



Open your mind. LUT.
Lappeenranta University of Technology

Pienaurinkovoimalan taloudellinen kannattavuus
Small-scale PV solar power plants economic profitability
Olli Haakana

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
LUT School of Energy Systems
Sähkötekniikka

Olli Haakana
Pienaurinkovoimalan taloudellinen kannattavuus

2016

Kandidaatintyö.
28 s.

Tarkastaja: Tutkijaopettaja Jukka Lassila

Tässä kandidaatintyössä on tutkittu pienaurinkovoimalan taloudellista kannattavuutta. Viimeisen kymmenen vuoden aikana aurinkosähköjärjestelmien hinnat ovat laskeneet merkittävästi ja ihmisten kiinnostus pientuotantoon on kasvanut.

Lähdeaineistona työssä on käytetty todellista kulutusdataa eräästä koulusta, taloyhtiöstä ja rivitaloyhtiöstä sekä Lappeenrannassa sijaitsevan pienvoimalan tuotantodataa. Aineistojen perusteella on simuloitu sähköntuotantoprofiileja sekä kuinka ne sattuvat yhteen sähkönkulutusprofiilien kanssa. Taloudellista kannattavuutta tutkittiin muuttamalla järjestelmän hintaa, sähkönhintaa ja voimalan pitoaikaa.

Kohteen aurinkosähköjärjestelmän tuottaman sähkön omakäytösuhde on erittäin merkittävä laskettaessa sen kannattavuutta. Tutkimuksen perusteella pienvoimalan asentaminen nykyisillä aurinkosähköjärjestelmien ja sähkön toimitushinnoilla ei ole taloudellisesti kannattavaa ilman tukia. Jotta pienvoimaloita kannattaisi asentaa, tulisi järjestelmien halventua satoja euroja tai sähkön toimitus hinnan nousta useita senttejä.

ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology
LUT School of Energy Systems
Electrical Engineering

Olli Haakana
Small-scale PV solar power plants economic profitability

2016

Bachelor's Thesis.
28 p.

Examiner: Associate Professor Jukka Lassila

This bachelor's thesis studies the economic profitability of small scale solar PV power plant. During the last ten years the prices of solar panels has decreased significantly and people's interest in small scale production has increased.

The data used in the study is real consumption data from a school, a combined household and a terraced housing company and the production data is collected from a small scale solar PV power plant from Lappeenranta. Power generation profiles are simulated on the basis of material and their compatibility is reviewed with the power consumption profiles. Economic profitability was studied by varying the price of the system, cost of delivered electricity and holding time of the plant.

The self consumption ratio of generated power is crucial for the profitability. Based on the study installing a small scale power plant is not economically profitable with the current prices of solar power systems and electricity energy and transmission without an investment support. In order to become economically profitable the power plants should become hundreds of euros cheaper or the price of electricity should rise several cents.

KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET

ALV	Arvonlisävero
AMR	Automaattinen mittarinluenta
PV	Photovoltaic
TEM	Työ- ja elinkeinoministeriö

SISÄLLYSLUETTELO

Käytetyt merkinnät ja lyhenteet

1.	Johdanto.....	6
2.	Tutkimusmenetelmät.....	7
2.1	Laskenta-algoritmi.....	8
2.2	Analyyseissä käytetyt mittaus tiedot	8
2.2.1	Ruokolahden Kirkonkylän koulukeskus.....	8
2.2.2	Savitaipalelainen taloyhtiö	10
2.2.3	Rivitaloyhtiö	11
2.2.4	Tuotantotiedot.....	11
2.3	Sähköntuotannon omakäyttösuhde	14
2.3.1	Kirkonkylän koulukeskuksen omakäyttösuhde	14
2.3.2	Savitaipalelaisen taloyhtiön omakäyttösuhde,.....	16
2.3.3	Rivitaloyhtiön omakäyttösuhde	18
3.	Paneelien määrän optimointi	19
3.1	Ruokolahden Kirkonkylän koulu	19
3.1.1	Paneelien asennushinnan vaikutus investoinnin kannattavuuteen	19
3.1.2	Sähkön energia- ja siirtohinnan vaikutus investoinnin kannattavuuteen.....	21
3.1.3	Pitoajan vaikutus investoinnin kannattavuuteen	22
3.2	Savitaipalelainen taloyhtiö	23
3.2.1	Paneelien asennushinnan vaikutus investoinnin kannattavuuteen	23
3.2.2	Sähkön energia- ja siirtohinnan vaikutus investoinnin kannattavuuteen.....	23
3.3	Rivitaloyhtiö	25
3.4	Paneelien asennushinnan vaikutus investoinnin kannattavuuteen	25
4.	Aurinkopaneelien hintakehitys	26
5.	Yhteenveto ja johtopäätökset.....	27

Liitteet

Liite 1	Matlab koodi
---------	--------------

1. JOHDANTO

Tässä kandidaatintyössä on tutkittu millä reunaehdoilla pienaurinkovoimantuotanto on taloudellista kannattavaa tutkimalla Ruokolahden koulukeskuksen, erään Savitaipalealaisen taloyhtiön sekä siinä toimivan yrityksen ja erään Mäntsäläläisen rivitaloyhtiön sähkönkuluksia.

Työn tärkein tutkimuskysymys on selvittää millä reunaehdoilla pientuotantolaitos maksaa itsensä takaisin pitoajallaan. Aurinkopaneelijärjestelmien hintakehitys on ollut laskevaa, ja viimeisen 10 vuoden aikana varsin huomattavaa. Paneelien hinnat alkavat olla nykyään sillä tasolla, että pientuotanto voi Suomessakin olla taloudellisesti kannattavaa loppukäyttäjällä.

Työ tehtiin kirjallisuustyönä ja tuotteena syntyi työkalu, jolla periaatteessa kuka tahansa voi parametrejä muuttamalla kokeilla, millä reunaehdoilla aurinkovoimalan asentaminen kannattaisi omalla kohdalla.

2. TUTKIMUSMETODIT

Tutkimusta varten tehtiin työkalu, jolla voitiin eri parametrejä varioimalla tutkia niiden vaikutusta aurinkovoimalan hankinnan kannattavuuteen. Varioitavat parametrit ja eri laskuskenaarioissa käytetyt oletusarvot on esitetty taulukossa 2.1. Työkalulla piirretään kuvaajia erikokoisilla voimaloilla ja tarkastellaan graafisesti, mikä olisi taloudellisesti kannattavin pien-tuotantolaitoksen koko. Energian hintahaarukka on otettu tilastokeskuksen sivuilta (Tilastokeskus). Sähköntuotantodata on saatu pienvoimalaitoksen todellisista tuotantoluvuista vuosilta 2012 ja 2013 (Ahola).

Taulukko 2.1. Optimointi koodin parametrit

Parametri	Variointiväli	Laskuissa käytetty oletusarvo
Energian ja siirron yhteishinta	0,08 – 0,15 €/kWh	0,095 €/kWh
Verkkoon syötettävästä energiasta saatava korvaus		0,05 €/kWh
Voimalan hankinta ja asennus kustannus	0,5 – 2,5 €/W	1,5 €/W
Tuotanto sarja	2012 – 2013	2013
Diskonttaus korko	1 – 5 %	5 %
Pitoaika	20 – 30 v	25 v
ALV	0/24 %	24 %
Investointituki (TEM)	0/30 %	30 %

2.1 Laskenta-algoritmi

Tässä työssä tehdyt laskut on tehty MATLAB-ympäristöön tehdyllä työkalulla. Työkalu laskee vuoden jokaiselle tunnille voimalaitoksentuotannon halutuilla voimalaitoskoilla sekä niin ikään kulutuksen ja tuotannon eron vuoden jokaiselta tunnilta. Tästä selviää kuinka suuri osa tuotetusta energiasta saadaan omaan käyttöön ja kuinka paljon joudutaan syöttämään verkkoon.

Verkkoon syötettävästä energiasta saatava korvaus lasketaan kertomalla energiamäärä annettulla korvausparametrillä. Omaan käyttöön saatavasta energiasta saatava korvaus saadaan kertomalla itse käytetty tuotanto siirto- ja energiahinnan summaparametrillä.

Työkalu laskee itse käytetyn ja verkkoon syötetyn energian perusteella vuodessa voimalaitoksen asentamisesta saatavan säästön. Kokonaisnettosäästö voimalaitoksen asentamisesta saadaan vähentämällä nykyarvosta investointihinta, joka lasketaan kertomalla voimalaitoskoko kilowatti kohtaisella investointihintaparametrillä. Algoritmi ei ota huomioon kulutuksen mahdollista muutosta voimalaitoksen pitoajalla.

Aurinkopaneelien tehontuotto laskee vuodessa noin 0,6 % ja tämä on huomioitu laskettaessa myöhempien vuosien sähköntuotantoa (Rexel Finland Oy). Myös työ- ja elinkeinoministeriöltä saatava investointituki, 30 %, on huomioitu investoinnin hinnassa, mikäli kyseessä ei ole yksityinen projekti (Motiva). Lisäksi arvonnlisäveron vähennykset voidaan ottaa huomioon, mikäli ne ovat mahdollisia.

2.2 Analyysissä käytetyt mittaustiedot

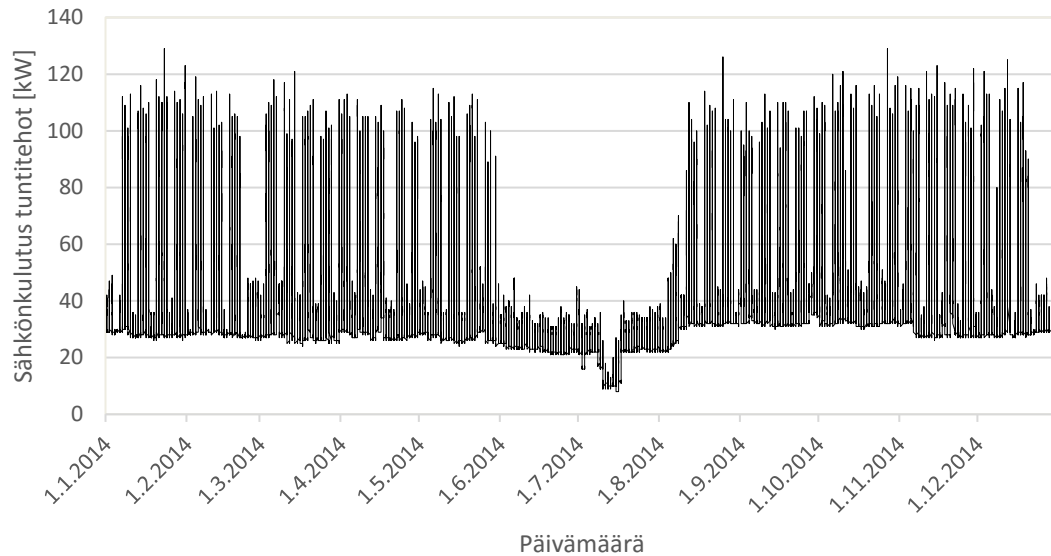
Tutkimuksessa käytettiin kolmen erilaisen sähkönkäyttäjän sähkönkulutusdataa sekä erään Eteläkarjalassa sijaitsevan pienvoimalan tuotantodataa. Sähkönkulutusdata saatiin sähköverkkoyhtiöiden AMR-mittareista. Tuotantoluvut saatiin voimalaitoksen invertteriltä. Kaikkia mittaustietoja käytettiin tunnin keskiarvo tehoina.

2.2.1 Ruokolahden Kirkonkylän koulukeskus

Ruokolahden Kirkonkylän koulukeskus on 1970 luvulla rakennettu kompleksi, jossa toimii mm. keskuskeittiö ja kansalaisopisto. Koulukeskuksen lämmitys ja vedenlämmitys tehdään kaukolämmöllä.

