



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

SARA NURMINEN

Kaukokäytettävän erotinaseman sähkön syöttö aurinkopaneeleilla

SÄHKÖ- JA AUTOMAATIOTEKNIIKAN
TUTKINTO-OHJELMA
2023

TIIVISTELMÄ

Nurminen, Sara: Kaukokäytettävän erotinaseman sähkönsyöttö aurinkopaneeleilla

Opinnäytetyö, AMK

Tutkinto-ohjelma Sähkö- ja automaatiotekniikka

Toukokuu 2023

Sivumäärä: 33 + 3

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin sitä, voidaanko aurinkopaneeleja hyödyntää kaukokäytettävän erotinaseman sähkönsyötössä. Työn toimeksiantaja oli Enersense PN Oy.

Tehtävänä oli selvittää, mitä sähkönsyötön toteuttaminen kaukokäytettävälle erotinasemalle aurinkopaneeleilla vaatisi. Tavoite työssä oli selvittää, onko kyseinen toteutus mahdollista ja kannattavaa tehdä.

Opinnäytetyön tietoperustassa käsiteltiin erottimia, niiden rakennetta, kaukokäytettäviä erotinasemia, aurinkoenergiaa ja aurinkopaneelien toimintaperiaatetta. Työssä käsiteltiin myös asioita, mitkä vaikuttavat auringon säteilyyn ja sen keräämiseen. Työssä perehdyttiin myös auringon säteilyyn Suomessa ja miten esimerkiksi vuodenajat vaikuttavat sen määrään.

Työn lopputuloksena oli se, että aurinkosähköjärjestelmä Suomen olosuhteissa, ei yksistään ole kannattava kaukokäytettävän erotinaseman sähkönsyöttöön. Paneeleilta ja akustolta vaadittava teho nousee niin suureksi, että sitä ei ole järkevä toteuttaa.

Avainsanat: aurinkoenergia, aurinkopaneeli, erotin, erotinasema, kauko-ohjaus

Abstract

Nurminen, Sara: Power for remote usable high-electricity disconnectors by solar panels

Bachelor's thesis

Degree programme Electrical and Automation Engineering

May 2023

Number of pages: 33 + 3

The purpose of this thesis was to find out if it is possible to use solar panels for the power required in remote usable high-electricity disconnectors. The thesis was commissioned by Enersense PN Oy.

The mission was to figure out what it would require to execute the electricity supply to remote usable high-electricity disconnectors by solar panels. The goal was to solve whether this implementation is possible and profitable to do.

In the knowledge foundation of this thesis disconnectors, their structure, remote usable disconnectors, solar energy, and the operating principle of solar panels were addressed. The thesis also addressed various things that can affect solar radiation and its collection. The thesis also viewed solar radiation in Finland and how, for example, seasons affect its amount.

The conclusion was that the solar photovoltaic system in Finland's conditions is not profitable for the electricity supply to remote usable high-electricity disconnectors. The power required from the panels and the battery becomes so large that it is not reasonable to implement it.

Keywords: solar energy, solar panel, disconnector, disconnector station, remote controlling

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	5
2 TOIMEKSIANTAJA	5
2.1 Enersense PN Oy	6
3 SÄHKÖVERKON RAKENNE	6
3.1 Jakelujärjestelmän osat	7
3.2 Sähköasemat	8
4 EROTTIMET	8
4.1 Erottimien rakenne	9
5 EROTINASEMA	12
5.1 Kaukokäytettävä erotinasema	13
6 AURINKOENERGIA	17
6.1 Säteily Maapallolle	17
6.2 Aurinkopaneelit	19
6.2.1 Invertteri	21
6.2.2 Akusto	21
6.3 Auringon energia Suomessa	22
7 PILOTTIKOHDE	25
7.1 Erotinaseman sähköntarve	26
7.2 Järjestelmän mitoitus	26
7.3 Energian saannin varmistaminen	28
8 YHTEENVETO	29
LÄHTEET	32
LIITE 1 JÄRJESTELMÄ HELSINGISSÄ	34
LIITE 2 TARVITTAVA JÄRJESTELMÄ HELSINKI	35
LIITE 3 TARVITTAVA JÄRJESTELMÄ OULU	36

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan mahdollisuutta hyödyntää uusiutuvaa energiaa kaukokäytettävän erotinaseman sähkösyötössä. Uusiutuvaksi energiaksi työhön valikoitui aurinkoenergia. Uusiutuvan energian kysyntä on nyt suuressa kasvussa. Ympäri maailman on tavoitteena päästä eroon fossiilisista polttoaineista. Työni toimeksiantaja on Enersense PN Oy, joka tunnetaan päästöttömien energiaratkaisujen toteuttajana. Tutkimus aurinkoenergian hyödyntämisestä sopi siis hyvin yrityksen arvoihin.

Tällä hetkellä sähkösyöttö kaukokäytettäviin erotinasemiin toteutetaan ulkoisella 0,4kV syötöllä, tehojännitemuuntajalla tai sähköaseman läheisyydessä aseman omakäyttösyötöllä.

Opinnäytetyössä tarkastellaan yleisesti sähköverkon rakennetta ja sen eriosia. Työssä käsitellään tarkemmin erottimia ja niiden rakennetta. Työssä perehdytään aurinkoenergiaan ja siihen mitkä asiat vaikuttavat sen hyödyntämiseen. Käydään myös läpi aurinkopaneelien toimintaperiaatetta.

2 TOIMEKSIANTAJA

Enersense International Oyj on perustettu vuonna 2005 ja yhtiön pääkonttori sijaitsee Porissa. Enersense konsernin liikevaihto vuonna 2021 oli noin 239 milj.€. Yrityksen toimialat ovat teollisuus, rakentaminen, energia ja tietoliikenne. Yritys työllistää 2000 henkilöä. Enersensen liiketoiminta jakaantuu neljään alueeseen: smart industry, power, connectivity ja international operations. (Enersensen www-sivut 2023a).

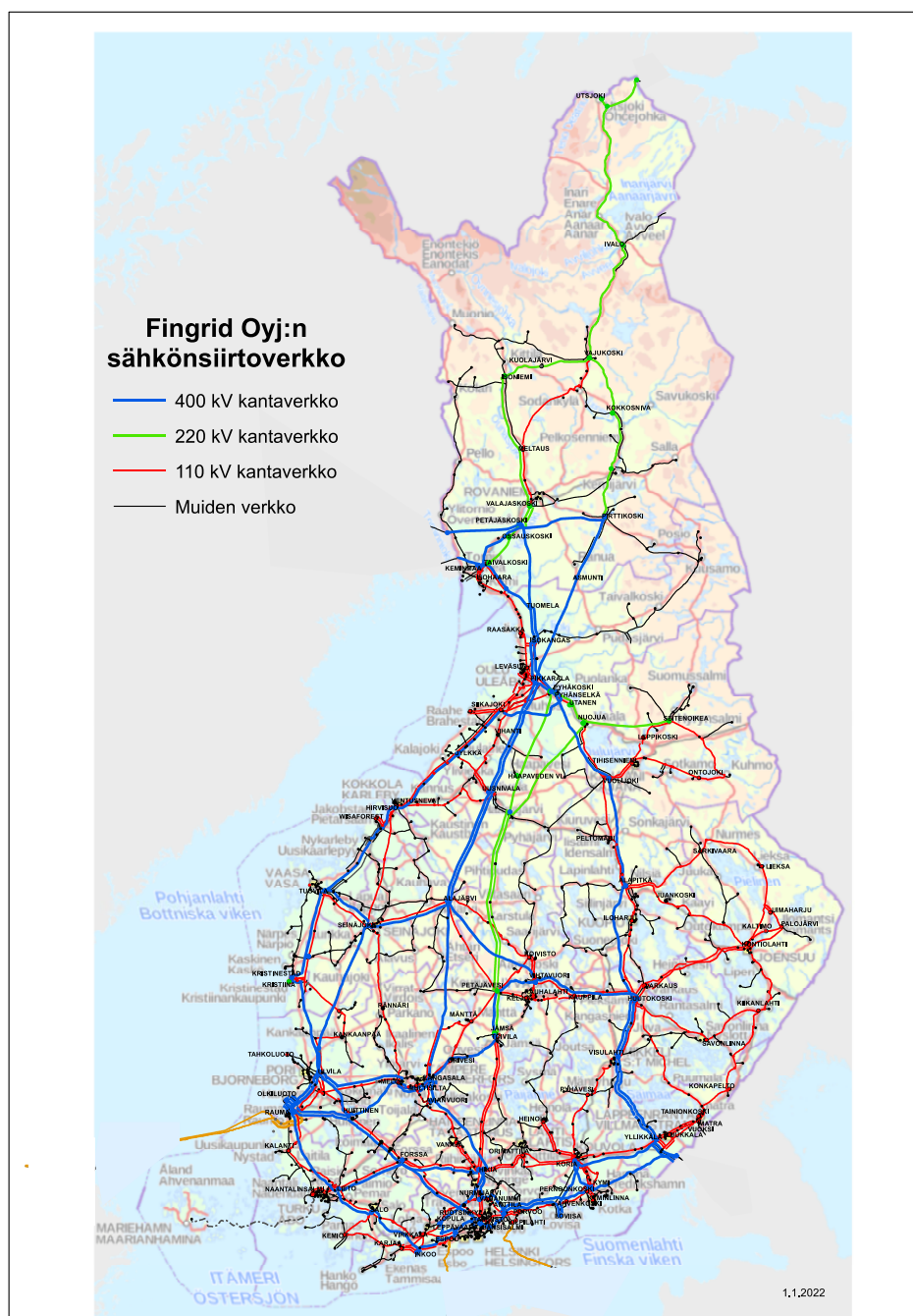
2.1 Enersense PN Oy

Toimeksiantaja työlle on Enersense International Oyj:n tytäryhtiö Enersense PN Oy. Enersense PN Oy:n liikevaihto vuonna 2021 oli 49,23 milj. € (Finder www-sivut 2023). Toimipaikkana on Enersense PN Oy Harjavallan toimipiste. Tässä työssä toiminta painottuu Power yksikköön. Power yksikön tärkeimmät tuotteet ovat voimansiirtoverkkojen, sähköasemien ja tuulipuistojen suunnittelu- ja asiantuntijapalvelut, niiden rakentaminen ja luotettava kunnossapito. Yritys myös tarjoaa sähköautojen latausratkaisuja aina aseman asentamiseen asti. (Enersensen www-sivut 2023b).

3 SÄHKÖVERKON RAKENNE

Sähkönjakelujärjestelmän tehtävä on siirtää sähkö, joka tulee sähkövoimansiirtojärjestelmästä tai jakeluverkkoon liitetyistä voimalaitoksista sähkön loppukäyttäjille. Suomen jakelujärjestelmään sisältyy noin 800 sähköasemaa, 150 000 km keskijännitejohtoa, 100 000 jakelumuuntamoja ja 200 000 km pienjännitejohtoa. (Lakervi & Partanen 2008,11). Vuonna 2020 Fingridin hallinnoimaan Suomen kantaverkkoon kuului 5100 km 400kV voimajohtoja, 1300 km 220kV voimajohtoja, 7300 km 110kV voimajohtoja ja 116 sähköasemaa. Fingrid on suomalainen kantaverkkoyhtiö, joka vastaa kantaverkon toiminnasta. Fingrid huolehtii kantaverkon valvonnasta, ylläpidosta, käytön suunnittelusta, rakentamisesta ja kehittämisestä. (Fingridin www-sivut 2023).

Suomi kuuluu myös osaksi pohjoismaista sähköjärjestelmää Ruotsin, Norjan ja Itä-Tanskan kanssa. Pohjoismaiden järjestelmä on myös yhdistetty tasasähköyhteyksillä Venäjän, Baltian ja Keski-Euroopan järjestelmiin. Suurjännitetasavirtakaapelia Fingridillä on vastapuolien kanssa 216 km 400-500kV johtoja ja 53 km 150kV johtoja. (Fingridin www-sivut 2023). Kuvassa 1. näkyy Fingridin sähkönsiirtoverkko vuodelta 2022.



