

# **Selvitys uusiutuvan energian käytön mahdollisuuksista Boliden Kokkolan sulatolla**

Valtteri Vähämaa

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2019  
Tekniikan ala  
Insinööri (AMK), energia- ja ympäristötekniikka

Tekijä Vähämaa, Valtteri	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Toukokuu 2019
	Sivumäärä 67	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi <b>Selvitys uusiutuvan energian käytön mahdollisuuksista Boliden Kokkolan sulatolla</b>		
Tutkinto-ohjelma Insinööri (AMK), energia- ja ympäristötekniikka		
Työn ohjaajat Honkanen Hannariina, Peuranen Harri		
Toimeksiantaja Boliden Kokkola Oy, TKT Justin Salminen		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön toimeksiantaja Boliden Kokkola Oy ja yrityksen omistava Boliden AB katsovat mahdollisuuksia kehittää toimintaansa kohti hiilineutraalia tulevaisuutta. Opinnäytetyössä selvitetään mahdollisuuksia kasvattaa uusiutuvan energian osuutta yrityksen sähkön kulutuksesta.</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää aurinkosähkön tuotantopotentiaali Boliden Kokkolan sulatolla ja selvittää yrityksen mahdollisuudet hankkia uusiutuvalla energialla tuotettua sähköä sähkömarkkinoilta. Tavoitteena oli luoda kehitysideoita uusiutuvan energian käytön kasvattamiseksi Boliden Kokkolan toiminnassa. Työ toteutettiin tutkimusotteeltaan kehittämistutkimuksena. Työn toteutukseen hyödynnettiin myös kvalitatiivisia tutkimusmenetelmiä. Tutkimusaineistoa kerättiin toteuttamalla asiantuntijahaastatteluja ja tekemällä havaintoja tutkimuskohteessa. Tietoperustaa kerättiin kirjallisista ja sähköisistä lähteistä. Tietoperustaa työhön saatiin myös Bolidenin ja Gasum Oy:n tietokannoista.</p> <p>Aurinkosähkön tuotannolle olosuhteet Bolidenin sulatolla ovat hyvät. Arvioitu vuotuinen tuotanto on noin 148 kWh/m<sup>2</sup>. Aurinkosähkön tavanomaiset kulutuksen ja tuotannon eriaikaisuudesta johtuvat ongelmat eivät päde Bolidenin tapauksessa. Sulatolle olisi mahdollista asentaa teollisen mittaluokan suuri (250 – 1000 kWp) aurinkovoimala. Sähkönhankinnan osalta fossiililla polttoaineilla tuotetusta sähköenergiasta voitaisiin luopua varmentamalla sähkö tuotetuksi uusiutuvalla energialla alkuperätakuujärjestelmän avulla. Alkuperätakuilla varmennettu sähkönhankinta kasvattaisi sähkönhankinnan kuluja eikä tästä syystä olisi välttämättä taloudellisesti kannattavaa. Alkuperätakuujärjestelmällä saavutettavia todellisia ympäristövaikutuksia on vaikea arvioida.</p>		
Avainsanat ( <a href="#">asiasanat</a> ) Aurinkoenergia, sähkön alkuperätakuu, tuulivoima, uusiutuva energia		
Muut tiedot ( <a href="#">salassa pidettävät liitteet</a> )		

Author(s) Vähämaa, Valtteri	Type of publication Bachelor's thesis	Date May 2019 Language of publication: Finnish
	Number of pages 67	Permission for web publication: x
Title of publication <b>Report on potential use of renewable energy in Boliden Kokkola smelter</b>		
Degree programme Degree Programme in Energy and Environmental Technology		
Supervisor(s) Honkanen Hannariina, Peuranen Harri		
Assigned by Boliden Kokkola Oy, D. Sc (Tech.) Justin Salminen		
Abstract  <p>The assignor of the bachelor's thesis Boliden Kokkola Oy, and the company's owner Boliden AB are looking potential to develop their activities towards carbon-neutral future. The subject of the thesis arose from the assignor's need to study the potential for increasing the share of renewable energy in the company's electricity consumption.</p> <p>The aim of the thesis was to determine the potential of solar electricity production at the Boliden Kokkola smelter and to determine the company's ability to obtain electricity produced from renewable energy from the electricity market. The aim was to create development ideas to increase the use of renewable energy in Boliden Kokkola operations. The thesis was a developmental study. Qualitative research methods were also used in the work. The data was collected by conducting interviews and making observations at the site. The theoretical framework is based on written and electronic sources. Boliden's and Gasum Oy's databases were also used to collect data.</p> <p>The conditions for solar power generation at the smelter are good. The estimated annual output is about 148 kWh/m<sup>2</sup>. The usual problems with solar power due to the difference in consumption and production do not apply to Boliden. It would be possible to install a large (250 – 1000 kWp) solar power plant at the smelter. The electricity produced from fossil fuels could be abandoned through a system of Guarantee of origin. Purchasing electricity that has a guaranteed origin would increase the cost of electricity and therefore it would not necessarily be economically viable. It is also difficult to assess the real environmental impact of the system of guarantee of origin.</p>		
Keywords/tags ( <a href="#">subjects</a> ) Solarenergy, guarantee of origin, renewable energy, wind power		
Miscellaneous ( <a href="#">Confidential information</a> )		

## Sisältö

<b>1</b>	<b>Johdanto .....</b>	<b>4</b>
1.1	Opinnäytetyön tausta.....	4
1.2	Tavoitteet .....	5
1.3	Tutkimusasetelma .....	5
1.4	Boliden Kokkola Oy.....	6
<b>2</b>	<b>Boliden Kokkolan tuotantoprosessi.....</b>	<b>7</b>
2.1	Sinkin tuotantoprosessi.....	7
2.1.1	Pasutus.....	7
2.1.2	Liuotus ja liuospuhdistus .....	8
2.1.3	Elektrolyysi.....	8
2.1.4	Valu .....	9
2.1.5	Rikkihapon tuotanto .....	9
2.2	Energiankulutus.....	10
<b>3</b>	<b>Uusiutuva energia .....</b>	<b>11</b>
3.1	Uusiutuva energiantuotanto globaalisti.....	11
3.1.1	Uusiutuva energia Suomessa.....	12
3.1.2	Tuulivoima .....	13
3.1.3	Aurinkoenergia .....	18
3.2	Uusiutuvan energiantuotannon haasteita .....	26
3.2.1	Säätövoima ja uusiutuva energia .....	27
3.2.2	Uusiutuvan energian varastointi ja kulutusjousto .....	28
3.3	Alkuperätakuujärjestelmä .....	29
3.3.1	Sähkön tuotannon alkuperän varmentaminen .....	30
3.3.2	Jäännösjakauma .....	31
3.3.3	Alkuperätakuiden markkinat .....	32

<b>4</b>	<b>Aurinkosähkön tuotantopotentiaali .....</b>	<b>33</b>
4.1	Aurinkosähkön omatuotanto .....	33
4.1.1	Säteilyenergia sulatolla.....	34
4.1.2	Aurinkosähköjärjestelmän tuotannon arvioiminen .....	36
4.1.3	Tuloksien hahmottaminen.....	39
4.1.4	Tuotanto-olosuhteet BKO:n alueella .....	40
4.1.5	Kannattavuus .....	44
4.1.6	Arvioidun tuotantopotentiaalin luotettavuus .....	46
<b>5</b>	<b>Sähkönhankinta.....</b>	<b>47</b>
5.1	Alkuperätakuilla varmennettu sähkönhankinta.....	47
5.2	Tuulivoiman PPA-sopimukset.....	51
5.3	Tarvittava tuulivoiman tuotanto .....	52
<b>6</b>	<b>Yhteenveto.....</b>	<b>54</b>
<b>7</b>	<b>Pohdinta.....</b>	<b>56</b>
	<b>Lähteet .....</b>	<b>59</b>
	<b>Liitteet.....</b>	<b>63</b>
	Liite 1. Auringon kokonaissäteilyenergia eri ilmansuuntiin osoittaville pystypinnoille vyöhykkeellä 3 (Jyväskylä) .....	63
	Liite 2. Auringon kokonaissäteilyenergia 45 asetetta kallistetulle pinnalle eri ilmansuuntiin suunnattuna vyöhykkeellä 3 (Jyväskylä) .....	65
	Liite 3. Alkuperätakuusertifikaattien hintojen kehitys .....	66
	Liite 4. Kuukausittainen auringon säteilyenergia 2010–2016 .....	67
	Liite 5. Aurinkosähköjärjestelmän kuukausittainen tuotanto .....	68
	<b>Kuviot</b>	
	Kuvio 1. Pasutusprosessi .....	7
	Kuvio 2. Liuotus ja liuospuhdistus .....	8
	Kuvio 3. Elektrolyysiprosessi .....	9

Kuvio 4. Boliden Kokkolan energiankulutus.....	10
Kuvio 5. Maailman kokonaisenergian kulutus 2017 .....	11
Kuvio 6. Suomen sähköntuotanto energialähteittäin 2018.....	12
Kuvio 7. Maatuulivoimaloiden (onshore) ja merituulivoimaloiden (offshore) tuotantokapasiteetin kasvu (GW) Euroopassa .....	13
Kuvio 8. Tuulivoimalan teorettinen maksimiteho sekä todelliset sakkaukset- ja lapakulmasäätöisten voimaloiden tehokäyrät.....	14
Kuvio 9. Tuuliturbiinin konehuone.....	15
Kuvio 10. Aurinkoenergian vuotuinen potentiaali Euroopassa .....	19
Kuvio 11. Suomen jäännösjakauma 2017 .....	31
Kuvio 12. Sähkö ja alkuperätakuut.....	32
Kuvio 13. PVGIS-laskurin käyttöliittymän ulkoasu .....	35
Kuvio 14. Boliden Kokkolan kuukausittainen säteilyenergia aikavälillä 2010–2016 ...	36
Kuvio 15. Performance of grid-connected PV laskurin käyttöliittymä.....	38
Kuvio 16. Aurinkosähköjärjestelmän tuotanto neliometriä kohden .....	39
Kuvio 17. Mahdolliset sijainnit maavoimalalle.....	41
Kuvio 18. Mahdolliset sijainnit aurinkovoimalalle .....	42
Kuvio 19. Aurinovoimalan mahdollinen sijainti, Portti P1 .....	43
Kuvio 20. Solarigo systems Oy:n tarjoama PPA-malli .....	46

## **Taulukot**

Taulukko 1. Keskimääräiset asennushinnat 2016 .....	27
Taulukko 2. Kohteiden käytettävissä oleva pinta-ala.....	44
Taulukko 3. Aurinkosähkön omatuotanto SWOT.....	46
Taulukko 4. Sähkön alkuperätakuu SWOT .....	50
Taulukko 5. ”Green Zinc” SWOT.....	51
Taulukko 6. Tuulivoiman PPA-sopimus SWOT .....	53

# 1 Johdanto

## 1.1 Opinnäytetyön tausta

Herääminen maapalloa uhkaavaan ilmastomuutokseen ja sen hillitsemiseen on saanut valtioiden hallitukset toimenpiteisiin kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi. Kansainvälisessä Pariisin ilmastosopimuksessa 2015 tavoitteeksi asetettiin ilmaston lämpenemisen pysäyttäminen 2 °C:seen. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) julkaisi vuonna 2018 raportin, jonka mukaan ilmaston lämpeneminen olisi rajoitettava 1,5 °C:seen. Ilmastomuutoksen hillitsemiseksi fossiilisten polttoaineiden käytöstä energiantuotannossa pyritään luopumaan. Uusiutuvat energianlähteet ovat suuressa roolissa siirryttäessä fossiilisista polttoaineista hiilineutraaliin energiantuotantoon. Kasvava keskustelu ilmastomuutoksesta, kiristyneet ympäristöpäästöjen rajoitukset sekä oman toimintansa ympäristömyönteisen imagon ylläpitäminen ovat saaneet myös yritykset kiinnostumaan toimintansa ekologisuudesta. (IPCC: ilmasto lämpenee hälyttävällä vauhdilla 2018.)

Opinnäytetyön toimeksiantaja Boliden Kokkola Oy:n (BKO) sinkkitehtaalla on energiatehokkuuden kehittämiseen panostettu pitkäjänteisesti. Tehtaan ilmastovaikutukset tuotettua sinkkitonnia kohden ovat huomattavasti keskimääräistä sinkintuotantolaitosta pienempiä. Sinkin tuotantoprosessi varsinkin elektrolyysin osalta kuluttaa energiatehokkuudesta huolimatta erittäin paljon sähköenergiaa. Boliden Kokkolan vuotuinen sähkönkulutus nousee yli 1,2 terawattitunnin. Sähkön osuus tehtaan energian kokonaiskulutuksesta on noin 80 %. Sinkintuotantoprosessin sivutuotteena muodostuvasta lämpöenergiasta tehdas kuluttaa noin puolet omassa toiminnassaan. Loput lämpöenergiasta hyödynnetään kaukolämmöntuotannossa ja höyrynä KIP:n (Kokkola industrial park) teollisuusalueen muiden tuotantolaitosten prosesseissa. (Boliden Kokkola. Yhteiskuntavastuun raportti 2015, 21, 23.)

## 1.2 Tavoitteet

Boliden Kokkola Oy:n omistava Boliden AB on sitoutunut kehittämään toimintaansa kohti fossiilisista polttoaineista vapaata tulevaisuutta. Uusiutuvalla energialla on iso merkitys vähennettäessä riippuvuutta fossiilisilla polttoaineilla tuotetusta energiasta.

Opinnäytetyön aihe muodostui yrityksen kiinnostuksesta sähköportfolion päivittämiseen uusiutuvien energiamuotojen osalta. Opinnäytetyön tavoitteena oli kerätä aineistoa ja luoda kehitysideoita uusiutuvien energiamuotojen käytön lisäämiseksi Boliden Kokkolan sulatolla. Boliden Bergsöen sulatolle Ruotsiin on päätetty asentaa aurinkosähköjärjestelmä tuottamaan puhdasta energiaa sulaton omaan käyttöön. Opinnäytetyön toimeksiantajan toiveena oli selvittää olosuhteet aurinkosähkön tuotannolle Boliden Kokkolan sulatolla. Aurinkoenergian tuotantopotentiaalin selvittämisen lisäksi tavoitteena oli tarkastella mahdollisuuksia hankkia uusiutuvilla energiamuodoilla tuotettua sähköä sähkömarkkinoilta.

Opinnäytetyö rajattiin käsittelemään uusiutuvan energian tuotantoa sähköenergian osalta, sillä BKO:n sähkönkulutus on suurta, mutta lämpöenergian suhteen se on omavarainen. Uusiutuvista energiantuotantomuodoista työssä keskityttiin tuuli- ja aurinkovoimaan. Opinnäytetyössä ei pyritty kehittämään varsinaisen sinkintuotantoprosessin vaiheita.

## 1.3 Tutkimusasetelma

Opinnäytetyö on tutkimusotteeltaan kehittämistutkimus, jonka toteutukseen hyödynnettiin kvalitatiivisia tutkimusmenetelmiä. Opinnäytetyön tuloksissa on havaittavissa laadulliselle tutkimukselle tyypillisiä piirteitä, kuten avoimia vastauksia, eikä niinkään yksittäisiä numeraalisia tuloksia. Opinnäytetyössä käytetyt tutkimusaineiston keruumenetelmät ovat myös tyypillisiä kvalitatiivisia menetelmiä.

Kvalitatiivisia eli laadullisia tutkimusmenetelmiä ovat haastattelut, havainnointi sekä kirjallisten lähteiden ja dokumenttien analysointi. (Tutkimus ja kehittäminen 2018.)

Opinnäytetyön aineistoa kerättiin toteuttamalla asiantuntija haastatteluja. Työssä haastateltiin Bolidenin henkilöstöä sekä Bolidenin sähkönhankintapalveluista vastaavan Gasum Oy:n asiantuntijoita. Haastattelut toteutettiin avoimina



keskusteluina, tavoitteena saada haastateltavien mielipiteet ja näkökulmat esille takertumatta liikaa yksityiskohtiin. Tietoperustaa kerättiin kirjallisista ja sähköisistä lähteistä. Aineistoa tietoperustaan saatiin myös Boliden Kokkolan ja Gasum Oy:n omista tietokannoista.

Työn aikana syntyneiden kehitysideoiden toteutusta ja kannattavuutta analysoitiin hyödyntämällä SWOT-analyysiä (Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats Analysis). SWOT-analyysillä käytiin läpi kehitysideoiden vahvuudet, mahdollisuudet, heikkoudet ja uhat tarkoituksena saada kokonaisvaltainen käsitys kehitysideoista.

SWOT-analyysin avulla voidaan välttää oletusten ja ennakkoluulojen vaikutus tuloksien kannattavuuden arvioinnissa. (Strength, Weakness, Opportunity, and Threat (SWOT) Analysis 2019.)

#### 1.4 Boliden Kokkola Oy

Boliden Kokkola Oy on osa ruotsalaisen metallialalla toimivan Boliden AB:n konsernia. Boliden AB on erikoistunut kaivostuotantoon, sulattotoimintaan, malminetsintään ja metallien uusiokäyttöön. Tuotantolaitoksia Bolidenillä on Ruotsissa, Norjassa, Suomessa ja Irlannissa. Päätuotteita yhtiöllä ovat sinkki, nikkeli, lyijy, kupari, kulta, hopea sekä platinaryhmän metallit. Näiden lisäksi Boliden tuottaa myös rikkihappoa. Pääkonttori sijaitsee Tukholmassa, ja konsernin osakkeet ovat Tukholman ja Toronton pörssissä. (Boliden -A world-class metals company n.d.)

Boliden Kokkola Oy on perustettu vuonna 1969, ja se on Euroopan toiseksi suurin sinkkitehdas. Sinkkitehtaan tuotantokapasiteetti on 315 000 tonnia sinkkiä vuodessa. Valmistuksessa on yli 40 erilaista sinkkituotetta asiakkaiden tarpeiden mukaan. Kokkolassa tuotetaan myös rikkihappoa (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Rikkihappoa tuotettiin vuonna 2016 yhteensä 315 258 tonnia. Työntekijöitä Kokkolassa on noin 550 henkilöä. (Euroopan toiseksi suurin sinkkitehdas n.d.)

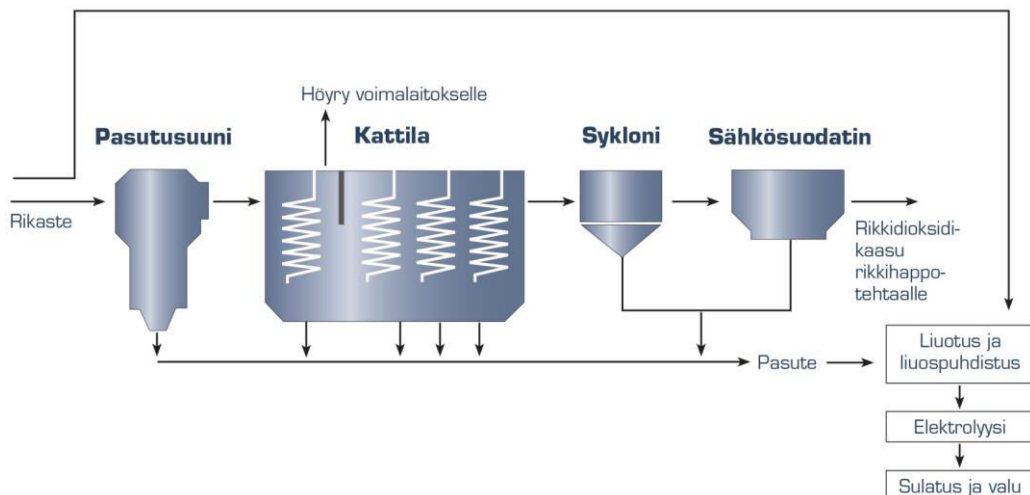
## 2 Boliden Kokkolan tuotantoprosessi

### 2.1 Sinkin tuotantoprosessi

Boliden Kokkolan sinkin tuotantoprosessi koostuu viidestä päävaiheesta: pasutus, liuotus, liuospuhdistus, elektrolyysi ja valu. Sinkin tuotannon pääraaka-aineena toimivat sulfidiset sinkkirikasteet. Tehdas käyttää suurimmaksi osaksi omilta kaivoksilta tulevaa sinkkirikastetta, mutta rikasteita hankitaan myös muilta yrityksiltä. Sinkintuotannon lisäksi KIP:n alueella toimii Boliden Kokkolan rikkihappotehdas, joka toimii yhteydessä sinkin tuotantoprosessin kanssa. (Rikasteesta metalliksi 2019.)

#### 2.1.1 Pasutus

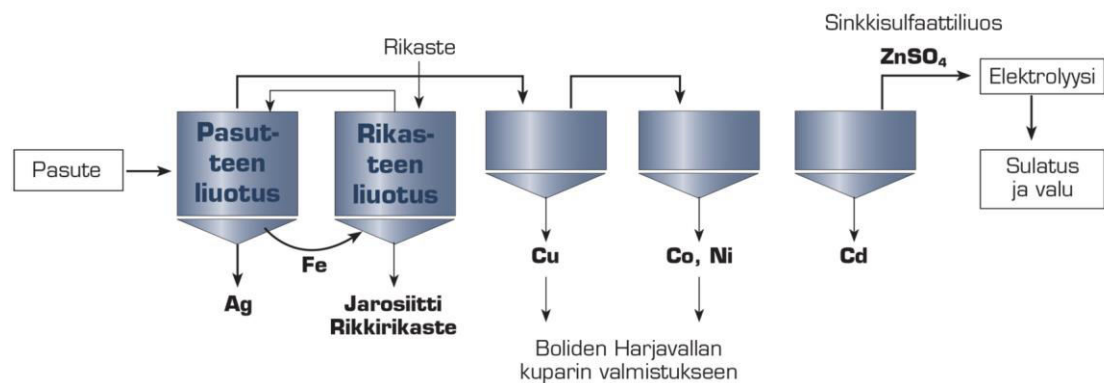
Sinkinvalmistuksen ensimmäinen vaihe sulatolla on pasutus. Pasutuksessa sinkkirikaste poltetaan pasutusuunissa 950 °C:n lämpötilassa. Polttamalla rikasteesta saadaan paremmin liukenevaa sinkkioksidia eli pasutetta. Polttoprosessin sivutuotteena syntyvä rikkidioksidipitoinen kaasu johdetaan pasutusuunista jätelämpökattilaan, jossa kuumasta kaasusta talteen saatava lämpöenergia johdetaan höyrynä Kokkola Powerin voimalaitokselle. Rikkidioksidi johdetaan syklonin ja sähkösuodattimen läpi Bolidenin rikkihappotehtaalle jatkojalostusta varten (ks. kuvio 1). (Rikasteesta metalliksi 2019.)



Kuvio 1. Pasutusprosessi (Rikasteesta metalliksi 2019.)

