

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Teknillinen tiedekunta

Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Kandidaatintyö

**AURINKOSÄHKÖPOTENTIAALI LAPPEENRANNAN
KAUPUNGIN JULKISISSA RAKENNUKSISSA**

Solar electricity potential at public buildings in Lappeenranta

Työn tarkastaja: Tkt Mika Luoranen

Työn ohjaaja: DI Mihail Vinokurov

Lappeenrannassa 14.1.2015

Lassi Leinonen

SISÄLLYSLUETTELO

1 Johdanto.....	3
2 Aurinkoenergia ja sen hyödyntämismuodot rakennuksissa	5
2.1 Valosähköinen ilmiö	6
2.2 Aurinkosähköjärjestelmien osat	7
2.3 Aurinkopaneelityypit.....	8
2.4 Luvanvaraisuus.....	9
3 Lappeenrannan julkinen rakennuskanta.....	10
3.1 Rakennusten määrä, jakautuminen ja dimensiot	11
3.2 Investointikelpoiset rakennukset.....	14
4 Case: Energiansäästöpotentiaali kohderakennuksessa hyödyntämällä aurinkovoimaa	15
4.1 Kohteen esittely	16
4.2 Aurinkoenergian käyttömahdollisuudet	18
4.3 Energiansäästöpotentiaali ja taloudelliset arviot	18
4.3.1 Pulpettikatto – Lappeen suuntainen asennus	21
4.3.2 Pulpettikatto – Asennus telineille	21
4.3.3 Tasakatto – Asennus telineille	22
4.3.3 Seinäasennus.....	23
4.3.4 Sähkön osto- ja myyntihinta Lappeenrannan energialla	23
4.4 Aurinkopaneelien kustannukset ja tuotot	24
4.4.1 Kohteen jatkuvaa pohjatehoa pienempi asennusteho	27
4.4.2 Yli pohjatehon asennusteho, josta ei makseta sähköveroa.....	28
4.4.3 Suuritehoinen järjestelmä sähköverolla	32
4.5 Case - kohteeseen suositeltava järjestelmä	37
5 Energiansäästöpotentiaali julkisten rakennusten yhteydessä.....	38
5.1 Laskenta aiempien tutkimusten perusteella.....	39
5.2 Rakennusyksiköiden mukainen aurinkosähköpotentiaali.....	41
6 Johtopäätökset.....	45
7 Yhteenveto	49

LÄHTEET 52

LIITTEET

Liite 1. Tuntikohtaisen hinnoittelun mukainen sähkön myyntihinta

1 JOHDANTO

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on kartoittaa julkisten rakennusten energiansäästöpotentiaalia aurinkoenergiaa hyödyntämällä. Tutkimuksessa pyritään kertomaan onko Lappeenrannan julkisissa rakennuksissa yhteiskunnallisesti merkittävää aurinkosähköpotentiaalia sekä onko aurinkoenergia ympäristö- ja talousnäkökulmasta kannattavaa tutkittavassa case - kohteessa ja koko Lappeenrannassa. Lappeenrannan kaupungin tavoitteena vuoteen 2016 mennessä on säästää energiankulutuksesta 15 461 MWh eli 9 % vuoden 2005 verrantotasosta. Suurempana tavoitteena on vähentää kaupungin hiili-dioksidipäästöjä 30 % vuoteen 2020 mennessä EU:n ohjeistuksien mukaisesti. (Lappeenrannan kaupunki 2009.) Yksi keino vähentää rakennuksien energiankulutusta on rakennuksen oma energian pientuotanto aurinko-voimalla. Vaikka tämä onkin energiantuotantoa, voidaan sitä pitää laskennallisesti usein energiasäästönä, koska yleensä energia kulutetaan pääosin rakennuksessa. Lappeenrannan alueen tiedot ovat suurilta osin saatu Lappeenrannan kaupungilta.

Aurinkoenergian hyödyntämiskeinoista tutkitaan ainoastaan aurinkosähköpaneelien käyttöä rakennusten katoilla. Työssä ei suoriteta tuntikohtaista simulointia aurinkosähkön tuotannolle eikä sähkön kulutukselle, vaan käytetään keskimääräisiä arvoja. Talouslaskelmissa huomioidaan myös vuodenajan mukaiset aurinkosähköntuotannon muutokset. Työ- ja elinkeinoministeriön investointitukea ei huomioida laskelmissa, koska se ei koske kaikkia kohteita eikä välttämättä ole pysyvä. Sähkön hinnan mahdolliset muutokset jätetään huomiotta, samoin kuin investoinnin lainaosuuden korot.

Työssä kartoitetaan Lappeenrannan kaupungin julkista rakennuskantaa, minkä pohjalta arvioidaan aurinkosähkön asennuspotentiaalia näissä rakennuksissa aiempien tutkimusten, sekä tässä

työssä tehtävän kohdelaskelman pohjalta. Tutkimuksessa arvioidaan rakennuskannan aurinkosähköpaneelille käytössä olevaa kattopinta-alaa ja sitä kautta aurinkoenergiapotentiaalia. Aurinkosähkön tuotantoa Lappeenrannassa tutkitaan myös case-kohteen kautta, jossa tehdään arviointi Lappeenrantaan suunnitteilla olevan Pontuksen koulun ja päiväkodin mahdollisuuksista aurinkosähkön tuottamiseen. Soveltamalla Pontuksen koulusta saatuja tuloksia saadaan tieto laajennettua koko rakennuskantaan. Case - kohteen tarkoituksena on luoda suurpiirteinen arvio aurinkosähkön tehopotentialista ja taloudellisista näkökulmista.

Ensin tutkimuksessa perehdytään aurinkosähköön ilmiönä ja sen tuottamiseen liittyvään tekniikkaan ja rakenteisiin. Tämän jälkeen tutkimuksessa jaotellaan Lappeenrannan kaupungin julkisia rakennuksia, jotta niiden tietojen käyttäminen laskennassa olisi helpompaa. Rakennuskannassa keskitytään erityisesti Lappeenrannan kaupungin kiinteistösalkkuihin A ja B. Lappeenrannan kaupungin kiinteistöt on jaettu kiinteistösalkkuihin, joihin niitä on jaettu kunnostamisen tärkeyden ja käyttökohteen merkittävyyden mukaan. Vain A ja B salkkujen rakennuksiin voidaan tehdä investointeja muuten, kuin pakollisia korjauksia varten. (Lappeenrannan kaupungin hallitus 2014). Rakennuskannan tutkimisen jälkeen käsitellään case-kohde, jota hyödynnetään viimeisenä tulevissa laskelmissa, joilla arvioidaan Lappeenrannan kaupungin julkisten rakennusten aurinkosähköpotentiaalia.

2 AURINKOENERGIA JA SEN HYÖDYNTÄMISMUODOT RAKENNUKSISSA

Melkein kaikki ihmisten hyödyntämä energia on peräisin auringon energiasta joltain kiertoreittiä. Esimerkiksi vesivoima johtuu auringon energian aiheuttamasta veden kierrosta. Aurinkoenergiaksi kutsutaan kaikkea auringosta suoraan saatavaa energiaa, kuten lämpöenergiaa erilaisilla lämpökeräimillä tai sähköä puolijohdetekniikalla tai lämpöön pohjautuvien kiertoprosessien kautta. Aurinkoenergiaa on käytetty jo hyvin pitkiä aikoja, esimerkiksi veden lämmittämiseen tummissa astioissa, mutta viime vuosikymmeninä sähkökäyttö on levinnyt laajaan käyttöön talotekniikassa.

Aurinkoenergia sopii talojen yhteyteen hyvin, koska se voidaan mitoittaa hyvin pienistä tehoista myös hieman suurempiin tehoihin. Aurinkoenergiaa voidaan tuottaa myös melkein missä vain, toisin kuin vesivoimaa tai tuulivoimaa. Aurinkoenergian tuotannon investoinnit ovat myös paljon pienempiä rakennuksille sopivilla tehoilla kuin vastaavilla tuulivoimayksiköillä. Aurinkoenergian monipuolisten asennustapojen takia se soveltuu käytettäväksi myös kaupungeissa, joissa ei ole paljoa tilaa.

Aurinkoenergian käyttö lisääntyy energian ja fossiilisten polttoaineiden hinnan oletetun nousun mukana. Aurinkoenergian käyttöön on vaikuttanut suuresti myös erilaiset päästötavoitteet ja päästöjenvähennysohjelmat. Aurinkoenergia ei ole täysin päästötöntä, jos otetaan huomioon valmistus ja jälkikäteen kierrätys ja jätteen käsittely. Koko elinkaaren kaikki vaiheet huomioon ottaen aurinkopaneelien energiantakaisinmaksuaika on n. 1 – 2,2 vuotta ja kasvihuonekaasupäästöt ovat 18 – 29 g CO₂-ekv./kWh (Fthenakis et al. 2011, 9). Toisen tutkimuksen mukaan energian takaisinmaksuaika kattoasennuksilla on välillä 1,5 – 3,3 vuotta ja julkisivuasennuksilla 4,1 – 4,8 vuotta (Jungbluth et al. 2012, 218). Sen jälkeen, kun järjestelmä on tuottanut tuotannossa kuluttamansa energian takaisin, on järjestelmällä elinikää vielä yli 26 vuotta jäljellä, jos

odotetaan järjestelmän kestävän 30 vuotta. Jos kivihielessä tuotetaan sähköä 44 % sähköhyötysuhteella, on tämän energian kasvihuonekaasupäästöt 750 g CO₂-ekv./kWh, joten itse tuotettu aurinkosähkö vähentää päästöjä huomattavasti (International energy agency 2005, 31).

Lappeenrannassa on jo toteutettu useita aurinkoenergian asennuksia erilaisiin rakennuksiin. Suurin aurinkoenergiaa tuottava rakennusjoukko on Lappeenrannan teknillinen yliopisto, joka on asentanut katoille, autokatoksiksi ja erillisille telineille ominaisteholtaan 220 kW aurinkopaneeleita. Paneelien asennus aloitettiin syksyllä 2012 ja asennukset saatiin päätökseen vuonna 2013. (Green Campus, 2013). Lappeenrannan opiskelija-asuntosäätiö, LOAS, on asentanut uusia kerrostaloonsa rakennusvaiheessa 9 kW aurinkopaneeleita. (LOAS 2013). Myös erilaisiin yksityisiin rakennuksiin on viime vuosina asennettu runsaasti aurinkosähköpaneeleja Lappeenrannassa ja lähialueilla. Esimerkkejä eri kohteista löytyy Etelä-Karjalan Energianeuvonnan (ENNE) nettisivuilta. Esimerkkikohteista on pienet kertomukset miten materiaalit on hankittu, miten paneelit on asennettu ja mitä muuta kaikkea projektiin on kuulunut (ENNE, 2014). Valmiiksi toteutetut projektit antavat tarkempaa tietoa aurinkosähkön kannattavuudesta Suomessa ja varsinkin Lappeenrannassa. Seuraavissa kappaleissa kuvaillaan aurinkosähkön teoriaa ja aurinkosähkön tuotantoon liittyviä osia sekä niiden tarkoituksia.

2.1 Valosähköinen ilmiö

Aurinkosähkön tuotanto perustuu valosähköiseen ilmiöön. Valosähköisessä ilmiössä sekä säteilyn että hiukkasen ominaisuuksia omaava fotonitörmää atomiin ja luovuttaa energiansa atomin elektroneille. Fotonin oikeanlainen absorboituminen vaatii minimienergian, joka vastaa tiettyä taajuutta. Fotonin oikea taajuus riippuu aineesta, johon se törmää. Sähkövirran aikaansaamiseksi aurinkosähkön tuotannossa käytetään kaksikerroksista puolijohdekalvoa, joiden puolijohteet muodostavat pn-liitoksen. Aurinkopaneeleissa elektronien valosähköinen varaus saa aikaan elektronien kerääntymisen ylimäärin toiselle kalvolle ja elektroniaukkojen kerääntymisen toiselle kalvolle. Tällöin kalvojen välillä on potentiaaliero, eli jännite jolloin oikeilla kytkennöillä

aikaansaadaan sähkövirta kalvojen väliin. Sähkövirran suuruus riippuu säteilyn intensiteetistä. Aurinkosähkön tuotannossa voidaan hyödyntää muitakin puolijohteiden liitoksia kuin pn-liitokset. (Johnston 1980, 19–50.)

2.2 Aurinkosähköjärjestelmien osat

Aurinkosähköjärjestelmän tärkein osa on aurinkopaneelit. Ne muodostavat auringon säteilystä valosähköisen ilmiön avulla sähköä. Yleensä aurinkopaneelit suunnitellaan tuottamaan n. 14 – 16 voltin jännite, jotta ne pystyvät lataamaan esimerkiksi 12 voltin akun. Yhden 1,5-2 metriä leveän ja 0,8-1 metriä pitkän paneelin teho vaihtelee yleensä 150 W ja 245 W välillä riippuen käytetystä tekniikasta. Paneelien tuottamaa jännitettä voidaan muuttaa kytkemällä niitä sarjaan, jolloin paneelien yhdessä tuottama jännite on yksittäisten paneelien jännitteiden summa. Tällä tavoin voidaan ladata kahdella paneelilla vaikka 24 voltin akkua. Jos taas paneeleita kytketään rinnan, saadaan samalla jännitteellä suurempi virta. Paneelien tuottama teho on myös yksittäisten paneelien tehojen summa. (Boxwell 2010, 19).

Sähköä käytetään varsinkin Suomessa valaistukseen ja lämmitykseen, joiden tarve on suurin silloin, kun aurinko ei paista. Auringon säteilyenergia on jaksottaista, minkä takia itsenäisissä järjestelmissä käytetään akkuja energian talteen ottamisessa. Verkkoon kytketyissä järjestelmissä energiantarpeen ja tuotannon epätasapaino tasoitetaan sähköverkon avulla, jolloin akkuja ei tarvita. Joskus voi olla myös perusteltua käyttää akkuja yhdessä verkkoon kytkennän kanssa, jolloin omaa sähköä saadaan käytettyä enemmän. Jos järjestelmään kuuluu akkuja, vaatii se yleensä ohjausyksikön. Ohjausyksiköllä estetään akun ylilatausta ja tyhjäksi pääsemistä, mitkä vahingoittavat akkuja ja vähentävät niiden käyttöikä. (Boxwell 2010, 20).

Jos aurinkosähköllä aiotaan käyttää normaaleja kodinkoneita ja sähkölaitteita, tai järjestelmä on verkkoon kytketty, tarvitsee se invertterin. Koska aurinkopaneelit tuottavat tasavirtaista pienen jännitteen sähköä, ei sitä voida suoraan käyttää kaikissa kotien ja toimistojen laitteissa. Invertteri muuttaa aurinkopaneeleista tulevan sähkövirran oikeanlaiseksi laitteissa käytettäväksi tai verkkoon syötettäväksi. (Boxwell 2010, 21).

Viimeinen tekijä aurinkosähköjärjestelmässä on sähköä käyttävät laitteet. Varsinkin matkailuautojen ja veneiden takia on kehitetty paljon laitteistoa toimimaan suoraan 12 voltin tai 24 voltin jännitteillä. Nykyisin onkin mahdollista käyttää esimerkiksi mökeillä suoraan pienillä jännitteillä toimivia laitteita, jolloin invertterit eivät ole pakollisia, jos käyttää kaiken virran esimerkiksi akuston kautta. Pienissä järjestelmissä ja kohteissa tämä voikin olla suositeltavaa, koska invertteri tuo lisää häviöitä järjestelmään. (Boxwell 2010, 21).

2.3 Aurinkopaneelityypit

Halvin aurinkopaneelityyppi on ohutkalvopaneeli, jota voidaan kutsua myös amorfiseksi paneeliksi. Tällä tyyppillä on myös huonoin hyötysuhde, minkä takia suuren tehon järjestelmät vaatisivat isoja pinta-aloja tehon aikaansaamiseksi. Kaupallisten ohutkalvopaneelien hyötysuhde on yleensä n. 6-12 % paikkeilla. Esimerkiksi Baoding TianWei SolarFilms Co., Ltd.:n ohutkalvopaneelien hyötysuhde on 8-9 % (Enfsolar 2014). Ohutkalvopaneeleilla on myös pienin hiilijalanjälki eri vaihtoehtoista. Niiden hyötynä on myös parempi sähkön tuottavuus hyvin heikosta säteilystä, kuten pilvisellä ilmalla tai jopa kuutamon valosta. (Boxwell 2010, 58).

Toisena tyyppinä on monikidepaneelit. Monikidepaneelit ovat hyvin yleisiä keskiverron hinnan ja kuitenkin ohutkalvopaneelia paremman hyötysuhteen takia. Monikidepaneelien valmistamisessa käytetty prosessi on monimutkaisempi ja vaikeampi kuin ohutkalvopaneeleissa, minkä

takia niiden hintakin on reilusti suurempi. Paremman hyötysuhteen takia paneelit kuitenkin mahtuvat paremmin pienille katoille tai julkisivuille. Monikidepaneelien hyötysuhde on nykyisissä kaupallisissa malleissa 12 – 17 %, joten tarvittava pinta-ala tiettyyn tehoon voi olla jopa puolet verrattuna ohutkalvopaneeleihin. (Boxwell 2010, 58).