Kuva 1. Fingrid Oyj:n sähkönsiirtoverkko 2022 (Fingridin www-sivut 2023).

3.1 Jakelujärjestelmän osat

Sähkönjakelujärjestelmä Suomessa koostuu kantaverkosta, voimalaitoksista, sähköasemista, keskijänniteverkosta, jakelumuuntamoista, pienjänniteverkosta ja kuluttajista. Suomessa on käytössä viisi eri jännitetasoa, 400kV, 220kV, 110kV, 20kV, 0,4kV. (Fingridin www-sivut 2023). Tuulivoimaloiden tuottaman sähkön siirrossa käytetään myös 33kV jännitetasoa. Eri

jännitetasoja käytetään siksi, koska niillä on eri sähkötekniinen siirtokyky. Mitä isompi jännite sen suurempi sähkön siirtokyky. Sähkönjakelujärjestelmään kuuluu myös sähköasemilla sijaitsevat laitteet, kuten suojareleet, apujännitejärjestelmät ja käytönvalvontajärjestelmät. (Lakervi & Partanen 2008, 11,70).

3.2 Sähköasemat

Sähköasema on sähkön siirto- ja jakeluverkon solmukohta, jossa voidaan muuntaa jännitettä, tehdä kytkentöjä ja jakaa sähkön siirtoa eri johdoille. Sähköasema voi olla joko kytkinasema tai muuntoasema (Elovaara & Haarla 2011, 76, 96). Tyypillisiä muuntoasemia ovat 400/110kV, 110/20kV ja nyt tuulivoimailoitten myötä 110/33kV. Sähköasema on yleiskäsite ja se voi olla laaja rakennelma, jossa on muuntajia, kytkin- ja suojalaitteita tai se voi olla yksinkertainen yhden tai useamman erottimen sisältävä pylväserotinasema (SFS-Käsikirja 601,139). Sähköasemat ovat tärkeimpiä yksittäisiä osia jakeluverkossa. Niiden mukaan pitkälti määräytyy keskijännitejohtojen mitoitus ja pituudet. Sähköasemat ovat monipuolisia jakelukeskuksia. Asemalla on suurin osa verkon automaatiosta ja suojareleistä. (Lakervi & Partanen 2008, 119).

Sähköasema koostuu suur- ja keskijännitekytkinlaitoksista, yhdestä tai useammasta päämuuntajasta ja apujännitejärjestelmästä. Haja-asutusalueilla kytkinlaitokset ovat yleensä ilmaeristeisiä, kun taas taajamissa kytkinlaitokset ovat monesti SF₆-kaasueristeisiä tila- ja ulkonäkösyistä. Muuntaja on kallein komponentti sähköasemalla. Muuntajan pääsuojina toimivat ylivirtarele ja differentiaalirele. (Lakervi & Partanen 2008, 119, 121). Muita tärkeimpiä laitteita sähköasemalla ovat katkaisijat, erottimet ja mittamuuntajat.

4 EROTTIMET

Erottimet ovat yksiä tärkeimmistä kytkinlaitteista suurjännitteen jakelussa ja siirrossa. Erottimia käytetään turvallisen avausvälin muodostamiseen

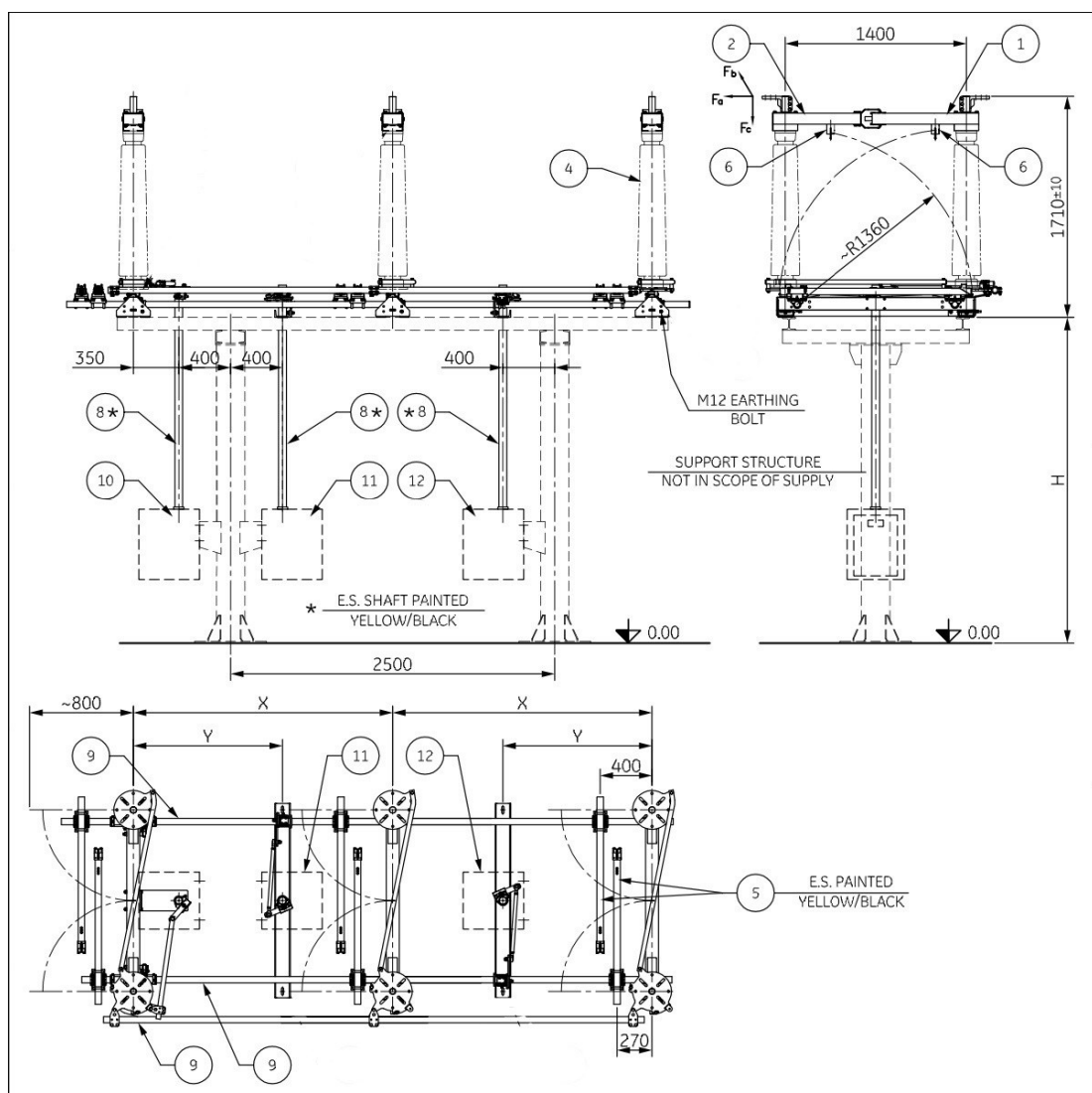
erotettavan virtapiirin ja muun laitoksen välille. Eli erotin pitää kaksi verkon osaa sähköisesti erillään toisistaan. Erottimen tehtävä on saada jokin osa jännitteettömäksi, jotta voidaan työskennellä turvallisesti. Näiden käyttötarkoitusten vuoksi erottimen avausvälin on oltava ehdottoman luotettava. Edellytyksenä on, että erottimen avausvälin tulee olla näkyvä tai erottimessa tulee olla mekaaninen asennonosoitus. Avausvälin jännitelujuuden on myös oltava suurempi kuin muun ympärillä olevan eristyksen. (Elovaara & Haarla 2011, 190). Erottimia voidaan hyödyntää ohituskytkennöissä, jolloin mahdollistetaan keskeytyksetön käyttö. Erottimien yhteyteen asennetaan yleensä maadoituskytkin, jolla voidaan maadoittaa työnaikainen verkon jännitteetön osa. (Kuosa 2007, 29). Näin tekemällä voidaan estää vikavirtojen ja indusoituneiden jännitteiden vaaralliset vaikutukset, kun verkossa työskennellään. (Elovaara & Haarla 2011, 190).

Erotrin tulee olla lukittavissa auki- ja kiinniasentoihin, jotta voidaan estää sen vaaraa aiheuttava käyttö. Kiinni-asennossa erottimelta vaaditaan kyky johtaa kuormitus- ja oikosulkuvirrat. Erottimilta ei vaadita virran katkaisu- tai sulkemiskykyä, kuten katkaisijoilta, koska erottimia ei ole tarkoitettu avaamaan tai sulkemaan kuormitettua virtapiiriä. Erottimia voidaan kuitenkin käyttää kuormanerottimina, jotka pystyvät normaalin toiminnan lisäksi katkaisemaan melko suuria kuormitusvirtoja ja kytkemään pieniä oikosulkuvirtoja. Kuormanerottimia käytetään keskijänniteverkossa, kun erotetaan kuormitusvirrallisia verkon osia tai kun erotetaan iso kuormittamaton muuntaja tai kaapeliverkko. Suomessa erottimille on yleisenä lisävaatimuksena kyky murtaa jopa 20 mm jääkerros kiinni- ja aukiohjauksessa. (Elovaara & Haarla 2011, 190, 191).

4.1 Erottimien rakenne

Erottimen pääosat ovat ohjain, eristimet, voimansiirto ja virtatiet. Ohjaimen tarkoitus on tuottaa liike-energia voimansiirrolle aina kosketinvarsiin asti. Moottoriohjaimet toimivat yleensä 110V tai 220V tasasähköllä. Erottimet voivat olla, joko moottori- tai käsiohjattuja. Syrjäisimmissä paikoissa ei välttämättä ole mahdollisuutta moottoriohjaimen tarvitsemalle apusähkölle, jolloin käytetään

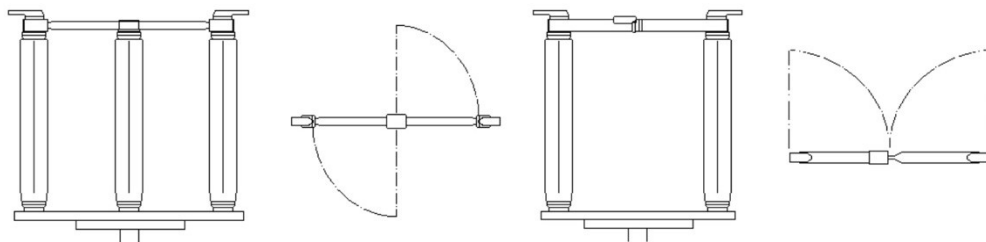
käsiohjausta. (Kuosa 2007, 31, 32). Käsiohjaus tehdään usein eristävällä tangolla tai kiinteällä käsiohjaustangolla ja vivulla. Moottoriohjatuissa erottimissa on mahdollisuus kauko-, paikallis-, ja käsiohjaukseen. Liikkuvat veitset ja kiinteät koskettimet ovat erottimen virtaa kuljettavat osat. Erottimien eristimien valmistusmateriaaleina käytetään valuhartsia, posliinia ja silikonipäällysteisiä komposiittimateriaaleja. Valuhartsisia erottimia käytetään usein keskijänniteverkossa. Muista materiaaleista valmistettuja erottimia käytetään 110kV ja sitä suurempien jännitteiden verkoissa. (Elovaara & Haarla 2011, 193, 197). Kuvas-
sassa 2. näkyy tarkemmin erottimen rakenne.



Kuva 2. Erottimen rakenne (GE Grid Solutions 2018, muokattu).

1 ja 2 ovat kosketinvarret (erottimen liikkuvat osat), 4 on tukieristin, 5 on maadoitusveitset/-kytkimet, 6 on maadoituskytkimen kiinteä kosketin, 8 ja 9 ovat pysty- ja vaakasuora voimansiirto ja 10, 11 ja 12 ovat erottimien ohjaimet.