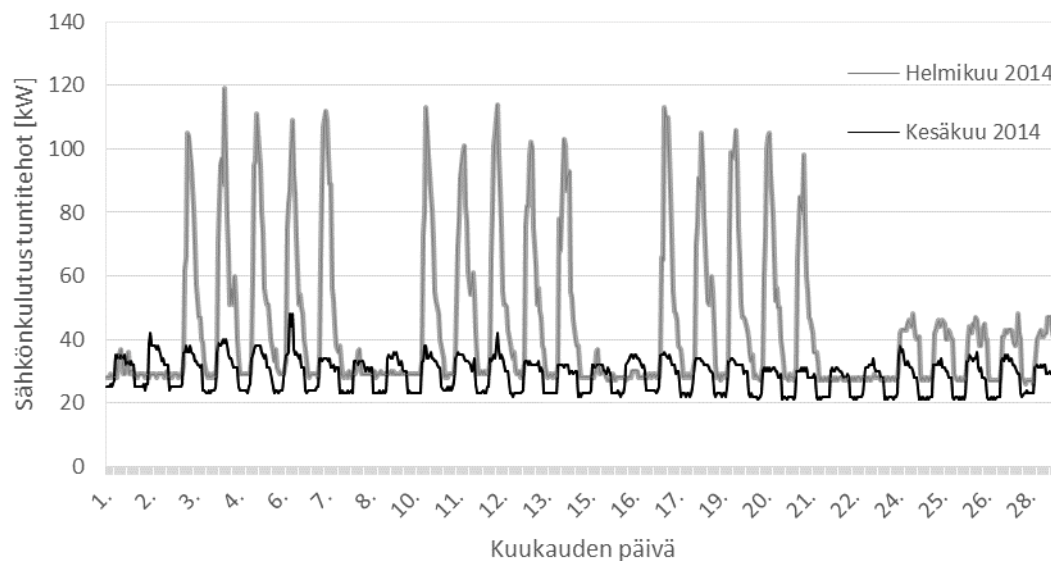
Koulukeskuksessa on havaittu sisäilman laatu ongelma ja rakennuksen ilmanvaihto toimii käytännössä vuorokauden ympäri täydellä teholla, minkä vuoksi kulutuslukemat ja pohjakuormat vaikuttavat hyvin suurilta. Ilmanvaihto järjestelmä on uusittu vuonna 2009. Muita suuria sähkönkulutuskohteita koulussa ovat muun muassa teknisentyötilan laitteet. (Villanen)

Kuvassa 2.1 on esitetty koulun vuoden sähkönkulutus profiili (ISS OY). Profiilista on selkeästi nähtävissä normaalit kouluviikot, jotka näyttävät piikkeinä. Lisäksi erotettavissa on joululoma, talviloma, kesäloma ja syysloma pidempinä pienemmän kulutuksen jaksoina.



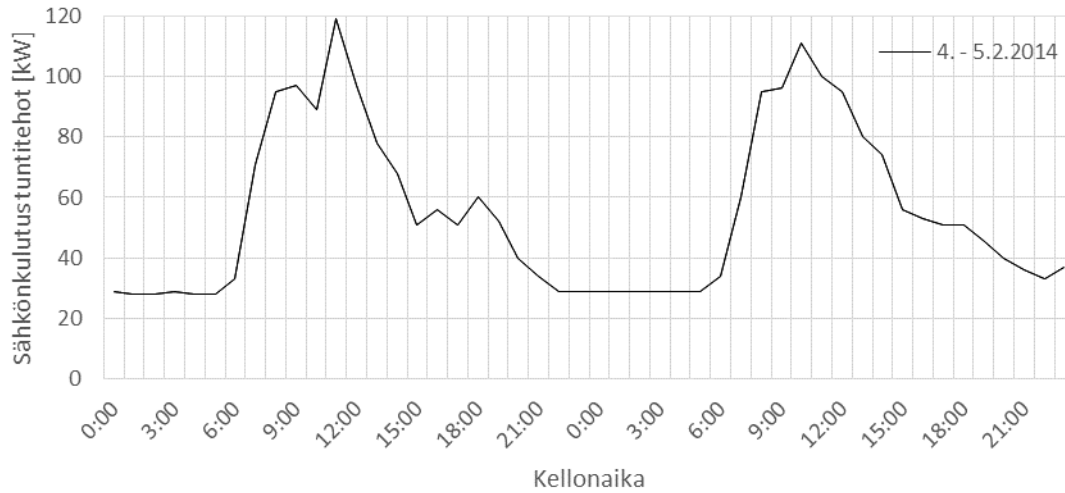
Kuva 2.1 Koulukeskuksen sähkönkulutustehot vuodelta 2014.

Kuvassa 2.2. on esitetty rinnakkain koulukeskuksen helmikuun (kapea viiva) ja kesäkuun (paksu viiva) (ISS OY). Kuvaajasta nähdään kulutuksen vuorokautinen päivä – yö vaihtelu. Kuvaajasta nähdään myös jo aiemmin mainittu huomattava pohjakuorma, joka johtuu kokoajan pauhaavasta ilmanvaihdosta. Helmikuun kuvaajasta on taas nähtävissä talviloma.



Kuva 2.2 Koulukeskuksen sähkönkulutus helmikuussa ja kesäkuussa 2014.

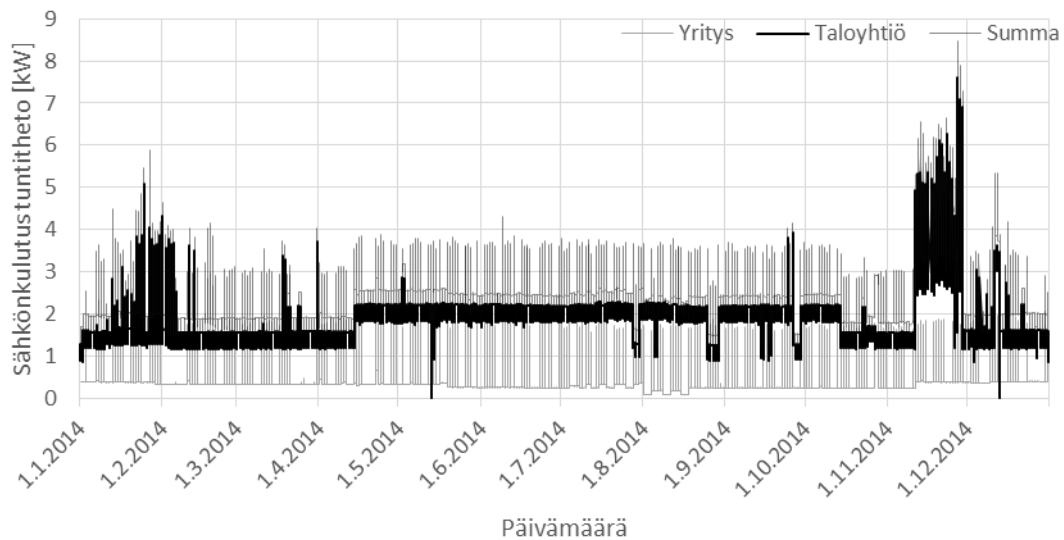
Kuvassa 2.3. on esitetty koulukeskuksen tuntikohtainen sähkönkulutus kahtena normaaliarkipäivänä helmikuussa (ISS OY). Kuvaajasta on nähtävissä kuudelta aamulla tapahtuva kulutuksen nousu, joka jatkuu läpi koulupäivän. Iltopäivän piikit ovat oletettavasti harrastetoiminnassa käytettyjä suuritehoisia laitteita (lasin sulatusuuni, keramiikkauuni, teknisentyötilan laitteet) (Villanen).



Kuva 2.3 Koulukeskuksen sähkönkulutus normaaliarkena (4. - 5.2.2014).

2.2.2 Savitaipalelainen taloyhtiö

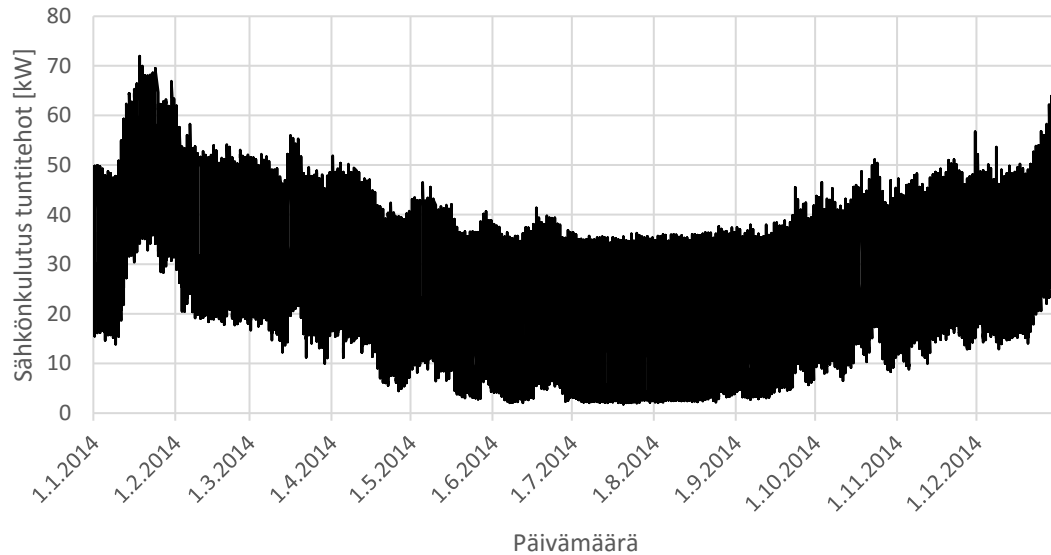
Savitaipalelaisen taloyhtiön sähkönkulutusdata on summa itse taloyhtiön ja erään samassa talossa toimivan yrityksen sähkönkulutuksista. Kuvassa 2.4 on esitetty kohteen sähkönkulutustehot vuodelta 2014. Kuvaajasta nähdään, että taloyhtiön sähkönkulutus muodostaa 1 – 2 kW:n tasaisen pohjakuorman ja yrityksen sähkönkulutuksesta muodostuu kulutukseen piikkejä.



Kuva 2.4 Savitaipaleen kohteen kulutuskäyrä. Ylinnä summakäyrä, keskellä taloyhtiön ja alinna talossa toimivan yrityksen kulutus.

2.2.3 Rivitaloyhtiö

Rivitaloyhtiön kulutusdata on summa kahdeksan eri asunnon kulutuksista. Kuvassa 2.5 on yhtiön vuoden 2014 kulutustehot. Kuvaaja on melko tasainen ja siitä voidaan selvästi erottaa, että tammikuun lopussa on ollut kylmempi ajanjakso, joka näkyy kulutuspiikkinä. Vastaavan kaltainen piikki on havaittavissa myös kuvasta 2.4.



Kuva 2.5 Rivitaloyhtiön sähkönkulutustehot vuodelta 2014.

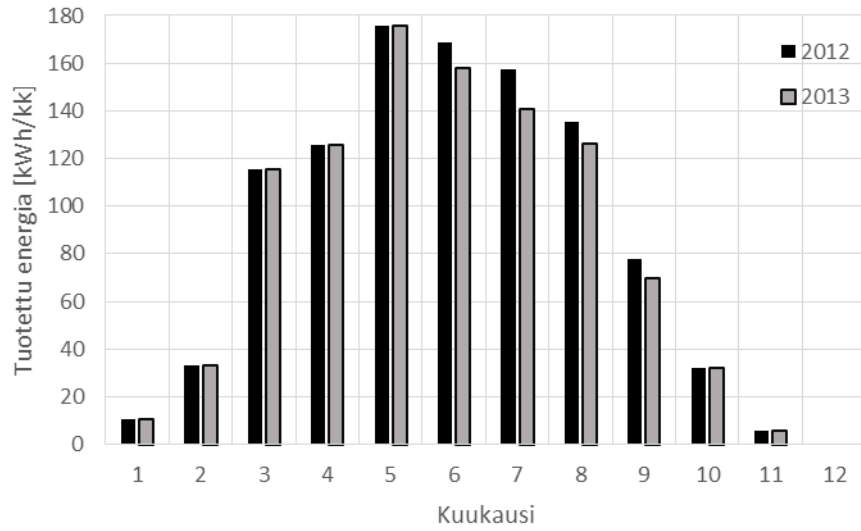
2.2.4 Tuotantotiedot

Sähköntuotantotiedot on mitattu ajanjaksolta 1.6.2012 – 30.9.2013. Tuolloin voimalan nimelliskapasiteetti oli 2,8 kW. Tiedot on mitattu viiden minuutin keskiarvoina, jolloin on saavutettu parhaimmillaan 98,5 % nimellistehosta. Viiden minuutin keskiarvoista lasketuista tuntikeskiarvoista yhden tunnin aikana on saavutettu parhaimmillaan 85 % nimellistehosta.

