



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Tuomas Tomminen

Aurinkopaneelijärjestelmän mitoitus ja sen hyödyntäminen sähkön omavaraisuudessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

14.5.2019

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Tuomas Tomminen Aurinkopaneelijärjestelmän mitoitus ja sen hyödyntäminen sähkön omavaraisuudessa 41 sivua + 4 liitettä 14.05.2019
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine	Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	Lehtori Osmo Massinen
<p>Opinnäytetyön aiheena on aurinkopaneelijärjestelmän mitoitus, sen hyödyntäminen sähkön omavaraisuudessa sekä laitteiden syöttö aurinkosähköllä sähkökatkoksen aikana. Järjestelmä mitoitettiin käyttäen hyväksi kohteen olemassa olevan järjestelmän tietoja, esimerkiksi laitteita, niiden kulutuksia ja sijainteja. Ensin käytiin läpi järjestelmän liittyvää teoriaa kirjojen ja internetin avustuksella. Seuraavaksi selvitettiin olemassa olevan järjestelmän kulutukset ja laitteet käymällä paikan päällä ja selvittämässä sähkökulutukset sähkönjakajan sivuilta. Mitoitettiin järjestelmän kokonaisteho ja sen jälkeen valittiin aurinkosähköjärjestelmään laitteet. Laskettiin arvioitu tuotto 30 vuoden ajalta ja pystyykö järjestelmä maksamaan itsensä takaisin siinä ajassa.</p> <p>Järjestelmästä ei tullut tarpeeksi tuottava, jotta se toimisi omavaraisesti, vaan järjestelmään tarvittiin sähköliittymä. Yksittäisinä päivinä järjestelmä tuottaa tarpeeksi sähköä, mutta vuosi tasolla ei. Sähkökatkoksen aikana järjestelmä pystyy tuottamaan sähköä ja syöttämään sitä valituille laitteille, jolloin niitä pystytään käyttämään.</p> <p>Suunnitelman pohjalta voidaan tehdä alustavat laitehankinnat sekä sen mukaan rakentaa aurinkosähköjärjestelmä. Järjestelmä pystyy tuottamaan tarpeeksi sähköä, jolloin takaisinmaksu pystytään suorittamaan alle 20 vuoden aikana.</p>	
Avainsanat	aurinkosähköjärjestelmä, tuotto, järjestelmä, paneeli, kulutus

Author Title	Tuomas Tomminen Sizing of solar panel system and its utilization in self-sufficiency
Number of Pages Date	41 pages + 4 appendices 14 May 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Degree Programme in Electrical and Automation Engineering
Professional Major	Electrical Power Engineering
Instructors	Osmo Massinen, Senior Lecturer
<p>This thesis concerns sizing of a solar power system, utilization of electricity self-reliance, as well as equipment supply with solar power under power failure. Solar power system was sized by using the existing system's information, for example devices and their consumption and location. First, related systems theory was studied with help of books and internet. Next existing system's consumption and equipment were clarified by visiting the target location and by checking consumptions from electricity distributor's internet sites. The system's total power was sized and equipment for solar power system was chosen. Estimated production was counted in 30 years' time and it was clarified if the system will be able to repay itself within that time.</p> <p>The system did not become productive enough to work self-sustainingly, it required electrical interface from a supplier. On individual days the system will produce enough electricity, but not on an annual basis. During power failure the system can produce enough electricity to feed the selected devices so they can be used.</p> <p>Thesis can serve as a basis to make corrective plans, according to which the photovoltaic system will be built. The system can produce enough electricity, repayment can be done in less than 20 years.</p>	
Keywords	photovoltaic system, yield, system, panel, consumption

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Aurinkosähkö	1
2.1	Valosähköinen ilmiö	1
2.2	Auringon säteilyenergia Suomessa	2
2.3	Aurinkokennot	4
3	Vaihtosuuntaaja ja ohjausyksikkö	10
3.1	Vaihtosuuntaajat	10
3.2	Ohjausyksikkö	13
4	Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu	15
4.1	Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelukohde	15
4.2	Uuden järjestelmän suunnittelu	20
4.3	Sähkökatkon aikana toimivat järjestelmät	29
5	Investointikustannukset ja järjestelmän tuotto	31
5.1	Investointikustannukset	31
5.2	Vuotuinen tuotto ja takaisinmaksuaika	32
6	Yhteenveto	39
	Lähteet	41

Liitteet

Liite 1.	Olemassa olevan pääkeskuksen keskuskaavio
Liite 2.	30 vuoden ajalle arvio kulutusten tuottama sähkönhinta
Liite 3.	Eri verkkojen erotus toisistaan
Liite 4.	Elenia verkkopalveluhinnasto

Lyhenteet

CPV	Concentrating Photovoltaics, aurinkosähkön keskittäminen.
LoM	Loss of Mains, verkkovirran katoaminen.
MPPT	Maximum Power Point Tracking, akkujen latausyksikkö.
NOTC	Nominal Operating Cell Temperature, tosilannetta mukaileva ympäristö.
PV	Photovoltaics, auringon suora säteily.
PVGIS	Photovoltaic Geographic Information System, säteilymittaus ohjelma.
PWM	Pulse-Width Modulation, pulssileveysmodulaatio.
STC	Standard Test Condition, optimaalinen testausympäristö.

1 Johdanto

Suomessa tapahtuu paljon eri syistä johtuvia sähkökatkoksia. Niiden pituudet voivat vaihdella minuuteista tunteihin ja jopa päiviin. Sähkön käyttö on talouksissa tärkeää, jolloin sähköliittymän lisäksi rakennetaan pieni tai isoja omavaraisia sähköntuotantolaitoksia, mahdollistamaan sähkökatkoksen aikana sähkölaitteiden käytön. Opinnäytetyön kohteessa on huomattu vuosien aikana useita sähkökatkoksia, joten haluttiin selvittää kuinka suureksi omavaraisen sähköntuotantolaitoksen kustannukset nousevat ja kuinka paljon varavoimajärjestelmän asennus maksaisi.

Opinnäytetyön kohde on Heinolassa sijaitseva vapaa-ajan kesäasunto. Opinnäytetyön päätavoitteena on selvittää kohteen olemassa olevan sähköjärjestelmän kulutus ja sen avulla mitoittaa aurinkosähköjärjestelmä, jolla saadaan vähennettyä kuormien aiheuttamat kustannukset. Sivutavoitteena on suunnitella aurinkosähköjärjestelmä siten, että sähkökatkon aikana aurinkosähkön avulla ladatuilla akustoilla syötetään turvallisesti kohteen käyttölaitteita.

Suunnitelmaan liittyy paljon haasteita. Ne liittyvät aurinkosähköjärjestelmän laitteiden oikean kokoiseen mitoitukseen, valintaan, sijoitukseen sekä niiden turvalliseen käyttöön. Kesäasunnon katon suunta ja tontilla olevat puut aiheuttavat laitteiden sijoituksen kannalta haasteita, samoin olemassa olevaan sähköliittymän liittymiseen vaikuttavat turvallisuusvaatimukset.

2 Aurinkosähkö

2.1 Valosähköinen ilmiö

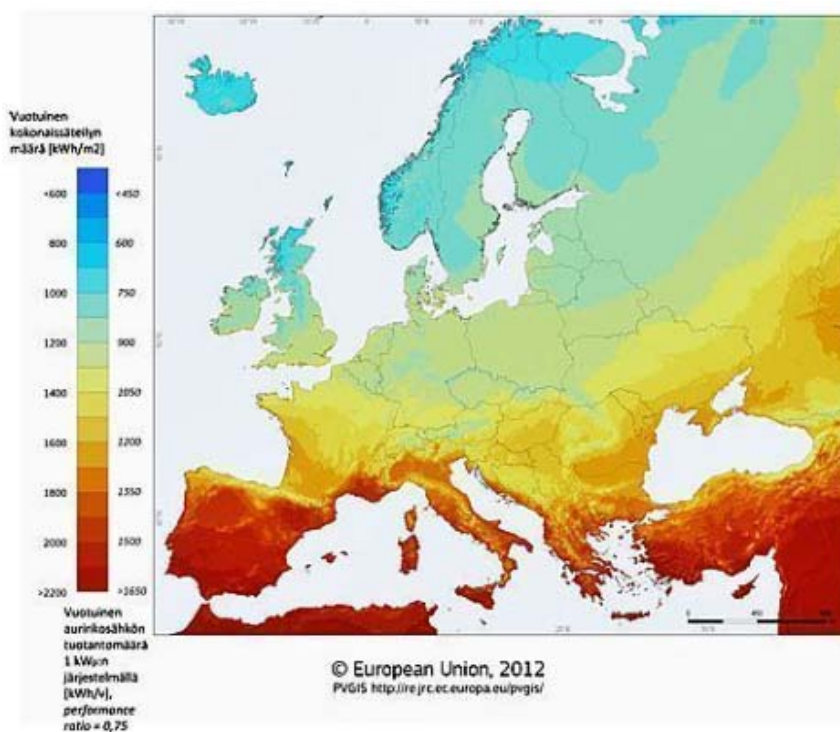
Valosähköiseksi ilmiöksi kutsutaan sähköisiä muutoksia, jotka syntyvät, kun metalli altistetaan valolle. Metallin pinnalla olevat elektronit irtoavat, kun siihen kohdistuu valossa olevaa lyhytaaltoista sähkömagneettista säteilyä. Ilmiö esiintyy vain, kun säteilyn taajuus ylittää metallille ominaisen kynnystaajuuden. Ylitettävät taajuudet eriävät metallien välillä [1].

Ilmiötä ei saa aikaan pienellä säteilytaajuudella, sen intensiteetin ollessa kuinka suuri tahansa. Säteilyn taajuuden pidettäessä vakiona ja intensiteetin kasvaessa, pystytään irrottamaan enemmän elektroneja. Elektronien liike-energia ei kasva, vaan se pysyy kullakin taajuudella vakiona [6].

Valosähköisen ilmiön havaitsi ensimmäisen kerran Heinrich Hertz vuonna 1887, mutta se ja säteilykvantti eli fotonit pystyttiin selittämään vasta vuonna 1905 kvanttiteorian avulla. Ilmiön osoitti Albert Einstein, jonka johdosta hänelle myönnettiin Nobelin fysiikanpalkinto [21].

2.2 Auringon säteilyenergia Suomessa

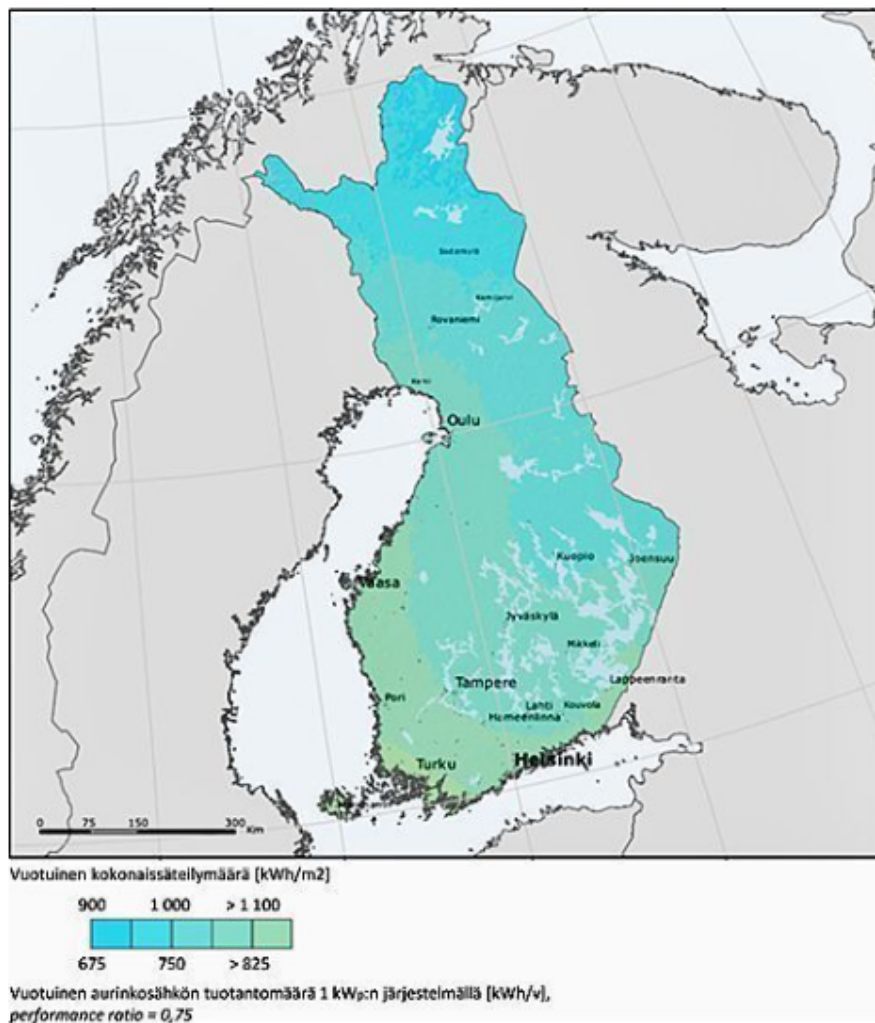
Aurinkosähkön suurimpia etuja ovat uusiutuvuus, päästöttömyys, alhaiset käyttökustannukset, järjestelmien kehittyminen sekä pitkä käyttöikä. Pohjoisen sijaintinsa vuoksi, oletetaan ettei Suomessa ole kannattavaa käyttää aurinkoenergiaa. Etelä-Suomessa ja Pohjois-Saksassa vuotuiset saapuvat auringon säteilyenergiat ovat likimain yhtä suuria.



Kuva 1. Auringon keskimääräinen säteilyteho Euroopassa. Säteilymäärät osoitetaan vuosittaisen kertymän neliometriä kohden [18].