Parhaisiin hyötysuhteisiin nykymarkkinoilla olevissa paneeleissa päästään yksikidepaneeleilla. Yksikidepaneelien valmistusta varten tarvitaan täysin homogeenisesti kiteytynyttä piitä, minkä takia paneelit ovat markkinoiden kalliimpia. Näiden paneelien hyötysuhde on normaalisti 14 – 22 %. Korkean hyötysuhteen takia yksikidepaneeleilla saadaan pienimmällä pinta-alalla tietty teho muihin paneelityyppeihin verrattuna. (Boxwell 2010, 59)

Aurinkopaneeleissa hyötysuhde ei välttämättä auta energiatehokkuudessa, niin kuin perinteisissä energiantuotantomuodoissa, joissa poltetaan jotain polttoainetta. Aurinkosähköä tuotettaessa polttoaine on ilmaista ja hyötysuhde paneeleissa vaikuttaa lähinnä tiettyyn tehoon tarvittavaan pinta-alaan. Hyötysuhteet paneeleissa ovat kuitenkin koko ajan kasvaneet kehittyvän teknologian mukana ja esimerkiksi Energy Informative – internet-sivusto on kerännyt sivuilleen kaupallisten aurinkopaneelien parhaita hyötysuhteita, joissa yksikidepaneelien paras hyötysuhde valmistajan ilmoittamana on 21,5 %, monikidepaneelien paras hyötysuhde on 17,0 % ja ohutkalvopaneelien paras hyötysuhde on 14,5 %. (Energy informative 2014).

2.4 Luvanvaraisuus

Saneerausrakentamisessa Lappeenrannan rakennusjärjestyksen kohdan 2.2 mukaisesti pienet, yhteispinta-alaltaan alle 5 m² suuruisen aurinkolämpökeräimen tai aurinkosähköpaneelien, asennukset eivät vaadi minkäänlaista toimenpidelupaa tai ilmoitusta, jos laite on asennettu katon

lappeen mukaisesti (Lappeenrannan kaupunki 2011, 4). Kaikki rakennuksen julkisivuun tehtävät asennukset vaativat kaupunkialueella toimenpideluvan. Suuremmat asennukset keskusta-alueen asemakaava-alueilla vaativat toimenpideilmoituksen, jos ne ovat katon lappeen suuntaisesti asennettuja. Maaseudulla katon myötäisesti asennetut isotkaan järjestelmät eivät vaadi toimenpidelupaa tai – ilmoitusta. Maaseudulla rakennuksen julkisivuun tai ympäristöön vaikuttavat asennukset vaativat tapauskohtaisesti joko toimenpideluvan tai – ilmoituksen. Toimenpidelupaa haetaan kirjallisesti ja sen voi tulostaa Lappeenrannan kaupungin verkkosivuilta. Lupahakemuksen täyttämiseen ja tarvittavin liitteisiin saa apua Lappeenrannan rakennusvalvonnasta. (Lappeenrannan kaupunki, sähköpostiviesti 2014a.)

Jotta sähkön pientuotantolaitoksen voi Lappeenrannassa kytkeä yleiseen verkkoon, täytyy sitä varten saada lupa Lappeenrannan energiaverkot oy:ltä. Tätä lupaa varten tulee yhtiölle esittää aurinkosähköjärjestelmän asianmukaisesta toiminnasta tehdyt koeistukset ja käyttöönottopöytäkirjat. Lappeenrannassa luvan saaminen edellyttää myös Lappeenrannan energiaverkot oy:n kanssa tehtyä pientuotantosopimusta ja liittymismaksua. (Lappeenrannan energiaverkot Oy 2014).

3 LAPPEENRANNAN JULKINEN RAKENNUSKANTA

Julkiset rakennukset ovat julkisen sektorin omistuksessa olevia rakennuksia. Julkinen sektori käsittää valtion ja kunnat. Julkisen sektorin tärkeimpiä ominaispiirteitä on, että se rahoitetaan pääasiallisesti verottamalla. Tässä työssä julkisilla rakennuksilla tarkoitetaan Lappeenrannan kaupungin hallinnassa olevia rakennuksia. Lappeenrannan kaupunki pitää kirjaa kaikista julkisista rakennuksistaan. Lappeenrannan kaupunki on antanut tutkimusta varten käyttöön listan kiinteistöistään ajanhetkellä 10.4.2014. Lista rakennuksista on excel-tiedostossa, josta löytyvät rakennusten nimet, kerrospinta-alat, sijainnit ja paljon muuta tietoa. Kaupungin rakennukset on jaettu eri salkkuihin, joiden mukaan niiden kunnossapitoa ja ylläpitoa suunnitellaan.

Tässä työssä keskitytään erityisesti salkkuihin A ja B. Salkun A rakennuksien tilat pidetään kunnossa, arvoa parannetaan perus- ja vuosikorjauksilla ja näitä rakennuksia varten voidaan ottaa lainaa. Salkun B rakennukset ovat sellaisia, joiden tiloja tarvitaan kaupungin palvelutuotannon käyttöön, mutta rakennus vaatii muutostöitä. Salkun B rakennuksien tilat pidetään kunnossa ja niitäkin varten voidaan ottaa lainaa. Muiden rakennusten kohdalla ylläpidetään vain turvallisuuden, käyttötarkoituksen ja rakennusmääräysten vaatimat asiat. (Lappeenrannan kaupunginhallitus 2014). Lappeenrannan julkisten rakennusten jakaumaa tutkittaessa huomioidaan kuitenkin myös muut rakennukset hypoteettisena mahdollisuutena.

3.1 Rakennusten määrä, jakautuminen ja dimensiot

Rakennuksia Lappeenrannan kaupungin hallinnan alaisina on yhteensä 763. Tähän lukuun kuuluu mukaan Liikuntatoimen korjausvastuulle kuuluvat rakennukset, jotka myöhemmin poistetaan kaupungin rakennusluettelosta. Rakennuksien yhteenlaskettu kerros-pinta-ala on 338 701 m². Näistä rakennuksista vain 97:ää rakennusta varten voidaan ottaa lainaa tilojen parantamiseksi ja voidaan investoida muuhun kuin välttämättömiin kunnossapitoihin. (Lappeenrannan kaupunki 2014b.)

Taulukossa 1 selkeytetään kaupungin rakennusten tyyppijakaumaa. Tämä auttaa hahmottamaan, millaisia rakennuskokonaisuuksia on olemassa ja mitkä voisivat soveltua aurinkoenergian käyttöönottamiseksi. Otollisia rakennuksia ovat varsinkin suuripinta-alaiset rakennukset, joissa on paljon kulutusta päivisin. Tällaisia rakennuksia ovat koulut, terveyspalvelut ja päiväkodit. Vaikeammin valjastettavissa on esimerkiksi urheilukategorian alla olevat pienet rakennukset, joissa ei ole suuremmin kulutusta. Kulutuksen puutteen takia vaikeita pieniä rakennuksia ovat esimerkiksi käymälät ja varastot. Kouluihin ja opistoihin on otettu kaikki peruskoulut, opistot ja lukiot.

Terveys ja huoltopalveluissa on sairaalat, hoitokodit ja mielenterveyden keskuskeskukset. Tähän ryhmään on myös lisätty paloasemat, koska ne ovat vastaavia kunnallisia palveluita. Urheilun ja uinnin alaisuuteen kuuluvat rakennukset ovat suurelta osin liikuntatoimen alaisia. Hallinnollisissa rakennuksissa on erilaisia kunnan toimitiloja, kuten kunnantalo ja monitoimitalo, jossa toimii esim. nuorisotoimikunta. Muihin rakennuksiin jää vielä vanhoja maatiloja, navettoja, satunnaisia varastoja sekä vaikeasti kategorioitavia rakennuksia. (Lappeenrannan kaupunki 2014a.)

Taulukko 1. Lappeenrannan kaupungin kaikki rakennukset jaettuna ryhmiin. Rakennusten tiedot Lappeenrannan kaupungilta saamasta taulukkotiedostosta. (Lappeenrannan kaupunki 2014a.)

Kaikki rakennukset			
Rakennustyyppi	Rakennusten määrä	Kerrospinta-ala [m ²]	Huomioita
Koulut ja opistot	95	116 242	
Terveys- ja huoltopalvelut, paloasemat	36	47 680	
Urheilu ja uinti	156	37 698	Paljon varastoja ja käymälöitä yms. pieniä rakennuksia
Päiväkodit	60	27 087	
Hallinnolliset rak.	8	16 276	
Linnoituksen rakennukset	24	9 777	
Kirjastot	9	8 913	
Asuinrakennukset	54	6 551	
Museorakennukset	16	4 300	
Leirikeskukset	19	912	
Mökit	12	140	
Muut	274	63 125	

Pinta-alallisesti suurin rakennusryhmä on koulut ja opistot, joilla on erillisiä rakennuksia yhteensä 95. Tässä luvussa kaikki koulujen eri rakennukset on laskettu erillisinä rakennuksina, joten kouluyksiköitä ei todellisuudessa ole näin montaa. Rakennuksiin on siis laskettu varastorakennuksia ja isompia kiinteitä pyöräkatoksia. Toiseksi suurin rakennusryhmä pinta-alallisesti on terveys- ja huoltopalvelut sekä paloasemat, kaikki laskettuna yhteen ryhmään. Nämä kunnalliset palvelut ovat rakennuksien määrältä paljon pienempi ryhmä, mutta rakennukset ovat suuria. Päiväkotien ja koulujen rakennuksista useat ovat ulkoa vuokrattuja tai myynnin tai purun

alaisia. Myös urheiluun liittyviä rakennuksia on paljon, kun lasketaan mukaan uimahallit, uimaran-toihin liittyvät tilat ja urheilukenttien tukitilat. Näillä määritelmillä urheiluun liittyviä rakennuksia on n. 156 kappaletta. Näistä yli 30 rakennusta on pieniä käymälöitä Lappeenrannan seudun uimarannoilla.

Rakennuksissa tuotettava maksimimäärä aurinkosähköä riippuu käytettävissä olevasta pinta-alasta. Yleisimmin paneelit asennetaan katolle. Rakennukset on jaettu kerrospinta-alan mukaisesti taulukkoon 2, jotta voitaisiin arvioida niiden kattopinta-alan mukainen aurinkosähköpotentiaali. Aurinkosähköpotentiaali on arvioitu kerrospinta-alan mukaan niin, että joko koko tasakatto tai pulpettikatto tai kaksilapaisen katon toinen lape on asennettu täyteen aurinkopaneeleja kokonaisyötysuhteella 13 % auringon säteilytehosta. Hyötysuhde on arvioitu alakanttiin, koska koko pinta-alaa ei saada hyödynnettyä aurinkopaneelina ja kaikissa rakennuksissa ei ole etelän suuntaista lapetta. Oletuksena näissä arvioissa on 1 kW / m² laskentateho auringon säteilylle.

Taulukko 2. Rakennukset jaettuna kerrospinta-alan mukaisiin ryhmiin

Kerrospinta-ala	Rakennusten määrä	Aurinkosähköpotentiaali	Aurinkosähköpotentiaali yhteensä (arvio)
0 - 30 m ²	234	0 - 3 kW / rakennus	1,5 * 234 = 351
30 - 100 m ²	144	2 - 10 kW / rakennus	5 * 144 = 720
100 - 300 m ²	128	< 20 kW / rakennus	10 * 128 = 1280
300 - 1000 m ²	92	< 40 kW / rakennus	15 * 92 = 1380
1000 - 15 000 m ²	71	< 200 kW / rakennus	100 * 71 = 7100

Mitä pienempiä rakennukset ovat, sitä enemmän niitä on lukumäärällisesti. Kuitenkin suurin aurinkosähköpotentiaali on isoissa rakennuksissa, joihin voidaan asentaa suuria järjestelmiä. Isoimpiin rakennuksiin saadaan paljon laskettua suurempiakin järjestelmiä asennettua tarpeen mukaan.

3.2 Investointikelpoiset rakennukset

Lappeenrannan kaupunki on antanut luvan investoida ja ottaa lainaa 97 operatiivisesti tärkeimmälle rakennukselle. Nämä rakennukset ovat kaupungin rakennussalkuissa A ja B. Nämä rakennukset ovat tärkeimpiä aurinkoenergiapotentiaalin tarkastelun kannalta, koska ainoastaan niihin on tällä hetkellä käytännössä mahdollista saada rahoitusta aurinkoenergiaprojekteja varten. Tässä kappaleessa on jaoteltu näitä tärkeimpiä rakennuksia vielä tarkemmin niin käyttötarkoituksen kuin aurinkoenergiapotentiaalinkin näkökulmasta. Taulukossa 3 on jaoteltu A ja B salkun rakennukset samaan tapaan ryhmittäin kuin aiemmin taulukossa 1 kaikki rakennukset. (Lappeenrannan kaupunki 2014a.)

Taulukko 3. A ja B rakennussalkkujen rakennukset jaoteltuna käyttötarkoituksen mukaisiin ryhmiin.

A ja B rakennukset		
Rakennustyyppi	Rakennusten määrä	Kerros-pinta-ala [m ²]
Koulut ja opistot	48	89 212
Terveys- ja huoltopalvelut, paloasemat	14	25 973
Kimpinen, uimahallit ja jäähalli	9	22 071
Hallinnolliset rak.	3	10 775
Päiväkodit	14	10 359
Maakuntakirjasto	1	3 813
Museorakennukset	2	660
Tasihinin Asuin- ja liikerakennus	3	522
Hyrymäen laitesuoja	1	388
Satamapaviljonki	1	318
Liikennepuiston huoltorak.	1	45
Yhteensä	97	164 136

Lappeenrannan kaupunki selkeästi pyrkii ylläpitämään koulujen ja päiväkotien kuntoa. Toisaalta A ja B salkkujen rakennusten jakauma on suuruussuhteiltaan vastaava kuin kaikkien rakennusten. Koulut olisivat otollisia myös aurinkosähkön kannalta, koska niissä on paljon katto-

pinta-alaa. Aurinkosähkön asentaminen kouluihin mahdollistaisi myös uusiutuvien energiamuotojen tutustuttamisen opiskelijoille. Koulujen kohdalla aurinkosähkön kannalta ongelmaksi muodostuu koulujen käyttämättömyys kesällä. Kaupungin imagon kannalta varsinkin hallinnolliset rakennukset olisivat otollinen kohde aurinkosähkön asentamiselle. Seuraavaksi taulukkoon 4 on aseteltu A ja B salkkujen rakennukset jaoteltuna kerrospinta-alan mukaisiin ryhmiin.

Taulukko 4. A ja B salkkujen rakennukset jaoteltuna kerrospinta-alojen mukaan.

A ja B rakennukset			
Kerrospinta-ala	Rakennusten määrä	Aurinkosähköpotentiaali	Pinta-ala yhteensä [m ²]
0 - 30 m ²	12	0 - 3 kW / rakennus	262
30 - 100 m ²	7	2 - 10 kW / rakennus	447
100 - 300 m ²	11	< 20 kW / rakennus	2 541
300 - 1000 m ²	21	< 40 kW / rakennus	11 272
1000 - 15 000 m ²	41	< 200 kW / rakennus	149 615

Toisin kuin kaikkien rakennusten kohdalla taulukossa 1, taulukossa 4 A ja B salkkujen rakennusten kohdalla suuria rakennuksia on myös määrällisesti eniten. Voidaan olettaa kaupungin keskittävän toimintoja isompiin yksikköihin, joiden toimintaa pyritään jatkamaan mahdollistamalla parannukset budjetissa. Isommissa rakennuksissa on myös alkupääomaa enemmän kiinni, joten niitä kannattaa huoltaa ja kehittää enemmän.

