun laitteiston investointikustannusarvio, sisältäen mikroturbiinin, kaasukatilan, kaatopaikkakaasun siirtoon ja puhdistukseen tarvittavat laitteistot ja laitteiston vaatimat rakenteet, on luokkaa 220000–230000 €, alv 0 %.

7.5 Muut mahdolliset tavat tuottaa uusiutuvaa energiaa alueella

Edellä mainittujen uusiutuvan energian tuotantotapojen lisäksi alueella voidaan tuottaa uusiutuvaa energiaa myös esimerkiksi maalämmön avulla. Maalämpö voi olla kiinteistökohtaista tai alueelle voidaan rakentaa iso keskitetty maalämpölaitos. Keskitetyn laitoksen rakentaminen vaatii kuitenkin myös lämpöverkon rakentamista. Alueelle sijoittuvasta yritystoiminnasta riippuen energianlähteinä voidaan hyödyntää myös teollisuuden hukkalämpöjä tai esimerkiksi suljetun kaatopaikan sisällä muodostuvaa lämpöä.

Erän mielenkiintoinen ja vartenotettava uusiutuvan energian lähde tulevaisuudessa saattaa olla geoterminen energia. Tällä hetkellä suurin geotermisen energian hyödyntämiseen liittyvä haaste näyttää liittyvän useita kilometrejä syvien porakaivojen toteuttamiseen. Kun poraustekniikka on kehittynyt riittävästi, voisi geotermistä energiaa hyödyntävä voimalaitos olla toteuttamiskelpoinen myös Rahkolan alueelle. Geoterminen voimalaitos voisi tuottaa uusiutuvaa energiaa niin Rahkolaan, kuin myös laajemminkin Seinäjoen kaupungin käyttöön. ORC- turbiinitekniikan avulla laitos voisi lämmöntuotannon lisäksi tuottaa myös sähköä alueen tarpeisiin.

8 UUSIUTUVAN ENERGIAN JAKELU RAHKOLAN ALUEELLA

Rahkolan alueella tuotetun uusiutuvan energian jakelun perustekniikoita ovat lämmön jakelu lämpöverkon avulla sekä sähkön jakelu alueelle rakennettavan mikroverkon avulla. Muita energianjakelun tapoja voisivat olla esimerkiksi alueella tuotetun kiinteän biopolttoaineen, kuten pellettien tai hakkeen, jakelu kuljetuskaluston avulla sekä alueella tuotetun biokaasun jakelu kaasuverkon tai jakeluaseman avulla. Alueella toimiva biokaasun jakeluasema mahdollistaisi biokaasun hyödyntämisen alueen työkoneissa sekä esimerkiksi tieliikenteen raskaassa kaluston ajoneuvoissa laajemminkin.

Tässä luvussa käsitellään lämpö- ja sähköverkon toteuttamista Rahkolan alueelle. Lisäksi tarkastellaan lämpö- ja sähköverkkoihin liittyvää lainsäädäntöä ja toteutukseen liittyviä ongelmia. Lopuksi pohditaan lyhyesti sitä, minkälainen uusiutuvan energian tuotantoa ja jakelua tukeva energiaverkko Rahkolaan olisi mahdollista rakentaa.

8.1 Lämmönjakelu

Lämpöverkon rakentaminen mahdollistaa kiinteistökohtaisesti tuotetun lämpöenergian jakamisen alueella sekä keskitetyn lämmöntuotannon ja varastoinnin rakentamisen. Lämpöverkon rakentaminen ei ole luvanvaraista, mutta myös rakentamiseen liittyy tiettyjä määräyksiä. Rahkolan alueella lämpöverkon rakentamiseen tulee olla maanomistajan lupa, rakennelmille ja rakennuksille rakennuslupa kaupungilta sekä mahdollisesti kaupungin myöntämä toimenpidelupa. Lisäksi on huomioitava, että Rahkolan alueelle on tällä hetkellä rakennuskielto ja toimenpiderajoitus asemakaavan laadintaa varten.

Käytetty tekniikka riippuu alueelle sijoittuvasta liiketoiminnasta. Yksinkertaisimmillaan lämpöverkko voi olla yhdessä lämpötilassa energiaa jakava lämpöverkko. Jos alueen yritystoiminnasta syntyy useassa lämpötilassa olevaa lämpöenergiaa, esimerkiksi hukkalämpöjen talteenotossa, voidaan alueelle rakentaa lämpöverkko, joka mahdollistaa lämmönjaon esimerkiksi kahdessa lämpötilassa. Lämpöverkko voi olla yksisuuntainen tai procumer toimintaa tukeva älykäs lämpöverkko, joka mahdollistaa kiinteistökohtaisen

lämmönsiirron kiinteistöistä verkkoon tai verkosta kiinteistöihin. Lämpöverkko mahdollistaa keskitetyn lämpövarastoinnin rakentamisen alueelle ja toimii myös itse lämpövarastona. Lämmön varastointi mahdollistaa sekä hajautetun, että keskitetyn CHP- energiantuotannon joustavamman tuotannon tarjoten tuotetulle lämmölle varastointipaikan tilanteissa, joissa vain sähkölle on kysyntää.

8.2 Sähkönjakelu

Sähkömarkkinalaissa asetetut vaatimukset aiheuttavat rajoituksia Rahkolan alueen mikroverkon rakentamiselle. Tässä luvussa käsitellään eri sähköverkkotyyppeihin liittyviä yksityiskohtia Rahkolan alueen näkökulmasta.

8.2.1 Kiinteistöverkko

Kiinteistöverkon rakentaminen tai operointi ei ole sähkömarkkinalaissa tarkoitettua luvanvaraista sähköverkkotoimintaa ja on siksi kustannuksiltaan muita jakeluverkkotyyppinä edullisempaa sekä rakentamisen, että ylläpidon osalta. (FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy 2017: 8) Kiinteistöverkossa tuotetusta sähköstä ei tarvitse maksaa huoltovarmuusmaksua eikä arvonlisäveroa. Myös sähköveron maksulta vältytään, kunhan voimalaitosliittymäkohtainen laskennallinen vuosituotanto jää 800 MWh tuotantorajan alle. Vaikka kiinteistöverkon rakentaminen ei vaadi sähköverkkolupaa, tulee verkon täyttää sähköverkoille määritetyt tekniset vaatimukset sekä aluetta koskevat rakennusmääräykset. Verkon rakentaminen saattaa edellyttää myös rakennusluvan hankkimista. Sähkömarkkinalain kiinteistöverkolle asettamia lainsäädännöllisiä ehtoja on käytännössä lähes mahdotonta toteuttaa alueella. Siksi kiinteistöverkko soveltuu sen nykymuodossa huonosti alueen sähkönjakeluverkoksi.

8.2.2 Suljettu jakeluverkko

Rahkolan alueelle voidaan muodostaa rajattu teollisuusalue, joten tältä osin suljetun jakeluverkon verkkoluvan saanti on mahdollista. Rahkolassa kaikkien alueen toimijoiden

tulee käytännössä olla suljetun jakeluverkon piirissä, tai muuten alueelle joudutaan rakentamaan kaksi rinnakkaista sähkönjakeluverkkoa. Kahden jakeluverkon rakentaminen lisää rakentamisen kustannuksia ja alueen sähkönjakelujärjestelmän kompleksisuutta (Työ- ja elinkeinoministeriö 2018: 39).

Suljetun jakeluverkon sisällä jaetusta sähköstä tulee maksaa sähkönsiirtomaksu, mutta siirtomaksun suuruuden verkonhaltija voi asettaa kattamaan vain verkon ylläpidosta koituvat kustannukset. Siirtomaksun lisäksi siirretystä sähköstä maksetaan sähkövero, huoltovarmuusmaksu ja arvonnäkövero.

Koska suljetun jakeluverkon verkkolupa edellyttää sähkön jakamista ensisijaisesti verkon omistajalle tai verkon haltijalle, tai niihin omistussuhteessa oleville yrityksille, tulisi Rahkolan alueelle perustaa sähkönjakelusta vastaava yritys, jonka omistajia alueella toimivat yritykset olisivat. Suljetun jakeluverkon malli ei salli sitä, että alueella olisi laajamittaisesti sähkön käyttäjiä, jotka eivät olisi omistussuhteessa verkkoyhtiöön. Edellä mainittu vaatimus saattaa aiheuttaa ongelmia alueen sähköverkon suunnitteluvaiheessa, koska tällöin ei välttämättä vielä tiedetä minkälaisia yrityksiä alueelle lopulta sijoittuu. Eikä sitä, mikä näiden yritysten tahtotila asian suhteen tulee olemaan. Ongelmia voi tulla myös silloin, kun jokin alueelle myöhemmin tuleva yritys ei ole halukas ryhtymään verkkoyhtiön osakkaaksi. (Finlex 2020: 11§).

8.2.3 Perinteinen jakeluverkko

Rahkolan alueen nykyinen jakeluverkon haltija on Elenia Oy. Elenialla on alueella 20 kV jakeluverkko, jonka avulla sähkönjakelu alueen nykyisille yrityksille tapahtuu. Alueen yritystoiminnan kasvaessa nykyistä jakeluverkkoa on todennäköisesti laajennettava. Jos alueen sähköverkoksi valitaan perinteinen jakeluverkko, sähkönsiirto alueen yrityksille tapahtuu Elenian toimesta ja Elenian sähkönsiirtohintojen mukaisesti.

Jakeluverkkoon voi syöttää alueella tuotettua sähköä ja tällöin Elenian siirrosta perimä veloitus on 7 €/MWh. Jos alueen jakeluverkoksi valitaan perinteinen jakeluverkko, toimii sähkönsiirto samoin, kuin millä tahansa perinteisellä teollisuusalueella.

8.2.4 Sähköverkkotoimintaan liittyvien tahojen intressit

Valtio perii tuotetusta sähköenergiasta valmisteveron, huoltovarmuusmaksun ja arvonlisäveron. Veroluonteiset maksut peritään jakeluverkossa sekä suljetussa jakeluverkossa siirretystä sähköstä. Perintä tapahtuu verkkoyhtiön toimesta. Kiinteistöverkon sisällä tuotetun ja käytetyn sähkön osalta veroja ei peritä 800 MWh/a tuotantolaitoskohtaiseen raajaan saakka.

Paikallisten energiayhteisöjen ja niiden alueella toimivien mikroverkkojen vaatimuksia on käsitelty mm. Euroopan Unionin puhtaan energia paketin yhteydessä. Puhtaan energian paketin energiayhteisöjä koskevat ehdotukset ovat saaneet kannatusta jäsenmaiden taholta, mutta toisaalta ehdotuksia on kuitenkin pidetty liian pitkälle menevinä ja epäselvinä. Suomi kannattaa lähtökohtaisesti energiayhteisöjen yleistymistä, mutta ongelmana on pidetty ehdotetun energiayhteisön määritelmän päällekkäisyyksiä jakeluverkkotoiminnan kanssa. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2018: 34)

Puhtaan energian paketin yhteydessä pohdintaa on käyty mm. siitä milloin verkon käyttäjän oikeus valita sähköenergian toimittaja tulee säilyttää. Ja myös siitä, miten sähköenergian hinnoittelu voidaan säilyttää läpinäkyvänä ja sähköenergiasta perittävät maksut kohtuullisina (Björkqvist ym. 2018: 9). Ongelmia voi syntyä tilanteessa, jossa mikroverkon sähkön tuotannosta ja siirrosta vastaa sama taho. Tällöin verkonkäyttäjällä ei välttämättä ole mahdollisuutta valita sähköenergian toimittajaa, koska mikroverkon haltijalla on monopoliasema verkon käyttäjään nähden.

Jos verkonkäyttäjä on mikroverkossa energiaa tuottavan ja siirrosta vastaavan energiayrityksen osakas, on verkonkäyttäjällä kuitenkin mahdollisuus vaikuttaa energiayrityksen toimintaan osakkuutensa kautta. Voikin kysyä, onko verkon käyttäjän oikeudella valita sähköenergiantoimittaja tällaisessa tapauksessa juurikaan merkitystä? Voidaanko energiayhteisön mikroverkkoon liittymisen ehdoksi asettaa energianyhtiön osakkaaksi ryhtyminen? Tilanne on luonnollisesti erilainen silloin, kun verkon käyttäjä ei ole energiayhtiön jäsen.

Energiayhteisössä tuotetun sähkön tulee olla kilpailukykyisesti hinnoiteltua ulkopuolelta ostettuun sähköön nähden, muuten alueen yritykset tuskin ostavat sitä. Pörssisähkön hinnan ollessa alhaalla, on paikallisen uusiutuvan energian tuottajan vaikeaa kilpailla sähkön hinnalla. Etenkin jos sähkön jakelu tapahtuu perinteistä jakeluverkkoa käyttäen. Jos energiayhteisön sisällä tuotettu sähkö voidaan jakaa omakustannushintaan ja verovapaasti, parantaa se osaltaan paikallisesti tuotetun uusiutuvan energian kilpailukykyä. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2018: 43)

Sähkömarkkinaissa määrätään moninaisesti sähköverkkoihin ja sähkönsiirtoon liittyen. Lain 55 pykälään on kirjattu vaatimus, jonka mukaan siirtomaksun suuruus ei saa jakeluverkossa riippua verkon käyttäjän maantieteellisestä sijainnista (Finlex 2020: 55§). Alueen verkonhaltijan tulee siis kohdella kahta samankaltaista verkon käyttäjää samalla tavalla heidän maantieteellisestä sijainnistaan riippumatta. Nykytilanteessa verkonhaltijan on siis määritettävä sähkönsiirrolle keskimääräinen hinta, joka kattaa kaikkien samantyyppisten verkon käyttäjien sähkönsiirrosta aiheutuneet kustannukset siirtoverkon koko alueella. Sähkömarkkinalain 55 pykälä johtaa käytännössä tilanteeseen, jossa edullisessa maantieteellisessä sijainnissa olevat verkon käyttäjät maksavat osan epäedullisessa maantieteellisessä sijainnissa olevien verkon käyttäjien todellisista sähkönsiirron kustannuksista (Työ- ja elinkeinoministeriö 2018: 39).