### 2.1.2 Liutus ja liuospuhdistus

Liutuksessa pasutuksesta saapuva sinkkipitoinen pasute ja rikaste liuotetaan puhdistamalla rikkihappoliuokseen ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Rikkihappoliuosta saapuu liuotukseen elektrolyysistä niin sanottuna paluuhappona. Liutuksessa ylimääräiset hopea (Ag) ja rauta (Fe) saostetaan liuoksesta. Liutuksen tuloksena saadaan sinkkisulfaattiliuosta ( $\text{ZnSO}_4$ ) eli raakaliuosta. Raakaliuos jatkaa matkaa liuospuhdistukseen, jossa siitä poistetaan epäpuhtauksia. Liuoksesta saostetaan kolmessa peräkkäisessä vaiheessa pois kuparia (Cu), kobolttia (Co), nikkeliä (Ni) ja kadmiumia (Cd). Puhdistuksen jälkeen sinkkisulfaattiliuos on valmista pumpattavaksi seuraavalle osastolle elektrolyysiin. Puhdistuksessa erotetut kupari (Cu), koboltti (Co) ja nikkeli (Ni) kuljetetaan Bolidenin kuparitehtaalle Harjavaltaan. (Rikasteesta metalliksi 2019.) Kuviossa 2 on puhdistamon prosessikuvaus vaiheittain.



Kuvio 2. Liutus ja liuospuhdistus (Rikasteesta metalliksi 2019.)

### 2.1.3 Elektrolyysi

Elektrolyysissä sinkki saostetaan elektrolyyttialtaissa alumiinikatodilevyille korkean sähkövirran avulla (ks. kuvio 3). Elektrolyysi on jaettu neljään virtapiiriin, joissa jokaisessa on oma tasasuuntaaja. Tasasuuntaajilla syötetään elektrolyysialtaille 40 kiloampeerin tasasähkövirta. Puhdistamolta pumpattava sinkkisulfaattiliuos jäähdytetään jäähdytystorneissa ja pumpataan elektrolyysin kylmäsäiliöihin. Kylmäsäiliöistä sinkkisulfaattiliuos pumpataan elektrolyyttialtaille. Elektrolyyttialtailla

liuoksessa oleva sinkki tarttuu sähkövirran avulla katodilevyihin. Altaissa olevat katodilevyt nostetaan ylös ja vaihdetaan uusiin noin 35 tunnin välein. Sinkki irrotetaan katodeista automaattisilla irrotuskoneilla. Niputetut sinkkilevyt kuljetetaan välivarastoon odottamaan sulatusta valimolla. Elektrolyysissä sinkistä köyhtynyttä paluuhappoa pumpataan takaisin puhdistamolle uutta rikastamista varten. (Rikasteesta metalliksi 2019.)



Kuvio 3. Elektrolyysiprosessi (Rikasteesta metalliksi 2019.)

#### 2.1.4 Valu

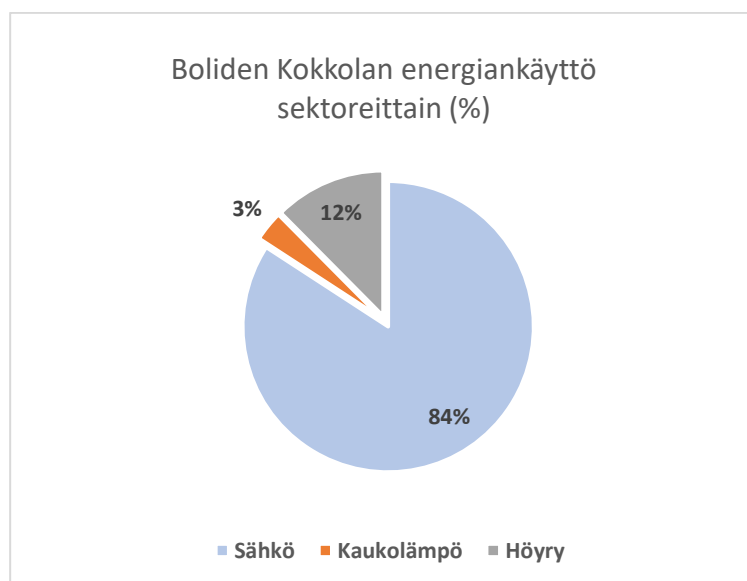
Valimossa elektrolyysiltä tulleet sinkkilevyt sulatetaan ja valetaan asiakkaan tilaamiksi lopputuotteiksi. Sinkistä valetaan joko puhtaita sinkkiharkkoja tai seostetaan seosuuneissa erilaisia seossinkkiharkkoja. Yleisiä tuotteita ovat 25 kg:n harkot ja 1 – 2 tonnin puhtaat jumboharkot. Valimolla tuotetaan myös sinkkipulveria. (Rikasteesta metalliksi 2019.)

#### 2.1.5 Rikkihapon tuotanto

Pasutolta johdettu rikkidioksidikaasu muunnetaan rikkihappotehtaalla konvertterissa rikkiatrioksidikaasuksi. Konverttereilta saatu rikkiatrioksidikaasu jäädytetään ja imeytetään imetystorneissa veteen. Veteen imeytetystä rikkiatrioksidikaasusta syntyy rikkihappoa. Rikkihapon tuotantoprosessissa syntyy paljon lämpöenergiaa. Prosessissa syntynyttä lämpöenergiaa otetaan talteen lämmönvaihtimilla ja hyödynnetään tehdasalueen sekä Kokkolan kaupungin kaukolämpöverkossa. (Rikasteesta metalliksi 2019.)

## 2.2 Energiankulutus

Boliden Kokkolan energiankulutuksesta suurin osa muodostuu sähköenergiasta (ks. kuvio 4). Sähköenergian kulutus vuonna 2015 oli 1 278 439 MWh. Sinkintuotannon energiaintensiivisin vaihe on elektrolyysi. Elektrolyysin toimiessa täydellä tuotantoteholla on sen osuus noin 85 % sulaton sähkökulutuksesta. Yhden sinkkitonnin valmistukseen kuluu noin 4 MWh sähköenergiaa. Vuonna 2015 lämpöenergiaa kului höyrynä 188 817 MWh, ja kaukolämmityksen energiankulutus oli 51 362 MWh. Lämpöenergian osalta tehdas on omavarainen. Tuotantoprosessin sivutuotteena syntyvästä lämpöenergiasta tuotettiin yhteistyössä Kokkola Powerin voimalaitoksen kanssa vuonna 2015 höyryä 348 823 MWh ja kaukolämpöä 110 128 MWh. (Boliden Kokkola. Yhteiskuntavastuun raportti 2015, 23.)



Kuvio 4. Boliden Kokkolan energiankulutus (Boliden Kokkola. Yhteiskuntavastuun raportti 2015, 23.)

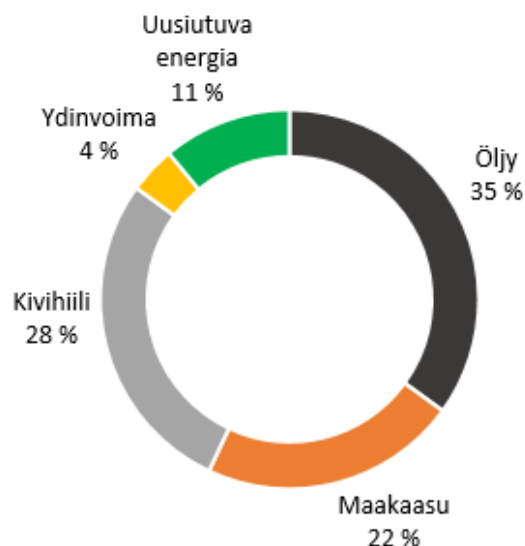
Boliden Kokkolan vuonna 2017 hankkimasta sähköstä tuotettiin uusiutuvalla energialla 21 %, ydinvoimalla 40 % ja fossiilisilla polttoaineilla 39 %.

Sähköntuotannon alkuperäjakauma on laskettu sähkönmyyjien ilmoittaman sähkön alkuperäjakauman mukaan. (Lehtimäki 2019.)

### 3 Uusiutuva energia

#### 3.1 Uusiutuva energiantuotanto globaalisti

Uusiutuvaa energiaa voidaan tuottaa hyödyntämällä tuulta, auringon säteilyä, vesivoimaa, geotermistä energiaa, ilmalämpöpumppuja ja bioenergiaa. Uusiutuvaan energiantuotantoon panostaminen on kasvanut lähivuosina huomattavasti. Valtioiden hallitukset ovat useissa maissa asettaneet tavoitteita uusiutuvan energiantuotannon lisäämiseksi. Varsinkin uusiutuvalla energialla tuotetun sähkön osalta kasvu on ollut huomattavaa, johtuen pääosin siitä, että tuulivoimalla ja aurinkopaneeleilla tuotetun sähkön tuotantohinnat ovat laskeneet. Vuonna 2017 uusiutuvaan sähköntuotantoon investoitiin kolme kertaa enemmän rahaa kuin fossiilisiin polttoaineisiin perustuvaan sähköntuotantoon. Suurista panostuksista huolimatta uusiutuvilla energiamuodoilla katettiin vuonna 2017 vasta noin 26,5 % maapallon sähkön kokonaiskulutuksesta ja 11 % energian kokonaiskulutuksesta. Kuvio 5 havaitaan öljyn ja kivihiilen olevan edelleen ylivoimaisesti käytetyimmät energianlähteet maailmalla. (Renewable energy policies in a time of transition 2018, 17–18; Alm 2018, 33.)

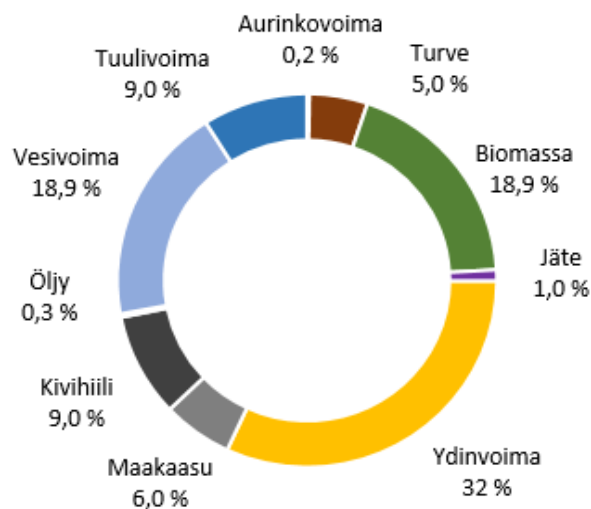


Kuvio 5. Maailman kokonaisenergian kulutus 2017 (Alm 2018, 33.)

### 3.1.1 Uusiutuva energia Suomessa

Vuonna 2017 Suomen energian kokonaiskulutuksesta (374,7 TWh) uusiutuvilla energianlähteillä tuotettiin 36 %. Ylivoimaisesti merkittävin kotimainen uusiutuvan energianlähde on bioenergia. Bioenergiaksi kutsutaan energiaa joka on peräisin biomassasta. Biomassaksi lasketaan kaikki kasvipohjaiset ainekset kuten puuperäiset polttoaineet, pelloilla viljeltävät kasvit ja yhdyskuntien biojätteet. Vuonna 2017 puuperäisillä raaka-aineilla katettiin 74 % Suomen uusiutuvan energian tuotannosta. Seuraavaksi suurimmat uusiutuvan energian tuottajat olivat vesivoima 11 % ja lämpöpumput 5 %. (Alm 2018, 9, 36, 43 – 44.)

Suomessa tuotetusta sähköenergiasta lähes 80 % perustui CO<sub>2</sub>-vapaaseen tuotantoon. Fossiilisten polttoaineiden ja turpeen osuus sähköntuotannosta oli noin 20 %. (Energiavuosi 2018 – Sähkö.) Kuvio 6 näyttää Suomen sähköntuotannon kokonaisjakauma vuonna 2018.



Kuvio 6. Suomen sähköntuotanto energialähteittäin 2018 (Energiavuosi – Sähkö 2018.)

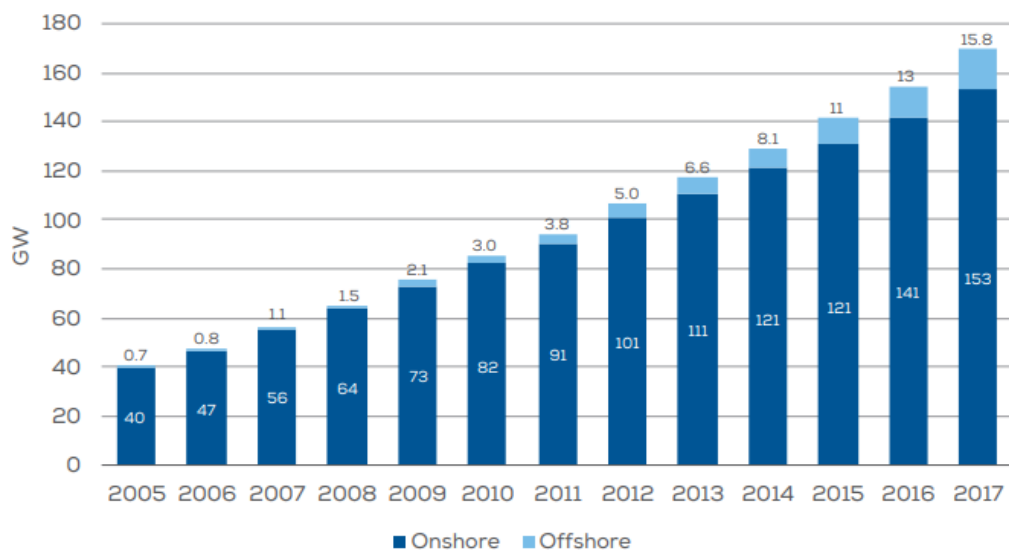
Uusiutuvien energialähteiden etuja ovat niiden vähäiset ympäristövaikutukset ja oikein käytettynä polttoaineiden uusiutuvuus. Uusiutuvilla energiamuodoilla tuotettu energia katsotaan hiilineutraaliksi, eli uusiutuvan energiantuotannon CO<sub>2</sub>-päästöt ovat 0 g/kWh. Usein myös tuotannon aikaiset polttoainekustannukset, varsinkin ei

polttoon perustuvien tuotantomuotojen osalta ovat vähäisiä, verrattaessa perinteistä polttotekniikkaa hyödyntäviin voimalaitoksiin. Esimerkiksi aurinko- ja tuulivoiman osalta polttoainekustannuksia ei ole ollenkaan. Alkuinvestoinnin jälkeen aurinko- tai tuulivoimalan käytön aikaiset kustannukset muodostuvat lähes ainoastaan huoltokustannuksista. (Partanen & Suokko 2017, 326 – 331.)

### 3.1.2 Tuulivoima

Tuulivoimatuotanto on kasvanut maailmalla tasaiseen tahtiin 2000-luvun aikana. Vuonna 2017 uutta tuulivoiman tuotantokapasiteettia asennettiin Euroopassa 15,6 GW, mikä kasvatti Euroopan tuulivoimakapasiteetin 168,7 GW:iin. Suomessa tuulivoimaan investointiin 2017 lähes 700 miljoonaa euroa ja uusia voimaloita rakennettiin vuoden aikana nimellisteholtaan yhteensä 516 MW. Rakennetut voimalat kasvattivat Suomen tuulituotantokapasiteetin 2044 MW:iin. Kuviosta 7 nähdään tuulivoimakapasiteetin tasainen kasvu Euroopassa. (Alm 2018, 79; Wind in Power 2017, 7, 15.)

Cumulative installations onshore and offshore in the EU. Total: 168.7 GW



Source: WindEurope

Kuvio 7. Maatuulivoimaloiden (onshore) ja merituulivoimaloiden (offshore) tuotantokapasiteetin kasvu (GW) Euroopassa (Wind in Power 2017, 20.)

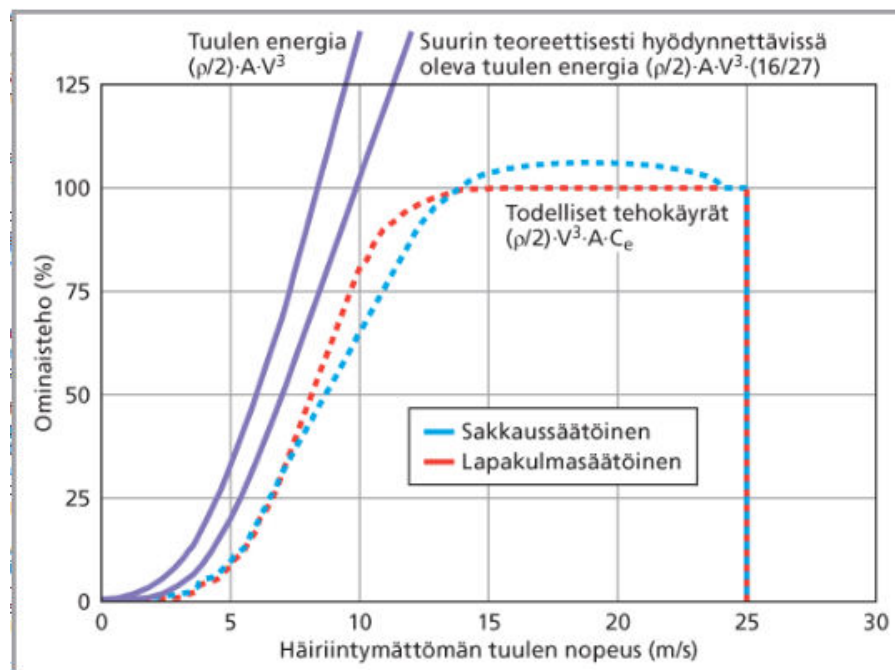


## Tuulen energia

Tuulivoima perustuu tuulen liike-energiaan ja sen muuntamiseen tuuliturbiinin avulla sähköksi. Tuuliturbiinilla tuulen liike-energiasta saadaan hyödynnettyä vain osa.

Betzin lain mukaan roottorin lapojen pyyhkäisy-pinta-alan läpi kulkevasta tuulen liike-energiasta saadaan ideaalisesti hyödynnettyä maksimissaan 59,3 %. Tällöin turbiinin lapojen ja ilman välillä ei olisi ollenkaan kitkaa eikä turbiinin voimansiirto ja generaattori tuottaisi ollenkaan häviöitä. Todellisuudessa turbiinin ja generaattorin toiminnan aikana syntyvistä häviöistä johtuen jo 40 %;n kokonaishyötysuhde on todella korkea. (Korpela 2016, 36 – 38, 86 – 88.)

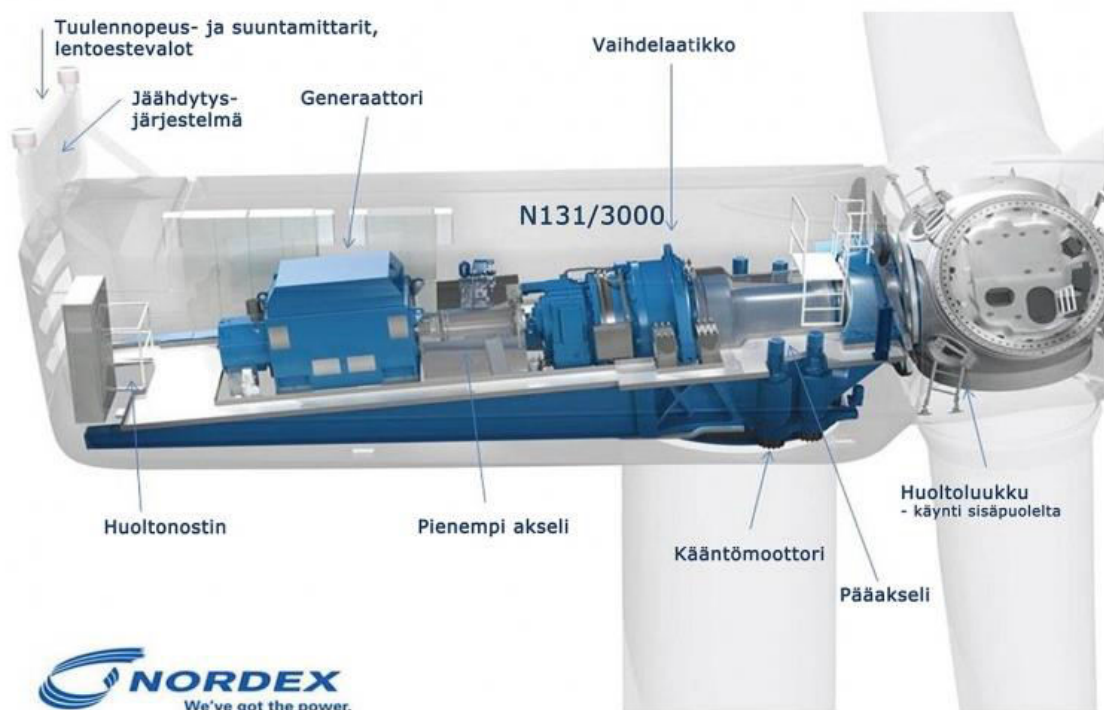
Tuulivoimalan maksimitehoon vaikuttavat tuulen nopeus ( $V$ ), lapojen pyyhkäisy-pinta-ala ( $A$ ), voimalan tehokerroin ( $C_p$ ) sekä ilman tiheys ( $\rho$ ). Tehokerroin on voimalatyypistä riippuva arvo. Teoreettista Betzin lain mukaista voimalan maksimitehoa laskiessa voimalan tehokerroin  $C_p$  olisi 0,593. (Mitä on tuulivoima? N.d.) Kuvio 8 nähdään tuulivoimalan Betzin lain mukainen teoreettinen tehokäyrä verrattuna todellisiin tehokäyriin.



Kuvio 8. Tuulivoimalan teoreettinen maksimiteho sekä todelliset sakkauks- ja lapakulmasäätöisten voimaloiden tehokäyrät (Mitä on tuulivoima? N.d.)

## Tuuliturbiinit

Yksittäinen tuuliturbiini eli tuulivoimala koostuu yleisesti kolmilapaisesta roottorista, tornista ja konehuoneesta. Konehuoneessa sijaitsevat voimansiirtolaitteisto, sähköä tuottava generaattori ja mittauslaitteistot (ks. kuvio 9). Tuulen liike-energia saa tuuliturbiinin roottorin lavat pyörimään. Lapojen pyörimisenergia siirretään roottorin akselia pitkin vaihdelaatikolle, jossa vaihdelaatikko muuntaa roottorin hitaan pyörimisnopeuden generaattorille sopivaksi. Nykyään useat tuuliturbiinit toimivat ilman erillistä vaihdelaatikkoa. Suoravetoiset tuuliturbiinit pyörittävät generaattoria samalla nopeudella roottorin kanssa. Suoravetoinen tuuliturbiini vaatii toimiakseen hitaille pyörimisnopeuksille suunnitellun generaattorin. Vaihdelaatikollisten tuuliturbiinien etuna on edullisempi hinta, ja suoravetoinen tekniikka taas lisää turbiinin käytön aikaista luotettavuutta. (Korpela 2016, 49 – 51.)



