

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Energiatekniikan koulutusohjelma / Automaatio- ja prosessitekniikka

Katri Paatero

LASKENTA JA RAPORTOINTI ENERGIANKULUTUKSEN JA  
KUSTANNUSTEN SEURANTAAN

Opinnäytetyö 2013

## TIIVISTELMÄ

### KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

#### Energiatekniikan koulutusohjelma

PAATERO, KATRI

Laskenta ja raportointi energiankulutuksen ja  
kustannusten seurantaan

Insinööriyö

36 sivua + 8 liitesivua

Työn ohjaaja

Pt. tuntiopettaja Hannu Sarvelainen

Toimeksiantaja

Nuuka Solutions Oy

Syyskuu 2013

Avainsanat

energiajärjestelmät, polttoaineet, aurinkoenergia, lämpöpumput, bioenergia, kaasulämmitys, öljylämmitys

Insinööriyössä oli tarkoitus luoda selkeä laskentapohja Nuuka Solutions Oy:lle suurempien kiinteistöjen kuten toimistorakennusten ja koululaitosten energian kulutukselle ja kustannuksille. Vertailuun haluttiin kiinteistöalan yleisimpien ostoenergioiden ja omatuotantomuotojen yhdistelmiä, joista muodostettiin laskentamalli kustannusten muodostukselle ja laitteistojen hyötysuhteiden seurantaan. Alati kasvavien uusiutuvien energiamuotojen omatuotanto huomioitiin myös, sillä niiden määrä kasvaa jatkuvasti korvaten ja tukien ympäristöystävällisesti perinteisiä energiamuotoja.

Nuuka Solutions työskentelee rakennusten energiatehokkuuden parantamiseksi ja laskentapohjan avulla on tarkoitus selvittää kuinka kustannustehokkaita eri energiamuodot ovat eri vuodenaikoina. Näin saadaan sekä kiinteistöjen kustannuksia, että hukkaenergian määrää pienennettyä.

Esimerkiksi keskitalven kylmimpään ja pimeimpään aikaan ilmalämpöpumput ja aurinkokeräimet kuluttavat energiaa lähes yhtä paljon kuin tuottavat, joten tukeutuminen toiseen energiamuotoon on kannattavaa. Sen sijaan kesäkuukausina aurinkoenergian avulla saadaan tuotettua kaikki tarvittu lämpö ja sähkö, joten muu tuotanto voidaan lopettaa tällä aikavälillä. Parhaat tulokset kiinteistöjen energian tuotantoon saadaan uusiutuvia omatuotantomuotoja ja ostoenergiaa yhdistelemällä.

## ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Energy Engineering

PAATERO, KATRI

Calculation and Reporting Base for Tracking Energy  
Consumption and Costs

Bachelor's Thesis

36 pages + 8 pages of appendices

Supervisor

Hannu Sarvelainen, Lecturer

Commissioned by

Nuuka Solutions Ltd

September 2013

Keywords

energy systems, fuel, solar energy, heat pump, bioenergy,  
gas heating, oil heating

The purpose of this thesis was to create a calculation base for Nuuka Solutions Ltd, for keeping track of energy consumption and costs of bigger premises such as office buildings and schools. For comparison, combinations of the most widely-used purchased forms of energy and self-production was required to form a calculation model for cost formation and for monitoring operating efficiency. The branch of renewable forms of energy self-production was also considered as these forms keep growing, ecologically replacing and supporting traditional forms of energy.

Nuuka Solutions works to improve energy efficiency in buildings, and the purpose of the calculation base is to investigate how cost-effective various forms of energy are in different times of the year. Thus it is possible to decrease both the energy expenses in buildings and the amount of wasted energy.

For example in Finland, air-heat pumps and solar collectors spend almost the same amount of energy as they produce during the coldest and darkest time in midwinter, so the support of another energy source is economically viable. On the other hand, during summer months all the needed heat and electricity can be received from solar energy, so other production can be stopped for this time period. The best results for production can be achieved by combining renewable self-production and purchased energy.

## ALKUSANAT

Tämä insinöörityö valmistui vuoden 2013 kesäloman aikana, alkaen huhtikuun lopulla 2013 ja valmistuen syyskuun alussa 2013. Työ tehtiin Kotkassa ja Tampereella toimivalle yritykselle Nuuka Solutions Oy. Työn ohjaajana toimi opettaja Hannu Sarvelainen, joka opinnäytetyön teon ajankohdasta huolimatta antoi sille aikaansa ja tarjosi hyödyllisiä neuvoja ja ohjeita, joiden avulla työ eteni ja laskentapohja saatiin toimimaan toivotulla tavalla. Kiitos siis hänelle hyvästä opastuksesta.

Erikseen kiitos myös lähipiirilleni, joiden kannustuksella ja tuella sain työn pidettyä aikataulussa, huolimatta siitä että vapaa-ajan määrä kesällä kutistui ennakoitua enemmän.

Kotkassa 3.9.2013

Katri Paatero

## SISÄLLYS

### TIIVISTELMÄ

### ABSTRACT

### ALKUSANAT

1	JOHDANTO	6
2	LASKENNASSA KÄYTETYT ENERGIAMUODOT	10
	2.1 Aurinkovoima	10
	2.2 Lämpöpumppu	15
	2.3 Puun pienkäyttö	18
	2.4 Öljy ja maakaasu	20
	2.5 Sähkö	21
	2.6 Kaukolämpö ja -kylmä	22
3	HYÖTYSUHTEIDEN LASKENTA	23
	3.1 Aurinkopaneelit	23
	3.2 Aurinkokeräimet	24
	3.3 Lämpöpumput	25
	3.4 Hakelämpö	27
	3.5 Öljy ja maakaasu	29
4	TUOTANTOKUSTANNUSTEN LASKENTA	30
5	LASKENTAPOHJAN TARKASTELU	31
6	YHTEENVETO	32
	LÄHTEET	33
	LIITTEET	
	Liite 1. Aurinkoenergia excel-laskenta	
	Liite 2. Lämpöpumppu excel-laskenta	
	Liite 3. Hakekattilan excel-laskenta	
	Liite 4. Maakaasukattilan excel-laskenta	
	Liite 5. Öljykattilan excel-laskenta	
	Liite 6. Hintojen ja hyötysuhteiden excel-laskenta	
	Liite 7. Esimerkki excel-laskenta kiinteistön vuoden kulutukselle	

## 1 JOHDANTO

Suomessa on tällä hetkellä runsaasti vanhempia kiinteistöjä, joiden suurta energian käyttöä yritetään pienentää parantamalla kiinteistöjen energiatehokkuutta. Tätä työtä tekee Nuuka Solutions Oy, joka kehittää ohjelmistoja ja järjestelmiä energiankäytön parantamiseksi kiinteistöissä. Järjestelmien osana ovat esimerkiksi erilaiset mittarit, joiden avulla saadaan tietoon energian kulutus ja tuotanto eri kohteissa myös yksittäisessä kiinteistössä. Yrityksen tavoitteena on kehittää kiinteistöjen energiatehokkuutta systemaattisesti ja selvittää mitkä seikat nostavat energian kulutusta, ja siten tehostaa sen käyttöä. Tällöin voidaan saavuttaa merkittäviä säästöjä lyhyelläkin aikavälillä.

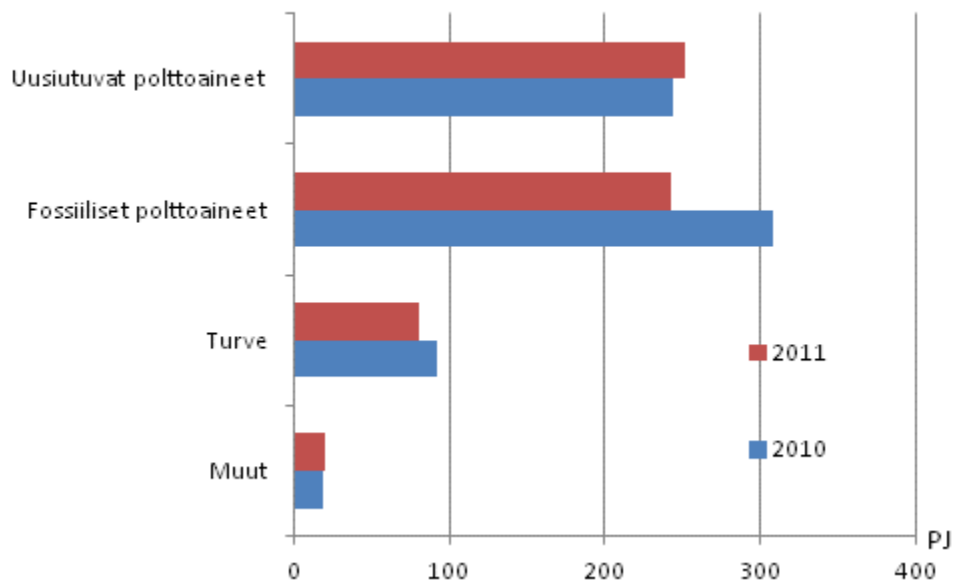
Energiatehokkuuden nostamiseksi moniin rakennuksiin lisätään myös uusiutuvia energiamuotoja, jotka avustavat ja osittain korvaavat perinteisiä energiamuotoja. Tarvetta tälle suuntaukselle onkin, sillä perinteisten uusiutumattomien energiamuotojen varannot luonnossa ehtyvät ja polttoaineista tulee yhä kalliimpia saatavuuden huonontuessa. Uusiutuvat energiamuodot eivät myöskään tuota ympäristölle samanlaista taakkaa kuin Suomessakin käytetyt hiili, maakaasu ja öljy, joiden polttamisesta aiheutuvat hiilidioksidipäästöt muun muassa edesauttavat ja ylläpitävät ilmastonmuutosta.

Tämän takia työssä haluttiin fossiilisten omatuotantomuotojen ja ostoenergian lisäksi huomioida myös kasvavat uusiutuvan energian omatuotantomuodot. Näitä vertailemalla saadaan selvitettyä kunkin energiamuodon kannattavuus eri vuodenaikoina ja näin vähennettyä energian kulutusta ja tuotannosta aiheutuvia päästöjä.

Suomessa sähkön ja lämmön kulutus on saatu laskemaan viime vuosien aikana. Vuodesta 2010 vuoteen 2011 tuotanto väheni yhdeksän prosenttia ja vuoteen 2012 mennessä vielä kaksi prosenttia lisää. Myös polttoaineiden hiilidioksidipäästöissä on päästy alimmilleen sitten yhdeksänkymmentäluvun alun.(1.)