Edellä kuvattu maantieteellisestä sijainnista riippumaton siirtohinnoittelu toimii verkkoyhtiön kannalta niin kauan kuin isompien keskusten verkkoyhtiölle vähemmän kustannuksia tuovat verkonkäyttäjät ovat mukana maksamassa siirtomaksua. Jos jokin maantieteellisesti edullisella alueella olevista verkonkäyttäjistä, kuten keskeisellä paikalla oleva teollisuusalue, irtautuu verkkoyhtiön siirtoverkosta ja perustaa oman itsenäisen mikroverkon, on tilanne verkkoyhtiön kannalta epäedullinen. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2018: 35) Sähkömarkkinalain 55 pykälän lisäksi verkkoyhtiöillä on myös muita lakiin kirjattuja ja kustannuksia tuovia velvoitteita. Näitä velvoitteita ovat 19 pykälässä määrätty verkon kehittämisvelvollisuus sekä 50 ja 51 pykälässä määrätty verkon toiminnan laatuvaatimukset.

Verkkoyhtiöt eivät ymmärrettävästi halua keskeisillä paikoilla olevien verkonkäyttäjien irtautuvan jakeluverkosta, koska tällöin vain huonommin kannattava liiketoiminta ja lain määrittämät velvoitteet jäävät verkkoyhtiöille. Edellä kuvatussa tilanteessa verkkoyhtiön keinoksi jää lähinnä sähkönsiirron hinnan korottaminen jäljelle jäävien verkonkäyttäjien osalta. Koska siirtomaksujen korotukselle on asetettu korotusraja, ei siirtomaksujen korotukseen välttämättä pysty kompensoimaan muuttunutta tilannetta. Lisäksi siirtomaksujen korotus aiheuttaa negatiivisia taloudellisia vaikutuksia jäljelle jääville verkon käyttäjille.

Sähköenergian saatavuus on yritystoiminnan kannalta välttämätöntä. Sähköenergian saatavuuden varmistamiseksi sähköön jakeluverkon on toimittava kaikissa tilanteissa ja keskeytyksettä. Toimintavarma sähköverkko onkin myös energiaomavaraisen teollisuusalueen toiminnan perusedellytyksiä. Sähköverkon puuttumista on vaikea täysin kompensoida kiinteistökohtaisella sähköntuotannolla. Energiaomavaraisen teollisuusalueen sähköverkon toteuttaminen on nykyisen sähkömarkkinalain puitteissa kuitenkin hankalaa. Sekä kiinteistöverkko, että suljettu jakeluverkko soveltuvat melko huonosti Rahkolan alueen sähköverkon toteuttamiseen. Koska muita vaihtoehtoja ei nykyinsäädännön mukaan ole olemassa, jää vaihtoehdoksi tavanomainen, alueen verkkoluvan haltijan ope-roima jakeluverkko. Tavanomainen jakeluverkko ei nykytilanteessa kuitenkaan luo uusiutuvan energian paikallisen tuotannon kannalta positiivisia taloudellisia vaikutuksia. Voidaankin sanoa, että jos alueen sähköverkoksi valitaan tavanomainen jakeluverkko, tulee Rahkolan alueella tapahtuva sähköntuotanto olemaan kutakuinkin yhtä kannattavaa tai kannattamatonta, kuin missä tahansa muualla normaalin jakeluverkon piiriin kuuluvalla alueella.

8.2.5 Älyverkkotyöryhmän ehdottama sähkönsiirron erillislinja

Älyverkkotyöryhmä on, paikallisen kiinteistörajat ylittävän energiayhteisön osalta, selvittänyt mahdollistaako voimassa oleva sähkömarkkinalaki erillisen kiinteistörajat ylittävän sähkölinjan rakentamisen sähköntuotantopaikalta kulutuspaikalle. Energiaviraston älyverkkotyöryhmälle antaman lausunnon mukaan erillislinjan rakentaminen on mahdollista ilman, että toiminta muuttuu luvanvaraiseksi sähköverkkotoiminnaksi. Erillislinjan

rakentaminen vaatii kuitenkin alueen verkkoluvan haltijan suostumuksen. Lisäksi älyverkkotyöryhmän selvityksessä mainitaan vaatimus, jonka mukaan erillislinja ei saa muodostaa rengasyhteyttä jakeluverkkoyhtiön sähköverkon rinnalle, eikä se saa yhdistää sähkökäyttöpaikkoja toisiinsa. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2018: 40–41)

Rahkolan alueen kannalta edellä mainitut ehdot tarkoittavat sitä, että esimerkiksi jäte-täytön päälle rakennettava aurinkovoimala voitaisiin yhdistää alueen yhteen kiinteistöön, mutta ei muihin kiinteistöihin. Rajoite voitaisiin kiertää esimerkiksi siten, että jäte-täytön päälle rakennettava aurinkovoimala jaettaisiin osiin ja jokainen osavoimala kyt-kettäisiin kulutuskohteisiin omalla erillisjohdolla. Tämä tuskin olisi kuitenkaan talou-dellisesti tai teknisesti järkevää. Lisäksi alueen jakeluverkon haltijalle ei käytännössä ole mitään velvollisuutta antaa suostumustaan erillislinjan rakentamiselle (Työ- ja elinkeino-ministeriö 2018: 41).

Erillislinja ei näin ollen tuo mitään muutosta kiinteistörajat ylittävän sähköverkon raken-tamiseen liittyviin rajoituksiin. Erillislinjaa koskeva ehdotus ei nykytiedon valossa ole siis erityisen käyttökelpoinen Rahkolan alueen kannalta.

8.2.6 Sähkönjakelun vaihtoehdot Rahkolan alueella

Rahkolan alueen sähkönjakelun kannalta edullisin vaihtoehto sähkönsiirtoverkoksi olisi kiinteistöverkko. Kiinteistöverkossa sähköä voidaan jakaa kuitenkin vain saman tahon omistuksessa olevan kiinteistön tai kiinteistöryhmän sisällä. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että alueen kaikkien kiinteistöjen ja sähköverkon tulee olla saman tahon hallinnassa. Hallinnalla tarkoitetaan omistusta tai vuokrausta. Rahkolan alueella vaatimus voitaisiin toteuttaa siten, että sähköverkon haltija omistaisi tai vuokraisi alueen kaikki kiinteistöt ja alivuokraisi ne sitten eteenpäin alueen yrittäjille. Sähkömarkkinalain mukaan kiinteistö-verkon rakentamisen ehtona on myös, että kiinteistöt rajoittuvat toisiinsa ja kiinteistöillä tehtävällä toiminnalla tulee olla jokin yhteys toisiinsa. Rahkolan alueella edellä mainittu-jen vaatimusten toteuttaminen saattaa olla hankalaa, ja tästä syystä kiinteistöverkko so-veltuu huonosti Rahkolan alueen sähkönsiirtoverkoksi.

Suljettu jakeluverkko sopii alueen sähkönsiirtoverkoksi tietyin edellytyksin. Suljetun jakeluverkon rakentamisen ja operoinnin kustannukset ovat kiinteistöverkkoa korkeammat, mutta verkon sisällä sähköä voidaan siirtää omakustanne hintaan. Sähkövero, huoltovarmuusmaksu ja arvonnäkövero on kuitenkin maksettava samaan tapaan kuin perinteisessä jakeluverkossakin. Suljetun jakeluverkon kohdalla ongelmia saattaa aiheuttaa vaatimus alueen yrittäjien osakkuudesta sähkönsiirrosta vastaavassa yrityksessä.

Perinteisen jakeluverkon rakentaminen alueelle tarkoittaa, että sähkönsiirto hoidetaan alueen verkkoluvan haltijan toimesta, kuten millä tahansa perinteisellä teollisuusalueella. Tällöin mitään alueen sisäistä mikroverkkoa ei sinällään ole olemassa, vaan alueen verkkoluvan haltija Elenia operoi alueen sähköverkkoa osana sähköverkkotoimintaansa.

8.3 Uusiutuvan energian tuotantoa ja jakelua tukeva energiaverkko Rahkolassa

Uusiutuvaa energiaa tuottavan ja käyttävän energiaomavaraisen yritysyhteisön kannalta olisi tärkeää, että alueella tuotettu energia voidaan jakaa alueen yritysten käyttöön kustannustehokkaasti. Lämpöverkon rakentaminen alueelle vaatii rakentamiseen liittyvien lupien hankkimisen Seinäjoen kaupungilta ja maanomistajilta. Lämpöverkon rakentaminen tai operointi ei kuitenkaan ole sinällään luvanvaraista toimintaa, joten mitään erityisiä lainsäädännöllisiä rajoituksia lämpöverkon rakentamisen tai operoinnin suhteen ei ole olemassa. Lämpöverkon operointi omakustannehintaan onnistuu siis melko helposti.

Sähköverkon osalta tilanne on lämpöverkkoa haastavampi. Alueella tuotetun sähkön kilpailukyvyyn varmistaminen edellyttäisi mm. kustannustehokasta sähkönsiirtoa. Alueen sähköverkko voisi toimia kiinteistöverkon tapaan, mutta ilman ehtoja kiinteistön omistukseen tai alueella harjoitettavaan toimintaan liittyen. Se maksetaanko alueen sähköverkoissa tuotetusta sähköstä valmistevero, huoltovarmuusmaksu ja arvonnäkövero on mietinnän arvoinen kysymys. Pohdittavaksi jää se kumpi on tärkeämpää tulevaisuudessa, uusiutuvaa energiaa käyttävien energiayhteisöjen muodostumisen tukeminen, vai valmisteverojen, huoltovarmuusmaksun ja arvonnäköverkon kerääminen nykyiseen tapaan.

Rahkolan energiaomavaraisen yritysyhteisön tapauksessa yritysten alueelle tulon edellytys voisi olla alueen energian tuotannosta ja siirrosta vastaavan energiayrityksen osakkaaksi ryhtyminen. Energiayritys ja sen osakkaat määrittäisivät toiminnan ehdot, kuten sähköenergian ja sähkönsiirron hinnoittelun alueella. Sekä myös ne ehdot, joilla jokainen omistajayritys voi syöttää tuottamaansa uusiutuvaa energiaa alueen energiaverkkoon.

Rahkolan alueen uusiutuvan energian tuotanto saattaisi olla järkevää aloittaa kiinteistökohtaisella uusiutuvan energian tuotannolla. Jos sähkömarkkinalaki tulevaisuudessa muuttuu energiayhteisöjen mikroverkot mahdollistavaksi, olisi kiinteistökohtainen energiantuotanto mahdollista kytkeä alueelle rakennettaviin energiaverkkoihin ja tarvittaessa laajentaa energiantuotantokapasiteettia keskitetyllä energiantuotannolla.

9 UUSIUTUVAN ENERGIAN VARASTOINTI RAHKOLAN ALUEELLA

Energiaa voidaan jo nykyään varastoida useilla eri tekniikoilla. Lämpövaraajat ja akkuvastot ovat teollisuusalueen mittakaavassa toimiva ja kustannustehokas tapa, mutta muitakin tapoja löytyy, kuten kappaleessa 7 on todettu.

9.1 Lämmön varastointi

Kiinteistökohtaisesti tuotettua lämpöä voidaan tarvittaessa varastoida lämpövarastoina toimiviin vesivaraajiin. Lämmön varastointi voidaan hyödyntää aurinkolämmönvaihtimien ja esimerkiksi CHP- energiantuotannon yhteydessä. Jos alueelle rakennetaan lämpöverkko voidaan kiinteistökohtaisesti tuotettua lämpöä varastoida myös lämpöverkkoon sekä mahdollisesti alueelle rakennettaviin keskitettyihin lämpövarastoihin.

9.2 Sähkön varastointi

Kiinteistökohtaisesti tuotettua sähköenergiaa voidaan Rahkolassa varastoida lähinnä akkuvarastoihin. Akkuvarastot ovat helposti toteutettavissa kiinteistökohtaisen energiantuotannon mittakaavassa ja niiden avulla esimerkiksi aurinkosähköä voidaan hyödyntää kiinteistöissä ympäri vuorokauden. Akkuvarastoista saattaa olla hyötyä myös CHP- energiantuotannon kulutuksen ja tuotannon sovittamisessa. Jos alueelle rakennetaan sähkönjakelun mikroverkko, voidaan kiinteistökohtaisesti tai keskitetysti tuotettua uusiutuvaa energiaa varastoida myös keskitettyyn sähkövarastoon. Riittävän suuren akkuvaraston avulla voidaan osallistua verkon taajuuden tulemiseen ja näin mahdollisesti lisätä akkuvaraston käyttöä.

9.3 Muut energian varastoinnin tavat

Teollisuusalueen mittakaavassa energian varastointi akku- ja lämpövarastoihin on kustannustehokas ja teknisesti yksinkertainen tapa. Alueelle rakennettavan energianjärjestelmän kokoonpanosta riippuen esimerkiksi lämmön kausivarastointi maaperään saattaa tulevaisuudessa olla järkevä ja toteuttamiskelpoinen tapa varastoida esimerkiksi aurinkolämmönvaihtimilla tuotettua lämpöä. Myös muut vasta kokeiluasteella olevat energianvarastoinnin tavat, kuten power-to-gas tekniikka, saattavat jo lähitulevaisuudessa olla toteuttamiskelpoisia myös Rahkolan alueella. Kunkin energianvarastointitekniikan toteuttamiskelpoisuuden ratkaisee niiden taloudellinen kannattavuus, sekä myös esimerkiksi alueelle rakennettavien energiaverkkojen toteutusmuoto.