Kuvasta 1 huomataan, että potentiaalisimmat alueet Euroopan aurinkosähkön tuotannossa ovat Välimeren alue ja Portugali. Aurinkoenergian tuotantoon vähiten potentiaalia on Iso-Britannian, Ruotsin ja Suomen pohjoisosissa sekä Islannissa, joissa säteilyteho on vain 40–50 % Etelä-Euroopan alueiden säteilytehosta [17].

Hajasäteilyn osuus on merkittävä osa Suomen kokonaissäteilystä. Noin puolet Etelä-Suomen säteilystä on peräisin siitä. Aurinkopaneelien tuotannon kannalta ei ole merkitystä, että onko säteily hajasäteilyä vai suoraa, mutta sijoittelulla ja kallistuskulmaa muuttamalla hajasäteilyn määrää saadaan kasvatettua. Hajasäteilyä tulee esimerkiksi lumesta, heijastua vedestä ja kiiltävistä kattopinnoista. Tulevalla hajasäteillä voidaan hetkellisesti kasvattaa tuottoa jopa 20 prosenttia. [4]



Kuva 2. Auringon vuotuinen säteilyenergian määrä Suomessa [18].

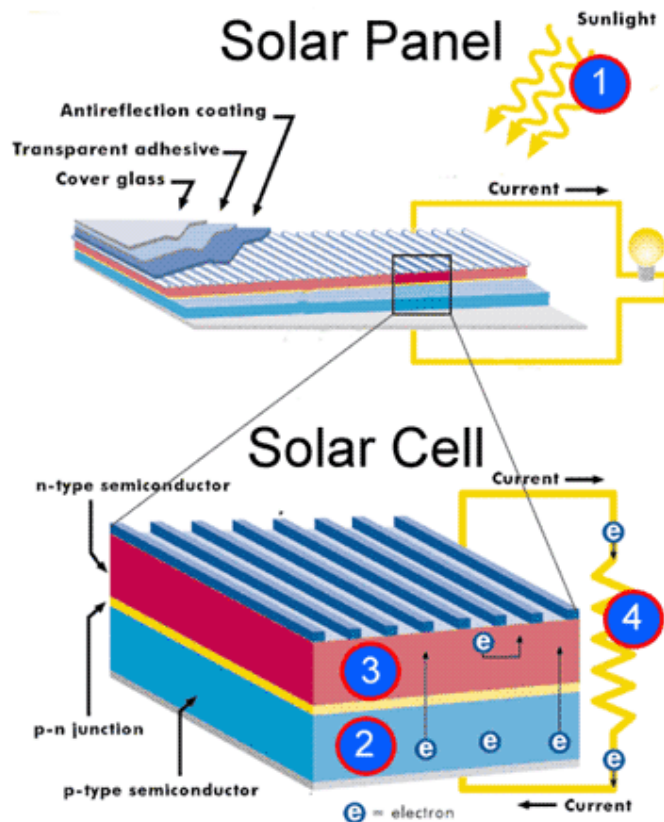
Kuvasta 2 nähdään, että Suomen potentiaalisin aurinkosähkön tuotto saavutetaan etelä- ja lounaisosissa. Itä-Suomi ja Lappi ovat vähiten potentiaalisia alueita sähkön tuottoon aurinkoenergialla.

2.3 Aurinkokennot

Aurinkokennolla muunnetaan auringon säteily valosähköisen ilmiön avulla sähköenergiaksi. Tyypillisimmät kennot ovat rakenteeltaan diodin kaltaisia puolijohdekomponentteja, jotka ovat valmistettu yksi- tai monikiteisestä seostetusta piistä. Pii on aurinkokennojen yleisin materiaali ja sitä käytetään yksi- ja monikiteisessä sekä amorfisessa muodossa. Kennotyypit voidaan jakaa kolmeen sukupolveen: 1. sukupolveen kuuluu yksi- ja monikiteiset pii kennot, 2. sukupolveen ohutkalvot kennot ja 3. sukupolveen väriaineherkistetyt kennot, joita voidaan pinnoittaa esimerkiksi lasiin tai seinäpintaan [4].

Kennon toimintaperiaate voidaan jakaa kahteen osaan. Auringon valo kohdistuu kennoon, jolloin suuri energiset saapuvat fotonit pääsevät pintakerroksen läpi muodostaen varauksen kuljettajia eli elektroniaukkopareja. Johtimien avulla elektronit kerätään ja vietään joko kulutuslaitteelle tai varastoidaan akkuihin myöhempää käyttöä varten [4].

Kuvasta 3 nähdään kennon rakenne. Aurinkokenno on periaatteessa hyvin suuri fotodiodeja, jossa on yhdistetty kaksi eri tyyppistä puolijohdemateriaalia (p ja n). Ne on päällystetty anti-heijastavalla materiaalilla, läpinäkyvällä sideaineella ja suojalasilla [3].



Kuva 3. Aurinkokennon rakenne [3].

Yksi- ja monikiteiset aurinkokennot säilyttävät hyvin toimintakykynsä, mutta niidenkin sähköntuotto laskee vähitellen, tyypillisesti noin 0,5 % vuodessa. Aurinkokennojen käyttöikä vaihtelee 25–30 vuoden välillä ja valmistajat lupaavat niiden tuottavan tuona aikana 80 % uuden paneelin tuotosta. Aurinkokennot voidaan jakaa kahteen ryhmään: tasapak-suihin levykennoihin (PV) sekä keskittäviin aurinkokennoihin (CPV). Tasapaksuissa le- vykennoissa sähkö tuotetaan suoraan auringonvalosta, keskittävisä kennoissa auri- ngonvalo keskitetään tai tiivistetään linseillä tai peileillä sähkön tuotantoa varten. Kenno- jen huipputeho vaihtelevat suuresti, levykennoilla se on noin 5–300 W ja CPV-kennoilla vaihtelee 0,5–40 kW:n välillä [5].

Yksikiteinen piikenno

Yksikiteinen piikenno on vanhin ja kehittynein kennotyyppi. Yksikidekennolla on muihin kennoihin verrattuna parempi hyötysuhde, mutta niiden raaka-aineen valmistus on mo- nimutkaista. Valmistuskustannukset ovat suhteellisen suuret, koska raaka-aineen

valmistus on erittäin haastavaa ja hidasta sekä raaka-aineen tulee olla erittäin puhdasta. Yksikidekenno pysyy kilpailukykyisenä sen kestävyden, pitkä elämänkaaren sekä hyötysuhteensa ansiosta, joka vaihtelee 17 %:n ja 21%:n välillä [7].



Kuva 4. Yksikiteinen piikkenno [7].

Yksikidekenno on rakennettu nimensä mukaisesti yhdestä kennosta ja kennot kytketään lopulta paneelissa sarjaan. Sen tunnistaa parhaiten tasaisesta väriytyksestä ja kennojen pyöreistä nurkista, koska alun perin piitanko on kasvatettu pyöreäksi. Kuvasta 4 nähdään yksikidekennoista valmistettu aurinkopaneeli, jossa kennojen reunat on pyöristetty [7].

Monikiteinen piikkenno

Monikiteinen piikkenno on noussut yleisimmin valmistetuksi kennotyypiksi. Sen valmistus on edullisempaa ja helpompaa kuin yksikidekennon. Huonona puolena ovat hilavirheet, jotka vaikuttavat sähkövirran kulkuun kennon sisällä, tämä heikentää hyötysuhdetta. Kennon hyötysuhde vaihtelee 14 %:n ja 18%:n välillä [7].



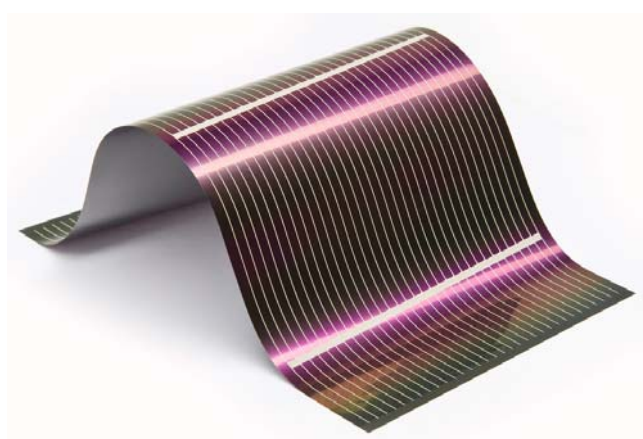
Kuva 5. Monikiteinen piikkenno [7].

Kuvasta 5 nähdään, että monikidepaneeli on koottu monesta neliskulmaisesta kennosta. Monikiteinen pii ei ole tasainen ja siitä näkee silmällä kennossa olevat kiteet. Yhden auringokennon antama jännite on noin 0,5–0,6 V. Yleisesti käytetään 12 V:n järjestelmiä, jolloin paneelissa tulee olla 36 kennoa. Kirkkaalla auringonpaisteella kennot tuottavat sähkövirtaa noin 32 mA/cm^2 . Näin saadaan esimerkiksi 90 mm x 120 mm suuruisella kennolla tuottamaan maksimissaan 3,5 A [7].

Ohutkalvokennot

Ohutkalvokenno on kasvava tuote markkinoilla ja teollisuudessa. Sen valmistukseen tarvitaan vähemmän raaka-aineita kuin piikkenoihin, tämän ansiosta se on edullisempaa ja sitä on helpompi soveltaa massatuotannossa. Ohutkalvokennossa on käytetty amorfista piitä, nykyisin yleisin materiaali on kadmiumtelluuri ja lupaavana vaihtoehtona toimii kupari-indiumdiselenidi. Jälkimmäiset materiaalit absorboivat tehokkaasti fotoneja ja ovat valmistusteknillisesti parempia verrattuna edeltäjiinsä. Ohutkalvotekniikassa käytetään myös galliumarsenidia, mutta korkean hintansa ja säteilykestävyytensä takia sitä käytetään yleisesti vain avaruussovelluksiin. Piipohjaisten kennojen toiminnallisen osan paksuus on 100–300 μm , kun taas ohutkalvotekniikkaan pohjautuvilla se on 1–10 μm . Ohutkalvokennojen rakenteen ansiosta sitä voidaan taivuttaa kuvan 6 mukaisesti, jolloin se voidaan asentaa eri muotoisille pinnoille ja se kykenee keräämään paremmin

hajasäteilyä. Ohutkalvokennoista voidaan valmistaa läpinäkyviä, joten niillä voidaan päällystää esimerkiksi ikkunoita [19].



Kuva 6. Taipuisa ohutkalvokenno [19].

Ohutkalvokennojen hyötysuhde ei ole yhtä hyvä kuin yksi- ja monikidekennoilla, mutta sen edullinen ja helppo valmistus tekee siitä kilpailukykyisen. Yleisimmällä, kadmiumtelliuri kennolla hyötysuhde on parhaimmillaan noin 18 %, kupari-indiumdiselenidilla noin 14 % ja galliumarsenidilla jopa 30 %. Ohutkalvokennon todellisesta käyttäisistä ei ole kokemusta, sen tekniikan uutuuden takia [19].

Aurinkopaneeli

Aurinkopaneelit ovat iso osa aurinkosähköjärjestelmää, paneelien tarkoituksena on kerätä energiaa auringonvalosta ja tuottaa sähköä. Aurinkopaneeli muodostuu sarjaan kytetyistä kennoista ja niiden määrä määräytyy käyttötarpeen mukaan. 36 kennon sarjakytkennällä saadaan esimerkiksi ladattua 24 V:n akkuja. Aurinkokennosta saatu sähkövirta on verrannollinen muodostuvien elektronaukkoparien lukumäärään. Tämän vuoksi kennon pinta-ala ja auringon säteilyn voimakkuus vaikuttavat sähkövirtaan. Sarjaan kytetyistä kennoista saatava virta on yhtä suuri kuin yhden kennon tuottama virta. Aurinkopaneeleja voidaan kytkeä sarjaan tai rinnan, mutta niiden tulee olla keskenään samanlaisia. Sarjakytkentä summaa paneelijännitteet, jolloin saadaan korkeampi siirtojännite ja sen myötä pienemmät sähkönsiirtohäviöt. Rinnankytkeä summaa paneelivirrat, jolloin yhden paneelin varjostus ei vaikuta muiden paneelien toimintaan [6].

Aurinkopaneelien sijoitus ja suuntaus

Optimaaliseen toimintaan ja energiantuottoon vaikuttavat merkittävästi aurinkopaneelien sijainti, kallistuskulma sekä suuntaus. Paneelien suuntaus tulisi olla mahdollisuuksien mukaan siihen suuntaan, josta aurinko paistaa pisimpään. Suomessa optimaalisin asennuskulma vaakatasoon nähden on 40–45 asteen välillä. Kallistuskulmalla on suurempi vaikutus kuin suuntauksella, mutta molempien tulisi olla asetettu tuotannon kannalta optimaalisimmin [7].

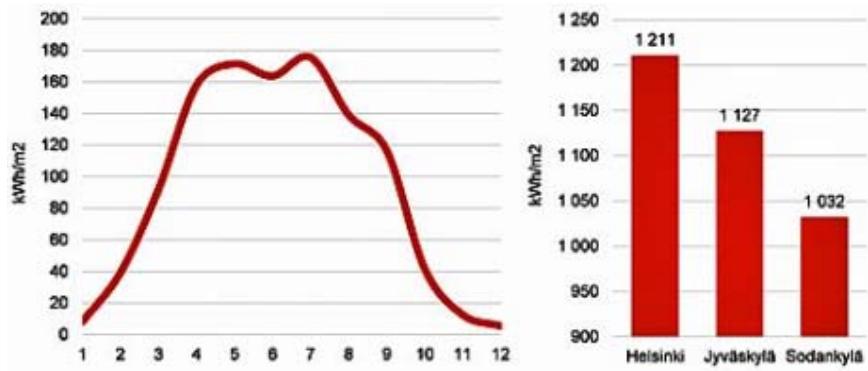
Paneelien yleisin asennustapa on kiinteäkulmainen, koska se on luotettava ja taloudellinen. Miinuspuolena on se, että paneelit eivät pysty käyttämään hyväkseen kaikkea auringosta saapuvaa säteilyä, säteilyn tulokulma vaihtelee maapallon pyöriessä. Asentamalla paneelit eri suuntiin tai kulmiin menetetään antotehoa, koska altistuminen auringonvalolle muuttuu. Aurinkopaneelien sarjaan kytkettäessä tulee ottaa huomioon kallistuskulmat ja asennussuunnat, koska näiden muuttuessa muuttuu myös altistuminen auringonvalolle, joka tarkoittaa antotehon menettämistä [7].