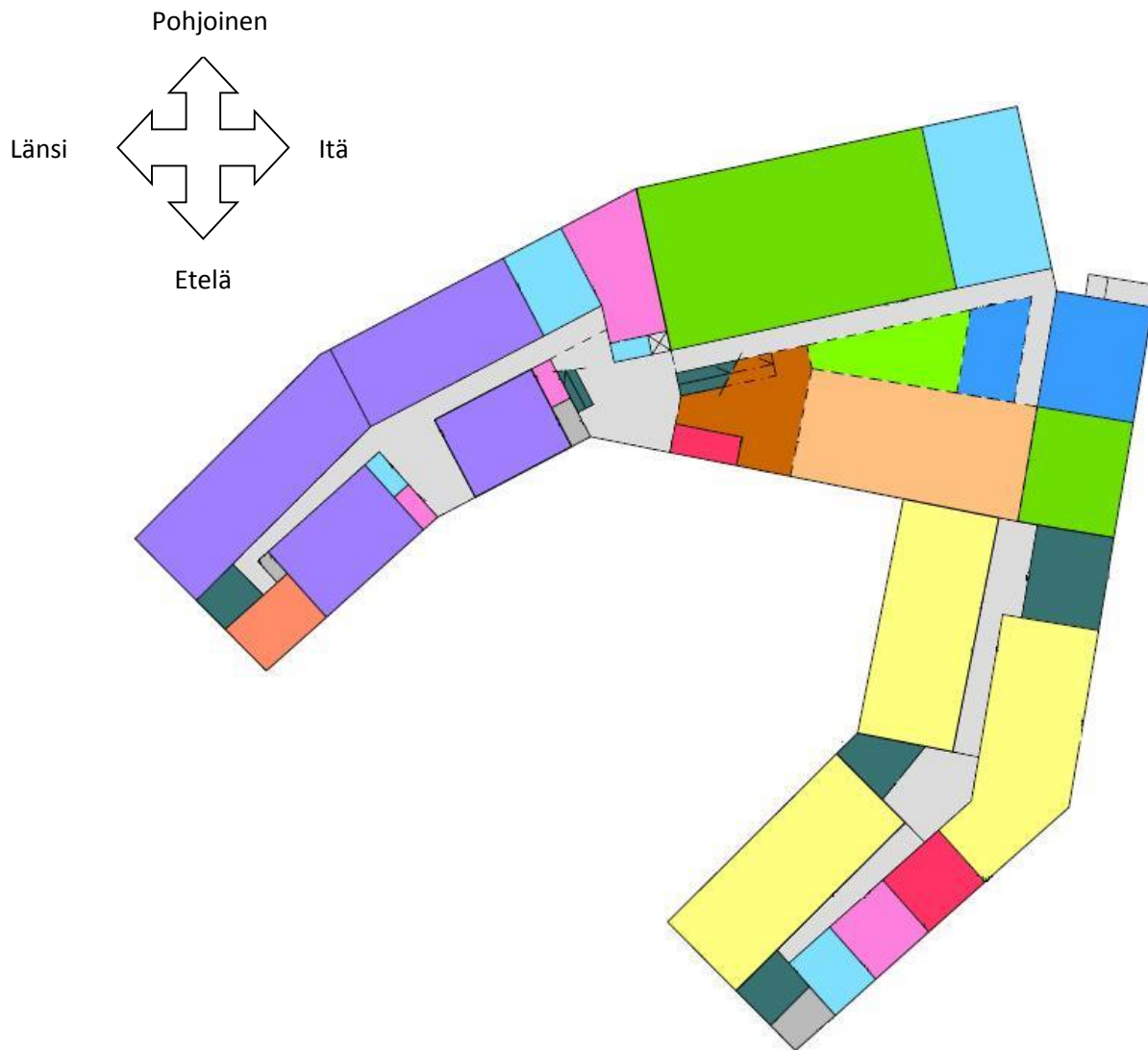
4 CASE: ENERGIANSÄÄSTÖPOTENTIAALI KOHDERAKENNUKSESSA HYÖDYNTÄMÄLLÄ AURINKOVOIMAA

Tässä työssä suunnitellaan ja mitoitetaan aurinkovoiman pientuotantoa lappeenrantalaiseen kouluun, joka on vasta suunnitteilla. Casen avulla pyritään hahmottamaan aurinkosähkön tuo-

tannon vaikutuksia rakennuksen energiataseeseen ja tuotannon taloudellisia vaikutuksia. Rakennuksesta tiedetään lähinnä dimensiot, joita käyttämällä pyritään arvioimaan parhaat mahdolliset aurinkosähköratkaisut kohteeseen. Seuraavissa kappaleissa esitellään kohde, siitä tässä vaiheessa saatavilla olevat tiedot ja suunnitelmat aurinkosähkön pientuotannosta kyseisessä kohteessa.

4.1 Kohteen esittely

Kohteena on suunnitteilla ja kohta rakenteilla oleva Pontuksen koulu ja päiväkoti, jotka sijoitetaan samaan isoon rakennukseen. Koulu tulee sijaitsemaan n. 7 kilometrin päässä Lappeenrannan keskustasta. Rakennuksen suunnitelluksi kerrospinta-alaksi on arvioitu noin 7 260,6 m². Kattopinta-alaa rakennuksella voidaan arvioida olevan noin 4 016 m². Jos kerroskorkeudeksi arvioidaan 3 metriä, tulee rakennuksen tilavuudeksi 21 781,8 m³. Rakennukselle ei vielä ole päätetty lämmitystapaa, mutta jonkinlainen vesikiertoinen lämmitysjärjestelmä rakennukseen asennetaan. Rakennukseen on tulossa monipuoliset koulutilat, kuten liikuntasali, teknisten töiden luokka, suuri ruokala ja päiväkodin vaatimat tilat. Iltaisin käytössä olisi nuorisotila ja luultavasti myös liikuntasali. Alustava pohjapiirustus on esitetty kuvassa 1. Kuvan alaoikeassa kulmassa oleva siipi olisi päiväkodin tiloja ja muut koulun tiloja. Päiväkodin päädyn, jonka katon pitkä pääty on kaakon suuntaan, kattopinta-ala on n. 635 m². Tälle katolle olisi parasta asentaa aurinkopaneeleja ilmansuunnan perusteella, jos katot ovat pulpettikattoja, jotka viettävät rakennuksen ulkokehää kohden. Katolle mahtuu parhaimmillaan vain n. 70-80 kW aurinkosähköpaneeleita. (Lappeenrannan kaupunki 2014c.)



Kuva 1. Pontuksen koulun alustava pohjapiirustus. Pohjapiirustus saatu Lappeenrannan kaupungilta. (Lappeenrannan kaupunki 2014b.)

Koska rakennuksessa käytettävästä tekniikasta ei vielä ole tarkkoja määritelmiä, rakennuksen arvioidussa energian ja tehonkulutuksessa käytetään keskimääräisiä arvoja. Motivan keräämien keskimääräisten kulutustietojen mukaan yleissivistävien laitosten sähköenergian kulutuksen mediaani on $14,5 \text{ kWh/rm}^3$ (Motiva 2014). Kertomalla keskimääräinen kulutus kohteen huone-tilavuudella rakennuksen sähköenergian kulutukseksi voitaisiin olettaa n. $315\,836 \text{ kWh/a}$. Rakennuksen pohjatehonkulutus, eli rakennuksen taloteknisten laitteiden ja valaistuksen kuluttama teho lasketaan keskiarvona Lappeenrannan olemassa olevista kouluista tehtyjen energiakatsel-

musten keskiarvon pohjalta. Vastaavankokoisissa kouluissa pohjakulutus on n. 20 kW:a. Vastaavanlaisessa vanhemmassa lappeenrantalaisessa koulussa tehonkulutus nousee aamun ja aamupäivän aikana n. 100 kW:n ja vaihtelee päivän aikana 35 ja 100 kW:n välillä, kunnes iltapäivän aikana laskee takaisin pohjakulutukselle. Näitä arvoja käytetään myöhemmin hahmottelemaan Pontuksen koulun päivittäistä energiankulutusta. (Lappeenrannan kaupunki, sähköpostiviestejä 2014d.)

4.2 Aurinkoenergian käyttömahdollisuudet

Tässä casessa keskitymme aurinkosähköpaneeliin, koska sähkö on helpoiten käytettävissä kohteessa. Aurinkopaneeleita voidaan asentaa niin katoille kuin julkisivuillekin. Julkisivu asennukset olisi järkevintä asentaa joko rakennuksen ns. päätyihin, jotka on suunnattu lounaaseen, tai sitten päiväkodin päädyn ulkoseinään, joka on suunnattu kaakkoon. Tällöin auringon energiasta saataisiin tämän rakennuksen kohdalla parhaiten energiaa. Kattoasennuksen paras vaihtoehto riippuu katon tyypistä. Jos katto on ns. pulpettikatto ja viettää rakennuksen ulkokehälle, niin paras ratkaisu olisi asentaa aurinkopaneelit kaakkoon viettävälle katolle. Jos rakennuksen katto on tasakatto, on mahdollisuuksia enemmän, koska aurinkopaneelit voidaan katolla suunnata telineillä miten halutaan. Helpointa olisi asentaa paneelit rakennuksen suurimmalle osalle etelään suunnattuina.

4.3 Energiansäästöpotentiaali ja taloudelliset arviot

Aurinkopaneelit voidaan asentaa katolle eri kulmissa telineiden avulla. Optimaalinen asennus Suomessa on etelään päin suunnattu paneeli, jonka poikkeama maantasosta on 41-42 astetta poikkitasosta, jolla saadaan paras tuotto vuoden ympäri (European Commission 2014). Jos tuo-

tantoa halutaan keskittää talvelle, tulee kulman olla suurempi, esimerkiksi 60 astetta. Jos tuotantoa halutaan keskittää enemmän kesälle, tulee asennuskulman olla pienempi, esimerkiksi 30 astetta. Eri asennuskulmilla saatua mittaustulosta Suomesta voi seurata Satakunnan ammattikorkeakoulun koeasennuksista, joissa on asennettu kolmella eri asennuskulmalla sama tehomäärä aurinkosähköpaneeleita. Paneelit tuottavat jatkuvaa tietoa Internetiin. (SAMK 2014.)

Seuraavaksi lasketaan energiansäästötilanteita eri asennusvaihtoehdoilla. Työkaluna on käytetty PVGIS - Photovoltaic Geographical Information Systemiä, jonka järjestelmään sijoitetaan tiedot eri skenaarioista ja se laskee tuoton vuodessa. Eri skenaariot ovat: Kattoasennus suoraan pulpettikaton lappeen mukaisesti, 41 asteen kulmatelineille asennus pulpettikatolle, tasakatolle asennus telineisiin sekä seinäasennus. Lappeenrannassa optimaalinen kiinteä kulma aurinkopaneelille on 41-42 astetta vaakatasosta (European Commission 2014). Aurinkosähköjärjestelmän tehoina tarkastellaan pohjakuormaa 20 kW, nykylainsäädännön mukaista energiaveron rajaa 50 kW ja rakennuksen oletettua huippukuormaa 100 kW tasakatolle ja pulpettikatolle 80 kW voimaa tilarajoitusten vuoksi.

PVGIS on lyhenne sanoista Photovoltaic Geographical Information System, joka tarkoittaa vapaasti käännettynä aurinkosähkön maantieteellistä tietojärjestelmää. Se on Euroopan komission energia- ja kuljetusinstituutin tekemä selainpohjainen järjestelmä, jolla voi mallintaa eri tehoisten, hyötysuhteisten ja eri tavalla asennettujen aurinkoenergiajärjestelmien vuosi-, kuukausi- ja päivätuottoja. Taulukossa 5 on vertailtu PVGIS-järjestelmän antamia tuottoja oikeisiin kohteisiin Lappeenrannassa.

Taulukko 5. Olemassa olevien kohteiden energiantuotannon vertaamista PVGIS-järjestelmän antamiin energiantuottoihin Lappeenrannan alueella. Oikeiden kohteiden energiantuotto Sunnyportalista. (Sunnyportal 2014.)

Tuotantolaitos	Aurinkovoimala liekki	PVGIS	LOAS Seppo	PVGIS	Leirivoima	PVGIS
Teho [kW]	5,28	5,28	9	9	5,04	5,04
Info	Inclination 30 degree		10 degree south		South 35 degree	
Tammikuu [kWh]	26,68	83,3	17,51	77,4	11,99	86,5
Helmikuu [kWh]	45,11	221	83,78	246	39,09	225
Maaliskuu [kWh]	409,31	392	613,6	534	358,62	386
Huhtikuu [kWh]	744,23	574	1202,19	882	700,12	554
Toukokuu [kWh]	628,38	700	1102,74	1160	604,98	665
Kesäkuu [kWh]	680,06	655	1261,65	1130	667,66	617
Heinäkuu [kWh]	917,05	673	1619,64	1140	876,87	637
Elokuu [kWh]	645,97	515	946,12	831	611	491
Syyskuu [kWh]	457,98	322	665,36	479	400,36	313
Lokakuu [kWh]	267	185	376,72	242	189,87	184
Marraskuu [kWh]	28,95	63,2	70,96	73,5	27,78	63,7
Joulukuu [kWh]	5,13	44,4	27,23	39	5,27	46,3
Yhteensä	4855,85	4427,9	7987,5	6833,9	4493,61	4268,5
kWh/kW/a	919,6	838,6	887,5	759,3	891,5	846,9
	Erotus kWh/a	427,95	Erotus kWh/a	1153,6	Erotus/a	225,11
	Erotus kWh/kW/a	81,05113636	Erotus kWh/kW/a	128,1778	Erotus kWh/kW/a	44,6

Taulukosta 5 huomataan, että PVGIS-järjestelmä antaa vuosituoton tasolla systemaattisesti pienempiä energiamääriä kuin todelliset järjestelmät suomessa. Talvikuukausina oikeat järjestelmät antavat pienempiä tehoja kuin PVGIS-järjestelmä, minkä voi olettaa johtuvan lumen peittävydestä paneeleissa. Talvikuukausien pienestä tuotosta huolimatta kesän ja välivuodenaikojen aurinkoenergian tuotto on paljon suurempaa kuin PVGIS-järjestelmän arvioissa.

4.3.1 Pulpettikatto – Lappeen suuntainen asennus

Pulpettikaton kaltevuuskulman oletetaan tässä tapauksessa olevan 7 astetta (1:8). Rakennuksen katon suuntien takia aurinkopaneeleita ei saada asennettua etelän suuntaan, vaan ne asennetaan kaakkoon päin. Tämä asennusmenetelmä on helpoin ja halvin, koska esimerkiksi saumattuun peltiin aurinkopaneelien tukirakenteet saadaan asennettua ilman mitään läpiporauksia. 20 kW:n tehoon tarvittaisiin n. 82 paneelia, joiden teho olisi 245 W paneelia kohden. Paneelien mitoiksi oletetaan 1,65 metriä leveys ja 1 metrin korkeus, jolloin tarvittava pinta-ala olisi 136 m². Viidenkymmenen kilowatin tehoon tarvitaan n. 205 paneelia ja näillä pinta-alaksi tulisi 339 m². Suurin mahdollinen aurinkosähköjärjestelmä tälle katto-osuudelle on n. 80 kW:n voimala. Näin iso voimala tarvitsisi asennuspinta-alaa 540 m², joka koostuu 327 paneelista. Koska katolla on runsaasti tilaa, voi 20 ja 50 kW:n voimaloiden paneeleita asetella monella tavalla erimittaisiin riveihin. Suurimman voimalan paneelien sijoittaminen tulee mieltä tarkkaan. Edellä mainituilla asennustehoilla saadaan vuodessa tuotettua energiaa taulukon 6 mukaisesti.

Taulukko 6. 7 asteen kulmassa asennetut koiliseen osoittavat aurinkopaneelit pulpettikatolla

Asennusteho	Vuodessa tuotettu energia	Osuus rakennuksen kokonaiskulutuksesta
20 kW	14 600 kWh	4,6 %
50 kW	36 500 kWh	11,6 %
80 kW	58 500 kWh	18,5 %

4.3.2 Pulpettikatto – Asennus telineille

Telineasennuksessa aurinkopaneelit saadaan optimaalisempaan kulmaan kuin suorassa lappeen mukaisessa asennuksessa. Telineiden suunnittelu ja valmistaminen kuitenkin maksaa enemmän verrattuna valmiisiin kiinnitysratkaisuihin lappeen suuntaisesti. Ongelmaksi voi kehittyä myös varjostuksista johtuva pinta-alan lisätarve. Kun paneeleita nostetaan pohjan tasosta ylöspäin, varjostavat ne enemmän takapuolellaan olevaa aluetta, minkä takia paneelit pi-

tää asentaa harvempaan. Katon tasolla vaakaan paistavasta auringosta tulee 4,6 metrin varjostus paneelin taakse, kun paneelin korkeus on 1 m ja sen asennuskulma 7 asteisella katolla on 34 astetta. Jos paneelit asennetaan 4,6 metrin välein telineille, ne eivät varjosta toisiaan. Näin suurten varjostusten kanssa katolle ei mahtuisi enempää kuin 20 kW paneeleita. Jos telineiden kulma olisi 15 astetta 7 asteisella katolla, olisi paneelien varjostus vain 2,11 m. Tähän kun huomioidaan vielä telineiden kattopinta-alan vieni, olisi 50 kW:n mahdollistaminen katolle jo vaikeaa. Taulukossa 7 esitetään energiantuotanto vuodessa 20 kW:n järjestelmälle 41 asteen kulmalla sekä 50 kW:n järjestelmälle 22 asteen kulmalla.