10 ENERGIANTUOTANNON LIIKETOIMINTAMAHDOLLISUUDET

Tätä raporttia varten tehdyssä tutkimuksessa ei ole löytynyt aikaisempia julkaisuja, joissa Rahkolan alueen kriteerit täyttävän energiaomavaraisen yritysyhteisön taloudellista kannattavuutta olisi tutkittu tarkasti. Eikä varsinkaan julkaisua, jossa voimassa olevan sähkömarkkinalain vaatimusten mukaisesti toteutetun energiaomavaraisen yritysyhteisön liiketoimintamahdollisuudet Suomessa olisi todettu kannattaviksi.

Älykkään digitalisaatiota hyödyntävän, erilaiset energiavirrat sekä esimerkiksi sähkön tuntihinnan muutokset huomioivan energiajärjestelmän rakentaminen on nykytekniikalla mahdollista. Yksi esimerkki tällaisesta kiinteistöön suunnitellusta älykkäästä energiajärjestelmästä on esitelty Procem loppuraportissa. Esimerkin järjestelmä on rakennettu Tampereen teknillisen yliopiston kampusareena nimiseen kiinteistöön. (Björkqvist ym. 2018: 21–37) Kampusareenalle rakennettu älykäs energiajärjestelmä toimii raportin mukaan teknisesti, kuten on suunniteltukin. Järjestelmän avulla saavutetaan todennäköisesti energiankulutukseen liittyviä säästöjä, mutta investoinnin taloudellisesta kannattavuudesta ei ainakaan tässä vaiheessa ole annettu tietoja. Pilottikohteessa investoinnin taloudellinen kannattavuus ei välttämättä ole etusijalla, mutta suunniteltaessa energiajärjestelmää energiaomavaraiselle yritysyhteisölle, tulee investoinnin olla kannattava. Ellei näin ole, ei investointi ole mielekäs eikä toteuttamiskelpoinen.

Eräs energiaomavaraisen yritysyhteisön perustamista tutkiva pilottihanke on Lempäälän Energian Lemene- hanke. Lemene- hankkeessa Lempäälän Marjamäen teollisuusalueelle rakennetaan energiaomavaraisen teollisuusalueen pilottikohde. Lemene- hanketta on käsitelty mm. Procem loppuraportissa, mutta lähinnä sen teknisen toteutuksen osalta. Lemene- hanke on erittäin mielenkiintoinen ja sen toteutus mahdollistaa varmasti myös energiayhteisöjen taloudelliseen kannattavuuteen liittyvän tutkimustiedon keräämisen. Onkin mielenkiintoista nähdä, saadaanko hankkeen taloudellisesta kannattavuudesta lisätietoja myöhemmin hankkeen edetessä. (Björkqvist ym. 2018: 21–37; Lempäälän Energia 2020)

Rahkolan alueen energiantuotantoon liittyvät liiketoimintamahdollisuudet riippuvat vahvasti alueelle rakennettavan energiantuotantojärjestelmän toteutuksesta. Kiinteistökohtaisella uusiutuvan energian tuotannolla ja älykkäällä energiajärjestelmällä on luultavasti mahdollista saavuttaa säästöjä energian kulutuksessa, sekä ulkoa ostettavan energian määrässä. Mitään erityisiä liiketoimintamahdollisuuksia tällä ei vielä kuitenkaan saada aikaan. Koko alueen energiajärjestelmän hallinnointiin tarkoitetun energiayhtiön toteutus taas riippuu vahvasti sähkönsiirron mikroverkkojen toteutusmahdollisuuksista lähitulevaisuudessa. Alueella tuotetun energian tule olla käyttäjilleen mahdollisimman edullista, muuten toiminnalla ei ole taloudellisia edellytyksiä. Käytännössä tämä tarkoittaa energiayritystä, joka toimii esimerkiksi Mankala-periaatteen mukaan, tuottaen omistajilleen energiaa omakustannehintaan. Nykyinen sähkömarkkinalaki ei kuitenkaan erityisesti tue energiayhteisöjen sisäistä uusiutuvan energian tuotantoa. Voidaankin sanoa, että mitään erityisiä Rahkolan aluetta koskevia energiantuotannon liiketoimintamahdollisuuksia ei tällä hetkellä ole olemassa. Tämä ei tarkoita, että energiantuotanto Rahkolassa olisi kannattamatonta. Tuotanto alueella on lähinnä yhtä kannattavaa tai kannattamatonta, kuin millä tahansa muulla alueella Suomessa.

Koska mitään erityisiä Rahkolan alueella tapahtuvaan uusiutuvan energian tuotantoon liittyviä liiketoimintamahdollisuuksia ei tämän hankkeen aikana tehdyissä selvityksissä löydetty, ei aihetta ole hankkeessa tutkittu tämän enempää.

11 ALUEELLE SIJOITTUVAN YRITYSTOIMINNAN KRITEERIT

Alueelle sijoittuvan yritystoiminnan kriteerit riippuvat vahvasti alueelle totutettavasta energiajärjestelmästä. Alla on lueteltu joitakin yritystoiminnan yleisen tason kriteerejä.

Alueelle sijoittuvan yritystoiminnan kriteerejä ovat mm:

- Sitoutuminen uusiutuvan energian tuotantoon ja käyttöön
- Sitoutuminen procumer toimintaan sekä kiertotalouden edistämiseen alueella
- Valmius kiinteistökohtaisen uusiutuvan energiantuotannon rakentamiseen
- Valmius alueelle mahdollisesti perustettavan energiayhtiön osakkuuteen
- Valmius liittyä alueelle mahdollisesti rakennettaviin energiaverkkoihin
- Valmius edistää alueen uusiutuvan energian tuotantoa ja käyttöä. Niin kiinteistökohtaisen, kuin mahdollisesti rakennettavan keskitetyn uusiutuvan energiantuotannonkin osalta.

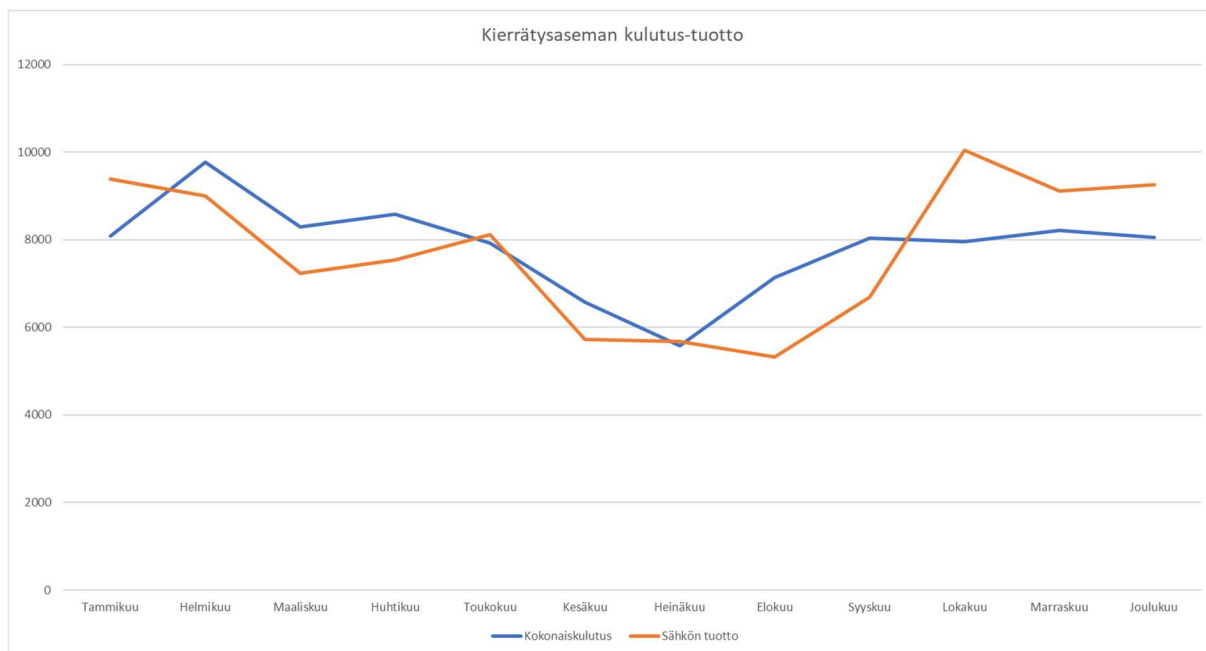
Se miten yksittäiset yritykset toimivat energiaomavaraisella yritysalueella riippuu esimerkiksi yrityksen toiminnan luonteesta ja yrityksen resursseista. Uusiutuvan energian tuotanto voidaan kuitenkin mahdollisesti ottaa huomioon jo alueen kiinteistöjen rakennusvaiheessa ja räätälöidä järjestelmä yritysten ja alueen kriteerit täyttäväksi.

12 SEINÄJOEN KIERRÄTYSASEMAN ENERGIARATKAISU

Lakeuden Etapin Seinäjoen uuden kierrätysaseman energiaratkaisu on suunniteltu koostuvaksi maalämpöpumpun, aurinkosähkövoimalan ja myöhemmin mahdollisesti käyttöön otettavan tuulivoimalan muodostamasta hybridivoimalasta. Tuulivoiman tuotannon huippu ajoittuu syksyn ja talven tuulisille kuukausille ja tasaa näin aurinkosähkön tuotannon hiipumista syksyllä ja talvikuukausina. Maalämpö puolestaan tuottaa tarvittavan lämmitysenergian energiatehokkaasti ja vähentää osaltaan kierrätysaseman energiankulu- tusta.

12.1 Hybridivoimalan sähköntuotto

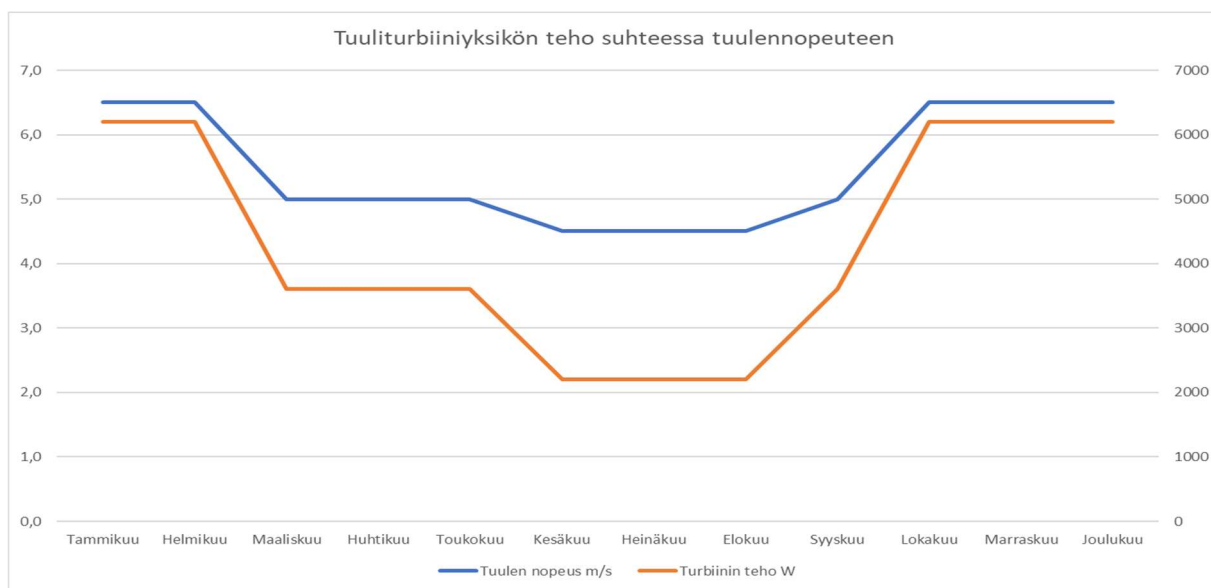
Kuvassa 24 on esitetty kierrätysasemalle suunnitellun hybridivoimalan vuosituottokäyrä sekä kierrätysaseman arvioitu energian vuosikulutuskäyrä. Kierrätysaseman arvioitu sähkön vuosikulutus on noin 95 MWh. Hybridivoimalan sähköntuotannosta vastaa ominais- teholtaan 20 kW_p aurinkovoimala ja ominaisteholtaan 80 kW tuulivoimala.



Kuva 24. Kierrätysaseman hybridivoimalan vuosituottokäyrä sekä kierrätysaseman arvioitu sähkön vuosikulutuskäyrä.