Aurinkopaneelien optimaaliseen sähköenergian tuottoon vaikuttaa esimerkiksi rakennuksen, puun tai pilven aiheuttama varjostus, joka laskee paneelien tuotantoa.

Vuodenajan ja sijainnin vaikutus

Kerättyjen tilastojen avulla pystytään arvioimaan suhteellisen hyvin, kuinka paljon sähköä voisi tuottaa eri paikkakunnilla. Euroopan komissiolla on tarjota selainpohjainen laskentaohjelma PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System), jolla pystytään arvioimaan aurinkosähköjärjestelmien sähkötehon ja sähköenergian tuottoa koordinaattien avulla. Sivujen kartat ja laskentaohjelma esittävät vuotuista maailmanlaajuisista säteilymäärien summaa pysty-, vaakasuoralle, optimaalisesti kallistetulle paneelille sekä suuntaansa muuttavaa paneelille. Näiden ohjelmien ja tilastojen avulla on mahdollista vertailla toteutustapoja, esimerkiksi paneelien kallistusten ja suuntausten vaikutusta sähköntuottoon [17].

Suomessa sähköntuotto aurinkoenergialla vaihtelee suuresti vuodenaikojen mukaan, suurimmat tuotot saadaan kesäkuukausina. Kuvasta 7 nähdään, että lokakuu–helmikuun välisenä aikana säteilyn määrä pysyy jopa alle 40 kWh/m². Alku-, keski- ja loppukesästä kokonaissäteilyn määrä vaihtelee 120–180 kWh/m² välillä.



Kuva 7. Suomessa vuotuisen säteilyn jakautuminen vuoden eri kuukausille. Eri kuntien vuotuiset säteilymäärät [4].

Sijainnilla ja aurinkopaneelin kulmalla on suuri vaikutus aurinkoenergian säteilyn määriin. Ilmatieteenlaitoksen testivuoden mukaan kokonaissäteilyenergian määrä vaakatasolle oli Etelä-Suomessa noin 980 kWh/m², Keski-Suomessa määrä oli noin 890 kWh/m² ja Pohjois-Suomessa noin 790 kWh/m². Paneelin kulman ollessa 45 astetta etelään päin, saatiin kerättyä vuositasolla noin 20–30 prosenttia enemmän säteilyä verrattuna vaakatasoon asennukseen [4].

3 Vaihtosuuntaaja ja ohjausyksikkö

3.1 Vaihtosuuntaajat

Aurinkosähköjärjestelmässä käytetty invertteri muuntaa aurinkopaneelien tuottaman tasavirran vaihtovirraksi, mikä voidaan syöttää suoraan yleiseen sähkönjakeluverkkoon tai käyttää paikallisessa yleisestä sähkönjakelujärjestelmästä erillään olevassa verkossa. Vaihtosuuntaaja on tärkeä komponentti aurinkosähköjärjestelmässä, sen avulla pystytään muuntamaan tasasähkö vaihtosähköksi. Nykyään aurinkoinverttereitä on erilaisia ja niihin on yhdistetty monia erilaisia funktioita, kuten maksimienergiahuipun seuranta (MPPT, Maximum Power Point Tracking) ja saarekesuojaus [7].

Aurinkoinverttereita pystytään käyttämään karkeasti kolmella eri tavalla:

Sähkönjakeluverkosta eristetyssä järjestelmässä toimiva invertteri, jossa invertteri ottaa tasasähkön akustosta. Akustoa ladataan aurinkosähköllä käyttäen ohjauksyksikköä.

Verkkoinvertteri on virtalähdeinvertteri, joka perustuu synkronointiin yleisen jakeluverkon kanssa, eli se tahdistuu jakeluverkon arvoihin. Jakeluverkossa tapahtuvan sähkökatkon aikaan invertterin täytyy lopettaa heti toimintansa. Tämä toimii yleisenä turvallisuusvaatimuksen, jonka tarkoituksena on suojata verkkolinjojen kanssa työskenteleviä henkilöitä.

Akustoon kytketty erikoisinvertteri ottaa tulotehonsa akustosta. Invertteri, johon on yhdistetty lataussäädin, pystyy lataamaan akustoa ja kuljettamaan ylijäämäsähkön yleiseen jakeluverkkoon. Tämän tyyppinen invertteri lisää omavaraisuutta sekä mahdollistaa aurinkosähkön käytön myös sähkökatkon aikana.

Valmistajilla on tarjolla paljon erilaisia inverttereita, ja ne kehittyvät tekniikan kehittyessä. Seuraavaksi esitellään tarjolla olevia vaihtoehtoisia ratkaisuja, kuinka tasavirran muutos vaihtovirraksi voidaan toteuttaa.

Ketjuinvertteri

Ketjuinvertteri on markkinoilla kustannustehokkain aurinkosähkövaihtosuuntaaja. Perinteisen vaihtosuuntaajan ja aurinkosähkövaihtosuuntaajan ero ei ole kovinkaan suuri, enimmäkseen se riippuu käyttötilanteesta sekä mitä lisäominaisuuksia tarvitaan. Järjestelmän aurinkopaneelit asennetaan sarjaan, jonka jälkeen ne kytketään ketjuna invertteriin, jolloin invertteri havaitsee ketjun yhtenä isona paneelina. Ketjuinvertterin isoin heikkous tulee esille silloin, kun eri paneeleihin vaikuttaa osavarjostusta tai kun käytetään eri valmistajien paneeleja [7].

Ketjuinvertteri on nykyään eniten valmistettu ja asennettu vaihtosuuntaaja aurinkosähköjärjestelmässä. Yhä useampi valmistaja tarjoaa ketjuinvertteriä tämän pitkän elinkaarensa ansiosta. Lisäksi se tunnetaan luotettavuudesta, helppokäyttöisyydestä sekä korkeasta huippuhyötysuhteesta, joka voi vaihdella 96 %:n ja 98 %:n välillä.



Kuva 8. Ulkoseinään asennettu ketjuinverterri [7].

Mikroinverterri

Mikroinverterri toimii vastaavalla tavalla kuin muutkin inverterit, erona on sen asennuskohde. Jokaiselle paneelille tulee oma mikroinverterri, joka mahdollistaa tasaisen sähkön tuoton ja paneelit eivät ole riippuvaisia toisistaan. Paneelit, jotka ovat jääneet varjoon, eivät vaikuta toisten paneelien tuotantoon samalla tavalla kuin käytetään yhtä verkkoinverterriä [7].



Kuva 9. Mikroinvertteri [7].

Vaikka mikroinvertterin koko helpottaa asennuksia ja sillä pystytään tuottamaan tasaisesti, on silläkin heikkoutensa. Jokaiseen paneelin yhteyteen asennettaessa invertteri, nousee hankintakustannukset sekä huollon haastavuus. Inverttereiden ollessa esimerkiksi paneelien läheisyydessä katolla, tulee huoltomiehen kiivetä katolle suorittamaan huoltoa ja tämä lisää työturvallisuusriskiä [7].

3.2 Ohjausyksikkö

Ohjausyksiköllä säädetään aurinkopaneelilta akuille tulevaa latausjännitettä ja -virtaa. Akkuja ei saa yli ladata, joten jännitteen ja virran säätäminen on tärkeää. Ohjausyksikön tarkoituksena on myös estää akuille vahingollinen syväpurkaus sekä vuotovirtojen kulkeminen aurinkokennoille päin. Ohjausyksiköitä on erilaisia: PWM-tekniikkaan ja MPPT-tekniikkaan perustuvia sekä ohjausyksikön ja vaihtosuuntaajan yhdistelmälaitteita.

PWM-ohjausyksikkö (Pulse-Width Modulation) syöttää akuille tasajännitteen, joka on hieman suurempi kuin akuston nimellisjännite ja tarpeen mukaan pätkii kulkevaa virtaa. PWM-säädin ei kestä yhtä korkeaa jännitettä kuin MPPT-säädin. PWM-säädintä käytetään pienissä 12 V:n ja 24 V:n tasasähköjärjestelmissä [7].



Kuva 10. PWM-ohjausyksikkö [7].

MPPT-ohjausyksikkö (Maximum Power Point Tracking) tutkii jatkuvasti, millä jännitteellä ja virralla aurinkopaneelista saadaan suurin teho irti. MPPT-säätimellä saadaan optimaalinen tuotto, koska säädin asennetaan jokaisen paneelin yhteyteen, tällöin eri paneelien häiriöt eivät vaikuta toisten paneelien tuottoon. Korkeamman jännitteen kesto mahdollistaa paneelien kytkemisen sarjaan, ja korkeampi jännite paneelien ja säätimen välissä pienentää virtalämpöhäviöitä [7].



Kuva 11. MPPT-lataussäädin [7].

4 Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu

4.1 Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelukohte

Aurinkosähköjärjestelmäsuunnitelman kohteena on vuonna 1990 rakennettu päärakennus Heinolassa sijaitsevalle kesämökille. Tontti koko on noin 0,46 hehtaaria, josta noin 70% on varjoista aluetta, joka ei sovellu tuottamaan aurinkosähköä. Järjestelmän suunnittelun pääkohteena toimii kesämökin päärakennus. Rakennus sijaitsee noin 35 metrin päässä rannasta, jossa vuotuinen auringonsäteilyn kokonaismäärä on noin 1000 kWh/m². Rakennus on kaksikerroksinen ja sen asuinneliöiden määrä on noin 43m².



Kuva 12. Kohteen tontti sekä rakennukset. 1) päärakennus 2) saunarakennus [12].

Kuvasta 12 pystytään havainnollistamaan, kuinka paljon tontilla on varjoisia alueita, jotka vaikuttavat aurinkopaneelien valintaan ja sijoitteluun. Varjostuksilla on vaikutusta myös invertteidein valintaan ja kytkentöihin. Satelliittikuva on saatu Google Maps sovelluksen avulla, mutta kuva ei ole ajantasainen. Tontilta on kaadettu paljon puita vuosien 2017–2019 aikana, jolloin ranta on paljon avonaisempi kuin mitä kuva näyttää.

Laitteisto ja järjestelmä

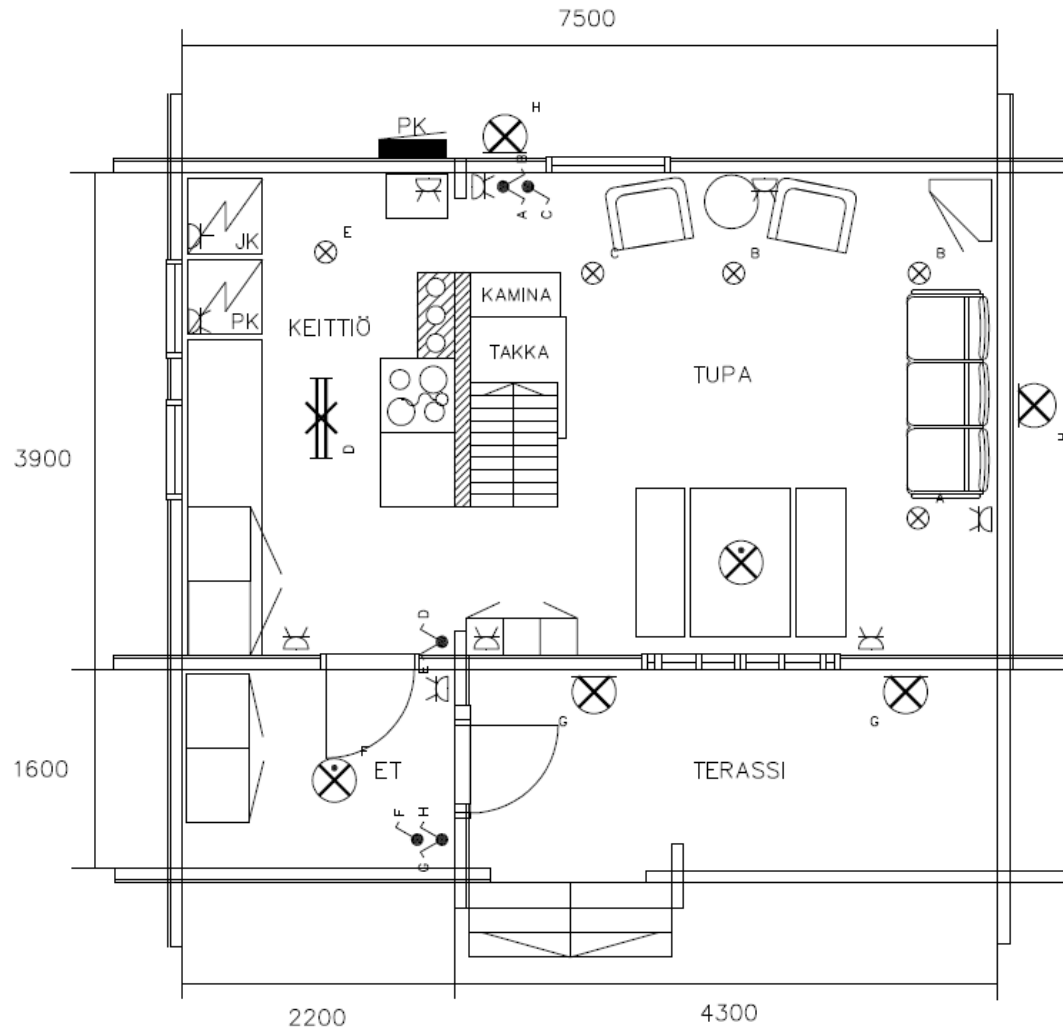
Mökille on tuotu sähköliittymä, johon suunniteltu aurinkosähköjärjestelmä yhdistetään. Tämänhetkiset laitteistot ja kojeet toimivat yleisellä 230 V:n verkkojännitteellä ilman vikavirtasuojia. Mökin pääkeskus sijaitsee päärakennuksen ajotien puoleisella seinustalla. Kuvasta 13 nähdään, että seinustalla on riittävästi tilaa aurinkosähköjärjestelmän komponenteille, pääkeskuksen päivitykselle tai tarvittaessa molemmille.