Taulukko 7. Pulpettikatolle telineen kanssa asennetut paneelit

Asennusteho ja kulma	Vuodessa tuotettu energia	Osuus rakennuksen kokonaiskulutuksesta
20 kW 41°	16 100 kWh	5,0 %
50 kW 22°	39 200 kWh	12,4 %

4.3.3 Tasakatto – Asennus telineille

Jos rakennukseen tehdään tasakatto, kannattaa paneelit asentaa katolle ainoastaan kulmassa oleville telineille. Tällöin kannattaa selvittää, minkälaiset telineet ovat edullisimmat valmistaa tai ostaa valmiina. Optimaalinen kulma on 41 astetta Lappeenrannan seudulla, joten aurinkoenergian tuoton arvioinnissa on käytetty tällaisia telineitä (European Commission 2014). Paneelien asennus tasakaton tapauksessa kannattaa tehdä rakennuksen pääosan, eli suurimman katto-osuuden päälle. Paneeleita voidaan asentaa myös muille katoille, joten tilaa on runsaasti. Paneelit osoittaisivat etelään päin 41 asteen kulmassa. Tasakaton eri tehokokonaisuuksilla vuodessa saatavat energiat on esitetty taulukossa 8.

Taulukko 8. Tasakatolle asennettujen eri tehokokonaisuuksien vuodessa tuottama energia

Asennusteho	Vuodessa tuotettu energia	Osuus rakennuksen kokonaiskulutuksesta
20 kW	17 100 kWh	5,4 %
50 kW	42 700 kWh	13,5 %
100 kW	85 300 kWh	27,0 %

4.3.3 Seinäasennus

Jos paneelit päätettäisiin asentaa seinälle julkisivuun, ne kannattaa asentaa koulun päiväkodin kulmalle. Tasaisen tuoton varmistamiseksi paneelit voisi jakaa kaakossa olevan kulman molemmin puolin. Näin varmistettaisiin hyvä tuotto aamu- ja iltapäivälle. Seinäasennuksien tuotto on kuitenkin selkeästi heikompi kuin kattoasennusten, vaikka sen tuotto jakautuukin pidemmälle kevääseen ja syksyyn kuin kattopaneelien. Julkisivuilla on vähemmän käyttökelpoista pintalaa kuin katoilla, joten seinäasennuksille ei ole arvioitu kuin 5, 10 ja 20 kW:n järjestelmien energian tuotto. Seinäasennuksella vuodessa saatavat energiat on esitetty taulukossa 9.

Taulukko 9. Julkisivuasennuksessa vuoden aikana saatava aurinkoenergia.

Asennusteho	Vuodessa tuotettu energia	Osuus rakennuksen kokonaiskulutuksesta
5 kW	3 000 kWh	0,9 %
10 kW	6 000 kWh	1,9 %
20 kW	12 000 kWh	3,8 %

4.3.4 Sähkön osto- ja myyntihinta Lappeenrannan energialla

Lappeenrannan energia on Lappeenrannan paikallinen energiayhtiö, johon kuuluu myös Lappeenrannan energiaverkot, joka vastaa paikallisesta jakeluverkosta. Lappeenrannan energia maksaa verkkoon syötetystä sähköenergiasta kahden eri sopimusvaihtoehdon mukaan. Ensimmäinen vaihtoehto on jatkuvatoiminen sopimus, jossa Lappeenrannan energia maksaa tuotetusta

energiasta sähköpörssi Nord Pool AS:n Elspot-markkinan Suomen hinta-alueen tuntikohtaisen hinnan, josta erotetaan Lappeenrannan energian ottama välityspalkkio 0,30 snt/kWh (Lappeenrannan energia oy 2014a). Tällä hinnalla esimerkiksi 1.6.2014 päivän aikana olisi saanut keskimäärin 2,318 snt/kWh, mikä tietenkin vaihtelee sähkön tuntuotannon ja tuntihinnan kohtaamisen mukaan. 2.6.2014 keskimääräinen tuntihinta ostetulle sähkölle olisi taas ollut 4,770 snt/kWh. Päiväkohtaiset keskimääräiset hinnat ovat huonoja kertomaan aurinkosähkön ostohintaa, koska sähkö on kalleimmillaan päivällä, jolloin myös aurinkoenergian tuotanto on suurimmillaan. Sähkön tuotannon painottuminen päivälle voi tuoda jopa 34 % lisähintaa ostosähkölle, kuten on laskettu liitteessä 1.

Toinen sopimusvaihtoehto on määräaikainen, jossa tarjotaan kiinteä hinta tuotetusta sähköenergiasta. Lappeenrannan energian tarjoama ostohinta on 4,37 snt/kWh. Määräaikainen sopimus tuo varmuutta ja parempaa ennakoitavuutta sähkön hintoihin. Sopimuksia voisi verrata vain jo tapahtuneista kuukausista ja tällöinkin tulisi tietää toteutunut sähköntuotanto, joten vertailu on vaikeaa. (Lappeenrannan energia oy 2014a.)

Lappeenrannan energian jatkuvatoimisen Yleisvoima-sopimuksen hinta yhdessä Yleissiirtosopimuksen kanssa on 10,94 snt/kWh (Lappeenrannan energia oy 2014b). Lappeenrannan energian sähkön myyntihinta on siis reilusti kaksinkertainen verrattuna sähkön ostohintaan. Tämän takia suuri ylituotanto ei välttämättä ole taloudellisesti järkevää. Aurinkoenergian tuotantoa kannattaa optimoida simuloimalla eri tehoisia järjestelmiä päiväkohtaisilla tuotoilla ja kulutuksille vuoden jokaiselle päivälle.

4.4 Aurinkopaneelien kustannukset ja tuotot

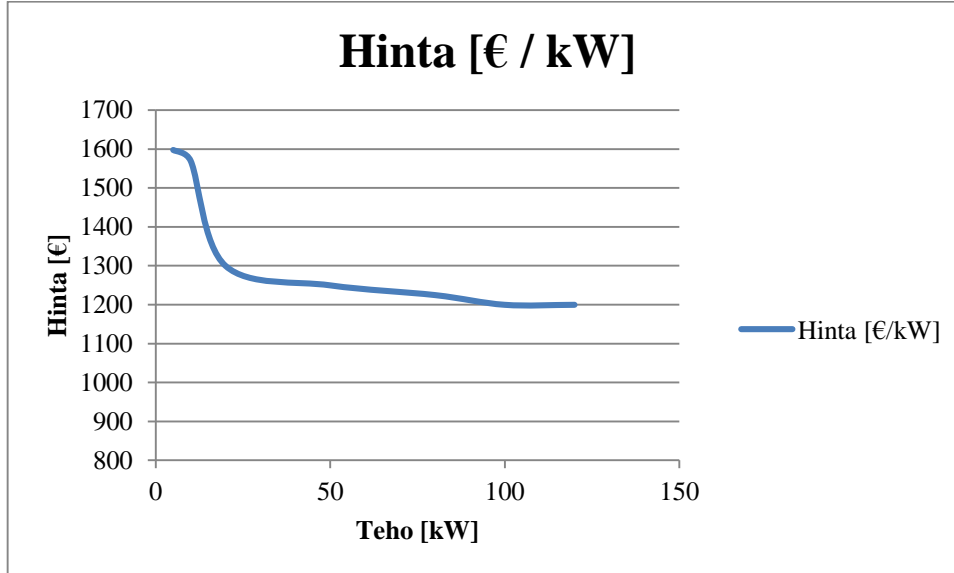
Tämän kappaleen laskelmissa aurinkosähköjärjestelmien kannattavuuslaskelmissa huomioidaan paneelien tehon heikkeneminen elinkaaren aikana, erikokoisten järjestelmien

vaihteleva yksikköhinta, sähköntuotantovero sekä eri asennusvaihtoehtojen erilaiset energiantuotantoennusteet. Investointien lainakoron oletetaan korvautuvan sähkön hinnannousulla, jolloin kumpaakaan ei huomioida laskelmissa sen tarkemmin. Laskelmissa oletetaan koko järjestelmän kestävän aurinkopaneelien 30 vuoden elinkaaren ajan. Laskelmissa ei huomioida Työ- ja elinkeinoministeriön myöntämää energiatukea, jota voi saada aurinkosähköhankkeissa jopa 30 % alkuinvestoinnista (Työ- ja elinkeinoministeriö 2014).

Aurinkopaneelien ja aurinkopaneelijärjestelmien myyntihinnat vaihtelevat yllättävän paljon Euroopan alueella. Laskelmissa käytetään paneelien hintoina eri suomalaisilta yrityksiltä saatujen tarjousten mukaisia keskiarvoja. Aurinkopaneelien tuotto lasketaan olettaen, että paneelin tekninen käyttöikä on 30 vuotta, josta 25 vuotta on tuottotakuulla, eli 25 vuoteen saakka paneelien maksimiteho on ainakin 80 % alkuperäistehosta. Aurinkopaneelijärjestelmien 0 % alv ostohintoja eri tehoilla on esitetty taulukossa 10. Taulukon 10 arvoilla on myös piirretty kuvaaja kuvaan 2, joka havainnollistaa hinnan kehitystä järjestelmän koon mukaan.

Taulukko 10. Aurinkosähköjärjestelmien ostohintoja eri tehoilla suomessa ja saksassa

Teho	5 kW	10 kW	20 kW	50 kW	80 kW	100 kW
Hinta	7 990 €	15 700 €	26 000 €	62 500 €	98 000 €	120 000 €



Kuva 2. Aurinkosähköjärjestelmien hinta asennettua kilovattia kohden järjestelmän asennustehon lisääntyessä.

Taulukosta 9 ja kuvasta 2 huomataan, että asennettujen kokonaisuuksien hinnan suhde asennettuun tehoon kW/€ pienenee suuremmissa kohteissa. Eri tehoisten järjestelmien energiantuotto saadaan PVGIS – järjestelmästä ja sen avulla lasketaan eri tehoisten järjestelmien elinkaaren aikainen energiantuotto. Koko elinkaaren aikaisella tuotolla saadaan selville taloudelliset tulot ja siten kannattavuus järjestelmälle.

Aurinkopaneelien teho laskee niiden koko elinkaaren ajan. Jos oletetaan tehon laskevan lineaarisesti ensimmäisen 25 vuoden ajan tuottotakuun mukaisesti, on keskimääräinen hyötysuhde tälle ajalle 90 %. 30-vuotisen elinkaaren viimeisille 5 vuodelle oletetaan vielä 75 % hyötysuhde. Taulukossa 10 on esitetty taulukon 9 tehoisten laitosten vuosituotto Lappeenrannassa.

Taulukko 11. Energiantuotanto laskennassa käytettävillä eri tehoisilla järjestelmillä

Teho	Energian tuotanto vuodessa eri asennustavoilla [kWh]			
	Katon myötäinen kaak- koon	41 asteen kulma kaak- koon	41 asteen kulma ete- lään	Seinäasen- nus
5 kW	-	-	-	3000
10 kW	-	-	-	6000
20 kW	14 600	16 100	17 100	11 400
50 kW	36 500	39 200	42 700	-
80 kW	58 500	-	-	-
100 kW	-	-	85 300	-

4.4.1 Kohteen jatkuvaa pohjatehoa pienempi asennusteho

Koko elinkaaren energiantuotanto saadaan laskemalla tehon heikkenemisestä aiheutuvalla hyötysuhteella vuosittaiset energiantuotannot. Esimerkiksi 10 kW järjestelmälle energiantuotanto saadaan laskettua seuraavasti:

$$25 a \cdot 0,90 \cdot 6000 \frac{kWh}{a} + 5 a \cdot 0,75 \cdot 6000 \frac{kWh}{a} = 157 500 kWh$$

Tälle energiamäärälle voidaan laskea rahallinen arvo Lappeenrannan energian sähköhinnaston hinnoilla. Alle 20 kW:n asennuksille oletuksena on, että kaikki sähkö käytetään rakennuksessa, jolloin korvataan ostosähköä. Tällöin hintana käytetään ostosähkön hintaa.

$$157 500 kWh \cdot 10,94 \frac{snt}{kWh} \cdot \frac{1€}{100 snt} = 17 230,5 €$$

Koko elinkaarensa aikana suomalaisesta verkkokaupasta ostettu aurinkosähköjärjestelmä tulisi tuottamaan voittoa 1 530,5 euroa, eli 9,7 %:a alkuinvestoinnista 30 vuodessa. Takaisinmaksuajan saa laskemalla ensin vuosittaisen rahallisen hyödyn aurinkoenergiasta ja jakamalla investoinnin tällä summalla.

$$\frac{17\,230,5 \text{ €}}{30 \text{ a}} = 574,35 \text{ €/a}$$

$$\frac{15\,700 \text{ €}}{574,35 \text{ €/a}} = 27,3 \text{ a}$$

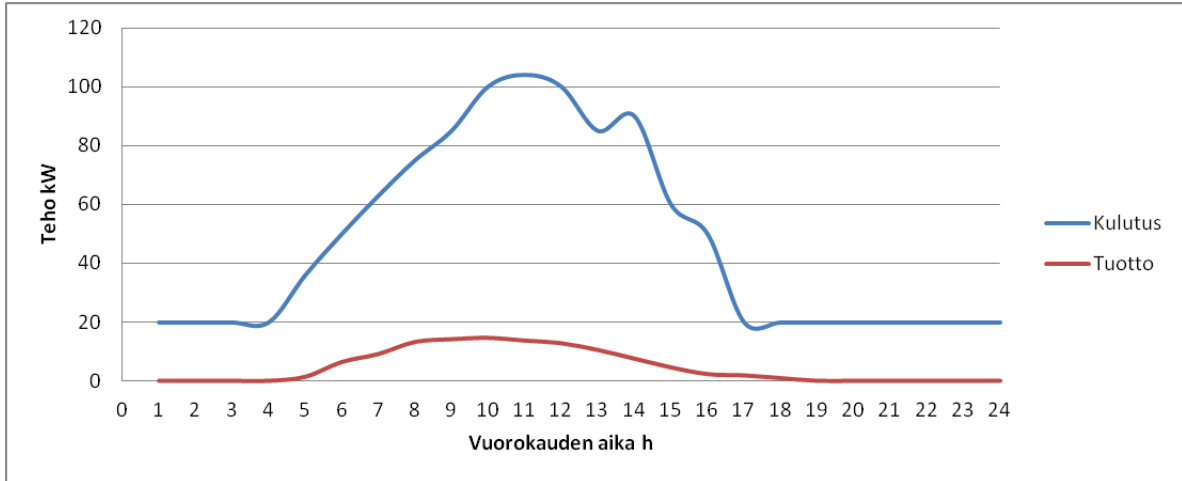
Näin pienen järjestelmän takaisinmaksuaika seinäasennuksena tulisi olemaan n. 27 vuotta. Seinäasennuksessa on hitain takaisinmaksuaika, koska se tuottaa vähiten energiaa vuodessa. Seuraavaksi lasketaan samaan tapaan 50 kW:n tuottama voitto, jolloin osa energiasta menee myyntiin, mutta vielä ei tarvitse maksaa energiaveroa. Esimerkissä käytetään kaakkoon viettävän katon lappeen suuntaisesti asennettuja paneeleita.

4.4.2 Yli pohjatehon asennusteho, josta ei makseta sähköveroa

Energiantuotanto koko elinkaaren aikana saadaan laskettua samoin kuin aiemmassa tilanteessa.

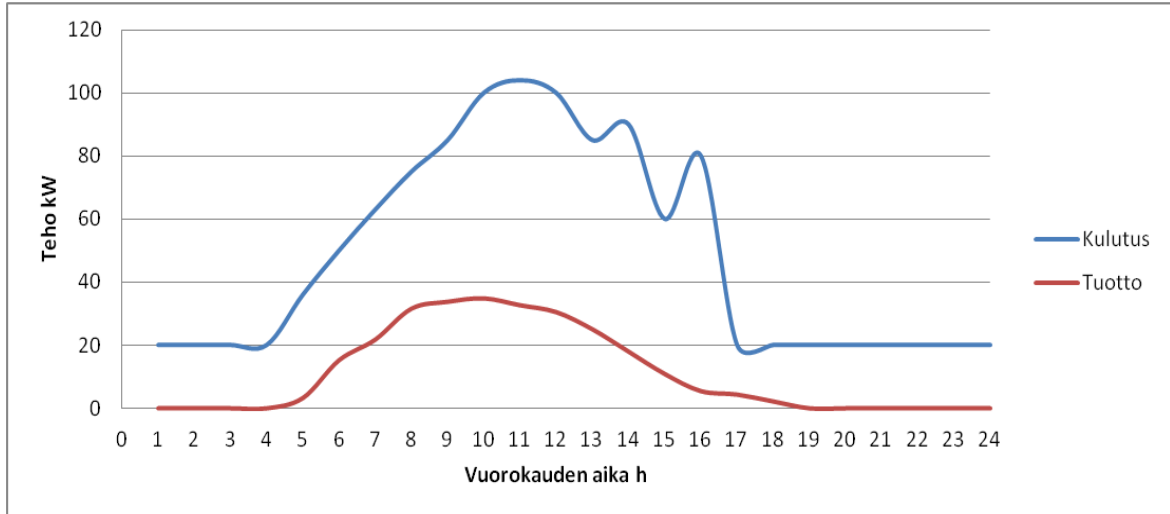
$$25 \text{ a} \cdot 0,90 \cdot 36\,500 \frac{kWh}{a} + 5 \text{ a} \cdot 0,75 \cdot 36\,500 \frac{kWh}{a} = 958\,125 \text{ kWh}$$

Nyt kun sähköä tuotetaan joinain hetkinä enemmän kuin rakennuksessa kulutetaan, menee osa sähköstä myyntisähköksi. Myyntisähköstä saadaan pienempi taloudellinen hyöty kuin sähköstä, jolla korvataan omaa kulutusta. Tätä varten lasketaan suurpiirteiset prosenttiosuudet, missä suhteessa sähköä menee omaan käyttöön ja myyntiin. Tarkkaa tulosta varten tulisi tuntea rakennuksen sähkönkulutus tuntitasolla vuoden ajalta. Siihen päälle simuloitaisiin päiväkohtaiset aurinkoenergian tuotot. Nyt tällaisia tietoja ei ole käytössä, joten arvioidaan keskimääräinen energiantuotto ja kulutus arkipäivälle ja vapaapäivälle. Kuvassa 3 on esitetty koko vuoden keskimääräisen arkipäivän energiantuotto ja sähkön kulutus päivän aikana.