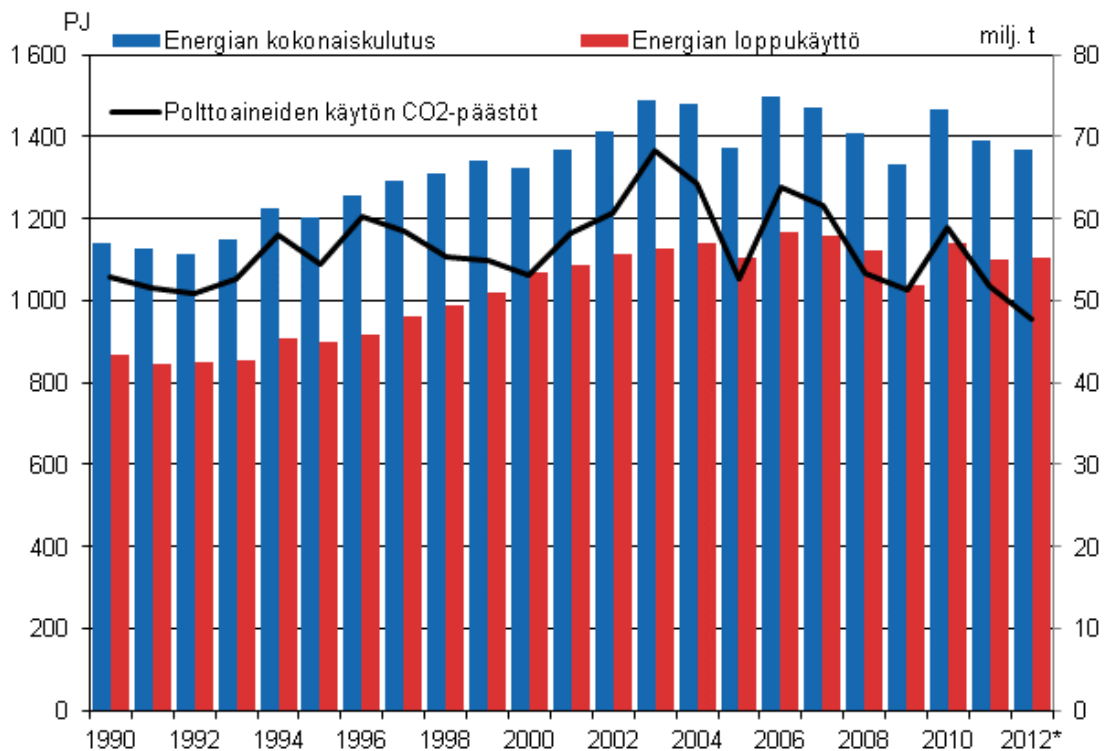
Vuonna 2011 fossiilisten polttoaineiden käyttö sähkön ja lämmön tuotannossa pieneni 21 prosenttia ja turpeen käyttö 12 prosenttia, kun taas uusiutuvien polttoaineiden käyttö kasvoi kolme prosenttia ja kohosi fossiilisten polttoaineiden käyttöä suuremmaksi. Näin ollen vuonna 2011 Suomessa tuotetusta sähköstä tuotettiin uusiutuvilla energialähteillä 33 prosenttia, josta puolet tuotettiin vesivoimalla ja melkein kaikki loput puulla. Ydinvoima oli sähköntuotannosta 32 prosenttia, fossiiliset polttoaineet 27 prosenttia ja turve seitsemän prosenttia. (1.)

### Polttoaineiden käyttö sähkön ja lämmön tuotannossa 2010–2011



Kuva 1. Polttoaineiden käyttö Suomessa vuosina 2010 ja 2011. (1.)

### Energian kokonaiskulutus, loppukäyttö ja hiilidioksidipäästöt



Kuva 2. Suomen kokonaisenergian kulutus aikavälillä 1990 ja 2012. (2.)

Vuonna 2012 fossiilisten polttoaineiden käyttö vähentyi kuudella prosentilla ja turpeen käyttö 22 prosentilla, minkä takia hiilidioksidipäästöt pienenivät melkein kah-

deksan prosenttia. Uusiutuvan energian käyttö kasvoi viidellä prosentilla, mitä edisti se, että fossiilisilla polttoaineilla ja turpeella tuotettua energiaa korvattiin tuontisähköllä ja puulla sekä kotimaisella vesivoimalla. Tämä asetti uusiutuvan energian osuuden koko energian kokonaiskulutuksesta 30 prosenttiin vuoden 2012 ennakkotietojen mukaan. (2.)

#### Energian kokonaiskulutus energialähteittäin (TJ) ja CO<sub>2</sub>-päästöt (Mt)

Energialähde	2012*	Vuosi- muutos- %*	Osuus % energian kokonaiskulutuksesta*
Öljy	331 499	-2	24
Hiili 1)	131 849	-11	10
Maakaasu	115 973	-11	8
Ydinenergia 2)	240 760	-1	18
Sähkön nettotuonti 3)	62 796	26	5
Vesi- ja tuulivoima 3)	61 455	34	4
Turpe	66 030	-22	5
Puupolttoaineet	318 721	1	23
Muut	38 730	7	3
<b>ENERGIAN KOKONAIKULUTUS</b>	<b>1 367 432</b>	<b>-2</b>	<b>100</b>
Ulkomaanliikenne	30 888	-12	.
Energiasektorin CO <sub>2</sub> -päästöt	48	-8	.

1) Hiili: sisältää kivihiilen, kaksin sekä masuuni- ja koksikaasun.

2) Sähköntuotannon yhteismitallistaminen polttoaineiden kanssa: Ydinvoima: 10,91 TJ/GWh (kokonaishyötysuhde 33 %)

3) Sähköntuotannon yhteismitallistaminen polttoaineiden kanssa: Vesi- ja tuulivoima sekä sähkön nettotuonti: 3,6 TJ/GWh (100 %)

4) \*Ennakollinen tieto

Kuva 3. Suomen kokonaisenergian kulutus lähteittäin vuodelta 2012 (2.)

Uusiutuvien energiavarojen käyttö Suomessa on siis kasvamassa, suurimpina tekijöinä tällä hetkellä vielä vesivoima ja puupolttoaineet. Näistä varsinkin vesivoiman osuus on kuitenkin suhteellisesti pienentynyt, sillä suuri osa Suomen vesivoimalle valjastettavista vesistöistä on jo käytössä täydellä kapasiteetillaan. Muiden tuotantomuotojen kasvaessa ja kehittyessä, vesivoiman tuotanto pysyy ennallaan riippuen vain vuoden sateista. Erilaiset lämpöpumput sen sijaan ovat kasvattaneet suosiotaan ja tuottavat tilastokeskuksen mukaan jo lähes yhden prosentin Suomessa käytetystä energiasta. Lämmitysenergiasta niiden osuus on jo noin kahdeksan prosenttia.



Toinen nousija on tuulivoima, jonka osuus maan energiantuotannossa on tosin vielä hyvin pieni. Tuulivoimaprojekteja on kuitenkin käynnissä ympäri maan ja jos kaikki suunnitellut tuuliturbiinit saadaan käyttöön, nousee sen osuus merkittävästi. Myös aurinkoenergia kasvattaa suosiotaan ja sen käyttöönotto onkin helppoa, sillä aurinkolämmitysjärjestelmä voidaan yhdistää kaikkiin päälämmitysmuotoihin. Aurinkosähköjärjestelmä on myös toimiva ratkaisu paikkoihin, joihin ei ole mahdollista saada verkkosähköä. Näitä omavaraisia kohteita ovat esimerkiksi kesämökit, veneet, väyläloistot, linkkimastot ja saaristo- ja erämaakohteet. Aurinkovoimalla on kuitenkin vielä muihin Suomessa käytettäviin uusiutuviin verrattuna hyvin pieni osuus kokonaisenergiantuotannossa, vaikka kotitalouden mittakaavassa se voikin tuottaa merkittävän osan tarvittavasta energiasta. (3.)

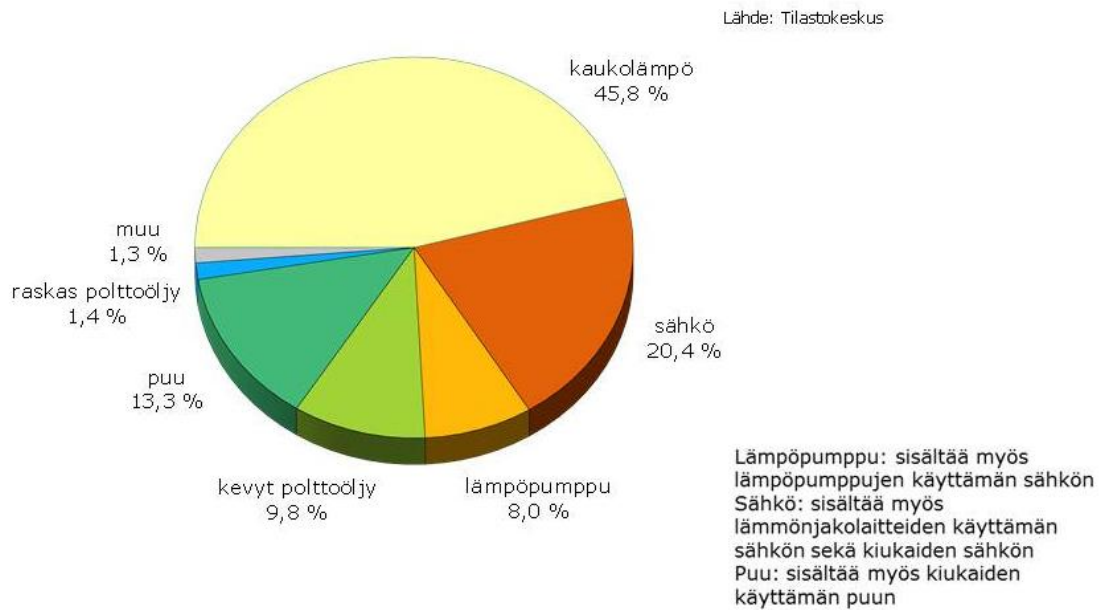
Energialähde	2009 PJ	%	2010 PJ	%	2011 PJ	%
Metsäteollisuuden jäteliemet	110,26	32,6	135,68	34,3	135,11	34,3
Teollisuuden ja energiantuotannon puupolttoaineet	97,70	28,9	116,10	29,4	121,81	30,9
Puun pienkäyttö	59,60	17,6	67,88	17,2	59,37	15,1
Vesivoima	45,26	13,4	45,88	11,6	44,20	11,2
Lämpöpumput	7,23	2,1	10,99	2,8	12,46	3,2
Kierrätyspolttoaineet (bio-osuus)	5,6	1,7	6,09	1,5	5,84	1,5
Biokaasu	1,73	0,5	1,69	0,4	2,23	0,6
Tuulivoima	1,00	0,3	1,06	0,3	1,74	0,4
Aurinkoenergia	0,05	0,01	0,05	0,01	0,06	0,01
Liikenteen ja lämmityksen biopolttonesteet	7,28	2,2	7,76	2,0	9,80	2,5
Muu bioenergia	2,06	0,6	2,00	0,5	1,63	0,4
<b>Yhteensä</b>	<b>337,72</b>	<b>100,0</b>	<b>395,18</b>	<b>100,0</b>	<b>394,25</b>	<b>100,0</b>

Taulukko. Uusiutuvan energian kulutuksen jakautuminen energialähteittäin vuosina 2009–2011. Uusiutuvan energian osuus energian kokonaiskulutuksesta oli vuonna 2009 25 %, vuonna 2010 27 % ja vuonna 2011 28,3 %.

1 PJ (petajoule) = 0,2778 TWh.

Lähde: Suomen tilastollinen vuosikirja 2012. Tilastokeskus.

Kuva 4. Uusiutuvan energian kulutuksen jakautuminen Suomessa (3.)



Kuva 5. Lämmitysenergianlähteiden osuudet Suomessa (4.)