Kuva 13. Päärakennuksen ajotien puoleinen seinusta, jolla sijaitsee pääkeskus.

Järjestelmä koostuu kiinteistä ja liitettävistä laitteista. Kiinteitä laitteita ovat: jääkaappi ja pakastin yhdistelmä, patterit, televisio ja sähköhella. Yleisiä liitettäviä laitteita ovat TV sekä puhelimen laturit. Rakennuksessa on jääkaappi ja kaksi pakastinta, yksi pakastimista on erillinen ja toinen yhdistettynä jääkaappiin. Jääkaappi ja pakastin pidetään

päällä kevästä syksyyn, mutta talvi aikaan pidetään päällä vain toinen pakastimista. Sähköhellää käytetään pääosin esimerkiksi perunoiden tai pastan keittämiseen, muuten käytetään puugrillää. Kuvassa 14 on osoitettu laitteiden, pistorasioiden sekä valaisimien sijoitukset asunnossa. Liitteenä 1 olevasta kytkentäkaaviosta nähdään eri valaisimien kytkentäryhmät.



Kuva 14. Asennuspiirustus kojeiden asettelusta.

Päärakennuksessa on takkalämmityksen lisäksi kaksi kappaletta sähköpattereita, yksi sijaitsee ensimmäisessä kerroksessa ja toinen yläkerrassa. Kesäaikaan patterit pidetään poissa päältä ja talviaikaan ensimmäisen kerroksen patteri pidetään kevyellä lämmöllä. Tällä estetään mökin täysi jäätyminen, ja se saadaan helpommin lämpimäksi, jos siellä on tarvetta yöpyä.

Valaistus

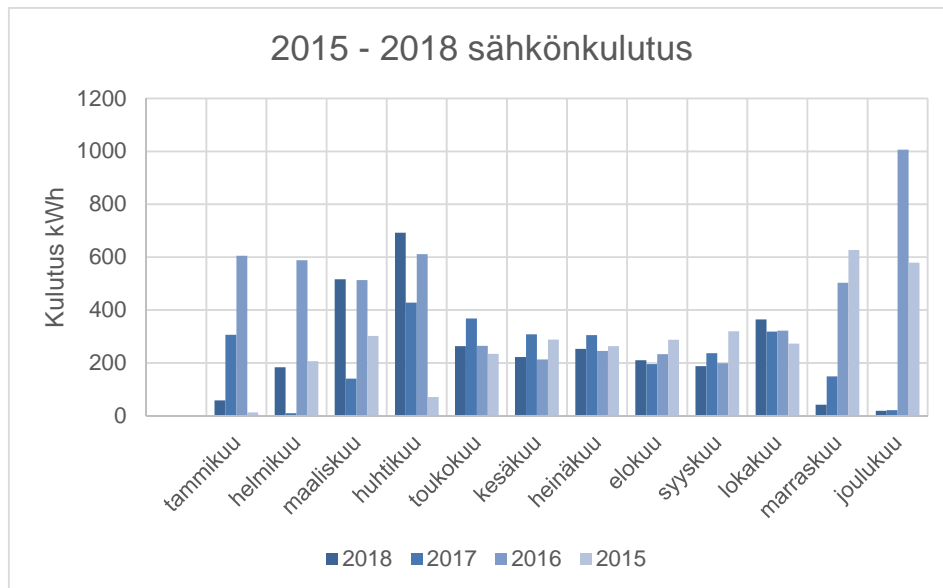
Tämän hetkinen sisävalaistus koostuu päärakennuksessa 230 V:n jännitteellä toimivista 50 W:n halogeenivalaisimista, joita on yhteensä 6 kappaletta sekä kahdesta 14 W:n loisteputkesta. Rakennuksen ulkovalaistus on toteutettu neljällä 10 W:n LED-valaisimella. Valaistus ja pistorasiat on uusittu vuonna 2012, joten kaapelointia ei tarvitse vaihtaa.

Kulutus

Kesämökin kulutuksia vertailtiin vuosien 2015 ja 2018 välillä käyttäen avuksi sähköjake-
lija Vattenfallin Oma Energia -verkkopalvelua. Kulutustietojen avulla pystytään selvittä-
mään minä vuoden aikana kulutukset ovat korkeimmillaan sekä kuinka suuri kulutus on
arviolta kesän aikana. Näitä tietoja voidaan käyttää hyväksi aurinkosähköjärjestelmän
suunnittelemiseen. Taulukosta 1 nähdään 2015 ja 2018 väliseltä ajalta sähkökulutukset
eri kuukausilta. Kuvan 15 avulla pystytään havainnollistamaan taulukon 1 kulutusarvoja.

Taulukko 1. Kuukausittain kesämökin sähkökulutukset vuosina 2015–2018, arvot kWh:na [16].

Aika	2018	2017	2016	2015
tammikuu	58,5	306,2	605,48	12,56
helmikuu	183,09	9,74	588,1	206,63
maaliskuu	516,62	140,58	513,35	301,58
huhtikuu	692,4	427,99	611,39	70,85
toukokuu	263,77	368,01	264,8	234,01
kesäkuu	222,12	307,95	213,2	288,12
heinäkuu	253,02	304,88	245,65	262,79
elokuu	210,05	195,06	232,71	287,23
syyskuu	188,01	236,78	198,71	319,41
lokakuu	364,39	318,53	322,47	273,42
marraskuu	41,29	149,35	503	626,9
joulukuu	18,65	21,22	1006,83	578,8
yhteensä	3011,91	2786,29	5305,69	3462,3



Kuva 15. Kaavio vuosien 2015–2018 sähkökulutuksista kuukausien välein [16].

Kuvasta 15 nähdään, että vuosina 2015 ja 2016 talviaikaan sähkökulutus on ollut korkeimmillaan. Tämän perusteella voidaan olettaa, että mökillä on haluttu käydä ja patterin lämpötilaa nostettu mukavuuden lisäämiseksi. Kesäaikoja verratessa huomataan, että sähkökulutukset vaihtelevat kuukausittain noin 200 kWh:n ja 360 kWh:n välillä. Vuoden 2018 kesäajasta valittiin päivä, jolloin kulutus oli suurimmillaan ja päiväksi valikoitui 23. kesäkuuta. Kuvan 16 mukaan matalin kulutus oli 0,52 kWh ja korkein 2,5 kWh ja päivän kokonaiskulutus oli 27,48 kWh.



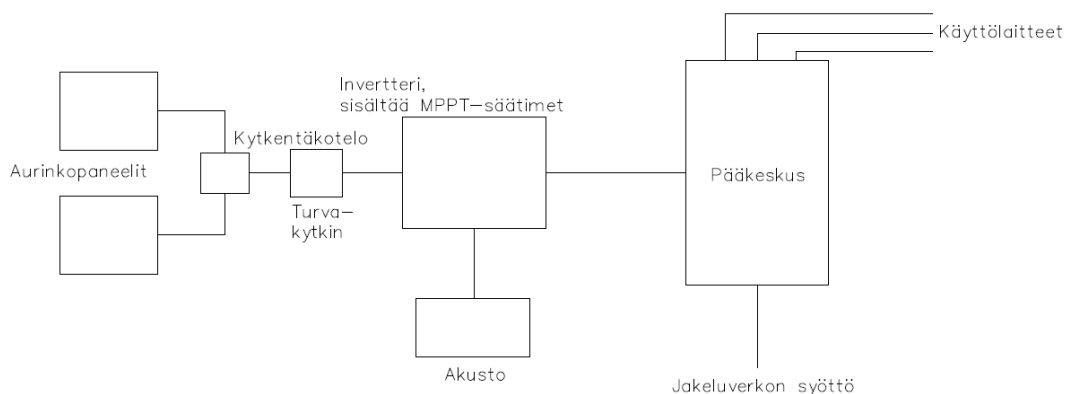
Kuva 16. Sähkönkulutus tiettyä päivänä.

4.2 Uuden järjestelmän suunnittelu

Aurinkosähköjärjestelmään suunnitelman yhteydessä on hyvä suunnitella olemassa olevan järjestelmän päivittämistä energiatehokkaammaksi. Valaistus on tehty osin LED-valaisimilla sekä halogeenivalaisimilla. Halogeenivalaisimet tulisi vaihtaa LED-valaisimiin, jolloin saadaan valaistuksen sähkönkulutus jopa puolitettua aikaisemmasta. Tällä hetkellä noin 370 W, päivityksen jälkeen noin 130 W.

Rakenne ja sijoitus

Aurinkopaneelien sijoituspaikkaa käytetään aurinkosähköjärjestelmän suunnittelun perustana. Paneelien optimaalisin sijoituspaikka on järven ranta, jossa on vähiten auringon säteilyä vähentäviä esteitä. Esteettömän auringonpaisteen lisäksi lisäetuna saadaan järven pinnasta heijastuvaa säteilyä, joka voi parhaassa tapauksessa nostaa hetkellisesti tuottoa jopa 20 %. Vuositasolla veden pinnasta saatu säteilyn osuus on vain muutama prosentti. Optimaalisen säteilymäärän saavuttamiseksi paneelit tulisi asentaa etelään päin noin 45°:en kulmaan pystysuunnasta, jolloin kerättävän säteilyn määrä voi nousta 20–30 % verrattuna vaakasuoraan asennukseen. Kuvasta 17 nähdään aurinkosähköjärjestelmän karkean rakenteen.



Kuva 17. Aurinkosähköjärjestelmän karkea rakenne.

Aurinkosähköjärjestelmän tulee olla suunniteltu, mitoitettu sekä asennettu oikein ja säännösten mukaisesti. Järjestelmän rakenne suunnitellaan käytönkohteen ja sen sähkönkulutuksen sekä haluttujen toimintojen mukaan. Järjestelmän tarkoituksena on pitää tärkeimpänä pidetyt laitteet toimivina sähkökatkon aikana, erityisesti jääkaappi sekä pakastin. Järjestelmän laitteet ja mitoitus käydään läpi omina osioinaan.

Suunnitelman aurinkosähköjärjestelmä koostuu seuraavista elementeistä

Aurinkopaneelit asennetaan järven rantaan, keräämään mahdollisimman paljon suoraa aurinkosäteilyä sekä veden pinnasta saatua hajasäteilyä. Paneelit asennetaan 45 asteen kulmaan etelään päin, tällöin optimoidaan suoran säteilyn ja hajasäteilyn kerääminen.

Päärakennuksen asennetaan vaihtosuuntaaja, jonka avulla pystytään syöttämään sähkölaitteita sähkökatkon aikana sekä vähentämään sähkönkulutusta yleisestä sähköjakeluverkosta. Aurinkopaneelit lataavat akustoa, ja invertterillä muutetaan akustolta tuleva tasasähkö käyttölaitteille sopivaksi vaihtosähköksi. Vaihtosuuntaan on integroitu MPPT-ohjausyksikkö, jonka avulla ladataan akustoa. Invertteri asennetaan kohderakennuksen autotien puoleiselle seinustalle pääkeskuksen sekä ohjausyksikön läheisyyteen.

Akusto mitoitetaan valittujen sähkölaitteiden tehojen ja käytön mukaan. Akustoa ladataan aurinkosähköllä ja se syöttää invertterin kautta verkossa olevia laitteita.

Mitoitus

Jännitteeksi valitaan 230 V, koska alkuperäinen järjestelmä toimii kyseisellä jännitteellä. Tällöin ei tarvitse tehdä niin paljoa laitevaihdoksia ja muutoksia järjestelmään. 230 V:n jännite on hyvä myös siksi, että silloin kaapeleiden virtalämpöhäviöt saadaan laskettua pienemmiksi kuin esimerkiksi 12 V:n tai 24 V:n järjestelmissä. Huonona puolena on vaihtosuuntaajan kuluttama noin 10 %:n sähköteho kokonaissähkötehosta.

Ensin lasketaan järjestelmän kokonaisteho. Se rakentuu valaistuksesta (n. 130 W), kylmälaitteista ja sähköhellä (n. 1500 W) sekä muista käyttölaitteista esimerkiksi mobiililaitteen latauslaitteista ja taulutelevisiosta (n. 150 W). Järjestelmän tulisi siis pystyä tuottamaan ainakin 1800 W. Tämä tarkoittaa, että paneelit sekä invertteri tulee valita 1800 W:n tehon mukaan, aurinkojärjestelmän tehojen tulisi mielellään olla laskettua tehoa suurempia. Tämä johtuu siitä, että 230 V:n vaihtosuuntaajat ottavat yleisesti noin 10 % kokonaistehosta, nykyään häviösuhde on pienempi.