Erottimet ovat yleensä yksi- tai kolmenapaisia. Erotintyyppit on lajiteltu koskettimien liikkumissuunnan ja tukieristimien lukumäärän mukaan. Tämä lajittelu ei kuitenkaan ole standardoitu ja nimitykset saattavat siksi vaihdella valmistajien kesken. Yleisin erotintyyppi on kiertoerotin, joka on kaksipilarinen ja liikkuu vaakatasossa. Kiertoerotin on tyypillinen kytkinlaitoksissa, joissa on tarve erottimien rinnakkain asennukselle. Jos vaiheväli on pienempi, käytetään kolmipilarista kiertoerotinta. Kuva 3. havainnollistaa 3- ja 2-pilaristen kiertoerottimien toimintaperiaatetta. (Elovaara & Haarla 2011, 193).



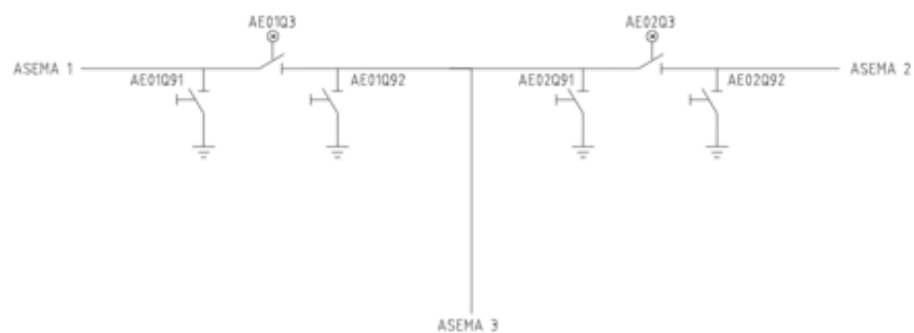
Kuva 3. Kiertoerottimen toimintaperiaate. (Kuosa 2007, 30).

Toinen yleinen erotintyyppi on tartuntaerottimet. Niiden etu on pieni asennuspinta-ala, mutta niiden rakenne on monimutkaisempi kuin kiertoerottimien ja hinta kalliimpi. Tartuntaerottimet jaetaan vielä suoravartisiin-, polvi- ja saksierottimiin. Suoravartisen tartuntaerottimen kosketinvarret liikkuvat sarana-
maisesti pystysuunnassa. Polvierotin liikkuu suorassa linjassa, joko vaaka- tai pystysuunnassa taipuen keskeltä. Saksierottimen kosketinvarret liikkuvat pystysuorassa linjassa saksimaisesti. (Kuosa 2007, 30).

5 EROTINASEMA

Erotinasemat voivat olla yhden, kahden tai kolmen erottimen asemia. Kuvassa 4. on esitetty yleinen kahden erottimen erotinaseman pääkaavio. Erottimien AE01Q3 ja AE02Q3 lisäksi on neljä maadoituskytkintä. Kuvassa 5. erään erotinaseman yksi erotin ja kaksi maadoituskytkintä. Maadoituskytkimet erottaa hyvin keltamustan värin takia.

EROTINASEMA



Kuva 4. Erotinaseman pääkaavio



Kuva 5. Erotinaseman erotin ja maadoituskytkimet.

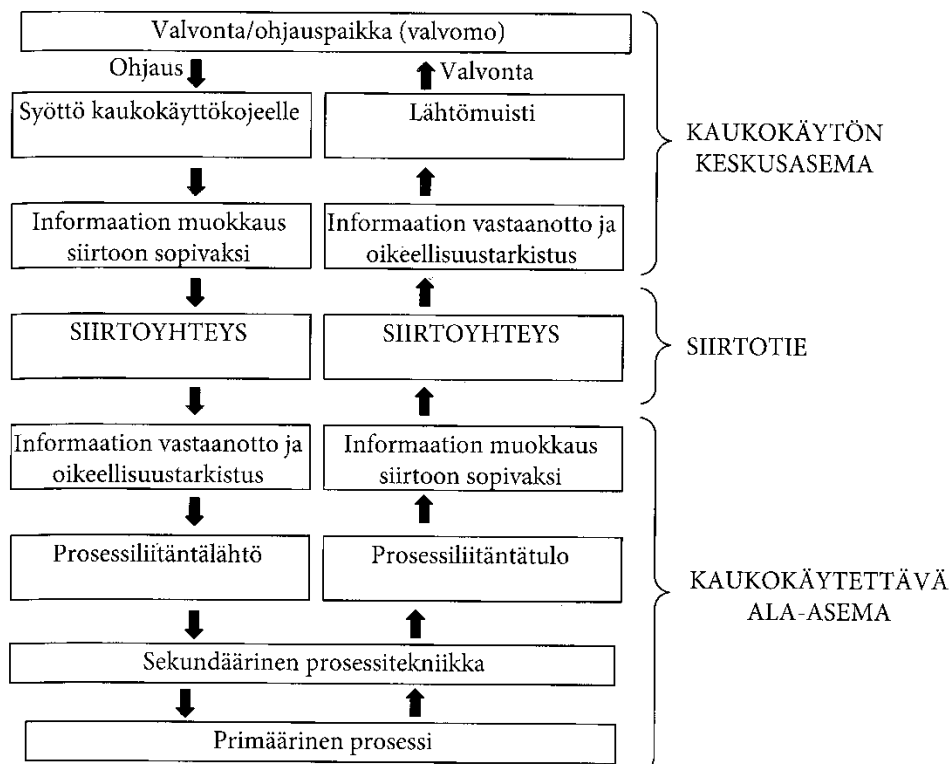
Erotinaseman sähkönsyötön toteuttamiseen on muutamia vaihtoehtoja. Asemalle voi tulla ulkoinen sähkönsyöttö 0,4kV, kuten esimerkiksi asuntoihin. Asemalla voi myös olla tehojännitemuuntaja, joka liitetään 110kV voimajohtoon. Yleinen tehojännitemuuntaja tällaisessa käytössä on yksivaihemuuntaja. Tämän syötön huonona puolena on se, että kun kyseinen 110kV voimajohto on erotettuna verkosta, niin erotinasema on ilman sähköä. Jotkin erotinasemat ovat sähköaseman yhteydessä, jolloin erotinaseman sähkönsyöttö tulee sähköaseman omakäyttösyötöstä.

5.1 Kaukokäytettävä erotinasema

Kaukokäytettäviä erotinasemia käytetään usein verkon haarakohdissa ja jakorajoilla. Kaukokäytetyillä erottimilla voidaan vähentää vikojen aiheuttamaa keskeytystä loppukäyttäjälle. Kauko-ohjaus nopeuttaa vikapaikan erottamista ja varayhteyksien kytkemistä. Vaikka kaukokäytettävä erotinasema ei suoraan lisää verkon siirtokykyä, sillä voidaan välillisesti saada verkkoon lisää

siirtokapasiteettia, koska pahoissa häiriötilanteissa voidaan kauko-ohjausta käyttäen toteuttaa hyvinkin monimutkaisia varayhteysjärjestelyjä. Tämä auttaa vähentämään investointitarpeita. (Lakervi & Partanen 2008, 151,152).

Kaukokäyttöjärjestelmän rakenne voi olla piste-pisteverkko, linjaverkko, tähti-verkko, sekaverkko, rengasverkko tai silmukkaverkko. Se millaista rakennetta käytetään, riippuu kohteiden sijainnista, käytettävyydestä, turvallisuusvaatimuksista, ajasta, joka on käytettävissä ja siitä miten paljon tietoa siirretään. Tähti- ja linjaverkkoja käytetään pienissä verkoissa ja rengas- ja silmukkaverkkoja suuremmissa verkoissa. Kaukokäyttöjärjestelmän tehtävistä muodostuu monitasoinen järjestelmä. Kuva 6. kuvaa kaukokäyttöjärjestelmän toimintaa. Järjestelmä toimii reaaliajassa, jolloin käyttäjä on koko ajan selvillä sen tilasta. Itse kaukokäyttölaitteessa tapahtuu näytteenottaminen, signaalin valitseminen, kanavointi, koodaus ja osoitteenmuodostaminen. (Elovaara & Haarla 2011, 392, 393).



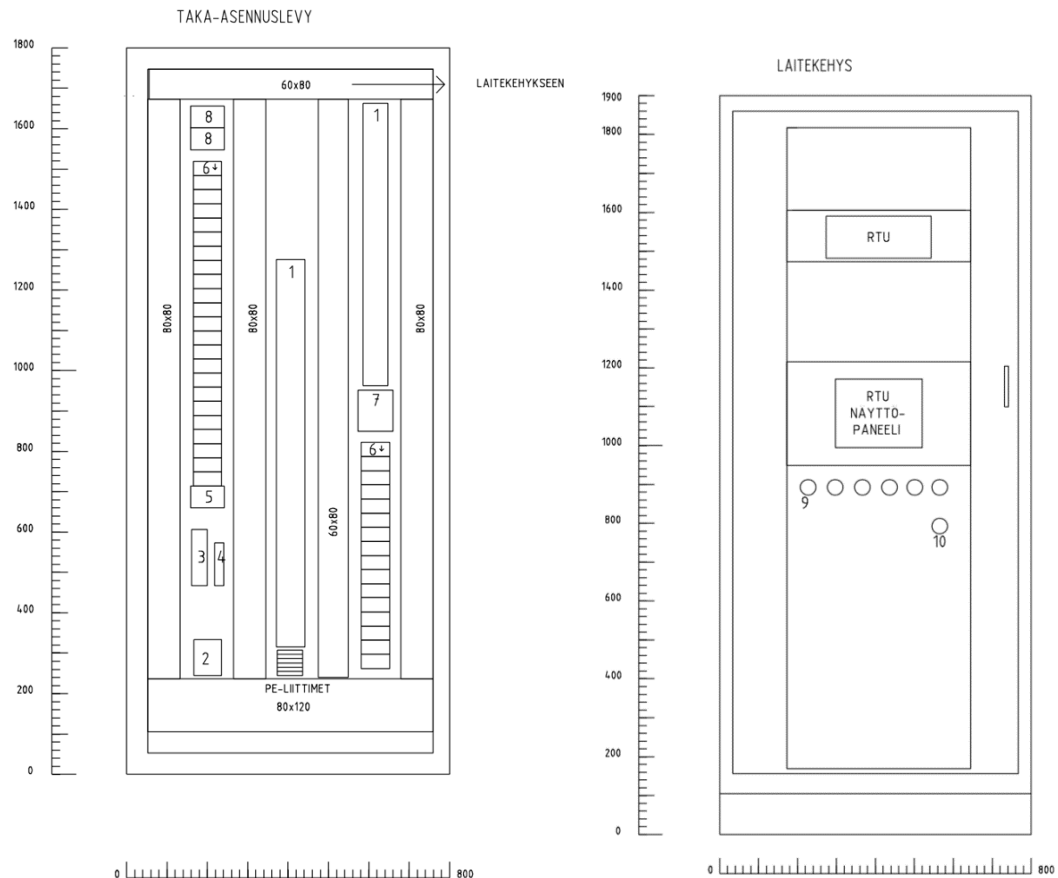
Kuva 6. Kaukokäyttöjärjestelmän toimintakaavio (Elovaara & Haarla 2011, 393).

Ohjauskäskyjen tulee kulkea perille nopeasti ja luotettavasti, joka asettaa korkeat vaatimukset tiedonsiirrolle ja kaukokäyttöjärjestelmän tietoliikenneohjelmille. Kaukokäyttöjärjestelmät toteutetaan niin, että tiedonsiirto toimii kaksisuuntaisesti. Siirrettävät tiedot voidaan jakaa mittauksiin, ohjauksiin, hälytyksiin ja ilmoituksiin. Ohjaus ja hälytys informaatiot ovat binäärisiä ja mittaustiedot ovat analogisia. Ohjauksiin kuuluu esimerkiksi erottimien ja katkaisijoiden ohjaukset. Ohjauksilla on usein isoin prioriteetti ja käskyn perillemeno vahvistetaan erilaisilla ilmoituksilla. Ohjaukset ovat yleensä yhdessä tilatietojen kanssa siten, että ohjauksen tekijä on tietoinen ohjattavan laitteen asennosta. Erottimien asennonosoituksissa käytetään kaksinapaista koodausta, jolloin saadaan myös tieto oikosulusta ja johdinkatkoksesta. Mittauksien analogisia tietoja varten tarvitaan jokaiselle mitattavalle asialle mitta-arvonmuunnin. Hälytystietojen avulla pystytään nopeuttamaan vikojen korjaamista. Hälytyksiä yhdistellään ala-asematasolla, jottei liian monet hälytykset vikatilanteessa hidasta varsinaisen häiriönaiheuttajan löytymistä. (Elovaara & Haarla 2011, 393–395).