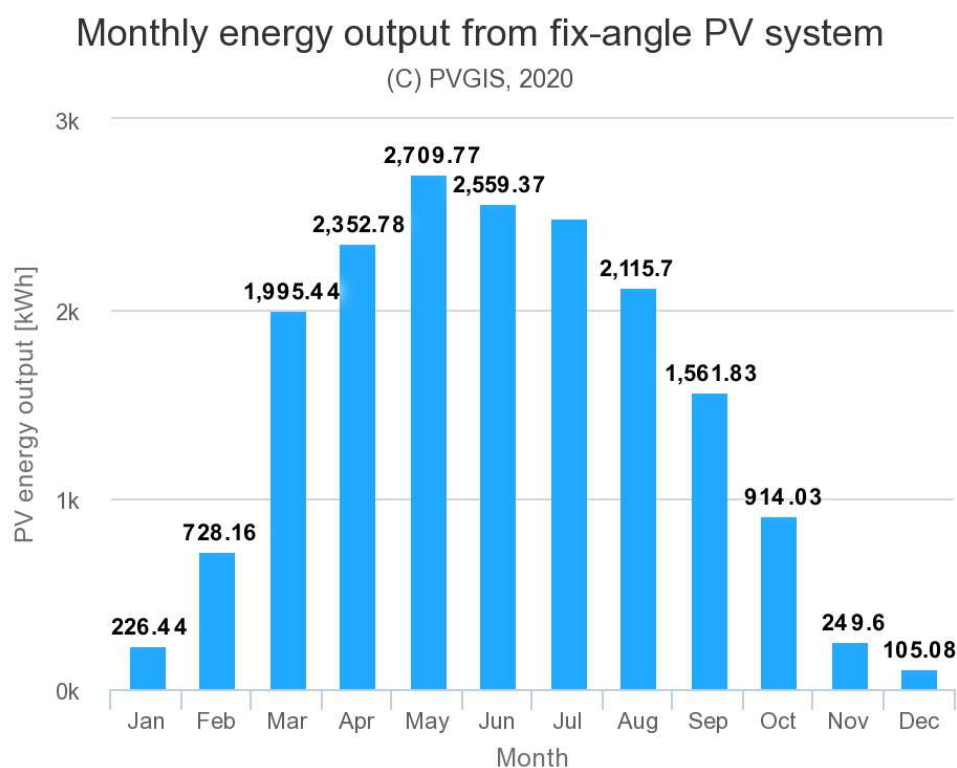
Laskentaesimerkissä kierrätysaseman lämmitysenergian kulutus on laskettu Motivan toimistorakennuksille annettujen ominaiskulutuslukemien perusteella. Lämmitysenergian kulutuksesta on lämpöpumpun hyötysuhteen avulla laskettu lämpöpumpun tarvitseman sähkön määrä. Käyttösähkön ja valaistussähkön kulutus on arvioitu käyttäen nykyisen aseman sähkönkulutustietoja. Lämmön-, sekä käyttö- ja valaistussähkön kulutuksen vuodenaikainen vaihtelu on arvioitu käyttäen nykyisen jäteaseman sähkönkulutustietoja.

Laskentaesimerkissä tuulivoimalan tuotto on laskettu käyttäen Suomen Tuuliatlaksen Rahkolan alueelle ilmoittamia tuulilukemia, sekä pientuuliturbiineille tyypillistä tuottokäyrää. Laskentaesimerkissä käytetty tuuliturbiinin vuosituottokäyrä on esitetty kuvassa 25. Tuulivoimalan nimellistehoksi on määritetty 80 kW ja tuuliturbiineina voidaan käyttää yhtä 80 kW tuuliturbiinia tai useampaa, esimerkiksi kahta 40–50 kW tuuliturbiinia. Kuvasta 25 voidaan huomata, että Rahkolan alueella nimellisteholtaan 40 kW tuuliturbiini tuottaa Tuuliatlaksen antamien keskituulitietojen mukaan maksimissaan vain noin 6 kW tehon. Tuuliatlaksen antamat tuulitiedot on ilmoitettu 50 metrin korkeudella maasta, mutta kierrätysasemalle suunniteltujen tuuliturbiinien sijoituskorkeus on kuitenkin vain luokkaa 25–35 metriä. Tuulivoimalan todellinen tehontuotto on todennäköisesti vielä jonkin verran laskentaesimerkissä ilmoitettua pienempi.



Kuva 25. 40kW tuuliturbiinin tehontuoton riippuvuus tuulennopeudesta.

Aurinkosähkön tuotto on laskettu PVGIS- järjestelmän antamia tietoja käyttäen. Kuvassa 26 on nähtävissä PVGIS- järjestelmän tuottama 20 kW_e aurinkovoimalan kuukausittainen tuottokuvaaja Rahkolan alueella. Aurinkopaneelityyppi on monikiteinen silikonipaneeli, jonka häviöiksi on arvioitu 14 prosenttia ja järjestelmän kokonaishäviöksi 19,5 prosenttia. Paneelien kallistuskulmana on käytetty järjestelmän optimikulmaksi ilmoittamaa kulmaa 47 astetta ja atsimuuttikulmana -6 astetta, eli paneelit on suunnattu etelästä 6 astetta itään päin.



Kuva 26. PVGIS- järjestelmän tuottama 20 kW_p aurinkovoimalan kuukausittainen tuottokuvaaja Rahkolan alueella.

Kuvasta 26 voidaan havaita, että aurinkovoimalan tuotto on korkeimmillaan touko- kesä- kuussa ja talvikuukausina varsin vaatimatonta. Jos hybridivoimalaitoksen halutaan tuottaa sähköä ympäri vuoden, on selvää, että aurinkovoimala tarvitsee rinnalleen toisen energianlähteen tukemaan sähköntuotantoa.

12.2 Taloudellinen tarkastelu

Tällä hetkellä vallitsevan käsityksen mukaan itse tuotettu sähkö kannattaa käyttää kiinteistön tai kiinteistöryhmän sisällä. Ulosmyydystä sähköstä saa tyypillisesti vain pohjoismaisen sähköpörssin määrittämän hinnan. Lisäksi alueen sähköverkkoluvan haltija ottaa verkkoon siirretystä sähköstä siirtomaksun. Rahkolan alueella sähköverkkoluvan haltijana toimii Elenia Oy. Elenian perimä siirtomaksu verkkoon siirretystä sähköstä on tällä hetkellä (21.7.2020) 0,7 €/MWh (Elenia 2020). Nord Poolin ilmoittama pörssisähkön hinnan keskiarvo Suomessa aikavälillä 21.6 – 21.7.2020 on ollut noin 26,72 €/MWh. Verkkoon tuotetusta energiasta saatava korvaus on siis siirtomaksun vähentämisen jälkeen luokkaa 26,02 €/MWh, eli 2,602 snt/kWh.

Seinäjoen kierrätysaseman verkosta ostetun sähkön hinta muodostuu sähköenergian hinnasta 3,74 snt/kWh, siirtomaksusta 4,20 snt/kWh ja sähköverosta 2,25 snt/kWh. Verkosta ostetun sähkön hinta kokonaisuudessa on siis luokkaa 10,19 snt/kWh. Kierrätysasemalla tuotetun sähkön omakäytöstä saatava hyöty on siis noin 7,6 snt / kWh enemmän, kuin sähkön myynnistä saatava hyöty.

Kierrätysaseman aurinkovoimalan hinta-arvio on noin 15000 €, alv 0 % ja yhden 50 kW tuuliturbiinisyksikön noin 160000 €, alv 0 %. Hinnat sisältävät kaikki tarvittavat komponentit ja perusasennuksen kohteessa. Jos hybridivoimalan vuosituoton halutaan olevan kuvassa 22 esitetyn mukainen, tarvitaan voimalaan kaksi tuuliturbiinisyksikköä. Pientuulivoimalle on mahdollista saada 15–20 % energiatuki ja aurinkosähkölle 20 % energiatuki (Business Finland 2020). Jos kierrätysaseman hybridivoimalalle saadaan täysi energiatuki, jää voimalan kokonaishankintahinnaksi noin 268000 €/alv 0 %.

Laskentaesimerkissä hybridivoimalan tuottaman sähkön määrä vuodessa on 93 MWh. Aurinkopaneelien osuus on 17,4 MWh ja tuulivoimalan 75,6 MWh. Tuotetun sähkön omakäyttöhyöty on siis luokkaa 9480 €/a. Sähkön ylijäämää syntyy 5,8 MWh ja tämän myynnistä verkkoon tulee marginaalinen noin 120 € tuotto vuodessa.

Sähkön tuotannon kannattavuutta voidaan tarkastella laitteiston takaisinmaksuajan, nykynettoarvon ja esimerkiksi sijoitetun pääoman tuoton kautta. Takaisinmaksuajan yksinkertainen koroton laskenta antaa hybridivoimalan takaisinmaksuajaksi lähes 28 vuotta. Takaisinmaksuaika on pitkä, ja jos laskentakorkokannaksi otetaan esimerkiksi 2 %, kasvaa takaisinmaksuaika entisestään, ollen yli 40 vuotta. Laskenta nykynettoarvon mukaan antaa selkeästi negatiivisen tuloksen, joten investointi ei ole kannattava tämän tarkastelun perusteella. Sijoitetun pääoman tuottoa tarkasteltaessa tuottoprosentti on noin 3,4 %.

Edellä esitetty laskentaesimerkki on karkea esitys siitä, mitä uusiutuvaan energiaan perustuvan hybridivoimalan suoritusarvot ja sen taloudellinen kannattavuus voisivat olla. Laskentaesimerkki ei ota huomioon sääolosuhteista riippuvia tuotannon vaihteluja, tuuleen ja aurinkoon liittyvät arvot ovat likiarvoja, eikä taloudellisessa tarkastelussa ole huomioitu hybridivoimalan huollosta syntyviä kustannuksia. Taloudellisen kannattavuuden tarkasteluun vaikuttaa myös laitteiston todellinen käyttöikä. Aurinkopaneeleille annetaan tyypillisesti pitkä takuu-aika, mutta järjestelmässä on muita komponentteja, joilla on lyhyempi takuu-aika, ja joiden rikkoutuminen käyttöiän aikana on todennäköistä. Laitteiston huoltokustannukset ja komponenttien vaihto lisäävät investoinnin kokonaiskustannuksia ja heikentävät taloudellista kannattavuutta entisestään.

Laskentaesimerkin aurinkosähkövoimalan hinta on tuulivoimalaan nähden alhainen. Pelkän aurinkosähkövoimalan rakentaminen onkin hybridivoimalaa kannattavampaa, mutta pelkän aurinkosähkövoimalan avulla ympärivuotisen energiaomavaraisuuden toteuttaminen on hankalaa. Laskentaesimerkissä esitetyn tuulivoimalan hinta perustuu todelliseen tarjoukseen, mutta hinta on melko korkea. Investoinnin kannattavuutta voidaankin ehkä parantaa edullisemman tuulivoimalaratkaisun avulla. Laskentaesimerkissä kuvatun hybridivoimalan toteuttaminen kierrätysasemalle edellyttää edullisen tuulivoimalaratkaisun löytymistä.

Yksinkertaisuudestaan huolimatta edellä esitetty laskentaesimerkki vahvistaa käsitystä siitä, että tällä hetkellä sähköenergian alhainen hinta vaikeuttaa taloudellisesti kannattavien uusiutuvaa energiaa hyödyntävien pienen mittakaavan energiaratkaisujen toteuttamista. Tulevaisuus voi kuitenkin tuoda mukanaan muutoksia, jotka nostavat

kiinteistökohtaisen uusiutuvan energian tuotannon kannattavuutta. Esimerkiksi energian hinnan merkittävä nousu voi vaikuttaa investoinnin kannattavuuteen. Lisäksi investoinnin kannattavuutta pohdittaessa on syytä ottaa huomioon myös imagolliset ja ympäristölliset seikat ja niiden merkitys yritykselle.

13 RAHKOLAN ALUEEN ENERGiantuotannon malli

Tässä luvussa on esitetty yksi mahdollinen Rahkolan alueen energiantuotannon malli. Mallissa lähdetään liikkeelle kiinteistökohtaisesta uusiutuvan energian tuotannosta ja mahdollisesti lämmön siirrosta kiinteistörajojen yli. Jos sähkömarkkinoita säätelevä lainsäädäntö tulevaisuudessa muuttuu mahdollistaen taloudellisesti kannattavamman tavan jakaa sähköä kiinteistörajojen yli, voidaan mallia laajentaa ja ottaa käyttöön alueen sähköjakelusta vastaava mikroverkko. Mikroverkon käyttöönotto mahdollistaa esimerkiksi suljetun kaatopaikan päälle sijoitetun aurinkosähkövoimalan liittämisen mikroverkkoon. Sekä lainsäädännön muutoksista riippuen mahdollisesti sähkön taloudellisesti kannattavan myynnin myös alueen ulkopuolelle.

13.1 Vaihe 1, kiinteistökohtainen energiantuotanto

Kiinteistökohtaisen uusiutuvan energian tuotannon tarkoitus on ensisijaisesti tuottaa energiaa kiinteistöjen omaan käyttöön. Sähkön myynti kiinteistörajojen yli ei ole tällä hetkellä erityisen kannattavaa, joten laitteisto kannattaa mitoittaa omaa kulutusta varten. Lämmön jako esimerkiksi viereisen kiinteistön tarpeisiin saattaa olla järkevää esimerkiksi silloin, kun tuotannossa syntyy hukkalämpöä tai oman kiinteistön sähkö tuotetaan CHP-laitteistolla ja sähköntuotannossa syntyvää lämpöä ei voida täysin hyödyntää omassa kulutuksessa.

Kiinteistökohtainen uusiutuvan energian tuotanto voidaan toteuttaa esimerkiksi kappaleessa 13 esitetyn kierrätysaseman hybridivoimalan tavoin. Aurinkosähkövoimala on hybridivoimalan hyvä peruskomponentti, jota voidaan täydentää esimerkiksi pientuuliturbiinien ja maalämmön avulla.

Jos energiantuotannon peruskomponentiksi halutaan CHP- laitteisto voidaan syksyn ja talven pimeiden kuukausien energiantuotanto hoitaa CHP- laitteiston avulla ja kevään ja kesän valoisien kuukausien energiantuotanto aurinkosähkön ja lämmön avulla. Tällöin on huomattava, että talvella CHP- laitteisto kuluttaa haketta, pellettiä tai muuta biomassaa,

joka on useimmissa tapauksissa ostettava ulkopuoliselta toimijalta. Energiantuotannossa voidaan hyödyntää myös teollisessa tuotannossa mahdollisesti syntyvää hukkalämpöä esimerkiksi kiinteistöjen lämmitykseen.