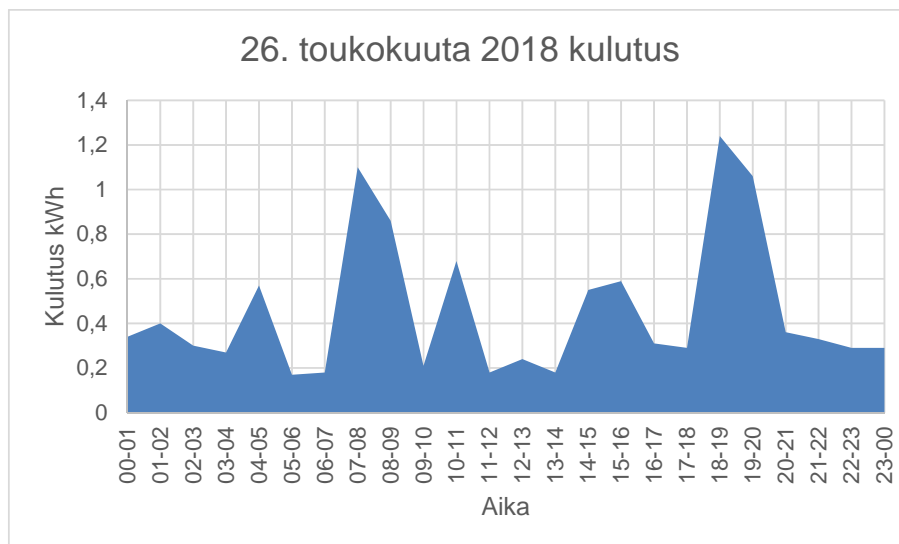


Kuva 18. 1. Päärakennus 2. saunarakennus 3. aurinkopaneelien mahdollinen sijoituskohde [12].

Seuraavaksi lasketaan sähkön siirtoon tarvittava kaapelien määrä ja pituudet. Paneelien sijoittaminen rantaan aiheuttaa noin 35 m:n sähkönsiirtomatkan paneeleilta päärakennukselle (katso kuva 18). Rakennuksen sisäisissä asennuksissa on käytetty $1,5 \text{ mm}^2$:n sekä $2,5 \text{ mm}^2$:n kaapeleja. Kuvan 14 (ks. s. 18) avulla laskettiin yhteensä kaapelia olevan noin 75 m. Ulkoisten ja sisäisten asennusten kaapeleiden pituudeksi on arvioitu noin 110 m. Tilanteessa, jossa kaikissa kulutuspaikoissa olisi kulutusta.

Akusto mitoitetaan järjestelmän kulutuksen mukaan. Kohteessa käydään suurimmaksi osaksi alkukesän ja syksyn välisenä aikana, jolloin valoisuutta ja aurinkoa riittää aamusta pitkälle iltaan. Akustoja pyritään lataamaan päivällä mahdollisimman paljon, koska sähkön käyttö keskittyy pääosin aamuihin ja iltoihin. Ruokailut ajoittuvat myös aamuihin ja

iltoihin, kuten kuvasta 19 nähdään piikit sähkön kulutuksessa. Kulutuspiikit syntyvät, jos ruoan laittoon käytetään sähköhellää.



Kuva 19. Yksittäisen päivän sähkönkulutuksen jakautuminen.

Jos akkujen käyttö sijoittuu aamulle ja illalle, niin maksimikuormitus on mahdollista olla päällä noin 4 tuntia vuorokaudessa. Arvioidulle 1800 W:n maksimikulutukselle energiamäärä, joka saadaan kaavalla

$$E = P * t = U * I * t,$$

jossa E on energiamäärä, P tarvittava teho, t sähkökäyttöaika. Eli $E = P * t = 1800W * 4h = 7,2 kWh$. Tämä on teoreettinen tulos, joten akuston kapasiteetin tulisi olla reilusta enemmän kuin laskettu tulos, jopa puolet isompi.

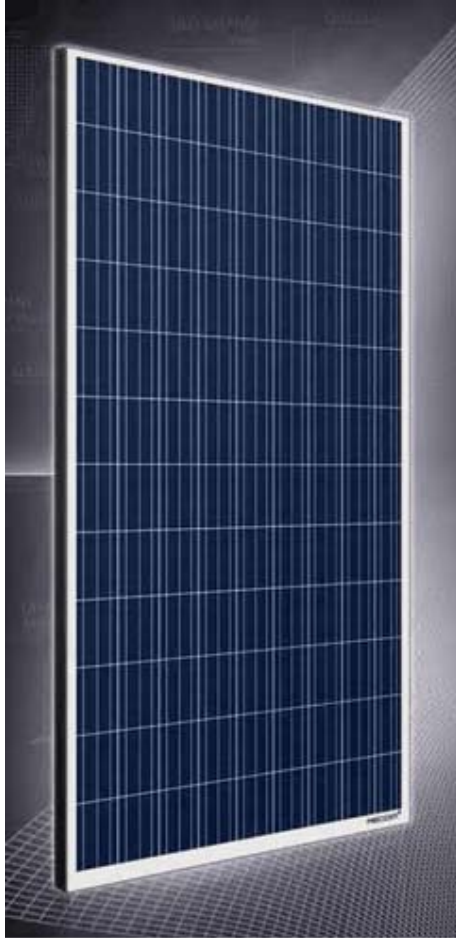
Järjestelmän laitteisto ja kaapelointi

Laitteet valittiin mitoitusperusteella sekä siten, että kustannukset eivät nousisi liian suuriksi ja laitteet olisivat laadukkaita. Mitoitusperusteiden jälkeen 'Pihatukku'-sivustolta löydettiin suunnitelmaan melkein sopiva aurinkosähköpaketti 'AurinkoPlus L'. Kuvasta 20 nähdään alkuperäisen Aurinkoplus L-paketin laitteet, yliviivattuja laitteita ja komponentteja ei oteta käyttöön.

TOIMITUSSISÄLTÖ AURINKOPLUS AURINKOENERGIAJÄRJESTELMÄ L	
✓	4kpl Solarwatt Blue 60 260W (24V) aurinkopaneeli
✓	4kpl End clamp + (Renusol) paneeliasennuskiinnike
✓	6kpl Middle Clamp + Renusol -asennuskiinnike
✓	10kpl Renusol MetaSole + paneeliasennuskiinnike
✓	1kpl MC4 liittimet (pari)
✓	1kpl Invertterilaturisäädin Victron EasySolar 24/3000/70-50
✓	4kpl Rollsolar S605 605Ah Kanadalainen akku
✓	Akkukaapeli (2m x 2x10mm ² johto akkukenkineen)
✓	Akkujen välikaapelit 2x50mm 0,5m
✓	Akkukaapeli (2m 2x10mm ² johto akkukenkineen)
✓	Asennuskaapeli (2x4mm²) valkoinen 10m

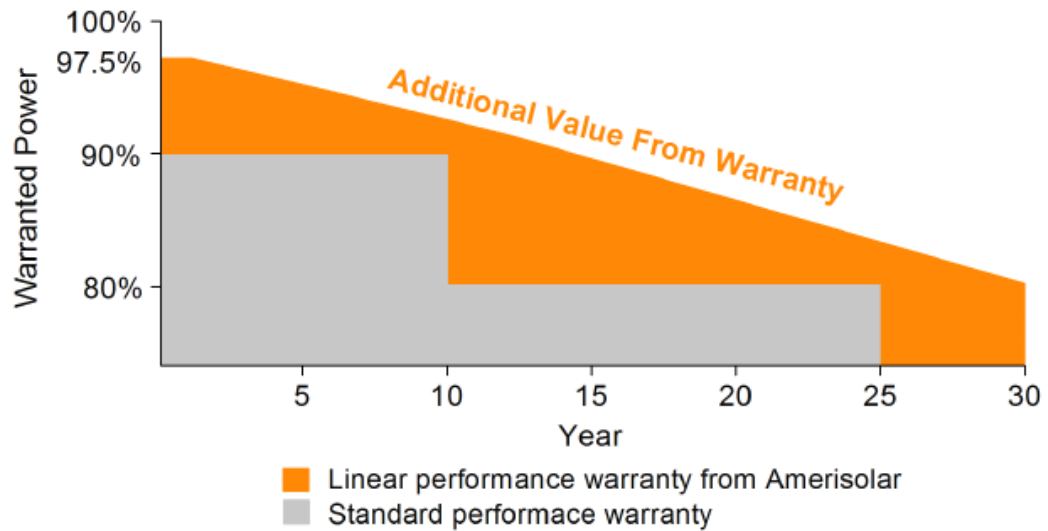
Kuva 20. Aurinkoplus L -paketin sisältö, yliviivattu ei käytetyt komponentit [8].

Aurinkopaneeleiksi valittiin seitsemän kappaletta Amerisolarin 285 W mallin AS-6P30-monikidepaneeleja. Paneelien maksimitehot ilmoitetaan teoreettisten (STC eli Standard Test Conditions) ja tositilannetta mukailevien (NOCT eli Nominal Operating Cell Temperature) mittausten perusteella. STC:n perustein tehtyjen mittausten maksimiteho on 285 W, mutta NOTC-mittausten perusteella 206 W. Paneelien yhteenlasketuksi kokonaistehoksi saadaan 1995 W (STC) sekä 1442 W (NOTC). NOTC:n mukaan laskettu teho riittää hyvin, vaikka se jääkin hieman uuden järjestelmän kokonaistehon alapuolelle. Järjestelmään laskettiin mukaan sähköhella, vaikka sitä ei käytetä kuin maksimissaan kerran päivässä.



Kuva 21. Amerisol AS-6P30 monikidepaneeli [2].

Amerisol paneelin materiaali- ja valmistusvirheille on 12 vuoden takuu, 91,2 %:n sähkön-
tuotolle 12 vuodentakuu sekä 80,6 %:n tuotolle 30 vuoden takuu. Kuvasta 22 nähdään,
miten takuut jakaantuvat materiaali- ja valmistusvirheille sekä suorituskyvyille. Aurinko-
paneelit asennetaan rannalle, joten tarvitaan myös maa-asennusteline, mitä ei ole Au-
rinkoplus L-paketin mukana. Thermosun.fi sivustolta valitaan neljä kappaletta maa-asen-
nustelineitä, yhteen telineeseen saadaan asennettua kaksi 285 W:n paneelia [2].



Kuva 22. Amerisol AS-6P30-aurinkopaneelin takuu suorituskyvyille [2].

Aurinkoplus L-pakettiin kuuluu Victron EasySolar 24/3000/70 verkkoinvertteri. Invertteriin on yhdistetty akuston lataus aurinkosähköllä käyttäen MPPT-säädintä, tasajännitteen vaihtosuuntaus sekä vaihtojännitteen jakaminen 230 V:n järjestelmään. Tämän ansiosta erillistä lataussäädintä ei tarvita. Laite pystyy tuottamaan maksimissaan 3 kW:n vaihtojännitteisen tehon hyötysuhteen ollessa 98 %. Laitteessa tapahtuvat tehohäviöt ovat siis pienemmät kuin on yleisesti mainittu, järjestelmien yleisessä mitoituksessa tehohäviö on ollut 10 %. Invertteristä löytyy ylivirta- ja ylijännitesuojaus sekä maavuodon seuranta. Vaihtosuuntaaja pystytään kytkemään kolmivaiheisena, joten tarvittaessa myös sähköhellää pystytään käyttämään. Laitteelle on asetettu viiden vuoden takuu [8].



EasySolar 3 kVA

Kuva 23. Victron EasySolar 24/3000/70 verkkoinverterri [18].

Akuston valinta järjestelmään on vielä tekemättä. Aikaisemmin laskettiin uuden järjestelmän kokonaistehoksi 1800 W, jolloin kaavalla $E = P * t$ saatiin neljän tunnin maksimikulutukseksi 7,2 kWh. Vaihtosuuntaaja tarvitsee vähintään 19 VDC:n jännitteen toimiakseen. Aurinkopult L pakettiin kuuluu neljä kappaletta Rolls Solar 6 VDC-akkuja, nämä kun kytketään sarjaan, niin saadaan 24 VDC:n jännite, joka riittää vaihtosuuntaajalle. Akku pystyy tuottamaan 20 tunnin purkuajassa 468 Ah, joka tarkoittaisi valitsemasamme 24 VDC:n akustossa energiaa: $E = P * t = U * I * t = 24V * 468A * 1h = 11,2 kWh$. Valittu akusto pystyy siis tuottamaan melkein kaksinkertaisen energian mitoitettuun määrään nähden. Akuilla on jopa seitsemän vuoden takuu, ja mitoitettulla kulutuksella sen käyttöikä pitenee reilusti, kun sitä ei käytetä tyhjäksi [18].



Kuva 24. Rolls Solar S-605Ah 6V-akku [19].

4.3 Sähkökatkon aikana toimivat järjestelmät

Aurinkosähkösuunnitelman kohde sijaitsee Heinolassa, jossa on havaittu jonkin verran sähkökatkoja. Aikaisemmin on jouduttu esimerkiksi sulattamaan pakastin pitkän katkoksen takia, joten aurinkosähköjärjestelmä voisi olla hyvä varajärjestelmä. Seuraavaksi käydään läpi, mitä laitteita ja järjestelmiä halutaan pitää toiminnassa sekä miten aurinkojärjestelmä erotetaan yleisestä jakeluverkosta sähkökatkon tapahtuessa.

Katkon aikana toimivat laitteet

Tärkeimpiä laitteita, jotka tulisi pysyä toiminnassa sähkökatkon aikana ovat jääkaappi, pakastin, valaistus ja tuvan pistorasiat. Jääkaapin pitäminen toimintakunnossa estää ruokien pilaantumisen mahdollisesti pitkänkin sähkökatkoksen aikana. Tämä voi aiheuttaa henkistä rasitetta, mutta myös rahallista tappiota, jos ruokaa joudutaan heittämään pois.

Valaistus ja ainakin osa pistorasioita on hyvä pysyä toiminnassa sähkökatkon aikana. Varsinkin alkukevällä ja -syksyllä voi olla pimeää jo kello 20:n aikoihin, joten

sähkökatkon sattuessa joutuu toimimaan jonkin aikaa ilman näköyhteyttä. Tämän ansiosta kaatumis- sekä loukkaantumisriskit ovat mahdollisia. Yksin oltaessa mökillä, voi mahdollisesti tapahtua jotain ja puhelimesta loppua akku, eikä sitä saada ladattua. Tällöin ei saada hälytettyä apua. Varajärjestelmän avulla pistorasioiden toiminta mahdollistaa matkapuhelimien lataamisen, jolloin niiden toiminta-aika pitenee sekä pystyt ottamaan yhteyttä muihin. Pistorasioihin on voitu kytkeä televisio, mikä vaikuttaa positiivisesti sähkökatkon tapahtuessa.