Kuvio 9. Tuuliturbiinin konehuone (Tuulivoimalaloiden rakenne n.d.)

Yleisimmät tuulivoimalat vaativat vähintään tuulen nopeuden 3,0 m/s käynnistyäkseen. Tuulen nopeuden kasvaessa yli 20 m:iin/s tuulivoimalan sähköntuotanto ajetaan alas, tarkoituksena välttää voimalan vaurioituminen.

Vaikkakin tuulivoimaloiden teho kasvaa tuulen nopeuden myötä, saavuttavat tuulivoimalat nimellistehonsa yleensä tuulen nopeudella 10 – 13 m/s. Voimalan tehoa pystyttäisiin kasvattamaan kovemmillaakin tuulen nopeuksilla, mutta siitä aiheutuvien kasvavien kustannuksien sekä suurien tuulen nopeuksien harvinaisuuden vuoksi tämä ei olisi järkevää. Tuulivoimala vähentää yli 13 m/s tuulen nopeuksilla roottorin lapoihin kohdistuvaa rasiitusta säätämällä turbiinin lapakulmia. (Korpela 2016, 86 – 88.)

Tuulivoimalalle ominainen piirre on tuotannon ajallinen vaihtelu. Tuulivoimaloiden huipunkäyttöajat jäävätkin useasti varsin alhaisiksi johtuen sääolosuhteiden vaihtelusta ja turbiinin vikaantumisista. Huipunkäyttöajalla tarkoitetaan sitä tuntimäärää, jolla voimala toimii nimellistehollaan tuottaakseen vuotuisen energian tuotantonsa. Hyvin toimineen tuulivoimalan huipunkäyttöaika on noin 2400 tuntia vuodessa. Vertailun vuoksi mainittakoon ydinvoimaloiden huipunkäyttöajoiksi Suomessa yli 8000 tuntia. (Mts. 86.) Huipunkäyttöaika saadaan laskettua yhtälöllä (1).

$$\text{Huipunkäyttöaika} = \frac{\text{Voimalan vuotuinen energiantuotanto } Wh}{\text{Voimalan nimellisteho } W} \quad (1)$$

### **Tuuliolosuhteet Suomessa**

Keskimääräinen tuulen vuotuinen nopeus Suomessa on noin 9 – 9,5 m/s. Vastaavasti Etelä-Euroopassa tuulen nopeudet ovat keskimäärin 7 – 8,5 m/s. Suomen tuuliolosuhteisiin vaikuttavat paljon Atlantilta kulkeutuvat matalapaineet. Matalapaineista johtuen tuulen nopeudet kasvavat lähestyttäessä Atlantin merialueita. Esimerkiksi Norjan rannikolla ja Brittein saarilla tuulen nopeudet ovat noin 10 – 12 m/s. Suomen sisäiset tuuliolosuhteet vaihtelevat verrattaessa rannikkoalueita ja sisämaata. Rannikkoalueille mitatut tuulen vuosikohtaiset keskinopeudet ovat huomattavasti suurempia kuin sisämaassa. Rannikolla tuulten nopeudet vaihtelevat selkeästi talvi- ja kesäkuukausien välillä, mutta sisämaassa tuuliolosuhteet pysyvät melko tasaisina ympäri vuoden. Yleisesti ottaen tuulen nopeudet ovat huomattavasti suurempia talvikuukausien aikana ja näin suotuisampia

tuulivoiman tuotannon kannalta. Avomerellä tuuliolosuhteet ovat tuulen keskinopeuksien kannalta paremmat kuin rannikolla ja sisämaassa. (Tuulisuus Suomessa n.d.)

### **Tuulivoiman tulevaisuus Suomessa**

Vuoden 2018 loppuun mennessä Suomessa oli tuulituotantokapasiteettia yhteensä 2044 MW. Tuulivoimalla tuotettiin kyseisen vuoden aikana 5,8 TWh sähköä eli noin 7 % Suomen sähkönkulutuksesta. Suomessa tuulivoimatuotannolle on asetettu tavoitteeksi 9 TWh sähköntuotanto vuoteen 2025 mennessä. Tuulivoimayhdistyksen mukaan Suomessa olisi potentiaalia 30 TWh tuotantoon vuoteen 2030 mennessä. 30 TWh tuotanto tarkoittaisi tuulivoimalaitosten yhteenlasketuksi tehoksi noin 8000 MWh tuotantokapasiteettia. (Tuulivoimaennusteita n.d.)

Suomessa tuulivoimatuotannon syöttötariffijärjestelmä päättyi 1.11.2017.

Järjestelmä takasi aikavälillä 2011 – 2017 valmistuneelle uudelle tuulivoimatuotannolle sähkön tuotantohinnan takuun valmistumispäivästä 12 vuodeksi eteenpäin. Tuella varmennettiin tuulivoimalan tuottamasta megawattitunnista 83,5 € korvaus. Esimerkiksi sähkön markkinahinnan ollessa 50 €/MWh maksetaan tuulivoiman tuottajalle lisäksi 33,5€/MWh tuotantotukea sähkön markkinahinnan lisäksi. Tuen tavoitteena oli tukea investointeja uusiutuvan energian tuotantoon ja kasvattaa Suomen sähköntuotannon omavaraisuutta.

Syöttötariffijärjestelmän päättyminen pysäytti tuulivoimaloiden rakentamisen vuodeksi 2018. (Tuet Suomessa n.d.)

Syöttötariffijärjestelmän seuraaja on uusi teknologianeutraali tuotantotukijärjestelmä. Järjestelmä kilpailuttaa vuosien 2018–2020 aikana 1,4 TWh tuotannon edestä tukia aurinkoenergian, tuulivoiman, biokaasun, biomassan ja aaltovoiman tuottajille. (Preemiojärjestelmä n.d.)

Välivuoden jälkeen tuulivoimaloiden rakentaminen on lähtenyt uudelleen käyntiin. Tuulivoimateknologian kehittyminen on laskenut tuulivoimaloilla tuotetun sähkön tuotantokustannuksia ja näin mahdollistanut tuulivoimaan investoinnit markkinaehtoisesti ilman erillisiä tukia. Uusia ilman tukia rakennettavia tuulivoimainvestointeja on julkaistu helmikuuhun 2019 mennessä jo kymmenen

kappaletta yhteensä 444,4 MW edestä. Edellä mainittujen hankkeiden rakentaminen on jo aloitettu. (Hankelista n.d.)

Ilman erillisiä tukia rakennettavia hankkeita ovat mahdollistaneet tuotantokustannuksien laskun lisäksi sähköntuottajan ja sähkönkuluttajan väliset pitkäaikaiset sähkönostosopimukset (PPA). PPA-sopimus mahdollistaa tuulivoimahankkeeseen investoivalle takuun tasaisesta tulosta useankin vuoden päähän. Sähkönkuluttajalle sopimus mahdollistaa puhtaan ja uusiutuvan sähkön saannin tietyllä hintatasolla pitkäaikaisesti, parantaen näin sähkönoston kulujen ennakoitavuutta. PPA-sopimukset voivat olla jopa 25 vuotta pitkiä. (Pitkäaikainen sähkönostosopimus (PPA) n.d.)

Laskeneiden tuulivoiman tuotantokustannuksien ja markkinaehtoisten investointien kasvusta huolimatta nykyiset tuulivoimayhdistyksen 30 TWh tuulivoimatavoitteet vuoteen 2030 mennessä kuulostavat varsin suurilta. Tuulivoimayhdistyksen tavoitteisiin pääseminen vaatisi asennemuutoksia tuulivoimarakentamisen suhteen. Tuulivoiman kasvamista tähän mennessä on hidastanut vahvasti kaavoitettujen tuulivoimapuistojen läheisyydessä asuvien ihmisten vastustus eli niin sanottu nimby-ilmiö. Ilmiöllä tarkoitetaan uusien energialähteiden kohtaamaa vastustusta, jossa suunnitteilla olevan tuotantolaitoksen alueella asuvat ihmiset vastustavat omalle takapihalle tai lähialueelle rakennettavaa kohdetta. (Partanen & Suokko 2017, 342; Tuulivoimaennusteita n.d.)

### 3.1.3 Aurinkoenergia

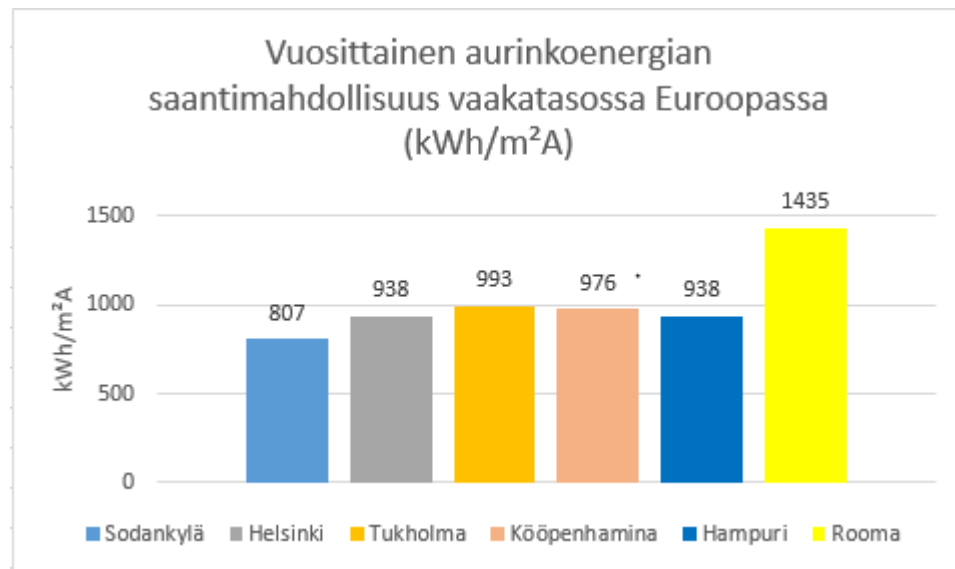
Aurinkoenergian tuotanto on kasvanut maailmalla lähivuosina räjähdysmäisesti. Vuonna 2017 uusiutuvan energiantuotannon investoinnista 57 % oli kohdistettu aurinkoenergiaan. Aurinkoenergian tuotantokapasiteetti nelinkertaistui viimeisten viiden vuoden aikana, kasvattaen aurinkosähkön kokonaistehon 405 000 MW. Lähes neljännes maailman tuotantotehosta sijaitsee Kiinassa. Toiseksi eniten asennettua tehoa on Yhdysvalloissa. Koko maailman energiankulutuksesta aurinkoenergialla katettiin 2017 noin 2 prosenttia. (Alm 2018, 33, 35.)

Auringonsäteilyn teho maapallon ilmakehän ulkopuolelle on noin 1,368 kW neliometriä kohden. Tätä ilmakehän ulkopuolelle kohdistuvaa säteilyä kutsutaan

aurinkovakioksi. Maapallon pinnalle ilmakehän ulkopuolelle kohdistuneesta säteilystä pääsee neliometriä kohden noin 1 kW säteilyteho, johtuen säteilyä suodattavista ja heijastavista ilmakehän epäpuhtauksista, kaasumolekyyleistä ja vesihöyrystä. (Tahkokorpi 2016, 12 – 15.)

### Auringonsäteily Suomessa

Suomessa aurinkoenergian tuotanto-olosuhteet ovat pitkästä talvesta huolimatta varsin hyvät. Parhaat olosuhteet säteilyn kannalta ovat Etelä- ja Länsi-Suomessa. Suomessa keskimääräinen vuotuinen säteilyenergian määrä vaakatasolle on noin 800 – 1000 kWh/m<sup>2</sup>. (Tahkokorpi 2016, 15; Junntila 2015.) Kuvio 10 nähdään Suomeen kohdistuva säteily verrattuna muihin Euroopan kaupunkeihin.



Kuvio 10. Aurinkoenergian vuotuinen potentiaali Euroopassa (Mts. 15.)

Auringon kokonaissäteilyenergian hyödyntämiseen vaikuttavat pinnan kallistuskulma ja ilmansuunta. Esimerkiksi Jyväskylässä keskimääräinen vuotuinen auringon kokonaissäteily on vaakatasolle noin 840 kWh/m<sup>2</sup>. Kohdistettaessa pinta 45° asteen kulmassa etelään, saadaan vuotuiseksi säteilyn määräksi noin 1100 kWh/m<sup>2</sup>. Suomessa suurin osa vuotuisesta säteilyenergiasta saadaan kevään ja syksyn välillä. (Ks. Liite 1 & Liite 2.)

## Aurinkosähkö

Aurinkosähköjärjestelmä koostuu perusrakenteeltaan aurinkopaneeleista, invertteristä sekä mahdollisesta sähkövarastosta eli yleisimmin akustosta tai lämminvesivaraajasta. Aurinkopaneelit muodostuvat useista sarjaan kytketyistä aurinkokennoista. Yleisimpiä ovat yksi- tai monikiteisestä piistä valmistetut kennot. Auringonsäteilyn osuessa paneelin kennoihin, luovuttavat valohiukkaset eli fotonit energiansa kennojen elektrodeille. Kennojen säteilystä virittäytyneet elektrodit aiheuttavat sähkövirran syntymisen kennossa. Aurinkopaneelien teho ilmoitetaan yksikössä Wp (Watt peak). Piikkiwatti kertoo aurinkopaneelin tuottaman tehon standarditestiolosuhteessa (STC). Standarditestiolosuhteella tarkoitetaan tilannetta, jossa paneelin kennojen lämpötila on +25 °C ja maanpinnalle kohdistuva säteily on 1000 W/m<sup>2</sup>. STC olosuhteissa ulkoilman lämpötila on noin -5 °C – +5 °C, johtuen säteilyn aiheuttamasta kennon lämpenemisestä. (Tahkokorpi 2016, 136 – 139.)

Aurinkopaneelien tehon tuottoon vaikuttavat paneeliin kohdistuvan säteilyn määrä, paneelin lämpötila sekä kennon koko ja teknologia. Säteilyn määrään vaikuttavat maantieteellisen sijainnin lisäksi paneelien suuntaus, kallistuskulma ja mahdollinen säteilyä heikentävä varjostus. Aurinkopaneelien lämpötilan kasvaessa yli + 25 °C:n alkaa paneelien tuottama teho laskemaan yleisesti noin 0,4 %/1 °C. Vastaavasti teho kasvaa samassa suhteessa paneelin lämpötilan laskiessa. Tästä syystä Suomen olosuhteissa paneelien tuottama sähköteho voi olla nimellistehoansa (Wp) suurempi, tapauksissa jolloin ulkoilman lämpötila on alhainen ja säteilyä on riittävästi saatavilla. (Mts. 140 – 141.)

Aurinkopaneelien hyötysuhde vaihtelee 15 – 20 prosentin välillä. Hyötysuhteella tarkoitetaan sitä osuutta kennoon kohdistuvasta auringon säteilyenergiasta, joka saadaan muutettua sähköksi. (Mts. 142.) Paneelin hyötysuhde saadaan laskettua yhtälöllä 2.

$$\eta_{\text{paneeli}} = W_p \div (A_{\text{paneeli}} \times S_{\text{äteily}_{STC}}) \quad (2)$$

missä

$\eta_{\text{paneeli}}$  = paneelin hyötysuhde

$W_p$  = paneelin nimellisteho (W)

$A_{\text{paneeli}}$  = paneelin pinta-ala (m<sup>2</sup>)

$S_{\text{äteily}_{STC}}$  = auringon säteily standarditestiolosuhteissa 1000 W/m<sup>2</sup>

### **Aurinkosähköjärjestelmän ympäristövaikutukset**

Aurinkopaneelilla tuotettu sähköenergia ei tuota ilmakehään vapautuvia hiilidioksidipäästöjä. Aurinkosähköjärjestelmän energian takaisinmaksuaika (energy payback time) vaihtelee 0,75 – 5 vuoden välillä. Energian takaisinmaksuaika tarkoittaa aikaa joka tuotantolaitoksen tulee olla käytössä, jotta tuotantolaitoksen elinkaarenaikainen valmistuksesta ja ylläpidosta syntyvä energiankulutus on katettu. Aurinkosähköjärjestelmien käyttö iäksi luvataan 20 – 30 vuotta. (Müller 2015.)

Aurinkopaneelien yhtenä haasteena ympäristön kannalta ovat paneelien raaka-aineina käytettävät arvo- ja harvinaisia metalleita sisältävät materiaalit kuten hopea, indium, telluuri ja galium. Edellämainittujen metallien saatavuus voi tulevaisuudessa heikentyä johtuen luonnonvarojen rajallisista resursseista sekä lisäntyneestä kysynnästä. Aurinkopaneelien valmistuksessa käytetään tulevaisuudessa enemmän sähkö- ja elektroniikkaromun kierrätyksestä saatuja raaka-aineita. (Müller 2015.)

### **On-grid- ja off-grid-järjestelmät**

Aurinkosähköjärjestelmä voi toimia itsenäisesti tai se voidaan liittää sähköverkkoon. Verkkoon kytketty on-grid järjestelmä kytketään sähköverkon vaatimuksien mukaisella invertterillä eli verkkovaihtosuuntaajalla rakennuksen sähköpääkeskukseen. Invertterillä muunnetaan aurinkopaneelilta tuleva 12 – 48 VDC:n tasasähkö sähköverkon laatuvaatimuksen mukaiseksi 230 VAC:n vaihtosähköksi. Sähköverkkoon kytketty järjestelmä syöttää tuotetun sähköenergian



jakeluverkkoon, jos tuotetulle sähkölle ei ole kyseisellä hetkellä omaa käyttöä. Myöskin verkkoon kytketyn on-grid järjestelmän yhteyteen on mahdollista kytkeä akkuvarasto, mutta nykyisillä akustoilla ei verkkoon kytketyn järjestelmän yhteydessä saavuteta merkittäviä lisä hyötyjä. (Lehto, Liuksiala, Lähde, Olenius, Orrberg & Ylinen 2017, 43 –45, 54 – 55.)

Itsenäisissä verkosta irrallaan olevissa off-grid järjestelmissä aurinkopaneeleilla tuotettu 12 – 48 VDC:n tasasähkö johdetaan lataussäätimen kautta akustolle. Lataussäädin huolehtii paneelien irtikytkennästä akkujen tullessa täyteen ja estää akuston vikaantumisen ylilatautumisen johdosta. Lataussäädin estää samoin akkujen syväpurkautumisen irrottamalla kuorman akkujen tyhjentyessä. Akustolta saatava tasasähkö muutetaan tarvittaessa invertterillä 230 VAC:n vaihtosähköksi. Invertterillä varustelluissa off-grid järjestelmissä on lataussäätimen toiminnot mahdollista suorittaa invertterillä. (Lehto ym. 2017, 43 – 45, 54 – 55.)

### **Aurinkosähkön varastointi**

Aurinkosähköjärjestelmien energiantuotanto on tyypillisesti suurinta keskipäivällä. Sähkön varastoinnilla pyritään siirtämään tuotettu ylijäämäsähkö käytettäväksi illalla, jolloin oma sähkönkulutus on tavallisesti suurempaa. Itsenäisissä off-grid järjestelmissä varastointi on välttämättömyys, jos sähköä halutaan kuluttaa auringon laskettua. (Tahkokorpi 2016, 152.)

Aurinkosähköjärjestelmän sähköenergian varastointiin asuinrakennuksissa ja kiinteistöissä sopivat parhaiten akkujärjestelmät. Suljetut lyijyakut ovat yleisiä johtuen vähäisestä huollontarpeesta, kohtuullisesta hinnasta ja luotettavuudesta. Toinen yleistymässä oleva akkutyyppi on litiumakut. Litiumakkujen etuna lyijyakkuihin verrattuna on korkea teho ja kevyt rakenne. Litiumakkuteknologia on kuitenkin suhteellisen uutta, ja niiden käyttäistä, turvallisuudesta ja toimintavarmuudesta on pitkällä aikavälillä vielä suhteellisen vähän tietoa. (Mts. 154 – 160.)

### Aurinkosähköjärjestelmän energiantuotanto

Aurinkosähköjärjestelmän tuotantoa arvioidessa voidaan huipunkäyttöaikana Suomessa käyttää 1000 tuntia vuodessa. Aurinkosähköjärjestelmä tuottaa siis karkeasti 1 kWh:n verran sähköä yhtä piikkiwattia kohden. (Tahkokorpi 2016, 168.)

Tapauksissa jolloin paneelien tyypistä ei ole tietoa, voidaan energiantuotanto pinta-alaa kohden arvioida hyödyntämällä paneelien ja aurinkosähköjärjestelmän hyötysuhdetta. Aurinkopaneelien hyötysuhde vaihtelee mallista riippuen 15 – 20 % välillä. Järjestelmähyötysuhde muodostuu järjestelmän muista osista kuten kaapeloinnista, vaihtosuuntaajasta ja akkujärjestelmästä. Järjestelmähyötysuhde on yleensä noin 80 – 95 %. (Mts. 142, 168 – 169.) Arvio aurinkosähköjärjestelmän vuotuisesta tuotannosta pinta-alaa kohden voidaan laskea yhtälöllä 3.

$$E = \eta_{\text{Paneeli}} \times \eta_{\text{Järjestelmä}} \times S \times A \quad (3)$$

missä  $E$  = tuotettu sähköenergia

$\eta_{\text{Paneeli}}$  = aurinkopaneelin hyötysuhde

$\eta_{\text{Järjestelmä}}$  = järjestelmän hyötysuhde

$S$  = kohteen vuotuinen säteily neliömetrille (kWh/m<sup>2</sup>)

$A$  = paneelien pinta-ala (m<sup>2</sup>)

Aurinkosähköjärjestelmien tuotannon arviointiin on olemassa erilaisia työkaluja, kuten esimerkiksi Euroopan unionin Joint Research Centren PVGIS -verkkolaskuri. Verkkolaskurilla voidaan arvioida Euroopan sisällä sijaitsevan aurinkosähköjärjestelmän vuotuinen sähköntuotanto. Laskuri ottaa huomioon paneelien tehon, mahdollisen paneeliston kallistuskulman ja kohteen maantieteellisen sijainnin. PVGIS-laskurilla voidaan myös tarkastella kohteelle arvioidun säteilyenergian määrää kuukausittain. (Tahkokorpi 2018, 168.)