## 2 LASKENNASSA KÄYTETYT ENERGIAMUODOT

### 2.1 Aurinkovoima

Aurinkosähköjärjestelmissä tuotetaan tasavirtaa aurinkopaneelien avulla ja aurinkolämpöjärjestelmissä auringon säteilyä käytetään lämmittämään vettä tai ilmaa (5, 7).

Etelä- ja Keski-Suomessa auringon säteilyn intensiteetti on noin 850–950 kWh/m<sup>2</sup> vuodessa (6, 2). Tätä auringon maahan säteilemää valtavaa energia määrää otetaan eri järjestelmien avulla yhä suurenevassa määrin käyttöön. Kaikkea maahan säteilevää energiaa ei kuitenkaan saada Suomessa hyödynnettyä, sillä suurimpana osana vuotta esimerkiksi aurinkokeräimet eivät kykene käyttämään varhaisen aamun ja myöhäisen iltapäivän auringon paistetta hyödykseen. Tällöin auringon säteilyteho ei ole riittävä, tai käyttö- ja ulkolämpötilan ero on liian suuri ja syö heikosta säteilystä hyödyn. (7, 81.)

Myös aurinkopaneelit tuottavat eniten sähköä suorasta auringon valosta, mutta kykenevät kuitenkin kehittämään sitä myös pilvisempinä päivinä, jolloin säteily ei ole yhtä voimakasta (5, 7).

## Aurinkopaneelit

Aurinkopaneeli muodostuu yhteen liitetystä aurinkokennoista, joista suurin osa hyödyntää sähkötuotannossaan monikiteistä piitä tai ohutkalvoa. Tarpeen mukainen paneeli saadaan aikaiseksi eri kytkennöillä. Halutun loppujännitteen saamiseksi kennoja sarjaankytketään ja rinnankytkennällä taas tuotetaan tarvittava virta. Tästä syystä aurinkopaneelissa on usein sekä sarjaankytkettyjä että rinnankytkettyjä kennoja. (8.)



Kuva 6. Monikideaurinkopaneeli (9.)

Oikean suuruisen jännitteen saaminen on tärkeää etenkin siinä kohtaa kun paneelien avulla on tarkoitus suoraan ladata akkuja. Laitteistojen täytyy olla yhteensopivia ja aurinkopaneelista pitää löytyä tieto minkä jännitteisiä akkuja se on suunniteltu lataamaan. Paneelille annettu teho sen sijaan on useimmiten ostotilanteessa ensimmäisenä katsottu asia ja kertoo sähkötekniisesti kuinka suuren tehon kenno kykenee tuottamaan. Teho on kennon tuottaman jännitteen ja virran tulo ja mitä suurempi teho, sitä nopeammin akusto latautuu ja mahdollistaa suuremman kulutuksen. Yksittäinen aurinkopaneeli tuottaa yleensä noin 100–500 watin tehon riippuen olosuhteista ja koosta. Hyötysuhde taas liikkuu noin 10 ja 20 prosentin välillä. (8.)

Tarvittavien jännite ja virta-arvojen lisäksi aurinkopaneelien rakennuksessa on huomioitava kennojen suojaus. Paneelien tulee ulkona ollessaan kestää lämpöä, kylmyyttä, tuulta ja sadetta jopa vuosikymmeniä, ilman että niiden suorituskyky romahtaa. Tavalliset paneelit menettävät suorituskykyään noin 0,5 % vuodessa, eli vauhti on hyvin verikkaista lukuun ottamatta paneelien elinkaaren viimeisiä vuosia. Useille moni-

pii-rakenteisille kennoille annetaankin kymmenen vuoden toimintatakuu, minä aikana suorituskyky ei laske alle 90 % alkuperäisestä. (8.)

Paneelien lisäksi aurinkosähköjärjestelmään tarvitaan invertteri ja johdotukset, sekä usein myös akku ja säätimet. Invertteriä tarvitaan koska paneelit tuottavat tasavirtaa, joka pitää käyttöä varten muuntaa vaihtovirraksi. Aurinkopaneelit eivät tuota sähköä suoraan laitteille, ellei niitä ole kytketty invertterin kautta sähköverkkoon. Sen sijaan käytetään akkuja sähkön varastointiin, joista varausta sitten puretaan tarpeen mukaan. Akuilla on kuitenkin vaara tuhoutua ylikuormittumisen tai totaalisen tyhjenemisen seurauksena, minkä takia niille tarvitaan säädin joka varmistaa tasaisen ja oikean suuruisen virtauksen sisään ja ulos. (5, 26–27.)

Haluttaessa säätimet voidaan hankkia myös paneelien asennon muuttamiseen, jolloin paneelit seuraavat auringon kulkua esimerkiksi vuorokauden- tai vuodenajan mukaan parhaimman mahdollisen sähkötehon saamiseksi. (8.)

### **Aurinkokeräimet**

Aurinkokeräin kerää auringonsäteilyä ja muuntaa sen lämmöksi. Muodoltaan keräin voi olla laatikko, levy tai putki ja toiminnallisesti keräimiä löytyy kahta eri perustyyppiä, tasokeräimiä ja tyhjiöputkikeräimiä. Ne soveltuvat eri käyttötarkoituksiin, esimerkiksi korkeaa lämpötilaa tarvittaessa tehokas tyhjiökeräin on hyvä valinta. Sen sijaan jos halutaan lämmittää vain käyttövettä tai tukea lattialämmitystä, selektiivinen tasokeräin on toimiva ratkaisu. (6, 3.)



Kuva 7. Tasokeräin (10.)



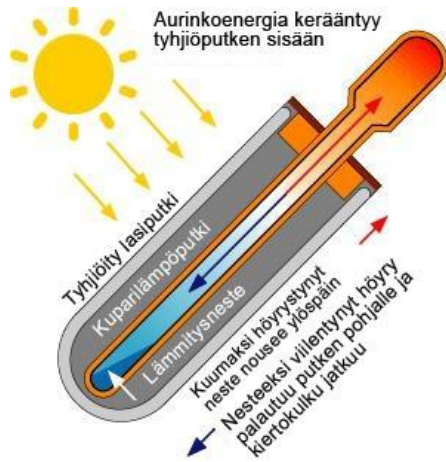
Kuva 8. Tyhjiöputkikeräin (11.)

Yleisesti ottaen luontevimmat käyttökohteet aurinkolämmölle ovat kuitenkin Suomessa sellaisia, joissa lämpöä tarvitaan runsaasti myös kesällä jolloin on kaikkein aurinkoisinta. Hyviä käyttökohteita ovat siis käyttöveden lämmitys ja myös kesällä käytettävien kosteiden tilojen lämmitys. (7, 98.)

Tasokeräimissä absorbaattorina toimii tummapinnoitteinen kuparipelti, jonka suojana tuulta ja vettä vastaan on vähärautainen, karkaistu lasi. Pellin pinnoite on selektiivinen, jolloin lämmöksi muunnettavaa auringon säteilyä saadaan siepattua noin 95 %. Pinnoitteen ansiosta myös vain noin 5 % energiasta palautuu takaisin ympäristöön, minkä takia aurinkokeräimet toimivat myös syksyn ja kevään heikommalla säteilyllä sekä matalissa lämpötiloissa. Pellin alla ovat hitsaamalla yhdistetyt lämpöä kuljettavat vesi-glykoliseos putket, joiden seos lämpenee absorbaattorin avulla. Keräimen kehikon pohjasta ja sivuilta taas löytyvät paksut eristeet jotka suojaavat absorbaattoria lämpökadolta. (6, 3.)

Tyhjiöputkikeräimet taas koostuvat lasisista tyhjiöputkista, joiden sisällä oleva tyhjiö toimii eristeenä sallien suuremmat lämpötilat erot keräimen ja ulkoilman välillä kuin tavallinen tasokeräin. Näin lämpöä saadaan talteen jo esimerkiksi keväisistä pakkasaurinko päivistä. Varsinainen lämmönkeruuputkisto on kuitenkin lasiputkien sisällä oleva selektiivisellä pinnoitteella pinnoitettu umpinainen kupariputki, jossa on herkästi höyrystyvää nestettä. Kupariputken yläpää on laajennettu kondensoitumista varten. Putket on kiinnitetty jakotukkiin jonne noustuaan höyrystynyt neste tiivistyy ja

luovuttaa samalla lämpönsä jakotukissa olevaan kuparihylsyyn ja siitä vesi-glykoli-seokseen. (12.)



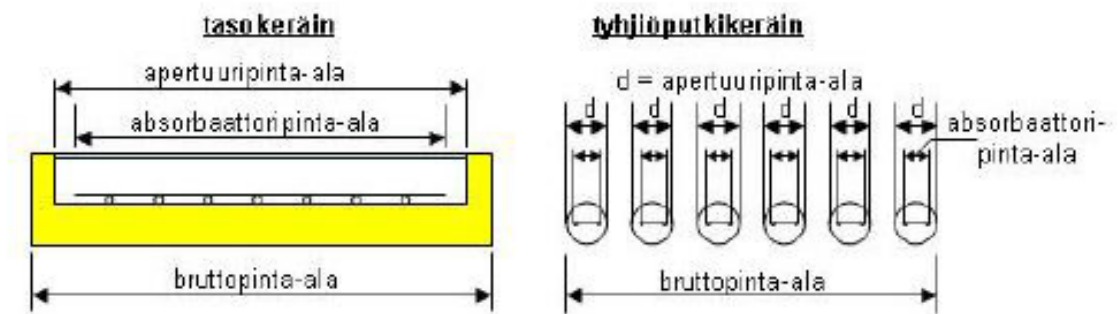
Kuva 9. Tyhjiöputkikeräimen toiminta (11.)

Hyötysuhde ja tuotto keräimille saadaan parhaimmiksi matalissa käyttölämpötiloissa ja ylipäättään kun keräimen ja ulkoilman lämpötilaero on pieni. Useimmiten hyötysuhde annetaan kuvallisesti, jolloin maksimiarvon tilanteessa keräimen lämpöhäviö on 0. (7, 81.)

Tehovertailussa käytetään yleensä keräimen apertuuripinta-alaa, joka lasketaan tasojä ja tyhjiöputki keräimissä eri tavoin, kuten Ympäristöenergian aurinkolämpöjärjestelmä-oppaassa selitetään: *Tasokeräimissä pinta-alan laskeminen on hyvin yksinkertaista: leveys x pituus = pinta-ala. Jos tyhjiöputkikeräimen absorbaattori on sylinterinmuotoinen, pinta-ala on laskettava eri tavalla. Heijastimeton putkikeräin ei pysty käytännössä tuottamaan energiaa koko pinta-alallaan, koska aurinko ei tietenkään yllä varjon puolelle. Sen takia sen pinta-ala lasketaan näin: Bruttopinta-ala: leveys x pituus = bruttopinta-ala. Apertuuripinta-ala heijastimettomassa tyhjiöputkikeräimessä: putken pituus (- varjostavat osat, kuten putkipidikkeet) x putken ulkohalkaisija x putkien lukumäärä. Apertuuripinta-ala heijastimella varustetussa tyhjiöputkikeräimessä: heijastimen leveys x pituus (- varjostavat osat, kuten putkipidikkeet). Absorbaattoripinta-ala sylinterinmuotoisessa absorbaattorissa: absorbaattorin halkaisija x  $\Pi$  x absorbaattorin pituus x putkien lukumäärä. (6, 6.)*

### Keräimen pinta-alat

1. bruttopinta-ala (keräimen ulkomitta: pituus x leveys)
2. apertuuripinta-ala (lasiaukon pinta-ala)
3. absorbaattoripinta-ala (tasokeräimessä toimiva pinta-ala)



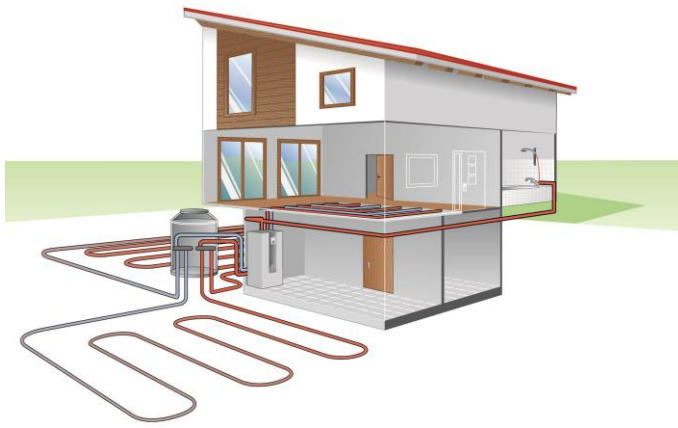
Kuva 10. Eri aurinkokeräinten pinta-alojen katsominen (6, 6.)

