

Kalevi Suuniitty

Mikrotuotantolaitoksen kannattavuuden tarkastelu

Sähkötekniikan koulutusohjelma

2012

Mikrotuotantolaitoksen kannattavuuden tarkastelu

Suuniitty, Kalevi

Satakunnan ammattikorkeakoulu

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Kesäkuu 2012

Ohjaaja: Pulkkinen, Petteri

Sivumäärä: 33

Asiasanat: aurinkoenergia, mikrotuotanto, akkuteknologia

Tämä opinnäytetyö kohdistuu kausivarastointiteknologioiden tutkimukseen aurinkosähkötuotannossa. Tutkimustyön tavoitteena on saada aikaan myös konkreettisia lukuja sähkön mikrotuotantolaitoksen perustamisen kannattavuudesta rakennettuun ympäristöön. Vuodenajan vaikutusta tuotantoon vertaillaan toteuttamalla sama tutkimus tammikuussa, maaliskuussa ja toukokuussa. Sähkön hintalaskelmat perustuvat vastaavilla ajanjaksoilla Nord pool -sähköpörssissä toteutuneisiin hintoihin.

Tämä tutkimustyö on rajattu melko voimakkaasti, mutta tutkimustulokset antavat suhdelukuja ja ajatuksia mikrotuotantolaitoksen suunnitteluun myös erilaisessa ympäristössä.

Feasibility study of the small scale electricity production

Suuniitty, Kalevi

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Electrical Engineering

June 2012

Supervisor: Pulkkinen, Petteri

Number of pages: 33

Keywords: solar energy, electricity, small scale

In this thesis the feasibility of a small scale electricity production was studied. Solar energy is considered to be the source of energy. The study compares how the production depends on the weather and how the size of the used battery set affects the profitability of the system. Calculations are based on assumptions, so the figures are approximate.

SISÄLLYS

Tiivistelmä

Abstract

| | |
|-------------------------------|--|
| 1. Johdanto | 4 |
| 2. Smart Solar -hanke..... | Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty. |
| 3. Mikrotuotanto | 5 |
| 4. Aurinkoenergia | 5 |
| 5. Sähkömarkkinat | 8 |
| 5.1. Nord Pool..... | 8 |
| 5.2. SPOT-markkinat..... | 8 |
| 5.3. Johdannaismarkkinat..... | 8 |
| 5.4. ELBAS-markkinat | 9 |
| 5.5. Hinnan muodostus | 10 |
| 5.6. Nord Pool tilastoja..... | 10 |
| 6. Sähkön kuluttajahinta..... | 14 |
| 7. Tutkimustulokset | 16 |
| 8. Yhteenveto..... | 23 |

1. Johdanto

Tämä tutkimustyö kohdistuu toteuttamiskelpoisen kausivarastointiteknologian löytämiseen sähkön mikrotuotantolaitoksessa. Uusiutuvan energian käyttö on syystäkin mielenkiinnon ja tutkinnan kohteena; ymmärrämme miten hiilijalanjälkemme muodostuu ja tiedämme jatkuvan energiankulutuksen kasvun ongelmat. Toisaalta energiakaupan maksimaalinen voiton tavoittelu on nostanut energian hintaa niin, että erilaisten mikrotuotantolaitosten rakentaminen on ehkä jo kannattavaa. Tekniikka kehittyy ja kustannustehokkuus paranee, mutta milloin ja missä laajuudessa ”aurinkopaneelien asennukseen” kannattaa investoida riippuu ainakin seuraavista tekijöistä: kulutuksen kohteesta, kulutuksen määrästä, käytettävissä olevasta taloudellisesta panoksesta, harrastuksen vakavuudesta jne. Muuttujia on paljon, joten joudun tekemään tutkimukseeni melko tiukan rajauksen. Pysin pitämään valinnat markkinoille mielenkiintoisena mm. hintatasoa ja volyymeja ajatellen, vaikka tekniikka soveltuneekin paremmin uusiin innovatiivisiin kohteisiin. Kohteeksi olen valinnut sähkölämmitteisen omakotitalon, jonka sähkön kulutus on noin 15 MWh/vuosi. Suomessa on paljon vastaavia taloja, jotka rakennettiin edullisen sähkön aikaan, siis ennen pörssisähköä ja joiden omistajille sähkölaskun kevennys olisi lähes odottamaton ilon aihe. Tutkimuksessa aurinkoenergiaa vastaanotetaan 2000 W nimellistehoisella vaakatasoon asennetulla aurinkopaneelilla Porin leveyspiirillä 61,5. Sähkön tuottaminen kilpailukykyisesti aurinkoenergiasta täällä pohjolassa on haasteellista - kun aurinkoenergian tuotto on parhaimmillaan, on meillä sähkön hinta alimmillaan ja päinvastoin.

Tukkusähkön hinta määritellään spoolissa tunnin jaksoina, hintataso ja hintavaihtelu ovat suurimmillaan talvipäivien kulutushuipun aikaan. Myös sähkön jälleenmyyjillä on halua siirtyä reaaliaikaiseen asiakaslaskutukseen. Uusi sähkömittaritekniikka mahdollistaa reaaliaikaisen kuluttajakohtaisen sähkömittauksen ja tuleekin varmaan käyttöön lähitulevaisuudessa.

Tämän tutkimustyön yhtenä kohteena on hinnanvaihtelusyklaritien tutkiminen ja toisaalta huippuhintatuntien tasaaminen kausivarastoinnilla. On ilmeistä, että sähkön hinta on suoraan verrannollinen kulutuksen määrään ja kääntäen tarjontaan. Lisäksi tutkimustyö kohdistuu tarjolla olevaan akkuteknologiaan ja mahdollisuuteen käyttää

sähköauton akustoa kausivarastona. Tämän tutkimustyön tarkoitus ei ole kurkottaa aurinkoon, vaan se vastaanottaa aurinkoenergiaa tukevasti maanpinnalla.

2. Mikrotuotanto

Mikrotuotantolaitoksella tarkoitetaan pienjänniteverkkoon kytkettyä sähköntuotantolaitosta, jonka ensisijainen tarkoitus on tuottaa sähköä kulutuskohteeseen, verkkoon syöttö on satunnaista tai vähäistä. Yksivaiheisen tuotannon kokoraja on 16 A (suurin laitoksen syöttämä virta). Tällaisissa tuotantolaitoksissa verkkoon syöttäminen ei ole ensisijainen sähköntuotantomotiivi. Mikrotuotantoa ovat siis lähinnä yksityisten kuluttajien tai pienyritysten hankkimat pienet sähköntuotantolaitokset, jotka liitetään heidän kulutuskohteensa sähköjärjestelmään. Yleisimpiä tuotantolaitostyyppisiä ovat tällä hetkellä tuulivoimalat, aurinkovoimalat sekä hyvin pienet biopolttolaitokset. Liian suuri yksivaiheinen tuotanto aiheuttaa epätasapainoa verkkoon ja vaarantaa verkon turvallisuuden ja luotettavuuden. Liittymisen maksimisulakekooksi yksivaiheiselle tuotannolle on 16 A. Täten yksivaiheisen mikrotuotantolaitoksen maksimiteho saa olla noin 3,7 kVA. Laitoksen nimellistehon suuruus on pienempi ja riippuu laitoksen ominaisuuksista.

3. Aurinkoenergia

Auringon säteilyn voimakkuus S tietyllä paikkakunnalla voidaan laskea yhtälöstä

$$S = S_0 \sin \alpha \quad (1)$$

missä

$S_0 \approx 1000 \text{ W/m}^2$ on auringon säteilyn voimakkuus maan pinnalla silloin, kun aurinko on suoraan yläpuolella