### Järjestelmän mitoitus

Aurinkosähköjärjestelmän mitoituksessa voidaan hyödyntää eri lähtötietoja, kuten kohteen sähköenergian pohjakulutusta, keskimääräistä kuukausikulutusta tai nettonollaenergiamitoitusta. Yleisesti mitoitus olisi järjestelmän kannatavuuden kannalta järkevää toteuttaa niin, että tuotetusta sähköenergiasta suurin osa

kulutettaisiin omassa kohteessa. Kohteen pohjakulutuksen mukaan toteutettavassa mitoituksessa aurinkosähköjärjestelmät jäävät yleensä hyvin pieneksi ja järjestelmän tuotanto tulee kokonaisuudessaan kulutettua omassa kohteessa. Keskimääräisellä kuukausikulutuksella mitoitettaessa järjestelmän koko kasvaa, mutta suurin osa tuotetusta sähköenergiasta kuluu silti kohteessa. Nettonollaenergiamitoituksella pyritään järjestelmä mitoittamaan niin, että se kattaa kohteen vuotuisen sähkön kulutuksen kokonaan. Mitoittaminen näin ei ole kovinkaan viisasta johtuen järjestelmän tehon huomattavasta kasvamisesta. Järjestelmän tehon noustessa lisääntyy yleensä myös verkkoon syötettävän sähkön osuus. Aurinkosähköjärjestelmä voidaan mitoittaa myös käytettävissä olevan asennuspinta-alan tai hankkeen budjetin avulla. (Lehto ym. 2017, 76 – 78.)

### **Järjestelmän kannattavuus**

Aurinkosähköjärjestelmään investointi on kannattavinta kohteessa, jossa sähköenergian kulutusta on kesäaikaan paljon ja suurin osa tuotetusta sähköstä saadaan kulutettua omassa toiminnassa. Aurinkosähkön myyminen sähkömarkkinoille ei ole Suomessa vielä kannattavaa. (Auvinen 2017.)

Verkkoon myydystä sähköenergiasta saadaan maksu ainoastaan sähköenergian osuudesta, kun taas itselle ostettu sähköenergia sisältää lisäksi siirtomaksun ja verot. (Lehto ym. 2017, 76 – 78.)

### **Verotus ja tuet**

Aurinkosähkön tuottaja ei ole velvollinen maksamaan veroa verkkoon siirtämästään sähköenergiasta. Sähköverkkoon siirretystä sähköstä verovelvollinen on sähkön jakelusta vastaava sähköverkkoyhtiö. Aurinkosähkön tuottaja on velvoitettu maksamaan veroa tuottamastaan ja itse kuluttamastaan sähköenergiasta. Vuonna 2015 sähkön valmisteverotusta säätelevää lakia muokattiin helpottamaan sähkön pientuottajien investointien kannattavuutta. Laki muutoksen jälkeen nimellistehoaltaan alle 100 kVA kokoiset tuotantolaitokset tai laitokset jotka tuottavat vuodessa alle 800 000 kWh sähköä ovat vapautettuja sähkön valmisteverotuksesta. (Lehto ym. 2017, 34–35; Alm 2018, 58.)

Uudelle uusiutuvan energian tuotantolaitokselle on hankkeen suunnittelu vaiheessa mahdollista hakea investointitukea Business Finland yhtiöltä.

Aurinkosähköhankkeista on mahdollista saada 1.5.2019 eteenpäin tukea 20 % hankkeen kustannuksista. Sähköntuotannolle tukea voidaan hakea alle 5 MW tuotantolaitokselle, jonka investoinnin arvo on vähintään 10 000 euroa. (Tuettavat-hankkeet n.d.)

Vuonna 2017 energiatukia aurinkosähköhankkeille myönnettiin Business Finlandin kautta 8,6 milj. euron edestä. Tuettujen hankkeiden teho oli yhteensä 31 MWp.

Maatalouden piiriin kuuluvat kohteet voivat hakea rahoitusta aurinkosähköinvestointeihin ELY-keskusten investointitukijärjestelmän kautta.

Vuonna 2017 maatalouden kohteiden aurinkosähköjärjestelmiä tuettiin 4,84 miljoonalla eurolla, hankkeiden yhteen lasketun tehon ollessa 3,73 MWp.

Investointitukea saaneiden hankkeiden hinta on vaihdellut 1 - 0,8 €/Wp. (Alm 2018, 58.)

### **Rahoitusmallit**

Aurinkosähköjärjestelmän hankinta voidaan toteuttaa oman pääoman tai lainarahan lisäksi erilaisilla rahoitusmalleilla kuten: osamaksukauppa, rahoitusleasing, käyttöleasingrahoitus, PPA ja joukkorahoitus. (Auvinen 2015.)

Osamaksukaupassa ja rahoitusleasingissä aurinkosähköjärjestelmä maksetaan myyjälle tai rahoittajalle osissa ennalta sovitun yleensä 8 – 15 vuotisen sopimuskauden aikana. Voimalan omistusoikeus säilyy rahoittajalla joko sopimuskauden loppuun asti tai niin kauan, että ennalta määritetty osuus on maksettu. (Mts.)

Käyttöleasing-mallissa aurinkovoimalan käytöstä maksetaan myyjälle vuokraa ja voimalan omistusoikeus säilyy rahoittajalla. Vuokra maksetaan neljännesvuosittain ennalta määritellyn yleensä jopa 30 vuoden mittaisen sopimuksen ajan.

Käyttöleasing on käytännössä siis aurinkosähköjärjestelmän vuokraamista. (Mts.)

Leasing-mallien heikkoutena on yleensä sopimuksien hallinnoinnista ja rahoituksesta syntyvät kulut, jotka nostavat aurinkovoimalan loppukäyttöhintoja verrattuna esimerkiksi suoraan lainaraan. (Mts.)

Pitkäaikainen aurinkoenergian ostosopimusmalli PPA (Power Purchase agreement) mahdollistaa aurinkosähköjärjestelmän hyödyt ilman vastuuta järjestelmän toiminnasta ja ylläpidosta. PPA-mallissa asiakas sitoutuu ostamaan aurinkovoimalan tuottaman sähköenergian usean, yleensä yli kymmenen vuotta kestäväns sopimuskauden ajan. Aurinkovoimalan alkuinvestoinnista, suunnittelusta ja ylläpidosta huolehtii palvelun tarjoava yritys. (Mts.)

Rakennettujen aurinkosähköjärjestelmien asennushinnat vaihtelevat järjestelmän koon perusteella. Taulukossa 1 keskimääräiset hinnat €/kWp vuodelta 2016. Kaikki taulukoidut järjestelmät ovat verkkoon kytkettyjä on-grid-järjestelmiä. (Auvinen 2017.)

Taulukko 1. Keskimääräiset asennushinnat 2016 (Auvinen 2017.)

Järjestelmän koko (kW)	Kohde	Hinta €/kWp (ALV 0%)
Yli 1000 kW Maa-asennus	Teollisen mittakaavan aurinkovoimalat	1200 – 1000 €/kWp
yli 250 kW Kattoasennus	Teollisuus- ja isot kaupan alan kiinteistöt	1300 – 950 €/kWp
10 – 250 kW Kattoasennus	Toimisto ja kaupparakennukset	1350 – 1050 €/kWp
Alle 10 kW	Omakotitalo, Pienet rakennukset	2000 – 1300 €/kWp

### 3.2 Uusiutuvan energiantuotannon haasteita

Uusiutuvan ei polttoon perustuvan energiantuotannon tavanomaisia ongelmia ovat tuotantotehon vaihtelu ja riippuvuus sääolosuhteista tai vuorokaudenajasta. Tuuli- ja aurinkovoiman hetkelliset tuotantotehon vaihtelut aiheuttavat heittelyä sähkön hinnassa, ja saattavat aiheuttaa ongelmia sähköverkon taajuudelle. Yleisesti ottaen tilanteissa, jolloin tuuli- ja aurinkovoimaa on saatavilla paljon, on sähkön hinta alhainen. Uusiutuvan ja puhtaan energian osuuden lisääntyminen sähköntuotannossa saattaa aiheuttaa ongelmia tilanteissa joissa, sähkönkulutus on

korkealla ja tuuli- tai aurinkovoimaa ei ole saatavilla johtuen tuotannon vaihtelusta. Vastaavasti ongelmia aiheuttavat tilanteet, joissa uusiutuvan energiantuotanto aiheuttaa hetkellistä sähkön ylituotantoa, johtuen sähkön vähäisestä kulutuksesta. (Partanen & Suokko 2017, 326 – 331.)

### 3.2.1 Säättövoima ja uusiutuva energia

Sähköverkon toiminnan kannalta uusiutuvan energian lisääntyminen tarkoittaa siis myös säättövoimana käytettävän tuotantokapasiteetin tarpeen kasvua. Säättövoimalla tarkoitetaan sähköntuotantoa, jolla voidaan reagoida nopeasti sähköverkon kulutuspiikkeihin tai jonkin toisen tuotantolaitoksen sähköntuotannon tippumiseen. Suomessa säättövoimana ovat perinteisesti toimineet nopeasti säädettävissä olevat vesivoimalaitokset. Myöskin naapurimaiden Ruotsin ja Norjan vesivoimalat ovat tärkeässä osassa Suomen sähköverkon säädettävyyden kannalta. (Säättövoima – säädettävää sähköntuotantoa n.d.)

Boliden Kokkola Oy osallistuu sähköverkon toiminnan ylläpitämiseen olemalla osa kantaverkkoyhtiö Fingrid Oy:n häiriöreserviä. Boliden Kokkola Oy:n elektrolyysi osaston tuotannon aikaista 120 megawatin sähkötehoa voidaan tarvittaessa rajoittaa sähköverkon tasapainottamiseksi. Bolidenille maksetaan sähkönkäytön joustamisesta korvaus. Fingrid Oy:n häiriöreserviin kuuluu useita teollisuuden suuria sähkönkäyttäjiä.

Nopeasti kasvavan tuulivoimatuotannon vaikutuksista sähköverkon toimintaan on keskusteltu lähiaikoina paljon. Energiakolmio toteutti vuonna 2014 Suomen tuulivoimayhdistyksen toimeksiannosta selvityksen tuulivoiman vaikutuksista sähkömarkkinoihin ja sähköverkon toimintaan tapauksessa, jossa tuulivoiman tuotanto olisi Suomessa vuonna 2030 15 terawattituntia. Energiakolmion ennusteiden mukaan sähköverkon toimivuuden osalta vuonna 2030 Suomeen mahtuisi 3500 – 5000 megawattia tuulivoimakapasiteettia (Tuulivoimakapasiteetti oli vuonna 2018 Suomessa 2044 MW). Ottaen huomioon mahdollisuudet säättövoimakapasiteetin kasvattamisesta vesivoimalaitosten lisätehon korotuksilla sekä uusien ratkaisujen, kuten kulutusjoustopumppuvoimalaitosten yleistymisellä, voisi tuulivoimakapasiteettia tutkimuksen mukaan olla vielä 700 – 1500 MW enemmän. Selvityksen mukaan tuulivoimatuotannon kasvu 15

terawattituntiin olisi siis hyvinkin mahdollista. Tutkimuksen tuloksia tarkasteltaessa on kuitenkin otettava huomioon, että selvityksen Energiakolmioilta tilasi tuulivoimatuotantoa vahvasti kannattava Suomen tuulivoimayhdistys. (Tuulivoiman markkinavaikutukset 2014, 53 – 54.)

### 3.2.2 Uusiutuvan energian varastointi ja kulutusjousto

Apuna säätövoiman kasvavalle tarpeelle ovat tulevaisuudessa energian varastointi ja kulutusjousto. Energiaa varastoimalla voidaan saada uusiutuvilla tuotettu energia varastoitua hetkillä, jolloin sähkönkulutus yleisesti on vähäistä, ja halpaa uusiutuvilla tuotettua energiaa on saatavilla. Kulutusjoustolla pyritään siirtämään sähkönkulutusta hetkille, jolloin sähköntuotanto on edullista ja sähköä on paljon saatavilla. (Partanen & Suokko 2017, 326 – 331.)

Tunnetuimpia sähköenergian varastointimenetelmiä ovat akkuvarastot. Akkuvarastoiden heikkoutena on kuitenkin niiden suhteellisen matala akkukapasiteetti. Suomen tällä hetkellä suurimmat akkuvarastot ovat kapasiteetiltaan energiayhtiöiden Fortumin 1 MWh ja Helenin 0,6 MWh akustot. Kasvavan tuuli- ja aurinkoenergian tuotannon takia, sähköenergiaa pitäisi kyetä varastoimaan useita megawattitunteja. Tulevaisuudessa Suomessa on tavoitteena hyödyntää sähkövarastona sähköautojen akkukapasiteettia. Suomen valtion on asettanut tavoitteeksi vuoteen 2030 mennessä, että liikenteessä olisi 250 000 sähköautoa. Jos sähköautojen akustot saataisiin toimimaan säätövoimana, mahdollistaisi edellä mainittu määrä sähköajoneuvoja akustoineen 12 500 – 25 000 MWh säätökapasiteetin. Sähköajoneuvojen käyttöön akkuvarastoina on vielä kuitenkin matkaa. (Lampila 2018.)

Sähköautojen huomattava määrällinen kasvu mahdollistaisi myös tilanteen, jossa usean sähköajoneuvon kytkeminen saman aikaisesti lataukseen aiheuttaisi sähköverkon hetkellisen ylikuormittumisen. Kulutusjoustolla eli tässä tapauksessa älykkäällä latauksella voitaisiin sähköautojen lataus ajoittaa sähköverkon toimivuuden kannalta sopivalle hetkelle. (Sähköautot osana energiajärjestelmää 2018.)

Sähköenergian varastointi isommassa mittakaavassa voidaan toteuttaa pumppuvoimalaitoksen avulla. Pumppuvoimalaitoksessa sähköenergia muutetaan potentiaalienergiaksi pumpaamalla vettä korkeammalla sijaitsevaan vesivarastoon. Tarvittaessa varastoitu vesi vapautetaan hallitusti alempana sijaitsevalle turbiinille, joka muuntaa veden potentiaalienergian vesivoiman tavoin sähköksi. Pumppuvoimalaitoksien etuina ovat hyvä hyötysuhde ja mahdollisuus hyödyntää varastoitu energia useita tunteja latauksen jälkeen. Pumppuvoimalaitos on myös nopea käynnistää ja niiden hyötysuhde on yleensä noin 70 – 85 %.

Pumppuvoimalaitos vaatii toimiakseen huomattavan korkeuseron turbiini ja vesivaraston välille, tämän takia Suomessa ei pumppuvoimalaitoksia ole vielä käytössä. Muualla maailmassa pumppuvoimalaitokset sijaitsevat usein vuoristoisella seudulla. Pyhäjärvelle on suunnitteilla rakentaa 2019 toimintansa lopettavaan Euroopan syvimpään kaivokseen pumppuvoimalaitos. Kaivoksessa olisi 1445 metrin syvyytensä ja olemassa olevan infrastruktuurin puolesta potentiaalia pumppuvoimalaitokselle. Suunniteltu pumppuvoimalaitoksen varastointi kapasiteetti on alustavasti 530 MWh ja teho 75 MW. (Lampila 2018; Lechter 2014, 625.)

### 3.3 Alkuperätakuujärjestelmä

Sähköenergian markkinointi uusiutuvilla energianlähteillä tuotetuksi vaatii kantaverkkoyhtiö Fingridin omistaman Finextra Oy:n myöntämän alkuperätakuun (Guarantee of origin). Suomessa alkuperätakuujärjestelmän noudattamista valvoo Energiavirasto. Järjestelmän tarkoituksena on tarjota kuluttajalle mahdollisuus tehdä valinta uusiutuvilla energianlähteillä tuotetun sähkön ostamisesta luotettavasti. (Sähkön alkuperätakuu n.d.)

Alkuperätakuilla varmistetaan myyty, tuotettu tai kulutettu sähköenergia tuotetuksi uusiutuvilla energianlähteillä. Sähkön varmentaminen uusiutuvilla tuotetuksi voidaan toteuttaa vain alkuperätakuujärjestelmän kautta. Uusiutuvan energian käytön maininta tai hyödyntäminen markkinoinnissa on sallittua ainoastaan alkuperätakuilla varmennetun sähkön osalta. (Sähkön alkuperätakuu, Sähkön alkuperän varmentaminen n.d.)



Suomessa alkuperätakuujärjestelmä perustettiin vuonna 2004 voimaan tulleen sähkön alkuperän varmentamisesta ja ilmoittamisesta velvoittavan lain mukana (1129/2003). Euroopan unionin uusiutuvien energianlähteiden käytön edistämistä ajavan RES-direktiivin (2009/28/EY) myötä laki päivitettiin 1.7.2013 (445/2013). Euroopan unionin jäsenmaat ovat RES-direktiivin myötä velvoitettuja alkuperätakuujärjestelmän ylläpitämiseen. (Sähkön alkuperätakuu, Ohjeet ja säädökset n.d.)

Alkuperätakuilla varmistetun sähkön hankinta on vapaaehtoista. Hankkimalla alkuperätakuuta yritys voi luotettavasti kasvattaa sähkönkulutuksensa uusiutuvan energian osuutta ja vähentää näin oman toimintansa Co<sub>2</sub>-päästöjä. Alkuperätakuuta hankkimalla voidaan luoda yritykselle ilmastomyönteistä imagoa ja parantaa yrityksen kilpailukykyä.

### 3.3.1 Sähkön tuotannon alkuperän varmentaminen

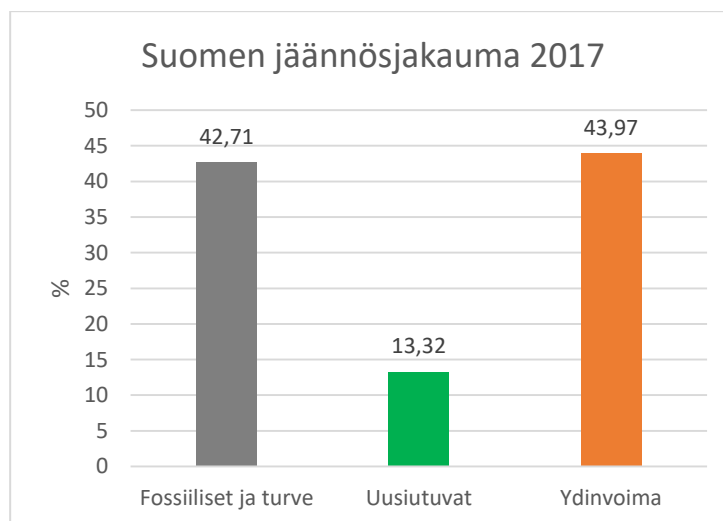
Alkuperätakuuta myyvän sähköntuottajan on kuuluttava alkuperätakuujärjestelmän rekisteriin. Voimalaitoksen liittäminen järjestelmään vaatii laitoksen käyttämien energialähteiden ja tuotantotavan todentamista. Todentamisen voi suorittaa toimenpiteeseen hyväksytty arviointilaitos, kuten esimerkiksi Inspecta Sertifiointi Oy. (Sähkön alkuperätakuu, Sähkön tuottajan hakeutuminen alkuperätakuujärjestelään n.d.)

Alkuperätakuuta hakeva sähköntuottaja ilmoittaa rekisterinpitäjä Finextra Oy:lle alkuperätakuulle haettavan sähköenergian määrän ja sähkön tuotantoajan. Yhden alkuperätakuusertifikaatin standardiyksikkö on yksi megawattitunti (MWh). Rekisterinpitäjän myöntämä alkuperätakuusertifikaatti on voimassa 12 kuukautta energian tuotantopäivästä lähtien. Sähkönmyyjän on ilmoitettava rekisterinpitäjälle alkuperätakuun myymisestä viipymättä. Saatuaan tiedon alkuperätakuun myynnistä, peruuttaa rekisterinpitäjä myönnetyn alkuperätakuun järjestelmästä. Järjestelmällä varmistetaan, ettei uusiutuvilla tuotettua sähköenergiaa myydä kahta kertaa. (Sähkön alkuperätakuu, Sähkön alkuperän varmentaminen n.d; Leskinen & Hietaoja 2019.)

### 3.3.2 Jäännösjakauma

Sähkönmyyjä ja kuluttaja on velvollinen ilmoittamaan uusiutuvilla tuotetun alkuperältään varmentamattoman tai muuten alkuperältään tuntemattoman sähköntuotannon jäännösjakauman avulla. Muun tuotannon, kuten esimerkiksi ydinvoimalla tuotettu sähkö voidaan varmentaa luotettavalla sopimuksella tai sertifikaatilla. (Sähkön alkuperätakuu, Sähkön alkuperän ilmoittaminen. n.d.)

Energiaviraston vuosittain julkaisemassa jäännösjakaumassa ilmoitetaan Suomessa kulutetun sähkön tuotantojakauma ja keskimääräiset hiilidioksidipäästöt (g/kWh) tuotantomuodoittain. Ydinvoiman osalta ilmoitetaan sähkön tuotantoon käytetty ydinpolttoaineen määrä (mg/kWh). Tuotantomuotoja on kolme: fossiiliset energianlähteet ja turve, uusiutuvat energianlähteet ja ydinvoima. Jäännösjakauma lasketaan vähentämällä alkuperätakuilla varmennettu tuotanto Suomessa tuotetun sähkön tuotantojakaumasta. Venäjältä ja Euroopasta hankittu sähköenergia otetaan jäännösjakaumaa laskiessa huomioon sähkön alkuperämaiden jäännösjakaumia hyödyntäen. (Sähkön alkuperätakuu, Jäännösjakauma n.d.) Kuviossa 11 vuoden 2017 Suomen sähköntuotannon jäännösjakauma.



Kuvio 11. Suomen jäännösjakauma 2017 (Sähkön alkuperätakuu, Jäännösjakauma n.d.)

### 3.3.3 Alkuperätakuiden markkinat

Alkuperätakuusertifikaateilla voidaan käydä kauppaa Euroopan laajuisesti. Useissa Euroopan maissa alkuperätakuujärjestelmän piiriin hyväksytään uusiutuvien lisäksi muitakin energiamuotoja, kuten esimerkiksi ydinvoimalla tuotettu sähkö. Suomessa järjestelmään hyväksytään ainoastaan uusiutuvilla tuotettu sähköenergia. (Leskinen & Hietaoja 2019.)

Vuonna 2018 Suomessa peruutettiin eli käytettiin alkuperätakuuta hieman alle 25 TWh verran. Alkuperätakuuta myönnettiin sähköntuotannolle noin 28 TWh. Vuonna 2018 alkuperätakuiden markkinat Euroopassa olivat noin 500 TWh kokoiset. (Activity statistics 2019.)

Alkuperätakuusertifikaatti ei ole sidoksissa tuotettuun sähköenergiaan (ks. kuvio 12). Sähköntuottaja voi esimerkiksi myydä tuottamansa sähköenergian varmentamattomana ja myydä tuotetulle energiamäärälle myönnetyt sähköntuotteen alkuperätakuusertifikaatit eri asiakkaalle. Järjestelmä mahdollistaa sen, että Suomessa voidaan ilmoittaa kulutettu sähköenergia tuotetuksi esimerkiksi Tanskalaisella tuulivoimalla. (Leskinen & Hietaoja 2019.)



Kuvio 12. Sähkö ja alkuperätakuut (Sähkön alkuperätakuut ja EKOenergia-ympäristömerkki n.d.)