Keräimen lisäksi aurinkolämpöjärjestelmään kuuluu varaaja, putkisto, turvaryhmä (varoventtiili, paisunta-astia ja painemittari), pumppuyksikkö ja ohjausyksikkö. Varaajan kupariputkistossa kiertävä vesi-glykoliseos siirtää absorbaattorin avulla aurin-gosta saadun lämmön varaajaan, jonka alaosassa kierukka lämmittää kylmän veden vesi-glykoliseoksen luovuttamalla lämmöllä. Tämän jälkeen seos palaa pumpun avulla takaisin kerääjään ja aloittaa kierron alusta. Ohjausyksikön avulla tasataan aurinkokeräimen ja varaajan lämpötilat, sekä käynnistetään pumppu, kun keräimen lämpötila on noin kuusi celsiusastetta korkeampi kuin veden lämpötila varaajan alaosassa. Pumppu sammutetaan kun ero laskee noin kahteen asteeseen. (6, 2.)

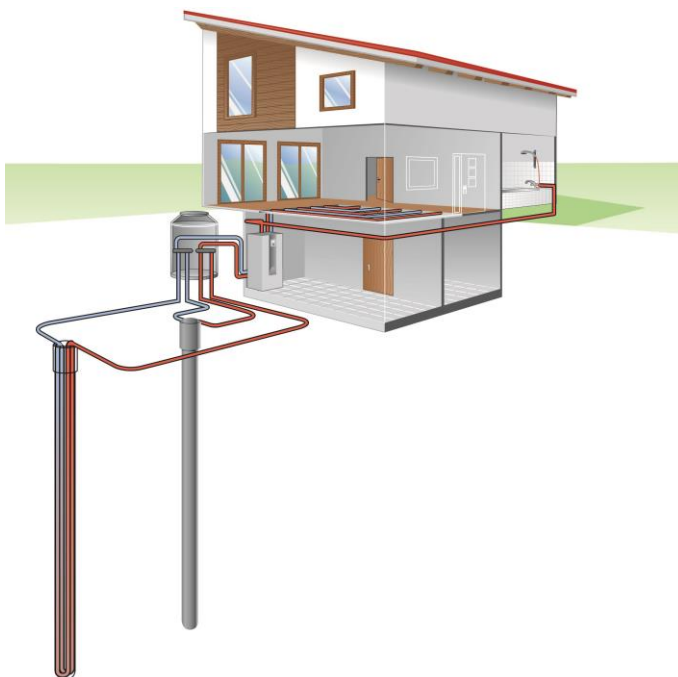
## 2.2 Lämpöpumppu

Lämpöpumpuiksi lasketaan kaikki laitteet, jotka siirtävät lämpöä putkistossa kiertävän väliaineen avulla kohteesta toiseen. Yleisesti nimitystä käytetään laitteista joilla on tarkoitus lämmittää sisätiloja, mutta myös jäädyttävät laitteet, kuten jääkaapit, pakastimet ja ilmastointilaitteet käyttävät lämpöpumppua jäädytykseen. (13.)

Kiinteistön lämmitykseen ja viilennykseen tarkoitettuja maalämpöpumppuja voidaan asentaa laajana keruuputkistona tai porakaivona. Pitkä keruuputkisto tarvitsee paljon tilaa, sillä se levitetään vaakatasoon maan pintakerroksen alle noin metrin syvyyteen tai vesistön pohjaan. Porakaivo taas vaatii paljon vähemmän pinta-alaa, sillä se on useimmiten 100 – 200 metriä syvä peruskallioon porattu kapea kaivo, jonne keruuputkisto lasketaan painojen avulla. (14.)



Kuva 11. Maalämpöpumpun keruuputkisto (15.)

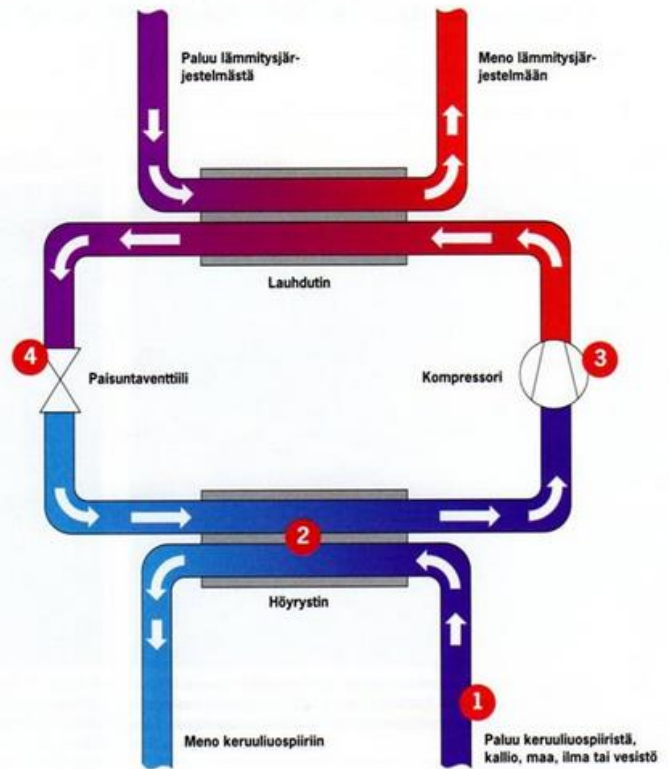


Kuva 12. Maalämpöpumpun porakaivo (15.)

Lämpöpumpun toiminta perustuu keruuputkistossa kiertävän jäätymättömän nesteen lämpenemiseen muutamalla asteella kiertonsa aikana. Lämmennyt neste sitten höyrystää lämpöpumpussa kiertävän kylmäaineen. Kompressorin avulla nostetaan höyrystyneen kylmäaineen painetta ja saadaan sen lämpötila nousemaan. Lopulta kylmäaine lauhtuu jälleen nesteeksi ja luovuttaa lämpönsä lämmönjakoverkkoon ja lämpimään käyttöveteen. (16.)

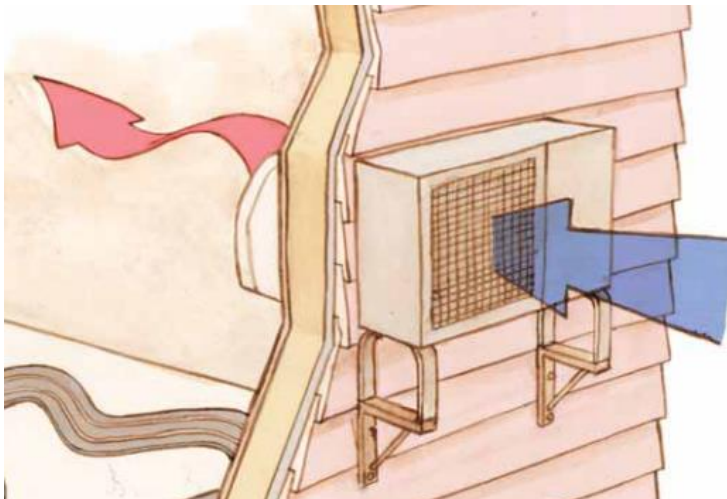


1. Lämmönkeruuneste<sup>1\*</sup> kiertää keruuputkistossa ja kerää lämpöenergiaa kalliosta, maaperästä, ilmasta tai vedestä.
2. Lämmönvaihtimessa (höyrystin) haalea lämmönkeruuneste kohtaa lämpöpumpun jääkylmän kylmäaineen, jonka lämpötila nousee muutama asteen, jolloin se höyryttyy.
3. Tämän jälkeen kompressoripuristaa höyrystyneen kaasun korkeaan paineeseen, jolloin se lämpenee ja lämpö johdetaan lämmönvaihtimen (lauhdutin) kautta talon lämmitysjärjestelmään.
4. Kylmäaineen<sup>1\*\*</sup> kierto jatkuu ja paisuntaventtiilissä sen paine laskee ja kylmäaine tulee jälleen jääkylmäksi. Tästä prosessi alkaa uudestaan kun jääkylmä kylmäaine kohtaa haalean lämmönkeruunesteen.



Kuva 13. Maalämpöpumpun toimintaperiaate (17.)

Maalämpöpumppujen lisäksi käytössä on myös ilmalämpöpumppuja, joista esimerkiksi ilma-vesilämpöpumppu sopii hyvin kiinteistön lämmitykseen. Se ottaa lämmitysenergiansa ulkoilmasta ja välittää sen vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään. Suurimman osan vuodesta ilma-vesilämpöpumppu on riittävä lämmitykseen, mutta kovilla pakkasilla se tarvitsee varajärjestelmän, sillä ilmasta saatava energia ei riitä kattamaan lämmitystarvetta. Yleensä järjestelmä on pumpuissa itsessään, esimerkiksi sähkövastukset joilla saadaan tuotettua lämpöä. (18.)



Kuva 14. Ilma-vesilämpöpumpun energian käyttöönotto (18.)

Lämpöpumppu tarvitsee kuitenkin kaikissa tapauksissa ulkopuolista energiaa toimiakseen. Laitteistosta ulos saatava energia on siis lämmönlähteestä kerätyn energian ja lämpöpumpun käyttämän energian summa. Lämpökertoimeksi kutsutaan hyödyksi saadun lämpöenergian suhdetta käyttöenergiaan ja sen avulla voidaan vertailla lämpöpumppujen tehokkuutta. Esimerkiksi kerroin 3 tarkoittaa, että 1 kilowattitunti käytettyä sähköenergiaa tuottaa 3 kilowattituntia lämpöä. Lämpökertoimessa ei kuitenkaan yleensä oteta huomioon lämpöpumpun muiden osien aiheuttamaa energiahukkaa, jolloin todellinen hyötysuhde on ilmoitettua pienempi. (19, 21.)

Lämpökerroin, tai toiselta nimeltään suorituskerroin (coefficient of performance, COP), on nykyajan ilmalämpöpumpuissa usein jo yli 5, kun ulkolämpötila on +7 °C. Ulkolämpötilan laskiessa suorituskerroin kuitenkin laskee, mutta parhaat pumput kykenevät silti yli kymmenessäkin pakkasasteessa noin 2 suorituskerroimeen. (13.)