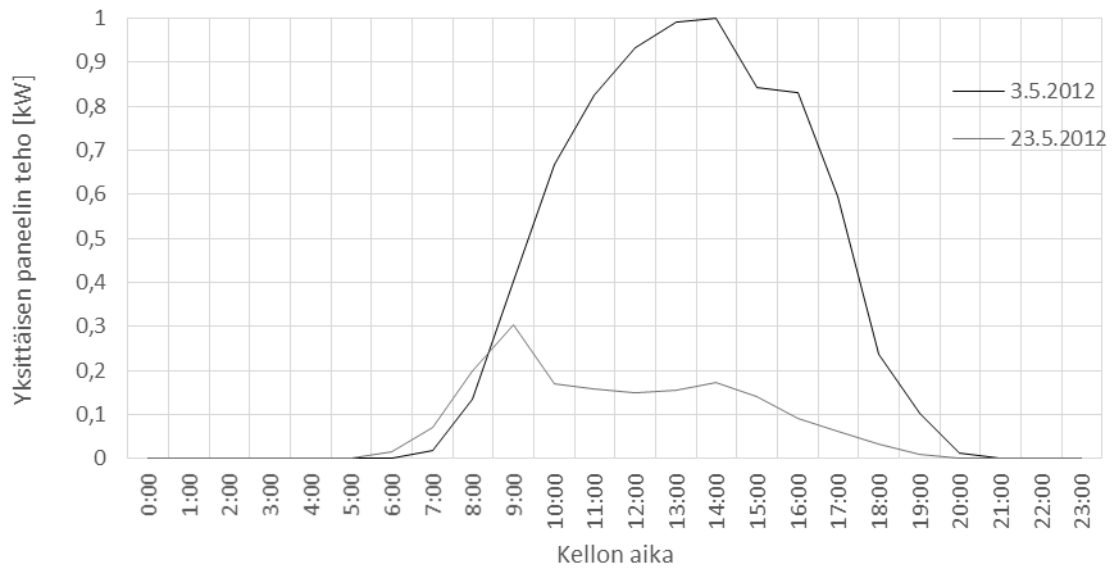
Tätä kandidaatintyötä varten tuotantotietoja on skaalattu siten, että suurin tuotanto tuntikeskiarvo tulee tasan 1 kW:ksi. Puuttuvat ajanjaksot on arvioitu muun tietojoukon perusteella ja auringon vuotuisen säteilyjakauman avulla. Tässä ja seuraavassa kappaleessa esiintyvät kuvaajat on piirretty ensimmäisen vuoden energian tuotantojen perusteella.

(Ahola) (Ilmatieteenlaitos)

Kuvassa 2.6. on esitetty vuosien 2012 ja 2013 tuotantotiedot. Kuvaajasta nähdään, ettei sähköä juuri tule talvikuukausina ja suurimmillaan tuotanto on touko-heinäkuussa. Kuvassa 2.7. on esitetty aurinkoisen ja pilvisen päivän tuotanto profiilit vuoden 2012 toukokuulta. Aurinkoisen päivän profiili on lähes ideaali, mutta pilvisenä päivänä saadaan vain 20 – 30 % nimellistehosta.

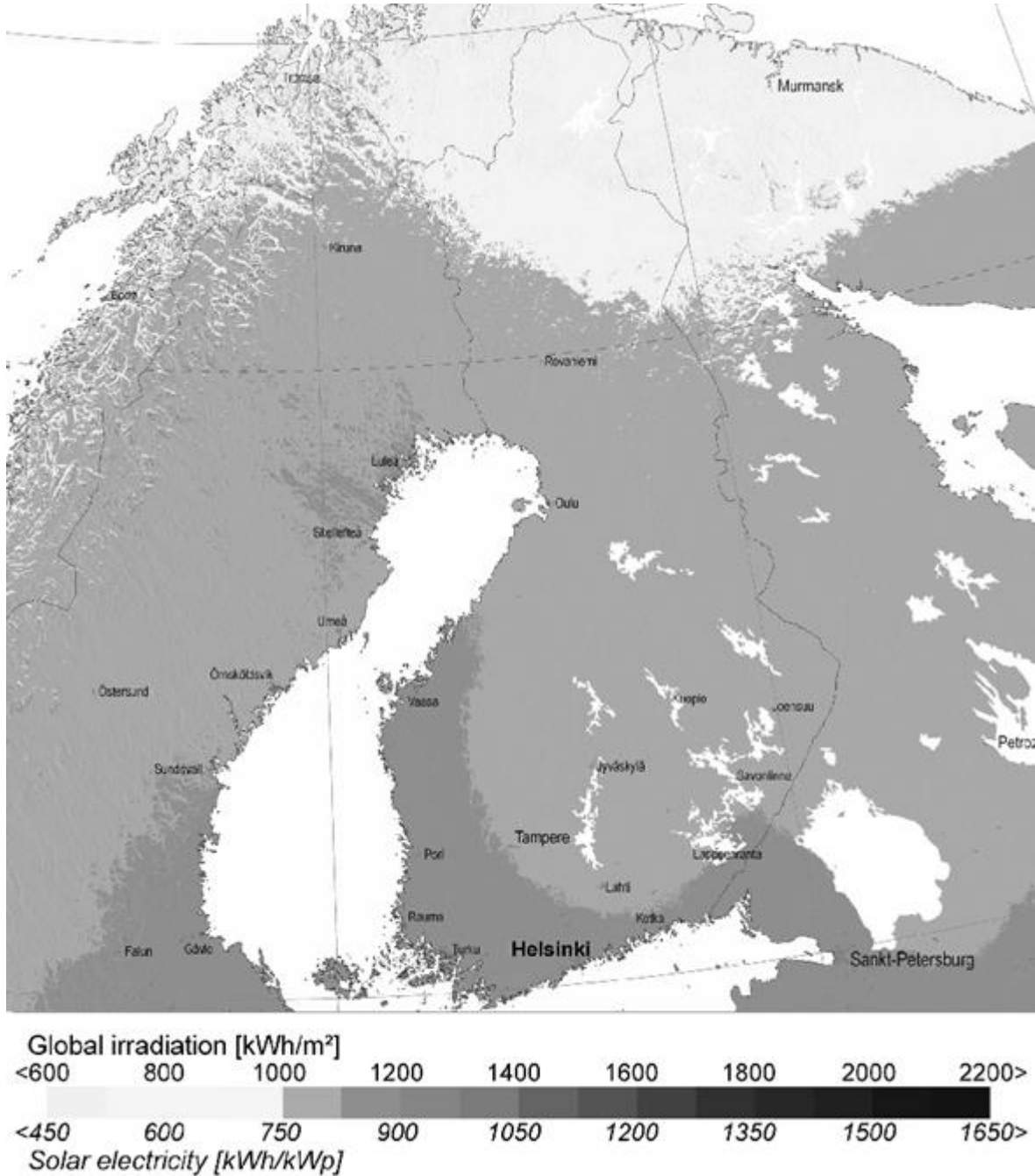


Kuva 2.6 Vuosien 2012 ja 2013 kuukausittaiset tuotantotiedot.



Kuva 2.7 Aurinkoisen ja pilvisen päivän tuotantoprofiilit

Kuvassa 2.8 on Euroopan unionin komission tutkimuksessa vuodelta 2006 vuotuinen säteilyjakauma Suomen alueelta (Suri). Tutkimuksen mukaan kuvasta katsottuna Lappeenrannan vuotuinen säteilyteho asettuu haarukkaan noin 825 – 900 kWh/kWp, mikä kuvastaa huipunkäyttöaika. Laskennallisesti päästiin huipunkäyttöaikaan 987 tuntia. Tämän työn tuotantot arvot ovat siis melko lähellä aiempien tutkimusten tuloksia.



Kuva 2.8 Vuotuinen säteilyjakauma Suomen alueella (Suri).

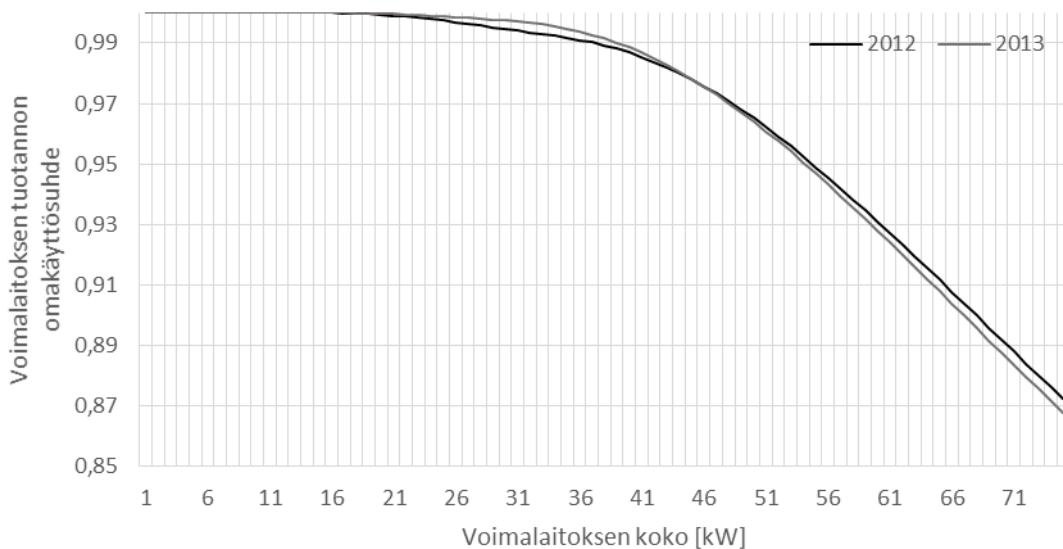
2.3 Sähköntuotannon omakäyttösuhde

Sähköntuotanto- ja kulutusarvoissa on eroja eri vuosina, jolloin pieni datamäärä hankaloittaa investoinnin kannattavuuden arviointia. Tässä kappaleessa on arvioitu potentiaalisia omakäyttösuhteita erikokoisilla voimalaitoksilla erikohteissa.

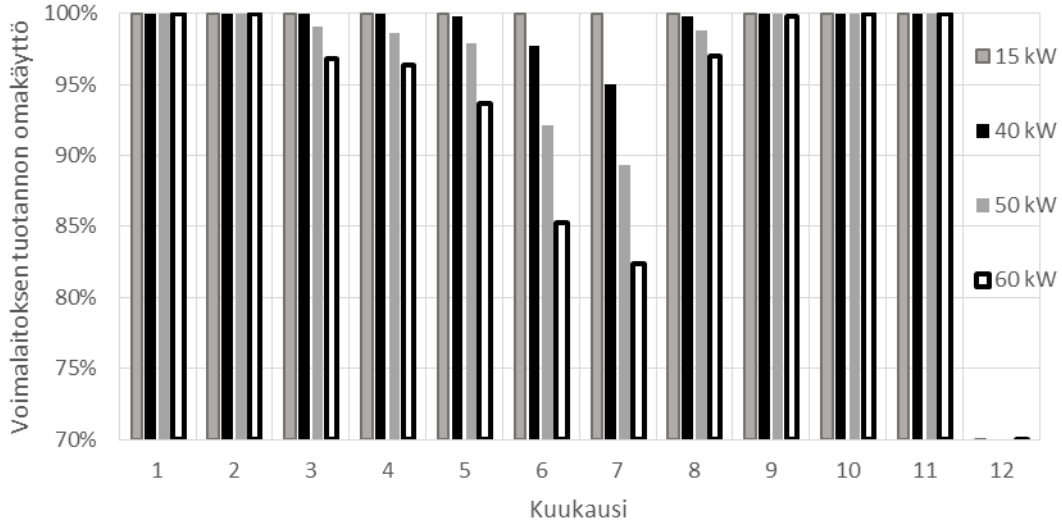
2.3.1 Kirkonkylän koulukeskuksen omakäyttösuhde

Kuvassa 2.9 on esitetty voimalaitoksen tuotannon omakäyttösuhde suhteessa voimalaitoksen kokoon. Kuvaajassa on verrattu Kirkonkylän koulukeskuksen vuoden 2014 kulutusta vuosien 2012 ja 2013 tuotantoihin. Vuoden 2012 kokonaissähköntuotanto oli 4 % vuotta 2013 suurempi ja tämän vuoksi tuotannosta joudutaan syöttämään suurempi osa verkkoon (pienempi omakäyttösuhde). (Villanen) (Ahola)

Noin 15 kW voimalaitos kokoon asti omakäyttösuhde pysyy 100 %:ssa suuren pohjakuorman vuoksi. Kuitenkin vielä 60 kW voimalaitoksella omakäyttösuhde pysyy korkeana, jopa noin 90 %. Kuvassa 2.10. on esitetty kuukausittaiset omakäyttösuhdet muutamalla eri voimalaitoskoolla. Kuvaajasta nähdään, että muiden kuin kesä- ja heinäkuun omakäyttösuhde lähtee laskuun vasta hyvin suurilla voimalaitoskoilla.