Alkuperätakuiden hinnat vaihtelevat tuotantomuodoittain. Hinnat yhtä megawattituntia kohden ovat vaihdelleet huomattavasti lyhyellä aikavälillä. Hintataso on vaihdellut noin 0,5 – 2,5 €/n välillä megawattia kohden. Liitteestä 2 nähdään alkuperätakuiden hintojen kehitys viimeisten kahden vuoden aikana. Tiedot hintakehityksestä on kerännyt Gasum Oy.

Alkuperätakuujärjestelmä ei suoranaisesti ole uusiutuvaa energiantuotantoa lisäävää toimintaa. Hankkimalla alkuperätakuilla varmennettua sähköä voidaan kuitenkin vaikuttaa uusiutuvan energian tuotannon kysyntään ja näin kannustaa sijoittajia investoimaan uusiin uusiutuvan energian tuotantolaitoksiin. (Leskinen & Hietaoja 2019.)

## 4 Aurinkosähkön tuotantopotentiaali

### 4.1 Aurinkosähkön omatuotanto

Opinnäytetyön yhtenä tavoitteena oli selvittää aurinkoenergian sähköntuotantopotentiaali Boliden Kokkolan sulatolla. Aurinkosähkøjärjestelmän tuotannon arvioinnissa yksi oleellisimpia asioita on selvittää auringonsäteilyn määrä kohteessa. Yleisesti auringon vuotuinen säteilyenergia etelään kohdistetulle 45°:n kulmassa olevalle pinnalle on Suomessa noin 1000 – 1100 kWh/m<sup>2</sup>. Säteilyenergian tärkeempaan arviointiin on kuitenkin mahdollista hyödyntää erilaisia verkkolaskureita. Opinnäytetyötä toteutettaessa aurinkoenergian tuotantopotentiaalın selvittämiseen käytettiin Euroopan unionin Joint Research Centren (JRC) ylläpitämää PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System)-laskuria. Laskuri löytyy osoitteesta

[http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/tools.html#PVP](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#PVP)

PVGIS-laskuriin on kerätty tietoa auringon säteilyenergiasta ja aurinkosähkøjärjestelmien toiminnasta yli kymmenen vuoden ajan. Auringon säteilyenergian arviointiin tietoa on hankittu analysoimalla satelliittien keräämää dataa ja toimimalla yhteistyössä esimerkiksi meteorologisista ja ilmastoon liittyviä palveluita tarjoavien asiantuntijoiden kanssa. (The PVGIS project, a bit of background 2017.)

Säteilyenergian määrittämiseksi työssä käytettiin PVGIS Monthly irradiation data -laskuria ja aurinkosähkøjärjestelmän tuotannon arviointiin PVGIS Performance of grid-connected PV -laskuria. Molempien laskureiden tietojärjestelmäksi valittiin JRC:n uusin PVGIS-ERA5.

#### 4.1.1 Säteilyenergia sulatolla

PVGIS Monthly irradiation data -laskuri arvioi auringonsäteilyn kohteessa kuukausittain yksikössä kWh/m<sup>2</sup>. Toimiakseen laskuri vaatii muutamia lähtötietoja. Kuukausittaisen säteilyenergian arviointiin tarvittavia lähtötietoja ovat

- kohteen sijainti
- aikaväli, jolta tietoa kerätään (esimerkiksi 2015–2016)
- arvioitavan pinnan kallistuskulma.

Kohteen sijainti valittiin laskurin yhteydessä olevasta kartasta. Sijainniksi valittiin Boliden Kokkolan keskellä sijaitseva sinkkiaukio. Tietojärjestelmäksi valittiin PVGIS-ERA5.

Laskurista voidaan valita, mitä tietoja kohteesta halutaan kerätä. Opinnäytetyön toteutusta varten laskurilla haettiin tiedot: Global horizontal irradiation ja Global irradiation at angle. Global horizontal irradiation arvioi auringonsäteilyn vaakatasossa olevalle pinnalle. Global irradiation at angle arvioi auringonsäteilyn päiväntasaajalle kallistettua pintaa vasten. Kallistuskulmaksi valittiin aurinkopaneeleille yleinen kallistuskulma 45°. Auringon säteilyenergiasta kerättiin tiedot aikaväliltä 2010–2016. Laskurin viimeisimmässä PVGIS-ERA5-tietojärjestelmässä on tällä hetkellä saatavilla säteilytiedot ainoastaan noilta vuosilta. PVGIS-laskurin valintataulukko on kuviossa 13.

**Cursor:** 63.842, 23.054

**Selected:** **63.863, 23.057**

Elevation 10 (m):

**Use terrain shadows:**

Calculated horizon

Upload horizon file

[↓ csv](#)

Valitse tiedosto Ei valittua tiedostoa

GRID CONNECTED

TRACKING PV

OFF-GRID

MONTHLY DATA

DAILY DATA

HOURLY DATA

TMY

MONTHLY IRRADIATION DATA
?

Solar radiation database\* PVGIS-ERA5 ▼

Start year.\* 2010 ▼ End year.\* 2016 ▼

**Irradiation:**

Global horizontal irradiation

Direct normal irradiation

Global irradiation optimum angle

Global irradiation at 45 angle:

**Ratio:**

Diffuse/global ratio

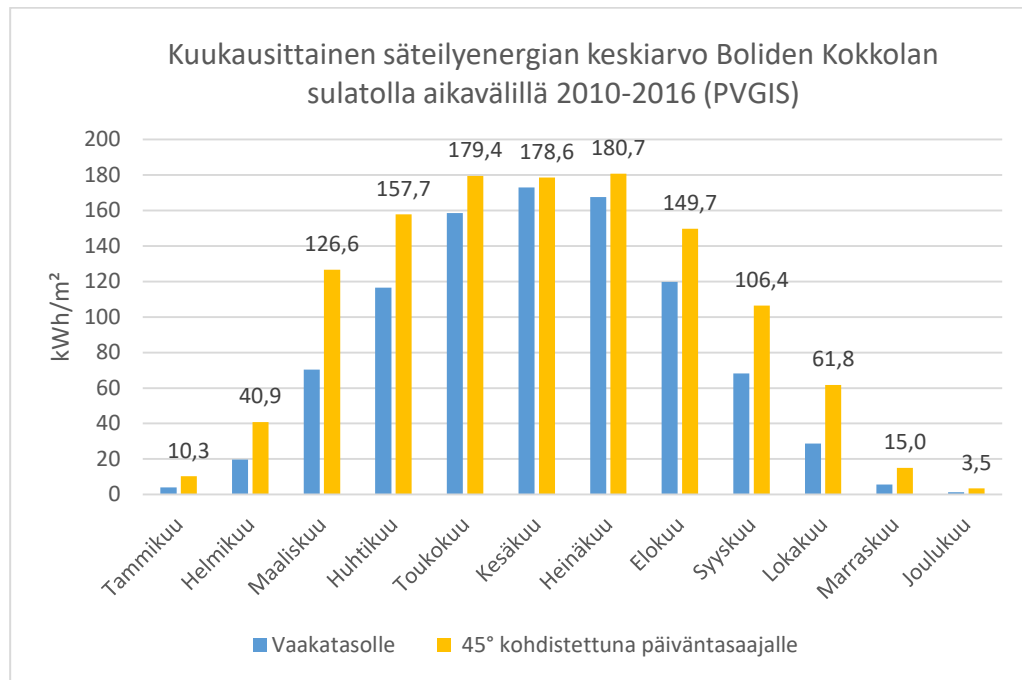
**Temperature:**

Average temperature

Kuvio 13. PVGIS-laskurin käyttöliittymän ulkoasu (PVGIS 2017.)

Lähtötietojen syöttämisen jälkeen laskurista saatiin arviot auringonsäteilystä kuukausittain aikavälillä 2010–2016. PVGIS-laskurin keräämät tiedot ovat alkuperäisessä muodossa liitteessä 4.

PVGIS laskurin vuosilta 2010–2016 keräämät säteilyenergian kuukausittaiset tiedot taulukoitiin Excel-ohjelmistolla jatkokäsittelyä varten. Laskurista saaduista tiedoista laskettiin auringonsäteilyn keskiarvo jokaiselle kuukaudelle kuuden vuoden aikaväliltä. Kuviossa 14 on säteilyenergian kuukausittaiset keskiarvot aikaväliltä 2010–2016.



Kuvio 14. Boliden Kokkolan kuukausittainen säteilyenergia aikavälillä 2010–2016

Vuoden aikana saatava säteilyenergian keskiarvo kyseisellä aikavälillä oli vaakatasolle kohdistetulle pinnalle 933 kWh/m<sup>2</sup> ja 45°:n kulmassa olevalle pinnalle 1210 kWh/m<sup>2</sup>.

#### 4.1.2 Aurinkosähköjärjestelmän tuotannon arvioiminen

JRC:n PVGIS Performance of grid connected PV -laskuri arvioi sähköverkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän vuosittaisen tuotannon kuukausikohtaisesti. Järjestelmässä ei ole akkuvarastoa. Arvioinnissa laskuri ottaa huomioon aurinkopaneelin tyyppin, kohteen auringonsäteilyn, ilman lämpötilan ja tuulen nopeuden. (Calculation of grid-connected PV system performance 2017.)

Kuten säteilyenergiaa arvioitaessa, samalla tavalla laskurille syötettiin tarvittavat lähtötiedot. Laskuriin syötettäviä tietoja olivat

- kohteen sijainti
- aurinkopaneelin teknologia tyyppi
- asennettu järjestelmän teho (kWp)
- järjestelmän häviöt (%)
- paneelin kallistuskulma ja ilmansuunta
- paneelin asennustyyppi.

Kohteen sijainniksi valittiin jälleen Boliden Kokkolan sinkkiaukio. Aurinkopaneelien teknologia tyypiksi valittiin Crystalline silicon eli piistä valmistetut aurinkopaneelit. Asennetun järjestelmän teho ei opinnäytetyötä toteutettaessa ollut luonnollisesti vielä tiedossa. Laskuria voidaan kuitenkin käyttää tuotannon arviointiin myös käytössä olevaa pinta-alaa kohti. Silloin laskuri ohjeistaa käyttämään yhtälöä 4. (Calculation of grid-connected PV system performance 2017.)

$$P = A \times \eta_{\text{paneeli}} \div 100 \quad (4)$$

missä  $P$  = järjestelmän teho (kWp)

$A$  = käytettävissä oleva pinta-ala (m<sup>2</sup>)

$\eta_{\text{paneeli}}$  = paneelin hyötysuhde (%)

Työn toteutukseen paneelien hyötysuhteeksi valittiin paneeleille yleisesti arvioitava 15 %:n hyötysuhde. Yksittäiselle neliömetrille tuotanto arvioitaessa käytettävissä oleva pinta-ala on luonnollisesti 1 m<sup>2</sup>. Yhtälöä 5 noudattamalla aurinkosähköjärjestelmän tehoksi laskuriin syötettiin 0,15 kWp.

Järjestelmän häviöiksi laskuri antaa oletuksena arvon 14 %, eli aurinkopaneeleilla tuotetusta sähköenergiasta häviää kaapeloinnin ja järjestelmän muiden laitteiden myötä vielä 14 %. Järjestelmän hyötysuhde olisi tällöin 86 %. Oletus vaikutti sopivan hyvin työn tietoperustassa mainittuun järjestelmän 80 – 95 %:n hyötysuhteeseen, joten arvoa ei koettua tarpeelliseksi lähteä muuttamaan.

Paneelien kallistuskulmaksi valittiin tietoperustan mukaan Suomen olosuhteissa hyväksi havaittu 45 astetta ja suuntaukseksi 0 astetta (etelä).

Asennustyyppivaihtoehdoista (Free-standing ja Building integrated) valittiin Free-standing. Free-standing-vaihtoehdossa ilma pääsee vapaasti kulkemaan paneelin ympärillä, kun taas Building integrated -vaihtoehdossa paneeli on asennettu suoraan kiinni esimerkiksi rakennuksen seinustalle. Valinta tehtiin perustuen oletukseen paneelien asennuksesta katolle tai maahan. (Calculation of grid-connected PV system performance 2017.) Kuviosta 15 nähdään laskuriin syötetyt tiedot.



**Cursor:** Selected: **63.862, 23.057**  
Elevation (m): 10

**Use terrain shadows:**  
 Calculated horizon  
 Upload horizon file

Ei valittua tiedostoa

---

GRID CONNECTED

TRACKING PV

OFF-GRID

MONTHLY DATA

DAILY DATA

HOURLY DATA

TMY

### PERFORMANCE OF GRID-CONNECTED PV ?

Solar radiation database\*

PV technology\*

Installed peak PV power [kWp]\*

System loss [%]\*

**Fixed mounting options**

Mounting position\*

Slope [°]\*   Optimize slope

Azimuth [°]\*   Optimize slope and azimuth

**PV electricity price**

PV system cost (your currency)

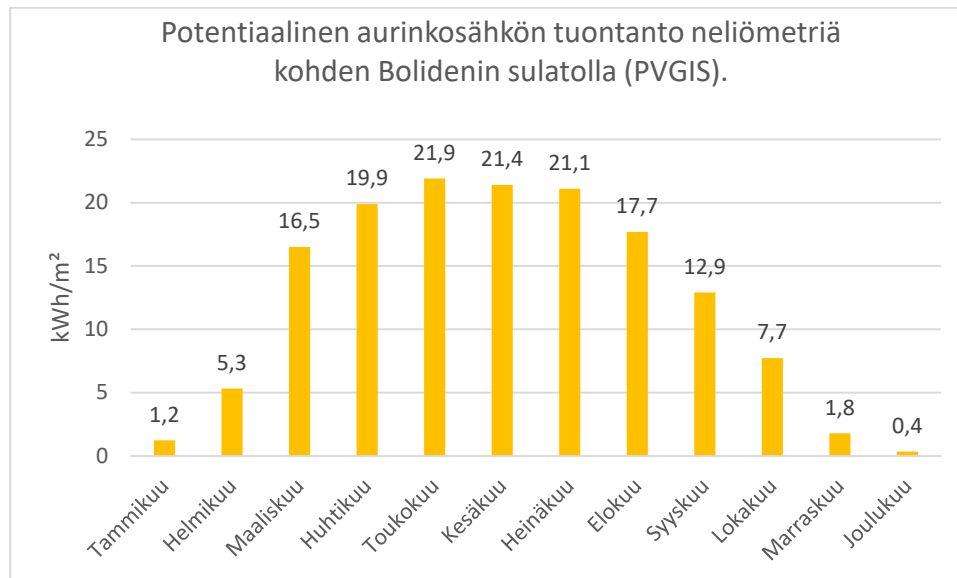
Interest [%/year]

Lifetime [years]

Kuvio 15. Performance of grid-connected PV laskurin käyttöliittymä (PVGIS 2017.)

Laskurista saatiin arviot aurinkosähköjärjestelmän kuukausittaisesta tuotannosta, paneeleihin kohdistuvasta säteilyenergiasta ja arvio vuosittaisista tuotannon vaihteluista. Tiedot järjestelmän sähköntuotannosta koostettiin taulukkoon Excel-ohjelmistolla. PVGIS-laskurin keräämät tiedot alkuperäisessä muodossa löytyvät liitteestä 5.

Laskurista saatava paneeleihin kohdistuva vuotuinen säteilyenergia oli täysin sama kuin edellisessä luvussa laskettu vuosien 2010–2016 välinen säteilyenergian keskiarvo neliömetrille eli 1210 kWh. Tuloksista voidaan olettaa laskurin käyttävän säteilyenergian arvointiin PVGIS-ERA5-tietojärjestelmässä käytössä olevien kuuden vuoden säteilytietojen keskiarvoa. Aurinkosähköjärjestelmän arvioitu tuotanto yhden neliömetrin pinta-alalle on vuodessa 148 kWh. PVGIS-laskurista saadut tiedot ovat Excelillä koostettuna kuviossa 16.



Kuvio 16. Aurinkosähköjärjestelmän tuotanto neliometriä kohden

#### 4.1.3 Tuloksien hahmottaminen

Onko siis tulokseksi saatu auringosta hyödynnettäväksi saatava 148 kWh/m<sup>2</sup> vuotuinen sähköntuotanto paljon vai vähän? Aurinkosähkön tuotantopotentiaalia voidaan hahmottaa muutamalla yksinkertaisella laskulla.

Sähkön pientuottaja on vapautettu sähköverovelvollisuudesta mikäli tuotantolaitos tuottaa vuoden aikana sähköä enintään 800 000 kWh. Edellä mainitulla 148 kWh/m<sup>2</sup> tuotantoteholla 800 000 kWh vuodessa tuottavan aurinkosähköjärjestelmän paneelisto veisi tilaa arviolta noin 5405 m<sup>2</sup> eli noin jalkapallokentän kokoisen alueen (Yhtälö 5).

$$Pinta-ala = \frac{800\,000\text{ kWh}}{148\text{ kWh/m}^2} \quad (5)$$

Bolidenin Kokkolan noin 1,2 TWh sähkön kulutuksesta jalkapallokentän kokoisella 800 000 kWh tuottavalla aurinkosähköjärjestelmällä katettaisiin noin 0,07 %.

Toisaalta taas samalla 800 000 kWh sähköenergialla voitaisiin ajaa sähköautojen keskimääräiselle 0,20 kWh/km energiankulutuksella 4 miljoonaa kilometriä (Yhtälö 6). (Sähköhenkilöauto (BEV) 2018.)

$$Ajomatka = \frac{800\,000\text{ kWh}}{0,20\text{ kWh/km}} \quad (6)$$

Yhden sinkkitonnin tuottamiseen kuluu sähköä noin 4 MWh. Valmistukseen kuluvan sähköenergian tuottamiseen 148 kWh/m<sup>2</sup> vuotuisella tuotantolla tarvittaisiin noin 27 m<sup>2</sup> aurinkopaneeleita (Yhtälö 7).

$$Aurinkopaneelien\ pinta\text{-ala/sinkkitonni} = \frac{4000\text{ kWh}}{148\text{ kWh/m}^2} \quad (7)$$

Bolidenin kokonaisenergiankulutuksen osalta aurinkosähkön tuotannolla on siis rajoitteensa, mutta aurinkosähkön potentiaalia ei kuitenkaan kannata aliarvioida. Aurinkosähköllä pystytään tuottamaan Suomessakin huomattavia energiamääriä.

#### 4.1.4 Tuotanto-olosuhteet BKO:n alueella

Boliden Kokkola Oy:n kuluttama sähköenergia on kaikki kytkettynä sulaton omaan sähköverkkoon. Bolidenin alueelle sähköenergia johdetaan Fingrid Oy:n kantaverkosta BKO:n omistamaa 110 kV voimajohtolinjaa pitkin. Bolidenin alueelle johdettu sähkö jaetaan BKO:n käyttöön sulaton alueella sijaitsevalta kytkinkentältä. (Keskitalo 2019.)

Yhteisestä sähköverkosta ja BKO:n suuresta sähkön kulutuksesta johtuen alueella tuotetusta aurinkosähköstä kaikki kuluisi BKO:n omassa toiminnassa. Edellä mainitusta syystä aurinkosähkölaitteiden mitoittaminen yksittäisen rakennuksen sähkönkulutuksen perusteella ei ole tarpeellista. Aurinkosähkön tuotantoa ei siis kannattaisi hajauttaa yksittäisten rakennuksien katoille. Kannattavampaa olisi keskittää aurinkosähkön tuotanto yksittäiseen maahan asennettuun aurinkosähkölaitteeseen. BKO:n suuren sähkönkulutuksen takia aurinkosähkölaitteella tuotetun energian varastoinnille ei olisi tältä osin tarvetta. (Keskitalo 2019.)

## Aurinkovoimalan sijainti

Aurinkovoimalan sijainnin kannalta Bolidenin sulatolla on muutamia hyviä vaihtoehtoja. Kuviossa 17 mahdolliset maa-asennuskohteet.



Kuvio 17. Mahdolliset sijainnit maavoimalalle (Rikasteesta metalliksi 2019., muokattu.)

Portin P1 ja laboratorion läheisyydessä sijaitseva nurmikenttäalue (1.) on kolmesta vaihtoehdosta paras. Vaikkakin vaihtoehdot 2 ja 3 ovat pinta-alaltaan suurempia alueita, on niiden sijainnissa voimalan kannalta kysymysmerkkejä.

Vaihtoehto 2 sijaitsee BKO:n kytkinkentän vieressä. Alueen sijainti olisi muuten erinomainen paikka aurinkovoimalalle, mutta osittain alueen yli kulkevat 110 kV voimalinjat ja kannatintolpat saattaisivat vaikeuttaa voimalan sijoittamista alueelle. Voimalinjat eivät ole suoranainen este aurinkovoimalalle, mutta aurinkovoimalan ja voimalinjojen väliset turvaetäisyydet olisi selvitettävä huolellisesti.

Vaihtoehto 3 sijaitsee Bolidenin jätealueen vieressä. Voimalan kannalta aurinkosähköntuotantoa saattaisi heikentää jätealueelta kulkeutuva hiekkapöly. Jätealue ei näy kuviossa 17, mutta sijaitsee nuolen osoittamassa suunnassa. Tulevaisuudessa jätealue ei todennäköisesti enään ole este aurinkovoimalalle. Jätealuetta on jo osittain maisemoitu kasvillisuudella. Alueen peittyessä kokonaan

kasvustolla ei hiekkapöly oletettavasti olisi enää ongelma. Tulevaisuudessa myös jätealueen päälle voitaisiin rakentaa aurinkovoimala.

Kuviossa 18 maa-asennuskohteiden lisäksi merkattuna mahdolliset kattoasennus kohteet.



Kuvio 18. Mahdolliset sijainnit aurinkovoimalalle (Boliden Kokkola n.d., muokattu.)

Kattoasennukselle parhaat sijainnit ovat toimistorakennus, teräskentän varasto, huoltola ja laboratorio. Toimistorakennuksen katto on pinta-alaltaan suurin, mutta sen läheisyydessä sijaitsevan Elektrolyysin tuotantoprosessista aiheutuvat rikkidioksidipitoiset päästöt saattaisivat aiheuttaa korroosiota aurinkopaneelistolle. Huoltolan suhteen tilanne on sama. Laboratorio ja teräskentän varasto ovat Elektrolyysin nähden sijainniltaan paremmat vaihtoehdot.

Aurinkopaneelleilla katettu parkkipaikka olisi myös yksi vaihtoehto hyödyntää parkkipaikan käyttämä pinta-ala energiantuotantoon. Aurinkopaneelleilla katetut autokatokset olisivat hyvä vaihtoehto myös pienemmässä mittakaavassa. Liikenteen sähköistyessä sähköautojen latauspisteet tulevat mitä ilmeisimmin yleistymään. Aurinkopaneelleilla voitaisiin tuottaa puhdasta sähköä suoraan katetulle latauspisteelle.

Kuviossa 19 hahmoteltuna mahdollinen aurinkovoimalan sijainti Portin P1 ja laboratorion vieressä. Kuvan pinta-alat on arvioitu hyödyntämällä Google Maps -karttapalvelua.