Maalämpöpumppujen tyypillinen suhde on noin 2 – 4 ja niiden tehokkuus pysyy melko tasaisena ympäri vuoden. Tyypillisesti pumpun avulla lämmitetään varaajaa, johon lämpö saadaan varastoitua käyttöä varten. (13.)

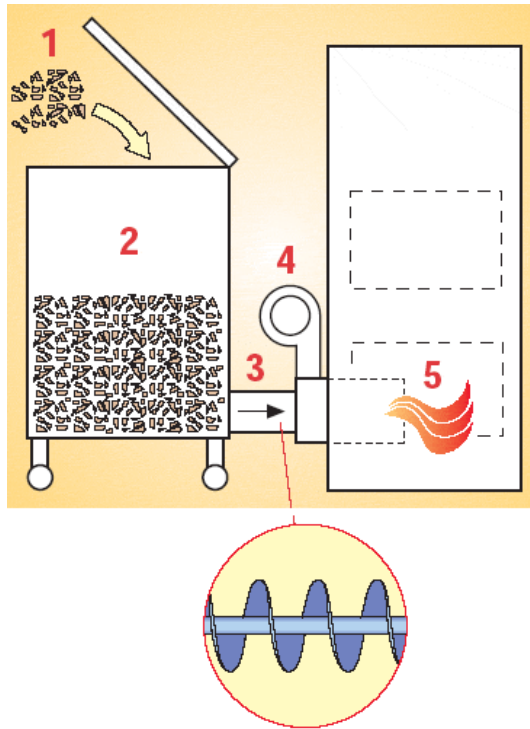
### 2.3 Puun pienkäyttö

Puun käyttö lämmityksessä on ympäristön kannalta toimiva ratkaisu, sillä sen poltto ei aiheuta hiilidioksidi- tai rikkipäästöjä. Puuta myös löytyy Suomesta paljon ja kattiloita onkin kehitetty käyttämään puuta hyvin eri muodoissa esimerkiksi pilkkeenä, halkoina, hakkeena ja pelletteinä. Jotta poltosta aiheutuvat hiukkaspäästöt saadaan minimoitua, systeemin säännöllinen huolto sekä säätö ovat tärkeitä, kuten myös se että polttoaine on mahdollisimman kuivaa. (20.)

Puupolttoaineeseen sitoutunut energia riippuu useista eri asioista, mutta kuitenkin tärkein yksittäinen tekijä on sen kosteus. Mitä kuivempi puu, sitä parempi on sen ominaislämpökapasiteetti. Esimerkiksi hakkeella kosteus vaihtelee yleensä välillä 25–50 %, mutta sen energiamäärään vaikuttaa myös hakkeen puulaji sekä haketyyppi. Kokopuuhake, rankahake, hakkuutähdehake jne. Lisäksi tietenkin itse kattilan ajotapa, lämpöpintojen puhtaus ja säädöt vaikuttavat polttamisesta saatuun energiamäärään. (21, 10.)

Puun pienpoltossa arina on vanhin ja käytetyin polttotapa. Siinä kattilan pohjalle on sijoitettu polttolaite, jonka päällä on joko liikkumaton tai hitaasti liikkuva polttoaine kerros. Arinalla on yleensä useassa eri polttovaiheessa olevia kappaleita, mutta muuten poltto tapahtuu samassa järjestyksessä. Alkuun polttoaineesta poistuu kosteus, jonka jälkeen kappale ja siitä vapautuvat kaasut palavat ja lopuksi myös jäännöshiili palaa. (22, 14.)

Arinat jaetaan kiinteisiin ja liikkuviin eli mekaanisiin arinoihin. Näistä kiinteisiin arinoihin kuuluva tasoarina on yksinkertainen ratkaisu pienpolttoainekattiloille, johon polttoaine syötetään yleensä joko käsin, syöttöruuvilla tai maan vetovoiman avulla syöttösiilosta. Itse arinalla polttoaine kulkee omavoimaisesti kun arina asetetaan 30 – 50°:n kulmaan. (22, 15–16.)



Kuva 15. Polttoaineen syöttö arinalle (23.)

Arinalla olevan polttoaineen sekoittuminen on hyvin vähäistä, joten tarvittava polttoilma täytyy saada syötettyä tasaisesti yhdessä polttoaineen kanssa. Jos ilman levityminen polttoaineeseen on epätasaista, se karkailee vähiten vastustusta antavasta kohdasta ja heikentää polttotehoa. Tätä pyritään vähentämään mitoittamalla arinan ilmanvastus suuremmaksi kuin polttoainepatjan. (24, 471.)

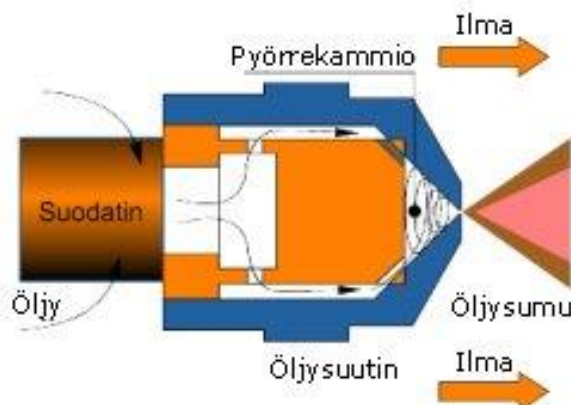
Lämmönjakoon käytetään yleensä vesikiertoista patteri- tai lattialämmitysverkkoa ja lämpöä varastoidaan myös varaajaan myöhempää käyttöä varten. Hyvällä puukattilalla hyötysuhde voi olla nimellisteholla yli 80 %. (20.)

## 2.4 Öljy ja maakaasu

Maakaasulla ja öljyllä on paljon yhteisiä ominaisuuksia, minkä takia niitä voidaan polttaa samoissa kattiloissa. Molemmat palavat kaasumaisessa tilassa, joka ei tuota paljon tuhkaa ja tekee tulipesän puhdistamisen tarpeen vähäiseksi. Savukaasua muodostuu suurin piirtein yhtä paljon tuhkan vähäisyyden takia ja kummassakaan polttoaineessa ei ole lähes ollenkaan kosteutta. Ongelman samassa kattilassa polttamisella tuottavat savukaasujen erilaiset säteilyominaisuudet, mikä taas vaikuttaa kattilaa seuraavien lämmönsiirtimien mitoittamiseen. Öljyllä savukaasujen lämmön säteily on voimakkaampaa kuin maakaasulla ja voi olla jopa 100 °C kuumempaa. (25, 120.)

Öljylämmitysjärjestelmä on helppo yhdistää aurinkolämmitysjärjestelmään, jolloin noin 25 – 35 % lämmöntarpeesta saadaan auringosta. Lisäksi öljylle on tarjolla kaksoispesäkattiloita, joissa voidaan öljyn rinnalla käyttää puupolttoainetta. (20.)

Pienpolttoainekattiloista löytyvät paineöljyhajottiset polttimet, joiden avulla voidaan polttaa sekä kevyttä että raskasta polttoöljyä. Jotta öljy saadaan palamaan, se täytyy kuitenkin sumuttaa tulipesään eli hajottaa pieniksi alle 0,05 mm:n pisaroiksi. Paineöljyhajotteisissa polttimissa öljy tulee suuttimeen 10–40 baarin paineella. Suuttimessa öljy joutuu voimakkaaseen pyörimisliikkeeseen sisällä olevissa gentiaaliurissa. Niistä pyörivä öljy sitten virtaa pyörrekammioon ja sieltä eteenpäin ohuena kartiomaisena kalvona polttoon suuttimen keskellä olevan reiän kautta. (25, 122.)



Kuva 16. Painehajoitteinen öljysuutin (26.)

Öljykattilan ja -polttimen lisäksi järjestelmään kuuluvat myös säätölaitteet ja öljysäiliö. Erillistä lämminvesivaraajaa ei tarvita sillä järjestelmä kykenee tuottamaan huone-tilojen ja lämpimän käyttöveden tarvitseman energian. Mahdollisten häiriöiden varalta kattiloista löytyvät myös sähkövastukset. Lämpö jaetaan yleensä vesikiertoisella lämmönjakojärjestelmällä ja nykyaikaisten öljykattiloiden hyötysuhde on noin 90–95 % ja palaminen on hyvin puhdasta. (20.)

Maakaasujärjestelmä on hyvin samankaltainen kuin öljylämmityksessä ja suurin ero tulee varastoinnissa. Maakaasua ei siis varastoida, vaan järjestelmä liitetään paikkakunnan jakeluverkostoon, jolloin jakeluyhtiö huolehtii asennuksesta sekä mittaus- ja säätölaitteista kaasumittarille saakka. (20.)

Kuten öljyllä, maakaasullakin järjestelmään kuuluu lämmityskattilan lisäksi kaasupolttin ja vesikiertoinen lämmönjakojärjestelmä. Maakaasu on kuitenkin rikitön ja hiukkaspäästöiltään vähäinen ja sen polttaminen tuottaa noin neljänneksen vähemmän hiilidioksidipäästöjä kuin öljy. Fossiilisista polttoaineista se onkin yksi ympäristöystävällisimmistä ja sen vuosihyötysuhteeksi saadaan usein yli 90 %. (20.)

## 2.5 Sähkö

Sähkölämmitys on helppokäyttöinen, vaivaton ja sillä on hyvä hyötysuhde. Se on myös ympäristöturvallinen, helposti ohjattava ja reagoi nopeasti sisäisiin lämmönvaihteluihin. Kaiken tämän takia sähkölämmitys on edelleen yksi suosituimmista lämmitysmuodoista. Käyttöönottoa ajatellen se on myös kustannustehokas, sillä se ei vaadi kalliita investointeja tai työläitä huoltotoimenpiteitä ja valmis infrastruktuuri on saatavilla lähes kaikkialla. (4.)

Sähkökattilassa on esimerkiksi lattialämmitysveden lämmitys sekä lämpimän käyttöveden lämmitys, jotka lämmitetään sähkövastusten avulla. Järjestelmässä on yleensä myös ulkoilmaohjattu tehonvalvonta automatiikka, joka huolehtii siitä että lämpimän käyttöveden tuotto riittää ja että lämmitykseen menee sopivan lämpöistä vettä. (27, 21)

Yhä kasvava matalaenergiatalojen rakentaminen on mahdollista ja kannattavaa tavantomaisella nykytekniikalla: riittävä vaipan eristäminen yhdistettynä energiatehokkaa-

seen ilmanvaihtoon. Matalaenergiatalot puolittavat tilalämmitysenergian tarpeen, jolloin sähkö sopii niihin loistavasti hyvän hyötysuhteensa ja nopean reagoinnin ansiosta. Myös vanhemmissa sähkölämmitystaloissa energiansäästötoimia on helppo toteuttaa, sillä esimerkiksi nykyaikaiset lämmittimet ja termostaatit eivät kuluta ylimääräistä energiaa. Myös lisälämmöneristys sekä ohjaustekniikan kunnostaminen ja parantaminen on usein kannattavaa. (4.)