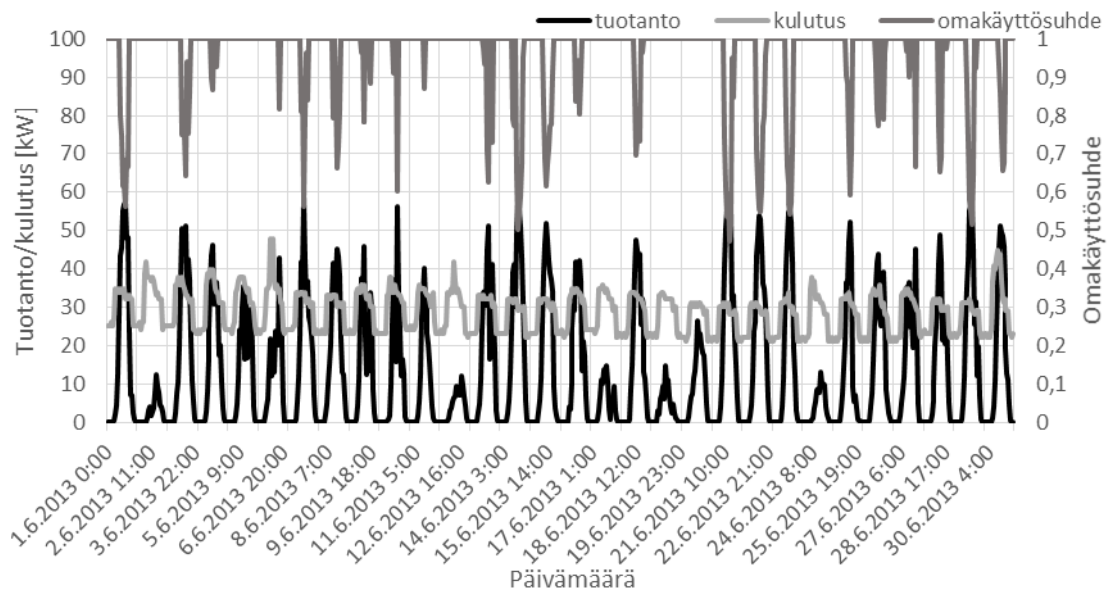


Kuva 2.9 Koulukeskuksen vuoden 2014 kulutus verrattuna vuosien 2012 ja 2013 tuotantolukuihin.



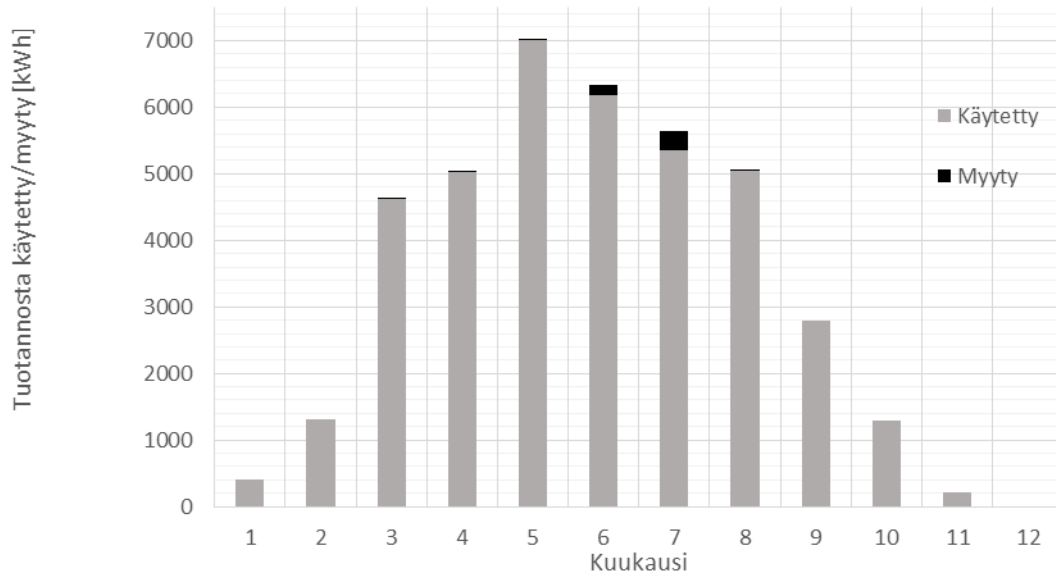
Kuva 2.10 Kuukausittaiset omakäyttösuhteet erikokoisilla voimalaitoksilla.

Kuvassa 2.11 on esitetty tarkemmin tuotanto ja kulutus kesäkuun osalta 60 kW voimalaitoksella. Kuvasta nähdään, että kesäkuussakin tämän tyyppisellä kuluttajalla saavutettaisiin jopa 85 % omakäyttösuhde, vaikka kesäkuun huippukulutusteho onkin vain 48 kW.



Kuva 2.11 Kesäkuun tuotanto 60 kW voimalaitoksella, kulutus sekä omakäyttösuhde.

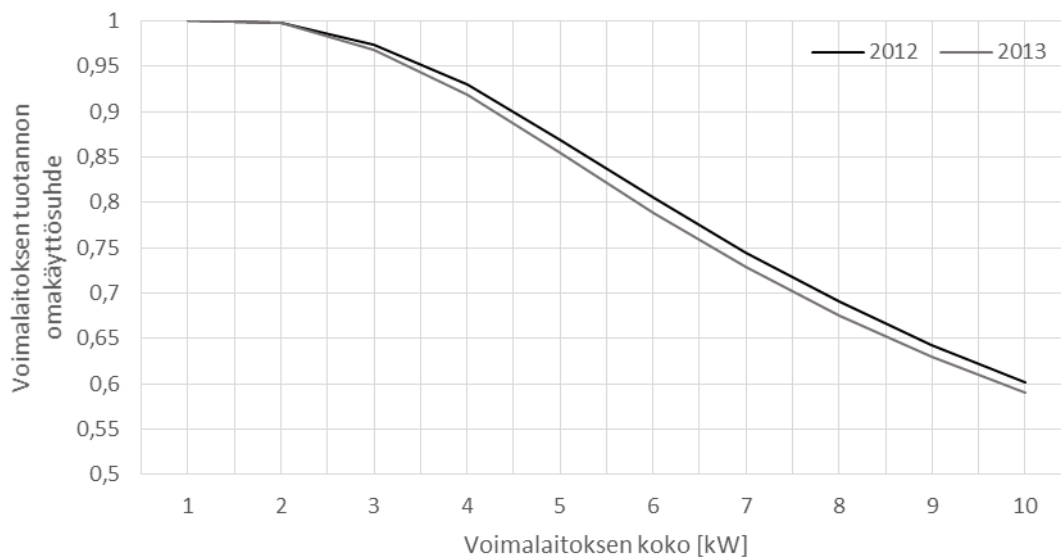
Kuvassa 2.12 on esitetty 40 kW voimalaitoksen energian tuotanto eriteltyinä itsekäytettyyn ja verkkoon myytyyn osaan. Kuvaajasta nähdään, että oikeastaan vain kesä ja heinäkuussa energiaa joudutaan syöttämään verkkoon. Kuva havainnollistaa myös suurta omakäyttösuhdetta.



Kuva 2.12 40 kW voimalaitoksen tuotanto kuukausittain.

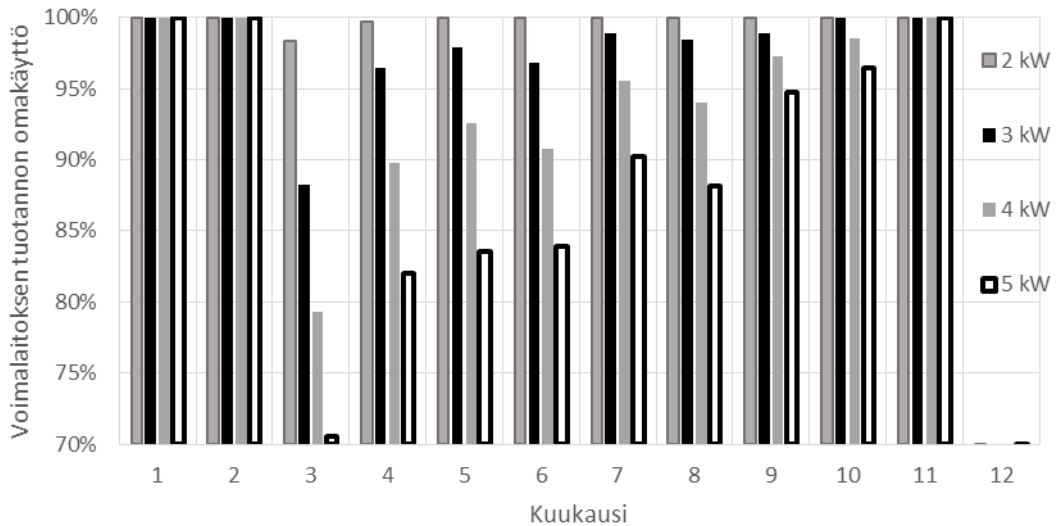
2.3.2 Savitaipalealaisen taloyhtiön omakäyttösuhde,

Savitaipalealaisen taloyhtiön omakäyttösuhdetta on arvioitu vuoden 2014 kulutuksen pohjalta. Kuvassa 2.13 on esitetty tuotannon omakäyttösuhde voimalaitoksen kokoon ja kulu- tusta on verrattu vuosien 2012 ja 2013 tuotantoihin. Näin pienellä kuluttajalla omakäyt- tösuhte lähtee nopeasti laskuun ja kovin suurta voimalaitosta ei olisikaan järkevää asentaa.



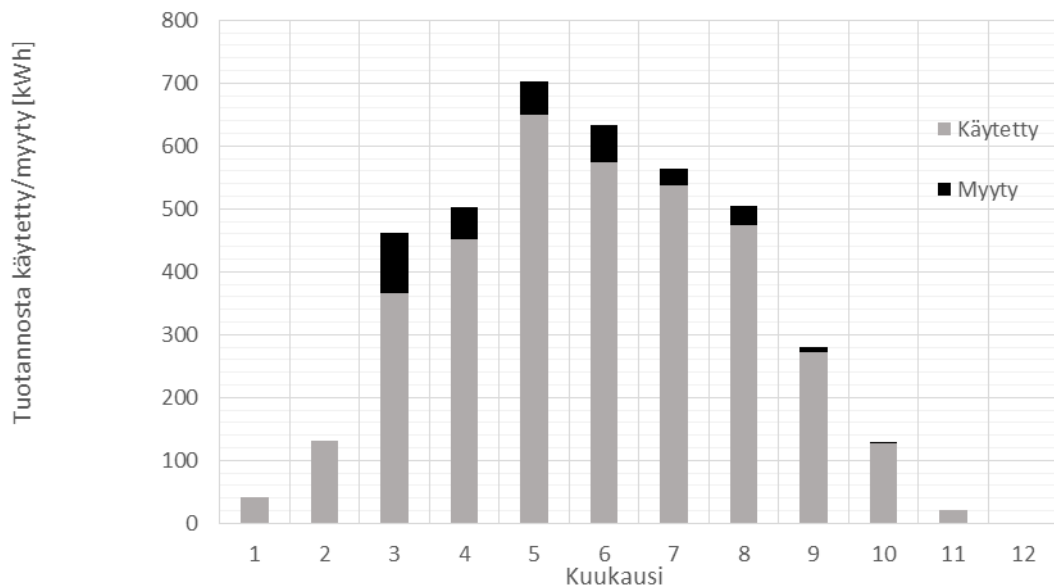
Kuva 2.13 Taloyhtiön vuoden 2014 kulutus verrattuna vuosien 2012 ja 2013 tuotantolukuihin.