$\alpha = \alpha$ auringon korkeuskulma

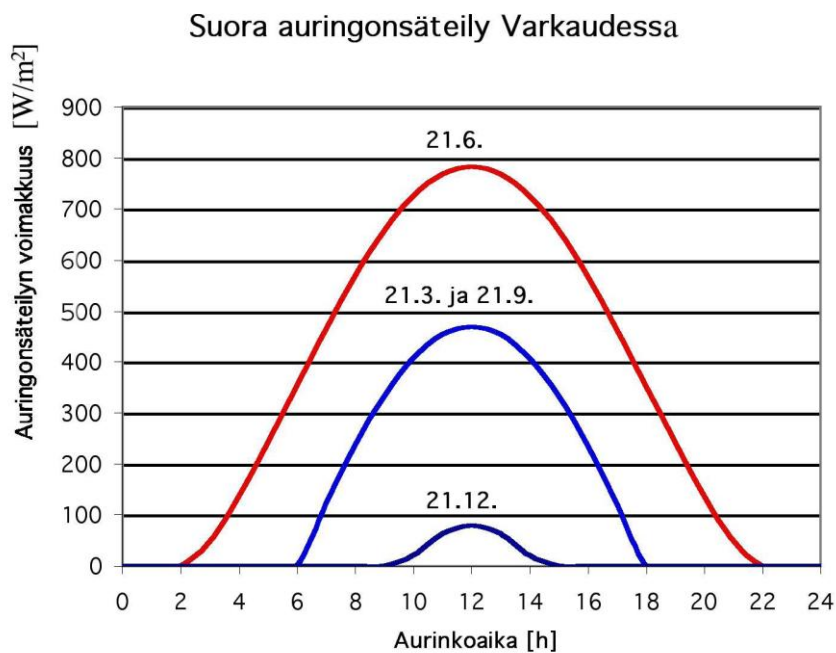
Korkeuskulma riippuu paikkakunnan leveyspiiristä ϕ , auringon deklinaatiosta δ ja kellonajasta (tuntikulmasta h). Korkeuskulma α voidaan laskea yhtälöstä

$$\sin \alpha = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos h \quad (2)$$

Koska maapallo pyörii kerran vuorokaudessa akselinsa ympäri, maapallo kiertyy tunnissa $360^\circ/24 = 15^\circ$. Tuntikulma saadaan siten laskettua yhtälöstä

$$h = 15^\circ (\text{Aurinkoaika} - 12) \quad (3)$$

Kesäajan vuoksi aurinko on kesällä etelässä noin klo 13. Sen vuoksi aurinkoaika on tuntia vähemmän kuin kellonaika.

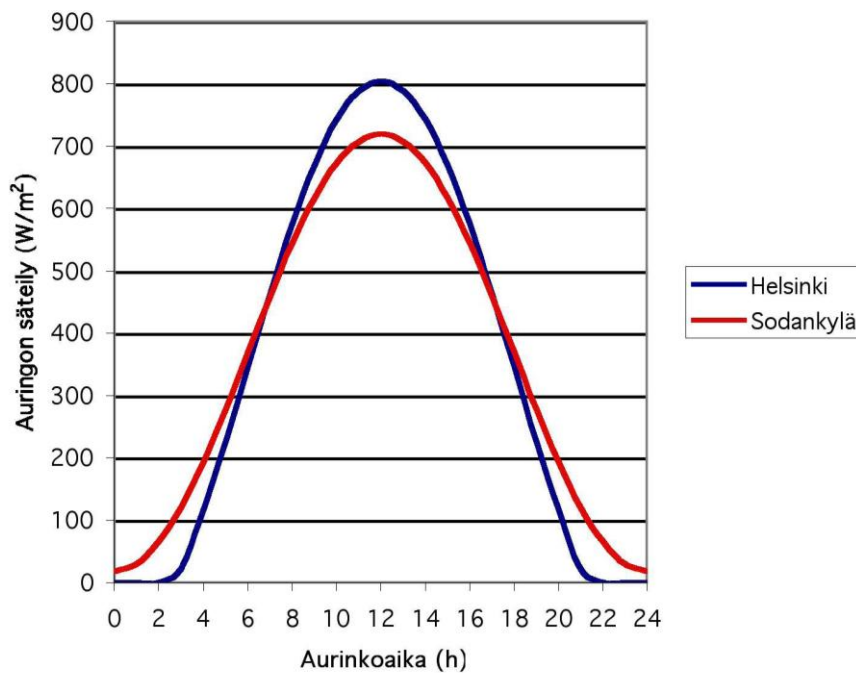


Kuva 1 Auringon säteilyn laskettu voimakkuus Varkaudessa tasauspäivien aikana

Kuvassa 1 on esitetty auringonsäteilyn laskettu voimakkuus Varkaudessa. Suurimmillaan säteily on kesäpäivän tasauksen aikana, jolloin säteilyä voi kirkkaana päivänä olla klo 8 ja klo 16 välisenä aikana 550-780 W/m². Kevät- ja syyspäiväntasauksen aikaan säteilyä on keskipäivälläkin alle 500 W/m² ja talvipäivän seisahduksen aikaan korkeintaan 80 W/m². Edellä olevien vuorokausien yhteenlasketut säteilyenergiat ovat 8,7 kWh/m² (21.6.), 3,6 kWh/m² (21.3. ja 21.9.)

ja 0,2/m² kWh (21.12.). (Myöhemmin esitetyistä Ilmatieteen laitoksen tilastoista nähdään, että koko vuoden aikana kertynyt säteilyenergia Suomessa on hieman alle 1000 kWh/m²/vuosi.) Näissä laskelmissa ei ole huomioitu pilvisyyttä ja muita säteilyn heikkenemiseen vaikuttavia tekijöitä, joten nämä laskelmat on tulkittava suurimmiksi mahdollisiksi säteilymääriksi.

Kuvassa 2 on auringon säteilyn laskettu voimakkuus kesäpäivän tasauksena (21.6.) Helsingissä ja Sodankylässä. Koska Sodankylässä aurinko ei laske ollenkaan, on auringon säteilyn määrä suurempi ennen klo 7:ä (aurinkoaika klo 6) ja klo 19:a jälkeen, mutta keskipäivällä Helsingissä voi säteilyn määrä kirkkaalla ilmalla olla noin 800 W/m², kun se Sodankylässä voi enimmillään olla hieman yli 700 W/m². Kokonaissäteilyenergia kesäpäivän tasauksena on kuitenkin likimain yhtäsuuri eli 8,8 kWh molemmilla paikkakunnilla. Porissa (61,5°) auringon säteilyn määrä on parhaimmillaan n.790 W/m²



Kuva 2 Lasketut auringon säteilyn voimakkuudet Helsingissä (60°) ja Sodankylässä (67,5°) 21.6.

4. Sähkömarkkinat

4.1. Nord Pool

Nord Pool on pohjoismainen (tarkemmin Suomen, Ruotsin, Norjan ja Tanskan) sähköpörssi. Nord Pool on tyypillinen raaka-ainepörssi, eli siellä käydään kauppaa arvopapereiden asemesta muilla hyödykkeillä, tässä tapauksessa sähköllä. Nord Poolissa on kolme keskeistä kauppapaikkaa: seuraavan päivän sähkön hinnan tunnin tarkkuudella määräävä Spot-markkinat, sähkön finanssituotteita vaihtava johdannaismarkkinat sekä ns.Elbas-tasesäätömarkkinat.

4.2. SPOT-markkinat

Spot-markkinoilla määräytyy seuraavan päivän sähkön hinta kysynnän ja tarjonnan mukaan. Keskeisiä toimijoita näillä markkinoilla ovat tarjontapuolella voimalaitoksia omistavat sähkön tuottajat ja ostajapuolella sähkön vähittäismyyjät sekä suuret teollisuuslaitokset, jotka ostavat tarvitsemansa sähkön suoraan pörssistä.

Spot-markkinoilla toimijat lähettävät päivittäin klo 12 CET (klo 13 Suomen aikaa) mennessä tarjouksensa Nord Pooliin, jossa he kertovat, millä hinnalla ja kuinka suuren määrän he ovat valmiita ostamaan tai myymään sähköä kullakin tunnilla. Näiden tarjousten perusteella Nord Pool laskee aggregoidut kysyntä- ja tarjontakäyrät, joiden leikkauspisteessä kysynnän ja tarjonnan lain mukaisesti määräytyy sähkön spot-hinta.

4.3. Johdannaismarkkinat

Johdannaismarkkinoilla käydään kauppaa sähkön hintaan liittyvillä johdannaistuotteilla, kuten futuureilla, termiineillä ja optioilla. Johdannaismarkkinoiden keskeisenä ideana on luoda ennustettavuutta alan yrityksille. Spot-markkinoilla sähkön hinta määräytyy vain seuraavalle päivälle, mutta useimmat yritykset haluavat tietää ja suunnitella kassavirtansa paljon kauemmaksi tulevaisuuteen.

Johdannaistuotteiden avulla on mahdollista myydä tai ostaa sähköä kiinteään hintaa määrätyllä aikavälillä tulevaisuudessa. Vaihdetuimmat johdannaissopimukset koskevat seuraavia viikkoja, kuukausia, vuosineljänneksiä tai kokonaisia vuosia. Kaikkein aktiivisimmin kauppaa käydään seuraavan vuosineljänneksen ja seuraavan vuoden sopimuksilla. Niinpä myös sähkön hinnan noususta tai laskusta puhuttaessa viitataan useimmiten seuraavan kvartaalin johdannaishintaan, eikä niinkään spot-hintaan.