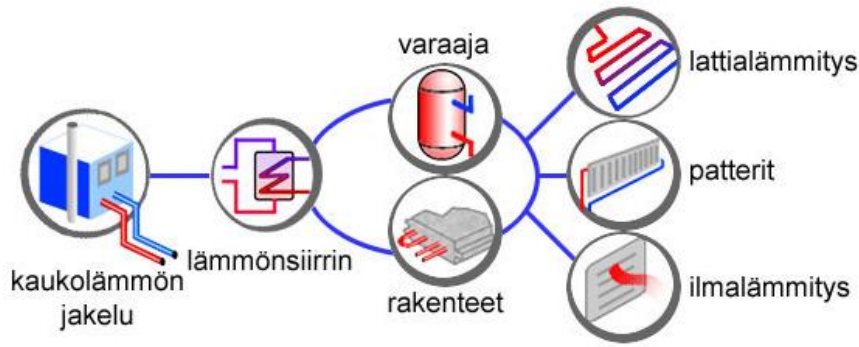
Sähkölämmitystä korvaavat yhä useammin ainakin osittain erilaiset lämpöpumput, sillä niiden avulla energiantarvetta saadaan vähennettyä. Maalämpöpumppujen kanssa sähköä tarvitaan yleensä vain noin kolmannes verrattuna suoraan sähkölämmitteeseen rakennukseen. Poistoilmapumpulla sähkön tarve verrattuna suoraan sähkölämmitykseen on noin 50 % ja ilmalämpöpumpulla noin 70 %. (4.)

## 2.6 Kaukolämpö ja -kylmä

Lämmitysmuodoista kaukolämpö on Suomen yleisin lämmitysmuoto, sillä se on luonnollinen ja varma lämmitystapa taajama alueilla. Sen loistava energiatehokkuus ja ympäristömyötäisyys perustuvat siihen, että kaukolämmitykseen käytetään ns. hukkalämpöä. Hukkaan menevää lämpöenergiaa tulee etenkin sähköntuotannon yhteydessä (sähkö ja lämmön yhteistuotanto), sekä esimerkiksi teollisuusprosessien jätelämpönä. (4.)

Polttoaineina kaukolämmöntuotannossa käytetään maakaasua, kivihiiltä, öljyä, turvetta sekä yhä suuremmissa määrin puuta ja muita uusiutuvia energialähteitä, kuten bio-kaasua. Tällä hetkellä noin 70–75 % kaukolämmöstä tulee lämpöä sekä sähköä tuottavista lämmitysvoimalaitoksista (yhteistuotanto) sekä teollisuusprosessien jätelämpönä. (4.)

Asiakkaille lämpö siirretään kuumana vetenä suljetussa kaksiputkisessa kaukolämpöverkossa. Perille päästyään kaukolämpövesi johdetaan lämpökeskukseen, jossa se luovuttaa lämpöään lämmönsiirtimien avulla lämmitysverkkoon, sekä lämpimän käyttöveden valmistukseen. Varsinainen kaukolämpövesi ei siis kierrä rakennusten lämmitysverkossa. Tämän jälkeen jäähtynyt vesi palaa paluujohdossa takaisin tuotantolaitokseen uudelleen lämmitettäväksi. (28.)



Kuva 17. Kaukolämmön jakelu (29.)

Kaukolämpövesi käsitellään mekaanisten epäpuhtauksien ja hapen poistamiseksi, sekä putken sisäpuolisen korroosion estämiseksi. Vuotojen ja vaurioiden paikantamisen helpottamiseksi vesi myös värjätään vihertäväksi, mutta väriaine ei ole terveydelle tai ympäristölle vaarallista. (28.)

Kaukolämmön lisäksi kaukokylmän tuotanto on myös Suomessa pikku hiljaa kasvussa. Kaukokylmän tapauksessa kylmä tuotetaan tuotantolaitoksen kylmäkoneilla ja siirretään kaukokylmäputkissa virtaavan kylmän noin 6 °C asteisen veden avulla. Putkista kylmäenergia siirtyy lämmönvaihtimien kautta kiinteistön omaan jäähditysjärjestelmään ja kiinteistön ylimääräinen lämpö taas kaukokylmäveteen, joka palaa paluuputkessa noin 16 °C:na takaisin tuotantolaitokselle. Laitokselle tuleva hukkalämpö siirretään sitten lämpöpumppujen avulla kaukolämpöverkkoon ja sieltä edelleen rakennuksien ja käyttöveden lämmittämiseen. (30.)

### 3 HYÖTYSUHTEIDEN LASKENTA

Työn toinen pääosio käsittelee omatuotantolaitteistojen hyötysuhteiden seuranta, eli haluttiin tietää miten hyötysuhde muuttuu kun sää tai muut säädöt vaihtelevat. Laskelmien tarkoituksena on siis selvittää eri energiamuotojen hyötysuhteet Etelä-Suomen ilmasto-olosuhteissa.

#### 3.1 Aurinkopaneelit

Aurinkopaneeleista ilmoitetaan yleensä vain nimellisteho tai laboratorio-olosuhteissa saatu hyötysuhde. Hyötysuhde saadaan kuitenkin laskettua helposti nimellistehon ja paneelin pinta-alan ja auringon säteilyn tehon tulon suhteella.

$$\eta_t = \frac{P_p}{AE_e} \quad (1)$$

$\eta_t$	paneelin hyötysuhde
$P_p$	nimellisteho [W]
$A$	pinta-ala [m <sup>2</sup> ]
$E_e$	auringon säteilyteho [W/m <sup>2</sup> ]

Aurinkopaneelin hyötysuhteen vaihteluun vaikuttaa siis eniten auringon säteilytehon muuttuminen vuodenaikojen ja päivän ajankohdan mukaan. Aurinkopaneelien sähkön tuotto on kuitenkin tasavirtaa, joten vaihtovirran tuotannon hyötysuhteeseen tulee ottaa huomioon myös invertterin hyötysuhde.

$$\eta_v = \frac{P_p}{AE_e} \eta_i \quad (2)$$

$\eta_v$	tuotetun vaihtovirran hyötysuhde
$P_p$	nimellisteho [W]
$A$	pinta-ala [m <sup>2</sup> ]
$E_e$	auringon säteilyteho [W/m <sup>2</sup> ]
$\eta_i$	invertterin hyötysuhde

### 3.2 Aurinkokeräimet

Aurinkokeräimelle ilmoitetaan yleensä optisen hyötysuhteen lisäksi sen lämmönläpäisykerroin sekä toisen potenssin lämmönläpäisykerroin, jotka kertovat kuinka paljon lämpöä auringon säteilystä saadaan hyödynnettyä. Keräimen suorituskyky muuttuu auringon säteilyvoimakkuuden sekä ulkoilman lämpötilan mukaan, joten sen hyötysuhde kannattaa laskea useammalla eri säteilyn voimakkuudella ja lämpötilaerolla, joista saadaan sitten katsottua keskiarvoa.

$$\eta = \eta_0 - k_1 \frac{\Delta T}{E_e} - k_2 \frac{\Delta T^2}{E_e} \quad (3)$$



$\eta$	keräimen hyötysuhde
$\eta_0$	optinen hyötysuhde
$k_1$	lämmönläpäisykerroin [ $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ ]
$k_2$	toisen potenssin lämmönläpäisykerroin [ $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}^2$ ]
$\Delta T$	keräimen ja ulkoilman lämpötilan erotus
$E_e$	auringon säteilyteho [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]

### 3.3 Lämpöpumput

Lämpöpumpuille annettu suorituskerroin (COP) kertoo kuinka monta kilowattia lämpöenergiaa saadaan tuotettua yhdestä kilowatista sähköä. Siihen ei kuitenkaan yleensä ole huomioitu muiden osien aiheuttamaa energiahukkaa, joten laskemalla ne mukaan saadaan hieman tarkempi COP arvo.

$$COP = \frac{P_l}{P_s + P_k + P_a} \quad (4)$$

COP	suorituskerroin
$P_l$	tuotettu lämpöteho [W]
$P_s$	käytetty sähköteho [W]
$P_k$	kompressorin käyttämä sähköteho [W]
$P_a$	apulaitteiden käyttämä sähköteho [W]

Ilmalämpöpumppujen COP arvo vaihtelee vuodenajan mukaan, joten niille annetaan yleensä kausisuorituskerroin (SCOP, Seasonal Coefficient of Performance). Kausisuorituskerroimen laskentaa varten on eroteltu kolme eri ilmasto, tyypillinen, lämmin ja kylmä, joiden mukaan otetaan mittaustilapisteet. Suomi kuuluu kylmään ilmastoon, jolloin standardien mukaisen ilmalämpöpumpun täytyy kyetä toimimaan vielä  $-15\text{ }^\circ\text{C}$  asteessa. (31, 2–3)

Kapasiteetti ilmalämpöpumpulle saadaan laskettua kylmän alueen mallilämpötilan  $-22\text{ }^\circ\text{C}$  avulla.

$$CR = \frac{T - 16}{T_0 - 16} \quad (5)$$

CR	kapasiteetti
T	mittauspiste [°C]
T <sub>0</sub>	mallilämpötila [°C]

Kapasiteetin avulla saadaan sitten laskettua lämpöpumppujen COP arvot eri lämpötiloissa. Ilma – ilma ja suolaliuos – ilma-toimisten pumppujen COP lasketaan kaavalla:

$$COP = COP_0(1 - C_d(1 - CR)) \quad (6)$$

COP	suorituskerroin
COP <sub>0</sub>	annettu suorituskerroin
C <sub>d</sub>	heikentymiskerroin vakio 0,25
CR	kapasiteetti

Ilma-vesi ja suolaliuos-vesi pumppujen SCOP taas lasketaan kaavalla:

$$COP = COP_0 \frac{CR}{C_d CR + (1 - C_d)} \quad (7)$$

COP	suorituskerroin
COP <sub>0</sub>	annettu suorituskerroin
C <sub>d</sub>	heikentymiskerroin vakio 0,9
CR	kapasiteetti

Näiden kaavojen avulla saadaan laskettua ilmalämpöpumpun COP arvo kaikille lämpöasteille esimerkiksi väliltä -15 °C - +15 °C, joiden avulla voidaan sitten laskea varsinainen SCOP.

$$SCOP = \frac{\text{yhteen laskettu sähkön kulutus [kWh]}}{\text{yhteen laskettu lämmön tarve [kWh]}} \quad (8)$$

## 3.4 Hakelämpö

Hakelämmön suorahyötysuhde saadaan laskettua helposti hyötytehon ja polttotehon ja apulaitteiden summan osamääränä.

$$\eta = \frac{\Phi_h}{\Phi_p + \Phi_a} \quad (9)$$

$\eta$	suora hyötysuhde
$\Phi_h$	hyötyteho [W]
$\Phi_p$	polttoteho [W]
$\Phi_a$	apulaitteiden käyttämä teho [W]

Polttotehoa varten tarvitsee kuitenkin tietää mikä on hakkeen lämpöarvo, sillä se muuttuu hakkeen kosteuden mukaan.

$$H_{kosteaa} = H_{kuiva}(1 - M) - Q_h M \quad (10)$$

$H_{kosteaa}$	kostean hakkeen lämpöarvo [MJ/kg]
$H_{kuiva}$	kuivan hakkeen lämpöarvo [MJ/kg]
$M$	hakkeen kosteus
$Q_h$	veden ominaishöyrystymislämpö 25 °C [MJ/kg]