Kuvassa 2.14 on esitetty kuukausittaiset omakäyttösuhteet ja voidaan huomata, että huonoin omakäyttösuhde saavutetaan maaliskuussa. Tähän ei ole mitään suoraa selitystä ja sitä voitaisiin pitää tilastollisena anomaliteettina ja suurempi datajoukko auttaisi pienentämään mahdollisen virheen riskiä. Omakäyttösuhteet pysyvät kaikkina kuukausina jopa 5 kW voimalaitoskokoon asti suhteellisen hyvinä kaikkina kuukausina.



Kuva 2.14 Kuukausittaiset omakäyttösuhteet erikokoisilla voimalaitoksilla.

Kuvasta 2.15 nähdään 4 kW voimalaitoksen energian tuotanto eriteltynä itsekäytettyyn ja verkkoon myytyyn osaan. Kuvaajasta nähdään, että energiaa joudutaan syöttämään verkkoon lähinnä maaliskuu- elokuussa.



Kuva 2.15 4 kW voimalaitoksen tuotanto kuukausittain.

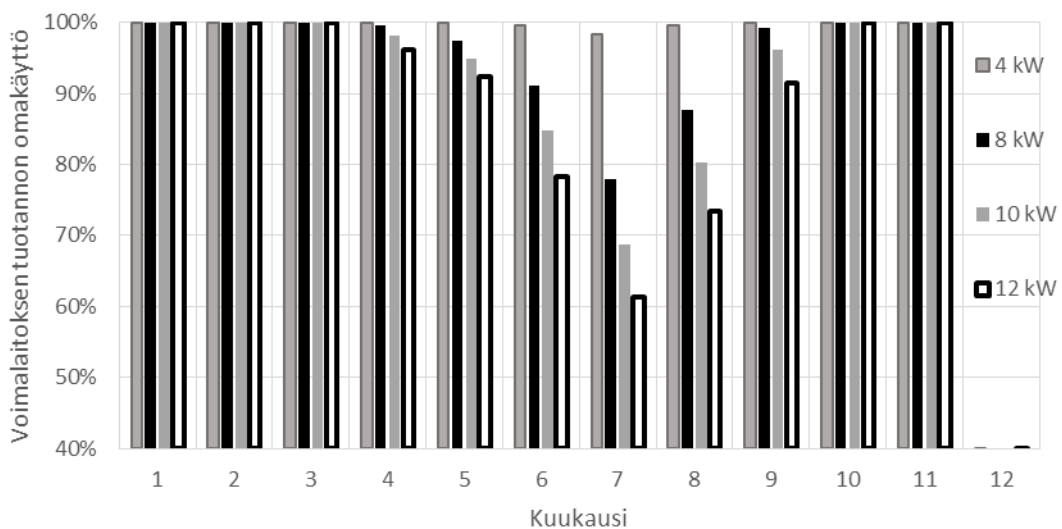
2.3.3 Rivitaloyhtiön omakäyttösuhde

Rivitaloyhtiön omakäyttösuhdetta on arvioitu vuoden 2014 kulutuksen ja vuoden 2013 tuotannon välillä. Kuvassa 2.16 on esitetty vuotuinen omakäyttösuhde voimalaitoskoilla 1 – 30 kW. Omakäyttösuhteen nopea lasku selittyy sillä, että taloyhtiön suurimmat kuormat sijoituvat yöaikaan ja talvelle.



Kuva 2.16 Rivitaloyhtiön vuoden 2014 kulutus verrattuna vuosien 2013 tuotantolukuihin.

Kuvassa 2.14 on esitetty kuukausittaiset omakäyttösuhteet erilaisilla voimalaitoskoilla. Huonoin omakäyttösuhde saavutetaan rivitaloyhtiön osalta heinäkuussa. Tämä selittyy sillä, että kesällä kulutus on normaalipienkäyttäjällä pienempää kuin talvella. Huonot kesän ajan omakäyttösuhteet voivat vaikuttaa ratkaisevasti suuremman voimalan investoinnin kannattavuuteen.



Kuva 2.17 Kuukausittaiset omakäyttösuhteet erikokoisilla voimalaitoksilla.

3. PANEELIEN MÄÄRÄN OPTIMOINTI

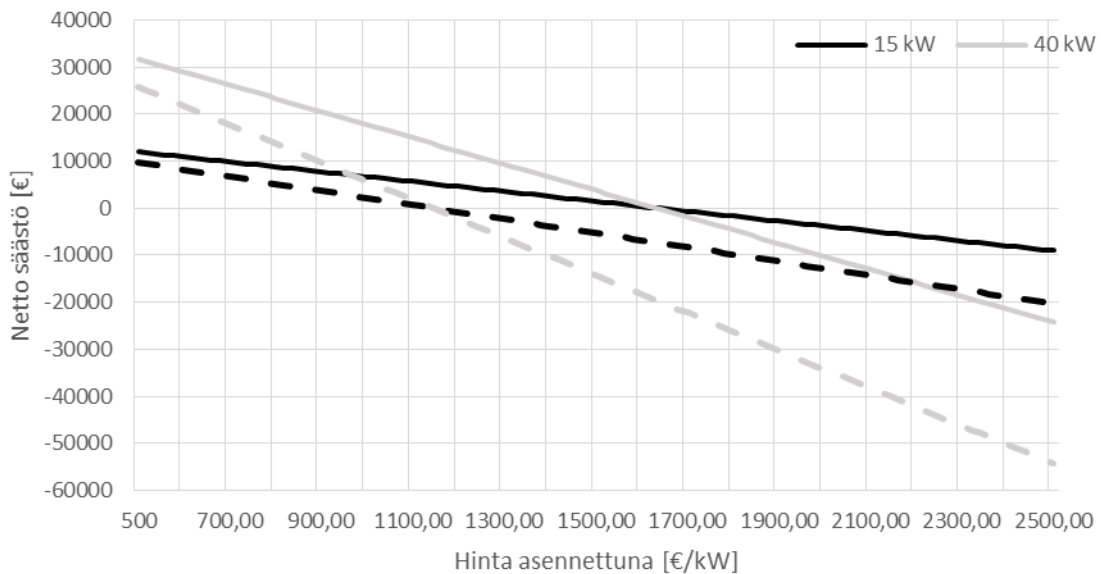
Tässä kappaleessa tarkastellaan eri parametrien variaation vaikutusta aurinkovoimalainvestoinnin kannattavuuteen. Ruokolahden Kirkonkylän koulun osalta on tarkasteltu useampaa parametria kuin muiden kohteiden, sillä variaationit käyttäytyvät eri kohteissa samoin, eikä toistamisella saavuteta työhön lisäarvoa.

3.1 Ruokolahden Kirkonkylän koulu

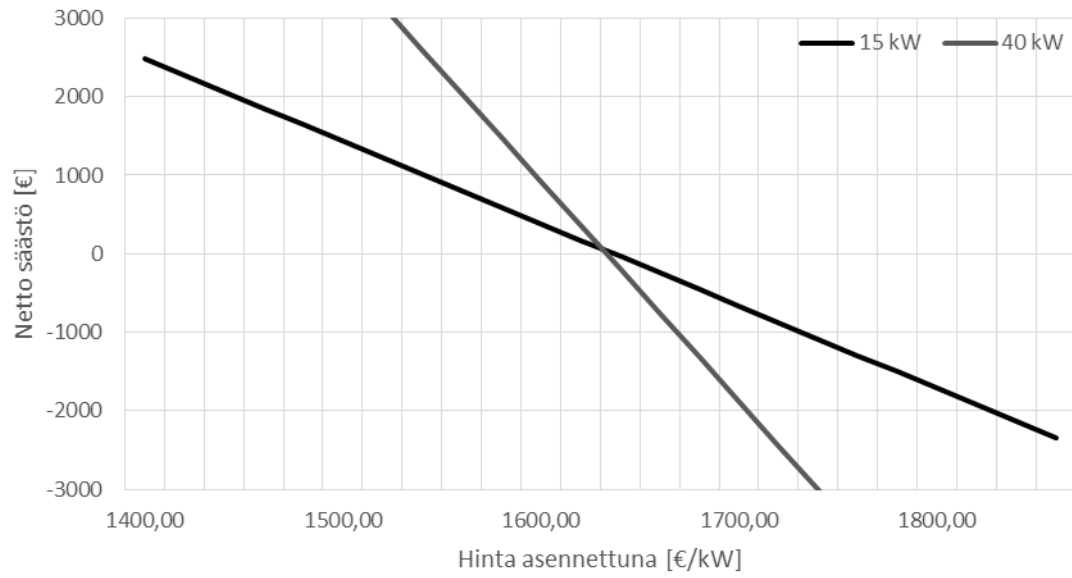
Kirkonkylän koulun osalta valittiin lähemmin tarkasteltavaksi voimalaitoskoot 15 kW ja 40 kW.

3.1.1 Paneelien asennushinnan vaikutus investoinnin kannattavuuteen

Kuvassa 3.1 on esitetty vakioparametreilla saatava nettosäästö voimalan asennushinnoilla 500 €/kW – 2500 €/kW. Kuvasta nähdään, että voimalasta saatava säästö muuttuu negatiiviseksi melko nopeasti. Investointituen kanssa voimalaitos alkaa olla kannattava noin 1600 euron asennushinnalla/kilowatti. Kuvissa 3.2 ja 3.3 on esitetty tilanne tarkemmin. Huonommasta omakäyttösuhteesta johtuen 40 kW voimalan käyrä laskee nopeammin kuin 15 kW voimalan käyrä.



Kuva 3.1 Voimalainvestoinnista saatava säästö eri asennushinnoilla. Kiinteä viiva kuvaa kannattavuutta investointituen kanssa ja katkoviiva ilman sitä.

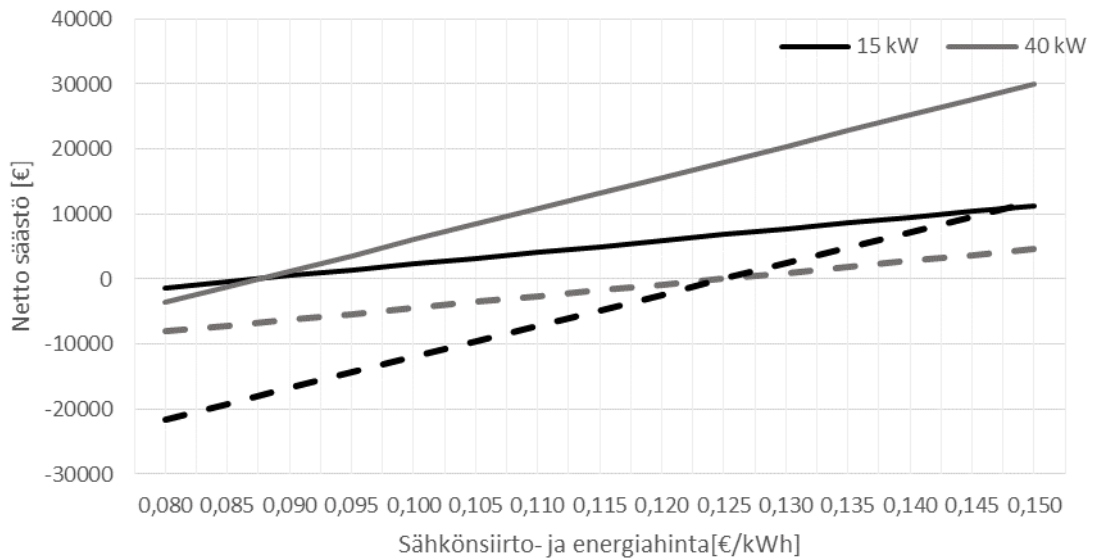


Kuva 3.2 Voimalainvestoinnista saatava säästö eri asennushinnoilla tuen kanssa.