Jotta erotinasema voi olla kaukokäytettävä erottimien tulee olla moottoriohjattuja. Erottimien ohjainkotelon sisältää moottorin, pyörästön, riviliittimet, apukoskettimet, kuivausvastuksen ja lukitusmekanismien. Ohjauskäsky tuodaan riviliittimiin kaukokäytön ala-asemalta tai painonapilta. Apukoskettimien kautta kulkee erottimien tilatiedot ala-asemalle ja paikallisvalvomoon. Kuivausvastus estää kosteuden kertymistä ohjainkoteloon. Kuivausvastus toimii 230V vaihtosähköllä. Lukitus estää virhekytkennät asemalle ohjelmoitujen lukitusehtojen mukaisesti. Lukituskela on tärkein osa lukitusmekanismia, se toimii sähkömagneettina ja ohjaa lukituksen liikkuvia osia. (Kuosa 2007, 3). Kaukokäytettävillä erotinasemilla on myös usein akusto, jonka kapasiteetti voi olla esimerkiksi 38Ah.

Kaukokäytettävillä erotinasemilla on joko rele- tai jakokaappi, jossa sijaitsee kaikki kaukokäyttölaitteet. Itse kaappi sijaitsee isomman kopin sisällä, josta löytyy lisäksi akusto, varaaja, tasasuuntaaja ja johdonsuojakatkaisijat. Kuva 7. havainnollistaa miltä kaukokäytettävän erotinaseman relekaappi voi näyttää. RTU (Remote terminal unit = kaukokäytön ala-asema) johdotetaan riviliittimille.

RTU:n näyttöpaneelista voi nähdä aseman pääkaavion ja tehdä paikallisohjauksia. Tilatiedoille, ohjauksille ja lukituksille on omat apureleensä. Hälytyksille on myös omat releensä. Jännitteen ja ulkolämpötilan mittauksia varten on mitta-arvonmuuntimet. Tietoliikennelaitetta käytetään tiedon siirtämiseen.



Kuva 7. Kaukokäyttökaappi layout

1. Riviliittimet
2. Lämmitysvastus
3. Tietoliikennelaite
4. Tietoliikennelaitteen teholähde
5. Kippirele
6. Apureleet
7. Hälytysvälireleet
8. Mitta-arvonmuunnin
9. Painonapit
10. Merkkivalo

6 AURINKOENERGIA

Uusiutuvan energian kysyntä on isossa kasvussa koko ajan. Maailman tilanteen vuoksi kasvu vain kiihtyy. Ilmastomuutoksen hidastamiseksi tavoitellaan hiilineutraaliutta ja yritetään päästä eroon fossiilisista polttoaineista. Kaikessa yritetään löytää uusia mahdollisuuksia hyödyntää uusiutuvaa energiaa. Myös pula energiasta on saanut etsimään vaihtoehtoisia tapoja tuottaa sitä. Aurinkoenergia on uusiutuvan energian saralla kasvavin sähköntuotantomuoto (Vakkuri 2020). Aurinkopaneelin elinikä voi olla jopa 30–40 vuotta ja niiden käyttökustannukset on vähäiset muihin energiamuotoihin verrattuna. Aurinkoenergian tuottaminen tarvitsee vain auringonpaisteen. Säteilyenergian voi lisäksi hyödyntää joko lämpö- tai sähköenergiana. (Perälä 2017, 17). Aurinkoenergian muita isoja etuja on, että sen teho vastaa hyvin huippukuormitusvaatimukseen, sillä on suuri tehokapasiteetti painoyksikköä kohden, aurinkokennien rakennelma on usein paikallaan ja kevyen painonsa vuoksi se on myös helposti liikuteltavissa, joten siitä ei koidu melua ja paikallaan olon vuoksi myös huollon tarve on vähäisempää. (Patel 1999, 18).

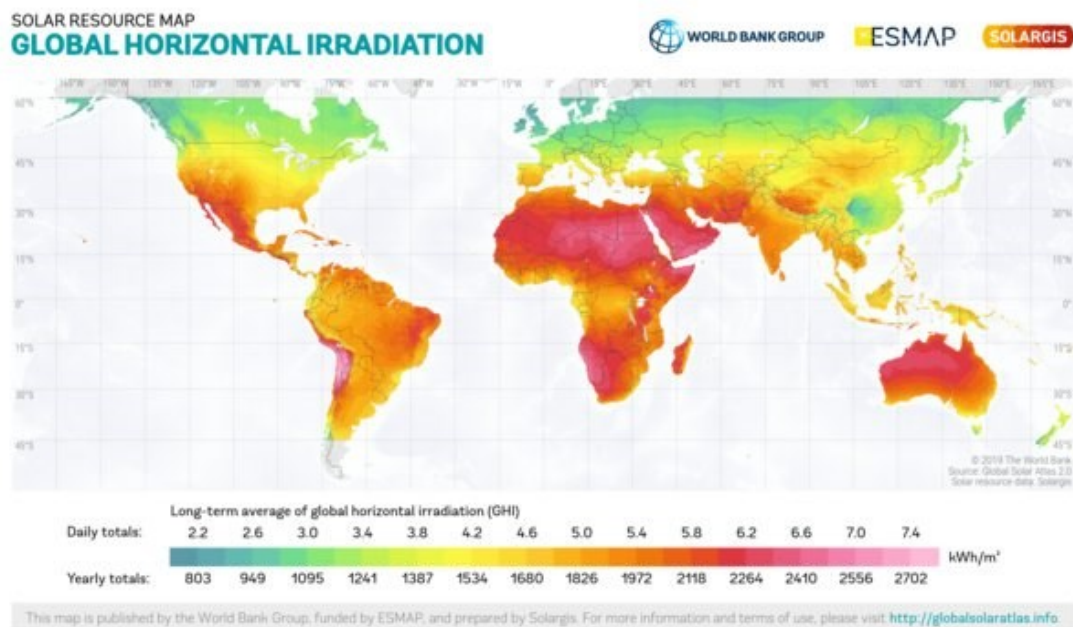
Auringosta saatava energia perustuu fuusioreaktioon, jossa kaksi vetyatomia yhtyy yhdeksi helium atomiksi. Ytimessä tapahtuva fuusioreaktio vapauttaa valtavan määrän energiaa. Vapautuvan energian vuoksi Auringon kokonais-teho on $3,8 \times 10^{23}$ kW. Maapallolle tästä määrästä päätyy $1,7 \times 10^{14}$ kW. Tämä teho on 10 000 kertainen siihen energiaan, jota koko ihmiskunta käyttää vuodessa. Maapallolle tulevasta säteilystä 30 % heijastuu takaisin avaruuteen. (Erat ym. 2016, 11–13). Vaikka osa säteilystä menetetään, tulee energiaa niin paljon, että sillä saisi yli 6000 kertaista katettua maailman nykyisen energiankulutuksen (Perälä 2017, 8). Tämänhetkinen sähkön kulutus Suomessa on vuodessa noin 85TWh (Välimäki 2022).

6.1 Säteily Maapallolle

Vaikka Aurinko säteilee valtavan määrän energiaa, emme pysty kaikkea kuitenkaan hyödyntämään. Käsitellään seuraavaksi muutamia seikkoja, jotka

vaikuttavat kerättävissä olevan säteilyn määrään. Aurinkovakio on arvo, joka kertoo auringonsäteilyn tehon neliömetrin kokoiselle pinnalle ilmakehän ulkopuolella. Aurinkovakio on noin 1,35–1,39kW. Aurinkovakion ollessa keskimäärin 1,368kW/m² ilmakehän ulkopuolella saadaan maanpinnalle noin 1kW/m². (Erat ym. 2016, 13). Maanpinnalle tuleva säteily voidaan ilmakehän vaikutuksesta jakaa kolmeen ryhmään: suora auringonsäteily maanpinnalle, hajasäteily, eli säteily on siroutunut tai muuttanut suuntaa ilmakehässä ja heijastunut säteily maanpinnasta. (Erat ym. 2016, 28).

Maahan tulevan säteilyn määrä riippuu säätiloista, esimerkiksi pilvet ja sateet heikentää säteilyn määrää. Säteilyn määrään vaikuttaa myös oleellisesti se missä päin maapalloa on. Päiväntasaajan molemmilla puolilla säteily on runsasta, koska aurinko paistaa sinne lähes kohtisuorassa. Liikuttaessa pois päiväntasaajalta aurinko paistaa loivemmassa kulmassa ja kulkee pidemmän matkan ilmamassan läpi, jolloin energian määrä on pienempi. (Perälä 2017, 18). Kuva 8. havainnollistaa säteilyn määrää maapallon eri osissa.

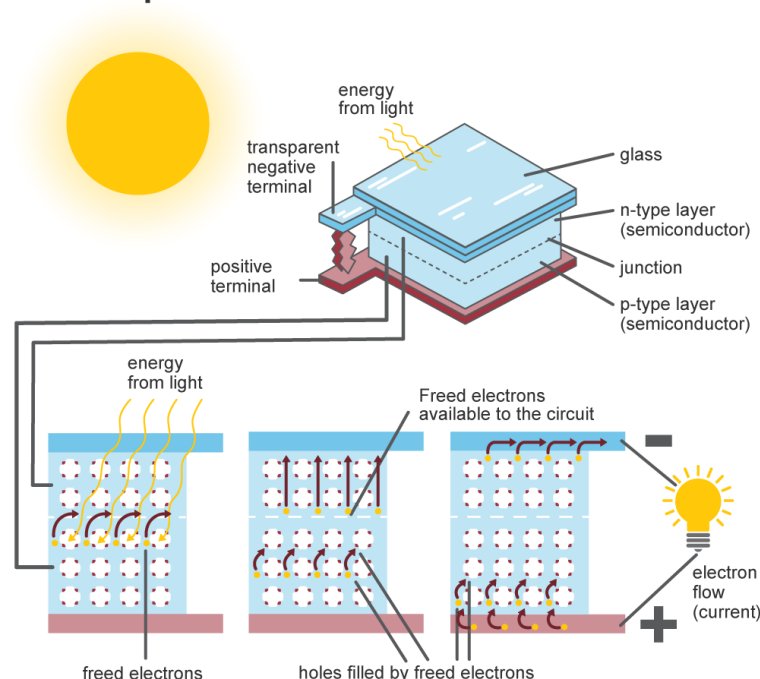


Kuva 8. Maailman säteilymäärä (Solargis 2020).

6.2 Aurinkopaneelit

Valosähköilmiössä kehitty sähköinen potentiaali, kun kahden eri materiaalin välinen liitoskohta valaistaan fotonien säteilyllä. (Patel 1999, 125). Auringonvalo koostuu fotoneista, jotka sisältävät vaihtelevia määriä energiaa. Auringonvalon osuessa kennoon, osa fotoneista imeytyy puolijohdemateriaaliin, josta kenno on valmistettu. Kun puolijohdemateriaali on saanut riittävästi auringonvaloa, elektronit irtoavat materiaalin atomeista. Negatiivista varausta kantavien elektronien liike kennon yläpintaa kohti aiheuttaa epätasapainon sähkövarauksessa kennon ylä- ja alapinnan välillä. Epätasapaino kennossa luo jännitepotentiaalin ja kun johtimet kytketään sähköpiirissä ulkoiseen kuormaan, kuten esimerkiksi akkuun, sähkö alkaa virrata piirissä. (U.S. Energy Information Administration 2022). Kuvassa 9. havainnollistetaan aurinkokennon rakennetta ja toimintaa.

Inside a photovoltaic cell



Source: U.S. Energy Information Administration

Kuva 9. Aurinkokennon toiminta (U.S. Energy Information Administration 2022).