Kuvio 19. Aurinkovoimalan mahdollinen sijainti, Portti P1. (Google Maps n.d., muokattu.)

Taulukossa 2 mahdollisten rakennuksien ja maavoimaloiden sijaintien käytettävissä olevat pinta-alat arvioituna Google Maps -karttapalvelulla.

Taulukko 2. Esimerkkikohteiden käytettävissä oleva pinta-ala aurinkopaneeleille

Kohde	Asennustyyppi	Pinta-ala (m <sup>2</sup> )
1. Laboratorio nurmikenttä	Maa	8200
2. Kytäkenttä	Maa	yli 10 000
3. Jätealueen vierusta	Maa	yli 10 000
4. Toimistorakennus	Katto	5300
5. Teräskentän varasto	Katto	2750
6. Laboratorio	Katto	800
7. Parkkipaikka P1	Katto/katos	8500
8. Huoltola	Katto	1500
Jätealue (tulevaisuudessa)	Maa	yli 350 000

#### 4.1.5 Kannattavuus

Tietoperustassa mainittiin, että aurinkosähköjärjestelmään investoiminen on kannattavinta tapauksissa, jossa sähköenergian kulutusta on kesäaikaan paljon ja suurin osa tuotetusta sähköstä saadaan kulutettua omassa toiminnassa.

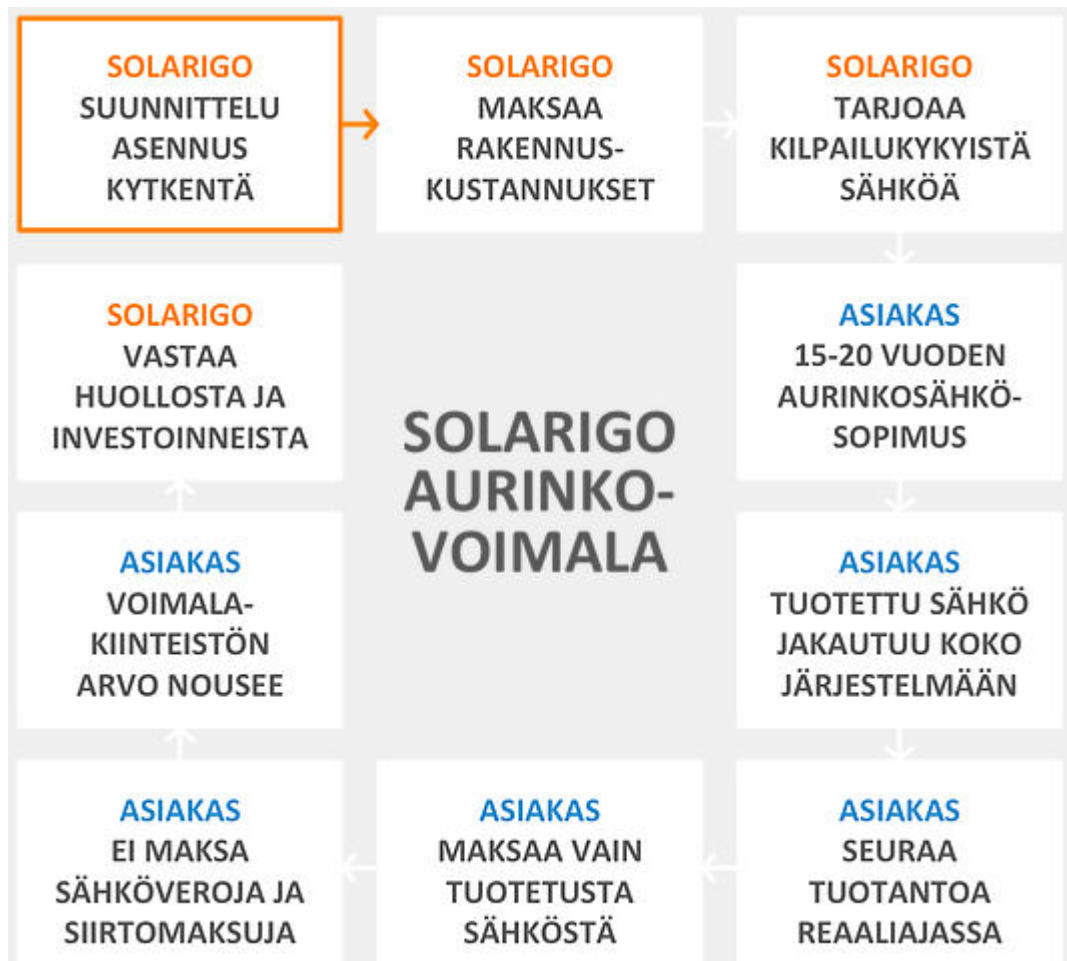
Bolidenin tapauksessa molemmat edellä mainitut ehdot täyttyvät, luoden hyvät olosuhteet aurinkosähköntuotannolle. Investoinnin kannattavuutta lisää Bolidenin mahdollisuus hakea Työ- ja elinkeinoministeriön ja Business Finlandin myöntämää energiainvestointitukea.

Pitkäaikainen aurinkoenergian ostosopimusmalli PPA mahdollistaisi Bolidenille aurinkosähköjärjestelmän hyödyt ilman vastuuta järjestelmän toiminnasta ja ylläpidosta. Pitkäaikaisella ostosopimuksella Boliden sitoutuisi ostamaan voimalan tuottaman sähköenergian, mutta voimalan alkuinvestoinnista, suunnittelusta ja ylläpidosta huolehtisi palvelun tarjoava yritys. Kuviossa 20 Solarigo Systems Oy:n tarjoaman PPA-sopimuksen malli. Taulukossa 3 Aurinkosähkön omatuotannon vahvuudet ja heikkoudet arvioituna SWOT-analyysiiä hyödyntäen.

Taulukko 3. Aurinkosähkön omatuotanto SWOT

<p><b>Vahvuudet</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Päästötön ja nopeasti toteutettavissa oleva ratkaisu</li> <li>• BKO:n alueella hyvät olosuhteet tuotannolle</li> <li>• Järjestelmän pitkä käyttöikä (20-30 vuotta)</li> <li>• Ei tarvetta akkujärjestelmälle, kaikki tuotettu energia kuluu omassa käytössä (parantaa järjestelmän kannattavuutta)</li> <li>• Tuotetusta sähköstä ei tarvitse maksaa siirto- tai energiamaksua</li> </ul>	<p><b>Heikkoudet</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Järjestelmän pitkä takaisinmaksuaika</li> <li>• Aurinkosähkön tuotantopotentiaali heikko suhteessa BKO:n kokonaiskulutukseen</li> <li>• Tuotanto riippuvainen säätilasta</li> </ul>
<p><b>Mahdollisuudet</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Työ- ja elinkeinoministeriön 20 % investointituki</li> <li>• Yrityksen ympäristöystävällinen imago</li> <li>• Aurinkovoimala mahdollista hankkia PPA-sopimuksella</li> <li>• Omaan käyttöön tuotettu sähkö vapautettu sähköverosta 800 000 kWh vuosituotantoon asti</li> </ul>	<p><b>Uhat</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Jätealueelta kulkeutuva pöly (heikentynyt hyötysuhde)</li> <li>• Aurinkopaneelien kohonnut korroosioriski elektrolyysin läheisyydessä</li> <li>• Investointi ei paranna yrityksen kilpailukykyä</li> </ul>





Kuvio 20. Solarigo systems Oy:n tarjoama PPA-malli. (Solarigo aurinkovoimala n.d.)

#### 4.1.6 Arvioidun tuotantopotentiaalin luotettavuus

Tuloksena saatu vuotuinen 148 kWh/m<sup>2</sup> sähköenergian tuotanto 45°:n kulmassa etelään kohdistetulle aurinkopaneelille vaikuttaa varsin luotettavalta tulokselta. Aurinkoenergian tuotannon arviointiin käytettävän nyrkkisäännön mukaan aurinkopaneeli tuottaa Suomen olosuhteissa noin 1000 kertaa paneelin nimellistehon verran sähköenergiaa. PVGIS-laskurin lähtötietoihin järjestelmän tehoksi laitettiin 150 Wp. Nyrkkisäännön mukaan sähköntuotanto olisi vuodessa siis 150 kWh. Eroa JRC:n satelliitti kuvia hyödyntävän PVGIS-laskurin ja yksinkertaisen laskukaavan mukaan arvioidujen tuloksien välillä on siis todella vähän.

Aurinkosähköjärjestelmän tuotannon arvioinnissa olisi ollut mahdollisuus päästä suurempiin tuotantomääriin käyttämällä korkeampaa paneelin hyötysuhdetta. Uusinta teknologiaa hyödyntävät aurinkopaneelit saavuttavat 20 % hyötysuhteen.

Työssä käytettyyn 15 % hyötysuhteeseen päädyttiin tarkastelemalla yleisiä kuluttajille myynnissä olevien paneelien hyötysuhteita.

Tietylle rakennukselle tuotantoa arvioidessa on otettava huomioon, että 148 kWh/m<sup>2</sup> on laskettu 45° asteen kulmassa etelään kohdistetulle paneelille. Kaikissa rakennuksissa tai kohteissa tämä ei välttämättä ole mahdollista ja arviointi on toteutettava uudestaan.

JRC:n PVGIS-laskuri soveltui opinnäytetyössä tavoitteena olevan tuotantopotentiaalin selvitykseen erinomaisesti. Tällä hetkellä PVGIS-laskuri on yksi parhaista työkaluista tuotantopotentiaalin arvioimiseen perustuen kohteen sijaintiin ja järjestelmän ominaisuuksiin. PVGIS-laskuri tulikin opinnäytetyön tietoperustan hankintavaiheessa vastaan useissa eri aurinkoenergiaan syntyneissä teoksissa sekä verkkojulkaisuissa. Aurinkosähköjärjestelmän hankintaa tehdessä on kuitenkin syytä jättää järjestelmän tuotannon arvioiminen ammattilaisen toteutettavaksi. Tuotantoon vaikuttavasta järjestelmän asennustavasta sekä laitteiston ominaisuuksista on parhaiten tietoa järjestelmän toimittajilla. Tarkemmin tiedossa olevan aurinkosähköjärjestelmän taloudellisen kannatavuuden ja takaisinmaksuajan laskentaan löytyy valmiita laskentataulukoita esimerkiksi Finsolarin [www-sivulta](http://www.finsolar.com). (Kannattavuuslaskurit n.d.)

## 5 Sähkönhankinta

### 5.1 Alkuperätakuilla varmennettu sähkönhankinta

Opinnäytetyön yhtenä tavoitteena oli selvittää keinoja kasvattaa uusiutuvalla energialla tuotetun sähkön osuutta sähkönhankinnasta. Sähköenergian muodostaessa lähes 80 % Boliden Kokkolan sulaton energiankulutuksesta voitaisiin päästötöntä uusiutuvaa energiaa hankkimalla vähentää BKO:n epäsuoria hiilidioksidipäästöjä huomattavan paljon.

Yksinkertaisin tapa kasvattaa yrityksen sähkönkulutuksen uusiutuvan energian osuutta sekä vähentää oman toiminnan hiilijalanjälkeä on hankkia alkuperätakuilla varmennettua sähköä. Oman sähkönkulutuksen uusiutuvan energian lisääminen alkuperätakuujärjestelmän avulla on toteutettavissa ilman muutoksia yrityksen

toimintaan tai mahdolliseen tuotantoprosessiin. Alkuperätakuujärjestelmän etuna on siis sen helppous.

Varmennettu sähkönhankinta ei ole kuitenkaan ilmaista. Pienelle vähän sähköä kuluttavalle yritykselle alkuperätakuilla varmennettu sähkönhankinta on suhteellisen edullinen tapa vähentää toiminnan CO<sub>2</sub>-päästöjä. Energiaintensiiviselle yritykselle kuten Boliden Kokkola, kustannukset nousevat huomattavan suuriksi.

Vuoden 2019 alussa myytyjen alkuperätakuiden hinta on ollut tuotantotavasta riippuen noin 0,5 €/MWh. Vuoden 2018 aikana hinnat kohosivat jopa lähelle 2,5 €/MWh (ks. Liite 3). Boliden Kokkolan kuluttaman sähköenergian tuotannon varmentamien alkuperätakuilla kustantaisi 0,5€/MWh hinnalla noin 600 000 euroa vuodessa (yhtälö 8). Kustannukset voisivat nopeasti tuplaantua tai jopa kolminkertaistua alkuperätakuiden hintojen noustessa jälleen lähemmäs 2,5€/MWh.

$$Kustannukset = \frac{0,5\text{€}}{\text{MWh}} \times 1200\ 000\ \text{MWh} \quad (8)$$

Varmennettu sähkönhankinta on siis energiaintensiiviselle yritykselle huomattava kuluerä. Kasvatvat energianhankinta kustannukset saattaisivat nostaa sinkin tuotantohintaa ja huonoimmassa tapauksessa heikentää tuotteiden kilpailukykyä. Alkuperätakuujärjestelmästä saatavat hyödyt perustuisivat yrityksen ympäristöystävälliseen imagoon. Uusiutuvalla sähköenergialla tuotettu sinkki laskisi tuotannosta aiheutuvia CO<sub>2</sub>-päästöjä ja saattaisi näin kasvattaa tuotteiden kysyntää. Boliden Kokkolan tapauksessa koko kulutuksen varmentaminen uusiutuvilla tuotetuksi tuskin olisi taloudellisesti kannattavaa huolimatta ympäristöystävällisestä imagosta saatavista markkinaeduista. Yksittäisten uusiutuvalla sähköenergialla tuotettujen sinkkituotteiden lisääminen yrityksen tuotevalikoimaan olisi kuitenkin hyvä vaihtoehto. Yksittäisten tuotteiden varmentamisesta lisää seuraavassa luvussa. Taulukossa 4. alkuperätakuujärjestelmällä hankitun uusiutuvan energian kannattavuus arvioituna SWOT-analyysiä hyödyntäen.

Taulukko 4. Sähkön alkuperätakuu SWOT

<p><b>Vahvuudet</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Helppo ja nopeasti toteutettavissa oleva ratkaisu</li> <li>• Ei vaadi muutoksia sinkin tuotantoprosessiin</li> <li>• Voidaan varmentaa tarkalleen haluttu osuus sähköhankinnasta, esimerkiksi 20 % kokonaiskulutuksesta</li> </ul>	<p><b>Heikkoudet</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kallistuneet sähköhankinta kustannukset (sähköhintaa + 0,5 – 2,5€/MWh.)</li> <li>• Investoinnista saatavat taloudelliset hyödyt vaikeasti havaittavissa</li> <li>• Alkuperätakuujärjestelmä ei ole tae uusiutuvan energian tuotantokapasiteetin kasvamisesta</li> </ul>
<p><b>Mahdollisuudet</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• CO<sub>2</sub>-vapaa sähköhankinta</li> <li>• Bolidenin ympäristöystävällinen imago</li> <li>• Uusiutuvan energian hyödyntäminen markkinoinnissa</li> </ul>	<p><b>Uhat</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Investointi ei paranna yrityksen kilpailukykyä</li> <li>• BKO:n sinkin hinta nousee ja heikentää kilpailukykyä</li> </ul>

### Vihreällä sähköllä tuotettu ”Green Zinc”

Boliden Kokkola Oy:lle alkuperätakuujärjestelmä mahdollistaisi vaihtoehdon tarjota asiakkaalle uusiutuvalla sähköenergialla tuotettua sinkkiä. Yhden sinkkitonnin valmistukseen kuluvan sähköenergian ollessa tarkalleen tiedossa, on kulunut sähkö varmennettavissa alkuperätakuujärjestelmän avulla. Tällaisessa tapauksessa Boliden Kokkola hankkisi alkuperätakuilla varmennettua sähköä ainoastaan sen verran kun kyseisen tuotteen valmistukseen on kulunut. Tarjoamalla yksittäisiä vihreällä sähköllä tuotettuja tuotteita havaittaisiin nopeasti onko asiakkailta kiinnostusta uusiutuvaa energiaa kohtaan. Bolidenille kokeilusta ei syntyisi suuria taloudellisia riskejä. Alkuperätakuut kulutetulle sähköenergialle voitaisiin hankkia vasta sen jälkeen kun tuote olisi jo myyty. Taulukossa 5 yksittäisen tuotteen sähkökulutuksen varmentamisen heikkoudet ja vahvuudet arvioituna SWOT-analyysiä hyödyntäen.

Taulukko 5. "Green Zinc" SWOT

<p><b>Vahvuudet</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tarjoaa asiakkaalle mahdollisuuden valita vihreällä sähköllä tuotetun tuotteen</li> <li>• Ei vaadi muutoksia sinkin tuotantoprosessiin</li> <li>• Vähentää sähkönhankinnan CO<sub>2</sub>-päästöjä</li> </ul>	<p><b>Heikkoudet</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kasvattaa mahdollisesti sinkin hintaa</li> <li>• Alkuperätakuujärjestelmä ei ole tae uusiutuvan energian tuotantokapasiteetin kasvamisesta</li> <li>• Kallistuneet sähkönhankinta kustannukset (sähköhintaa + 0,5 – 2,5€/MWh.)</li> </ul>
<p><b>Mahdollisuudet</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Uusiutuvan energian hyödyntäminen markkinoinnissa</li> <li>• Bolidenin ympäristöystävällinen imago</li> </ul>	<p><b>Uhat</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Asiakkailta ei kiinnostusta tuotteelle</li> <li>• Ei välttämättä kasvata lopputuotteen markkina-arvoa ja kysyntää</li> </ul>

### Hiilijalanjäljen vähentäminen ydinvoimalla

Sähkönhankinnan osalta fossiililla polttoaineilla tuotetusta energiasta voitaisiin vaihtoehtoisesti luopua ydinvoiman avulla. Suomessa ydinvoimaa ei hyväksytä alkuperätakuujärjestelmän piiriin, mutta sähkökuluttajan on mahdollista varmentaa hankkimansa sähköenergia sopimuksellisesti ydinvoiman tuottajan kanssa. Ydinvoimalla tuotetun sähköenergian varmentaminen omaan käyttöön on uusiutuvan energian alkuperätakuusertifikaatteja edullisempaa. Ydinvoimalla tuotetun sähköenergian varmentamisen hinta-arvioina voidaan käyttää noin 0,1€/MWh. (Leskinen & Hietaoja 2019.)

Boliden Kokkolan kuluttaman sähköenergian tuotannon varmentamien ydinvoimalla tuotetuksi kustantaisi 0,1€/MWh hinta arviolla noin 120 000 euroa vuodessa. (Yhtälö 9)

$$Kustannukset = \frac{0,1\text{€}}{\text{MWh}} \times 1200\ 000\ \text{MWh} \quad (9)$$

## 5.2 Tuulivoiman PPA-sopimukset

Pitkäaikaisella sähkönostosopimuksella (Power Purchase Agreement) Boliden Kokkola voisi sitoutua ostamaan tuulivoimantuottajalta sopimuksessa määritellyn sähköenergian määrän ennalta sovittuun hintaan, esimerkiksi 20 vuoden ajan.

Uusiutuvan energian osalta Bolidenin ja tuulivoimantuottajan välinen PPA-sopimus ei vielä kuitenkaan tarkoittaisi, että Bolidenin tuulivoimantuottajalta ostama sähköenergia olisi lain mukaan tuotettu uusiutuvalla energialla, ilman hankitun sähköenergian varmentamista alkuperätakuujärjestelmän avulla. Toisin sanoen Bolidenin Kokkolan sähkönhankinnasta johtuvat CO<sub>2</sub>-päästöt eivät laskisi tämän hetkisestä tilasta vaikka yritys sitoutuisi seuraavan 25 vuoden ajan ostamaan kuluttamansa sähköenergian tuulivoimantuottajalta. Toki Boliden voisi sopimusta tehdessä päättää ostavansa tuulivoimantuotannon alkuperätakuut, mutta sama asia olisi toteutettavissa ilman PPA-sopimustakin. Ainoa tapa uusiutuvan energian varmentamiseen sähkömarkkinoilta on alkuperätakuujärjestelmä.

Bolidenille PPA-sopimuksesta saatavat hyödyt perustuisivat PPA-sopimuksen ennalta määritettyyn sähkön hintaan. PPA-sopimuksella voitaisiin suojautua sähkön markkinahintojen nousulta pitkällä aikavälillä. PPA-sopimuksien haasteina yritykselle ovat monimutkaiset sopimusrakenteet ja sähkönhinnan ennakoinnin haastavuus pitkälle tulevaisuuteen. Riskinä on siis sopimus, jossa sähkön hinta on tulevaisuuden markkinahintaa korkeampi. (Leskinen & Hietaja 2019.)

Jos yrityksen motiivina on ainostaan vähentää oman sähkönhankinnan CO<sub>2</sub>-päästöjä niin PPA-sopimukset eivät ole siihen helpoin ratkaisu. Toisaalta jos yrityksen tavoitteena on parantaa uusiutuvan energiantuotannon kilpailukykyä yleisesti, on PPA-sopimus varteenotettava vaihtoehto. PPA-sopimuksella hankittu sähköenergia saattaisi olla ympäristönäkökulmasta alkuperätakuujärjestelmää parempi vaihtoehto. Tuulivoimahankkeiden tukeminen PPA-sopimuksella voitaisiin nähdä uusiutuvaa energiantuotantoa lisäävänä toimintana ja näin ollen todellisena ympäristötekona. Taulukossa 6 PPA-sopimuksen heikkoudet ja vahvuudet arviotuna SWOT-analyysiä hyödyntäen.

Taulukko 6. Tuulivoiman PPA-sopimus SWOT

<p><b>Vahvuudet</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Päästöttömän energiantuotannon tukemista</li> <li>• Lisää mahdollisesti uusiutuvan energian tuontokapasiteettia Suomessa</li> <li>• Sähkönhankinnan kulujen ennakointi paranee</li> </ul>	<p><b>Heikkoudet</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ei suoranaisesti laske Bolidenin sähkönhankinnan CO<sub>2</sub>-päästöjä ilman alkuperätakuiden liittämistä sopimukseen</li> <li>• Monimutkaiset sopimusrakenteet</li> </ul>
<p><b>Mahdollisuudet</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bolidenin ympäristöystävällinen imago</li> <li>• Alkuperätakuiden liittäminen PPA-sopimukseen (Vähentää sähkönhankinnan CO<sub>2</sub>-päästöjä)</li> <li>• Edullisen ympäristöystävällisen sähkön hankinnan varmentaminen pitkälle tulevaisuuteen</li> </ul>	<p><b>Uhat</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Riski sähkönhintojen laskusta tulevaisuudessa</li> <li>• Riskinä kalliista sähköstä maksamien usean vuoden ajan</li> </ul>

### 5.3 Tarvittava tuulivoiman tuotanto

Paljonko tuulivoimakapasiteettia sitten tarvittaisiin korvaamaan Boliden Kokkolan sähkönhankinnan fossiilisilla tuotettu osuus?