Kiinteistökohtaisessa energiantuotannossa energiaa jaetaan lähtökohtaisesti vain kiinteistön alueella. Tällöin jakelusta vastaavat perinteiset kiinteistökohtaiset lämmön- ja sähkönjakelun tekniikat

Kiinteistökohtainen energian varastointi voidaan toteuttaa lämpövaraston ja akkuvaraston avulla. CHP- energiantuotannossa lämpövarasto auttaa tasaamaan lämmön ja sähkön kulutuksen vaihteluita ja toimii tarvittaessa aurinkolämmön varaajana. Akkuvarasto puolestaan varmistaa, että aurinkosähköä voidaan hyödyntää ympäri vuorokauden ja jossakin tapauksissa siitä saattaa olla hyötyä myös CHP- energiantuotannon kysyntävaihtelujen tasaamisessa.

13.2 Vaihe 2, alueen lämpöverkko

Lainsäädännöllisesti lämpöverkon rakentaminen on sähköverkkoa yksinkertaisempaa. Alueelle voidaan rakentaa esimerkiksi älykäs lämpöverkko, joka mahdollistaa esimerkiksi kahdessa eri lämpötilassa olevan lämpöenergian jakelun alueella. Lämpöverkon ja siihen kytketyn lämmönvarauskapasiteetin avulla CHP- energiantuotannon vaihteluita voidaan tasata kiinteistökohtaista lämmönvarastointia tehokkaammin. Lämpöverkko mahdollistaa alueen teollisuustuotannossa mahdollisesti syntyvien hukkalämpöjen hyödyntämisen koko alueella ja esimerkiksi keskitetyn maalämpövoimalaitoksen rakentamisen alueelle. Lämpöverkon avulla alueen lämmöntuotanto on myös mahdollista kytkeä osaksi Seinäjoen alueen kaukolämpöverkkoa tai esimerkiksi lähellä olevien asuinalueiden lämpöenergian lähteeksi.

13.3 Vaihe 3, alueen mikroverkko

Jos kiinteistökohtaisesta uusiutuvan energian tuotannosta halutaan siirtyä alueen kattavaan uusiutuvan energian tuotantoon ja siten lähemmäs todellista energiaomavaraista yrittäisyhteisöä, on sähkönjakelusta vastaavan mikroverkon rakentaminen suositeltavaa. Mikroverkko mahdollistaa alueen kiinteistöjen sähköntuotannon kytkemisen yhteen, keskitetyn tuotannon, kuten suljetun kaatopaikan aurinkovoimalan, liittämisen verkkoon ja sähköön varastoinnin isompiin alueen yhteisiin sähkövarastoihin. Mikroverkko toimii myös yhteyspisteenä alueen ulkopuoliseen jakeluverkkoon. Yhteys alueen ulkopuoliseen jakeluverkkoon varmistaa energian saannin tilanteissa, joissa oma tuotanto ei riitä kattamaan kulutusta. Yhteys alueen ulkopuoliseen jakeluverkkoon mahdollistaa myös alueen sähkövarastojen käytön esimerkiksi kantaverkon taajuuden tulemiseen.

13.4 Vaihe 4, alueen keskitetty energiantuotanto

Alueen energiantuotanto voidaan toteuttaa hajautetun kiinteistökohtaisen energiantuotannon avulla, ilman keskitettyä energiantuotantoa. Kiinteistökohtaisesti tuotetun energian jakelu voidaan toteuttaa lämpö- ja mikroverkon avulla ja tällöin alue toimii ikään kuin yhtenä virtuaalivoimalaitoksena. Jos alueelle päätetään rakentaa keskitettyä energiantuotantoa, voidaan se toteuttaa millä tahansa käytössä olevalla tekniikalla. Valitun tekniikan määrää lähinnä alueen energianhuollosta vastaava taho ja se miten sähköverkkoja koskeva lainsäädäntö kehittyy tulevaisuudessa.

14 ENERGIIARATKAISUJEN SOVELTUMINEN MUIHIN KÄYTTÖ-KOhteisiin

Kappaleessa 13 esitetty Seinäjoen uuden kierrätysaseman energiaratkaisu on sovellettavissa Seinäjoen uuden kierrätysaseman lisäksi myös Lakeuden Etapin muille kierrätysasemille. Energiankulutus muilla kierrätysasemilla on huomattavasti Seinäjoen uutta kierrätysasemaa vähäisempää, joten myös energiantuotannon laitteistot ovat kooltaan pienempiä.

Teholuokaltaan 1–2 kW aurinkovoimalan ja 0,5–1,5 kW pientuuliturbiinin ja esimerkiksi ilmalämpöpumpun muodostamalla hybrdivoimalalla kierrätysasemien energiantarpeesta voidaan kattaa suuri osa. Jos voimalaan lisätään akkuvarasto, voidaan energian kysynnän ja tuotannon eroa tasapainottaa ja käyttää uusiutuvaa energiaa esimerkiksi piha-alueiden valaistuksessa kevät- ja syyskaudella.

15 TEHTYJEN HAVAINTOJEN SOVELTAMINEN KAAVOITUKSESSA

Uusiutuvan energiantuotannon mahdollisista ympäristövaikutuksista on tehty erillinen Roveksen alueen uusiutuvan energian tuotantomuodot- raportti Seinäjoen kaupungin käyttöön. Tehdyn selvitystyön perusteella Rahkolan alueen uusiutuvan energian tuotannolla ei ole erityisiä ympäristövaikutuksia.

Jos Rahkolan alueelle rakennetaan pientuulivoimaa, tulee tämä osaltaan huomioida kaavoituksessa. Pientuulivoiman rakentamisalueita ovat lähinnä alueen kiinteistöjen tontit, koska alueella ei ole juurikaan tilaa keskitetylle pientuulivoiman tuotannolle. Kiinteistökohtainen aurinkoenergian tuotanto voidaan valitusta tekniikasta riippuen integroida joko osaksi rakennettavien kiinteistöjen pintamateriaaleja, tai rakentaa melko huomaamattomasti kiinteistöjen katoille. Jos alueelle rakennetaan aurinkosähköä maa-asennuksena, on soveltuvin sijoituspaikka alueella sijaitsevan suljetun jätetäytön päällä. Suljetun jätetäytön päälle rakennettava aurinkovoimala ei tehtyjen selvitysten mukaan vaaranna jätetäytön sulkukerrosten toimivuutta ja aurinkovoimalan avulla on jopa mahdollista parantaa sadevesien ohjausta jätetäytön päällä. Lisäksi muuten hyödytön alue saadaan aurinkovoimalan avulla hyötykäyttöön uusiutuvan energian tuottajana.

Jos mikroverkon rakentaminen alueelle tulee sähkömarkkinalain muuttuessa mahdolliseksi, on tämä osaltaan huomioitava kaavoituksessa. Sähkömarkkinalain muutoksen sisällöstä tai ajankohdasta ei tätä kirjoitettaessa ole vielä selkeää tietoa. Todennäköistä onkin, että alueelle rakennetaan ensivaiheessa perinteinen jakeluverkko. Jos alueen oma mikroverkko päätetään myöhemmin toteuttaa, on alueelle rakennettava uusi rinnakkainen jakeluverkko tai muutettava olemassa oleva jakeluverkko mikroverkoksi. Alueen verkkoluvanhaltija Elenia on käytyjen puhelinkeskustelujen aikana ilmaissut kiinnostuksensa alueen energiaomavaraiseen yritys yhteisöön liittyen. Jos mikroverkon rakentaminen tulee ajankohtaiseksi, on ennen päätöstä uuden sähköverkon rakentamisesta järkevää keskustella Elenian kanssa mahdollisesta yhteistyöstä alueen siirtoverkkoon liittyen.

Uusiutuvan energian keskitetty tuotanto CHP- voimalaitosta tai lämpölaitosta käyttäen on myös huomioitava kaavoituksessa, samoin kuin mahdollisesti rakennettava alueen lämpöverkko ja alueelle sijoitettavat energianvaraajat.

Kaavoituksen kannalta ongelmallista on epävarmuus siitä, millaisia energiajärjestelmiä alueelle voidaan tulevaisuudessa rakentaa. Tällä hetkellä tulevaisuuden suunta on avoin ja Seinäjoen kaupungin tehtäväksi jää valita se, mitä asioita kaavoituksessa halutaan painottaa.

16 POHDINTA

Uusiutuvaa energiaa tuottavan ja käyttävän energiaomavaraisen yritysyhteisön perustaminen on teknisesti mahdollista. Ideaalitilanteessa alueen energiajärjestelmä voitaisiin toteuttaa esimerkiksi kiinteistökohtaista ja keskitettyä energiantuotantoa hyödyntäen. Energiantuotannon pääkomponentteja voisivat olla aurinkosähkö- ja tuulivoimalat, joita tuetaisiin tarvittaessa esimerkiksi CHP- energiantuotannolla. Alueen energiaverkot mahdollistaisivat energian joustavan ja kustannustehokkaan siirron, procumer toiminnan, energian varastoinnin, tuotannon ja kulutuksen erojen tasaamisen sekä sähkövaraston osalta myös verkon tasapainotukseen osallistumisen.

Käytännössä ideaalitilanteen toteutumisen esteenä on energian halpa hinta ja tästä seuraavat taloudelliset haasteet investointien kannattavuudessa. Lisäksi nykyinen sähkömarkkinalaki estää tehokkaasti Rahkolan alueen kaltaisten energiaomavaraisten yritysyhteisöjen käytännön toteuttamisen.

Sähkömarkkinalakia ollaan mahdollisesti muuttamassa, mutta muutoksen sisältö ei ole tätä kirjoitettaessa tiedossa. EU:n puhtaan energian paketin yhteydessä tehty energiayhteisöjen määrittelyehdotus on saanut jäsenmailta kannatusta yleisellä tasolla, mutta ehdotukseen nähdään Suomen kannalta liittyvän päällekkäisyyksiä jakeluverkkotoiminnan kanssa. Nähtäväksi jääkin se, voittaako suomalaisten verkkoyhtiöiden intressit, vai saavutetaanko asiassa jonkinlainen kaikille soveltuva kompromissi.

eRoves hanke on ollut laaja mutta mielenkiintoinen toteuttaa. Hankkeen kaikkia osa-alueita ei ole kuitenkaan päästy toteuttamaan täysin hankekuvauksen mukaisesti. Hanke päädyttiin toteuttamaan kirjallisuustutkimuksena, koska aikaisempaa tutkimustietoa ole runsaasti tarjolla. Rahkolan alueen energiaomavaraisen yritysalueen käytännön toteutukseen ei hankkeessa ole päästy. Tämä johtuu mm. voimassa olevasta sähkömarkkinalaista sekä siitä ettei käytännön toteutuksesta kiinnostunutta tahoa löydetty hankkeen aikana.

Hankkeesta ja sen tavoitteista keskusteltiin hankkeen aikana muutamien alueen energiantuotantoon ja jakeluun liittyvien tahojen kanssa. Yleisellä tasolla kiinnostusta hankkeen

tavoitteisiin löytyi, mutta ei kuitenkaan mielenkiintoa hankkeen käytännön toteutukseen liittyen. Hankkeen käytännön toteutukseen liittyvän kiinnostuksen puute osoittaa osaltaan sen, että hanke nähdään taloudellisesti kannattamattomana tai vähintäänkin riskialttiina. Kiinnostuksen puute osoittaa myös sen, että koko energiantuotantoon liittyvä liiketoiminta on tällä hetkellä muutoksessa. Muutokseen liittyy mm. teknisiä, lainsäädännöllisiä, sekä myös liiketoimintaan liittyviä epävarmuuksia.

Ilmastonmuutoksen torjumisen kannalta muutoksen aika on toivottavasti lyhyt ja jo lähi-tulevaisuudessa uusiutuvaa paikallista energiaa tuottavien energiaomavaraisten yritysyhteisöjen perustaminen on mahdollista myös käytännössä.

Rahkolan alueen energiaomavaraisten yritysyhteisön käytännön toteutukseen liittyy paljon avoimia kysymyksiä ja lisäksi alueen energiantarvetta on tässä vaiheessa vaikea määrittää riittävällä tarkkuudella. Millaisia yrityksiä alueelle on tulossa? Mikä tulee olemaan alueelle tulevien yritysten suhtautuminen uusiutuvan energian paikalliseen tuotantoon? Voidaanko alueelle pääsyn edellytyksenä pitää sitoutumista uusiutuvan energian tuotantoon ja käyttöön? Millainen nyt suunniteltava energiajärjestelmä täyttäisi sähkömarkkinain vaatimukset tulevaisuudessa ja vieläpä taloudellisesti kannattavasti? Nämä ovat kysymyksiä, joihin on tässä vaiheessa vaikeaa antaa vastausta, mutta joihin on saatava vastaus ennen alueen energiajärjestelmän suunnittelua.

17 JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOTOIMENPITEET

Johtopäätökset:

- Energiayhteisöjen yleistyminen on ilmastonmuutoksen torjumisen kannalta suotavaa.
- Toimiva sähköjakelu on teollisuusalueen toiminnan kannalta tärkeää. Energiaomavaraiset yritysyhteisöt voivat yleistyä vasta kun energiaomavarainen yritysyhteisöjen sähköjakeluun liittyvät ongelmat on ratkaistu.
- Energiaomavaraisten yritysyhteisöjen yleistymistä hidastaa Suomen voimassa oleva sähkömarkkinalaki, joka estää tehokkaasti energiayhteisöjen sisäisestä sähköjakelusta vastaavien mikroverkkojen käytännön toteuttamisen.
- Sähkömarkkinalakia ollaan nykytiedon mukaan uudistamassa ja toivoo sopii, että uudistus vauhdittaa energiaomavaraisten yritysyhteisöjen yleistymistä.
- Merkittäviä teknisiä haasteita energiaomavaraisten yritysyhteisöjen yleistymiselle ei ole olemassa.
- Lämmön jakelu nykytekniikalla toteutettavissa, eikä toteutukseen liity merkittäviä lainsäädännöllisiä haasteita
- Energian lyhytaikainen varastointi on nykytekniikalla toteutettavissa. Rahkolan alueelle soveltuvia varastointitekniikoita ovat lämmön varastointi lämpövaraajiin sekä sähkön varastointi akkuvarastoihin.