Aurinkokennoista tehdään aurinkopaneeleja kytkemällä kennoja tarvittava määrä sarjaan ja laittamalla ne vierekkäin alustalevyille. Kennojen päälle

laitetaan suojaksi lasilevy. Aurinkopaneeleita valmistetaan joko piikidekennoista tai ohutkalvokennoista. Piikidepaneeleja valmistetaan yksi- ja monikiteisinä. Yksikiteisestä piistä valmistettujen kennojen ja paneelien hyötysuhde on parempi kuin monikiteisten. Ohutkalvokennojen valmistusmateriaaleja ovat amorfinen pii, kadmium, telluuri, kupari, indium, gallium ja seleeni. Ohutkalvokennojen hyötysuhde on huonompi kuin kiteisten kennojen ja myös niiden elinikä on kiteisiä kennoja huomattavasti lyhyempi. (Perälä 2017, 43). Aurinkokennojen hyötysuhde ilmaisee, miten paljon auringon säteilystä kenno pystyy muuttamaan sähköksi. Aurinkopaneelin hyötysuhde lasketaan jakamalla nimellisteho paneelin pinta-alalla ja standarditestiolosuhteiden säteilymäärällä. (Erat ym. 2016, 142). Piikidepaneeleiden hyötysuhteet ovat noin 13–20 % ja sähköntuotannon vähenemä on noin 0,5 % vuodessa. (ST-Käsikirja 40 2021, 12, 70).

Yksi aurinkokenno tuottaa noin 0,6V jännitteen ja tehokkaassa auringonpisteessä virtaa saadaan noin 35mA/cm². Normaali kenno, joka on 156 mm x 156 mm tuottaa siis noin 8,5A. Tavallisessa paneelissa on 36 kennoa kytketty sarjaan ja siitä saadaan yli 20V jännite. Tällaisen paneelin tehoarvo on 150 Wp. (Perälä 2017, 42, 46). Paneelien nimellisteho ilmoitetaan piikkiwatteina (Wp), joka ilmaisee paneelien tehon standarditestiolosuhteissa. Suomessa nämä olosuhteet voivat täyttyä keväällä tai syksyllä, jos on kirkas ja kylmä päivä. Kun kennojen lämpötila nousee yli 25°C, joka on standarditestiolosuhteiden lämpötila, laskee paneelin teho ja jännite noin 0,4 % jokaista astetta kohti. Matalammassa lämpötilassa teho kasvaa. (Erat ym. 2016, 138, 140).

Aurinkosähköjärjestelmän tehoa voi nostaa lisäämällä paneelien määrää. Paneelit voidaan kytkeä rinnan tai sarjaan. Sarjassa olevien paneelien tulee saada saman verran säteilyä, muussa tapauksessa pienivirtaisin määrää koko ketjun virran. Rinnakkain olevissa paneeleissa tulee olla sama määrä kennoja, jotta paneelit tuottavat saman jännitteen. Aurinkosähköjärjestelmä tulee aina mitoittaa suuremmaksi kuin kulutus, koska osa sähköstä menee häviöihin. (Perälä 2017, 52, 85).

6.2.1 Invertteri

Aurinkosähköjärjestelmän pääkomponentteja ovat aurinkopaneelit ja invertteri eli vaihtosuuntaaja. Aurinkopaneelien tuottama sähkö on tasasähköä ja invertterillä sähkö muutetaan vaihtosähköksi. Inverttereitä on yksi- ja kolmevaiheisia. Alle 3kWp aurinkosähköjärjestelmiin yksivaiheinen invertteri on ainoa vaihtoehto, kolmivaiheisten invertterien kokonaistehon suuruuden vuoksi. Invertteri ei vaadi paljon huoltoa, mutta sen elinikä on lyhyempi kuin itse paneelien. Akkuun liitettävien inverttereiden elinikä voi olla lyhyempi kuin verkkoon kytkettyjen inverttereiden. Siihen vaikuttaa esimerkiksi invertterin laatu ja siihen kytketyt kuormat. (Erat ym. 2016, 144). Verkkoon liitetyn invertterin tulee täyttää verkkoyhtiön vaatimukset, jotta muiden verkkoon liitettyjen laitteiden toiminta ei häiriinny. Invertteriin yleensä keskitetään kaikki aurinkosähköjärjestelmän tärkeimmät toiminnot. (ST-Käsikirja 40 2021, 57, 60).

6.2.2 Akusto

Syrjäisissä paikoissa, joissa sähköverkkoon liittyminen on hankalaa, on kannattavaa varastoida aurinkosähköjärjestelmästä saatava sähkö akkuihin. Tehokkain akkujen käyttö on silloin, kun varastoidaan energiaa tunti- tai päivätasolla. Kausivarastoinnissa, kohteesta riippuen, voi joutua käyttämään myös varavoimageneraattoria. Yleisesti näissä järjestelmissä käytettävät akut ovat lyijyakkuja, mutta muitakin käytetään. Lyijyakkuja on avoimia ja suljettuja. Avoimia akkuja tulee huoltaa ajoittain, esimerkiksi lisäämällä akkuihin nestettä. Suljetut akut taas ovat huoltovapaita, joten ne ovat siksi helppokäyttöisiä. Molempien akkujen kohdalla on tärkeä huolehtia hyvästä tuuletuksesta, koska akuista vapautuvat kaasut ovat räjähdysherkkiä. (Erat ym. 2016, 155–157).

Lyijyakkujen lisäksi käytetään AGM- akkuja (Absorbent Glass Matt), geeliakkuja, litium akkuja ja nikkeli-kadmium akkuja. Nikkeli-kadmium akkuja käytetään aurinkosähköjärjestelmissä, joissa on vaativat olosuhteet. Ne kestävät hyvin korkeita lämpötiloja, mutta eivät ole herkkiä jäätymään. (Erat ym. 2016, 158, 160). AGM- ja geeliakut ovat suljettuja akkuja. Aurinkosähköjärjestelmä käytössä akkujen tulee olla syväpurkausakkuja. Akkujen varauskyky

merkitään C kirjaimella ja kapasiteetti ilmoitetaan ampeeritunteina. Akkuun saatavan energiamäärän voi laskea kertomalla varauskyvyn akun jännitteellä. Tähän silti vaikuttaa myös purkuvirran suuruus. (Perälä 2017, 55).

Tavallisen lyijyakun nimellisjännite on 12V. Käytännössä akun jännite kuitenkin vaihtelee riippuen akun varaustilasta. Akku latautuu, kun siihen syötetään latausvirtaa. Virran suuruutta säädellään latausjännitteellä. Akun lataamistavalla on suuri vaikutus akun kuntoon ja elinikään. Sen vuoksi on tehty älylatureita, jotka seuraavat akun jännitettä ja muuttavat latausvirtaa sen mukaan. Aurinkosähköjärjestelmiä varten on kehitetty lataussäätimiä, jotka auttavat pidentämään akkujen elinikää. Älykkäissä lataussäätimissä on Battery Life -toiminto, joka katkaisee kuormitusvirran ennen kuin akun varaus ehtii laskea alarajalle. Tämä huolehtii siis siitä, että akku ehtii latautua päivän aikana täyteen, vaikka auringoton jakso kestäisikin pidempään. (Perälä 2017, 56, 58, 60).

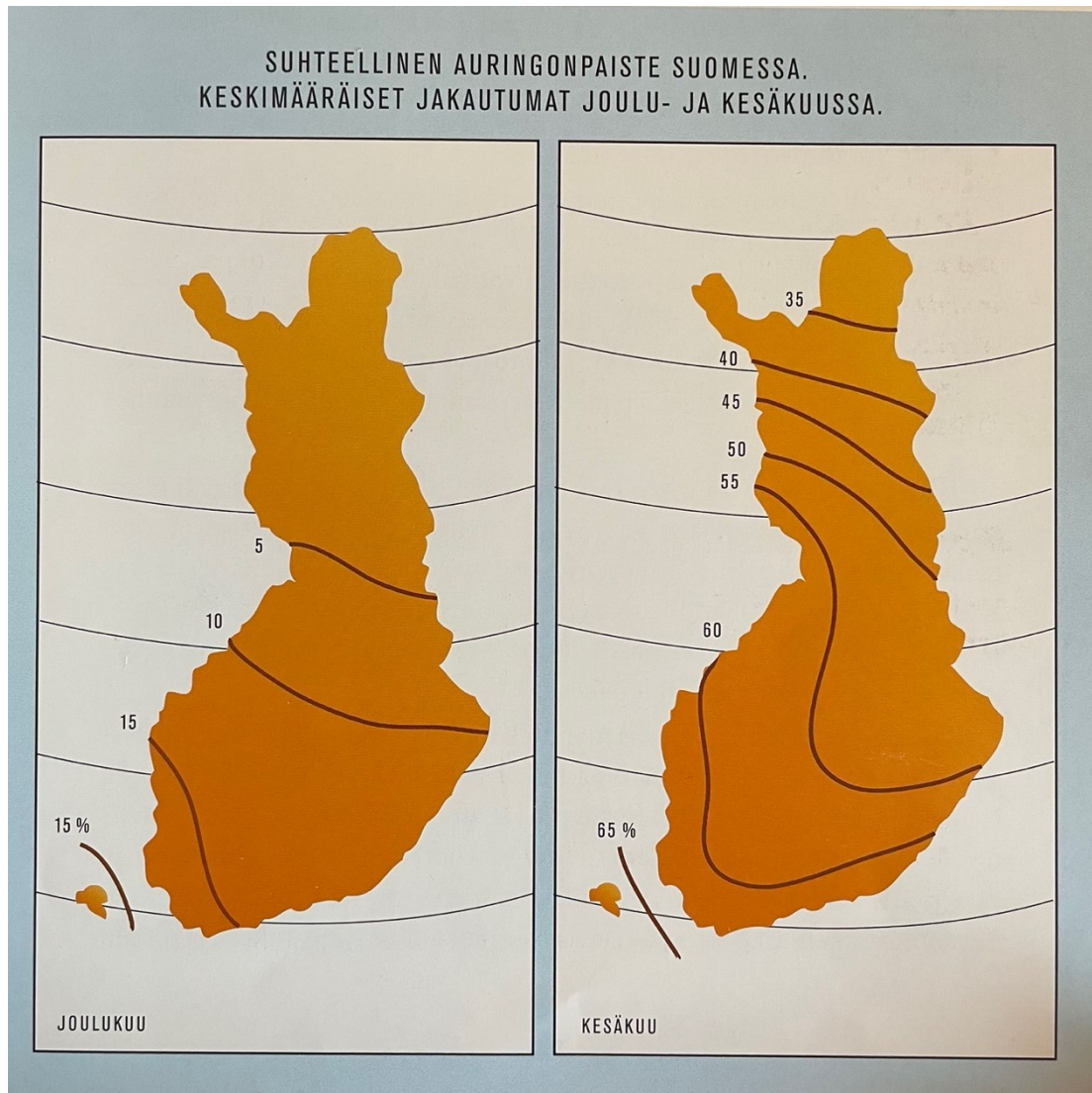
6.3 Auringon energia Suomessa

Suomi on niin pohjoisessa, että auringon säteily on vuoden mittaan hyvin epätasaista. Noin puolet vaakatasolle tulevasta säteilystä on hajasäteilyä. Pohjoisessa vuodenaikojen vaikutus auringon säteilyyn on suurta. Optimaalisessa asennossa olevalle aurinkopaneelille osuva auringonsäteily on vuositasolla Etelä-Suomessa 1100 kWh/m² ja Keski-Suomessa 1000 kWh/m². Paneelien sijoituspaikalla ja suuntauksella on erittäin suuri rooli siinä, miten paljon paneelit tuottavat. Varjoinen paikka luonnollisesti vähentää saatavan energian määrää. Talvella Suomessa aurinko ei nouse kovin ylös, jolloin varjot ovat pidempiä ja paneeliin osuvat varjot vaikuttavat silloin merkittävästi energiansaantiin. Sijoituspaikka tulisi siis valita niin, että paneeli on mahdollisimman kaukana ja korkealla lähellä olevasta korkeasta esteestä. Sijoituspaikassa on myös hyvä huomioida se, että paneelit olisivat suojattuna kaikista kylmimmiltä tuulilta, sillä kylmä tuuli lisää häviöitä. (Erat ym. 2016, 14–17, 97).