3.1.2 Sähkön energia- ja siirtohinnan vaikutus investoinnin kannattavuuteen

Kuvassa 3.4 on esitetty sähkön hinnan vaikutus voimalaitosinvestoinnin kannattavuuteen. Nykyisellään Kirkonkylän koulun energia- ja siirtohintat ovat yhteensä noin 9,5 snt/kWh. Kuvasta nähdään, että mikäli sähkön hinta nousisi voimakkaasti yli 12,5 snt/kWh tasolle, olisi voimalaitosinvestointi kannattava jopa ilman investointitukea.

Sähkön hinnan nousu vaikuttaa suurempiin voimalainvestointeihin voimakkaammin sen vuoksi, että sähkön ollessa hyvin kallista on sen omatuotanto erittäinkin kannattavaa, vaikka omakäyttösuhde pieneneekin. Nettosäästöt on laskettu vakioparametrein (1,5 €/W; 5 % korko; 25 v pitoaika).

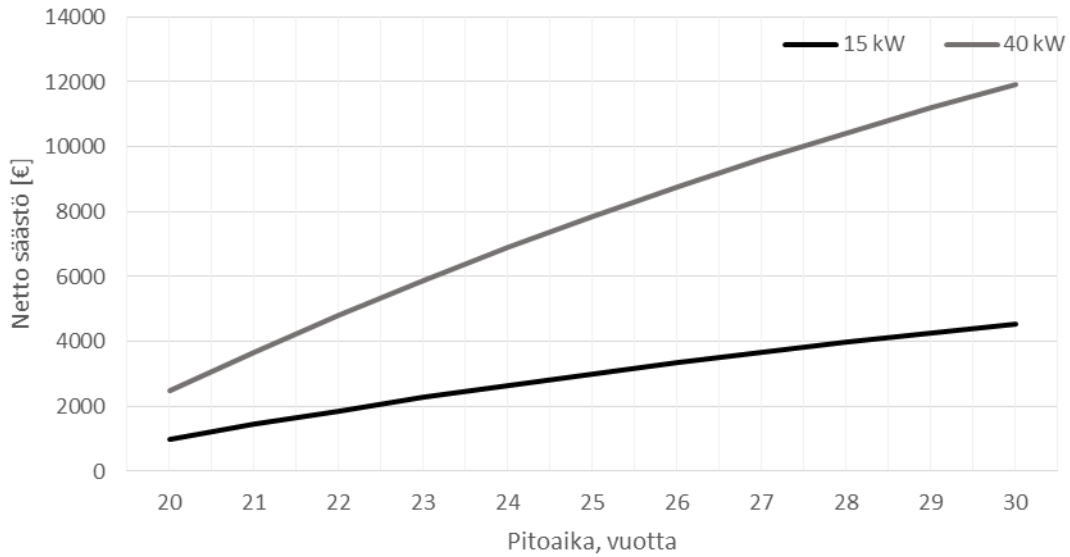


Kuva 3.3 Voimalainvestoinnista saatava säästö eri sähkön siirto- ja energiahinnoilla. Kiinteä viiva kuvaa kannattavuutta investointituen kanssa ja katkoviiva ilman sitä.

3.1.3 Pitoajan vaikutus investoinnin kannattavuuteen

Kuvassa 3.5 on esitetty pitoajan varioinnin vaikutus investoinnin kannattavuuteen. Paneelien valmistajat lupaavat, että paneelit tuottavat vielä 25 vuoden päästä 80 % nimellistehostaan. Tässä työssä paneelien tehon heikkeneminen on otettu huomioon 0,6 % vuosittaisella laskulla.

Kuvasta nähdään, että suuremmalla voimalakoolla pidempi pitoaika parantaa investoinnin kannattavuutta jopa tuhansilla euroilla. Pienemmällä voimalaitoksella merkitys jää vähäisemmäksi. Nettosäästöt on laskettu vakioparametrein investointituen kanssa.



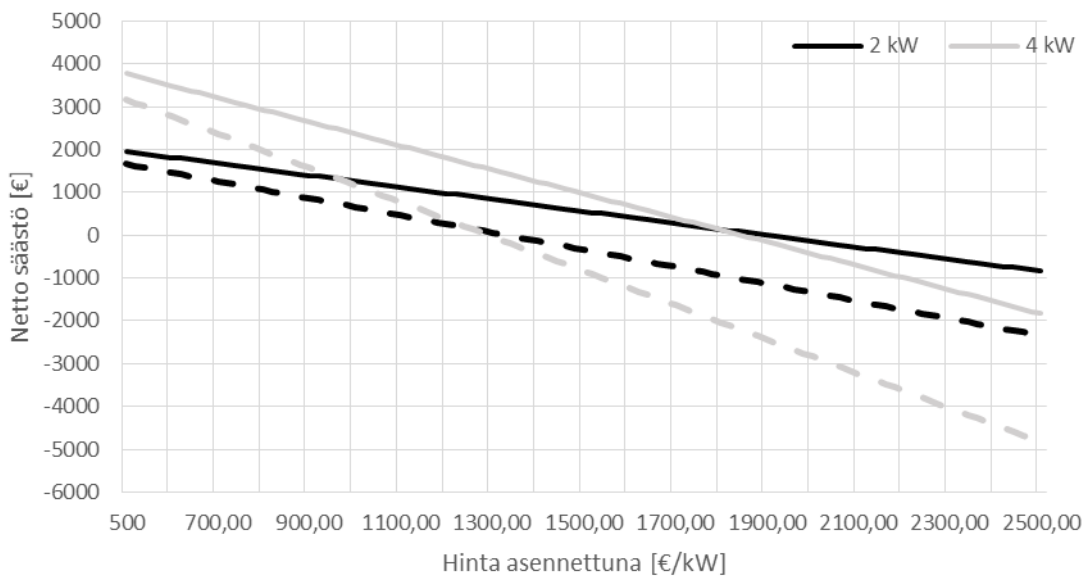
Kuva 3.4 Pitoajan vaikutus investoinnin kannattavuuteen.

3.2 Savitaipalelainen taloyhtiö

Taloyhtiön ja yrityksen sähkönkulutustehojen perusteella valittiin kohteessa tarkemmin tarkasteltaviksi 2 ja 4 kW kokoiset voimalaitokset. Kohteen kohdalla vertailtiin eri asennushintojen ja sähkönhintojen vaikutusta investoinnin kannattavuuteen.

3.2.1 Paneelien asennushinnan vaikutus investoinnin kannattavuuteen

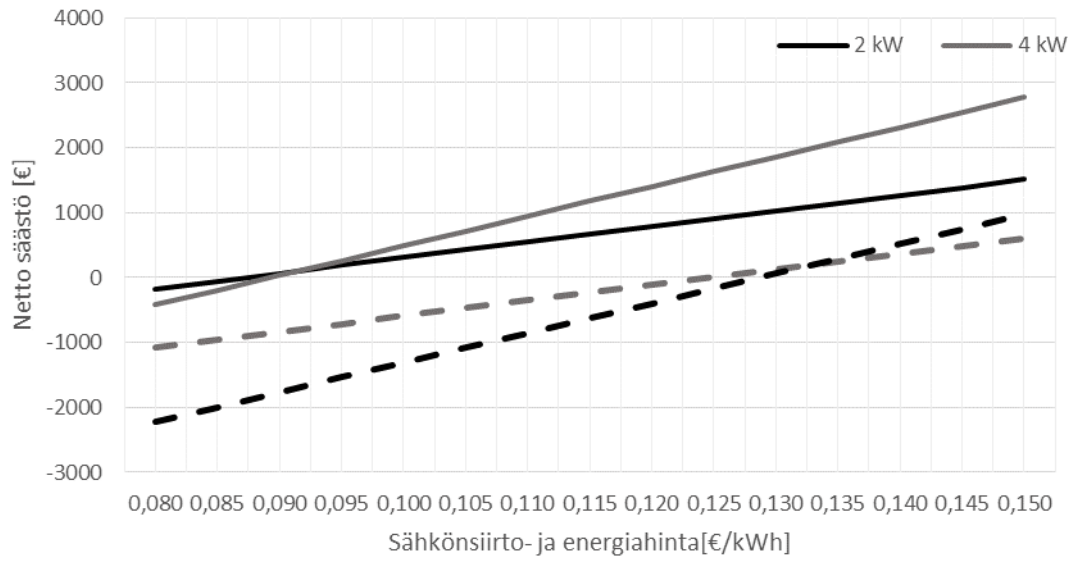
Kuvassa 3.6 on esitetty vakioparametreillä saatava nettosäästö voimalan asennushinnoilla 500 €/kW – 2500 €/kW. Tässä kohteessa investointituen kanssa päästäisiin nolla tulokseen jopa 1800 euron asennushinnalla/kilowatti. Mutta saadakseen investointitukea, tulisi yrityksen rakennuttaa voimala, eikä taloyhtiön. Mikäli yritys rakentaisi voimalan, saisi se myös vähentää arvonlisäverot. Kuten aiemminkin, isomman voimalaitoksen hyötysuhteen ollessa pienempi laskee sen kannattavuus nopeammin.



Kuva 3.5 Savitaipaleen kohteen voimalainvestoinnista saatava säästö eri asennushinnoilla. Kiinteä viiva kuvaa kannattavuutta investointituen kanssa ja katkoviiva ilman sitä.

3.2.2 Sähkön energia- ja siirtohinnan vaikutus investoinnin kannattavuuteen

Kuvassa 3.7 on esitetty sähkönhinnan vaikutus voimalaitosinvestoinnin kannattavuuteen. Nykyisellään kohteen energia- ja siirtohintat ovat yhteensä noin 11 snt/kWh. Kuvasta 3.7 nähdään, että ilman investointitukea sähkön hinnan pitäisi nousta ainakin kahdella sentillä, että investoinnista tulisi kannattava. Nettosäästöt on laskettu vakioparametrein (1,5 €/W; 5 % korko; 25 v pitoaika).



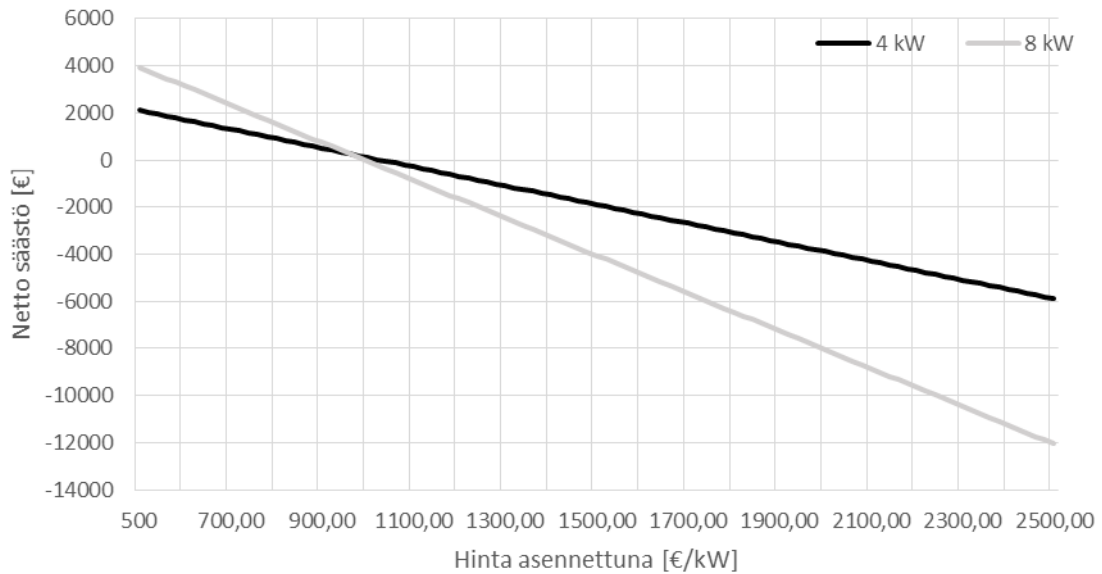
Kuva 3.6 Paneeli-investoinnista saatava nettosäästö pitoajalla. Kiinteä viiva kuvaa kannattavuutta investointituen kanssa ja katkoviiva ilman sitä.