Johdannaissopimukset ovat puhtaita finanssituotteita, eli niihin ei suoraan liity velvollisuutta ostaa tai myydä fyysistä sähköä, vaan ainoastaan raha vaihtaa omistajaa. Esimerkiksi jos myy etukäteen 5 suuruisen ja yhden viikon (168 tuntia) mittaisen futuuri-sopimuksen 37 eurolla/MWh ja viikon spot-hinnaksi muodostuu 36,50 €/MWh, niin ostaja joutuu maksamaan spot- ja futuurihinnan välisen erotuksen myyjälle: $(37 \text{ €/MWh} - 36,50 \text{ €/MWh}) \times 5 \text{ MW} \times 168 \text{ h} = 420 \text{ €}$. Vastaavasti jos spot-hinta olisi ollut korkeampi, niin myyjä olisi maksanut erotuksen ostajalle.

Johdannaismarkkinoiden luonne puhtaina finanssimarkkinoina mahdollistaa erilaisten rahoitusalan yritysten toiminnan näillä markkinoilla, mikä lisää tuntuvasti johdannaismarkkinoiden likviditeettiä. Johdannaisia vaihdetaan vuodessa tuntuvasti enemmän kuin spot-markkinoilla käydään kauppaa ja jopa enemmän kuin vuotuinen sähkönkulutus Nord Poolin alueella.

4.4. ELBAS-markkinat

Elbas- eli tasesähkömarkkinoilla kaupankäynti on huomattavasti spot- ja johdannaismarkkinoita pienempää. Elbas-kauppaa käydään spot-hinnan muodostumisen jälkeen seuraavalle päivälle. Markkinat on tarkoitettu ennen kaikkea poikkeustilanteiden hallintaan. Jos esimerkiksi voimalaitos, jonka tuotanto on aiemmin myyty spot-markkinoilla, yllättäen rikkoontuu, niin sen tuotantoa vastaava määrä voidaan ostaa Elbas-markkinoilta eikä sähkön toimitus häiriinny.

4.5. Hinnan muodostus

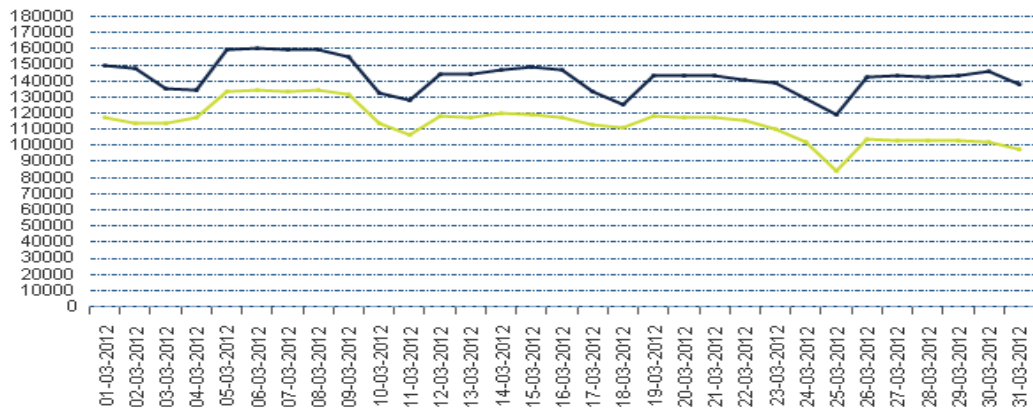
Pohjoismaissa suurin vaikutus hinnanmuodostumiseen on sähkömarkkinoilla Nord Pool. Historiallisesti katsottuna normaalina vesivuotena (vesivarannot) Pohjoismaissa on riittävästi tuotantokapasiteettia kattamaan kysyntää, mutta hetkittäin kulutuksen kasvaessa joudutaan ottamaan käyttöön järjestyksessä marginaalikustannuksiltaan ja päästöoikeuksiltaan kalliimpaa tuotantokapasiteettia voimapolttoaineiden kivihiilen, öljyn ja maakaasun käyttämisen lisäämistä sähköntuotannossa ja siitä seuraten aiheutuu sähkön hinnan nousemista. Hinnan nousua on ajanut myös kulutuksen voimakas kasvu viime vuosina. Toinen merkittävä selittäjä hinnan nousulle on, että tuotantokapasiteetti ei ole kasvanut kysynnän mukaisesti.

Vesivoiman vaikutus sähkön spot-hinnan (Nord Pool) muodostumiseen on rajallinen. Se korreloi jonkun verran hintamuutoksien kanssa ja on yksittäinen tekijä selittämään volatilitteettia markkinoilla. Vuotuiset vesivarannot voivat heilahdella peräti ± 60 TWh:a vuosittain. Sähkön markkinahinta määräytyy kunkin hetken kalleimman tarvittavan varavoimalaitoksen rajakustannuksen mukaan.

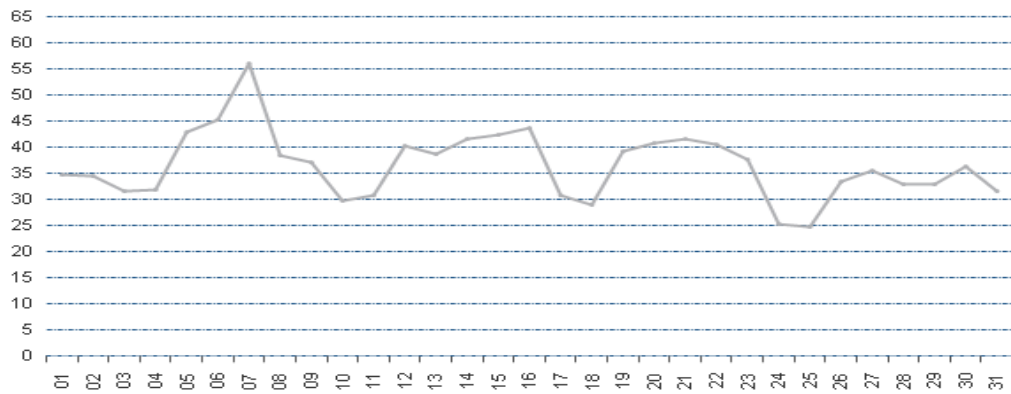
Sähkön tukkuhinta on toistaiseksi laskenut Pohjoismaissa runsassateisina aikoina. Kauppalehden mukaan jatkossa sähkön hinnan ja vesitilanteen välinen yhteys heikkenee. Kesällä 2009 pohjoismaisen sähköpörssi Nord Pool ja Saksan sähköpörssi EEX liittyvät yhdeksi markkina-alueeksi. Kalliimman eurooppalaisen sähkön pelätään nostavan hintoja Pohjolassa. Ainakin pidemmällä aikavälillä hintatason ennustetaan yhdentyvän Euroopan kanssa.

4.6. Nord Pool tilastoja

Kuvista 3 ja 4 (maaliskuu 2012) voi erottaa sähkönkulutuksen viikkosyklin, viikonloppuina kulutus on pienempi. Kun kulutus kasvaa, pitää tuotantoa lisätä; mukaan tulee orgaanista polttoainetta käyttäviä pienempiä voimaloita, joilla tuotanto on kalliimpaa. Sähkömarkkinoilla tukkuhinta määräytyy kalliimman käytössä olevan tuotannon mukaan.

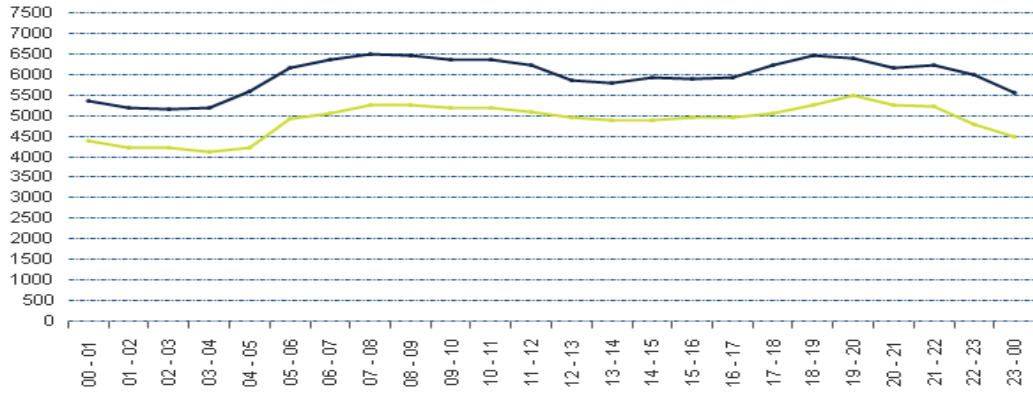


Kuva 3 Suomen sähkötukkukauppa [OSTO] [MYynti]