Jatkotoimenpiteet:

- Sähkömarkkinalain mahdollisiin muutoksiin liittyvät tiedon hankkiminen, analysointi ja saavutettujen tulosten vaikutuksen arviointi energiayhteisöjen toteuttamisen kannalta.
- Jos sähkömarkkinalain muutokset ovat energiayhteisöjen kannalta suotuisia voidaan Rahkolan energiaomavaraista yritysyhteisön käytännön suunnittelu aloittaa.

Tämä vaatii ainakin:

- Muuttuneen sähkömarkkinalain analysointia.
- Alueen energiajärjestelmän käytännön suunnittelua.
- Alueen energiantuotannon liiketoimintamallin luomista muuttuneen lainsäädännön pohjalta.
- Alueen energiayrityksen perustamista.
- Alueen energiayrittäjän valintaa.
- Alueelle soveltuvan yritystoiminnan kriteerien tarkkaa määrittämistä Seinäjoen kaupungin tahtotilan mukaisesti ja muuttunut lainsäädäntä huomioiden. Mietittäväksi jää mm:
 - Voidaanko alueelle tuleville yrittäjille asettaa erityisiä kriteerejä?
 - Voidaanko alueelle tulevilta yrittäjiltä vaatia sitoutumista energiayhteisöön?
 - Onko mahdollista löytää alueen energiayrittäjyydestä kiinnostunut taho, jolla on tarvittavat resurssit Rahkolan alueen energiaomavaraisten yritysyhteisön tarvitseman energiajärjestelmän rakentamiseen?

18 YHTEENVETO

Fossiilisia polttoaineita käyttävän energiantuotannon hiilidioksidipäästöt ovat yli 70 % kokonaishiilidioksidipäästöistä maailmassa. Energiantuotannon hiilidioksidipäästöjä voidaan vähentää merkittävästi siirtymällä uusiutuvien energianlähteiden käyttöön. Uusiutuvia energianlähteitä ovat ilmastojärjestelmän kannalta hiilineutraalit energianlähteet, kuten aurinkoenergia, vesi- ja tuulivoima, puuperäiset biopolttoaineet, nestemäiset biopolttoaineet, biokaasu sekä geoenergia.

Perinteisten uusiutuvien energianlähteiden käytölle ei nykyään ole juurikaan tekniikkaan liittyviä rajoitteita. Tuulivoima, aurinkosähkö ja -lämpö sekä maalämpö ovat koeteltuja ja teknisesti toimivia tapoja uusiutuvan energian tuottamisessa. Biomassojen käyttö uusiutuvan energian tuotannossa onnistuu nykytekniikalla esimerkiksi CHP- voimalaitoksissa. Vielä kokeiluasteella olevia, mutta tulevaisuudessa hyvin todennäköisesti toimivia, uusiutuvan energian tuotantotapoja ovat esimerkiksi geotermiset voimalaitokset, sekä polttokennoihin perustuvat voimalaitostekniikat. Hukkalämpöjen hyödyntämisessä voidaan käyttää lämpöpumppuja, ORC- turbiinitekniikkaa sekä stirling moottoreihin perustuvaa tekniikkaa.

Uusiutuvan energian jakelu on lämmönjakelun osalta melko ongelmaton. Paikallisen lämpöverkon perustaminen ei ole luvanvaraista toimintaa. Lämpöverkon perustamiseen riittää asianmukaiset luvat maanomistajalta sekä alueen kunnalta tai kaupungilta.

Sähköverkkotoiminta sen sijaan on luvanvaraista toimintaa Suomessa ja jakeluverkon perustamiseen vaaditaan Energiamarkkinaviraston lupa. Energiaomavaraisen yritysyhteisön sähkömarkkinalaissa määritettyjä sähköverkkovaihtoehtoja on olemassa kolme. Perinteinen jakeluverkko, suljettu jakeluverkko sekä kiinteistön tai kiinteistöryhmän sisäiseen sähkönsiirtoon tarkoitettu kiinteistöverkko. Kiinteistöverkko ja suljettu jakeluverkko soveltuvat nykyisen sähkömarkkinalain määritelmien mukaan huonosti Rahkolan alueen sähköverkoksi. Perinteinen jakeluverkko ei puolestaan tarjoa mitään erityisiä etuja sähkön tuotannolle Rahkolan alueella

Sähkömarkkinoita sääntelevät lainsäädännön muuttamista on käsitelty mm. Euroopan Unionin puhtaan energia paketissa ja pakettiin sisältyvässä energiayhteisöjen määritelmään liittyvässä ehdotuksessa . Muiden jäsenmaiden tapaan Suomella on paineita vähentää energiantuotannon hiilidioksidipäästöjä ja Suomi kannattaakin lähtökohtaisesti energiayhteisöjen yleistymistä. Suomen kannalta ongelmallisena on pidetty ehdotettuun energiayhteisön määritelmään liittyviä päällekkäisyyksiä jakeluverkkotoiminnan kanssa. Uusiutuvan energian paikallisen tuotannon lisääminen nähdään yhtenä keinona hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi. Jakeluverkkotoimintaan liittyvien tahojen erilaiset intressit saattavat kuitenkin hidastaa paikallisen tuotannon yleistymistä. Sähkömarkkinalakia tul- laan luultavasti muuttamaan, mutta muutoksen suunta ei tätä kirjoitettaessa ole vielä tar- kasti selvillä.

Rahkolan energiaomavaraisen yritysyhteisön tarvitseman mikroverkon tulisi paikallisesti tuotetun energian kilpailukyvyn varmistamiseksi toimia kustannustehokkaasti, käytän- nössä omakustannehintaan. Koska tällaisen mikroverkon rakentaminen on nykylainsäädännön mukaan käytännössä mahdotonta, on Rahkolan alueen energiaomavaraisen yri- tisyhteisön yksi perustamistapa vaiheittain rakennettava uusiutuvan energian tuotanto- järjestelmä. Ensimmäisessä vaiheessa rakennetaan kiinteistökohtainen uusiutuvan ener- gian tuotanto. Toisessa vaiheessa alueelle rakennetaan lämpöverkko kiinteistökohtaisen lämmöntuotannon jakamista ja keskitettyä lämmönvarastointia varten. Sähkömarkkina- lain muutosten salliessa, voidaan vaiheessa kolme rakentaa alueelle sähkönjakelun mik- roverkko ja tämän lisäksi tarvittaessa keskitettyä sähkönvarastointikapasiteettia. Neljän- nessä vaiheessa alueelle voidaan tarvittaessa rakentaa keskitettyä energiantuotantoa, esi- merkiksi jätetäytön päälle rakennettavan megawattiluokan aurinkovoimalan muodossa.

Energian varastoinnin tekniikoita Rahkolan alueella ovat lähinnä sähkön varastointi ak- kuvarastoihin ja lämmön varastointi lämpövaraajiin. Edellä mainitut tekniikat ovat var- matoimisia, investointikustannuksiltaan kohtuullisia ja soveltuvat teknisesti hyvin Rah- kolan alueelle.

Suomessa on rakenteilla muutamia digitalisaatiota hyödyntäviä kiinteistö- ja myös teol- lisuusaluekokoluokan pilottikohteita, joissa tutkitaan älykkäiden energiajärjestelmien ja

energiaomavaraisten yritysalueiden toteuttamista. Tässä raportissa on käsitelty lyhyesti kahta hanketta, eli Tampereen teknillisen yliopiston kampusareena nimisen kiinteistön pilottikohdetta sekä Lempäälään sijoittuvaa Lemene- hanketta. Saatavilla olevan tiedon perusteella edellä mainittujen pilottihankkeiden teknisessä toteutuksessa ei ole ollut erityisen suuria haasteita. Tehtyjen investointien kannattavuudesta ei näiden hankkeiden osalta ainakaan vielä ole tietoa.

Tätä raporttia varten tehdyssä tutkimuksessa ei ole löytynyt aikaisempia julkaisuja, joissa energiaomavaraisen yritysyrityksen taloudellista kannattavuutta olisi tutkittu tarkasti. Eikä varsinkaan julkaisua, jossa voimassa olevan sähkömarkkinalain vaatimusten mukaisesti toteutetun energiaomavaraisen yritysyrityksen kannattavuus ja liiketoimintamahdollisuudet Suomessa olisi todettu hyväksi.

Rahkolan alueelle valittu energiantuotantojärjestelmä vaikuttaa ratkaisevasti alueen energiaomavaraisen yritysyrityksen liiketoimintamahdollisuuksiin. Kiinteistökohtaisella uusiutuvan energian tuotannolla ja älykkäällä energiajärjestelmällä on mitä luultavimmin mahdollista saavuttaa säästöjä energiankulutuksessa sekä ulkoa ostettavan energian määrässä. Mitään varsinaisia yritysyrityksen liiketoimintamahdollisuuksia tällä ei vielä kuitenkaan saada aikaan. Koko alueen energiajärjestelmän hallinnointiin tarkoitetun energiatuotannon toteutus taas riippuu vahvasti sähkönsiirron mikroverkkojen toteutusmahdollisuuksista lähitulevaisuudessa. Voidaankin sanoa, että mitään erityisiä Rahkolan aluetta koskevia energiantuotannon liiketoimintamahdollisuuksia ei tällä hetkellä ole olemassa. Tämä ei tarkoita, että energiantuotanto Rahkolassa olisi välttämättä kannattamatonta, vaan lähinnä yhtä kannattavaa tai kannattamatonta kuin millä tahansa muulla alueella Suomessa.

Rahkolan alueen energiaomavaraisen yritysyrityksen käytännön toteutukseen liittyy paljon avoimia kysymyksiä ja lisäksi alueen energiantarvetta on tässä vaiheessa vaikea määrittää riittävällä tarkkuudella. Millaisia yrityksiä alueelle on tulossa? Mikä tulee olemaan alueelle tulevien yritysten suhtautuminen uusiutuvan energian paikalliseen tuotantoon? Voidaanko alueelle pääsyn edellytyksenä pitää sitoutumista uusiutuvan energian tuotantoon ja käyttöön? Millainen nyt suunniteltava energiajärjestelmä täyttäisi

sähkömarkkinalain vaatimukset tulevaisuudessa ja vieläpä taloudellisesti kannattavasti? Nämä ovat kysymyksiä, joihin on tässä vaiheessa vaikeaa antaa vastausta, mutta joihin on saatava vastaus ennen alueen energiajärjestelmän suunnittelua.

Tämän hankkeen yhteydessä on suunniteltu aurinkosähköstä, tuulivoimasta ja maalämmöstä koostuva energiantuotannon hybridivoimala Lakeuden Etapin uudelle Seinäjoen kierrätysasemalle. Tehdyn mallinnuksen mukaan pientuuliturbiineilla toteutettu tuulivoimala täydentää aurinkovoimalan sähköntuottoa pimeiden talvikuukausien aikana. Energiaratkaisun taloudellista kannattavuutta on tarkasteltu takaisinmaksuajan, nyky nettoarvon sekä sijoitetun pääoman tuoton kautta. Paras tuotto sijoitukselle saadaan, kun tuotettu sähkö voidaan hyödyntää kokonaisuudessa kierrätysasemalla. Tällöinkin investoinnin taloudellinen kannattavuus näyttää tarkastelun perusteella olevan melko heikko.

19 HANKKEEN ARVIOINTI

Tämän hankkeen loppuraportti on lähinnä toteutettavuustutkimus ja esiselvitys, joka toimii tulevaisuudessa mahdollisesti rakennettavan Rahkolan alueen energiaomavaraisen yritysyhteisön suunnittelun tukena.

Energiaomavaraisen yritysyhteisön rakentamiseen liittyy runsaasti yksityiskohtia ja haasteita. Tekniset haasteet on nykytiedon valossa ratkaistavissa, mutta alueen kannalta hyvin toimivan energialaitteiston suunnittelu vaatii runsaasti työtä ja myös taloudellisia resursseja. Tällä hetkellä energialaitteiston suunnittelua vaikeuttaa erityisesti sähkömarkkinalain tulevaisuuteen liittyvät epävarmuustekijät. Taloudellisten haasteiden ratkaiseminen riippuu energian hinnan kehittymisestä, paikallisen uusiutuvan energiantuotannon energialaitteistojen investointikustannuksien kehittymisestä ja mm. siitä, miten uusiutuvan energian paikallista tuotantoa tulevaisuudessa käsitellään lainsäädännössä.

Hankkeeseen liittyvät selvitystyöt on pyritty tekemään niin, että ne parhaalla mahdollisella tavalla toteuttavat hankekuvauksessa hankkeeseen toteuttamiseen liittyvät osa-alueen. Hankkeen lopputulos on, ettei Rahkolan alueelle tällä hetkellä ole mahdollista rakentaa energiaomavaraista yritysyhteisöä. Tämä johtuu sähkömarkkinalain nykyisistä siirtoverkkotoimintaan liittyvistä määräyksistä.

Vaikka hankkeen lopputulos on energiaomavaraisen yritysyhteisön rakentamisen kannalta huono, palvelee loppuraportti ja siinä tehdyt havainnot alueen tulevaa suunnittelua. Jos lainsäädäntö muuttuu, voidaan alueelle rakennettavat energiaomavaraisen yritysalueen käytännön suunnittelua jatkaa tässä hankkeessa tehtyjen selvitysten ja havaintojen pohjalta.