Boliden Kokkola Oy:n vuonna 2017 kuluttamasta sähköenergiasta tuotettiin sähkönmyyjien ilmoitusten mukaan 39 % eli noin 450 GWh fossiilisilla polttoaineilla.

Suomessa tuotettiin vuonna 2018 nimellisteholtaan 2044 MW tuulituotantokapasiteetilla 5,8 TWh sähköä. Vuonna 2018 tuulivoimaloiden keskimääräinen huipunkäyttöaika oli siis noin 2840 tuntia (yhtälö 10).

$$\text{Huipunkäyttöaika} = \frac{5\,800\,000 \text{ MWh}}{2044 \text{ MW}} \quad (10)$$

Tuulivoimayhdistyksen julkaisema ilman tukia rakennettavien tuulivoimaloiden hankelista vuodelle 2019 on päivitetty 27.2.2019. Helmikuun 2019 loppuun mennessä julkaistujen käynnissä olevien hankkeiden yhteen laskettu nimellisteho on 444,4 MW. Hankkeiden yksittäisten tuuliturbiinien yhteenlaskettu määrä on 103 kappaletta. Hankkeiden keskimääräinen tuuliturbiinien nimellisteho on 4,3 MW. (Hankelista n.d.)

Käyttämällä vuoden 2019 julkaistujen hankkeiden keskimääräistä tuuliturbiinien nimellistehoa ja Suomessa 2018 toteutunutta tuulivoimaloiden keskimääräistä huipunkäyttöaika, voidaan laskea yksittäiselle 4,3 MW tuuliturbiinille suuntaa antava vuosituotanto (yhtälö 11).

$$\text{Vuosituotto} = \text{huipunkäyttöaika (h)} \times \text{nimellisteho (MW)} \quad (11)$$

$$\text{Vuosituotto} = 2840 \times 4,3 = 12\,212 \text{ MWh}$$

Yksittäisen 4,3 MW tuulivoimalan vuotuinen sähköntuotanto on karkeasti laskettuna siis 12 212 MWh. Yhdellä 4,3 MW:n tuuliturbiinilla katettaisiin 3053 sinkkitonnin valmistukseen kuluva sähköenergia (Yhtälö 12).

$$\text{Sinkkitonnia} = \frac{12\,212 \text{ MWh}}{4 \text{ MWh}} \quad (12)$$

Boliden Kokkolan kuluttaman fossiilisilla polttoaineilla tuotetun sähköenergian osuuden ollessa noin 450 GWh saadaan arvioitu tuulivoimaloiden määrä laskettua yhtälöllä 13.

$$\text{Voimalat} = \frac{\text{Korvattava sähköenergia}}{\text{Yksittäisen tuuliturbiinin vuosituotanto}} \quad (13)$$



$$Voimalat = \frac{450\,000\text{ MWh}}{12\,212\text{ MWh}} = 36,84$$

Fossiilisilla tuotetun sähköenergian korvaaminen tuulivoimalla tarkoittaisi siis karkeasti 37 tuulivoimalan, eli noin 159 MW tuulituotantokapasiteetin valjastamista Bolidenin Kokkolan käyttöön.

Tarvittava voimaloiden määrä olisi mahdollisesti vähäisempi, jos Bolidenin käytössä olevat voimalat sijaitsisivat alueella, jossa huipunkäyttöajat nousevat jopa yli 3500 h. Esimerkiksi Boliden Kokkolan vieressä sijaitsevan Ykspihlajan tuulivoimapuiston neljän 3,6 MW tuuliturbiinin odotettu vuosituotanto on noin 55 GWh. Turbiinien huipunkäyttöajat ovat täten 3800 tuntia. Tuulipuiston rakennuttajan OX2:n mukaan alueen tuuliolosuhteet ovat yhdet Suomen parhaista. Edellä mainituilla laskukaavoilla arvioituna 3800 h huipunkäyttöajat vähentäisivät Bolidenin käyttöön tarvittavien voimaloiden määrän 27 kappaleeseen. (Ykspihlaja n.d.)

Laskelmien tulokset ovat suuntaa antavia ja niiden tarkoituksena on luoda käsitystä Boliden Kokkolan sähköenergian kulutuksesta suhteessa tuulivoimatuotantoon.

## 6 Yhteenveto

Aurinkosähkön omatuotanto ja uusiutuvan energian hankinta sähkömarkkinoilta ovat Boliden Kokkolan kannalta molemmat toteutettavissa olevia vaihtoehtoja.

Uusiutuvan energian osuuden kasvattaminen ja fossiilisilla tuotetusta sähköenergiasta luopuminen yrityksen sähkönkulutuksesta on siis mahdollista, mutta uusiutuvan energian hankinnasta saatavia hyötyjä ja ympäristövaikutuksia on kuitenkin haastavaa arvioida. Iso kysymys uusiutuvilla tuotetun energian hankinnassa on se missä yhteydessä uusiutuva energia halutaan yrityksen toiminnassa nähdä ja kuinka paljon resursseja uusiutuviin energiamuotoihin halutaan investoida.

Esimerkiksi alkuperätakuilla varmennetun uusiutuvan energian hankkiminen laskee yrityksen raportoitavia CO<sub>2</sub>-päästöjä, mutta suoranaista uusiutuvan energiantuotannon tukemista se ei ole. Alkuperätakuilla hankittu sähkö ei siis ole tae uusiutuvan energiantuotannon lisääntymiselle. Tuulivoimahankkeen tukeminen

sijoittajana tai PPA-sopimuksen kautta voitaisiin nähdä uusiutuvaa energiantuotantoa lisäävänä toimintana eli todellisena ympäristötekona, mutta tämä ei taas suoranaisesti laskisi Boliden Kokkolan raportoitavia CO<sub>2</sub>-päästöjä ilman alkuperätakuiden liittämistä sopimukseen. Edes omalle tontille asennettu aurinkosähköjärjestelmä ei virallisesti ole uusiutuvan energian tuotantoa, ennen kuin se on alkuperätakuujärjestelmällä varmennettu. Omalla aurinkovoimalla voitaisiin kuitenkin vähentää ostettavan sähköenergian määrää, mikä taas laskisi BKO:n sähkönhankinnasta johtuvia kustannuksia ja epäsuoria päästöjä. Alkuperätakuujärjestelmä siis osittain hankaloittaa yrityksen toiminnan ympäristövaikutusten arviointia.

Alkuperätakuujärjestelmä on kuitenkin myös mahdollisuus, esimerkiksi yksittäisten tuotteiden markkinoinnissa "vihreällä" sähköllä tuotetuksi. Alkuperätakuilla varmennettu tuote olisi hyvä lisäys Bolidenin tuotevalikoimaan. Toiminta olisi alkuperätakuujärjestelmän avulla helposti toteutettavissa. Yksittäisten tuotteiden varmentaminen olisi koko sähkökulutuksen varmentamiseen nähden riskittämpi vaihtoehto.

Aurinkosähkön tuotannolle on Boliden Kokkolan alueella hyvät olosuhteet. Vuotuinen säteilyenergia vaakatasolle kohdistetulle pinnalle on 933 kWh/m<sup>2</sup> ja 45 asteen kulmassa olevalle pinnalle 1210 kWh/m<sup>2</sup>. Aurinkosähkön tavanomaiset ongelmat, kuten tuotannon ja kulutuksen eriaikaisuus, eivät Bolidenin tapauksessa heikennä aurinkosähkön kannattavuutta johtuen BKO:n suuresta ympärivuorokautisesta sähkön kulutuksesta. Aurinkosähköjärjestelmä olisi nopeasti toteutettavissa oleva ratkaisu oman puhtaan sähköenergian tuottamiseksi. Aurinkosähköjärjestelmän alkuinvestoinnista ja laitteiston ylläpidosta voitaisiin haluttaessa siirtää vastuu PPA-sopimuksella aurinkosähköjärjestelmän tarjoajalle.

Bolidenin alueelle olisi mahdollista asentaa iso teollisen mittaluokan aurinkovoimala (250 – 1000 kWp), mutta suurellakaan aurinkovoimalalla ei BKO:n kokonaiskulutuksesta saataisi tuotettua edes yhtä prosenttia. Aurinkovoimalla voitaisiin kuitenkin tuottaa puhdasta sähköä, jota voitaisiin hyödyntää esimerkiksi BKO:n logistiikan kuluttaman fossiilisten polttoaineiden korvaamiseen. Bolidenin konsernin pitkäaikaisena tavoitteena on sulattojen ja kaivoksien enenevä sähköistäminen ja fossiilisista polttoaineista asteittain luopuminen. Tavoitteen

toteuttaminen oletettavasti kasvattaisi yrityksen sähkönkulutusta. Kasvavaa kulutusta voitaisiin kompensoida aurinkosähkön omatuotannolla. Hankkimalla aurinkosähköjärjestelmän Boliden voisi näyttää esimerkkiä muille KIP:n (Kokkola Industrial Park) alueella toimiville yrityksille.

Verrattaessa tuuli- ja aurinkovoimaa on tuulivoimalla paremmat mahdollisuudet korvata fossiilisilla polttoaineilla tuotettu sähköenergia kokonaisuudessaan.

Nykyaikaisella tuuliturbiinilla voitaisiin vuodessa tuottaa arviolta yli 3000 sinkkitonnin valmistukseen kuluva sähköenergia, kun taas yhden sinkkitonnin valmistukseen tarvittaisiin vuodessa noin 27 m<sup>2</sup> aurinkopaneeleita. Aurinkosähköntuotanto voitaisiin kuitenkin aloittaa nopealla aikataululla ilman monimutkaisia tuulivoiman PPA-sopimuksia.

## 7 Pohdinta

Opinnäytetyössä tutkittiin Boliden Kokkola Oy:n mahdollisuuksia kasvattaa uusiutuvien energiamuotojen osuutta yrityksen toiminnassa. Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää aurinkosähkön tuotantopotentiaali Boliden Kokkolan sulatolla sekä tarkastella yrityksen mahdollisuuksia hankkia uusiutuvilla energiamuodoilla tuotettua sähköä sähkömarkkinoilta.

Opinnäytetyölle asetetut tavoitteet saavutettiin hyvin. Työn aikana syntyneiden kehitysideoiden heikkoudet ja vahvuudet analysoitiin hyödyntäen SWOT-analyysiä.

Olosuhteet aurinkosähkön tuotannolle Bolidenin sulatolla osoittautuivat erityisen hyviksi. Sulaton alueelta löytyi hyviä asennuspaikkoja useallekin isolle aurinkovoimalalle. Tuloksina saatuja alueen säteilyenergian ja aurinkosähköjärjestelmän tuotannon arvioita voidaan tulevaisuudessa hyödyntää pohdittaessa aurinkosähköjärjestelmän hankintaa. Bolidenin lisäksi tuloksia voivat halutessaan hyödyntää useat KIP:n teollisuusalueella sijaitsevat yritykset. Myöskin keinot uusiutuvan energian hankkimiseksi sähkömarkkinoilta saatiin selvitettyä, mutta saatujen tuloksien toteuttamisen kannattavuus osoittautui vaikeasti arvioitavaksi. Mielenkiintoisin työn aikana syntynyt kehitysidea sähkönhankinnan osalta oli mielestäni alkuperätakuujärjestelmän mahdollistama vaihtoehto tarjota

asiakkaille uusiutuvalla sähköenergialla tuotettuja sinkkituotteita. Ideaa voitaisiin mahdollisesti hyödyntää myös muidenkin Boliden AB:n sulattojen toiminnassa.

Saatujen tuloksien luotettavuus on aurinkoenergian tuotantopotentiaalin osalta hyvä. Auringon säteilyenergian tulokset olivat linjassa lähimpien kaupunkien tuloksien kanssa, joista mittaustietoja oli saatavilla. Esimerkiksi Keski-Suomessa Jyväskylässä mitattu 45 asteen kulmassa etelään kohdistetulle pinnalle saatu vuotuinen arvo 1127,3 kWh/m<sup>2</sup> oli hyvin lähellä Bolidenin rannikolle saatua tulosta 1210 kWh/ m<sup>2</sup>. Tulokseksi saatu suurempi tulos on perusteltavissa säteilyenergian määrään positiivisesti vaikuttavalla meren läheisyydellä. Arviointia toteutettaessa luotettavuutta pyrittiin parantamaan keräämällä alueen säteily tiedot käytössä olevalta kuuden vuoden aikaväliltä ja laskemalla säteilylle keskiarvo. Tuloksia tarkasteltaessa ja hyödynnettäessä on kuitenkin ymmärrettävä tuloksien luotettavuutta heikentävä säteilyyn vaikuttava sääolosuhteiden vuosittainen vaihtelu.

Aurinkosähköjärjestelmän taloudellisen kannattavuuden luotettavuutta on vaikea arvioida ilman tietoa järjestelmän tarkasta koosta ja tyypistä. Tuloksiin vaikuttavat myös hankkeen rahoitusmallit ja toteutusmuodot. Aurinkosähköjärjestelmän taloudellinen kannattavuus on investointia tehdessä syytä vielä arvioida uudelleen. Opinnäytetyön osalta taloudellisen kannattavuuden laskennan ei katsottu tuovan lisäarvoa johtuen epätietoisuudesta mahdollisen järjestelmän koosta ja rahoitusmallista. Työssä onnistuttiin kuitenkin kuitenkin hyvin arvioimaan aurinkoenergian tuotantopotentiaali.

Suurin osa sähkönhankintaan liittyvistä tiedoista saatiin haastattelemalla Gasum Oy:n energiapalveluiden asiantuntijoita ja Bolidenin energiapäällikköä. Saadut tiedot ja mielipiteet olivat hyvin linjassa työn johtopäätösten kanssa, eikä yksittäisiä ratkaisuja korostettu toisia parempana.

Opinnäytetyön rajaus olisi voitu tehdä tarkemmin. Yksin aurinkoenergiasta sulatolla tai sähkönhankinnasta olisi voinut tehdä opinnäytetyön. Haasteita aiheutti tietoperustaa kirjoittaessa rajata, mikä on oleellista työn tuloksien kannalta ja kuinka syvälle asioihin pitäisi paneutua. Lopputuloksiin peilaten laajasta alueesta oli myös hyötyä. Opinnäytetyössä onnistuttiin muodostamaan hyvä kokonaiskuva uusiutuvan

energian käytön mahdollisuuksista energiaintensiivisen yrityksen toiminnassa ja työn aikana muodostui myös uusia tutkimuskohteita. Jatkossa voitaisiin tutkia ainakin seuraavia kohteita tarkemmin:

- aurinkosähköjärjestelmän tarkka mitoitus ja rahoitusmallien vertailu tiedossa olevalle sijainnille
- sulaton logistiikan fossiilisten polttoaineiden korvaaminen uusiutuvalla energialla
- energian varastointi sulatolla
- tuulivoimalaan sijoittaminen ja PPA-sopimukset.

Aurinkosähköjärjestelmän tarkka mitoitus ja rahoitusmallien vertailu jollekin opinnäytetyössä mainitulle sijainnille voisi tuoda Bolidenille lisää tietoa hankkeen takaisinmaksuajasta ja kannattavuudesta. Tulokset voisivat mahdollisesti helpottaa päätöstä aurinkosähköjärjestelmään investoinnista. Sama asia voitaisiin toisaalta toteuttaa pyytämällä suoraan tarjous aurinkoenergia palveluita tarjoavalta yritykseltä.

Boliden AB:n tavoitteena tulevaisuudessa on sulattojen ja kaivoksien toiminnan sähköistäminen. Boliden Kokkolalle mielenkiintoinen tutkimuskohde olisi selvittää mahdollisuus korvata sulaton logistiikan käyttämät fossiiliset polttoaineet uusiutuvalla energialla. Tutkimuksessa voitaisiin hyödyntää opinnäytetyössä selvitettyä aurinkosähkön tuotantopotentiaalia. Aurinkosähkön omatuotannolla voitaisiin mahdollisesti kompensoida logistiikan sähköistämisen myötä kasvavaa sähkönkulutusta.

Uusiutuvan energiantuotannon lisääntyessä on tulevaisuudessa kasvava tarve säätövoimalle ja energianvarastoinnille. Boliden Kokkola osallistuu jo nyt Fingridin tehoreservin kautta sähköverkon tasapainottamiseen. Bolidenin kannattaisi harkita suuren (esimerkiksi noin 5 MWh) akkuvaraston hankkimista. Akkuvarastoa voitaisiin käyttää tasaamaan sähköverkon heilahteluita. Bolidenin omistaessa oman kytkinkentän ja kantaverkkoon kytketyt 110 kV voimalinjat, voisivat olosuhteet energianvarastoinnille olla hyvät.

Tuulivoimalla voitaisiin jo nykyisellä teknologialla kattaa suuri osa energiaintensiivisenkin yrityksen sähkönkulutuksesta. Tuulivoiman PPA-sopimuksia tai tuulivoimaloihin sijoittamista voisi olla mielenkiintoista selvittää tarkemmin,

vaikkakin oman yrityksen CO<sub>2</sub>-päästöjen vähentämisen kannalta toiminta olisi edelleen riippuvaista alkuperätakuujärjestelmästä.

## Lähteet

Activity statistics. 2019. Verkkojulkaisu Aib-net:in www-sivuilla. Viitattu 10.4.2019.  
<https://www.aib-net.org/facts/market-information/statistics/activity-statistics>

Alm, M. 2018. Toimialaraportit - Uusiutuva energia. Työ- ja elinkeinoministeriön verkkojulkaisu. Viitattu 13.3.2019.  
[https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161181/TEMjul\\_42\\_2018\\_Uusiutuva\\_energia.pdf?sequence=4](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161181/TEMjul_42_2018_Uusiutuva_energia.pdf?sequence=4)

Auringon kokonaissäteilyenergia eri ilmansuuntiin osoittaville pystypinnoille vyöhykkeellä 3 (Jyväskylä). N.d. Verkkojulkaisu Ilmatieteen laitoksen www-sivuilla. Viitattu 21.4.2019.  
[https://ilmatieteenlaitos.fi/c/document\\_library/get\\_file?uuid=33704523-cf5d-4ceb-ab5b-044ac9a2208b&groupId=30106](https://ilmatieteenlaitos.fi/c/document_library/get_file?uuid=33704523-cf5d-4ceb-ab5b-044ac9a2208b&groupId=30106)

Auringon kokonaissäteilyenergia 45 asetetta kallistetulle pinnalle eri ilmansuuntiin suunnattuna vyöhykkeellä 3 (Jyväskylä). N.d. Ilmatieteen laitoksen www-sivuilla. Viitattu 21.4.2019.  
[https://ilmatieteenlaitos.fi/c/document\\_library/get\\_file?uuid=c42ffaa5-1d7d-4222-bdef-4ad21f3b943b&groupId=30106](https://ilmatieteenlaitos.fi/c/document_library/get_file?uuid=c42ffaa5-1d7d-4222-bdef-4ad21f3b943b&groupId=30106)

Auvinen, K. 2015. Rahoitusmallit aurinkoenergiainvestoinneille. Artikkelit Finsolarin www-sivuilla. Viitattu 20.4.2019.  
<http://www.finsolar.net/aurinkoenergian-hankintaohjeita/kuntien-aurinkoenergian-hankinta-ja-rahoitusmallit/>

Auvinen, K. 2017. Aurinkosähköjärjestelmien hintatasot ja kannattavuus. Artikkelit Finsolarin www-sivuilla. Viitattu 20.4.2019.  
<http://www.finsolar.net/aurinkoenergian-hankintaohjeita/aurinkosahkon-hinnat-ja-kannattavuus/>

Boliden - A world-class metals company. N.d. Artikkelit Bolidenin www-sivuilla. Viitattu 7.4.2019. <https://www.boliden.com/operations>

Boliden Kokkola yhteiskuntavastuun raportti 2015. 2015. Verkkojulkaisu. Viitattu 26.3.2019. <https://docplayer.fi/24780542-Boliden-kokkola-yhteiskuntavastuun-raportti-2015.html>

Boliden Kokkola Oy. N.d. Ilmakuva Boliden Kokkola Oy:n tietokannasta.

Calculation of grid-connected PV system performance. 2017. PVGIS user manual. Käyttöohje Euroopan komission www-sivuilla. Viitattu 15.4.2019.  
[http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_static/en/manual.html#gridpv](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_static/en/manual.html#gridpv)

Energiavuosi 2018 – Sähkö. 2019. Verkkójulkaisu Energiateollisuuden www-sivuilla. Viitattu 15.3.2019.

[https://energia.fi/ajankohtaista\\_ja\\_materiaalipankki/materiaalipankki/energiavuosi\\_2018\\_-\\_sahko.html](https://energia.fi/ajankohtaista_ja_materiaalipankki/materiaalipankki/energiavuosi_2018_-_sahko.html)

Euroopan toiseksi suurin sinkkitehdas. N.d. Artikkele Bolidenin www-sivuilla. Viitattu 24.3.2019. <https://www.boliden.com/fi/operations/smelters/boliden-kokkola>

Google maps. N.d. Verkkosovellus. Viitattu 20.4.2019.

<https://www.google.com/maps>

Hankelista. N.d. Verkkójulkaisu Tuulivoimayhdistyksen www-sivuilla. Viitattu 16.3.2019.

<https://www.tuulivoimayhdistys.fi/hankelista>, Ilman tukea rakennettavat hankkeet

IPCC: ilmasto lämpenee hälyttävällä vauhdilla. 2018. Artikkele ympäristöministeriön www-sivuilla. Viitattu 15.4.2019. [https://www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/IPCC\\_Ilmasto\\_lampenee\\_halyttavalla\\_vauhd\(48136\)](https://www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/IPCC_Ilmasto_lampenee_halyttavalla_vauhd(48136))

Junttila, J. 2015. Suomen sään valoisa puoli: aurinkopaneeli tuottaa parhaiten kylmässä. Artikkele Ylen www-sivuilla. Viitattu 22.4.2019.

<https://yle.fi/aihe/artikkeli/2015/11/09/suomen-saan-valoisa-puoli-aurinkopaneeli-tuottaa-parhaiten-kylmassa>

Kannattavuuslaskurit. N.d. Artikkele Finsolarin www-sivuilla. Viitattu 16.4.2019.

<http://www.finsolar.net/aurinkoenergian-hankintaohjeita/kannattavuuslaskurit/>

Keskitalo, T. 2019. Boliden Kokkola Oy:n sähkö- ja automaatio kunnossapidon päällikkö. Haastattelu 17.4. 2019.

Korpela, A. 2016. Tuulivoiman perusteet. Tampere: Tammertekniikka.

Lampila, J. 2018. Pumppuvoimalaitos on hyvä ja tehokas sähkövarasto. Artikkele energiatalous.fi verkkosivustolla. Viitattu 7.3.2019.

<https://www.energiatalous.fi/?p=2210>

Lechter, T. 2013. Future Energy. Elsevier Science.

Lehto, I., Liuksiala, L., Lähde, P., Olenius, M., Orrberg, M & Ylinen, M. 2017. Aurinkosähköjärjestelmien suunnittelu- ja toteutus. Tampere: Sähkötieto Ry.