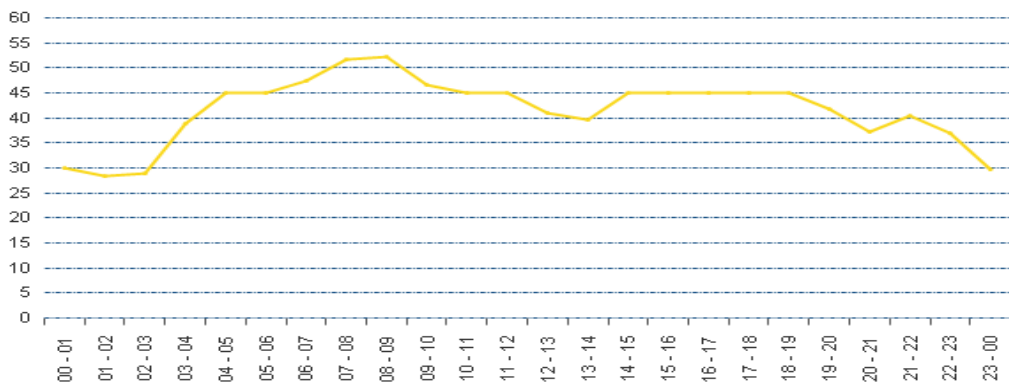


Kuva 4 Sähkön tukkuhinta Suomeen

Kuvista 5 ja 6 (keskiviikko maaliskuun 21. 2012) voi erottaa vuorokausisyklin, sekä havaita tässäkin hinnan riippuvuutta kulutuksesta lähes tunneittain. Yöllä sähkön kulutus on luonnollisesti pienempi kuin päivällä: ”yhteiskunnan rattaiden pyöriessä täydellä vauhdilla”.

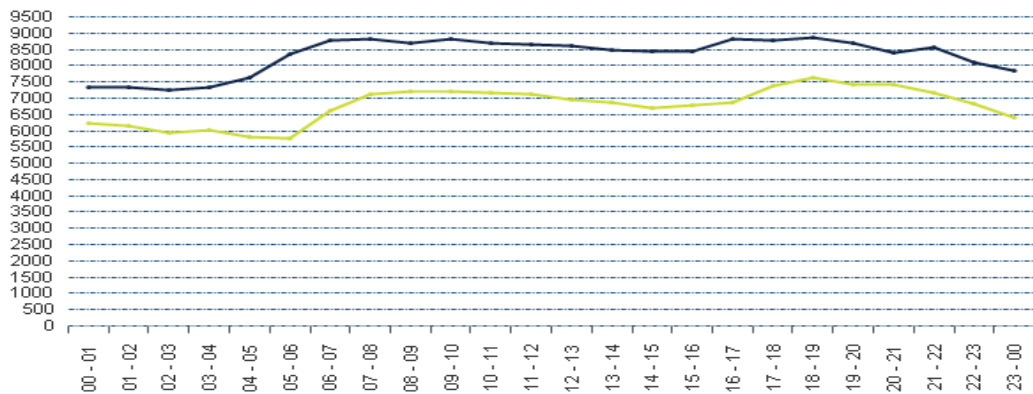


Kuva 5 Suomen sähkötukkukauppa [OSTO] [MYynti]

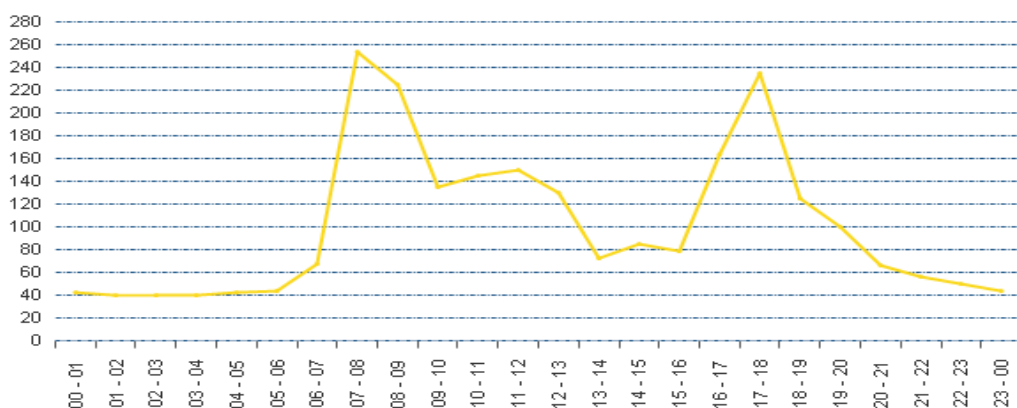


Kuva 6 Sähkön tukkuhinta Suomeen

Kulutushuipun aikaan, esim. ma 2.2.2012 hintavaihtelu on suuri $220\text{€}/\text{MWh} = 22\text{cent}/\text{kWh}$, kuvat 7 ja 8. Tämän kulutushuipun aikaan kokonaiskulutus lähentelee 9000 MWh/h. Näin suuren sähköenergian tarpeen tyydyttämiseksi tarvitaan maakaasulla ja kivihieillä toimivaa tuotantoa jo paljon, ehkä öljyäkin on käytetty. Tukkuhinta on tässä yli 16 -kertainen verrattuna halvimpaan hintaan tutkimuksen aikana.

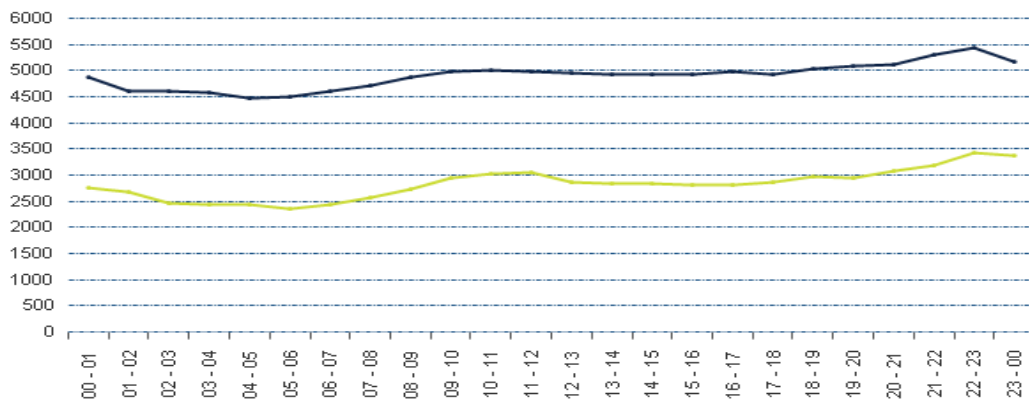


Kuva 7 Suomen sähkötukkukauppa [OSTO] [MYynti], maanantai 2.2.2012

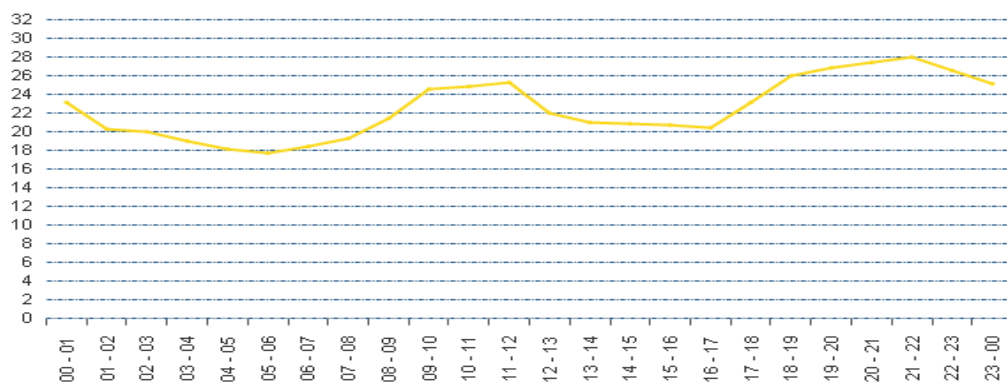


Kuva 8 Sähkön tukkuhinta Suomeen, maanantai 2.2.2012

Kulutuksen ollessa alhainen esim. su 29.4.2012 hintavaihtelu on pieni 10€/MWh = 1cent/kWh, kuvat 9 ja 10. Tällä kulutustasolla 5000 MWh/h tuotantoon riittää edullisemmin sähköä tuottavien ydinvoima- ja vesivoimalaitosten kapasiteetti, tästä johtuen hintataso on merkittävästi edullisempi kuin edellä.