Kuva 3. 50 kW järjestelmän koko vuoden keskimääräinen energiantuotanto ja kulutus arkipäivänä kohderakennuksessa (European Commission 2014).

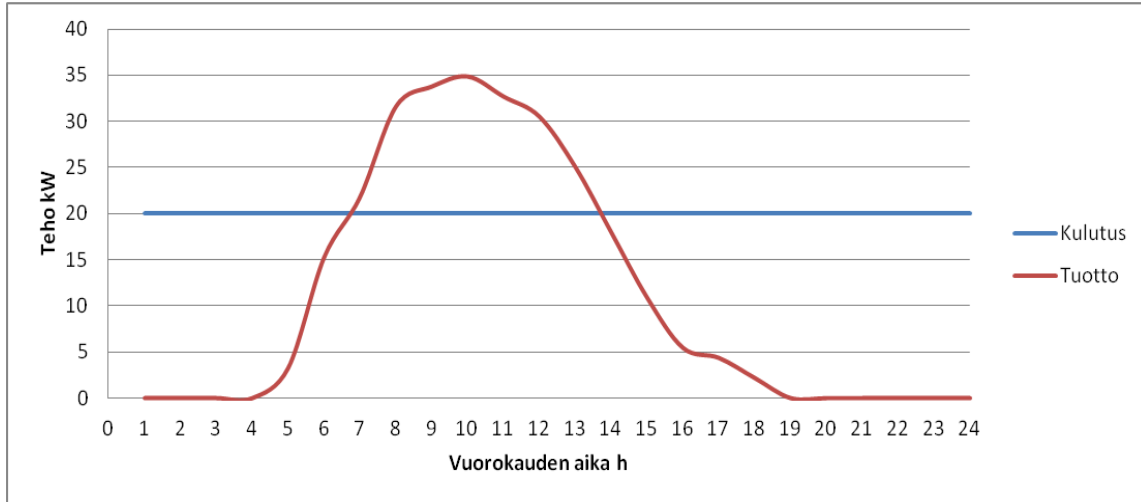
Kuvan 3 energian kulutus on arvioitu Lappeenrannassa sijaitsevien vastaavien rakennusten kulutuksen perusteella. Kuvan 3 tuotto kuvastaa vain sitä, että pääosan ajasta energiaa käytetään omaan käyttöön. Sähköä kuitenkin tuotetaan hyvin vaihtelevasti, välillä huippuarvoissa ja pilvisellä kelillä hyvin vähän. Keskiarvoinen tuotantokuvio ei siis kuvasta kuin suuntaa antavasti sitä, minkä verran sähköntuotannosta voidaan ottaa omaan käyttöön. Kuvassa 4 on esitetty samalla järjestelmällä keskimääräisen aurinkoisen päivän tuotanto.



Kuva 4. Aurinkosähkön tuotanto aurinkoisena vuoden keskivertopäivänä 50 kW:n järjestelmällä (European Commission 2014).

Aurinkoisina päivinä tuotanto nousee jatkuvan pohjakulutuksen yläpuolelle, kuten kuvasta 4 nähdään. Vaikka keskimääräinen kulutusjakauma onkin jatkuvasti suurempi kuin tuotanto, on päivän aikana hetkellisiä pieniä kulutuksia, jolloin energiaa myydään verkkoon. Näin pienitehoisella järjestelmällä tällaista tuskin kuitenkaan tapahtuu usein, koska koululaitoksen toiminta on samanlaista päivittäin ja kulutus tuskin putoaa ihan peruskulutukselle päivän aikana. Täten oletetaan, että koululaitoksella 50 kW:n voimalalla arkipäivänä tuotetusta energiasta ainakin 90 % menee omaan käyttöön.

Kouluilla on toimintaa yleisesti vain koulupäivinä, paitsi liikuntasalissa ja ehkä joissain nuorisotiloissa. Tämän takia viikonloppuisin ja muina kouluvapaina kulutus on vain pohjakulutuksen tasolla. Vuodessa on 190 koulupäivää ja loput ovat vapaapäiviä sekä viikonloppuja (Opetushallitus 2014). Vuoden päivistä 48 %:sta koululla ei ole pääasiallista toimintaa. Tämä aika painottuu vielä kesälle, jolloin aurinkoenergian tuotanto on suurimmillaan. Kuvassa 5 on esitetty aurinkoisen keskivertovapaapäivän kulutus ja tuotto.



Kuva 5. Keskvieron aurinkoisen vapaapäivän tuotto ja kulutus esimerkikohteessa (European commission 2014).

Kuvasta 5 nähdään, että aurinkoisina päivinä sähköä menee huomattavasti myyntiin. Varsinkin kesä- ja heinäkuun lomien aikana tuotanto on suurta pitkin päivää, ja kulutus pysyy minimissä. 50 kW järjestelmällä kuitenkin vuoden aikana tuotetusta sähköstä vapaapäivinäkin voidaan olettaa n. 60 % menevän omaan käyttöön näin suuressa kohteessa. Arviointi pohjautuu aurinkoenergian kesälomiin painottumiseen ja arvioon käyristä. Näillä tiedoilla saadaan laskettua prosentiosuudet omalle käytölle ja myyntisähkölle, sekä niiden kautta järjestelmän tuottaman energian rahallinen hyöty.

$$(0,52 \cdot 0,9 + 0,48 \cdot 0,6) \cdot 958\,125 \text{ kWh} \cdot 10,94 \frac{\text{snt}}{\text{kWh}} + (0,48 \cdot 0,4 + 0,52 \cdot 0,1) \cdot 958\,125 \text{ kWh} \cdot 4,37 \frac{\text{snt}}{\text{kWh}} = 89\,459 \text{ €}$$

Tällä laskennalla 24,4 % energiasta menee myyntiin ja 75,6 % omaan käyttöön. Elinkaarensa aikana järjestelmä tuottaisi voittoa n. 26 959 euroa. Tämä on alkusijoituksesta yli 43 prosenttia. Pörssissä sijoitusten keskimääräinen tuotto-odotus on n. 6 % vuodessa (Seligson & Co 2014). Vuositasolla tuotto alkuinvestoinnille tulisi olemaan reilun prosentin luokkaa, joten verrattuna keskivertoihin sijoitusmuotoihin, aurinkoenergia ei ole kannattava sijoitusmuoto. Aurinkoenergiaa ei kuitenkaan voida pitää perinteisenä sijoituksena, koska sillä säästetään rakennuksessa energiankulutuksessa ja ympäristönäkökulmana kasvihuonekaasupäästöissä. Takaisinmaksuaika lasketaan käyttäen hyväksi koko elinkaaren tuottoa jakamalla se tasavuosille. Alkuinvestointi jaetaan vuosittaisella tuotolla, josta saadaan takaisinmaksuaika. Vuosittainen tuotto on 2 982 euroa.

$$\frac{62\,500\ \text{€}}{2\,982\ \text{€/a}} = 21,0\ a$$

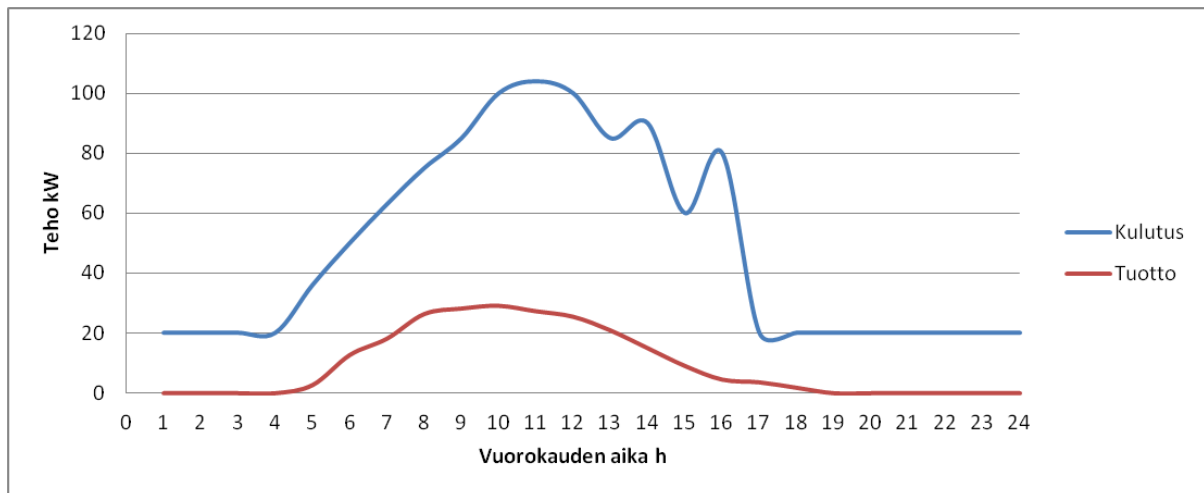
Takaisinmaksuaika 21 vuotta on pitkä, mutta rakennuksen elinkaarta ajatellen riittävän lyhyt. Rakennukset ovat pitkäikäisiä ja niiden kuluja ja tuottoja tulisikin ajatella hyvin pitkällä aikavälillä varsinkin silloin, kun mietitään saneerausratkaisuja.

4.4.3 Suuritehoinen järjestelmä sähköverolla

Viimeisenä esimerkkinä lasketaan tuotto 100 kW:n järjestelmälle, koska siinä on mukana energiaverot. Tullin mukaan sähkövero lisätään kaikkeen kuukauden aikana tuotettuun ja itse käytettyyn energiaan, jos aurinkoenergiajärjestelmä on yli 50 kW:n tehoinen ja sähköä myydään ollenkaan verkkoon. Sähköveroon kuuluu energiaverot 1,89 snt/kWh ja huoltovarmuusmaksu 0,013 snt/kWh, joista tulee yhteensä 1,903 snt/kWh. (Tulli 2014.) Esimerkkikohteessa tasakatolle asennettavan 100 kW:n järjestelmän koko elinkaaren energiantuotanto saadaan selville aiempien kohtien tapaan laskemalla.

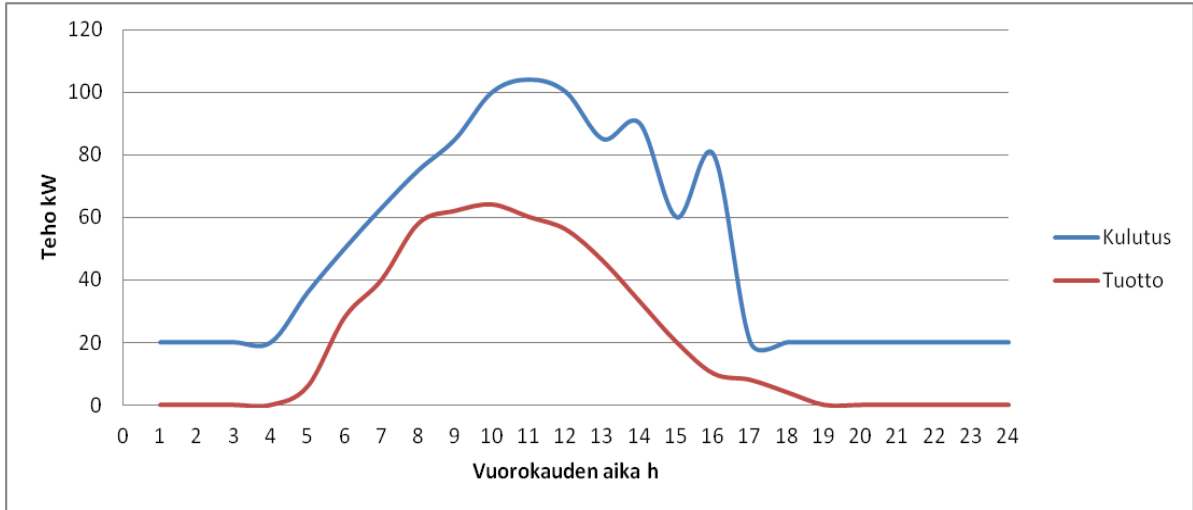
$$25 a \cdot 0,90 \cdot 85\,300 \frac{kWh}{a} + 5 a \cdot 0,75 \cdot 85\,300 \frac{kWh}{a} = 2\,239\,125 kWh$$

Rakennuksen huipputehon mukaisen 100 kW:n järjestelmän koko vuoden keskiwertopäivän mukainen kulutus jää vielä pienen näköiseksi, kuten näkyy kuvasta 6. Tuotanto kuitenkin vaihtelee aurinkoisten päivien suurista kulutuksista pilvisten päivien pieneen tuottoon, joten keskiwertoarvot eivät kerro koko totuutta.



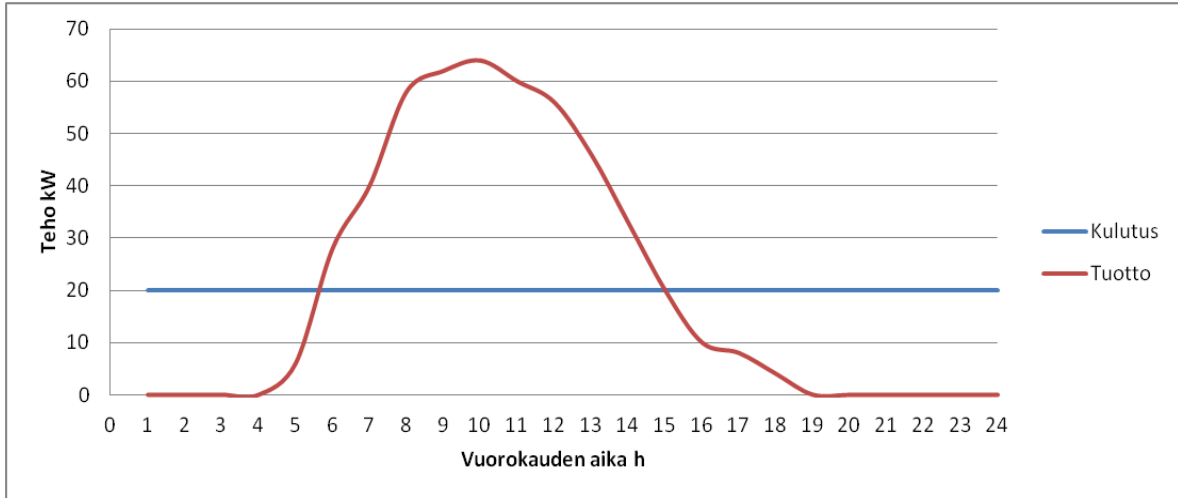
Kuva 6. Vuoden keskiwerton päivän aurinkosähkön tuotto 100 kW:n esimerkkijärjestelmällä (European commission 2014).

Keskimääräisenä aurinkoisena päivänä tuotanto nousee yli 60 kW:n, jolloin jopa puolet hetkittäisestä tuotannosta saattaa mennä myyntiin jopa normaalina koulupäivänä kulutuksen vaihteluiden vuoksi. Kuvassa 7 on hahmoteltu keskimääräisen aurinkoisen päivän tuotantoa.