Lehtimäki, M. 2019. Boliden Kokkola Oy:n energiapäällikkö. Haastattelu 15.4.2019.

Leskinen, M. Hietaoja, J. Gasum Oy:n energiamarkkinapalvelut osaston asiantuntijoiden haastattelu 27.3.2019.

Mitä on tuulivoima? N.d. Artikkele Suomen Tuuliatlaan www-sivuilla. Viitattu 19.2.2019. <http://www.tuuliatlas.fi/tuulivoima/index.html>

Müller, J. 2015. Ympäristövaikutukset. Artikkele Finsolarin www-sivuilla. Viitattu 28.4.2019 <http://www.finsolar.net/aurinkoenergia/ymparistovaikutukset/>

Partanen, R & Suokko, A. 2017. Energian aika. Helsinki: WSOY.

Preemiojärjestelmä. N.d. Verkkójulkaisu Energiaviraston www-sivuilla. Viitattu 16.3.2019. <https://www.energiavirasto.fi/preemiojarjestelma>

Price development of guarantee of origins. 2019. Kuvaaja Gasum Oy:n tietokannasta.

Pitkäaikainen sähkönostosopimus (PPA). N.d. Artikkelin yhdistyksen www-sivuilla. Viitattu 17.3.2019. <https://www.tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta/tietopankki-tiiviisti-tarkeista-kysymyksista/pitkaaikainen-sahkonostosopimus>

PVGIS. 2017. Photovoltaic geographical information system. Laskurin käyttöliittymä Euroopan komission verkkosivuilla. Viitattu 20.4.2019. [http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/tools.html#PVP](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#PVP)

Renewable energy policies in a time of transition. 2018. International Renewable Energy Agency IRENA. International Energy Agency IEA. Raportti IRENA:n verkkosivuilla. Viitattu 12.2.2019. <https://www.irena.org/publications/2018/Apr/Renewable-energy-policies-in-a-time-of-transition>

Rikasteesta metalliksi. 2019. Sinkin tuotantoprosessi. Boliden Kokkola Oy.

Solarigo aurinkovoimala. N.d. Mainos Solarigo Systems Oy:n www-sivuilla. Viitattu 22.4.2019. <https://www.solarigo.fi/palvelu>

Strength, Weakness, Opportunity, and Threat (SWOT) Analysis. 2019. Artikkelin Investopedia www-sivuilla. Viitattu 21.4.2019. <https://www.investopedia.com/terms/s/swot.asp>

Sähköhenkilöauto (BEV). 2018. Tilasto Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:n LIPASTO tietokannan www-sivuilla. Viitattu 17.4.2019. <http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/henkiloliikenne/tieliikenne/henkiloautot/hasahko.htm>

Sähköautot osana energiajärjestelmää. 26.3.2018. Artikkelin Liikennevirta Oy:n www-sivuilla. Viitattu 11.4.2019. <https://www.virta.global/news-fi/s%C3%A4hk%C3%B6autot-osana-energiaj%C3%A4rjestelm%C3%A4%C3%A4>

Sähkön alkuperätakuut ja EKOenergia-ympäristömerkki. N.d. Kuvio Gasum Oy:n materiaalista.

Sähkön alkuperätakuu. N.d. Artikkelin Energiaviraston www-sivuilla. Viitattu 19.4.2019. <https://energiavirasto.fi/sahkon-alkupera>

Sähkön alkuperätakuu, Sähkön alkuperän varmentaminen. N.d. Artikkelin Energiaviraston www-sivuilla. Viitattu 19.4.2019. <https://energiavirasto.fi/sahkon-alkupera>, Sähkön alkuperän varmentaminen

Sähkön alkuperätakuu, Sähkön alkuperän ilmoittaminen. N.d. Artikkelin Energiaviraston www-sivuilla. Viitattu 19.4.2019. <https://energiavirasto.fi/sahkon-alkupera>, Sähkön alkuperän ilmoittaminen

Sähkön alkuperätakuu, Sähkön tuottajan hakeutuminen alkuperätakuujärjestelmään. N.d. Artikkelin Energiaviraston www-sivuilla. Viitattu 19.4.2019. <https://energiavirasto.fi/sahkon-alkupera>, Sähkön tuottajan hakeutuminen alkuperätakuujärjestelmään



- Sähkön alkuperätakuu, Jännösjakauma. N.d. Artikkelit Energiaviraston www-sivuilla. Viitattu 19.4.2019. <https://energiavirasto.fi/sahkon-alkupera>, Jännösjakauma
- Sähkön alkuperätakuu, Ohjeet ja säädökset. N.d. Artikkelit Energiaviraston www-sivuilla. Viitattu 19.4.2019. <https://energiavirasto.fi/sahkon-alkupera>, Ohjeet ja säädökset
- Säätövoima – säädettävää sähköntuotantoa. N.d. Artikkelit Energiateollisuuden www-sivuilla. Viitattu 7.4.2019. [https://energia.fi/perustietoa\\_energia-  
alasta/energiantuotanto/sahkontuotanto/saatovoima](https://energia.fi/perustietoa_energia-<br/>alasta/energiantuotanto/sahkontuotanto/saatovoima)
- Tahkokorpi, M. 2016. Aurinkoenergia Suomessa. Helsinki: INTO.
- The PVGIS project, a bit of background. 2017. Artikkelit Euroopan komission verkkosivuilla. Viitattu 15.4.2019. [http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_static/about\\_pvgis.html](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_static/about_pvgis.html)
- Tuettavat-hankkeet. N.d. Artikkelit Suomen työ- ja elinkeinoministeriön www-sivuilla. Viitattu 3.4.2019. <https://tem.fi/tuettavat-hankkeet>
- Tuet Suomessa. N.d. Artikkelit Tuulivoimayhdistyksen www-sivuilla. Viitattu 16.3.2019. [https://www.tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta/tietoa-  
tuulivoimasta/taloudellisuus/uusiutuvan-energian-tukeminen/tuet-suomessa](https://www.tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta/tietoa-<br/>tuulivoimasta/taloudellisuus/uusiutuvan-energian-tukeminen/tuet-suomessa)
- Tutkimus ja kehittäminen. 2018. Opetusmateriaali Jyväskylän ammattikorkeakoulun Optima-oppimisympäristön www-sivuilla. Viitattu 21.4.2019.
- Tuulisuus Suomessa. N.d. Artikkelit Suomen Tuuliatlas www-sivuilla. Viitattu 19.2.2019. <http://www.tuuliatlas.fi/tuulisuus/index.htm>
- Tuulivoimaennusteita. N.d. Artikkelit Tuulivoimayhdistyksen www-sivuilla. Viitattu 18.2.2019. [https://www.tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta/tietoa-  
tuulivoimasta/tuulivoima-suomessa-ja-maailmalla/tuulivoimaennusteita](https://www.tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta/tietoa-<br/>tuulivoimasta/tuulivoima-suomessa-ja-maailmalla/tuulivoimaennusteita)
- Tuulivoiman markkinavaikutukset 2014. Energiakolmio. Suomen tuulivoimayhdistys RY. Verkkajulkaisu. Viitattu 18.2.2019. [http://www.tuulivoimayhdistys.fi/filebank/203-  
tuulivoiman\\_markkinavaikutukset\\_20140507-1.pdf](http://www.tuulivoimayhdistys.fi/filebank/203-<br/>tuulivoiman_markkinavaikutukset_20140507-1.pdf)
- Tuulivoimaloiden rakenne. N.d. Artikkelit Tuulivoimayhdistyksen www-sivuilla. Viitattu 28.4.2019. [https://www.tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta/tietoa-  
tuulivoimasta/tuulivoimatekniikka/tuulivoimaloiden-rakenne](https://www.tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta/tietoa-<br/>tuulivoimasta/tuulivoimatekniikka/tuulivoimaloiden-rakenne)
- Wind in power 2017. 2018 Annual combined onshore and offshore wind energy statistics. Wind Europe. Verkkajulkaisu. Viitattu 14.2.2019. [https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-  
wind/statistics/WindEurope-Annual-Statistics-2017.pdf](https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-<br/>wind/statistics/WindEurope-Annual-Statistics-2017.pdf)
- Ykspihlaja. N.d. Artikkelit OX2:n www-sivuilla. Viitattu 23.4.2019. <https://www.ox2.com/fi/projekt/ykspihlaja/>

## Liitteet

Liite 1. Auringon kokonaissäteilyenergia eri ilmansuuntiin osoitaville pystypinnoille vyöhykkeellä 3 (Jyväskylä).

Kuukausi	Auringon kokonaissäteilyenergia eri ilmansuuntiin osoitaville pystypinnoille vyöhykkeellä III (Jyväskylä)										
	P	Ko	I	Ka	E	Lo	L	Lu	$G_{\text{säteily, pystypinta}}, \text{ kWh/m}^2$		
Tammikuu	4,9	4,9	5,2	8,1	10,1	8,5	5,5	4,9			
Helmikuu	15,2	15,2	22,6	39,9	49,9	39,1	22,1	15,3			
Maaliskuu	39,4	40,4	49,6	66,3	78,5	71,3	53,9	41,3			
Huhtikuu	44,0	56,2	81,2	100,6	103,0	96,4	78,1	55,7			
Toukokuu	68,7	95,2	131,5	139,1	126,3	131,3	124,7	93,1			
Kesäkuu	72,5	91,4	113,8	112,9	104,6	112,3	111,6	88,9			
Heinäkuu	64,9	85,1	114,2	120,4	111,4	117,1	113,0	86,6			
Elokuu	45,4	58,2	81,1	97,1	100,7	100,2	84,4	59,5			
Syyskuu	26,3	33,2	56,4	82,2	94,1	80,6	54,7	32,5			
Lokakuu	11,7	12,1	20,2	35,1	43,9	34,1	19,3	11,8			
Marraskuu	4,9	4,9	6,4	11,9	15,3	11,9	6,5	4,9			
Joulukuu	2,8	2,8	2,9	4,4	5,3	4,3	2,9	2,8			
Koko vuosi	400,6	499,5	685,1	817,8	843,1	807,1	676,4	497,5			

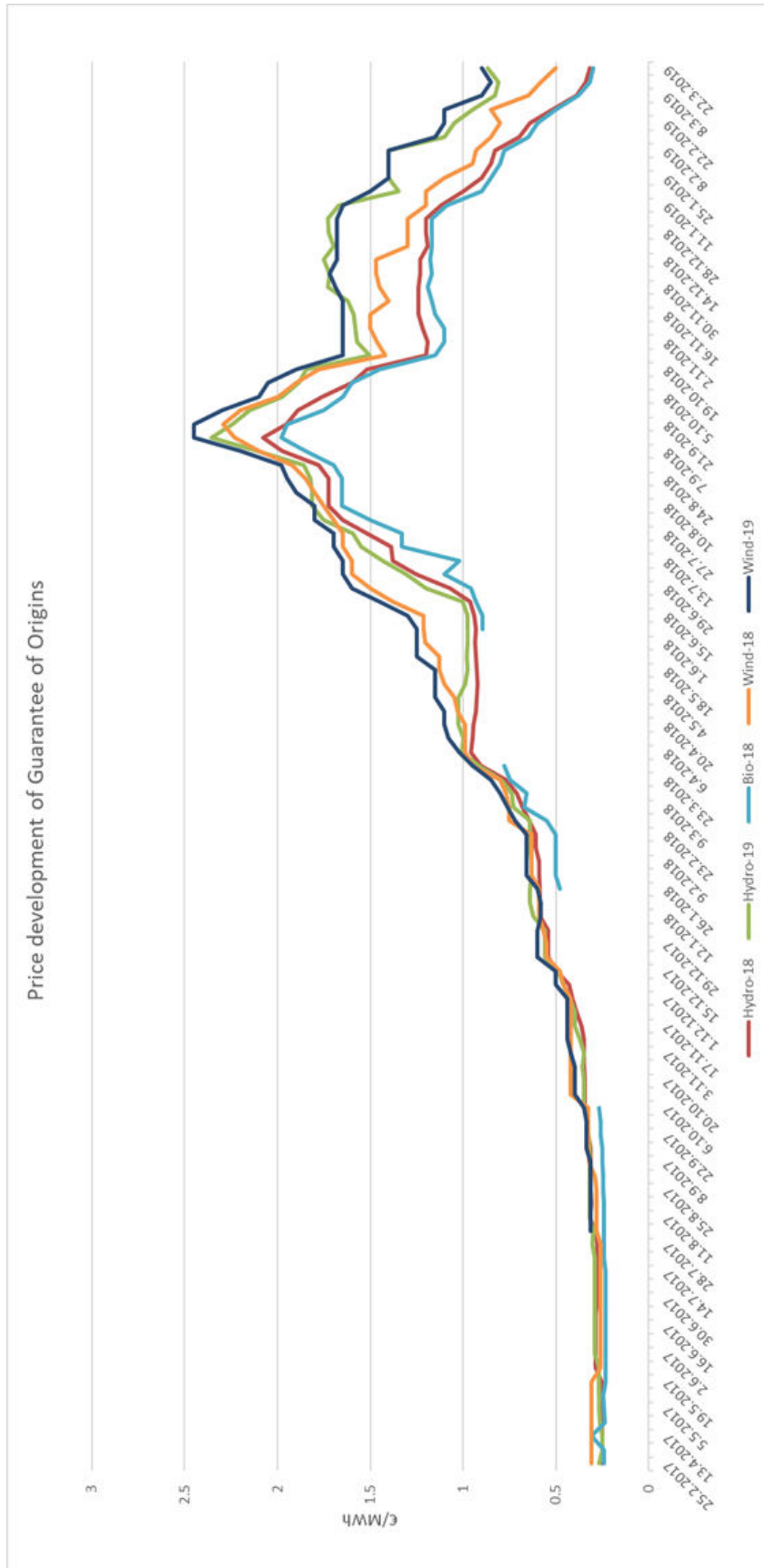
(Auringon kokonaissäteilyenergia eri ilmansuuntiin...N.d.)

Liite 2. Auringon kokonaissäteilyenergia 45 asetetta kallistetulle pinnalle eri ilmansuuntiin suunnattuna vyöhykkeellä 3 (Jyväskylä).

Auringon kokonaissäteilyenergia 45 asetetta kallistetulle pinnalle eri ilmansuuntiin suunnattuna vyöhykkeellä III (Jyväskylä), kWh/m <sup>2</sup>										
Kuukausi	P	Ko	I	Ka	E	Lo	L	Lu		
Tammikuu	5,0	5,0	5,4	8,0	9,7	8,3	5,7	5,0		
Helmikuu	13,6	13,7	22,6	37,9	45,7	37,4	20,9	13,7		
Maaliskuu	36,2	40,0	52,3	72,5	84,5	76,2	58,4	41,0		
Huhtikuu	51,1	69,1	99,8	129,0	137,2	123,8	97,9	66,0		
Toukokuu	84,0	117,7	161,1	190,0	189,7	179,0	156,5	110,2		
Kesäkuu	94,3	116,0	146,3	164,8	163,7	161,8	147,6	111,7		
Heinäkuu	79,8	107,1	143,3	169,2	172,5	164,5	146,2	105,3		
Elokuu	56,9	74,5	104,3	132,8	143,2	134,9	110,7	75,4		
Syyskuu	31,7	41,8	68,8	100,3	113,5	98,6	69,5	40,7		
Lokakuu	14,4	15,6	25,4	40,2	47,6	39,6	24,8	15,4		
Marraskuu	5,8	5,8	7,5	12,2	14,9	12,2	7,4	5,8		
Joulukuu	3,0	3,0	3,2	4,5	5,3	4,4	3,2	3,0		
Koko vuosi	475,8	609,3	839,9	1061,4	1127,3	1040,7	848,8	593,3		

(Auringon kokonaissäteilyenergia 45 asetetta...N.d.)

Liite 3. Alkuperätakuusertifikaattien hintojen kehitys. (Price development of guarantee of origins 2019.)



Liite 4. Kuukausittainen auringon säteilyenergia 2010–2016 (PVGIS 2017.)

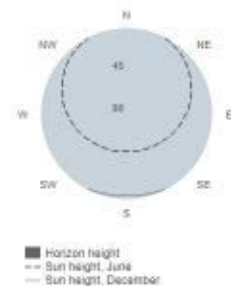


PVGIS-5 geo-temporal irradiation database

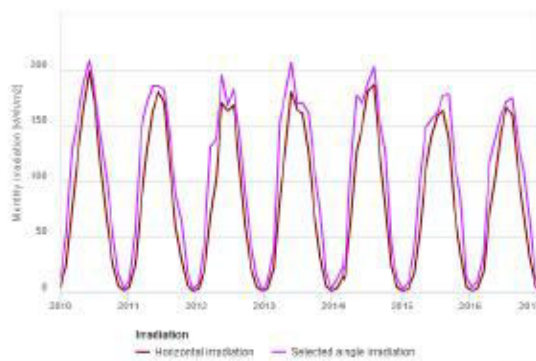
**Provided inputs**  
 Latitude/Longitude: 63.862, 23.053  
 Horizon: Calculated  
 Database used: PVGIS-ERA5  
 Start year: 2010  
 End year: 2016

**Variables included in this report:**  
 Global horizontal irradiation: Yes  
 Direct normal irradiation: No  
 Global irradiation optimum angle: No  
 Global irradiation at 45°: Yes  
 Diffuse/global ratio: No  
 Average temperature: No

Outline of horizon at chosen location:



Monthly solar irradiation estimates



Global horizontal irradiation							
Month	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
January	4.86	4.96	3.61	3.93	4.29	3.34	3.82
February	23.7	25.1	20.4	21	14.1	15.9	17.9
March	73.3	79.9	68	84.4	83.6	55.4	68.2
April	122	127	102	128	126	110	101
May	164	163	170	180	149	140	143
June	198	180	163	164	181	158	166
July	167	170	168	160	166	163	159
August	112	111	115	126	126	138	110
September	66.1	58.5	60.8	71.6	76.6	73.3	70.1
October	27.4	29	22.7	32.2	23.1	35.9	31.2
November	6.31	6.28	5.32	5.69	5.18	5.36	6
December	1.42	1.22	1.22	1.15	1.24	1.24	1.39

Global at user angle							
Month	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
January	11.5	10.7	8.13	10.4	12.3	9.13	9.87
February	50.4	55.3	46.7	38.7	24	37.1	33.8
March	127	146	130	153	113	102	116
April	156	170	138	178	177	148	137
May	187	185	196	206	169	155	159
June	208	185	168	169	188	161	171
July	178	182	182	170	202	177	174
August	138	137	144	161	155	178	136
September	103	87.5	90.2	113	125	117	109
October	55.4	63.9	45.2	73.5	42.9	87.1	64.6
November	16.1	17.4	14.4	17	12.6	13.5	14
December	3.73	3.21	1.7	3.47	3.13	4.27	4.74

The European Commission makes the website in which publications are disseminated available for use by third parties. It provides the necessary technical support, but it is not responsible for any content or for any damage caused by the use of the website. The Commission is not liable for any damage or loss of data or for any delay in the provision of services. The Commission is not liable for any damage or loss of data or for any delay in the provision of services. The Commission is not liable for any damage or loss of data or for any delay in the provision of services.

PVGIS © European Union, 2001-2017. Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged, save where otherwise stated.

Report generated on 2019/04/08



Liite 5. Aurinkosähköjärjestelmän kuukausittainen tuotanto (PVGIS 2017.)



PVGIS-5 estimates of solar electricity generation:

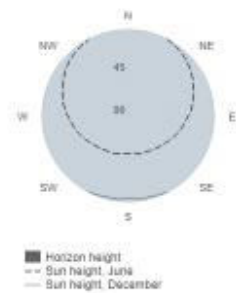
Provided inputs:

Latitude/Longitude: 63.863, 23.057  
 Horizon: Calculated  
 Database used: PVGIS-ERA5  
 PV technology: Crystalline silicon  
 PV installed: 0.15 kWp  
 System loss: 14 %

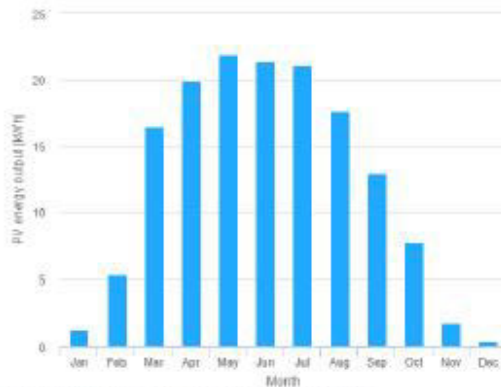
Simulation outputs

Slope angle: 45 °  
 Azimuth angle: 0 °  
 Yearly PV energy production: 148 kWh  
 Yearly in-plane irradiation: 1210 kWh/m<sup>2</sup>  
 Year to year variability: 7.14 %  
 Changes in output due to:  
 Angle of incidence: -2.9 %  
 Spectral effects: ? (0) %  
 Temperature and low irradiance: -2.6 %  
 Total loss: -18.6 %

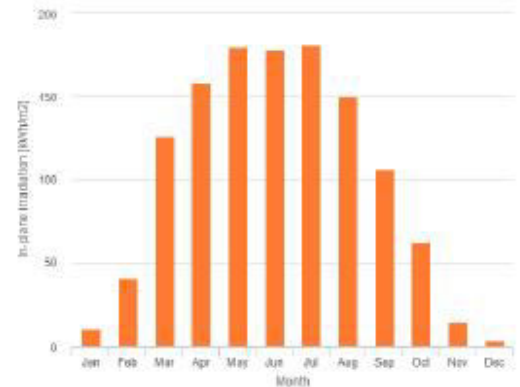
Outline of horizon at chosen location:



Monthly energy output from fix-angle PV system:



Monthly in-plane irradiation for fixed-angle:



Monthly PV energy and solar irradiation

Month	Em	Hm	SDm
January	1.23	10.3	0.199
February	5.33	40.8	1.61
March	16.5	126	2.6
April	19.9	158	2.25
May	21.9	180	2.32
June	21.4	178	2.03
July	21.1	181	1.07
August	17.7	150	1.8
September	12.9	106	1.68
October	7.73	61.8	2.03
November	1.78	15	0.237
December	0.356	3.46	0.132

Em: Average monthly electricity production from the given system [kWh].  
 Hm: Average monthly sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system [kWh/m<sup>2</sup>].  
 SDm: Standard deviation of the monthly electricity production due to year-to-year variation [kWh].

The European Commission makes the website to which this publication is linked available for free access to the public. The Commission is not responsible for any errors or for any consequences arising from the use of the information contained in this publication. The Commission is not responsible for any damage or loss, whether material or immaterial, which may be caused to any person acting in reliance on the information contained in this publication, whether such damage or loss has been caused wholly or in part by the use of the information contained in this publication. The Commission is not responsible for any damage or loss, whether material or immaterial, which may be caused to any person acting in reliance on the information contained in this publication, whether such damage or loss has been caused wholly or in part by the use of the information contained in this publication.