3.3 Rivitaloyhtiö

Rivitaloyhtiön kohdalla valittiin tarkemmin tarkasteltavaksi voimalaitoskoot 4 kW ja 8 kW. Sähköhintana rivitaloasiakkaille käytettiin 15 snt/kWh (Tilastokeskus). Rivitaloon ei ole mahdollista saada investointitukea, eikä arvonlisäverovähennystä.

3.4 Paneelien asennushinnan vaikutus investoinnin kannattavuuteen

Kuvassa 3.8 on esitetty vakioparametreilla saatava nettosäästö voimalan asennushinnoilla 500 €/kW – 2500 €/kW. Rivitalokohteessa paneelien hinnan tulisi asennettuna olla alle tuhat euroa kilowatin, että päästäisiin edes nollatulokseen.

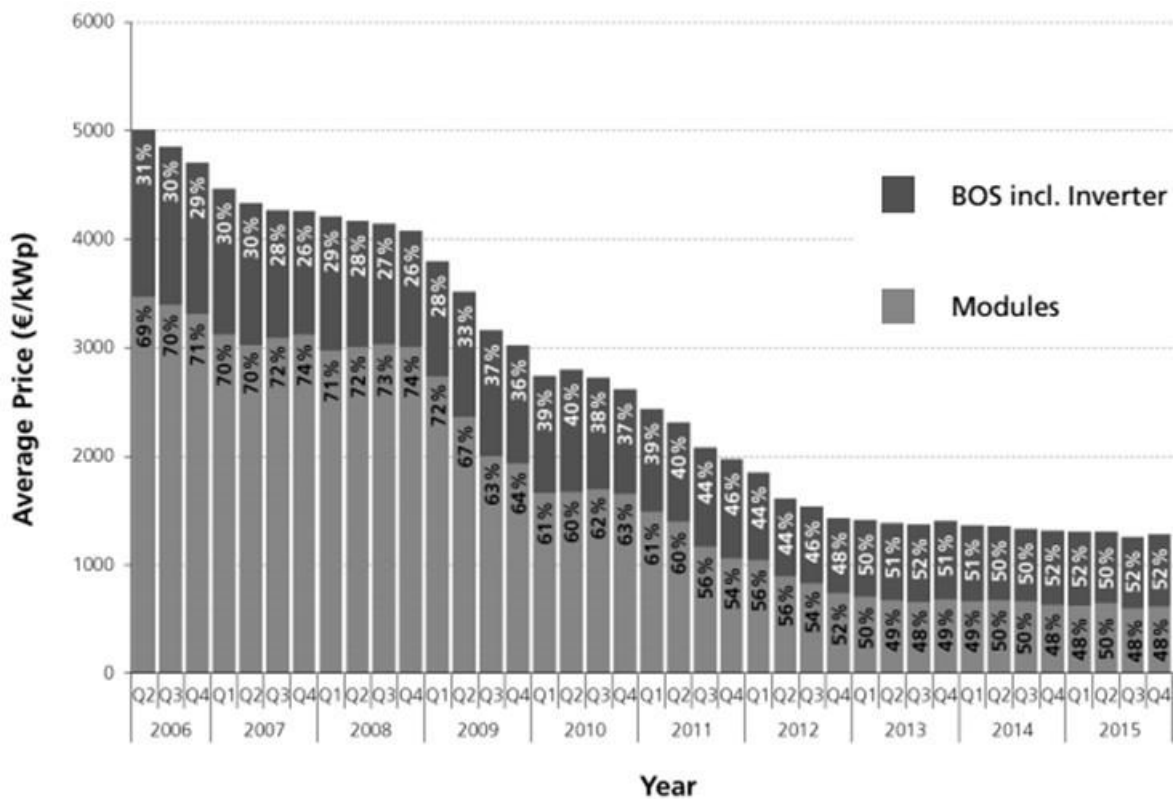


Kuva 3.7 Rivitaloyhtiössä saavutettava nettosäästö eri asennushinnoilla.

4. AURINKOPANEELIEN HINTAKEHITYS

Työn perusta on edelleen halvetuntuissa aurinkopaneeleissa. Paneelien hinta on laskenut alle kolmannekseen 10 vuodessa. Tässä työssä käytettiin paneelijärjestelmän hintana lähtökohtaisesti arvoa 1,5 €/W. Kuvassa 4.1 on yli 10 kW PV järjestelmien hintakehitys saksassa vuodesta 2006 lähtien.

Kuvasta nähdään, että vuoden 2006 hintatasosta ollaan tultu dramaattisesti alaspäin. Viimeisen parin vuoden aikana ei ole enää tapahtunut merkittävää muutosta. Kuvasta nähdään myös, että itse paneelien hinta on laskenut suhteessa huomattavasti enemmän kuin invertterin ja muiden osien. On kuitenkin täysin mahdollista, että paneelit tulevat halventumaan vielä lisää tuotantokapasiteetin edelleen noustessa.



Kuva 4.1 Yli 10 kW aurinkovoimalainvestointien kilowattihinta Saksassa vuodesta 2006 (Frauenhofer).

5. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän työn tavoite on ollut millä reunaehdoilla pienaurinkovoiman tuotanto on taloudellisesti kannattavaa. Tutkittavan kohteen omakäyttösuhteella on suuri merkitys investoinnin kannattavuuden suhteen. Kohteissa, joissa on korkea peruskuorma ja kuormitusprofiili on päivä-aika painotteinen, kuten esimerkiksi julkisissa rakennuksissa.

Pienissä kulutusyksiköissä pienvoimalan omakäyttösuhde laskee nopeasti, kuten Savitaipalelaisessa taloyhtiössä, mikä taas syö suuremman investoinnin kannattavuutta merkittävästi. Tässä kandidaatintyössä ei myöskään ole otettu huomioon pienvoimalasta aiheutuvia mahdollisia juoksevia kustannuksia, kuten huoltotoimenpiteitä.

Tällä hetkellä aurinkosähköjärjestelmien sähköntoimituksen hinnat ovat sillä tasolla, että ne tekevät kannattavuudesta haasteellista. Toisissa tapauksissa järjestelmän hankkimiseen on mahdollista saada tukea TEM:iltä tai niiden arvonlisävero kustannukset ovat vähennettävissä.

Jotta pienvoimaloita kannattaisi alkaa taloudellisessa mielessä asentamaan laajamittaisesti, aurinkosähköjärjestelmien hinnan laskun tulisi kehittyä jatkossakin. Myös toimitetun sähkön hinnan nousulla on myönteistä vaikutusta järjestelmien asennuksen taloudelliseen kannattavuuteen. Sähköenergian hinnannousu vaikuttaa nykytilanteessa epätodennäköiseltä. Myös paneelien hintatason lasku näyttää ainakin toistaiseksi pysähtyneen (Frauenhofer).

Lähteet

Tilastokeskus	2015, http://tilastokeskus.fi/til/ehi/2014/04/ehi_2014_04_2015-03-19_kuv_005_fi.html , viitattu 27.11.2015
Ahola, Jero	2013, Aurinkovoimalan tuotantotiedot
Villanen, Arja	2015, Ruokolahden Kirkonkylänkoulukeskuksen kulutustiedot
Tikka, Timo	2015, Savitaipalelaisen taloyhtiön ja yrityksen kulutustiedot
Ilmatieteen-laitos	2012, Kuukausittaiset säteilytehot http://ilmatieteenlaitos.fi/energialaskennan-testivuodet-nyky , viitattu 6.4.2015
Rexel Finland Oy	2015, http://www.rexel.fi/Products-and-services/Aurikoahko/Usein-kytytyt-kysymykset , viitattu 22.11.2015
Motiva	2015, http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/uusiutuva_energia_suomessa/uusiutuvan_energian_tuet/investointituet_uusiutuvalle_energialle , viitattu 22.11.2015
Suri, Marcel	2006, http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/download/PVGIS-EuropeSolarPotential.pdf , viitattu 27.11.2015
Fraunhofer	2016, http://www.ise.fraunhofer.de/en/downloads-englisch/pdf-files-englisch/photovoltaics-report-slides.pdf , viitattu 5.9.2016

LIITTEET

LIITE 1 Matlab koodi

```
clc
close all
clear all

%Kulutus ja tuotantotietojen lataus
load('taulut4.mat');

%Parametrit
kWhhinta = 0.095; %kilowattitunnin hinta €/kWh
    %Ruokolahti ~9,5 snt/kWh 0.095178
    %Taipalsaari ~ 7+4,04 .1104
    %Rivitalo ~12 snt
kWhkorvaus = 0.05 ; %kWh:stä saatava korvaus €/kWh

%pientalo 1.5 €/W
pankWhinta = 500; %kuinkapaljonmaksaa kW aurinkopaneelia,
Invtuki = 1;%0.7; %Tem investointituki
ALV = 1; %/ 1.24; %Alv-vähennykset

%Mikä kohde, mikä vuosi. ks Alla:
%Tuotannot1kW 1kW vuosil | vuosi2
%KulutusRL 2012 | 2013 | 2014
%KulutusTS 2013 | 2014 TS = savitaipale..
tuotanto = Tuotannot1kW;
tuotsar = 2;
kulutus = KulutusRL;
kulutsar = 1;

%Kuinka monen paneelin KokoHaarukka otetaan
%Suurin tarkasteltava voimalakoko
KokoHaarukka = 10 ;
%Kuinka monen euron tarkkuudella investointihintaa ruukataan
Askel = 20;
%Suurin tarkasteltava investointi hinta (+500€)
HintaHaarukka = 2000 + Askel;

%diskonnttauskorko
disk= 0.05; % 5%
pitoaika= 30; % 25 vuotta

#####
##
%alustus
Energiaastakayttoon(pitoaika, 8761, KokoHaarukka) = 0;
Energiaatuotettu(pitoaika, 8761, KokoHaarukka) = 0;
Energiaamytyy(pitoaika, 8761, KokoHaarukka) = 0;
Ekayttuotsuhde(pitoaika, 8761, KokoHaarukka) = 0;
Ekayttuotsuhde2 (KokoHaarukka) = 0;
Ekayttuotsuhde3 (KokoHaarukka) = 0;

Saasto_per_vuosi(pitoaika, 1,KokoHaarukka) = 0;
Saasto_per_vuosi2(pitoaika,KokoHaarukka) = 0;
Saastopitoaika(KokoHaarukka) = 0;

investointi(KokoHaarukka) = 0;
```

```

Saastonetto(KokoHaarukka) = 0;

investointiAH(HintaHaarukka / Askel, KokoHaarukka) = 0;
SaastonettoAH(HintaHaarukka / Askel, KokoHaarukka) = 0;

for lkm = 1 : KokoHaarukka

    for a = 1 : pitoaika %a eli vuosi
        tuotanto(:,3) = (1-0.006)^a * tuotanto(:,tuotsar);
        eroKT = kulutus(:,kulutsar) - lkm * tuotanto(:,3);
        for h = 1:8760

            Energiaatuotettu(a, h+1, lkm) = lkm*tuotanto(h,3);
            Energiaatuotettu(a, 1, lkm) = Energiaatuotettu(a, 1, lkm)
+ Energiaatuotettu(a, h+1, lkm);
            if eroKT(h) < 0
                Energiaamyyty(a, h+1, lkm) = lkm*tuotanto(h,3) - ku-
lutus(h,kulutsar);
                Energiaamyyty(a, 1, lkm) = Energiaamyyty(a, 1, lkm) +
Energiaamyyty(a, h+1, lkm);
                Energiastakayttoon(a, h+1, lkm) = kulutus(h,kulut-
sar);

                Energiastakayttoon(a, 1, lkm) = Energiastakayttoon(a,
1, lkm) + Energiastakayttoon(a, h+1,lkm);
                else
                    Energiastakayttoon(a, h+1, lkm) = lkm*tuotanto(h,3);
                    Energiastakayttoon(a, 1, lkm) = Energiastakayttoon(a,
1, lkm) + Energiastakayttoon(a, h+1, lkm);
                end

                if Energiaatuotettu(a, h+1, lkm) > 0
                    Ekayttuotsuhde(a, h+1, lkm) = Energiastakayttoon(a,
h+1, lkm) / Energiaatuotettu(a, h+1, lkm);
                else
                    Ekayttuotsuhde(a, h+1, lkm) = 1;
                end
            end
            Ekayttuotsuhde(a, 1, lkm) = Energiastakayttoon(a, 1, lkm) /
Energiaatuotettu(a, 1, lkm) ;

        end
        investointi(lkm) = pankWhinta * lkm * Invtuki * ALV;
    end

%kuukausittaiset omakäyttösuhteet
for a= 1:1
% Kk_tuotto(12,KokoHaarukka) = 0;
% Kk_Enestakayt(12,KokoHaarukka) = 0;
% Kk_kaytsuh(12, KokoHaarukka) = 0;