Kuva 9 Suomen sähkötukkukauppa [OSTO] [MYNTI], sunnuntai 29.4.2012



Kuva 10 Sähkön tukkuhinta Suomeen, sunnuntai 29.4.2012

5. Sähkön kuluttajahinta

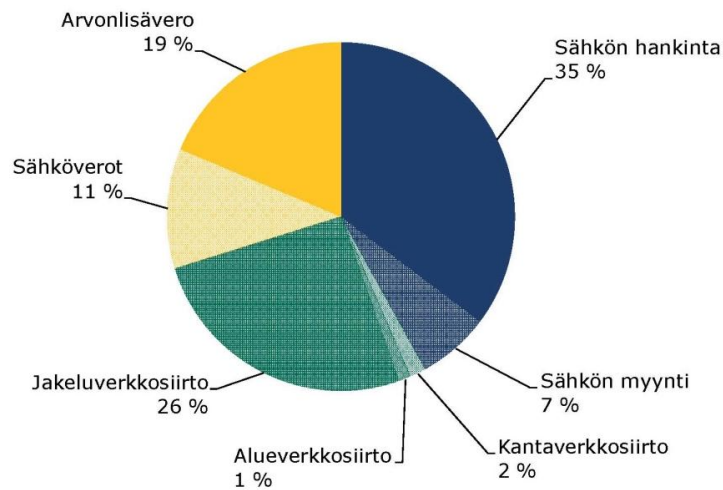
Verkkopalvelujen hinta syntyy sähkön siirto hinnasta ja erilaisista veroista. Sähkön siirtäminen paikasta toiseen maksaa, sillä se edellyttää kunnossa olevia teknisiä järjestelmiä. Itse siirto jakautuu kantaverkko-, alueverkko- ja jakeluverkkosiirtoon, joista jakeluverkkosiirto muodostaa suuren osan verkkopalvelun hintaa. Siirto hinnasta kerätään myös erilaisia veroja, joilla valtio kattaa omia kulujaan.

Siirtomaksulla katetaan sähköyhtiön sähköverkkotoimintaan liittyvät palvelut. Kustannuksia aiheuttavat mm. verkkoon sitoutunut pääoma, sähköverkon ylläpito eli verkon kunnostaminen, kehittäminen ja uudistaminen sekä kokonaan uuden verkon rakentaminen. Palvelun hintaan sisältyy sähköverkon käytönvalvonta ja vikapalvelu 24 tuntia vuorokaudessa, vikojen korjaus kaikissa tilanteissa sekä asiakkaiden puhelin- ja internetpalvelut ja sähkön kulutuksen mittaus. Palveluun kuuluvat myös esimerkiksi johtokatu- ja ylläpito raivauksineen. Lisäksi hinta sisältää valtakunnallisen kantaverkon rakentamisen ja ylläpidon kustannuksia.

Sähköenergian myyntihinta sisältää sähkön tukkumarkkinahinnan lisäksi myyntikustannukset. Sähkönmyyjä voi hankkia myymänsä sähkön mm. omilta voimalaitoksilta, pitkäaikaisten sopimusten pohjalta tai pohjoismaisesta sähköpörssistä.

Sähkön myyntikustannuksilla tarkoitetaan normaaleja myynnin ja markkinoinnin kustannuksia, kuten mm. laskutuksesta ja muusta asiakaspalvelusta sekä hallinnosta aiheutuvia kustannuksia.

Tyypillisen kotitalouskäyttäjän sähkön loppuhinnasta siirtokulut veroineen ovat hieman alle puolet sähkön kokonaishinnasta. Tähän osuuteen ei voi vaikuttaa sähköenergiaa kilpailuttamalla, vaan kilpailuttaminen vaikuttaa ainoastaan sähkön hankintaan ja sen arvonlisäveroon. Ilman veroja siirtokulut ovat noin kolmannes kotitaloussähkön kokonaishinnasta.



1.4.2011 yht. 15,35 snt/kWh

Kuva 11 Kotitalouskuluttajan hinnan muodostuminen, Energiarasto

Verkkotoiminnasta on säädetty sähkömarkkina-
laissa. Sen mukaan sähköverkko muodostaa ns. luonnollisen monopolin, koska rinnakkaisten verkkojen rakentaminen ja ylläpito ei kustannusten vuoksi olisi taloudellisesti mahdollista ja järkevää. Verkkotoimintaa valvoo Suomessa Energiamarkkinavirasto.

Vuoden 2004 lopussa voimaan tulleen sähkömarkkinalain muutoksen myötä sähkön siirron hinnoittelun valvonnassa siirryttiin osittain etukäteiseen valvontaan, jossa Energiamarkkinavirasto vahvistaa etukäteen sähköverkkotoiminnan sallitun tuoton ja sähkön siirrosta perittävien maksujen laskentamenetelmät muutaman vuoden mittaisille valvontajaksoille.

Sähkölaskujen etäluenta mahdollistaa sähkönkulutuksen tarkkailun reaaliaikaisesti. Kuva 12 esittää Helsingin Energian sävel+ -palvelua, joka antaa käyttöpaikan kuukausittaisen kulutuksen, tulossa on tuntikohtainen tarkkailu. Asiakas kirjautuu palveluun tunnuksillaan, jossa hän voi tarkastella kulutushistoriaansa sekä asettaa säästötavoitteita tulevaisuuteen.

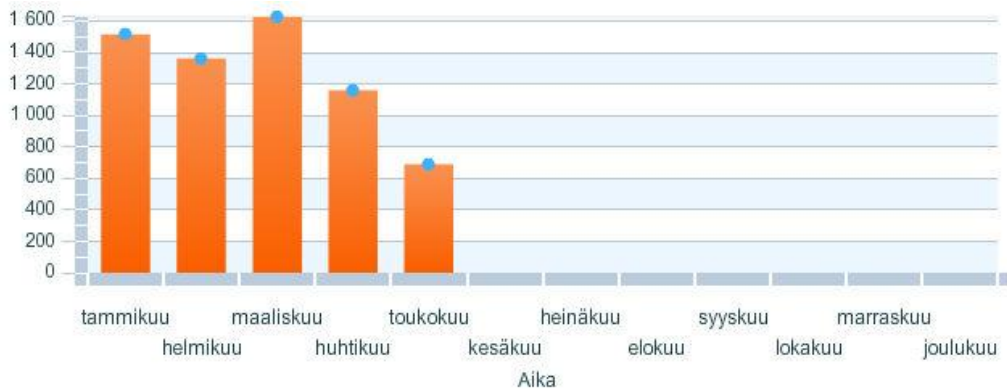
Sähkön käyttö

Käyttöpaikan numero: 2409844

Raportti ajanjaksolle: Käyttö 1/2012 - 12/2012

Raportti luotu: 25.5.2012 klo 17:45:29

kWh



Käyttö

Summa: 6 347,06 kWh

Keskiarvo: 528,92 kWh

Minimi: 689,14 kWh (5/2012)

Maksimi: 1 626,00 kWh (3/2012)

©

[Kuva 12 Näkymä Helsingin Energian sävel+ -palvelusta](#)

6. Tutkimustulokset

Tutkimuksen kohteena on kolme viikon mittaista jaksoa: tammikuussa, maaliskuussa ja toukokuussa, jakso alkaa aina torstaina klo 00 ja päättyy keskiviikkona klo 24.

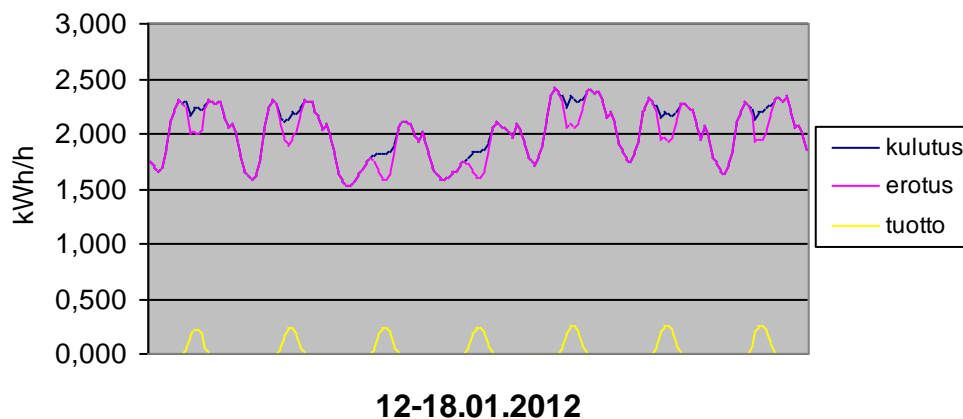
Teoreettinen aurinkopaneelin tuotto on laskettu tunneittain 2000W vaakataason paneelille Porin leveyspiirillä 61,5, kappaleessa 4. esitettyjen laskentamallien mukaisesti.