Ja itse polttoteho saadaan laskettua kaavasta:

$$\Phi_{pa} = q_m H_{pa} \quad (11)$$

$\Phi_{pa}$	polttoaineteho [MW]
$q_m$	massavirta [kg/s]
$H_{pa}$	polttoaineen lämpöarvo [MJ/kg]

Epäsuoran hyötysuhteen laskennassa otetaan huomioon myös erilaiset häviöt joita poltossa syntyy.

$$\eta = 1 - \frac{\Phi_{\text{häviöt}}}{\Phi_{\text{tuotu}}} \quad (12)$$

$\eta$	epäsuora hyötysuhde
$\Phi_{\text{häviöt}}$	häviöteho [W]
$\Phi_{\text{tuotu}}$	tuotu teho [W]

Näitä ovat esimerkiksi savukaasujen lämpöhäviöt, jotka määritetään massavirran ja lämpötilan mukaan.

$$q_v = wA \quad (13)$$

$q_v$	tilavuusvirta [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]
$w$	savukaasun virtausnopeus [m/s]
$A$	virtauskanavan poikkipinta-ala [ $\text{m}^2$ ]

$$q_m = \rho q_v \quad (14)$$

$q_m$	massavirta [kg/s]
$\rho$	savukaasun tiheys [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]
$q_v$	tilavuusvirta [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

Savukaasu oletetaan ideaalikaasuksi, joten sen tiheys saadaan ideaalikaasun tilanyhtälöstä.

$$\rho = \frac{p}{RT} \quad (15)$$

$\rho$	savukaasun tiheys [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]
$p$	paine savukanavassa [Pa]
$R$	savukaasun kaasuvakio [J/kgK]
$T$	savukaasun lämpötila [K]

Vertailulämpötilana käytetään huoneilman lämpötilaa.

$$\Phi_{sk} = q_m c_p (T_{sk} - T_v) \quad (16)$$

$\Phi_{sk}$	savukaasun lämpöteho [kW]
$q_m$	savukaasun massavirta [kg/s]
$c_p$	ominaislämpökapasiteetti [KJ/kg°C]
$T_{sk}$	savukaasun lämpötila [°C]
$T_v$	vertailulämpötila [°C]

Savukaasun lämpötehon lisäksi häviötä tulee palamattomista kaasuista, jotka saadaan mittaamalla savukaasun hiilimonoksidipitoisuus.

$$\Phi_{CO} = q_{m.CO} H_{CO} \quad (17)$$

$\Phi_{CO}$	häviöteho [kW]
$q_{m.CO}$	hiilimonoksidin massavirta [kg/s]
$H_{CO}$	hiilimonoksidin lämpöarvo [kJ/kg]

$$q_{m.CO} = \frac{CO}{1000000} q_m \quad (18)$$

$q_{m.CO}$	hiilimonoksidin massavirta [kg/s]
CO	hiilimonoksidi pitoisuus [ppm]
$q_m$	savukaasun massavirta [kg/s]

### 3.5 Öljy ja maakaasu

Maakaasu- ja öljykattiloiden hyötysuhteet saadaan laskettua samoilla kaavoilla, 9 ja 12, kuin hakekattilankin. Erona on se, että maakaasun ja öljyn kanssa ei tarvitse laskea erikseen polttoaineen lämpöarvoa kosteuden mukaan, sillä sekä maakaasussa että öljyssä on hyvin vähän kosteutta.

Myös häviöiden laskentaan voidaan hyödyntää hakekattilan häviölaskennan kaavoja, 13–18.

#### 4 TUOTANTOKUSTANNUSTEN LASKENTA

Tuotantokustannusten laskentaa varten selvitetiin ensin eri polttoaineiden hinnat €/MWh. Kaikille polttoaineille ei löytynyt suoraan tämän muotoista hintaa, vaan esimerkiksi öljyn litrahinnasta saatiin lämpöarvon kautta laskettua €/MWh muoto.

Kustannukset tuotannolle lasketaan kertomalla tuotettu energia määrä polttoaineen hinnan ja tuotantotavan hyötysuhteen osamäärällä.

$$c = Q \frac{c_{pa}}{\eta} \quad (19)$$

$c$	tuotannon hinta [€]
$Q$	tuotettu energia [MWh]
$c_{pa}$	polttoaineen hinta [€/MWh]
$\eta$	laitteiston hyötysuhde

Lisäksi aurinkokeräinten, sekä hake-, maakaasu- ja öljykattiloiden hintaan tulee lisätä niiden apulaitteiden käyttämä sähkökulutus.

$$c_{sähkö} = Q_{käyt} c_{pa} \quad (20)$$

$c_{sähkö}$	apulaitteiden käyttämän sähkön hinta [€]
$Q_{käyt}$	apulaitteiden käyttämä energia [MWh]
$c_{pa}$	sähkön hinta [€/MWh]

## 5 LASKENTAPOHJAN TARKASTELU

Laskentapohjassa on eroteltu sivut aurinkoenergialle, lämpöpumpulle, hake-, maakaasu- ja öljykattiloille. Näillä sivuilla laskentapohjaan voidaan syöttää laitteiston tekniset tiedot sekä saadut mittaustulokset. Tämän jälkeen syötettäessä haluttu hyötytehon arvo, saadaan suoraan ulos laitteiston hyötysuhde, sekä kattiloiden tapauksessa tarvittavan polttoaineen määrä noin suurin piirtein. Aurinkopaneeleiden ja –keräinten tapauksessa haluttua hyötytehoa ei voi laskentaan määrittää, vaan niiden tuotto on suoraan verrannollinen auringon säteilyn määrään ja ulkolämpötilaan.

Selkeyden vuoksi laskettujen laitteistojen hyötysuhteet on myös kerätty omalle sivulle taulukkoon, jonne voidaan suoraan muuttaa mittaustuloksia ja saada mahdollisesti hieman muuttunut hyötysuhde saman tien esille.

Myös laskennassa käytettävien energiamuotojen hinnasto on omalla sivullaan ja siihen on listattu kaikkien ostoenergioiden tai polttoaineiden hinnat muotoon €/MWh. Kaikkia hintoja ei löydy suoraan tässä muodossa, mutta helpomman vertailun ja laskentapohjan selkeyden vuoksi ne on listalle muutettu jo valmiiksi tähän muotoon.

Laskentapohjan viimeisellä sivulla esitellään kaikkien toimenantajan toivomien energiamuotojen tuotanto ja hankintakustannukset. Taulukko on tehty niin että vuoden jokaiselle kuulle voidaan erikseen ilmoittaa tuotetun tai ostetun energian määrä ja saada viereen näkyville sen kustannusarvio. Näkyvillä on myös koko vuoden saldo jokaisesta energiavarasta erikseen, sekä se, mikä on kuukausittainen tuotetun energian suhde käytettyyn energiamäärään. Näistä luvuista on myös laskettu koko vuoden energiataase.

$$Energiatase = \frac{\text{tuotettu energia [kWh]}}{\text{kulutettu energia [kWh]}} \quad (21)$$

Esimerkiksi kustannustaulukkoon on sijoitettu Nuuka Solutionsilta saadun nollaenergiatalon vuoden kulutukset ja tuotannot.

## 6 YHTEENVETO

Insinööritö tehtiin tarkoituksena saada Nuuka Solutions Oy:lle yksinkertainen laskentapohja eri energiamuotojen, etenkin uusiutuvien, vertailuun. Tässä suhteessa työ onnistui suhteellisen hyvin ja halutut hyötysuhteet sekä tuotantokustannukset ovat selkeästi esillä ja vertailtavissa.

Laskennan puolesta pohjasta jäi vielä omasta mielestäni hienosäätöä tekemättä. Esimerkiksi kattiloiden apulaitteiden sähkönkulutuksen kustannuksia ei laskennassa ole otettu huomioon, kun keräämieni tietojen pohjalta jäi epävarmaksi kuinka suuressa käytössä kyseiset laitteet ovat tuntimääräisesti.

Myös lämpöpumppujen laskenta jäi hieman ontumaan, sillä yrityksen toiveesta tehtiin maalämpö- sekä ilma-vesilämpöpumpuille yhteinen laskenta. Suurin ongelma sen kanssa on ilmalämpöpumppujen suorituskertoimen muutos ulkolämpötilan mukaan. Otin ilmalämpöpumput sen takia myös erikseen käsittelyyn ja laskin esimerkiksi Suomen ilmasto-olosuhteisiin sopivan ilmalämpöpumpun COP-arvot eri lämpötiloissa. Niistä muodostuvaa SCOP-arvoa en kuitenkaan saanut laskeutumaan täysin oikein, vaan arvo suureni lämpötilan laskiessa. Todellisuudessa SCOP lasketaankin koko vuoden tuotannon ja kulutuksen suhteesta, käyttäen hyväksi eri lämpötiloille laskettuja COP-arvoja.

Laskentapohjan arvot ovat Internetistä löytyvistä lähteistä, sillä laskentaa varten ei annettu tiettyjä laitteistoja joiden teknisiä tietoja olisi voinut hyödyntää. Tärkeimpänä tehtävänä olikin toimiva laskentapohja, johon yritys voi itse syöttää aina tapauskohtaiset tiedot ja mittaukset. Vuosittaisen energiankulutuksen luvut ovat todellisia arvoja.

Yleisesti ottaen työ kuitenkin onnistui hyvin ja toimeksiantajakin kertoi voivansa käyttää sitä hyödykseen. Sen avulla voidaan siis tulevaisuudessa kartoittaa mitä energiamuotoja kannattaa taloudellisesti ja ympäristöä ajatellen käyttää eri vuodenaikoina.



## LÄHTEET

1. Tilastokeskus. Sähkön ja lämmön tuotanto. 18.10.2012 Saatavilla:  
[http://www.stat.fi/til/salatuo/2011/salatuo\\_2011\\_2012-10-16\\_tie\\_001\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/salatuo/2011/salatuo_2011_2012-10-16_tie_001_fi.html)  
[viitattu 30.8.2013]
2. Tilastokeskus. Energian kokonaiskulutus laski 2 prosenttia vuonna 2012.  
22.3.2013 Saatavilla: [http://pai.stat.fi/til/ehk/2012/04/ehk\\_2012\\_04\\_2013-03-22\\_tie\\_001\\_fi.html](http://pai.stat.fi/til/ehk/2012/04/ehk_2012_04_2013-03-22_tie_001_fi.html) [viitattu 30.8.2013]
3. Motiva Oy. Uusiutuva energia. 17.7.2013 Saatavilla:  
[http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia) [viitattu 30.8.2013]
4. Energiateollisuus ry. Koti ja lämmitys. Saatavilla:  
<http://energia.fi/koti-ja-lammitys/> [viitattu 1.9.2013]
5. Boxwell, M. 2012. Solar Electricity Handbook. Warwickshire: Greenstream Publishing
6. Ympäristöenergian aurinkolämpöjärjestelmä-opas 2011. Jodat Ympäristöenergia Oy. Saatavilla:  
[http://www.jamk.fi/instancedata/prime\\_product\\_intranet/jamk/embeds/wwwstructure/33076\\_Timo\\_Jodat\\_Aurikolampojarjestelman\\_itserakennusopas\\_2010.pdf](http://www.jamk.fi/instancedata/prime_product_intranet/jamk/embeds/wwwstructure/33076_Timo_Jodat_Aurikolampojarjestelman_itserakennusopas_2010.pdf)  
[viitattu 1.9.2013]
7. Erat, B., Erkkilä, V., Nyman, C., Peippo, K., Peltola, S. & Suokivi, H. 2008. Aurinko-opas: aurinkoenergiaa rakennuksiin. Porvoo: Aurinkoteknillinen Yhdistys ry
8. Aurinkopaneelit. Aurinkopaneelit.net:n artikkeli. 2013 Saatavilla:  
<http://www.aurinkopaneelit.net/> [viitattu 1.9.2013]
9. Aurinkotukku. Aurinkopaneeli 250 W. Saatavilla:  
<http://www.aurinkotukku.fi/aurinkopaneeli-250-w.html> [viitattu 1.9.2013]