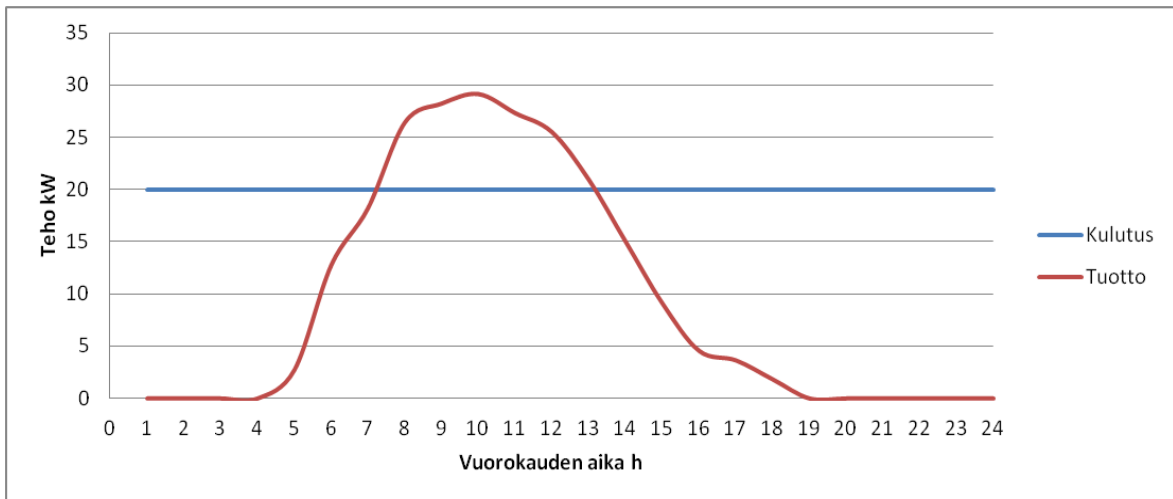


Kuva 7. Vuoden keskimääräisen aurinkoisen päivän energiantuotanto.

Kuvan 7 mukaisesti aurinkoisina päivinäkin pääosin kaikki energia tulee omaan käyttöön. Huipputehoja lähestytään ainoastaan kesäkuukausina, jolloin on mahdollisuus, että enemmänkin sähköä joudutaan myymään verkkoon. Kuvien 5 ja 6 perusteella arvioidaan, että arkipäivinä tuotetusta aurinkosähköstä 85 %:a menee omaan käyttöön. Isolla järjestelmällä aurinkosähköä menee vapaapäivinä ja viikonloppuisin paljon hukkaan. Varsinkin kesä- ja heinäkuussa, jolloin tuotetaan 30 %:a koko vuoden energiantuotosta aurinkopaneeleilla ja koululla ei ole ollenkaan tapahtumaa (European commission 2014). Kuvassa 8 on esitetty keskimääräisen aurinkoisen päivän tuotanto ja vapaapäivän kulutus. Kuvassa 9 esitetään keskimääräisen päivän aurinkosähkön tuotanto vapaapäivän kulutuksen kanssa.



Kuva 8. Keskimääräisen aurinkoisen päivän tuotto 100 kW:n esimerkkikohteella(European Commission 2014).



Kuva 9. Koko vuoden keskimääräisen päivän aurinkoenergian tuotanto 100 kW:n voimalalla suhteessa pohjakulutukseen(European Commission 2014).

Kuvien 8 ja 9 perusteella arvioidaan vapaapäivien energiantuotosta 60 % menevän myyntiin. Arviointi pohjautuu aurinkoenergian kesälomiin painottumiseen ja graafiseen arviointiin käyrien pohjalta. Koska on mahdollista, että jokaisena kuukautena aurinkosähköä menee myyntiin, voidaan olettaa jokaisessa kuussa maksettavan sähköstä energiaveroa. Näillä tiedoilla saadaan laskettua energiantuotannosta vuodessa saatavat hyödyt verrattuna sähkön ostamiseen.

$$(0,52 \cdot 0,85 + 0,48 \cdot 0,40) \cdot 2\,239\,125 \text{ kWh} \cdot \frac{(10,94 - 1,903) \text{ snt}}{\text{kWh}} \\ + (0,52 \cdot 0,15 + 0,48 \cdot 0,6) \cdot 2\,239\,125 \text{ kWh} \cdot 4,37 \frac{\text{snt}}{\text{kWh}} = 164\,103 \text{ €}$$

Tässä laskennassa energiasta 36,6 % menee myyntiin ja 63,4 % omaan käyttöön. Voittoa 30 vuodessa tulisi järjestelmästä noin 44 103 euroa. Voitto on alkuinvestoinnista 37 %:a, joka on samaa luokkaa kuin 50 kW:n voimalassakin, mutta hieman pienempi. Energiansäästö ja ympäristövaikutusten pieneneminen ovat tietenkin suuremmissa laitoksissa merkittävämmät, joten siltä kannalta suurempi aurinkosähköjärjestelmä on parempi. Tuotto vuodessa järjestelmällä on 5 470 euroa, jolla laskettuna takaisinmaksuaika järjestelmälle on 22 vuotta.

Taulukossa 12 on esitetty eri tehoisten järjestelmien takaisinmaksuajat ja elinkaaren tuottama voitto. Pienet 5 ja 10 kW:n järjestelmät ovat seinäasennuksia. Keskimmäiset 20–80 kW:n asennuksissa on käytetty esimerkkinä lappeen mukaisia asennuksia. Suurin 100 kW:n järjestelmä on tasakatolle asennettava, johon ei ole laskettu kuluihin mukaan telineitä.

Taulukko 12. Eri tehoisten ja eri maista tilattujen järjestelmien takaisinmaksuaika vuosina ja elinkaaren aikainen voitto euroina

Teho	5 kW	10 kW	20 kW	50 kW	80 kW	100 kW	150 kW
Takaisinmaksuaika	27,8 a	26,6 a	18,6 a	21 a	25,1 a	22 a	25 a
Voitto elinkaaren aikana	625,50 €	1 530,50 €	15 928 €	26 914 €	19 182 €	43 939 €	37 397 €

Takaisinmaksuajat ovat todella pitkät pienille järjestelmille. Käytetyt hinnat ovatkin aika suuria, koska ne on otettu nettikauppojen valmiista paketeista. Keskiuurten 20 ja 50 kW:n voimaloiden takaisinmaksuajat ovat lyhimpiä, koska niissä ei ole vielä energiaveroa, mutta asennushinta on kuitenkin kilowattia kohden merkittävästi pienempi kuin pienissä järjestelmissä. Kolmanneksi suurin 80 kW:n järjestelmä tippuu kannattavuudessa nykyisen lainsäädännön ja sen energiaverotuksen takia. Toiseksi suurimmassa 100 kW:n järjestelmässä suuri koko ja tuotanto auttavat vähentämään energiaveron merkitystä kannattavuudelle. Melkein voisi sanoa, että 50–80 kW:n järjestelmät ovatkin epäonnisia väliinputoajia Suomen lainsäädännössä. Suurin 150

kW:n järjestelmän takaisinmaksuaika alkaa kasvamaan ja tuotto on lähes samoissa lukemissa 100 kW:n järjestelmän kanssa. Tuotetusta sähköstä oletetaan menevän 80 kW:n järjestelmässä 30 % verkkoon ja 150 kW:n järjestelmässä 55 %.

4.5 Case - kohteeseen suositeltava järjestelmä

Jos rakennukseen tehdään pulpettikatto, jonka kaato on rakennuksen ulkokehälle päin, työn pohjalta suositellaan asentamaan 80 kW:n tehoisen järjestelmän kaakkoon suunnatulle katolle. Lappeenrannan kaupungin energiansäästö- ja ympäristötavoitteiden kannalta suurin katolle mahtuva järjestelmä on paras, koska järjestelmän tuottama sähkö olisi vielä hankintasähköä halvempaa ja ympäristövaikutukset minimoitaisiin. Järjestelmän koon ja katon pinta-alan takia järjestelmä tulee suunnitella vielä tarkemmin, jotta se varmasti mahtuu ilman suurempia varjostuksia katolle.

Tämän kokoinen järjestelmä tuottaisi vuodessa 18,6 % koko rakennuksen energiasta, joka on kokonaisuudessaan 58 500 kWh/a. Koko elinkaaren aikana tuotettu voitto, tai toisin ajateltuna säästö ostosähkökulutuksesta olisi 19 182 €. Tämä voitto tulee nousemaan, jos lainsäädännöstä jossain vaiheessa energiaveron rajaa nostetaan aurinkoenergialle 50 kW:sta reilusti ylöspäin. Investoinnin tuoma voitto kasvaa huomattavasti ja takaisinmaksuaika vähenee, jos otetaan huomioon Työ- ja elinkeinoministeriön myöntämä energiatuki, joka on 30 % investoinnista (Työ- ja elinkeinoministeriö 2014). Koko elinkaaren aikana vähennetään energiantuotannon hiilidioksidipäästöjä 307 125 kg CO₂, jos oletetaan sähköllä korvattavan keskimääräistä energiantuotantoa Suomessa, minkä päästöt ovat 200g CO₂/kWh ja järjestelmä tuottaa sähköä 1 536 MWh (Motiva 2010).

Jos rakennuksessa on tasakatto, työn pohjalta suositellaan asennettavaksi tasakatolle 41 asteen kulmalla 100 kW:n aurinkosähköjärjestelmän. Tämän kokoinen järjestelmä maksaa itsensä takaisin lähes yhtä nopeasti kuin parhaan takaisinmaksuajan järjestelmät ja on samalla suuri apu

kaupungin energiavoitteisiin pääsemisessä. Suurempien järjestelmien kannattavuus tippuu, jos suurempi osa energiasta joudutaan myymään verkkoon. Varjostuksien takia järjestelmän sijoittelu katoille tulisi suunnitella ja mallintaa tarkemmin.

Tämän kokoinen järjestelmä tuottaisi vuodessa 27,0 % koko rakennuksen energiasta, joka on kokonaisuudessaan 85 300 kWh/a. Koko elinkaaren aikana tuottama voitto, tai toisin ajateltuna säästö ostosähkökulutuksesta olisi 43 939 €. Tämä voitto tulee nousemaan, jos lainsäädännöstä jossain vaiheessa energiaveron rajaa nostetaan aurinkoenergialle 50 kW:sta paljon suuremmaksi. Samoin kuin pulpettikaton tapauksessa, Työ- ja elinkeinoministeriön tuki nostaisi hankkeen kannattavuutta reilusti (Työ- ja elinkeinoministeriö 2014). Koko elinkaaren aikana vähennetään energiantuotannon hiilidioksidipäästöjä 447 825 kg CO₂, jos oletetaan sähköllä korvattavan keskimääräistä energiantuotantoa Suomessa, jonka päästöt ovat 200g CO₂/kWh ja järjestelmä tuottaa sähköä 2 239 MWh (Motiva 2010).

5 ENERGIANSÄÄSTÖPOTENTIAALI JULKISTEN RAKENNUSTEN YHTEYDESSÄ

Lappeenrannan kaupungin julkisten rakennusten aurinkosähköpotentiaali lasketaan rakennuksille, joihin voidaan tehdä investointeja. Näille rakennuksille lasketaan teoreettinen maksimi aurinkosähkön tuotannon kannalta, sekä myös talouskohtaisesti ja taloudellisesti järkevä vaihtoehto, jossa pyritään huomioimaan rakennusyksikkökokonaisuudet ja niiden energiantarve vuorokauden ja vuoden aikana.

5.1 Laskenta aiempien tutkimusten perusteella

Ensimmäisellä menetelmällä lasketaan aurinkosähköpotentiaali täysin perustuen yleistyksiin ja rakennusten käyttötarkoituksen mukaan annettuihin pinta-alan potentiaaleihin. Laskenta perustuu Aki Pesolan ja hänen ryhmänsä tekemässä tutkimuksessa käytettyihin oletuksiin. Oletuksiin sisältyy taulukon 13 mukaisesti keskimääräiset kerrosmäärät rakennuksille ja pohjapinta-alasta aurinkoenergiakäyttöön soveltuva pinta-ala. (Pesola et al. 2012, 10.)

Taulukko 13. Rakennustyyppien keskiarvoiset kerrosmäärät ja yleisesti käytettävissä oleva kattopinta-ala pohjapinta-alasta (Pesola et al. 2012).

Rakennustyyppi	Kerrosten lukumäärä keskimäärin	Käyttökelpoisen kattopinta-alan osuus pohjapinta-alasta
Erilliset pientalot	1,2	25 %
Rivi- ja ketjutalot	1,2	25 %
Asuinkerrostalot	4	25 %
Liikerakennukset	2	50 %
Toimistorakennukset	4	50 %
Liikenteen rakennukset	1,5	50 %
Hoitoalan rakennukset	3	50 %
Kokoontumisrakennukset	1,5	10 %
Opetusrakennukset	2	50 %
Teollisuusrakennukset	1,5	50 %
Varastorakennukset	1,2	25 %
Muut rakennukset	2	10 %

Sovelletaan taulukon 13 tietoja aiemmin taulukoituihin Lappeenrannan kaupungin rakennuksiin. Lasketaan niiden avulla ensin kokonaismäärä pohjapinta-alalle kerrospinta-alasta, sen jälkeen aurinkoenergiaan soveltuva kattopinta-ala ja tästä vielä asennettavan aurinkoenergian teho ja vuosittainen tuotto. Tulokset on esitetty taulukossa 14.

Taulukko 14. A ja B salkkujen rakennuksien aurinkoenergian hyödyntämiseen teoreettisesti sopiva pinta-ala.

A ja B rakennukset					
Rakennustyyppi	Kerros- pinta-ala [m ²]	Kerrosten lukumäärä	Katto- pinta-ala [m ²]	Käyttökelpoi- nen katto- pinta-ala poh- japinta-alasta [%]	Käyttökelpoi- nen kattopinta- ala pohja- pinta- alasta [m ²]
Koulut ja opistot	89 212	2	44 606	50 %	22 303
Terveys- ja huoltopalvelut, pa- loasemat	25 973	3	8 658	50 %	4 329
Kimpinen, uimahallit ja jäähalli	22 071	1,5	14 714	50 %	7 357
Hallinnolliset rak.	10 775	4	2 694	50 %	1 347
Päiväkodit	10 359	2	5 180	50 %	2 590
Maakuntakirjasto	3 813	4	953	50 %	477
Museorakennukset	660	1,5	440	10 %	44
Tasihinin Asuin- ja liikeraken- nus	522	2	261	25 %	65
Hyrymäen laitesuoja	388	1	388	50 %	194
Satamapaviljonki	318	1	318	25 %	80
Liikennepuiston huoltorak.	45	1	45	25 %	11
Yhteensä	164 136		78 256		38 796

Taulukosta 14 voidaan laskea kokonaispinta-alaksi, jolla voidaan hyödyntää aurinkoenergiaa, 38 796 m². Jos tämä pinta-ala saadaan valjastettua n. 90 % aurinkosähköpaneelilla ja niiden hyötysuhde on oletettu 13 %:iin, saadaan asennustehoksi 4 539 kW. Suomessa vuoden aikana keskimääräinen auringonsäteilyteho päivää kohden optimaalisessa kulmassa on 3 030 Wh/m²/d (European Commission 2014). Tällä laskettuna saadaan hyödynnettävästä pinta-alasta vuoden aikana sähköä 5 577 836,8 kWh, kun hyötysuhteeksi oletetaan 13 % ja oletetaan kaikkien asennusten olevan etelän suuntaisia. A ja B rakennussalkkujen rakennuksiin asennettava aurinkosähkö voisi mahdollisesti siis tuottaa 5 578 MWh sähköä vuodessa tämän arvion mukaan, millä vähennettäisiin hiilidioksidipäästöjä 1 115 600 kg CO₂/a (Motiva 2010).

Motivan mukaan kaikkien eri rakennustyyppien energiankulutuksien mediaanien keskiarvo on 24,5 kWh/m³ (Motiva 2014). Jos kaikkien näiden rakennusten oletettaisiin kuluttavan keskivertorakennuksen verran sähköä, kuluttaisivat rakennukset vuodessa noin 12 064 MWh sähköä. Aurinkoenergialla pystyttäisiin korvaamaan tästä sähköntarpeesta melkein 50 %. Tämä aurinkoenergian tuotanto olisi Lappeenrannan kaupungin energiansäästötavoitteesta 36,0 %. Investoinnin hinnaksi tulisi 5 446 800 – 6 808 500 euroa, jos asennuksien hinta olisi 1200 – 1500 euroa kilovattia kohden. Uusiutuvien energioiden investointituella investoinnin hinta laskee 30 %, jolloin investointi olisi enää 3 812 760 – 4 765 950 euroa (Työ- ja elinkeinoministeriö 2014). Jos lasketaan case - kohteen voitto-odotuksilla, tuottaisivat järjestelmät 30 vuodessa voittoa 2 015 316 – 2 859 570 euroa. Investointituen kanssa voitot nousisivat jopa 3 649 356 – 4 902 120 euroon, joka olisi jo alkuinvestoinnin luokkaa.

5.2 Rakennusyksiköiden mukainen aurinkosähköpotentiaali

Aiemmin taulukossa 4 jaoteltiin A ja B salkkujen rakennuksia tiettyihin ryhmiin ja ryhmissä ilmoitettiin rakennusten määrä. Kuitenkin joissain rakennuksissa, esimerkiksi kouluissa, on useita piharakennuksia ja varastoja, jotka näkyvät useana rakennuksena. Erillisiä kouluja ja koulukeskuksia A ja B salkuista on Lappeenrannan alueella vain 26, vaikka rakennuksia onkin 48. Päiväkoteja on 13 eri yksikköä, kun rakennuksia on 14. Erilaisia terveys- ja hoitolaitoksia sekä palolaitoksia on 6 eri yksikköä, kun rakennuksia on 14. Urheilukategoriassa on 5 eri kohdetta, joissa rakennuksia yhteensä 9. Loput ovatkin kaikki erillisiä rakennuksia. Rakennuskannan jakaminen yksiköihin on järkevää, koska ei voida olettaa, että jokaisen varastokopin ja pyörätelineen päälle asennetaan aurinkosähköä. Todennäköisempi skenaario on, että isoimpiin rakennuksiin asennetaan jonkin verran aurinkosähköä. Tässä kappaleessa pyritään laskemaan realistisiin sijoituksiin perustuvaa aurinkosähköpotentiaalia.