Sähköliittymän ja aurinkosähköjärjestelmän erotus

Sähkön jakeluverkko ja aurinkosähköverkko tulee pystyä selkeästi erottamaan toisistaan, tämä voidaan suorittaa turvakytkimillä. Sähkökatkon tapahtuessa, aurinkosähköjärjestelmän tulee erottaa jakeluverkosta mahdollisimman nopeasti. Aurinkosähköjärjestelmä alkaa katkossa syöttämään sähköä jakeluverkkoon ja tämä voi aiheuttaa verkon työntekijöille vaaratilanteen.

Yleisesti pienvoimala, esimerkiksi aurinkosähkövoimala, erotetaan jakeluverkosta saareke-estolla (LoM eli Loss of Mains). Saarekekäyttöä hallitaan jännite- ja taajuusreleillä, jotka on kytketty aurinkosähköjärjestelmän ja jakeluverkon liityntäpisteeseen. Tyypillisesti järjestelmä ei pysty syöttämään koko saarekkeen kuormaa, jolloin jännite ja taajuus romahtavat ja yksikkö irtoaa liittymispisteen suojauksella. Tuotannon ja kuorman ollessa vastaavan suuruiset, taajuus ja jännite eivät välttämättä saavuta asetettuja arvoja tai saavuttavat ne liian hitaasti. Tällöin ollaan pois havaintoalueelta [15, s.61–62].

Nykyään inverttereistä löytyy standardin SFS-EN 50160 mukaiset suojausmenetelmät. Valitusta Victron EasySolar -invertterissä on kyseiset suojaukset, joten erillistä suojausta ei välttämättä tarvita. Varmuuden vuoksi tasa- ja vaihtojännitepuolille lisätään turvakytkimet, jotta pystytään varmistamaan, ettei kummassakaan järjestelmässä kulje sähköä. Tasajännitepuolelle valitaan invertterin läheisyyteen asennettava Katko DC-turvakytkin ja invertteriltä syötettävän vaihtosähkön katkaisija Schneider Compact NSXm sijoitetaan pääkeskukseen.

Aurinkosähköverkko erotetaan sähkökatkon tapahtuessa automaattisesti käyttäen kolmivaihevalvontarelettä ja kontaktoria. Vaihevalvontarele valvoo jakeluverkosta syöttäviä vaiheita ja sen vaihtokosketin ohjaa syötön ja kuorman välissä olevaa kontaktoria. Katkon tai häiriön tapahtuessa, vaihevalvontareleen kosketin päästää, jolloin kontaktori

lopettaa vetämisen. Aurinkosähköjärjestelmä on kytketty kontaktorin jälkeen riviliittimille, jolloin se jää yksin syöttämään laitteita. Tarkemmat kytkennät nähdään liitteestä 3.

5 Investointikustannukset ja järjestelmän tuotto

5.1 Investointikustannukset

Aurinkosähköjärjestelmän perustamiseen kuuluvat kustannukset koostuvat yksittäisten komponenttien hinnoista, asennustarvikkeista ja asennustyöstä. Komponenttien hinnat löydetään helposti internetistä, jolloin pystytään tekemään riittävän tarkka kustannuslaskenta. Toimituskulut on lisätty alla olevan taulukon hintoihin. Asennustarvikkeet saadaan hankittua lähimmästä rautakaupasta, joten ei tule toimituskuluja. Aurinkosähköjärjestelmän pääkomponenttien hinnat löytyvät taulukosta 2.

Taulukko 2. Aurinkosähköjärjestelmän komponenttien kustannukset

Komponentti	Määrä	Hinta	Yhteensä
Amerisolar 285 W aurinkopaneeli PERC	7	149	1043
Growatt 2000-TL	1	503	503
OutBack FLEXmax 100	1	877	877
Trojan 24-AGM 12V akku	8	107	856
Katko DC-turvakytkin	1	49	49
Schneider Compact NSXm 3p 16A katkaisija	1	174	174
Aurinkopaneelikaapeli 6mm ²	40	1,9	76
maa-asennusteline	4	164,5	658
	Yhteensä		4236

Aurinkosähkön tuottamiseen tarvittavien komponenttien kokonaishinnaksi tulee yhteensä: $1043 \text{ €} + 503 \text{ €} + 877 \text{ €} + 856 \text{ €} + 49 \text{ €} + 174 \text{ €} + 76 \text{ €} + 658 \text{ €} = 4236 \text{ €}$. Laitteiston asennustyö tehdään itse, mutta järjestelmän kunnon ja toimivuuden tulee tarkistamaan ammattihenkilö, joka laskuttaa noin 54 €/h. Ammattihenkilön palkkaamisesta tulee lisäkustannuksia noin $8h * \frac{51\text{€}}{h} = 408 \text{ €}$.

Rakennuksen sisäiseen kaapelointiin ei mene kuluja, koska olemassa olevia kaapeleita pystytään käyttämään uudessa järjestelmässä. Laitteiden väliseen johdotukset voidaan tehdä kaapelilla MMJ 3 * 2,5 mm², jonka hinta on 1,39 €/m. Kyseisiin johdotuksiin tarvitaan noin 10 m kaapelia, joten hinnaksi tulee $1,39 \frac{\text{€}}{\text{m}} * 10\text{m} = 13,9\text{€}$. Akuston ja invertterin välinen johdotus tehdään laajennusta ajatellen 10 mm²:n kaapelilla, jonka hinta on 1,95 €/m. Kaapelia tarvitaan noin 6 m, joten hinnaksi tulee $1,95 \frac{\text{€}}{\text{m}} * 6\text{m} = 11,7 \text{€}$. Laitteiston sääsuojauksen kustannuksiksi tulee noin 133 €

Asennustarvikkeiden hinnaksi voidaan arvioida tulevan noin 300 €. Kun laitteiston hintaan lisätään asennustarvikkeet ja työ, saadaan loppusummaksi: 300€ + 567€ + 4236€ = 5103 €.

Rakennuksen sisäisiä muutoksia ei tule kuin viiden halogeenivalaisimen osalta. Jos halogeenivalaisimet vaihdetaan esimerkiksi 4 W:n LED-valaisimiin, tulee lisäkustannuksia 20 €/valaisin, eli $5 * \frac{20\text{€}}{\text{valaisin}} = 100\text{€}$. Aurinkosähköjärjestelmän asentamiseen ja energia- tehokkuuden lisäämiseen kokonaisuudessaan tulee kustannuksia seuraavasti: 5103 € + 100 € = 5203 €.

5.2 Vuotuinen tuotto ja takaisinmaksuaika

Aurinkosähköjärjestelmän tuotto arvioitiin kahdella eri tekniikalla. Ensimmäisessä mallissa paneelit on asennettu vaakatasoon ja toisessa mallissa paneelit on asennettu PVGIS ohjelman mukaan optimaaliseen kulmaan. Kallistuskulman muuttaminen on helppoa, koska paneelit sijoitetaan järven rannalle ja asennusteline on säädettävä.

Heinolassa sijaitsevan kohteen aurinkosähköjärjestelmän keskimääräinen vuosituotto vaihteli 1370 kWh/v – 1670 kWh/v välillä ja päivittäinen tuotto vaihteli 3,75 kWh/d–4,56 kWh/d (kuva 25) (kuva 26). Optimoimalla paneelien suuntaukset saavutettiin vuodessa 300 kWh/v, mikä on noin 21 % enemmän kuin suoraan vaakatasoon asennetulla paneelilla järjestelmässä. Kun PVGIS-ohjelman avulla saatuja arvioita verrataan olemassa olevan järjestelmän kulutuksiin, huomataan tuoton olevan reilusti vähemmän kuin kulutus. Esimerkiksi vuonna 2017 sähkönkulutus oli noin 2786 kWh, jolloin optimaalisen aurinkosähköjärjestelmän avulla jäljelle jäävä sähkönkulutus on $2786 \text{ kWh} - 1670 \text{ kWh} = 1116 \text{ kWh}$. Sähkön hinta vuonna 2017 oli Vattenfallilla 4,52 snt/kWh plus perusmaksu

2,6 €/kk. Ilman aurinkosähköjärjestelmää sähkön hinnaksi tuli $(4,52 \frac{\text{snt}}{\text{kWh}} * 2786 \text{ kWh}) + (2,6 \frac{\text{€}}{\text{kk}} * 12 \text{ kk}) = 157,12\text{€}$, jos tuolloin olisi ollut aurinkosähkö verkon rinnalla, arvioituksi hinnaksi olisi tullut noin $(\frac{4,52\text{snt}}{\text{kWh}} * 1116\text{kWh}) + (2,6 \frac{\text{€}}{\text{kk}} * 12 \text{ kk}) = 81,64\text{€}$. Tällöin säästöä olisi tullut $157,12 \text{ €} - 81,64 \text{ €} = 75,48\text{€}$.

Solar radiation database used: PVGIS-classic

Nominal power of the PV system: 2.0 kW (crystalline silicon)
 Estimated losses due to temperature and low irradiance: 7.6% (using local ambient temperature)
 Estimated loss due to angular reflectance effects: 3.0%
 Other losses (cables, inverter etc.): 14.0%
 Combined PV system losses: 23.0%

Fixed system: inclination=42°, orientation=-1° (optimum)				
Month	E_d	E_m	H_d	H_m
Jan	1.00	31.0	0.56	17.4
Feb	3.33	93.3	1.92	53.8
Mar	5.04	156	3.05	94.5
Apr	7.28	218	4.64	139
May	8.28	257	5.54	172
Jun	7.86	236	5.36	161
Jul	7.89	245	5.45	169
Aug	6.07	188	4.10	127
Sep	4.20	126	2.71	81.3
Oct	2.37	73.5	1.45	45.0
Nov	0.87	26.1	0.51	15.4
Dec	0.51	15.9	0.29	9.10
Yearly average	4.56	139	2.97	90.4
Total for year		1670		1080

Kuva 25. Aurinkosähköjärjestelmän arvioitu tuotto optimaalisessa 42 asteen kulmassa [18].

Kuvien 25 ja 26 merkintöjen selvennykset ovat seuraavana

- E_d = Järjestelmän keskimääräinen aurinkosähkön päivätuotanto (kWh).
- E_m = Järjestelmän keskimääräinen aurinkosähkön kuukausituotanto (kWh).
- H_d = Järjestelmän keskimääräinen päivittäin vastaanotettu säteily neliometriä kohden (kWh/m²).
- H_m = Järjestelmän keskimääräinen kuukausittain vastaanotettu säteily neliometriä kohden (kWh/m²).

Solar radiation database used: PVGIS-classic

Nominal power of the PV system: 2.0 kW (crystalline silicon)

Estimated losses due to temperature and low irradiance: 6.2% (using local ambient temperature)

Estimated loss due to angular reflectance effects: 5.3%

Other losses (cables, inverter etc.): 14.0%

Combined PV system losses: 23.6%

Fixed system: inclination=0°, orientation=-1°				
Month	E_d	E_m	H_d	H_m
Jan	0.26	8.10	0.22	6.91
Feb	1.25	34.9	0.86	24.0
Mar	3.10	96.2	1.94	60.2
Apr	5.85	176	3.67	110
May	7.95	246	5.15	160
Jun	8.17	245	5.39	162
Jul	7.88	244	5.28	164
Aug	5.48	170	3.63	112
Sep	3.12	93.6	2.04	61.1
Oct	1.32	40.8	0.89	27.6
Nov	0.35	10.4	0.28	8.26
Dec	0.11	3.50	0.12	3.56
Yearly average	3.75	114	2.46	74.9
Total for year		1370		899

Kuva 26. Aurinkosähköjärjestelmän arvioitu tuotto paneeli vaakatasossa [18].

Jos halutaan korvata olemassa oleva järjestelmä, PVIGS-ohjelman mukaan aurinkosähköjärjestelmän nimellistehon tulisi olla vähintään 3,5 kW. Näin vuotuisia kokonaistuotto saadaan nostettua noin 2900 kWh:iin, jolla pystyttäisiin teoreettisesti korvaamaan aikaisemmat vuotuiset kulutukset ilman valaisimien päivittämistä. Kuvista 26 ja 27 nähdään, että vuoden optimaalisin tuotto kohdistuu kesäkuukausille.