Koska tuntikulutustietoja ei ollut energiakaupasta vielä saatavana, kohteen sähkönkulutus / tunti on saatu suhteuttamalla kuukausikulutustieto suomen kokonaiskulutukseen tunneittain. Saadut arvot eivät siis ole todellisia, mutta täysin mahdollisia.

Sähkön kuluttajahinta on laskettu kunkin jakson aikana tunneittain toteutuneista Nord Pool -tukkuhinnoista. Periaatteella tukkuhinta on 35 % kuluttajahinnasta. Akun käyttö kausivarastona ja kulutuksen tasaajana on mallinnettu manuaalisesti Excel -taulukossa akun kapasiteettiä raja-arvona käyttäen. Kaikki laskenta on suoritettu Excel-taulukoissa.

Kuva 13 esittää kohteen sähkönkulutuksen ja 2000W:n aurinkopaneelin laskennallisen tuoton 12-18.01. 2012. *Erotus-käyrä* osoittaa aurinkopaneelin tuoton vaikutuksen kun saatava energia siirretään reaaliaikaisesti kulutukseen. Aurinkopaneelin tuoton huippuarvo /h on jakson alussa 225Wh, jakson lopussa 260Wh. Kokonaistuotto viikon ajalla on 6,84 kWh ja saatava hyöty tuntihinnoin laskettuna on 80,26 snt/vk. Aurinkopaneelin tuotto on pieni ja se voidaan hyödyntää reaaliaikaisesti kulutuksessa.

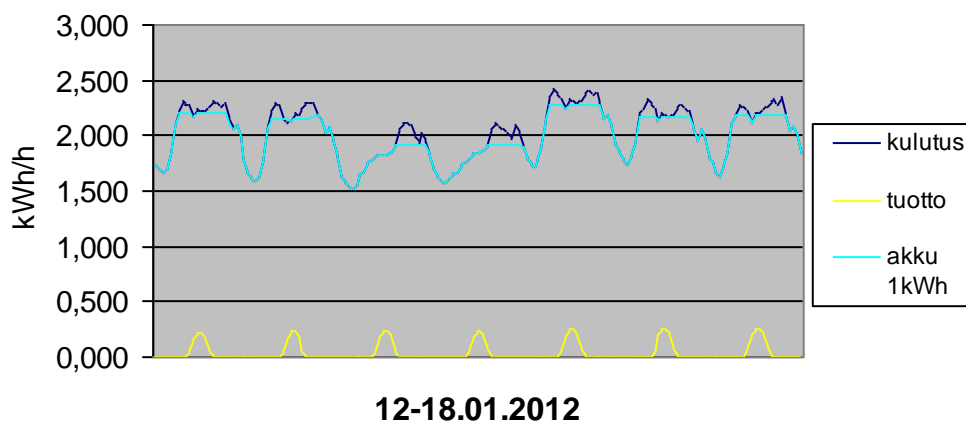
sähkön kulutus, paneelin tuotto



Kuva 13 Kohteen sähkönkulutus ja 2000W:n aurinkopaneelin laskennallinen tuotto

Kuva 14 esittää Kohteen sähkönkulutuksen ja 2000W:n aurinkopaneelin laskennallinen tuoton 12-18.01. 2012. *Akku 1kWh* -käyrä osoittaa miten akkua hyödyntämällä aurinkopaneelistä saatavalla energialla voidaan tasoittaa kohteen huippukulutusta. Kun kohteessa käytetään 1kWh:n akkua, voidaan aurinkopaneelin tuotolla vähentää huippukulutusta. Tässä jaksossa paneelin päivätuotto on juuri akkukapasiteetin 1kWh suuruinen, mutta edustaa vain noin puolen tunnin kulutusta -hyöty on suhteellisen pieni. Karkeasti ajateltuna saadaan tammikuussa 2000 W paneelista 1000 Wh tuotto päivän aikana. Saatava lisähyöty 1 kWh akun käytöstä on tuntihinnoin laskettuna 2,42 snt/vk.

sähkön kulutus, paneelin tuotto + akku 1kWh

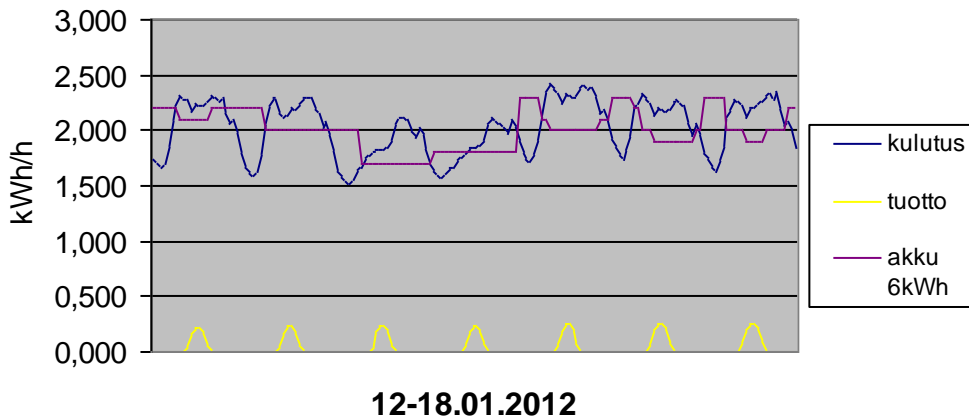


Kuva 14 Kohteen sähkönkulutus ja 2000W:n aurinkopaneelin laskennallinen tuotto 12.-18.1.2012

Kuva 15 esittää kohteen sähkönkulutuksen ja 2000W:n aurinkopaneelin laskennallisen tuoton 12-18.01. 2012. *Akku 6kWh* – käyrä osoittaa miten akkua hyödyntämällä aurinkopaneelista saatavalla energialla voidaan tasoittaa kohteen huippukulutusta.

Kun kohteessa käytetään 6kWh:n akkua, voidaan aurinkopaneelin tuotolla vähentää huippukulutusta. Lisäksi tässä mallinnoksessa on hyödynnetty akun koko kapasiteettiä ”siirtämään” kulutusta edullisimmille tunneille, - akkua ladataan halvan hinnan aikana ja puretaan kalliin. Saatava lisähyöty 6kWh:n akun käytöstä on tuntihinnoin laskettuna 37,73 snt/vk.

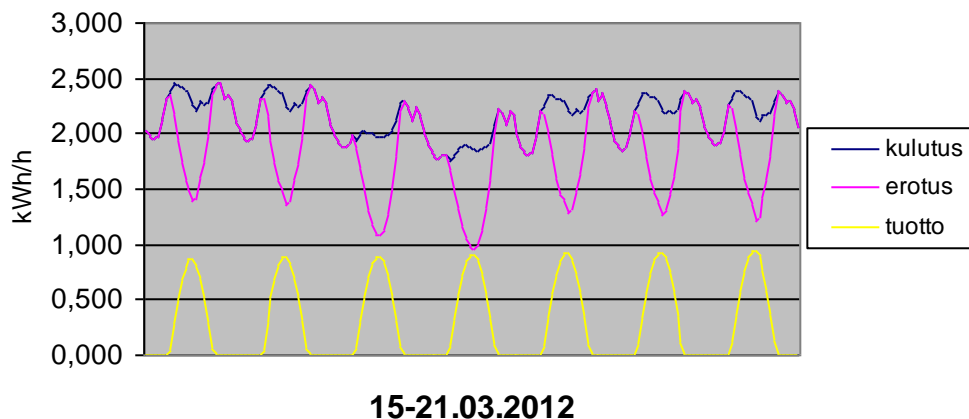
sähkön kulutus, paneelin tuotto + akku 6kWh