Kohteissa aurinkoenergiajärjestelmien mitoittaminen tulisi tehdä kohdekohtaisesti simuloiden tarkemmin kuin mitä tässä tutkimuksessa on tehty. Kuitenkin tämän tutkimuksen casen pohjalta

voidaan tehdä oletus, jonka mukaan ainakin rakennusten huipputehon mukainen järjestelmä on järkevä kohteissa, joissa on vakiintunutta energian kulutusta. Tämän perusteella arvioidaan eri laitosten mahdollisten järkevien aurinkoenergiajärjestelmien kokoja.

Kouluja on siis 26 erillistä laitosta, joista pienimmälläkin on kerrospinta-alaa yli 300 m². Pienimpäänkin kouluun pystyisi asentamaan ainakin 30 kW aurinkosähköä pinta-alan puolesta. Näin pienet rakennukset eivät kuitenkaan kuluta välttämättä huipputeholtaan näin paljoa. Alle 1000 m² kerrospinta-alan rakennuksiin voisi olla järkevää asentaa vain 5-20 kW aurinkosähköä. 1000–2000 m² kerrospinta-alan rakennuksiin asennettaisiin 20–40 kW järjestelmiä, 2000-3000 m² rakennuksiin 30-50 kW, 3000-5000 m² rakennuksiin 30-70 kW järjestelmiä ja yli 5000 m² rakennuksiin 100 kW:n järjestelmiä. Nämä ovat vain karkeita arvioita suhteuttaen tehon tarvetta rakennusten kerrospinta-alaan ja muiden Lappeenrannan koulujen energiankulutukseen. Taloudellisen kannattavuuden oletetaan olevan vastaavaa case - kohteeseen. Rakennusten kattopinta-alasta ja energiankulutuksesta riippuu, millaiset järjestelmät todellisuudessa ovat järkeviä. Samaa mitoitusperiaatetta sovelletaan kaikkien rakennustyyppien kohdalla. Paras ratkaisu olisi selvittää kaikkien rakennusten tuntikohtainen tehonkulutus ja mitoittaa järjestelmät sen mukaan simuloimalla.

Taulukkoon 15 on koottu eri koulu- ja päiväkotikompleksit ja ehdotettu niille keskimääräistä asennustehoa perustuen niiden pinta-alaan ja sen suhteeseen case - kohteen pinta-alaan. Suurin osa pienimmistä rakennuksista on päiväkoteja. Isommat rakennukset ovat suuria koulutuskeskuksia, joiden sähkönkulutus todennäköisesti on jopa yli 100 kW:n huipputehoista.

Taulukko 15. Koulujen ja päiväkotien asennusteho käyttämällä tutkimuksessa arvioituja asennustehoja rakennuksille

Koulut ja päiväkodit			
Rakennusten kerrospinta-ala [m ²]	Lukumäärä	Asennettava teho [kW]	Teho yhteensä [kW]
Alle 1000 m ²	11	10	110
1000-2000 m ²	9	30	270
2000-3000 m ²	5	40	200
3000-5000 m ²	8	55	440
5000- m ²	6	100	600
Yhteensä	39		1620

Taulukon 15 perusteella kouluissa ja päiväkodeissa on potentiaalia 1 620 kW:n aurinkosähköpaneelien asennuksiin. Taulukossa 16 on esitetty terveys-, huolto- ja pelastuslaitokset samalla tavalla kokoluokkiin ja asennustehosuosituksiin. Suurin taulukon 15 rakennuksista on pohjapinta-alaltaan yli 15 000 m², joten sille on annettu suositukseksi 200 kW.

Taulukko 16. Terveys-, hoito- ja pelastuslaitosten jakaminen eri kokoluokan rakennuksiin ja asennustehon suositukset

Terveys-, hoito- ja pelastuslaitokset			
Rakennusten kerrospinta-ala [m ²]	Lukumäärä	Asennettava teho [kW]	Teho yhteensä [kW]
Alle 1000 m ²	1	10	10
1000-2000 m ²	3	30	90
2000-3000 m ²	-	-	-
3000-5000 m ²	1	55	55
5000- m ²	1	200	200
Yhteensä	6		355

Taulukon 16 perusteella sairaanhoitorakennuksissa on potentiaalia 355 kW:n verran, joka on aika vähän. Terveyspalvelujen rakennuksia on vähän, mutta kulutus on oletettavasti suurta, joten aurinkosähköä voisi mahdollisuuksien mukaan asentaa laskettua potentiaalia enemmän. Taulukossa 17 on esitetty hallinnollisten rakennusten ja A sekä B salkkujen muiden rakennusten jakaminen kokoluokkiin ja niille asennustehosuositusten esittäminen. Hallinnollisissa rakennuksissa on kaupungintalo ja monitoimitalo, sekä lisäksi on laskettu mukaan kaupungintalon edusta, joka nyt lasketaan osaksi kaupungintaloa.

Taulukko 17. Kaupungintalo, monitoimitalo ja pienet sekalaiset rakennukset jaoteltuna ja asennustehosuosituksilla.

Hallinnolliset- ja sekalaiset rakennukset			
Rakennusten kerrospinta-ala [m ²]	Lukumäärä	Asennettava teho [kW]	Teho yhteensä [kW]
Alle 1000 m ²	8	10	80
1000-2000 m ²	1	30	30
2000-3000 m ²	-	-	-
3000-5000 m ²	-	-	-
5000- m ²	1	100	100
Yhteensä	10		210

Taulukon 17 suurin rakennus on kunnantalo, jonka kerrospinta-ala on yli 10 000 m². Taulukoista 14–16 voidaan laskea kaikkien A ja B salkkujen rakennusten kokonaispotentiaaliksi case -kohteen tehosuosituksia mukaillen 2 185 kW, joka on 48 %:a toisella menetelmällä lasketusta kaikki kattopinnat hyväksikäyttävästä aurinkosähköpotentiaalista. Tällä asennusteholla tuotettaisiin vuodessa n. 2 685 MWh sähköä. Tässä laskettu asennusteho on vain arvio, joka perustuu eräänlaisen rakennustyyppin sähkönkulutukseen. Todennäköisesti tämä asennusteho tulisi olemaan vielä suurempi, koska case -kohteessa toiminta on kausittaista ja energiankulutus keskimääräistä rakennustyyppiä pienempää (Motiva 2014).

Tässä lasketun 2 185 kW:n aurinkosähkön asentaminen tulisi arviolta maksamaan noin 2 622 000 – 3 277 500 euroa, jos aurinkosähköjärjestelmien hinta olisi 1200–1500 €/kW. 30 vuodessa saatava taloudellinen hyöty tästä asennetusta aurinkosähköstä olisi case kohteen energian omakäytön ja myyntisähkön suhteella laskettuna noin 970 140 – 1 638 750 euroa. Jos tähän lasketaan vielä mukaan Työ- ja elinkeinoministeriön myöntämä 30 % energiatuki, niin elinkaaren aikana tuotettu voitto tulisi olemaan 1 756 740 – 2 622 000 euroa (Työ- ja elinkeinoministeriö 2014). Sähköä tuotettaisiin vuodessa 2 685 MWh, jolla vältettäisiin energiantuotannon hiilidioksidipäästöjä 537 000 kg vuosittain. Energiansäästö olisi Lappeenrannan kaupungin energiansäästötavoitteesta 17,3 %.

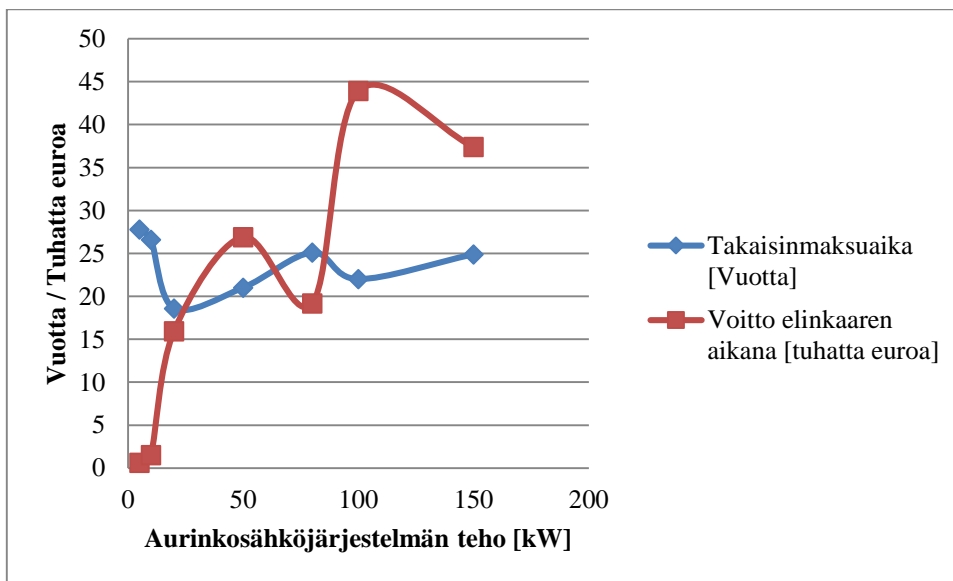
6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimusten perusteella aurinkosähkön tuottaminen on kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisen näkökulmasta hyödyllistä. Aurinkosähköllä tuotetun energian energiayksikköä kohden tuotamat kasvihuonekaasupäästöt ovat alle kymmenesosan kivihieillä tuotetusta energiasta (International energy agency 2005, 31) ja Suomen keskimääräisen energiantuotannon kasvihuonekaasupäästöistäkin alle neljäsosan (Motiva 2010 ja Fthenakis et al. 2011). Näiden tutkimusten perusteella aurinkosähköjärjestelmiä voidaan suositella energiantuotannon ympäristövaikutusten pienentämiseksi.

Case - kohteen sähkönkulutus on hyvin jaksottaista ja aktiivisia päiviä on vain vähän yli puolet vuodesta. Aurinkosähkön tuotannon kannalta varsinkin kesäloman aikainen rakennuksen käyttämättömyys heikentää sijoituksen kannattavuutta, koska kesäisin saadaan suurin osa aurinkoenergiasta. Toimisto- ja liikerakennuksiin verrattuna koulu on vähemmän kannattava kohde sijoittaa aurinkosähköä kausittaisuutensa takia. Kaikesta tästä huolimatta case - kohteessa suurikin aurinkosähköjärjestelmät maksavat tämän tutkimuksen mukaan itsensä takaisin, vaikka laskuissa ei ole huomioitu investointitukea ja PVGIS-järjestelmä antoi Lappeenrantaan systemaattisesti liian pieniä tuotantolukuja. Takaisinmaksuajat ja odotettu voitto tuhansissa euroissa on esitetty kuvassa 10 taulukon 12 mukaisesti. Kuvasta nähdään miten energiavero vaikuttaa tuotettuun voittoon ja takaisinmaksuaikaan 50 kW:n jälkeen. Case - kohteessa kannattavuus alkaa laskea myös rakennuksen huipputehon 100 kW:n jälkeen, vaikkakin hitaasti. Tämän tutkimuksen mukaan lyhyin takaisinmaksuaika löytyy 20 kW:n tehon kohdalta, jolla saadaan kaikki tuotanto omaan käyttöön. Tärkeää on huomata, että kaikki kuvan asteikolla esitetyt järjestelmät maksavat itsensä elinkaarensa aikana takaisin ja tuottavat ainakin hieman voittoa.

Takaisinmaksuaika vaihtelee 18 ja 25 vuoden välillä, jotka kuitenkin vähenevät melkein kolmasosalla 30 %:in investointituen myötä (Työ- ja elinkeinoministeriö 2014). Ehdotetulla 100

kilowatin asennusteholla ilman investointitukea järjestelmä maksaa itsensä takaisin n. 22 vuodessa ja tuottaa voittoa 43 939 euroa elinkaarensa aikana. Investointituen kanssa takaisinmaksuaika olisi 16 vuotta ja tuotettu voitto elinkaaren aikana 79 939 euroa. Case - kohteeseen ehdotetaan case – kohteen talouslaskelmien ja ympäristönäkökulmien perusteella pulpettikatolle 80 kW:n asennustehoa ja tasakatolle 100 kW:n asennustehoa. Vaikka 80 kW:n järjestelmä jää energiaveron takia taloudellisesti alakanttiin, maksaa se itsensä kuitenkin takaisin ja positiiviset ympäristövaikutukset sekä energiansäästö ovat suurempia. Näiden tulosten perusteella aurinkosähkön asentaminen maksaa itsensä takaisin case - kohteeseen esitetyillä tehoilla takaisin ja tuottaa voittoa.



Kuva 10. Takaisinmaksuaika ja elinkaaren aikana tuotettu voitto asennustehon suhteen tämän tutkimuksen case -kohteessa huomioimatta 30 % investointitukea. Rakennuksen tehon pohjakuorma oletetaan olevan 20 kW ja huipputeho 100 kW.

Pesolan et al. (2012) laskentamenetelmää avuksi käyttäen Lappeenrannan julkisissa rakennuksissa on 4,5 MW:n asennustehon edestä aurinkosähköpotentiaalia, jos kaikki käytettävissä oleva kattopinta-ala otettaisiin käyttöön. Tällä teholla aurinkosähköä voitaisiin vuodessa saada n. 5 578 MWh, joka on 36 % Lappeenrannan kaupungin vuoteen 2016 asetetusta energiansäästöavoitteesta. Tällä tavalla tuotettu aurinkosähkö korvaisi myös 50 % julkisen

rakennuskannan energiantarpeesta. Todellinen vuosittainen energiantuotanto tulisi olemaan tätä pienempää, koska oletuksena on asennuksien eteläsuuntaus optimaalisella kulmalla. Kaiken mahdollisen potentiaalin täyttäminen aurinkosähköllä ei välttämättä olisi enää taloudellisesti kannattavaa. Tutkimuksessa onkin laskettu case - kohteen laskennan tuloksien perusteella taloudellisesti kannattavimman asennustehon Lappeenrannan julkisiin rakennuksiin. Molempien laskentamenetelmien tulokset on esitetty taulukossa 19.

Taulukko 19. Lappeenrannan julkisten rakennusten A ja B salkkujen kiinteistöjen aurinkosähköpotentiaali.

	Kaikki po- tentiaali	Kaikki potentiaali inves- tointituella	Taloudellisesti kan- nattavin potentiaali	Taloudellisesti kannattavin po- tentiaali inves- tointituella
Investointi [eu- roa]	5 446 800 - 6 808 500	3 812 760 -4 765 950	2 622 000 - 3 277 500	1 835 000 – 2 294 000
Tuotettu voitto elinkaaren ai- kana [euroa]	2 015 316 - 2 859 570	3 649 356 - 4 902 120	970 140 - 1 409 325	1 756 000 – 2 622 000
Aurinkosähkön asennusteho [kW]	4 539	4 539	2 185	2 185
Vuodessa tuo- tettu energia [MWh]	5 578	5 578	2 685	2 685
Vuodessa väl- tetyt CO2- päästöt [kg- CO2]	1 115 600	1 115 600	537 000	537 000

Taulukosta 22 nähdään, että tämän tutkimuksen rajauksien aiheuttamista epävarmuuksista huo- limatta laajamittainen aurinkosähköprojekti tulisi maksamaan itsensä takaisin ja tuottamaan voittoa. Aurinkosähköllä on myös merkittävä potentiaali Lappeenrannan kaupungin julkisissa rakennuksissa. Suuremman arvion mukainen asennusteho olisi 45 % suomen tämänhetkisestä aurinkoenergian määrästä ja pienemmän arvion mukainen 21 % (Fortum 2014), joten kansalli- ssa mittakaavassa liikutaan todella merkittävässä luvuissa. Pienemmäksi arvioitu potentiaali

on laskettu taloudellisesti kannattavimmaksi, mutta paljon suuremmatkin järjestelmät maksaisivat vielä itsensä takaisin.

Aurinkosähkö on hyvä tapa tuoda vihreää imagoa kaupungille, koska toisin kuin muunlainen markkinointi, se maksaa itsensä jo energiansäästöllä takaisin ja tuottaa lisäksi voittoa. Vaikka tämän tutkimuksen oletuksista poiketen lainan korko ja sähkön hinnan nousu eivät kumoaisi toisiaan, tuo investointituki niin merkittävän edun, että se kattaa reilusti lainan kulut. Aurinkosähkö olisi siis taloudellisesti vähintäänkin itsensä takaisin maksava tapa vähentää kaupungin ympäristövaikutuksia ja lisätä panostusta uusiutuviin energioihin sekä uuteen tekniikkaan. Kaupungin ympäristötavoitteiden ja aurinkosähkön taloudellisten näkökulmien kannalta voisi olla järkevää teettää tarkemmat kohdekohtaiset suunnitelmat aurinkosähköjärjestelmien osalta ja sijoittaa aurinkosähköön.