Solar radiation database used: PVGIS-classic

Nominal power of the PV system: 3.5 kW (crystalline silicon)

Estimated losses due to temperature and low irradiance: 7.6% (using local ambient temperature)

Estimated loss due to angular reflectance effects: 3.0%

Other losses (cables, inverter etc.): 14.0%

Combined PV system losses: 23.0%

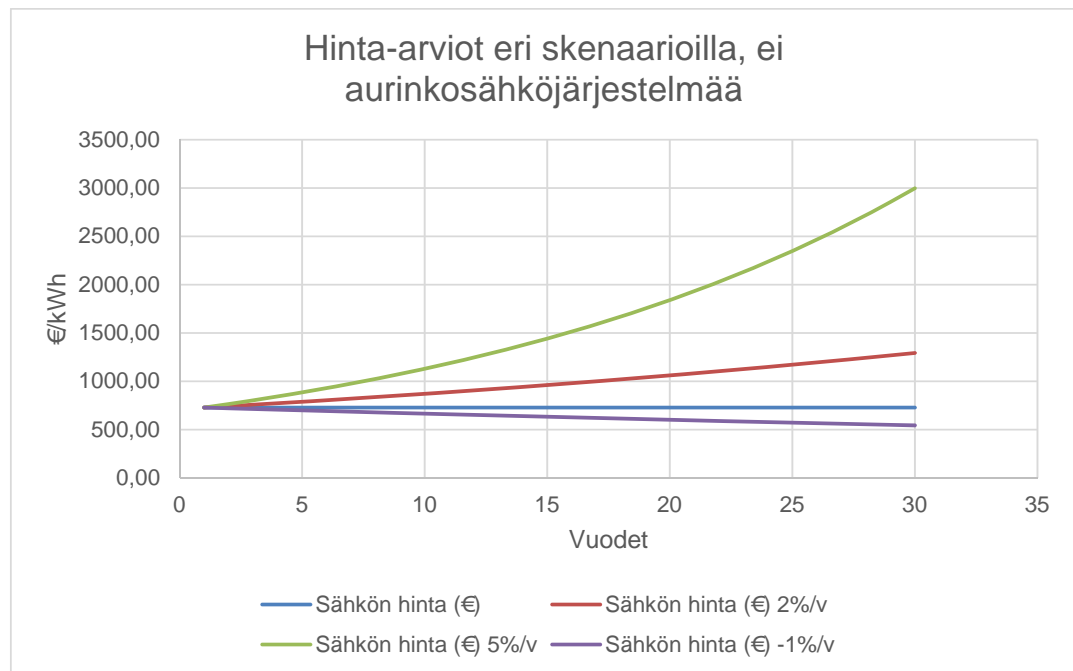
Fixed system: inclination=42°, orientation=-1° (optimum)				
Month	E_d	E_m	H_d	H_m
Jan	1.75	54.2	0.56	17.4
Feb	5.83	163	1.92	53.8
Mar	8.82	273	3.05	94.5
Apr	12.70	382	4.64	139
May	14.50	449	5.54	172
Jun	13.80	413	5.36	161
Jul	13.80	428	5.45	169
Aug	10.60	329	4.10	127
Sep	7.36	221	2.71	81.3
Oct	4.15	129	1.45	45.0
Nov	1.52	45.7	0.51	15.4
Dec	0.90	27.9	0.29	9.10
Yearly average	7.99	243	2.97	90.4
Total for year		2920		1080

Kuva 27. Aurinkosähköjärjestelmän arvioitu tuotto 3,5 kW:n järjestelmällä, paneelien ollessa optimaalisessa 42 asteen kulmassa [18].

Takaisinmaksu

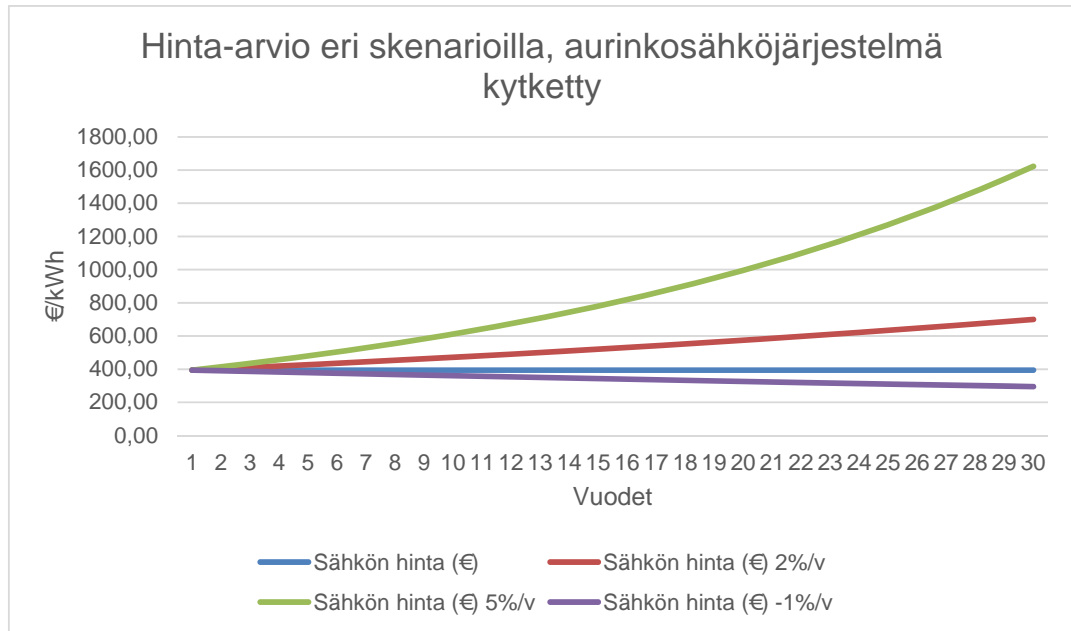
Vuotuinen tuotto voidaan laskea loppukuluttajan sähkön hinnalla 20 snt/kWh (Liite 5, Elenia verkkopalveluhinnasto). Takaisinmaksuaika on laskettu 30 vuoden aikana neljän eri skenaarion mukaan. Ensimmäisessä sähkön hinta pysyy samana, toisessa nousee kaksi prosenttia, kolmannessa nousee viisi prosenttia ja neljännessä skenaariossa hinta laskee yhden prosentin verran vuodessa. Erilaisten tilanteiden avulla saadaan selville, millaiset kustannukset ja säästöt voitaisiin saada aikaan. Vuotuiseksi kulutukseksi valitaan taulukon 1 (ks. s. 18) mukaan vuosien 2015 ja 2018 välisen kulutusten keskiarvo, jolloin arvioidun kulutuksen keskiarvo olisi $\frac{3011 \text{ kWh} + 2786 \text{ kWh} + 5305 \text{ kWh} + 3462 \text{ kWh}}{4} =$

3641 kWh. Kuvan 28 avulla pystytään toteamaan, että parin prosentin hinnan korotuksella on suuri vaikutus mahdollisiin hintoihin.



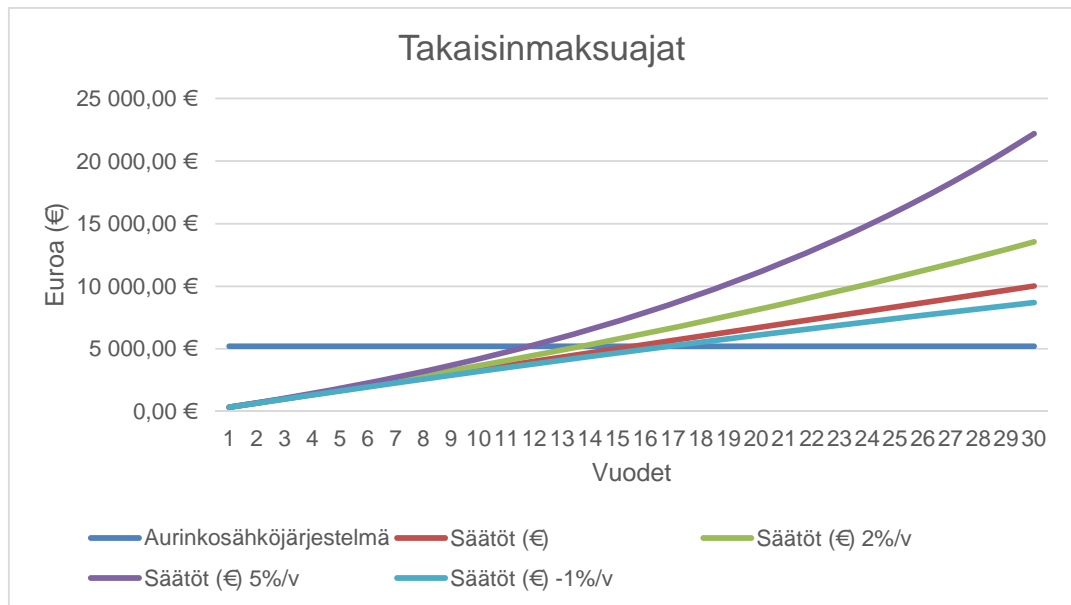
Kuva 28. Arvioitu ostosähkön hinnan muutos 30 vuoden aikana neljällä eri hinnan muutoksella, ilman aurinkosähköjärjestelmää.

Kuvassa 29 esitetään 30 vuoden hinnan muutos, kun olemassa olevan verkon rinnalle asennetaan aurinkosähköjärjestelmä. Kun verrataan kuvia 28 ja 29 toisiinsa, huomataan aurinkosähköjärjestelmän laskevan kustannuksia parhaassa tapauksessa jopa kolmasosan. Liitteenä 2 olevista taulukoista pystytään vertailemaan tarkemmin arvioituja kuluja ilman aurinkosähköä ja sen kanssa sekä hintojen kasvaessa tai laskiessa.



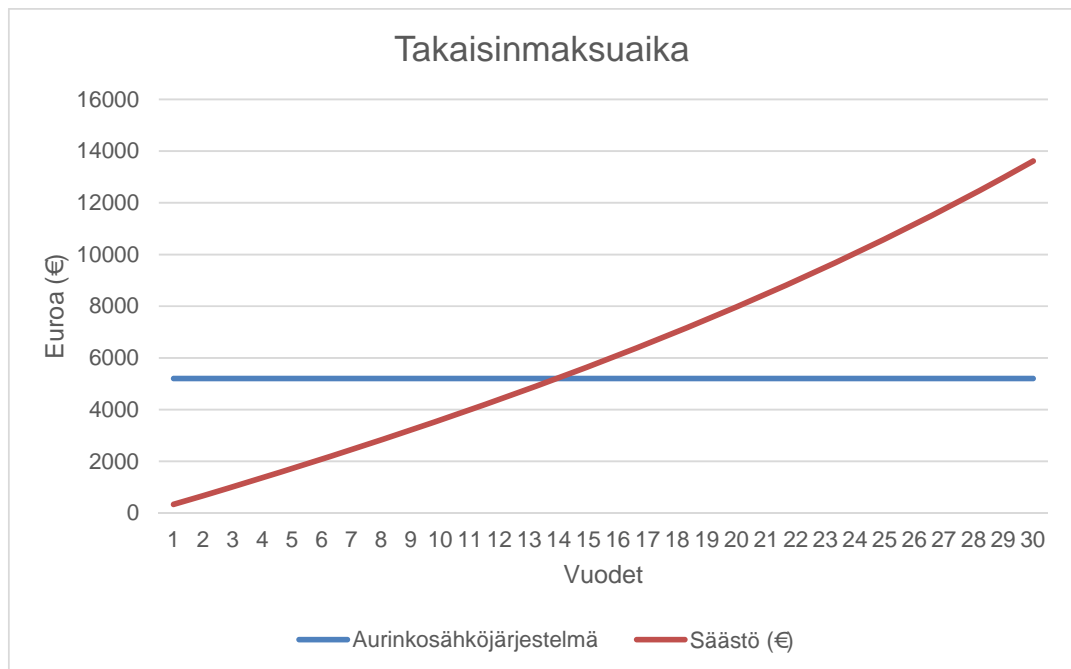
Kuva 29. Arvioitu ostosähkön hinnan muutos 30 vuoden aikana neljällä eri hinnan muutoksella, aurinkojärjestelmä kytketty.

Liitteestä 2 tulee esille kustannukset 30 vuoden ajalle tilanteissa, joissa ei ole aurinkosähköjärjestelmää, aurinkosähkö on kytketty olemassa olevan verkon rinnalle sekä aurinkosähköjärjestelmän tuottavat säästöt. Kustannukset ilman aurinkosähköjärjestelmää ovat noin 29680 €, aurinkosähköjärjestelmän kanssa noin 16067 € ja aurinkosähköjärjestelmän tuottama säästö on noin 13613 €. Aurinkosähköjärjestelmän kustannusten ollessa 5203 €, nähdään kuvasta 30, että aurinkosähköjärjestelmä on maksettu takaisin eri tilanteista riippuen noin 16 vuoden aikana.



Kuva 30. Arvio takaisinmaksuajasta eri hinta muutoksilla.

Säästön keskiarvolla 13613 €lla laskettaessa, takaisinmaksu saadaan suoritettua noin 13 vuoden aikana, kuten kuvasta 31 nähdään. Kuvaajien ja laskemien mukaan takaisinmaksu saadaan suoritettua kulutuksesta ja tuotosta riippuen 13 - 16 vuoden aikana.



Kuva 31. Arvio takaisinmaksuajasta säästöjen keskiarvolla.

6 Yhteenveto

Insinööriyössä suunniteltiin mahdollinen aurinkosähköjärjestelmä kesäkäytössä olevalle vapaa-ajan asunnolle. Suunnitelman tarkoituksena oli selvittää, kuinka paljon omavaraisuutta pystytään uusiutuvan energian tuella lisäämään sekä varmistamaan valittujen laitteiden toiminta sähkökatkoksen aikana. Suunnitelmassa selvitettiin kohteen aikaisemmat kulutukset, olemassa olevat laitteet ja kojeet sekä suunniteltiin optimaalisen aurinkosähköjärjestelmän rakenne sekä laskettiin järjestelmän investointikustannukset, energian tuotto-odotukset ja mahdollinen takaisinmaksuaika.

Työn alkuvaiheessa valittiin 230 VAC:n järjestelmä, koska alkuperäinen järjestelmä toimi kyseisellä jännitteellä, jolloin pystyttiin heti keskittymään kyseisen jännitteen mukaisen aurinkosähköjärjestelmän suunnitteluun. 230 VAC:n jännite sopii muutenkin hyvin, koska silloin saadaan virtalämpöhäviöt pienemmiksi.

Työn aikana tuli selväksi, että kohteeseen tulisi asentaa melko suuri tuotantojärjestelmä, jotta vuotuiset kulutukset saataisiin korvattua aurinkosähköllä. Täysin omavaraisen järjestelmän toteuttaminen on mahdollista, mutta se ei ole rationaalisesti järkevää tontin varjostusten takia. Jos tuotantojärjestelmää haluttaisiin kasvattaa, niin aurinkopaneelien määrääkin tulisi kasvattaa, jolloin osa aurinkopaneeleista sijoittuisi varjoisalle alueelle. Varjostusten takia sähköntuotanto heikkenisi merkittävästi, jolloin järjestelmän hyötysuhde ei olisi tarpeeksi suuri.