Kuva 15 Käytössä 6 kWh:n akku

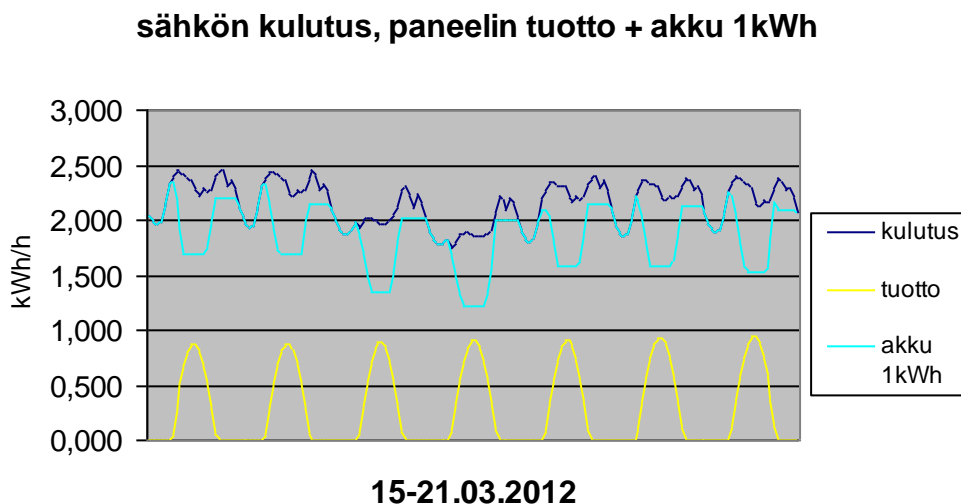
Kuvassa 16 esitetään kohteen sähkönkulutus ja 2000W:n aurinkopaneelin laskennallinen tuotto 15-21.03. 2012. *Erotus-käyrä* osoittaa aurinkopaneelin tuoton vaikutuksen, kun saatava energia siirretään reaaliaikaisesti kulutukseen. Aurinkopaneelin tuoton huippuarvo/h on jakson alussa 870 Wh, jakson lopussa 940 Wh. Kokonaistuotto viikon ajalla on 47,8 kWh ja saatava hyöty tuntihinnoin laskettuna on 5,63 €/vk. Aurinkopaneelin tuotto voidaan hyödyntää reaaliaikaisesti kulutuksessa, energiaa ei tarvitse välttämättä varastoida. Päivä on pidentynyt ja paneelin päivätuotto on nyt samaa luokkaa kuin 2kk aikaisemmin koko viikon aikana saatu tuotto.

sähkön kulutus, paneelin tuotto



Kuva 16 Kohteen sähkönkulutus ja 2000W:n aurinkopaneelin laskennallinen tuotto 15-21.03. 2012

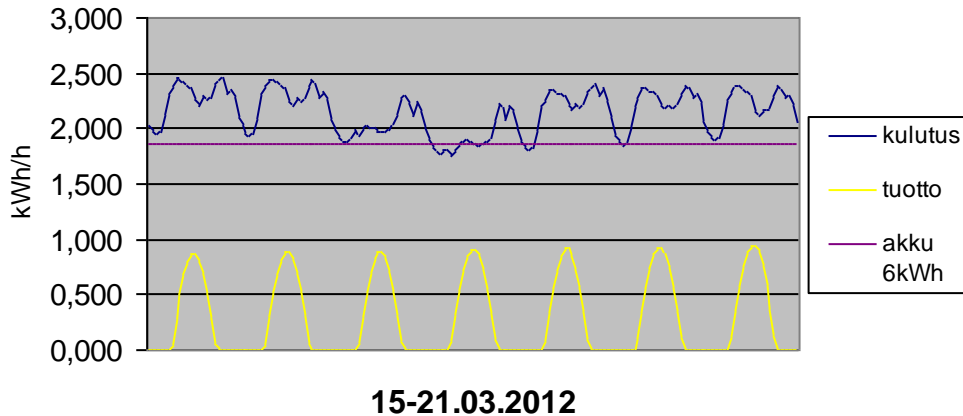
Kuvassa 17 on kohteen sähkönkulutus ja 2000W:n aurinkopaneelin laskennallinen tuotto 15–21.03. 2012. Akku 1kWh – käyrä osoittaa miten akkua hyödyntämällä aurinkopaneelistä saatavalla energialla voidaan tasoittaa kohteen huippukulutusta. Kun kohteessa käytetään 1kWh:n akkua, voidaan aurinkopaneelin tuotolla vähentää huippukulutusta. Akun käytöstä saatava taloudellinen hyöty on pienempi kuin käyrän muodosta voisi olettaa. Saatava lisähyöty 1kWh akun käytöstä on tuntihinnoin laskettuna 3,51 snt/vk.



Kuva 17 Kohteen sähkönkulutus ja 2000W:n aurinkopaneelin laskennallinen tuotto 15–21.03.2012

Kuvassa 18 on kohteen sähkönkulutus ja 2000W:n aurinkopaneelin laskennallinen tuotto 15-21.03. 2012. Akku 6kWh – käyrä osoittaa miten akkua hyödyntämällä aurinkopaneelistä saatavalla energialla voidaan tasoittaa kohteen huippukulutusta. Kun kohteessa käytetään 6 kWh:n akkua, voidaan aurinkopaneelin tuotolla vähentää huippukulutusta, lisäksi tässä mallinnoksessa on hyödynnetty akun koko kapasiteetti ja näin on saatu aikaiseksi tasainen kulutus koko jakson ajalle. Saatava lisähyöty 6kWh:n akun käytöstä on tuntihinnoin laskettuna 27,81 snt/vk.

sähkön kulutus, paneelin tuotto +akku 6kWh

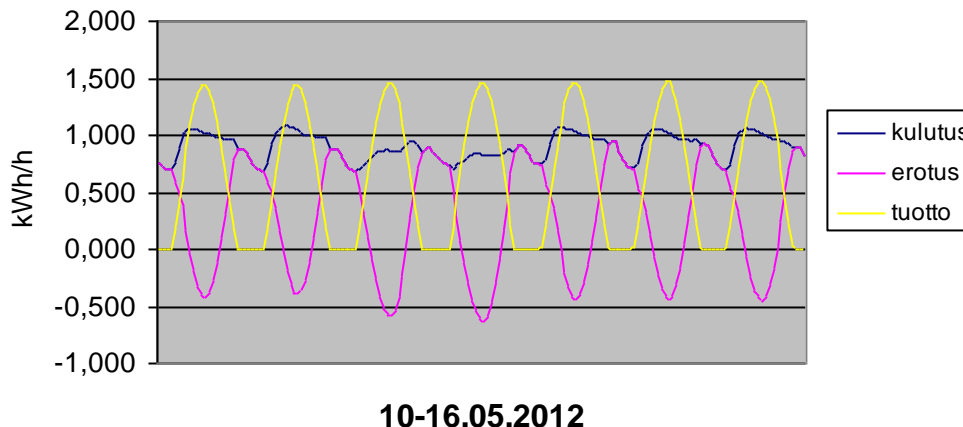


Kuva 18 Kohteen sähkönkulutus ja 2000W:n aurinkopaneelin laskennallinen tuotto 15-21.03, akku 6 kWh

Kuvassa 19 on kohteen sähkönkulutus ja 2000W:n aurinkopaneelin laskennallinen tuotto 10-16.05. 2012. Erotus-käyrä osoittaa aurinkopaneelin tuoton vaikutuksen kun saatava energia siirretään reaaliaikaisesti kulutukseen. Aurinkopaneelin tuoton huippuarvo /h on jakson alussa 1440 Wh, jakson lopussa 1470 Wh. Kokonaistuotto viikon ajalla on 104,7 kWh ja saatava hyöty tuntiinoin laskettuna on 9,87 €/vko.

Koko aurinkopaneelin tuottoa ei voida hyödyntää reaaliaikaisesti kulutuksessa, ilman varastointia energiaa jää viikon aikana hyödyntämättä 18,8 kWh.

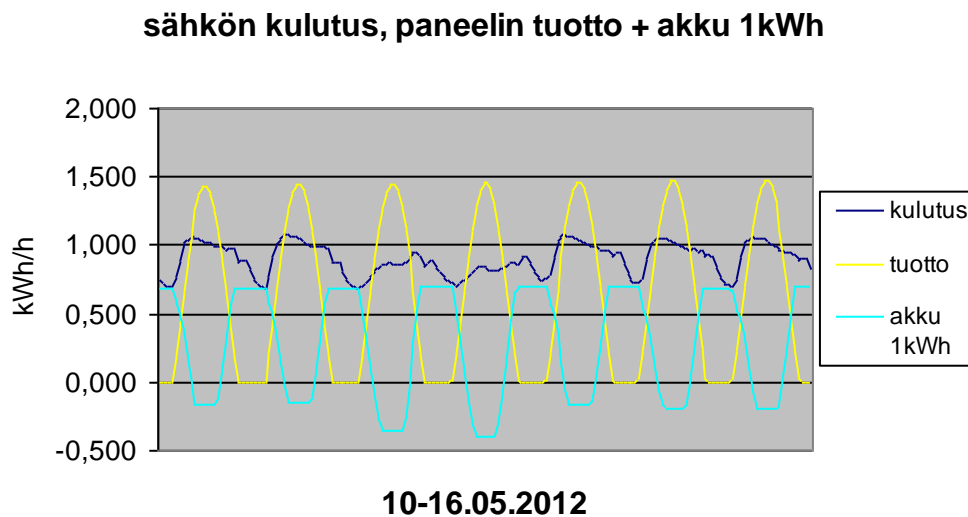
sähkön kulutus, paneelin tuotto



Kuva 19 Kohteen sähkönkulutus ja 2000W:n aurinkopaneelin laskennallinen tuotto 10-16.05. 2012