Aurinkopaneelien suuntauksessa otollisin suunta on kohti etelää. Jos etelään suuntaaminen ei ole kohteessa järkevää, voidaan paneelit suunnata lännen ja

idän väliselle alueelle. Lännen suuntaan silloin kun kuormitushuippu on iltaisin ja itään kun huippu on aamuisin. Aurinkosähköjärjestelmästä saadaan paras teho silloin, kun auringonpaisteen tulokulma on 0° , eli kun säteily tulee kohtisuorasti. Se millä leveysasteella kohde on vaikuttaa auringon korkeuteen ja siihen mihin kallistuskulmaan paneeli tulisi asentaa. Sääntönä kallistuskulmalle on leveysaste -20 astetta. Suomi on etelä-pohjoissuunnassa leveysasteilla 60°N - 70°N eli Suomessa paras kallistuskulma on noin 45 astetta. Suomessa auringon korkeus vaihtelee eri vuodenaikoina paljon ja optimaaluisimman tehon täällä saisi, jos laitteen kallistuskulmaa voisi säätää vuodenaikojen mukaan. Talvella kulman tulisi olla lähes pystysuorassa, jotta teho olisi optimaalisin. Jyrkästä kulmasta on myös se etu, että säteilyn heijastus kevättalven lumihangesta osuu paneeliin. Talven lumisateita ja jäätymistä ajatellen olisi hyvä asentaa paneelit niin, ettei niihin kerry lunta ja jäätä tai niin, että ne on helppo puhdistaa. (Erat ym. 2016, 14–18, 99). Paksunkin lumikerroksen läpi pääsee kuitenkin sen verran säteilyä, että se pitää akun varausta yllä, vaikka muuten sähköntuotto on pientä (Perälä 2017, 94).

Suhteellinen auringonpaiste vaihtelee paljon Suomen sisällä ja vuodenaikojen mukaan. Suhteellinen auringonpaiste on havaitun paisteajan suhde maksimi paiste aikaan. Suomessa maaliskuussa suhteellinen paiste jakautuu aika tasaisesti kaikkialle. Kesäkuussa rannikot ovat kaikista aurinkoisimmat ja arvot pienenevät, kun mennään Oulu-Kajaani-linjalta pohjoisempaan. Syyskuussa arvot tasoittuvat ja pienenevät. Joulukuussa arvot ovat pieniä ja ne on mahdollista laskea vain Etelä- ja Keski-Suomessa. (Erat ym. 2016, 26, 27). Kuvassa 10. on suhteellisen auringonpaisteen jakautuminen Suomessa kesä- ja joulukuussa.



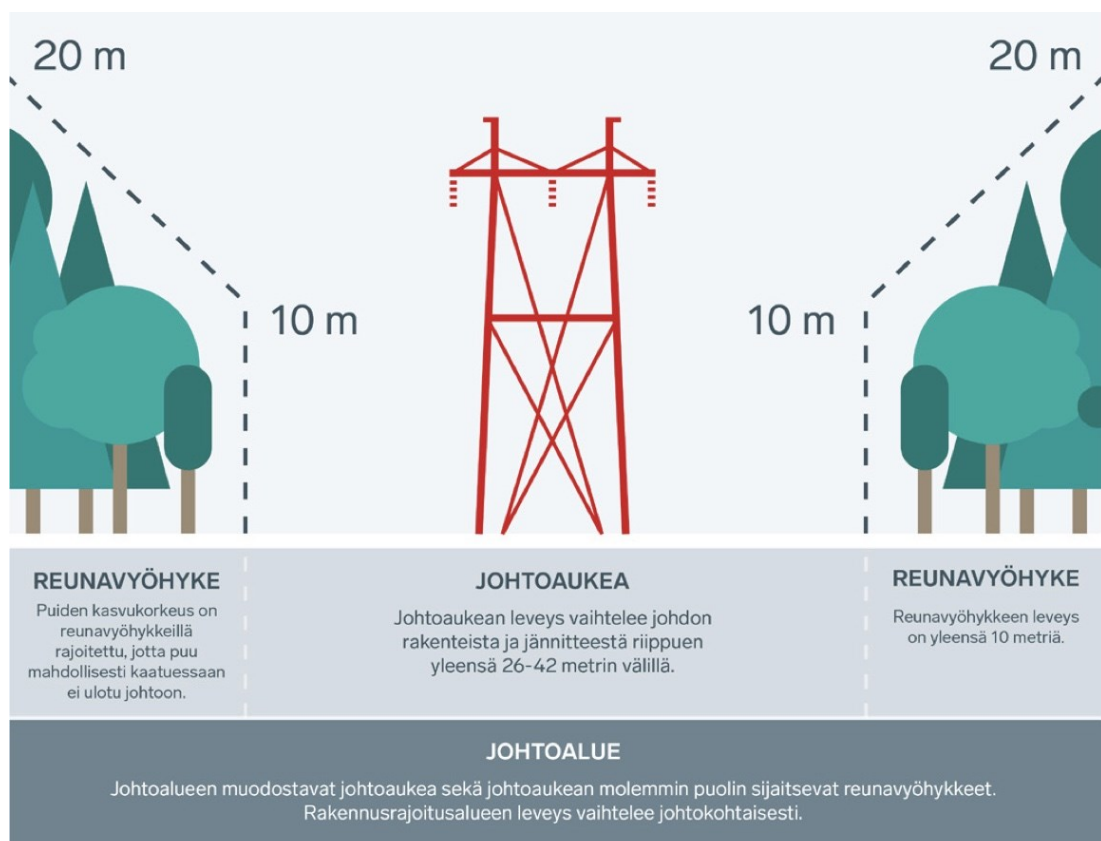
Kuva 10. Suhteellinen auringonpaiste kesä- ja joulukuussa (Erat ym. 2016, 29).

Jos auringonpaiste ei yksin riitä täyttämään tehontarvetta voidaan käyttää esimerkiksi aggregaattia varavoimanlähteenä. Aggregaatti tuottaa sähköä joko diesel- tai bensiinimoottorin avulla. Aggregaatti pystyy tuottamaan sähköä eri jännitetasoilla sekä tasa- että vaihtosähkönä. Aurinkosähköjärjestelmän ja varavoimanlähteen käyttäminen yhdessä vähentää polttoaineen kulutusta ja huollon tarvetta, joka lisää aggregaatin käyttöikää. (Erat ym. 2016, 148). Tällainen hybridijärjestelmä voisi myös olla aurinkopaneelien ja tuulivoimalan yhdistelmä. Tuulivoimalan tuotto on suurempaa talvella kuin kesällä, jolloin se täydentäisi hyvin energian saantia aurinkopaneelien kanssa (Erat ym. 2016, 170).

7 PILOTTIKOHDE

Yleisimpiä kaukokäytettäviä erotinpisteitä ovat asemat, joissa on kaksi 110kV erotinta. Tarkastellaan aurinkosähköjärjestelmän hyödyntämistä juuri tällaiseen kohteeseen. Pilottikohteessa on kahden erottimen lisäksi kaksi maadoituskytkintä erotinta kohden. Eli asemalla on yhteensä kuusi kytkinlaitetta.

Kaukokäytettävät erotinasemat sijaitsevat voimajohtojen varrella. Voimajohtoja varten on tehty johtokatu, jossa pylvää kulkevat ja jossa puiden korkeutta on rajoitettu niin, etteivät ne kaatuessaan jää johtojen päälle. Johtoaukean leveys voi vaihdella 26–42 metriin. (Fingrid 2020, 2). Kuvassa 11. on yleiskuva johtoalueesta. Johtoaukean leveys ja reunavyöhykkeen matalammat puut rajoittavat varjojen määrää ja siten tekevät alueesta mahdollisen aurinkopaneeleille.



Kuva 11. Yleiskuva johtoalueesta (Fingrid 2020, 2).

7.1 Erotinaseman sähköntarve

Kappaleessa 5.1 käytiin läpi sitä, mitä eri laitteita kaukokäytettävällä erotinasemalla on. Tarkastellaan nyt lähemmin näiden laitteiden sähkönkulutusta. Normaalkuormitukseen erotinasemalla kuuluu:

- RTU (Remote terminal unit eli kaukokäytön ala-asema) 35 W
- 6 tilatieto apurelettä 8,4 W
- Kippirele 6 W
- 2 mitta-arvon muunninta 6 W
- Pt100 anturi <1,5 W
- Lämmitysvastus 200 W
- Kaapin valaisin 8 W (AC)
- Tietoliikennelaite 7 W
- Tietoliikennelaitteen teholähde 38 W

Normaalkuormitus on yhteensä 309,9 W. Normaalkuormituksen lisäksi erottimien ohjauksista ja lukituksista tulee lisäkuormaa:

- 6 erottimen moottoria 1800 W
- 6 ohjausapurelettä 8,4 W
- 6 lukitusapurelettä 8,4 W
- Moottorijännite lukitus apurele 1,4 W
- 9 hälytysvälirelettä 3,8 W

7.2 Järjestelmän mitoitus

Kuormituksen laskemisessa ja akuston mitoituksessa käytin apuna Excel pohjaa. Kun erotinaseman laitteiden tehonkulutus oli selvillä, syötin tiedot taulukkolaskentaohjelmaan. Kaavalla $P = U \times I$ laskin tehonkulutuksesta virran ampeereissa. Nimellisjännite asemalla on 110V DC. Tuloksena tuli kokoaikaiseksi kuormaksi 309,9 W eli 2,81 A. 24 tunnin aikana energiaa kuluu siis 7418,4 Wh. Lisäkuormituksen laskemista varten tuli selvittää laitteiden toiminta-ajat. Ohjainmoottorin toiminta-aika, auki- tai kiinniohjauksessa on 15 sekuntia (Fingrid

S22302Q1 2019, 2). Releiden toiminta-ajat ovat millisekunneissa. Lisäkuormituksen laskemisessa arvioitiin, että jokaista erotinta voidaan ohjata kolme kertaa. Lisätarve laskettiin kertomalla laitteen kuluttama sähkö (A) laitteiden määrällä ja toiminta-ajalla ja tämä jaettiin 3600:lla. Jako 3600:lla, koska toiminta-ajat ovat sekunneissa. Lisätarpeeksi saatiin näin 0,20A. Kaukokäytettävä erotinasema siis kuluttaa yhteensä noin 7,4 kWh 24 tunnin aikana.

Näiden tietojen pohjalta mitoitettiin akusto. Akusto mitoitettiin niin, että se kestää 48 tuntia normaalikäytössä ja niin, että jokaista erotinta pystyy ohjaamaan kolme kertaa. $48 \text{ h} \times 2,81 \text{ A} = 133 \text{ Ah}$. Mitoituksessa huomioitiin myös ikään-tyminen korjauskertoimella 1,25 ja lämpötilakertoimena käytin 1,05, jolloin akuston minimikapasiteetiksi tuli 177 Ah. Kertoimet ovat Fingridin määrittelydokumentin mukaiset. Joillakin kaukokäytettävillä erotinasemilla on 38 Ah akusto, eli akustoa joutuu kasvattamaan. Varaajan mitoituksessa huomioitiin myös korjauskerroin, joka määrittelyn mukaisesti oli 1,3. Varaajan kooksi tuli 21,4 A ja hyötysuhteeksi oletetaan 90 %. Näiden tietojen perusteella aurinkopaneelien minimikooksi tuli $(21,4 \text{ A} \times 110 \text{ V}) / 0,9 = 2610,99 \text{ W}$ eli pyöristettynä 2700 W. Paneelien teho kannattaa aina mitoittaa kulutusta suuremmaksi, koska häviöihinkin kuluu sähköä (Perälä 2017, 85).