LÄHDELUETTELO

- Abdollahi, E., R. Lahdelma, & S. Rinne, *Optimization of energy production of a CHP plant with heat storage*. [Verkkodokumentti]. [10.6.2020]. Saatavissa: <https://www.researchgate.net/publication/281735295_Optimization_of_energy_production_of_a_CHP_plant_with_heat_storage>.
- AFRY (2020). *Hukkalämmöstä jäähdtytystä - mitä on kaukokylmä?* . [Verkkodokumentti]. [19.5.2020]. Saatavissa: <<https://afry.com/fi-fi/artikkeli/hukkalammosta-jaahdytysta-mita-kaukokylma>>.
- Alam, J., P. Balducci, V. Foterad, B. Hadjerioua, V. Koritarov, K. Mongrid & V. Viswanathan (2019). *Energy Storage Technology and Cost Characterization Report*. U.S. Department of energy. [Verkkodokumentti]. [23.6.2020]. Saatavissa: <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2019/07/f65/Storage%20Cost%20and%20Performance%20Characterization%20Report_Final.pdf>.
- Alnaimat, F., & Y. Rashid, (2019). *Thermal Energy Storage in Solar Power Plants: A Review of the Materials, Associated Limitations, and Proposed Solutions*. United Arab Emirates University. Mechanical engineering department. [Verkkodokumentti]. [2.7.2020]. Saatavissa: <<https://www.mdpi.com/1996-1073/12/21/4164/htm>>.
- Aurinkovirta.fi (2020). *Kiinnitysteline*. [Verkkodokumentti]. [14.5.2020]. Saatavissa: <<http://www.aurinkovirta.fi/aurinkosahko/aurinkovoimala/kiinnitysteline/>>.
- Australian Academy of Science (2020). *How a battery works*. [Verkkodokumentti]. [29.6.2020]. Saatavissa: <<https://www.science.org.au/curious/technology-future/batteries>>.

- Barile, C (2010). *Solar Thermal Energy Storage Systems*. Stanford University. Course-work for physics 240. [Verkkodokumentti]. [2.7.2020]. Saatavissa: <<http://171.67.100.116/courses/2010/ph240/barile2/>>.
- Bioste (2020). *Biodiesel*. [Verkkodokumentti]. [9.6.2020]. Saatavissa: <<http://bioste.fi/bioenergia/biodiesel/>>.
- Bioste (2020). *Bioetanoli*. [Verkkodokumentti]. [9.6.2020]. Saatavissa: <<http://bioste.fi/bioenergia/bioetanoli/>>.
- Björkqvist, T., V. Heikkilä, A. Hilden, O. Hytti, P. Itävuori, P. Järventausta, N. Kinnunen, T. Korpela, J. Koskela, K. Kotilainen, T. Laukkarinen, K. Lummi, S. Mäkinen, P. Pakonen, J. Payman, L. Peltonen, A. Rautiainen, S. Repo, U. Saari, A. Supponen, K. Systä, J. Valta, M. Vilkkio & U-T. Virta (2018). *Sosiaalinen Energia – Procumer Centric Energy Ecosystem (Procem)*. Tampereen teknillinen yliopisto. ProCem loppuraportti. [Verkkodokumentti]. [20.5.2020]. Saatavissa: <<https://www.senec.fi/projects/procem-2>>.
- Business Finland (2020). *Energiatuki*. [Verkkodokumentti]. [28.7.2020]. Saatavissa: <<https://www.businessfinland.fi/suomalaisille-asiakkaille/palvelut/rahoitus/energiatuki/>>.
- Einamo, J-P., J. Känkänen, J. Patronen, A. Raininko, N. Semkin, L. Sivill & J. Väänänen (2018). *Älykäs kaupunkienergia*. Pöyry Management Consulting Oy. Raportti Energiatukea ry:lle. [Verkkodokumentti]. [22.5.2020]. Saatavissa: <https://energia.fi/files/2862/Alykas_kaupunkienergia_LOPPURAPORTTI_20180614.pdf>.
- Eklund, E. (2011). *Jokamiehen opas pientuulivoiman käyttöön*. Kodin vihreä energia Oy. Tampereella tuulee -projekti. [Verkkodokumentti]. [18.5.2020]. Saatavissa: <https://www.tuulivoimayhdistys.fi/filebank/759-Joka_miehen_opas_motiva.pdf>.
- Electronic Design (2016). *Can Supercapacitors Surpass Batteries for Energy Storage?* [Verkkodokumentti]. [2.7.2020].

Saatavissa: <<https://www.electronicdesign.com/power-management/article/21801779/can-supercapacitors-surpass-batteries-for-energy-storage>>.

Elenia (2020). *Verkkopalveluhinnasto 1.9.2019*. [Verkkodokumentti]. [20.7.2020]. Saatavissa: <https://www.elenia.fi/sites/www.elenia.fi/files/elenia_sulake_hinnasto_2019_A5_WEB.pdf>.

Energiamailma (2020). *Biopolttoaineet*. [Verkkodokumentti]. [11.5.2020]. Saatavissa: <<https://energiamailma.fi/>>.

Energiateollisuus (2020). *Geoterminen energia*. [Verkkodokumentti]. [19.5.2020]. Saatavissa: <https://energia.fi/energiasta/energiantuotanto/sahkontuotanto/geoterminen_voima>.

Energiateollisuus (2020). *Mihin säätövoimaa tarvitaan.* . [Verkkodokumentti]. [13.5.2020]. Saatavissa: <https://energia.fi/linjaukset/energiapolitiikka/toimivat_markkinat/saatovoima>.

Energiateollisuus (2020). *Sähköverkkojen rakenne*. [Verkkodokumentti]. [29.5.2020]. Saatavissa: <<https://energia.fi/energiasta/energiaverkot/sahkoverkot>>.

Energiateollisuus (2020). *Sähköverkkoyhtiöt*. [Verkkodokumentti]. [28.5.2020]. Saatavissa: <<https://energia.fi/energiasta/energiaverkot/sahkoverkot/sahkoverkkoyhtiöt>>.

Energiateollisuus (2020). *Sääntelyn tavoitteena kohtuulliset hinnat ja hyvälaatuinen energiantoimitus*. [Verkkodokumentti]. [28.5.2020]. Saatavissa: <https://energia.fi/energiasta/energiaverkot/sahkoverkot/lainsaadanto_ja_viranomaisvalvonta>.

Energiavirasto (2020). *Verkkotoiminnan luvanvaraisuus*. [Verkkodokumentti]. [1.6.2020]. Saatavissa: <<https://energiavirasto.fi/verkkotoiminnan-luvanvaraisuus>>.

Energiavirasto (2020). *Tietoa sähkönmyyjille*. [Verkkodokumentti]. [9.6.2020]. Saatavissa: <https://energiavirasto.fi/tapahtuma/-/asset_publisher/tietoa-sahkonmyyjil-1>.

Energy Storage Association (2020). *How Hydrogen Energy Storage Works*. [Verkkodokumentti]. [2.7.2020]. Saatavissa: <<https://energystorage.org/why-energy-storage/technologies/hydrogen-energy-storage/>>.

Energy Storage Association (2020). *Mechanical energy storages*. [Verkkodokumentti]. [2.7.2020]. Saatavissa: <<https://energystorage.org/why-energy-storage/technologies/mechanical-energy-storage/>>.

Energy Storage Association (2020). *A wide array of storage technologies have been developed so that the grid can meet everyday energy needs*. [Verkkodokumentti]. [23.6.2020]. Saatavissa: <<https://energystorage.org/why-energy-storage/technologies/>>.

Energy Storage Association (2020). *Batteries*. [Verkkodokumentti]. [23.6.2020]. Saatavissa: <<https://energystorage.org/why-energy-storage/technologies/solid-electrode-batteries/>>.

Energy Storage Association (2020). *Technologies of Energy Storage*. [Verkkodokumentti]. [16.6.2020]. Saatavissa: <<https://energystorage.org/why-energy-storage/technologies/>>.

Energy Storage News (2017). *EnergyAustralia ponders world's largest seawater pumped hydro energy storage plant*. [Verkkodokumentti]. [16.6.2020]. Saatavissa: <<https://www.energy-storage.news/news/energyaustralia-ponders-worlds-largest-seawater-pumped-hydro-energy-storage>>.

Energy.gov (2018). *Fuel Cells*. [Verkkodokumentti]. [19.5.2020]. Saatavissa: <<https://www.energy.gov/eere/fuelcells/fuel-cells>>.

Energy.gov (2020). *Absorption Heat Pumps*. [Verkkodokumentti]. [19.5.2020]. Saatavissa: <<https://www.energy.gov/energysaver/heat-pump-systems/absorption-heat-pumps>>.

European Chemistry Thematic Network (2020). The combustion reaction. [Verkkodokumentti]. [7.7.2020]. Saatavissa: <<http://www.whatischemistry.unina.it/en/burn.html>>.

European Commission (2020). *Photovoltaic geographical information system*. [Verkkodokumentti]. [14.5.2020]. Saatavissa: <https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#PVP>.

FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy (2017). *Kujalan jätekeskuksen alueen sähkönjakeluun liittyvä selvitys*. Selvitys P31624.

Finlex (2020). *Sähkömarkkinalaki*. . [Verkkodokumentti]. [29.5.2020]. Saatavissa: <<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2013/20130588>>.

Finsolar (2016). *Aurinkolämpöjärjestelmien hintatasot ja kannattavuus*. . [Verkkodokumentti]. [14.5.2020]. Saatavissa: <<https://finsolar.net/kannattavuus/aurinkolampojarjestelmien-hintatasot-ja-kannattavuus-suomessa/>>.

Finwind (2020). *Aurinkopaneelit seinällä*. [Verkkodokumentti]. [14.5.2020]. Saatavissa: <<https://finnwind.fi/referenssit/aurinkopaneelit-seinalle/>>.

Finwind (2020). *Maa-asennus, MP1 maapilarilla 10–100 kWp*. [Verkkodokumentti]. [14.5.2020]. Saatavissa: <<https://finnwind.fi/tuote/maa-asennus-mp1-maapilarilla-10-100-kwp/>>.

Fortum (2020). *Sähkön ja lämmön yhteistuotanto – tehokkaampaa sähköntuotantoa*. [Verkkodokumentti]. [13.5.2020]. Saatavissa: <<https://www.fortum.fi/tietoa-meista/yhtiomme/energiantuotantomme/sahkon-ja-lammon-yhteistuotanto-tehokkaampaa-sahkontuotantoa>>.

Hannula, T. (2019). *ESE materiaali*. Sähköpostiviesti Sami Tuomistolle 16.1.2019.

Hasanen, Miikka (2019). *Sähköntuotannon kannattavuus yhteistuotannossa*. Lappeenranta-Lahden teknillinen yliopisto. School of Energy Systems. Kandidaatintyö. [Verkkodokumentti]. [13.5.2020]. Saatavissa: <<https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/159104/Kandidaatinty%C3%B6%20Hasanen%20Miikka%20Viimeinen.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>.

Helen Oy (2019) *Lämmön varastointi case Helen*. [Verkkodokumentti]. [16.6.2020]. Saatavissa: https://energia.fi/files/3993/Tiittanen_Lammon_varastointi_Case_Helen_Kaukolampopaivat_2019_Vaasa.pdf.

Huhtinen, M., R. Korhonen, T. Pimiä, & S. Urpalainen (2013). *Voimalaitostekniikka*. Kotka: Opetushallitus. 344 s. ISBN 978-952-13-5426-7.

IEA HPT (2020). *How does a heat pump work?* [Verkkodokumentti]. [18.5.2020]. Saatavissa: <<https://heatpumpingtechnologies.org/market-technology/heat-pump-work/>>.

Ilmasto-opas.fi (2020). *Hiilidioksidi ja hiilen kiertokulku*. [Verkkodokumentti]. [7.7.2020]. Saatavissa: <<https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/ilmio/-/artikkeli/1e92115d-8938-48f2-8687-dc4e3068bdbd/hiilidioksidi-ja-hiilen-kiertokulku.html>>.

Ilmasto-opas.fi (2020). *Metaani*. [Verkkodokumentti]. [11.5.2020]. Saatavissa: <<https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/ilmio/-/artikkeli/dec264e2-6350-418c-a1bc-3ef7c80676aa/metaani.html>>.

Ilmasto-opas.fi (2020). *Uusiutuva energia Suomessa*. [Verkkodokumentti]. [2.7.2020]. Saatavissa: <<https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/hillinta/-/artikkeli/0bd05ecc-8c68-4fb6-a6e9-2c4ad90d577d/uusiutuva-energia.html>>.

IRENA (2017). *Electricity storage and renewables: Costs and markets to 2030*. [Verkkodokumentti]. [23.6.2020]. Saatavissa: <<https://www.irena.org/>>

/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/Oct/IRENA_Electricity_Storage_Costs_2017.pdf.>.

Kauppinen O-P. (2009). *Kaatopaikkakaasun hyväksikäyttö lietteen kuivatuksessa*. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Teknillinen tiedekunta. Kandidaatintyö. . [Verkkodokumentti]. [28.7.2020]. Saatavissa: <<https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/69358/nbnfi-fe201104121434.pdf?sequence=3&isAllowed=y>>.

Kestävä Energiatalous (2018). *Pumppuvoimala on hyvä ja tehokas sähkövarasto*. . [Verkkodokumentti]. [16.6.2020]. Saatavissa: <<https://www.energiatalous.fi/?p=2210>>.

Kokkonen, A. (2015). *Lämpöverkko hajautettuun lämmöntuotantoon perustuvassa järjestelmässä*. Aalto-yliopisto. Insinööritieteiden korkeakoulu. Diplomityö. [Verkkodokumentti]. [26.5.2020]. Saatavissa: https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/16334/master_Koikkalainen_Anniina_2015.pdf?sequence=1

Kuusinen, J. (2020). *Lämpöverkon rakentaminen Seinäjoen kaupungin alueelle*. Sähköpostiviesti Sami Tuomistolle 28.5.2020.