Kuvassa 20 on kohteen sähkönkulutus ja 2000W:n aurinkopaneelin laskennallinen tuotto 10-16.05. 2012. Akku 1kWh – käyrä osoittaa miten akkua hyödyntämällä aurinkopaneelistä saatavaa energiaa voidaan käyttää yöllä. Kun kohteessa käytetään

1kWh:n akkua, voidaan aurinkopaneelin tuotolla vähentää huippukulutusta. Tässä saatava lisähyöty akustosta kasvaa edellisiin jaksoihin verrattuna koska kaikkea paneelista saatavaa energiaa ei pystytä hyödyntämään reaaliaikaisesti. 1kWh akustosta saatava hyöty tunti hinnoin laskettuna on 56,4 snt/vko. Akun kapasiteetti on liian pieni, energiaa jää viikonaikana vielä hyödyntämättä 12 kWh (yli kWh / vrk).



Kuva 20 Kohteen sähkönkulutus ja 2000W:n aurinkopaneelin laskennallinen tuotto 10-16.05, akku 1 kWh

Kuvassa 21 on kohteen sähkönkulutus ja 2000W:n aurinkopaneelin laskennallinen tuotto 10-16.05. 2012. Akku 6kWh – käyrä osoittaa miten akkua hyödyntämällä aurinkopaneelista saatavaa energiaa voidaan käyttää yöllä. Kun kohteessa käytetään 6kWh:n akkua, voidaan aurinkopaneelin tuotolla vähentää huippukulutusta. Tässä saatava lisähyöty akustosta kasvaa edelleen, koska nyt kaikki paneelista saatavaa energia saadaan talteen ja pystytään hyödyntämään auringon laskettua. 6kWh:n kapasiteetti mahdollistaa tässä realistisemmän mallinnoksen, jossa kulutusta jakeluverkosta on aina hieman. 6kWh akustosta saatava hyöty tunti hinnoin laskettuna on 1,46 €/vko.

sähkön kulutus, paneelin tuotto + akku 6kWh



Kuva 21 Kohteen sähkönkulutus ja 2000W:n aurinkopaneelin laskennallinen tuotto 10-16.05, akku 6 kWh

7. Yhteenveto

Tutkimuksen kohteena ja sähkön hintalaskelmien pohjana on ollut Nord Poolin spot-hinnat. Ajatuksena on, että asiakaslaskutuksessa siirrytään tuntipohjaiseen laskutukseen, jonka perustana on tuntitukkuhinnat ja josta laskien kuluttajahinta olisi noin kolminkertainen.

Tutkimuksen kohteena on ollut nimellisteholtaan 2000W:n aurinkopaneeli, jonka sähköntuottoa olen mallintanut viikon pituisissa jaksoissa tammi-, maaliskuu-, ja toukokuussa 2012. Olen suhteuttanut saatavan energian sähkölämmitteisen omakotitalon kulutukseen ja arvioinut akun 1 kWh ja 6 kWh käyttöä energian kausivarastona.

Aurinkoenergian saatavuuslaskelmat perustuvat vaakatasossa olevaan pintaan, jos paneelin asentoa korjataan auringon suunnan ja kulman mukaan tulokset paranevat oleellisesti. Mielestäni tähän yksityiskohtaan kannattaa panostaa. Samkin Smart Solar - hanketta ajatellen tämän tutkimustyön hyödynnettävin osa on ehkä auringon korkeuskulman laskentamalli Porin leveyspiirille, automaattista paneelinkääntöä suunniteltaessa. Ajattelen, että paneelin käännöllä saatava energian lisäys kattaa siihen tarvittavaa automaation investointia ja siltä osin tämä tutkimus on relevantti.

Aurinko ei paista joka päivä pilvettömältä taivaalta kuten laskelmissani. Toisaalta pilvisinäkin päivinä tuottoa on ja heijastuvaa energiaa saadaan ennen ja jälkeen auringon laskun.

Tarkasteltaessa aurinkoenergian kausivarastoinnin tuloksia tässä ympäristössä näyttää se kannattamattomalta. Parhaimmillaankin hyöty viikon jaksolla on euron luokkaa, vaikka lataus ja purku on suoritettu 100 % hyötysuhteella. Akkujen hankintakustannusta rasittaa tietysti myös siihen tarvittava elektroniikka. Kausivarastointi akkuteknologialla on tämäntyyppisessä kohteessa tarpeetonta myös siksi, että lähes sama vaikutus saadaan aikaan hyvällä kiinteistöautomaatiolla ja oikealla energiankäytön ajoituksella, jossa esim. lämminvesivaraaja ja lattialämmitys voi toimia varastona. Kiinteistöautomaation tärkeyttä ei voi liikaa painottaa, jos mahdollista sen tulisi olla ennustava. Kun kohteessa ei ole ollenkaan sähköliittymää, tai vähäisestä energian tarpeesta johtuen olisi kannattavaa siirtyä omavaraiseksi, on akkujen käyttö tarpeen ja toiminnan edellytys.

Akkuteknologian kehittyminen parantaa energian käyttöä liikkuvissa kulutuskohteissa ja kehitys on ollut nopeaa. Laitemarkkinat muokkaavat omalta osaltaan käytettävää teknologiaa ja sen hintaa, tällä hetkellä luotetaan litium-ion tekniikkaan. Myös meillä Suomessa valmistetaan litium-ion akkuja ja kallioperästäme saadaan litiumia akkujen valmistamiseen.

Sähköauton akuston hyödyntäminen kausivarastointiin on kannattavaa jos investoinnin ajatellaan kohdistuvan autoiluun ja varastointi on lisäarvo. Sähköauton akuston käyttö kiinteistön energiahuoltoon edellyttäisi auton akustolta tehonsyöttölähtöä, joka liitettäisiin kiinteistössä tarvittavaan invertteriin. Sähköautojen kirjo on suuri ja standardoituna on vasta auton latauspiste kiinteistössä. Tutkimuksen 6 kWh akku voi verrata sähköauton akkuun esim. 20 kWh akun osavaraus, jolloin loppuvaraus mahdollistaa yllättävän autoilutarpeen, tai se voi edustaa hybridauton koko akkukapasiteettiä.

Akustot soveltuvat hyvin vuorokauden syklissä tapahtuvaan varastointiin. Kun mikrotuotanto yleistyy ja kiinteistöjen tarpeen ylitse jäävän energian tarjonta kasvaa

tulee tarpeelliseksi kehittää pidemmän aikavälin varastointia, niiden toteuttaminen jäänee energiayritysten vastuulle, suuren kokonsa ja - investointinsa johdosta.

Taulukko 1

Koko prosessin arvioitu vuotuinen tehon kulutus ennen- ja jälkeen toimenpiteitä

| | Tehon kulutus ennen toimenpiteitä [kWh/a] | Arvioitu tehon kulutus toimenpiteiden jälkeen [kWh/a] |
|-------------------------------------|---|---|
| Osa A (Robotti/valukone/uusi) | 74792,70 | 80000 |
| Osa B (Sulatusuuni/uusi) | 750000,00 | 750000 |
| Osa C (Kieputtimet/uusi) | 6120,00 | 10000 |
| Osa D (Kiertoilmauuni/uusi) | 125066,77 | 120000 |
| Osa E (Sarjoaveto/uusi) | 0,00 | 350000 |
| Osa F (Pakkaus/uusi) | 0,00 | 20000 |
| Osa G (Robotti/valukone/vanha) | 91875,00 | 75000 |
| Osa H (Sulatusuuni/vanha) | 750000,00 | 750000 |
| Osa I (Kieputtimet/vanha) | 7400,57 | 0 |
| Osa J (Sarjoaveto/puolauus) | 519008,93 | 0 |
| Osa K (Kompressoirit) | 29852,94 | 22000 |
| Osa L (Kuumaveto/vanha) | 208717,22 | 0 |
| Koko prosessi | 2562834,13 | 2177000 |
| Sähköenergian vuotuinen hinta [€/a] | 307796,3795 | |
| Energian säästö [kWh] | 385834,13 | |
| Säästö toimenpiteiden jälkeen [€] | 46338,67951 | |