Aurinkoenergian käyttäminen korpierottimen sähkönsyöttönä vähentäisi kustannukset, joita syntyy sähkön siirtämisestä sinne (Perälä 2017, 17). Aurinkosähköjärjestelmän kustannus on yleensä melkein ainoastaan investointikustannus, mutta kaukokäytettävät erotinasemat sijaitsevat kohteina hyvinkin erilaisissa paikoissa verrattuna kotitalouksiin asennettavissa aurinkosähköjärjestelmissä. Kotitalouksissa paneelit asennetaan tavallisesti talon katolle, mutta kaukokäytettävillä erotinasemilla tällaista mahdollisuutta ei ole. Erotinasemilla paneelit voidaan asentaa joko maa-asennustelineillä tai erottimen tukirakenteisiin. Aurinkopaneelijärjestelmältä vaaditaan minimissään 2700 W tehoa, joka tarkoittaa noin seitsemää paneelia, jolloin paneeleita ei ole mahdollista kiinnittää tukirakenteisiin. Maa-asennuksen etuna on paneelien tuulettuminen, jolloin paneelit eivät pääse lämpenemään, mutta haittana voi olla varjostumat ja mahdollinen ilkivalta. Maa-asennustelineitä varten joudutaan tekemään perustukset, jotka aiheuttavat lisää kustannuksia.

7.3 Energian saannin varmistaminen

Haasteena erotinaseman sähkönsyötön toteuttamisessa aurinkoenergialla on energian saannin varmistaminen. Saatavilla on eri organisaatioiden tietokantoja, joiden avulla saa sää- ja säteilytietoja eri kohteisiin. Yksi tällainen on esimerkiksi EU:n JRC:n online-laskuri, jonka avulla voi saada pienen aurinkosähkövoimalan tuotosta suhteellisen tarkan ennusteen. Laskuri tarvitsee kohteen sijainnin, koon, paneelien suuntauksen ja kallistuskulman. (Erat ym. 2016, 30). Laskurin avulla on mahdollista arvioida kohteen potentiaali aurinkoenergian kannalta.

EU:n JRC:n PVGIS laskuria hyödyntäen tutkin järjestelmän toimivuutta eri puolilla Suomea. Syöttämällä järjestelmän lasketut arvot laskuriin ja valitsemalla paikkakunnan sai paljon tietoja siitä, miltä vuoden energian saanti, sen vajeus ja akun taso näyttäivät. Liitteessä 2 näkyy vuoden arvio järjestelmän toiminnasta Helsingissä. Liitteen yläreunassa näkyy syötetyt arvot, joilla laskuri on laskenut. Siinä näkyy myös arvio päivistä tyhjällä ja täydellä akulla prosentteina. Simulaatio antaa arvion siitä paljonko energiasta jää saamatta talteen ja paljonko energiaa jää puuttumaan. Sinisessä kaaviossa näkyy energian tuotto, vihreässä kaaviossa akuston toiminta ja violetissa kaaviossa akun varauksen taso. Oikealla reunalla on kuukausittainen arvio energian tuotosta ja akuston toiminnasta. Optimaalinen kallistuskulma Helsingissä on 43° ja optimaalinen atsimuutti suunta on 2° . Näillä arvoilla saatiin tuloksena, että neljä kuukautta vuodesta akku olisi aivan tyhjä. Tämä mitoitus ei siis ole riittävä. Talvi kuukausina lämmitysvastuksen tulee olla toiminnassa, jotta akut eivät jäädy. Lisäsin laskurissa akun kapasiteettia ja paneelien kokoa, niin paljon, että energian tarve täyttyi. Tulos on nähtävissä liitteessä 3. Riittävä mitoitus saatiin, kun oli 10 kW paneelit ja akuston kapasiteetti oli 7272 Ah. 10kW paneelit tarkoittaa noin 25 paneelia. Tilantarve paneelien ja akkujen osalta nousee suureksi. Akkujen tarvitseman tilan tarve lisää myös ongelman siitä, että nykyinen lämmitysvastus ei riitä lämmittämään isompaa tilaa. Arvot, joilla energian tarve täyttyi Helsingissä, näytti Ouluun kahta kuukautta tyhjällä akulla. Oulussa optimaalinen kallistuskulma on 48° ja optimaalinen atsimuutti suunta -2° . Oulussa

tarvittava paneelien koko olisi 13kW ja akusto 9090 Ah. Tulokset liitteessä 4. (JRC PVGIS 2023).

Mitoitetuilla arvoilla järjestelmä toimisi Etelä-Euroopassa jo pienellä akuston ja paneelien kasvattamisella, tai mahdollisesti hybridijärjestelmänä varavoimageraattorin kanssa. Etelä-Euroopassa lämmittimen koko voi olla ehkä pienempi tai järjestelmä voi pärjätä mahdollisesti kokonaan ilman lämmitintä. Ilman lämmitysvastusta teho olisi mahdollista tuottaa pienellä aurinkosähköjärjestelmällä. Tarvittaisiin 2200 W paneelit, eli noin 3–4 paneelia, ja 63 Ah akusto. Tällainen järjestelmä olisi kooltaan järkevä ja mahdollinen toteuttaa. Valitettavasti Suomessa järjestelmä vaatii lämmitysvastuksen, joka nostaa tehontarpeen niin suureksi, ettei järjestelmä enää ole kannattava.

8 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tavoite oli selvittää, voidaanko kaukokäytettävän erotinaseman sähkönsyötössä hyödyntää aurinkopaneeleita. Työssä perehdyttiin tarkemmin erottimiin, erotinasemiin ja aurinkoenergian toimintaan.

Opinnäytetyön lopputulos on, että Suomessa kaukokäytettävän erotinaseman sähkönsyöttöä ei ole kannattavaa toteuttaa pelkillä aurinkopaneeleilla. Tehontarve on suhteessa niin suuri siihen, miten paljon eri puolilla Suomea on mahdollista saada aurinkoenergiaa talteen. Etelämmässä oleviin maihin tämä olisi mahdollista auringonpaisteen suuremman määrän ja lämpimämmän ilmaston vuoksi. Paneelien määrä ja akuston koko kasvaisivat Suomessa niin suureksi, ettei kustannuksia ajatellen ole järkevää käyttää aurinkosähköjärjestelmää sähkönsyöttönä. Yksivaiheinen tehojännitemuuntaja voi maksaa noin 20 000 € ja pelkkien aurinkopaneelien kohdalla puhutaan ainakin 13 000 €. 7272 Ah akusto on hinnaltaan suuri ja akkujen käyttöikä on yleensä noin 10 vuotta. Akuston koko olisi myös niin suuri, että nykyiset kaappiratkaisut eivät olisi

riittäviä akkujen säilömiseen vaan ne tarvitsisivat uuden tilan, joka taas lisää kustannuksia.

Lämmitysvastuksen tehontarve koitui tässä työssä ongelmaksi. Ilman sitä järjestelmä olisi ollut hyvinkin mahdollinen toteuttaa. Vaikka opinnäytetyön tulos oli siinä suhteessa negatiivinen, ettei toteutus ole kannattavaa, voi sen tietoperustaa kuitenkin hyödyntää asian kehittämisessä eteenpäin. Tulevaisuudessa voisi esimerkiksi pohtia olisiko järkevää toteuttaa lämmitysvastuksen sähkönsyöttö varavoimageneraattorilla ja muu erotinaseman sähkönsyöttö aurinkopaneeleilla. Voisi myös pohtia pientuulivoimalan lisäämistä osaksi järjestelmää. Tuulivoiman käyttö lisäisi energiansaantia talvella ja pilvisinä päivinä, mutta järjestelmän mitoittaminen ja kannattavuuden selvittäminen on haastavaa (ST-Käsikirja 40 2021, 54, 55).

Opinnäytetyö kehitti omaa tiedonhakutaitoa ja lähteiden luotettavuuden arviointia. Ensin näytti siltä, että erottimista on hyvin vähän aineistoa saatavilla, mutta lopulta aineistoa löytyikin riittävästi. Erottimista löytynyt kirjallisuus oli hieman vanhempaa, mutta ajankohtaista, koska niiden saralla ei ole tapahtunut suuria muutoksia. Tietoperustaa voidaan pitää luotettavana, koska pyrin käyttämään kirjallisuutta monipuolisesti lähteinä. Tietoperustan luominen kasvatti omaa osaamista ja ymmärrystä erottimista ja aurinkoenergiasta. Opinnäytetyö auttoi saamaan hyvän kokonaiskuvan sekä erottimista että aurinkoenergiasta ja niiden toiminnasta. Erottimien kanssa olen jonkin verran ollut tekemisissä töissä, mutta en ole ennen kuitenkaan perehtynyt niihin tarkemmin. Aurinkoenergia taas kokonaisuudessaan oli melko uutta asiaa. Aurinkoenergian keräämiseen ja muutenkin sen toimintaan oli erittäin mielenkiintoista perehtyä.

Järjestelmän mitoittaminen tapahtui suurimmaksi osaksi taulukkolaskentaohjelmalla ja PVGIS:iä hyödyntäen. Tulosten kirjalliseen muotoon saattaminen osoittautui odotettua haastavammaksi. Opinnäytetyön aikataulutuksen kanssa oli itsellä haasteita. Aikataulutusta ja siinä pysymistä olisi helpottanut, jos olisi ollut selkeämmät välitavoitteet. Näin olisi mennyt vähemmän aikaa hukkaan ja työ olisi edennyt ripeämmin. Opinnäytetyön aihe oli mielenkiintoinen ja antoisa.

Sain opinnäytetyöstä paljon uutta tietoa, josta uskon olevan hyötyä tulevaisuudessa.

LÄHTEET

Elovaara, J. & Haarla, L. 2011. Sähköverkot II Verkon suunnittelu, järjestelmät ja laitteet. Otatieto Helsinki University Press 2011.

Enersensen www-sivut. 2023a. Me olemme Enersense. Viitattu 27.1.2023. <https://enersense.fi/tietoa-meista/>

Enersensen www-sivut. 2023b. Power. Viitattu 27.1.2023. <https://enersense.fi/palvelut/power/>

Erat, B., Hänninen, P., Nyman, C., Rasinkoski, A., Tahkokorpi, M. & Wiljan-der, M. 2016. Aurinkoenergia Suomessa Helsinki: Into Kustannus.

Finder www-sivut. 2023. Enersense PN Oy. Viitattu 27.1.2023. <https://www.finder.fi/Sähkökeskus/Enersense+PN+Oy/Pori/yhteystie-dot/2903857>

Fingrid S22302Q1. 2019. Disconnecter. Julkaisematon dokumentti.

Fingrid. Suurjännitejohtojen, 110-400kV, reunametsien hoito. 2020. Metsänhoitokortti 04-006. Viitattu 26.4.2023. https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/julkaisut/suurjannitejohtojen_reunametsien_hoito.pdf

Fingridin www-sivut. 2023. Suomen sähköjärjestelmä. Viitattu 24.1.2023. <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/sahkonsiirto/suomen-sahkojarjestelma/>

GE Grid Solutions. 2018. Erottimen manuaali. Julkaisematon dokumentti.

JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) – Euroopan komissio. 2023. Viitattu 17.2.2023. https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/

Kuosa, D. 2007. Vika- ja kunnossapitotietojen hyödyntäminen suurjännitelaitteiden kunnonhallinnassa. Diplomityö. Aalto-yliopisto.

Lakervi, E. & Partanen, J. 2008. Sähkönjakelutekniikka. Gaudeamus Helsinki University Press / Otatieto.

Patel, M. 1999. Wind and solar power systems. CRC Press LLC.

Perälä, R. 2017. Aurinkosähköä. Alfamer/Karisto Oy.