Laukkanen, J. (2016). *Kujalan energian yhteishankinta - Lämmön tuotannon ja jakelun yleissuunnitelma*. Pöyry Finland Oy. Loppuraportti.

Lempäälän Energia (2020). *LEMENE*. [Verkkodokumentti]. [12.8.2020]. Saatavissa: <<http://www.lempaalanenergia.fi/content/fi/1/20126/LEMENE.html>>.

Lumme, M. (2018). *Lämpövarastot*. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. School of Energy Systems. Kandidaatintyö. [Verkkodokumentti]. [16.6.2020]. Saatavissa: <<https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/157005/Matti%20Lumme%20kandidaatinty%C3%B6.pdf?sequence=1>>.

- LUT University (2019). *Aurinkoenergia ja aurinkosähkö Suomessa*. [Verkkodokumentti]. [14.5.2020]. Saatavissa: <https://www.lut.fi/uutiset/-/asset_publisher/h33vOeufOQWn/content/aurinkoenergia-ja-aurinkosahko-suomessa>.
- Maa- ja metsätalousministeriö (2020). *Metsien hiilinielut*. [Verkkodokumentti]. [7.7.2020]. Saatavissa: <<https://mmm.fi/metsat/metsatalous/metsat-ja-ilmastonmuutos/metsien-hiilinielut>>.
- Machine Design (2018). *Breakthrough Fuel Cell Runs on Methane at Practical Temperatures*. [Verkkodokumentti]. [19.5.2020]. Saatavissa: <<https://www.machinedesign.com/materials/article/21837280/breakthrough-fuel-cell-runs-on-methane-at-practical-temperatures>>.
- Malinen, L. (2017). *Kujalan jätekeskuksen älykäs lämpöverkko*. ONE1 Oy. Selvitystyö
- Mesmec. *SEINÄJOKI-NURMO kaatopaikan Mesmec-Mini soih tupolttimien vuosiraportti 2017*. Mesmec Oy. Kaatopaikan soih tupolttimien vuosiraportti 21.12.2017.
- Micropolis (2013). *Mikro- ja pien-CHP Teknologia- ja laitekantaselvitys sekä kannattavuuden tarkastelu tapausesimerkin avulla*. [Verkkodokumentti]. [13.5.2020]. Saatavissa: <http://www.greenpolis.fi/wp-content/uploads/004_13-Mikro-ja-pien-CHP-Teknologia-ja-laitekantaselvitys-sek%C3%A4-kannattavuuden-tarkastelu-tapausesimerkin-avulla.pdf>.
- Motiva (2017). *Vesivoima*. [Verkkodokumentti]. [7.7.2020]. Saatavissa: <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/vesivoima>.
- Motiva (2018). *Tuulivoimateknologia*. [Verkkodokumentti]. [14.5.2020]. Saatavissa: <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/tuulivoima/tuulivoima_suomessa/tuulivoimateknologia>.

Motiva (2019). *Aurinkokeräinten hyötysuhteet*. [Verkkodokumentti]. [14.5.2020]. Saatavissa: <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat/aurinkokerainten_hyotysuhteet>.

Motiva (2019). *Aurinkolämpöjärjestelmät*. [Verkkodokumentti]. [14.5.2020]. Saatavissa: <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat>.

Motiva (2019). *Tuulivoima*. [Verkkodokumentti]. [10.7.2020]. Saatavissa: <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/tuulivoima>.

Motiva (2020). *Bioenergian käyttö*. [Verkkodokumentti]. [9.6.2020]. Saatavissa: <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/bioenergia/bioenergian_kaytto>.

Motiva (2020). *Biokaasu*. [Verkkodokumentti]. [9.6.2020]. Saatavissa: <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/bioenergia/biokaasu>.

Motiva (2020). *Biopolttoaineiden lämpöarvoja* <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/bioenergia/tietolahteita/biopolttoaineiden_lampoarvoja>.

Motiva (2020). *Biopolttoaineiden lämpöarvoja*. [Verkkodokumentti]. [12.5.2020]. Saatavissa: <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/bioenergia/tietolahteita/biopolttoaineiden_lampoarvoja>.

Motiva (2020). *Maalämpöpumppu*. [Verkkodokumentti]. [18.5.2020]. Saatavissa: <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput/lampopumpputeknologiat/maalampopumppu>.

Motiva (2020). *Nestemäiset biopolttoaineet*. [Verkkodokumentti]. [12.5.2020]. Saatavissa: <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/bioenergia/nestemaiset_biopolttoaineet>.

- Motiva (2020). *Uusiutuva energia Suomessa*. . [Verkkodokumentti]. [12.5.2020]. Saatavissa: <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/uusiutuva_energia_suomessa>.
- New York State – Department of Health (2020). *Important Things to Know About Landfill Gas*. [Verkkodokumentti]. [12.5.2020]. Saatavissa: <https://www.health.ny.gov/environmental/outdoors/air/landfill_gas.htm>.
- Niemi, P. (2017). *Kujalan suljetun kaatopaikan aurinkovoimaselvitys*. Pöyry Finland Oy. EBG Thermal and Renewable Energy. Loppuraportti, projektinnumero 101005153-001.
- Nord Pool (2020). *Day-Ahead-Prices*. [Verkkodokumentti]. [20.7.2020]. Saatavissa: <<https://www.nordpoolgroup.com/Market-data1/#/nordic/table>>.
- Nylund, N-O., K. Sipilä, T. Mäkinen & P. Aakko-Saksa (2010). Polttoaineiden laatuporastuksen kehittäminen. [Verkkodokumentti]. [11.5.2020]. Saatavissa: <<https://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2010/T2528.pdf>>.
- ÖköFen (2020). *Pilotprojekt: Pellematic e-max*. . [Verkkodokumentti]. [19.5.2020]. Saatavissa: <http://www.okofen-e.com/en/pellematic_e_max/>.
- Peda.net. *Aineen olomuodot*. . [Verkkodokumentti]. [19.5.2020]. Saatavissa: <<https://peda.net/pori/perusopetus/koulujen-kotisivut/pl7/psyl/opetus/oppiaineet22/fysiikka/7-luokka/3-aineen-olomuodot/aineen-olomuodot>>.
- PowerMag (2019). *Why Power-to-Gas May Flourish in a Renewables-Heavy World*. [Verkkodokumentti]. [9.6.2020]. Saatavissa: <<https://www.powermag.com/why-power-to-gas-may-flourish-in-a-renewables-heavy-world/>>.
- PowerTech (2020). *Lithium LiFePO4 vs Lead-Acid cost analysis*. [Verkkodokumentti]. [23.6.2020]. Saatavissa: <<https://www.powertechsystems.eu/home/tech-corner/lithium-ion-vs-lead-acid-cost-analysis/>>.

- Pöyry Management Consulting (2018). *Third-Party access to district heating networks*. A report to Finnish Energy. [Verkkodokumentti]. [27.5.2020]. Saatavissa: <https://energia.fi/files/2634/Third-Party_Access_to_District_Heating_Networks_FINAL_REPORT_20180509.pdf>.
- Qi, Z., S. Wang, & T. Wei, (2008). *Supercapacitor Energy Storage Technology and its Application in Renewable Energy Power Generation System*. Institute of Electrical Engineering, CAS. [Verkkodokumentti]. [2.7.2020]. Saatavissa: <https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-75997-3_566>.
- Ramboll Finland Oy. (2016). *Kujalan energian yhteishankinta - sähkön tuotannon ja jakelun yleissuunnitelma*. Loppuraportti.
- Ravinne ja energia (2020). *Kiinteät biopolttoaineet*. [Verkkodokumentti]. [12.5.2020]. Saatavissa: <<http://ravinnejaenergia.fi/fi/kiinteat-biopolttoaineet/>>.
- RefGroup (2020). *Energian säästö ja lämpökertoimet*. [Verkkodokumentti]. [19.5.2020]. Saatavissa: <<http://www.ilmalampopumput.fi/fi/mika-ihmeen-lampopumppu/energia-saasto>>.
- REVE (2019). *Molten salt storage in concentrated solar power plants*. [Verkkodokumentti]. [2.7.2020]. Saatavissa: <<https://www.evwind.es/2019/10/16/molten-salt-storage-in-concentrated-solar-power-plants-could-meet-the-electricity-on-demand-role-of-coal-and-gas/71351>>.
- Rissanen, V-M. (2014). *Mikro ORC-voimalan potentiaaliset sovelluskohteet*. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Teknillinen tiedekunta. Kandidaatintyö. [Verkkodokumentti]. [19.5.2020]. Saatavissa: <<https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/95640/Mikro%20ORC-voimalan%20potentiaaliset%20sovelluskohteet.pdf?sequence=2>>.

- Saaristotekniikka (2020). *4Kw 48 volt tuulivoimala ISTA BREEZE Heli 4.0*. [Verkkodokumentti]. [18.5.2020]. Saatavissa: <<https://verkkokauppa.saaristotekniikka.com/product/244/4kw-48-volt-tuulivoimala-ista-breeze-heli-40>>.
- Sandberg, A. (2017). *Sähkön ja lämmön tehokkaan yhteistuotannon sekä kaukolämmityksen ja -jäähdytyksen raportoinnin suunnittelu*. Aalto-yliopisto. Insinöörیتieteiden korkeakoulu. Diplomityö. [Verkkodokumentti]. [13.5.2020]. Saatavissa: <https://aalto-doc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/29384/master_Sandberg_Aleksi_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Science Direct (2018). *Stirling Engine*. [Verkkodokumentti]. [19.5.2020]. Saatavissa: <<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/stirling-engine>>.
- Seinäjoen Voima (2020). *Kaupungin lämmittäjä, seudun työllistäjä*. [Verkkodokumentti]. [20.5.2020]. Saatavissa: <<https://www.sevo.fi/yritys/>>
- St1 (2020). *Geolämpö*. [Verkkodokumentti]. [19.5.2020]. Saatavissa: <<https://www.st1.fi/geolampo>>.
- Suomen tuuliatlas (2020). *Tuuliatlas - tuulitiedot Suomen kartalla*. [Verkkodokumentti]. [18.5.2020]. Saatavissa: <<http://www.tuuliatlas.fi/fi/index.html>>.
- Suomen Tuulivoimayhdistys (2020). *Pientuulivoima*. [Verkkodokumentti]. [18.5.2020]. Saatavissa: <<https://www.tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta/pientuulivoima>>.
- Suomen Tuulivoimayhdistys (2020). *Tietoa tuulivoimasta*. [Verkkodokumentti]. [14.5.2020]. Saatavissa: <<https://www.tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta/tietoa-tuulivoimasta>>.
- Suomen Tuulivoimayhdistys (2020). *Tuulivoiman ympäristövaikutukset*. [Verkkodokumentti]. [7.7.2020]. Saatavissa: <<https://www.tuulivoimayhdistys.fi/tietoa>>

tuulivoimasta/tietopankki-tiiviisti-tarkeista-kysymyksista/tuulivoiman-ymparistovai-
kutukset>.

Söderena, P. (2017). *Kehityspolut työkoneiden biokaasutekniikkaan*. VTT. Asiakasraportti VTT-CR-01044-17.

Terveiden ja hyvinvoinnin laitos (2020). [Verkkodokumentti]. [7.7.2020]. Saatavissa: <<https://thl.fi/fi/web/ymparistoterveys/melu/tuulivoima-ja-melu>>.

Tuomisto, S. (2019). *Biokaasukäyttöisiä työkoneita koskevat päästölainsäädännön nykytila ja tulevaisuus*. Vaasan yliopisto. Tekniikan ja innovaatiojohtamisen yksikkö. Diplomityö. [Verkkodokumentti]. [13.5.2020]. Saatavissa: <<https://osuva.uwasa.fi/handle/10024/9591>>.

Turbomachinery Laboratory (2020), Texas A&M University. *Current Developments in Gas Bearings for Microturbomachinery*. [Verkkodokumentti]. [14.5.2020]. Saatavissa: <<http://congreso.pucp.edu.pe/cibim8/pdf/06/06-35.pdf>>.

Turunen, R. & S. Niemi (2002). *Polttomoottorit. Teoksessa: Poltto ja Palaminen*, 585–624. Toim. R. Raiko, J. Saastamoinen, M. Hupa & I. Kurki-Suonio. Helsinki: Teknillistieteelliset akatemit. ISBN 951–666–604–3.

Työ- ja elinkeinoministeriö (2018). *Älyverkkotyöryhmän ehdotukset ja niiden tarkemmat perustelut*. [Verkkodokumentti]. [13.8.2020]. Saatavissa: <http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161119/Liite_TEM_33_2018.pdf>.

Valtioneuvosto (2017). *Selvitys hajautetun energiantuotannon potentiaalista ja käyttöönoton näkymistä Suomessa*. [Verkkodokumentti]. [19.5.2020]. Saatavissa: <https://valtioneuvosto.fi/artikkeli/-/asset_publisher/10616/selvitys-hajautetun-energiantuotannon-potentiaalista-ja-kayttoonoton-nakymista-suomessa-kiinteistokohtainen-energiantuotanto-lisaantyy-aurinkosahkon-t>.

World Environmental Library (2020). *What is Biogas*. [Verkkodokumentti]. [12.5.2020].

Saatavissa: < <http://www.nzdl.org/gsdmod?e=d-00000-00---off-0envl--00-0----0-10-0---0---0direct-10---4-----0-11--11-en-50---20-about---00-0-1-00-0--4----0-0-11-10-0utfZz-8-00&cl=CL2.9.1&d=HASH74f85bc0331b7141adcf66.7.2>=1>>.

World Nuclear Association (2018). *Heat Values of Various Fuels*. [Verkkodokumentti].

[11.5.2020]. Saatavissa: <<https://www.world-nuclear.org/information-library/facts-and-figures/heat-values-of-various-fuels.aspx>>.