7 YHTEENVETO

Aurinkosähköä tuotetaan piikiteistä koostuvilla aurinkopaneeleilla, joita on nykyisin useisiin erilaisiin tekniikkoihin perustuvia. Aurinkopaneeleita voidaan asentaa rakennusten katoille ja julkisivuille aurinkosähkön tuotantoa varten. Aurinkosähköä voidaan syöttää sähköverkkoon, jos aurinkosähköjärjestelmään hankintaan kolmivaiheinvertteri, jolla sähkövirran taajuus ja jännite saadaan verkon tasolle. (Boxwell 2010, 50-60). Aurinkoenergia on kasvihuonekaasujen näkökulmasta ympäristöystävällisempää energian tuotantoa kuin perinteiset fossiilisiin polttoaineisiin perustuvat energiantuotantomuodot (Fthenakis et al. 2011, 9).

Aurinkopaneelien asentaminen on suomessa osittain luvanvaraista. Lappeenrannan kaupungin alueella alle 5 m² suuruisen aurinkolämpökeräimen tai aurinkopaneelin asentaminen ei vaadi minkäänlaista lupaa tai ilmoitusta, jos paneeli tai keräin on asennettu katon lappeen suuntaisesti. Suuremmat asennukset katon lappeen suuntaisesti vaativat toimenpideilmoituksen ja kaikki julkisivuille tehtävät asennukset vaativat toimenpideluvan kaupungin rakennusvalvonnasta. Maa-seutualueilla katon myötäiset isotkaan järjestelmät eivät vaadi ilmoituksia tai lupia ja julkisivun asennukset tapauskohtaisesti, joten voi olla parempi kysyä asiasta tarkemmin rakennusvalvonnasta. (Lappeenrannan kaupunki 2011, 4). Aurinkosähköjärjestelmän kytkeminen verkkoon vaatii vielä luvan sähköverkon haltijalta Lappeenrannan energiaverkot oy:ltä sekä solmia sopimus sähkön pientuotannosta ja sen myynnistä (Lappeenrannan energiaverkot oy 2014).

Lappeenrannan kaupungin hallinnon alaisina on 763 julkista rakennusta tutkimuksen aloituksen aikaan. Rakennukset on jaoteltu kiinteistösalkkuihin niiden tärkeyden ja investointimahdollisuuksien mukaan (Lappeenrannan kaupunginhallitus 2014). Tässä tutkimuksessa keskitytään salkkuihin A ja B, joiden kiinteistöihin voidaan tehdä investointeja muutenkin, kuin välttämättömiin korjauksiin ja investointeja varten voidaan ottaa lainaa. A ja B salkuissa on rakennuksia

yhteensä 97. Rakennuksista suurin osa on kouluja ja päiväkoteja, minkä takia case - kohteeksi valittiin rakenteilla oleva Pontuksen koulu ja päiväkot.

Pontuksen yhdistetyn koulun ja päiväkodin kerrospinta-ala on 7 260,6 m² ja kolmen metrin kerroskorkeudella huonetilavuudeksi arvioidaan noin 21 781,8 m³. Kattopinta-alaa arvioidaan rakennuksella olevan 4 016 m² mittaamalla alustavista rakennuksen suunnitelmista. (Lappeenrannan kaupunki 2014.) Vastaavankokoisten koulurakennusten päiväkohtainen tehonkulutuksen vaihtelu on 20 kW:sta 100 kW:iin. Tätä tietoa on käytetty hahmottamaan päivittäinen kulutusikäyrä koululle, jota on verrattu aurinkoenergian tuottokäyriin. Tuloksena saatiin kannattavimmiksi vaihtoehtoiksi alkuinvestointiin verrattuna joko 20 kW:n tai 100 kW:n asennustehoiset aurinkosähköjärjestelmät, joista suosittiin suurempaa järjestelmää suurempien ympäristövaikutusten takia. Takaisinmaksuajat olisivat ilman investointitukea 18–22 vuotta, mutta investointituen kanssa merkittävästi lyhemmät. Takaisinmaksun jälkeen aurinkosähköjärjestelmät tuottaisivat voittoa 30 vuoden elinkaarensa loppuun.

Lappeenrannan julkisten rakennusten A ja B salkkujen rakennuksissa on kerrospinta-alaa yhteensä 164 136 neliometriä. Pesolan tutkimuksen arvoja käyttämällä tästä saadaan aurinkosähkölle sopivaksi kattopinta-alaksi 38 796 neliometriä, joka vastaisi noin 4 539 kW:n asennustehoa 13 % kokonaishyötysuhteella. Tällaisen potentiaalinen asentaminen tulisi maksamaan 5-7 miljoonaa euroa ja sillä tuotettaisiin sähköä 5 578 MWh vuodessa. Elinkaarensa aikana järjestelmät maksaisivat todennäköisesti itsensä takaisin ja tuottaisivat säästöillä miljoonia euroja. Hiilidioksidipäästöjä vältettäisiin 1 115 tonnia CO₂-ekvivalenttia vuodessa.

Pontuksen koulun pinta-alan ja kohteessa taloudellisesti järkevän 100 kW:n asennustehon suhteen mukaan voidaan laskea jokaiselle A ja B salkun rakennukselle erikseen aurinkosähköpo-

tentiaali. Tällä menetelmällä saatiin asennuspotentiaaliksi 2 185 kW:a. Tämän tehon edestä aurinkopaneeleja asennettaessa investointikustannukseksi tulisi noin 2,6 – 3,3 miljoonaa euroa. Sähköä tuotettaisiin 2 685 MWh vuosittain ja hiilidioksidiekvivalenttipäästöjä vältettäisiin noin 537 000 kilogrammaa vuosittain.

Suuremmalla asennusteholla katettaisiin jo yksinään 36 % Lappeenrannan kaupungin vuoteen 2016 asetetusta energiansäästöavoitteesta. Tämä asennusteho olisi myös 45 % koko Suomen tämänhetkisestä asennetusta aurinkosähköstä. Myös pienempi arvioitu potentiaali olisi 21 % Suomen tämänhetkisestä asennetusta tehosta. Aurinkosähkön panostamisella voisi olla hyvä vihreää imagoa nostava vaikutus Lappeenrannan kaupungille.

LÄHTEET

- Etelä-Karjalan Energianeuvonta (ENNE). 2014. Esimerkkikohteet. [Internet-sivusto]. [Viitattu 10.6.2014]. Saatavilla: <http://www.enne.fi/fi/esimerkkikohteet>
- European Commission. 2014. Photovoltaic Geographical Information System. [Internet-sivusto]. [Viitattu 10.6.2014]. Saatavilla: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>
- Enfsolar. 2014. Solar panel directory: TW-TF 118-140. [Internet-sivusto]. [Viitattu: 20.7.2014]. Saatavilla: <http://www.enfsolar.com/pv/panel-datasheet/Thin-film/395>
- Energy Informative. 2014. What Are the Most Efficient Solar Panels? Comparison of Mono-, Polycrystalline and Thin Film. [Internet-sivusto]. [Viitattu 20.7.2014]. Saatavilla: <http://energyinformative.org/most-efficient-solar-panels-monocrystalline-polycrystalline-thin-film/>
- Fortum. 2014. Tietoa aurinkosähköstä. [Verkkosivusto]. [Viitattu: 24.9.2014]. Saatavilla: www.fortum.com/countries/fi/yksityisasiakkaat/energiansaasto/aurinkoenergiaratkaisut/aurinkopaneeli/info/pages/default.aspx
- V. Fthenakis, H. C. Kim, R. Frischknecht, M. Raugei, P. Sinha, M. Stucki. 2011. Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessment of Photovoltaic Systems. International Energy Agency(IEA). [PDF-dokumentti]. [Viitattu: 16.7.2014]. Saatavilla: www.clca.columbia.edu/Task12_LVI_LCA_10_21_Final_Report.pdf 59 sivua.
- International Energy Agency. 2005. Reducing Greenhouse Gas Emissions. The potential of Coal. [PDF-dokumentti]. [Viitattu 5.7.2014]. Saatavilla: <https://www.iea.org/ciab/papers/ciab.pdf>
- Johnston, W.D. JR. 1980. Solar Voltaic Cells. Electronic Research Laboratory. Bell Telephone Laboratories Inc. ISBN: 0-8247-6992-9
- Lappeenrannan energia oy. 2014a. Sähkön ostohinnasto. [PDF-tiedosto]. [Viitattu 28.6.2014]. Saatavilla: <http://www.lappeenrannanenergia.fi/palvelut/LRE%20tiedostot/Hinnastot/1407-LRE-sahkon-ostohinnasto-pien-WEB.pdf>

Lappeenrannan energia oy. 2014b. Sähköhinnasto. [Verkkosivusto]. [Viitattu 28.6.2014]. Saatavilla: <http://www.lappeenrannanenergia.fi/tuotteet/hinnastot%20ja%20ehdot/sahkohinnasto/Sivut/default.aspx>

Lappeenrannan energiaverkot oy. 2014. Sähköntuotannon liittymisehdot. [PDF-dokumentti]. [Viitattu 29.7.2014]. Saatavilla: <http://www.lappeenrannanenergia.fi/palvelut/LRE%20tiedostot/Ehdot/1401-LEV-sahkontuotannon-liittymisehdot-web.pdf>

Lappeenrannan kaupunki. 2014a. Sähköposti rakennusvalvojan kanssa.

Lappeenrannan kaupunki. 2014b. Kiinteistöt Työpohja 2014. [Excel-tilukko]. Saatu Lappeenrannan kiinteistötoimelta pyynnöstä.

Lappeenrannan kaupunki. 2014c. Alustava suunnitelma pontuksen koulusta. [DWG-tiedosto]. Saatu Lappeenrannan kiinteistötoimelta pyynnöstä.

Lappeenrannan kaupunki. 2014d. Rakennusten energiankulutustietoja. Sähköpostin vaihto teknisen lautakunnan kanssa.

Lappeenrannan kaupunki. 2011. Rakennusjärjestys. [PDF-dokumentti]. [Viitattu 29.7.2014]. Saatavilla: <http://www.lappeenranta.fi/loader.aspx?id=58cfdfed-c960-47fa-a89e-de44ee3f3b08>

Lappeenrannan kaupunki. 2009. Ilmasto-ohjelma. [PDF-dokumentti]. [Viitattu 2.6.2014]. Saatavilla: <http://www.lappeenranta.fi/loader.aspx?id=e5aee683-a4aa-4a07-87aa-7db77bfe0379>

Lappeenrannan opiskelija-asuntosäätiö (LOAS). 2013. Aurinkosähkö ja LOASin Seppo. [Verkkosivusto]. [Viitattu 10.6.2014]. Saatavilla: <http://www.loas.fi/Kiinteasivu.asp?KiinteasivuID=469&NakymaID=11>

Lappeenrannan kaupunginhallitus. 2014. Pöytäkirja 24.02.2014 pykälä 78. [Verkkosivusto]. [Viitattu 23.6.2014]. Saatavilla: kokoushallinta.lappeenranta.fi/dynastyweb/kokous/20144364-8.HTM

Motiva. 2014. Palvelusektorin ominaiskulutuksia. [Verkkosivusto]. [Viitattu 28.6.2014]. Saatavilla: http://www.motiva.fi/toimialueet/energiakatselmustoiminta/tem_n_tukemat_energiakatselmukset/tilastotietoa_katselmuksista/palvelusektorin_ominaiskulutuksia

Motiva. 2010. Polttoaineiden lämpöarvot, hyötysuhteet ja hiilidioksidin ominaispäästökertoimet sekä energian hinnat. [PDF-dokumentti]. [Viitattu 16.9.2014]. Saatavilla: http://www.motiva.fi/files/3193/Polttoaineiden_lampoarvot_hyotysuhteet_ja_hiilidioksidin_ominaispaastokertoimet_seka_energianhinnat_19042010.pdf

Opetushallitus. 2014. Työajat ja toimintakulttuuri. [Verkkosivusto]. [Viitattu 16.9.2014]. Saatavilla: http://www.oph.fi/koulutus_ja_tutkinnot/perusopetus/tyoajat_ja_toimintakulttuuri

A. Pesola, M. Hagström, J. Vanhanen. 2012. Aurinkoenergian tuotanto- ja käyttömahdollisuudet Pohjois-Karjalassa. Gaia.

SAMK – Satakunnan ammattikorkeakoulu. 2014. Monthly report, per inverter. [Verkkosivusto]. [Viitattu 9.8.2014]. Saatavilla: <http://www.sunnyportal.com/Templates/PublicPageOverview.aspx?page=3e8fa984-0ea1-47ec-ae5b-7e992b2cf033&plant=fe159cbf-ccd4-4351-86b6-b8673bd70563&splang=en-GB>

Seligson & Co. 2014. Osakemarkkinoiden tuotto-odotus. [Verkkosivusto]. [Viitattu 16.9.2014]. Saatavilla: http://www.seligson.fi/suomi/sijoitustieto/tiedostot/osakesijoitusten_tuotto.htm

Sunnyportal. 2014. Publicly Available PV System. [Verkkosivusto]. [Viitattu 16.9.2014]. Saatavilla: www.sunnyportal.com/Templates/PublicPagesPlantList.aspx

Tulli. 2014. Tullin asiakasohje 21. Energiaverotus. [PDF-tiedosto]. [Viitattu 16.9.2014]. Saatavilla: http://www.tulli.fi/fi/suomen_tulli/julkaisut_ja_esitteet/asiakasohjeet/valmisteverotus/tiedostot/021.pdf

Trans Mond Environment. 2009. Lappeenrannan kaupungin ilmastoraportti. [pdf-dokumentti]. [Viitattu 2.6.2014]. Saatavilla: <http://www.lappeenranta.fi/loader.aspx?id=c497b163-d2af-4af7-8993-cf5c74a0797e>

Työ- ja elinkeinoministeriö. 2014. Tuen enimmäismäärät. [Verkkosivusto]. [Viitattu 10.9.2014]. Saatavilla: https://www.tem.fi/energia/energiatuki/tuen_maara

M.J. de Wild-Scholten. 2013. Energy payback time and carbon footprint of commercial photovoltaic systems. *Solar Energy Materials and Solar Cells*. Volume 119, Joulukuu 2013, Sivut 296–305

Liite 1. Tuntikohtaisen hinnoittelun mukainen sähkön myyntihinta

Taulukossa on laskettu kahden päivän aikana ensin sähkön myyntihinnan keskimääräinen hinta kilowattia kohden ja tämän jälkeen keskihinta kilowattia kohden aurinkoenergian tuotannon ajankohdilla painotettuna.

Tuntikohtainen hinta [snt/kwh]		
pvm	2.6.2014	1.6.2014
00 - 01	2,953	2,082
01 - 02	2,837	1,664
02 - 03	2,784	1,667
03 - 04	2,796	1,504
04 - 05	2,827	1,695
05 - 06	2,908	1,703
06 - 07	5,103	1,465
07 - 08	7,603	1,517
08 - 09	7,105	2,503
09 - 10	7,908	2,774
10 - 11	7,789	2,94
11 - 12	12,09	2,99
12 - 13	9,135	2,98
13 - 14	7,492	2,937
14 - 15	4,007	2,945
15 - 16	3,958	2,968
16 - 17	3,889	3,077
17 - 18	3,87	3,253
18 - 19	4,076	3,313
19 - 20	4,289	3,348
20 - 21	4,289	3,442
21 - 22	4,191	3,493
22 - 23	4,224	3,447
23 - 00	3,557	3,132
Keski- hinta	5,07	2,618292

PVGIS järjestelmän antama säteilyn ja- kautuminen kesäkuun päivän aikana	Sähkön tuotan- nosta saatava raha	
	2.6.2014	1.6.2014
kWh/kw	snt	snt
0,09	1,24	0,67
0,14	2,03	1,22
0,23	3,35	1,96
0,41	10,39	2,98
0,59	22,34	4,46
0,75	26,53	9,35
0,87	34,50	12,10
0,96	37,36	14,10
1,00	60,45	14,95
0,99	45,35	14,79
0,94	35,27	13,83
0,84	16,91	12,43
0,71	14,05	10,53
0,54	10,57	8,36
0,36	7,02	5,90
0,19	3,82	3,11
0,13	2,77	2,16
0,07	1,59	1,28
9,82 kWh	335,54	134,18
snt/kWh	6,83	2,73

Yhteensä	
Hinta	

Taulukoista näkee, miten päivisin sähkön hinta on korkeampi, joten aurinkoenergian tuotannossa voi saada hyötyä tuntikohtaisesta sopimuksesta verrattuna määräaikaiseen sopimukseen.