SFS-käsikirja 601. 2018. Suurjännitesähköasennukset ja ilmajohdot. Suomen Standardoimisliitto SFS. Helsinki: SFS. Viitattu 17.2.2023. <https://online.sfs.fi>

Solargis. 2020. The World Bank, Source: Global Solar Atlas 2.0, Solar resource data: Solargis. <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/world>

ST-Käsikirja 40. 2021. Aurinkosähköjärjestelmien suunnittelu ja toteutus. Espoo: Sähköinfo Oy

U.S. Energy Information Administration. 2022. Solar explained. Viitattu 17.3.2023. <https://www.eia.gov/energyexplained/solar/photovoltaics-and-electricity.php>

Vakkuri, I. 2020. Aurinkopaneelit elinkaaren lopussa – kiertotaloutta parhaimmillaan vai vuori vaarallista jätettä? 5.3.2020. Viitattu 16.2.2023. <https://www.korkia.fi/aurinkopaneelit-elinkaaren-lopussa-kiertotaloutta-parhaimmillaan-vai-vuori-vaarallista-jatetta/>

Välimäki, M. 2022. Sähköjärjestelmä mullistuu. Fingrid lehti 14.11.2022. Viitattu 24.1.2023. <https://www.fingridlehti.fi/sahkojarjestelma-mullistuu/>

LIITE 1 JÄRJESTELMÄ HELSINGISSÄ



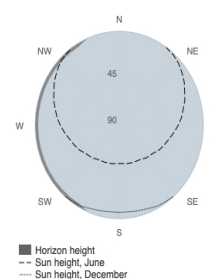
PVGIS-5 estimates of solar electricity generation

Provided inputs

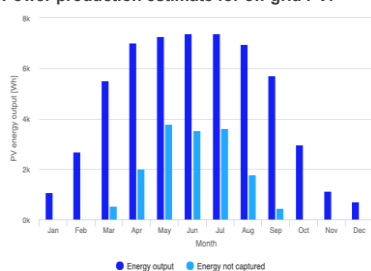
Latitude/Longitude: 60.167,24.943
 Horizon: Calculated
 Database used: PVGIS-SARAH2
 PV installed: 2700 Wp
 Battery capacity: 19470 Wh
 Cutoff limit: 40 %
 Consumption per day: 7400 Wh

Slope angle: 43 °
 Azimuth angle: 2 °
Simulation outputs
 Percentage days with full battery: 29.01 %
 Percentage days with empty battery: 53.82 %
 Average energy not captured: 4557.89 Wh
 Average energy missing: 5084.58 Wh

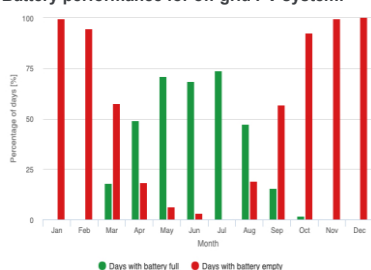
Outline of horizon at chosen location:



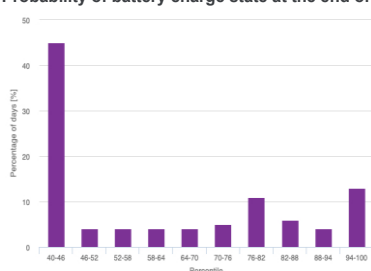
Power production estimate for off-grid PV:



Battery performance for off-grid PV system:



Probability of battery charge state at the end of the day:



The European Commission maintains this website to enhance public access to information about its initiatives and European Union policies in general. Our goal is to keep this information timely and accurate. If errors are brought to our attention, we will try to correct them. However, the Commission accepts no responsibility or liability whatsoever with regard to the information on this site.

It is our goal to minimise disruption caused by technical errors. However, some data or information on this site may have been created or structured in files or formats that are not error-free and we cannot guarantee that our service will not be interrupted or otherwise affected by such problems. The Commission accepts no responsibility with regard to such problems incurred as a result of using this site or any linked external sites.

For more information, please visit https://ec.europa.eu/info/legal-notice_en

Monthly average performance

Month	E_d	E_l	f_f	f_e
January	1080.2	0.0	0.0	99.8
February	2682.8	4.3	0.2	94.9
March	5512.6	537.8	17.9	57.7
April	7011.4	2008.7	49.2	18.5
May	7278.8	3790.4	71.2	6.5
June	7368.8	3533.3	68.5	3.3
July	7380.4	3613.6	74.0	0.2
August	6958.2	1786.8	47.2	18.9
September	5712.1	451.3	15.6	56.9
October	2978.4	24.9	1.8	92.5
November	1123.0	0.0	0.0	99.8
December	709.9	0.0	0.0	100.0

E_d: Average energy production per day [Wh/day].
 E_l: Average energy not captured per day [Wh/day].
 f_f: Percentage of days when battery became full [%].
 f_e: Percentage of days when battery became empty [%].

Cs	Cb
40-46	45.0
46-52	4.0
52-58	4.0
58-64	4.0
64-70	4.0
70-76	5.0
76-82	11.0
82-88	6.0
88-94	4.0
94-100	13.0

Cs: Charge state at the end of each day [%].
 Cb: Percentage of days with this charge state [%].

PVGIS ©European Union, 2001-2023.
 Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged, save where otherwise stated.

Report generated on 2023/05/03

LIITE 2 TARVITTAVA JÄRJESTELMÄ HELSINKI



PVGIS-5 estimates of solar electricity generation

Provided inputs

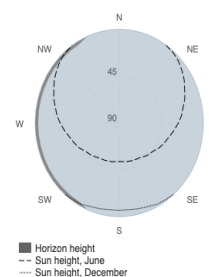
Latitude/Longitude: 60.167,24.943
 Horizon: Calculated
 Database used: PVGIS-SARAH2
 PV installed: 10000 Wp
 Battery capacity: 800000 Wh
 Cutoff limit: 40 %
 Consumption per day: 7400 Wh

Slope angle: 43 °
 Azimuth angle: 2 °

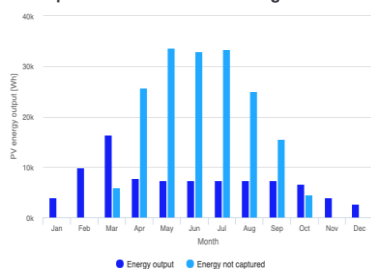
Simulation outputs

Percentage days with full battery: 53.65 %
 Percentage days with empty battery: 0 %
 Average energy not captured: 27618.44 Wh
 Average energy missing: 0 Wh

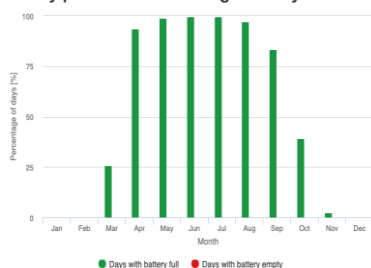
Outline of horizon at chosen location:



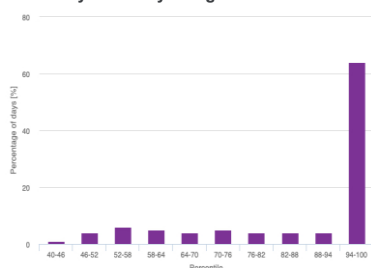
Power production estimate for off-grid PV:



Battery performance for off-grid PV system:



Probability of battery charge state at the end of the day:



The European Commission maintains this website to enhance public access to information about its initiatives and European Union policies in general. Our goal is to keep this information timely and accurate. If errors are brought to our attention, we will try to correct them. However, the Commission accepts no responsibility or liability whatsoever with regard to the information on this site.

It is our goal to minimise disruption caused by technical errors. However, some data or information on this site may have been created or structured in files or formats that are not error-free and we cannot guarantee that our service will not be interrupted or otherwise affected by such problems. The Commission accepts no responsibility with regard to such problems incurred as a result of using this site or any linked external sites.

For more information, please visit https://ec.europa.eu/info/legal-notice_en

Joint
Research
Centre

Monthly average performance

Month	E_d	E_l	f_f	f_e
January	4000.6	0.0	0.0	0.0
February	9952.4	0.0	0.0	0.0
March	16415.3	5993.3	25.8	0.0
April	7727.4	25680.5	93.5	0.0
May	7404.4	33592.9	99.0	0.0
June	7401.7	32976.7	99.8	0.0
July	7395.1	33323.6	99.8	0.0
August	7392.1	24997.0	97.2	0.0
September	7334.5	15492.9	83.3	0.0
October	6619.0	4504.3	39.3	0.0
November	3981.1	178.0	2.5	0.0
December	2629.4	0.0	0.0	0.0

E_d: Average energy production per day [Wh/day].

E_l: Average energy not captured per day [Wh/day].

f_f: Percentage of days when battery became full [%].

f_e: Percentage of days when battery became empty [%].

Cs	Cb
40-46	1.0
46-52	4.0
52-58	6.0
58-64	5.0
64-70	4.0
70-76	5.0
76-82	4.0
82-88	4.0
88-94	4.0
94-100	64.0

Cs: Charge state at the end of each day [%].

Cb: Percentage of days with this charge state [%].

PVGIS ©European Union, 2001-2023.

Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged, save where otherwise stated.

Report generated on 2023/05/04

LIITE 3 TARVITTAVA JÄRJESTELMÄ OULU



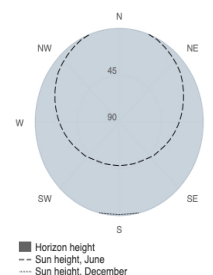
PVGIS-5 estimates of solar electricity generation

Provided inputs

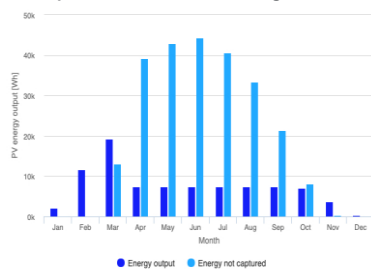
Latitude/Longitude: 65.012,25.472
 Horizon: Calculated
 Database used: PVGIS-ERA5
 PV installed: 13000 Wp
 Battery capacity: 1000000 Wh
 Cutoff limit: 40 %
 Consumption per day: 7400 Wh

Slope angle: 48 °
 Azimuth angle: -2 °
Simulation outputs
 Percentage days with full battery: 57.32 %
 Percentage days with empty battery: 0 %
 Average energy not captured: 35522.84 Wh
 Average energy missing: 0 Wh

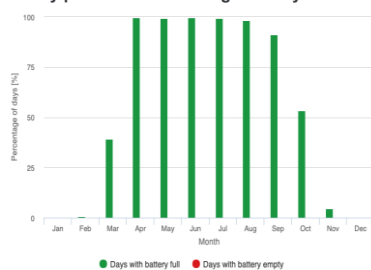
Outline of horizon at chosen location:



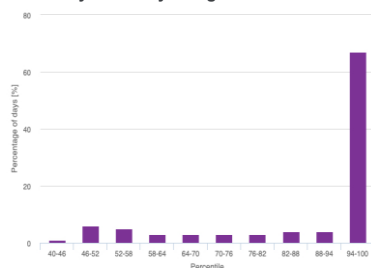
Power production estimate for off-grid PV:



Battery performance for off-grid PV system:



Probability of battery charge state at the end of the day:



The European Commission maintains this website to enhance public access to information about its initiatives and European Union policies in general. Our goal is to keep this information timely and accurate. If errors are brought to our attention, we will try to correct them. However, the Commission accepts no responsibility or liability whatsoever with regard to the information on this site.

It is our goal to minimise disruption caused by technical errors. However, some data or information on this site may have been created or structured in files or formats that are not error-free and we cannot guarantee that our service will not be interrupted or otherwise affected by such problems. The Commission accepts no responsibility with regard to such problems incurred as a result of using this site or any linked external sites.

For more information, please visit https://ec.europa.eu/info/legal-notice_en

Monthly average performance

Month	E_d	E_l	f_f	f_e
January	2135.9	0.0	0.0	0.0
February	11636.1	204.0	0.7	0.0
March	19266.7	12986.9	39.1	0.0
April	7410.6	39289.2	99.8	0.0
May	7409.4	42845.2	99.2	0.0
June	7404.2	44271.0	99.6	0.0
July	7391.3	40630.2	99.4	0.0
August	7390.0	33370.4	98.4	0.0
September	7344.4	21386.8	91.0	0.0
October	7055.7	8049.4	53.2	0.0
November	3643.2	304.4	4.6	0.0
December	344.1	0.0	0.0	0.0

E_d: Average energy production per day [Wh/day].

E_l: Average energy not captured per day [Wh/day].

f_f: Percentage of days when battery became full [%].

f_e: Percentage of days when battery became empty [%].

Cs	Cb
40-46	1.0
46-52	6.0
52-58	5.0
58-64	3.0
64-70	3.0
70-76	3.0
76-82	3.0
82-88	4.0
88-94	4.0
94-100	67.0

Cs: Charge state at the end of each day [%].

Cb: Percentage of days with this charge state [%].

PVGIS ©European Union, 2001-2023.

Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged, save where otherwise stated.

Report generated on 2023/05/04