Aurinkosähköjärjestelmä, johon varastointijärjestelmä on kytketty, sopii hyvin tärkeiden laitteiden pitämiseen kuormitettuna sähkökatkon aikana. Järjestelmällä pystytään pitämään esimerkiksi jääkaappi ja pakastin toiminnassa, jolloin ei jouduta heittämään ruokaa roskiin, joka vähentää turhia ruoanhankintakustannuksia. Varastointijärjestelmän avulla saadaan myös pidettyä sähkökatkon aikana valaistus käytössä pimeinäkin vuodenaikoina. Vaihevalvontareleen ja kontaktorin avulla aurinkosähköjärjestelmä saadaan sähkökatkoksen aikana erotettua jakeluverkosta, jolloin pystytään turvallisesti käyttämään järjestelmään kytkettyjä laitteita.

Suunnitellulla aurinkosähköjärjestelmällä saadaan tuotettua sähkö niin, että järjestelmä saadaan maksettua takaisin ennen kuin laitteistoa on käytetty 30 vuotta. Kulutukset ja tuotot ovat arvioita, joten on hyvin mahdollista, että takaisinmaksu viivästyy tai aikaistuu suunnittelusta. Työn avulla saatiin selville, että kokonaan omavaraisen

aurinkosähköjärjestelmän tulee olla tarpeeksi suuri sekä laitteiden sijoittelu ja kohteen koko ovat ratkaisevassa asemassa tehtäessä suunnitelmaa.

Lähteet

- 1 Valosähköinen ilmiö. 2015. Verkkoaineisto. Internetix. <http://opinnot.internetix.fi/fi/muikku2materiaalit/lukio/fy/fy8/1_modernin_fysiikan_alal/103?C:D=i8TC.i6le&m:selres=i8TC.i6le>. Luettu 4.4.2019.
- 2 285W aurinkopaneeli PERC. 2019. Verkkoaineisto. Aurinkopaneelikauppa.fi. <https://www.aurinkopaneelikauppa.fi/epages/aurinkopaneelikauppa.sf/fi_FI/?ObjObjObj=/Shops/20120903-11092-142553-1/Products/02252>. Luettu 4.4.2019.
- 3 All About Solar Energy. 2010. Verkkoaineisto. Solar Power. <<https://solarpowerisfun.weebly.com/>>. Luettu 20.4.2019.
- 4 Auringonsäteilyn määrä Suomessa. 2018. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_peperuste/auringonsateilyn_maara_suomessa>. Luettu 12.4.2019.
- 5 Aurinkokenno. 2019. Verkkoaineisto. Wikipedia. <<https://fi.wikipedia.org/wiki/Aurinkokenno>>. Luettu 4.4.2019.
- 6 Aurinkopaneelit. 2010. Verkkoaineisto. <<http://suntekno.bonsait.fi/resources/public/tietopankki/paneelit.pdf>>. Luettu 5.4.2019.
- 7 Aurinkosähkö. Perälä Rae. 2017. Helsinki. Alfamer / Karisto Oy.
- 8 Aurinkosähköjärjestelmä 230V Aurinkoplus L. 2019. Verkkoaineisto. Piha Tukku. <<https://www.pihatukku.fi/aurinkoenergiajarjestelma-aurinkoplus-l>>. Luettu 8.4.2019.
- 9 Aurinkosähköteknologiat. 2018. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjeaurinko/aurinkosahkoteknologiat>. Luettu 8.4.2019.
- 10 D1-2017. Tiainen Esa. 2017. Sähköinfo. Espoo. Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry.
- 11 FAQ aurinkopaneeli. Verkkoaineisto. Finnwind. <<https://finnwind.fi/aurinkopaneeli-usein-kysyttya/>>. Luettu 6.4.2019.
- 12 Google Maps. Verkkosovellus. <<https://www.google.com/maps>>. Luettu 20.4.2019.
- 13 Islanding. 2019. Verkkoaineisto. Wikipedia. <https://en.wikipedia.org/wiki/Islanding#Passive_methods>. Luettu 12.4.2019.

- 14 LED-spottivalot. 2019. Verkkoaineisto. Valotorni. <<https://www.valotorni.fi/category/278/led-spottivalot>>. Luettu 14.4.2019.
- 15 Lehto Ina. 2009. Mikrotuotannon liittäminen yleiseen sähkönjakeluverkkoon. Opinnäytetyö. Aalto-yliopisto.
- 16 Monocrystalline Silicon Cell. Y. Jestin. 2012. Verkkoaineisto. ScienceDirect. <<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/monocrystalline-silicon-cell>>. Luettu 15.4.2019.
- 17 Oma Energia. 2015–2018. Verkkoaineisto. Vattenfall Oy. <<https://omaenergia.vattenfall.fi/Home>>. Luettu 22.4.2019.
- 18 PVGIS. 2017. Verkkoaineisto. European Commission. <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_download/map_index.html>. Luettu 10.4.2019.
- 19 Rolls Solar-akku. 2019. Verkkoaineisto. Sunwind. <<https://sunwind.fi/product/show/?id=1506&Rolls-Solar-akku-S-605Ah-6V>>. Luettu 9.4.2019.
- 20 Thin-Film solar cell. Daniel Burgess. 2019. Verkkoaineisto. Solar reviews. <<https://www.solarreviews.com/blog/pros-and-cons-of-monocrystalline-vs-polycrystalline-solar-panels>>. Luettu 4.4.2019.
- 21 Three Generations of Solar Cells. 2012. Verkkoaineisto. Top Alternative Energy Sources. <<http://www.top-alternative-energy-sources.com/solar-cells.html>>. Luettu 23.4.2019.
- 22 Valosähköinen ilmiö. 2016. Verkkoaineisto. Wikipedia. <https://fi.wikipedia.org/wiki/Valosähköinen_ilmiö>. Luettu 20.4.2019.
- 23 Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä. 2018. Verkkoaineisto. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinva/tarvittava_laitteisto/verkkoon_liitetty_aurinkosahkojarjestelma>. Luettu 19.4.2019.
- 24 Vesa Maanselkä. Valosähköilmiö. Verkkoaineisto. Opetus tv. <<https://opetus.tv/fysiikka/fy8/valosahkoilmio/>>. Luettu 6.4.2019.
- 25 Victron invertteri/lataus. Verkkoaineisto. Aurinkopaneelikauppa.fi. <https://www.aurinkopaneelikauppa.fi/epages/aurinkopaneelikauppa.sf/fi_FI/?ObjOOb-jObj=/Shops/20120903-11092-142553-1/Products/09123>. Luettu 12.4.2019.

Olemassa olevan pääkeskuksen dokumentointi

Suunnittelukohteen olemassa olevan pääkeskuksen keskuskaavio

A muutos		D muutos														
B muutos		E muutos														
C muutos		F muutos														
S	R	P	O	N	M	L	K	J	H	G	F	E	D	C	B	A
																11
																12
																13
																14
																15
																16
																17
																18
																19
																20
																21
																22
																23
																24
																25
																26
																27
																28
																29
																30
																31
																32
																33
																34
																35
																36
																37
																S
																R
																P
																O
																N
																M
																L
																K
																J
																H
																G
																F
																E
																D
																C
																B
																A
																KESKUS
																1
																LIITTIMISÄHTÖ
																MCMK 4x10/10
																1.1
																HAKKEITA VALAISTUS
																1.2
																KÄTTÖ VALAISTUS
																1.3
																ETENEN JA KUISTI VALAISTUS
																2.1
																TUOPA VALAISTUS
																2.1
																TUOPA PISTORASIAKAT
																2.3
																KÄTTÖ PISTORASIAKAT
																3.1
																ETENEN PISTORASIA
																4.1
																JÄÄKAAPPI + PAKASTIN PR
																5.1
																LIESI
																5.2
																LIESI
																5.3
																LIESI
																S

Suunnittelukohteen nimi Tunnus	Keskimökki
Suunnittelijan nimi Tunnus	SÄHKÖSUUNNITTELU SÄHKÖSUUNNITTELU SÄHKÖSUUNNITTELU
Suunnittelukohteen sijainti Tunnus	SÄHKÖSUUNNITTELU SÄHKÖSUUNNITTELU SÄHKÖSUUNNITTELU

30 vuoden ajalle arvio sähkön hinnoille ja säästöille

Ilman aurinkosähköjärjestelmää

Aika	Sähkön hinta (€)	Sähkön hinta (€) 2%/v	Sähkön hinta (€) 5%/v	Sähkön hinta (€) -1%/v	Kulutus (kWh)
1	728,20	728,20	728,20	728,20	3641,00
2	728,20	742,76	764,61	720,92	
3	728,20	757,62	802,84	713,71	
4	728,20	772,77	842,98	706,57	
5	728,20	788,23	885,13	699,51	
6	728,20	803,99	929,39	692,51	
7	728,20	820,07	975,86	685,59	
8	728,20	836,47	1024,65	678,73	
9	728,20	853,20	1075,88	671,94	
10	728,20	870,27	1129,68	665,22	
11	728,20	887,67	1186,16	658,57	
12	728,20	905,43	1245,47	651,99	
13	728,20	923,53	1307,74	645,47	
14	728,20	942,00	1373,13	639,01	
15	728,20	960,84	1441,79	632,62	
16	728,20	980,06	1513,88	626,29	
17	728,20	999,66	1589,57	620,03	
18	728,20	1019,66	1669,05	613,83	
19	728,20	1040,05	1752,50	607,69	
20	728,20	1060,85	1840,13	601,62	
21	728,20	1082,07	1932,13	595,60	
22	728,20	1103,71	2028,74	589,64	
23	728,20	1125,78	2130,17	583,75	
24	728,20	1148,30	2236,68	577,91	
25	728,20	1171,26	2348,52	572,13	
26	728,20	1194,69	2465,94	566,41	
27	728,20	1218,58	2589,24	560,75	
28	728,20	1242,95	2718,70	555,14	
29	728,20	1267,81	2854,64	549,59	
30	728,20	1293,17	2997,37	544,09	Keskiarvo
Yhteensä	21846,00	29541,68	48380,77	18955,02	29680,87

Aurinkosähköjärjestelmän kanssa

Aika	Sähkön hinta (€)	Sähkön hinta (€) 2%/v	Sähkön hinta (€) 5%/v	Sähkön hinta (€) -1%/v	Kulutus (kWh)
1	394,20	394,20	394,20	394,20	3641 - 1670 =
2	394,20	402,08	413,91	390,26	1971
3	394,20	410,13	434,61	386,36	
4	394,20	418,33	456,34	382,49	
5	394,20	426,69	479,15	378,67	
6	394,20	435,23	503,11	374,88	
7	394,20	443,93	528,27	371,13	
8	394,20	452,81	554,68	367,42	
9	394,20	461,87	582,41	363,75	
10	394,20	471,11	611,53	360,11	
11	394,20	480,53	642,11	356,51	
12	394,20	490,14	674,22	352,94	
13	394,20	499,94	707,93	349,41	
14	394,20	509,94	743,32	345,92	
15	394,20	520,14	780,49	342,46	
16	394,20	530,54	819,51	339,04	
17	394,20	541,15	860,49	335,64	
18	394,20	551,98	903,51	332,29	
19	394,20	563,01	948,69	328,97	
20	394,20	574,27	996,12	325,68	
21	394,20	585,76	1045,93	322,42	
22	394,20	597,48	1098,23	319,19	
23	394,20	609,43	1153,14	316,00	
24	394,20	621,61	1210,79	312,84	
25	394,20	634,05	1271,33	309,71	
26	394,20	646,73	1334,90	306,62	
27	394,20	659,66	1401,65	303,55	
28	394,20	672,85	1471,73	300,52	
29	394,20	686,31	1545,31	297,51	
30	394,20	700,04	1622,58	294,54	Keskiarvo
Yhteensä	11826,00	15991,94	26190,19	10261,01	16067,29

Aurinkosähköjärjestelmän arvioidut säästöt

Aika	Säästöt (€)	Säästöt (€) 2%/v	Säästöt (€) 5%/v	Säästöt (€) - 1%/v	Keskiarvo (€)
1	334,00	334,00	334,00	334,00	334,00
2	334,00	340,68	350,70	330,66	339,01
3	334,00	347,49	368,24	327,35	344,27
4	334,00	354,44	386,65	324,08	349,79
5	334,00	361,53	405,98	320,84	355,59
6	334,00	368,76	426,28	317,63	361,67
7	334,00	376,14	447,59	314,45	368,05
8	334,00	383,66	469,97	311,31	374,74
9	334,00	391,33	493,47	308,20	381,75
10	334,00	399,16	518,14	305,11	389,10
11	334,00	407,14	544,05	302,06	396,81
12	334,00	415,29	571,25	299,04	404,90
13	334,00	423,59	599,82	296,05	413,37
14	334,00	432,06	629,81	293,09	422,24
15	334,00	440,71	661,30	290,16	431,54
16	334,00	449,52	694,36	287,26	441,29
17	334,00	458,51	729,08	284,39	451,49
18	334,00	467,68	765,53	281,54	462,19
19	334,00	477,03	803,81	278,73	473,39
20	334,00	486,57	844,00	275,94	485,13
21	334,00	496,31	886,20	273,18	497,42
22	334,00	506,23	930,51	270,45	510,30
23	334,00	516,36	977,04	267,74	523,78
24	334,00	526,68	1025,89	265,07	537,91
25	334,00	537,22	1077,18	262,42	552,70
26	334,00	547,96	1131,04	259,79	568,20
27	334,00	558,92	1187,59	257,19	584,43
28	334,00	570,10	1246,97	254,62	601,42
29	334,00	581,50	1309,32	252,08	619,23
30	334,00	593,13	1374,79	249,56	637,87
Yhteensä	10020,00	13549,74	22190,58	8694,01	13613,58

Elenia verkkopalveluhinnasto

Verkkopalveluhinnasto, josta selviää 3641kWh kuormalle arvioitu hinta