```

```

%
% for lkm = 1:KokoHaarukka
%   for h = 1 : 31*24 %tammikuu
%     kk = 1;
%     Kk_tuotto(kk,lkm) = Kk_tuotto(kk,lkm) + Energiaatuotettu(1, h+1,
lkm);
%     Kk_Enestakayt(kk,lkm) = Kk_Enestakayt(kk,lkm) + Energiasta-
kayttoon(1, h+1, lkm);
%     Kk_kaytsuh(kk, lkm) = Kk_Enestakayt(kk, lkm)/Kk_tuotto(kk,lkm);
%   end
%   for h = 31*24+1 : 59*24 %helmikuu
%     kk = 2;
%     Kk_tuotto(kk,lkm) = Kk_tuotto(kk,lkm) + Energiaatuotettu(1, h+1,
lkm);
%     Kk_Enestakayt(kk,lkm) = Kk_Enestakayt(kk,lkm) + Energiasta-
kayttoon(1, h+1, lkm);
%     Kk_kaytsuh(kk, lkm) = Kk_Enestakayt(kk, lkm)/Kk_tuotto(kk,lkm);
%   end
%   for h = 59*24+1 : 90*24 %maaliskuu
%     kk = 3;
%     Kk_tuotto(kk,lkm) = Kk_tuotto(kk,lkm) + Energiaatuotettu(1, h+1,
lkm);
%     Kk_Enestakayt(kk,lkm) = Kk_Enestakayt(kk,lkm) + Energiasta-
kayttoon(1, h+1, lkm);
%     Kk_kaytsuh(kk, lkm) = Kk_Enestakayt(kk, lkm)/Kk_tuotto(kk,lkm);
%   end
%   for h = 90*24+1 : 120*24 %huhtikuu
%     kk = 4;
%     Kk_tuotto(kk,lkm) = Kk_tuotto(kk,lkm) + Energiaatuotettu(1, h+1,
lkm);
%     Kk_Enestakayt(kk,lkm) = Kk_Enestakayt(kk,lkm) + Energiasta-
kayttoon(1, h+1, lkm);
%     Kk_kaytsuh(kk, lkm) = Kk_Enestakayt(kk, lkm)/Kk_tuotto(kk,lkm);
%   end
%   for h = 120*24+1 : 151*24 %toukokuu
%     kk = 5;
%     Kk_tuotto(kk,lkm) = Kk_tuotto(kk,lkm) + Energiaatuotettu(1, h+1,
lkm);
%     Kk_Enestakayt(kk,lkm) = Kk_Enestakayt(kk,lkm) + Energiasta-
kayttoon(1, h+1, lkm);
%     Kk_kaytsuh(kk, lkm) = Kk_Enestakayt(kk, lkm)/Kk_tuotto(kk,lkm);
%   end
%   for h = 151*24+1 : 181*24 %kesäkuu
%     kk = 6;
%     Kk_tuotto(kk,lkm) = Kk_tuotto(kk,lkm) + Energiaatuotettu(1, h+1,
lkm);
%     Kk_Enestakayt(kk,lkm) = Kk_Enestakayt(kk,lkm) + Energiasta-
kayttoon(1, h+1, lkm);
%     Kk_kaytsuh(kk, lkm) = Kk_Enestakayt(kk, lkm)/Kk_tuotto(kk,lkm);
%   end
%   for h = 181*24+1 : 212*24 %heinäkuu
%     kk = 7;
%     Kk_tuotto(kk,lkm) = Kk_tuotto(kk,lkm) + Energiaatuotettu(1, h+1,
lkm);
%     Kk_Enestakayt(kk,lkm) = Kk_Enestakayt(kk,lkm) + Energiasta-
kayttoon(1, h+1, lkm);
%     Kk_kaytsuh(kk, lkm) = Kk_Enestakayt(kk, lkm)/Kk_tuotto(kk,lkm);
%   end
%   for h = 212*24+1 : 243*24 %elokuu
%     kk = 8;

```

```

%      Kk_tuotto(kk,lkm) = Kk_tuotto(kk,lkm) + Energiaatuotettu(1, h+1,
lkm);
%      Kk_Enestakayt(kk,lkm) = Kk_Enestakayt(kk,lkm) + Energiasta-
kayttoon(1, h+1, lkm);
%      Kk_kaytsuh(kk, lkm) = Kk_Enestakayt(kk, lkm)/Kk_tuotto(kk,lkm);
%      end
%      for h = 243*24+1 : 273*24 %syyskuu
%      kk = 9;
%      Kk_tuotto(kk,lkm) = Kk_tuotto(kk,lkm) + Energiaatuotettu(1, h+1,
lkm);
%      Kk_Enestakayt(kk,lkm) = Kk_Enestakayt(kk,lkm) + Energiasta-
kayttoon(1, h+1, lkm);
%      Kk_kaytsuh(kk, lkm) = Kk_Enestakayt(kk, lkm)/Kk_tuotto(kk,lkm);
%      end
%      for h = 273*24+1 : 304*24 %lokakuu
%      kk = 10;
%      Kk_tuotto(kk,lkm) = Kk_tuotto(kk,lkm) + Energiaatuotettu(1, h+1,
lkm);
%      Kk_Enestakayt(kk,lkm) = Kk_Enestakayt(kk,lkm) + Energiasta-
kayttoon(1, h+1, lkm);
%      Kk_kaytsuh(kk, lkm) = Kk_Enestakayt(kk, lkm)/Kk_tuotto(kk,lkm);
%      end
%      for h = 304*24+1 : 334*24 %marraskuu
%      kk = 11;
%      Kk_tuotto(kk,lkm) = Kk_tuotto(kk,lkm) + Energiaatuotettu(1, h+1,
lkm);
%      Kk_Enestakayt(kk,lkm) = Kk_Enestakayt(kk,lkm) + Energiasta-
kayttoon(1, h+1, lkm);
%      Kk_kaytsuh(kk, lkm) = Kk_Enestakayt(kk, lkm)/Kk_tuotto(kk,lkm);
%      end
%      for h = 334*24+1 : 365*24 %joulukuu
%      kk = 12;
%      Kk_tuotto(kk,lkm) = Kk_tuotto(kk,lkm) + Energiaatuotettu(1, h+1,
lkm);
%      Kk_Enestakayt(kk,lkm) = Kk_Enestakayt(kk,lkm) + Energiasta-
kayttoon(1, h+1, lkm);
%      Kk_kaytsuh(kk, lkm) = Kk_Enestakayt(kk, lkm)/Kk_tuotto(kk,lkm);
%      end
% end
end

Saasto_per_vuosi = Energiastakayttoon(:,1,:) * kWhhinta + Energiaa-
myyty(:,1,:) * kWhkorvaus;

for i = 1 : pitoaika
    for j = 1 : KokoHaarukka
        Saasto_per_vuosi2(i,j) = Saasto_per_vuosi(i,1,j);
    end
end

#####
%Pitoajan muutoksen arviointi
Saastopitoaika2(pitoaika,KokoHaarukka) = 0;
Saastonetto_PA(pitoaika,KokoHaarukka) = 0;

for a = 1:pitoaika
    Saastopitoaika = Saastopitoaika +
Saasto_per_vuosi2(a,:)/((1+disk)^a);
end

```



```

    Saastopitoaika2(a,:) = Saastopitoaika;
    Saastonetto_PA(a,:) = Saastopitoaika2(a,:) - investointi*3;
    %Kerrotaan investointi 3:lla, jotta 500 -> 1500 e/kW

end
Saastopitoaika = Saastopitoaika2(20,:); %Defaultataan myöhemminkäytettävä
pitoajansäästö 25 vuoteen

%Perus casen säästön arviointi
Saastonetto = Saastopitoaika - investointi*3;

#####
%Investointihinnan varioinnin vaikutus säästöön
pankWhinta = pankWhinta - Askel; %easymode
for InvHin = Askel :Askel: Hintahaarukka %investointi hinta
    pankWhintaLoop = pankWhinta + InvHin;
    for lkm = 1 : KokoHaarukka
        investointiAH(InvHin / Askel,lkm) = pankWhintaLoop * lkm *
Invtuki * ALV;
    end
end

for i = 1 : Hintahaarukka / Askel
    SaastonettoAH(i,:) = Saastopitoaika - investointiAH (i,:);
end

#####
%Sähköhinnan varioinnin vaikutus säästöön
%Sähköhinnan vaihtelua arvioidaan välillä 8 - 15 snt/kWh
Saasto_per_vuosi_SH1(pitoaika, 1,KokoHaarukka) = 0;
Saasto_per_vuosi_SH(pitoaika,KokoHaarukka) = 0;
Saastopitoaika_SH(15,KokoHaarukka) = 0;
Saastonetto_SH(KokoHaarukka) = 0;
for Shin = 1 : 15 %sähkönhinta

    kWhhintaLoop = 0.075 + Shin * 0.005;
    Saasto_per_vuosi_SH1 = Energiastakayttoon(:,1,:) * kWhhintaLoop +
Energiaamyty(:,1,:) * kWhkorvaus;

    for i = 1 : pitoaika
        for j = 1 : KokoHaarukka
            Saasto_per_vuosi_SH(i,j) = Saasto_per_vuosi_SH1(i,1,j);
        end
    end

    for a = 1:pitoaika
        Saastopitoaika_SH(Shin,:) = Saastopitoaika_SH(Shin,:) +
Saasto_per_vuosi_SH(pitoaika,:)/((1+disk)^a);
    end
end
%Nettosäästö
for i = 1 : 15
    Saastonetto_SH(i,:) = Saastopitoaika_SH(i,:) - investointi*3;
    %Kertomalla investointi matriisi 3:lla saadaan skaalattua 500-
>1500

```

```

end

#####3
%Kuvaajien piirto
hold on

plot (Saastonetto, 'k');
plot (investointi/10, 'r');

figure
hold on
plot (SaastonettoAH (820/Askel,:), 'k');
% figure
% hold on
% plot (SaastonettoAH (:,15), 'b');
% plot (SaastonettoAH (:,40), 'r');
figure
hold on
for i = 1 : pitoaika
    for j = 1 : KokoHaarukka
        Ekayttuotsuhde2(i,j) = Ekayttuotsuhde(i,1,j);
        Ekayttuotsuhde3(j) = Ekayttuotsuhde3(j) + Ekayttuotsuhde2(i,j);
    end
end
end

Ekayttuotsuhde3 = Ekayttuotsuhde3 / pitoaika;

plot (Ekayttuotsuhde2(1,:)*100, 'b')
plot (Ekayttuotsuhde3(:)*100, 'r')
plot (Ekayttuotsuhde2(pitoaika,:)*100, 'k')
%close all

```