10. Alternative Solutions Finland Oy. Sonnenkraft SK500N –tasokeräin. Saatavilla:  
<http://www.aurinkovoima.fi/fi/tuotteet/sonnenkraft-tuotteet> [viitattu 2.9.2013]
11. Finn-Aine Ky. Kuvat. Saatavilla:  
<http://www.finnaine.fi/cms/laemmitysjaerjestelmaet/aurinkokeraeimet>  
[viitattu 2.9.2013]
12. Novafuture Oy. Tyhjiöputkikeräimen toimintaperiaate. 2010. Saatavilla:  
<http://novafuture.fi/putket.html> [Viitattu 2.9.2013]
13. Lämpöpumppu. Lämpöpumppu.org:n artikkelit. 2013. Saatavilla:  
<http://www.lampopumppu.org/> [viitattu 2.9.2013]
14. Maalämpöpumppu. Asennusohje. Saatavilla:  
<http://www.maalampopumppu.info/maalampopumpun-asennusohje/>  
[viitattu 2.9.2013]
15. Oy Callidus Ab. SWC-maalämpöpumppu kuvat. Saatavilla:  
<http://callidus.fi/fi/lammitys/tuotteet/lampopumput/alpha-innotec-swc>  
[viitattu 2.9.2013]
16. Suomen Lämpöpumppuyhdistys SULPU ry. Maalämpöpumput (MLP). Saatavilla:  
<http://www.sulpu.fi/lampopumpputyypit> [viitattu 2.9.2013]
17. Suomen Uusiutuva Energia Oy. Näin lämpöpumppu toimii. 2010. Saatavilla:  
<http://www.suenergia.fi/Upload/Media/L%C3%A4mp%C3%B6pumpun%20periaate.jpg> [viitattu 2.9.2013]
18. Motiva Oy. Pdf-tiedosto Lämpöä ilmassa. Saatavilla:  
[http://www.motiva.fi/files/6057/Lampoa\\_ilmassa.pdf](http://www.motiva.fi/files/6057/Lampoa_ilmassa.pdf) [viitattu 1.9.2013]
19. Juva, H. 1982. Maalämpö ja lämpöpumput. Helsinki: Rakentajain Kustannus Oy

20. Motiva Oy. Eri lämmitysmuodot. 17.4.2013 Saatavilla:  
[http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman\\_valinta/eri\\_lammitysmuodot](http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/eri_lammitysmuodot) [viitattu 1.9.2013]
21. Härkönen, M. Yliopettaja. 22.9.2010. Keski-Pohjanmaan energiaosuuskuntien lämpölaitokset: kartoitus ja mittauksia. Kaustinen. Saatavilla:  
[http://www.forestpower.net/data/liitteet/10539=2010-09-22\\_martin\\_esitelma.pdf](http://www.forestpower.net/data/liitteet/10539=2010-09-22_martin_esitelma.pdf),  
[viitattu 1.9.2013]
22. Heino, J. 2010. Insinööriyö Biopolttoainekattilan käyttöönotto. Kymenlaakson Ammattikorkeakoulu. Saatavilla:  
[http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/12892/Insinoorityo\\_Jesse\\_Heino.pdf?sequence=1](http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/12892/Insinoorityo_Jesse_Heino.pdf?sequence=1) [viitattu 1.9.2013]
23. Puhakka, M. Elearn. Stokeripoltto. Saatavilla:  
[http://elearn.ncp.fi/materiaali/kainulainens/bioenergiamateriaali04/pdf\\_materiaali/Polttoteknologiat.htm#](http://elearn.ncp.fi/materiaali/kainulainens/bioenergiamateriaali04/pdf_materiaali/Polttoteknologiat.htm#) [viitattu 2.9.2013]
24. Raiko, R., Saastamoinen, J., Hupa, M. & Kurki-Suonio, I. 2002. Poltto ja palaminen. Helsinki: Teknillistieteelliset akatemit
25. Huhtinen, M., Kettunen, A., Nurminen, P. & Pakkanen, H. 1994. Höyrykattilatekniikka. Helsinki: Painatuskeskus
26. Opetushallitus. Öljysuutin. Saatavilla:  
[http://www2.edu.fi/lvi/LVI\\_osio\\_01\\_popup\\_suutin.htm](http://www2.edu.fi/lvi/LVI_osio_01_popup_suutin.htm) [viitattu 2.9.2013]
27. Harju, P. 2010. Lämmitystekniikan Oppikirja. Kouvola: Penan tieto-opus. Saatavilla:  
[http://www.penantieto-opus.fi/files/lammitystekniikan\\_oppikirja.pdf](http://www.penantieto-opus.fi/files/lammitystekniikan_oppikirja.pdf)  
[viitattu 1.9.2013]
28. Energiategollisuus ry. Kaukolämpö: Toimintaperiaate - Toimintavarma kaukolämpö. Saatavilla: <http://www.kaukolampo.fi/toimintaperiaate.html> [viitattu 1.9.2013]

29. Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu ja Motiva Oy. Kaukolämmitys. 2003. Saatavilla:  
[http://elearn.ncp.fi/materiaali/kainulainens/energiaverkko/koti\\_ ja\\_ energia/rivitalo/kauko.htm](http://elearn.ncp.fi/materiaali/kainulainens/energiaverkko/koti_ ja_ energia/rivitalo/kauko.htm) [viitattu 2.9.2013]
30. Fortum. Näin kaukokylmä toimii. 25.4.2013 Saatavilla:  
<http://www.fortum.com/countries/fi/yritysasiakkaat/kaukokylma/nain-kaukokylma-toimii/pages/default.aspx> [viitattu 1.9.2013]
31. Rasmussen, P. 31 December 2011. Calculation of SCOP for heat pumps according to EN 14825. Danish Technological Institute

Aurinkopaneelien ja -keräinten tuotanto Kymenlaaksossa

kuukaudet	auringon säteily vaakatasolle (kWh/m <sup>2</sup> /d)	lämpötila (°C)	aurinkokeräimen hyötysuhde
tammii	0,35	-3	0,410
helmi	1,07	-3	0,410
maalii	2,37	-2	0,415
huhti	4,03	3	0,443
touko	5,51	10	0,481
kesä	5,85	14	0,501
heinä	5,67	20	0,531
elo	4,34	16	0,511
syys	2,69	12	0,491
loka	1,26	6	0,459
marras	0,51	1	0,432
joulu	0,19	-2	0,415

Paneelien tuottoon ei ilman lämpötila juurikaan vaikuta, paitsi silloin kun lämpötila nousee yli 25°C, jolloin tehokkuus laskee n. 0,25 %/1 °C. Suomen olosuhteissa ei siis kovin suurta merkitystä.

Hyötysuhteissa ei ole huomioitu invertterriä, varaajassa tapahtuvaa hävikkiä tai pumppua, joten hyötysuhteet eivät ole koko systeemille.

Aurinkokeräinten kohdalla oletetaan, että pumppuyksikkö on päällä noin 5 h/d.

Aurinkokeräin	
kapasiteetti	1,55 kWh
apertuuri pinta-ala	2 m <sup>2</sup>
absorbointi min.	0,95
emissio max.	0,2
optinen hyötysuhde	0,7
lineaarinen lämmönläpäisykerroin k <sub>1</sub>	3,2
toisen potenssin lämmönläpäisykerroin k <sub>2</sub>	0,015
keräimen sisälämpötila	60 °C
säteilyn teho	900 W/m <sup>2</sup>

Pumppuyksikkö & varaaja	
pumppuyksikön käyttämä teho	0,1 kW
varaajan lämpöhäviö	0,12 kW
(varaajan jälkilämmitys)	

Kerääjien määrä	10
-----------------	----

kerääjien tuotto [kWh/d]	
tammikuu	1,626
helmikuu	7,232
maaliskuu	17,609
huhtikuu	32,835
toukokuu	49,209
kesäkuu	54,606
heinäkuu	56,117
elokuu	41,061
syyskuu	23,992
lokakuu	9,898
marraskuu	3,088
joulukuu	0,400

↓  
vuoden keskimääräinen tuotto  
9054,194 kWh

Aurinkopaneeli	
nimellisteho	72,5 W
pinta-ala	0,72 m <sup>2</sup>
säteilyn teho	900 W/m <sup>2</sup>
tehokkuustakuu (10 a)	0,9
hyötysuhde	0,112

Invertteri	
hyötysuhde	0,9

Paneelien määrä	20
-----------------	----

paneelien tuotto [kWh/d]	
tammikuu	0,457
helmikuu	1,396
maaliskuu	3,093
huhtikuu	5,259
toukokuu	7,191
kesäkuu	7,634
heinäkuu	7,399
elokuu	5,664
syyskuu	3,510
lokakuu	1,644
marraskuu	0,666
joulukuu	0,248

↓  
vuoden keskimääräinen tuotto  
1343,237 kWh

haluttu lämpöenergia	200 kW
↓	
ilmainen lämpö	144,969 kW

Teoreettinen käytetty teho ei kuitenkaan aina täysin pidä paikkaansa, joten tarken COP kertoimen saa vain mittaamalla käyttö ja tuoton. Tarkennusta annettuun kertoimeen saa kuitenkin huomioimalla kompressorin ja apulaitteiden käyttämän tehon.

Tehokkuus muuttu myös sen mukaan tuotetaan COP lämpöpumpulla lämpöä (COP-arvo) vai kylmää (EER-arvo).

Suurta eroa tuo myös se onko minkälainen lämpöpumppu kyseessä. Esim. ilma lämpöpumpun COP kerroin vaihtelee suuresti vuodenaikojen mukaan, parantuen aina kun ulkoilman ja pumpun lämpötilaero pienenee. Annettu COP arvo on yleensä mitattu +7 °C asteessa, mutta nykyään COP voidaan antaa neljällekin eri ulkolämpötilalle, joiden keskiarvo annetaan SCOP arvona. Maalämpöpumpun COP taas pysyy melko samana vuoden ympäri.

Lämpöpumppu	
teoreettinen lämpöeroin COP	4
teoreettinen käytetty teho	50,000 kW
kompressorin käyttämä teho	4,406 kW
apulaitteiden käyttämä teho	0,625 kW
"todellinen" COP	3,634

Kompressorin	
sähkömoottorin hyötysuhde	0,8
kylmäaineen massavirta	0,047 kg/s
ominaisentalpian muutos	75 kJ/kg

Kylmän alueen oletuslämpötila	-22 °C
ja mittauspisteet, joista saadaan kapasiteetti eri lämpötiloissa	
-15 °C	0,81579
-7 °C	0,60526
2 °C	0,36842
7 °C	0,23684
12 °C	0,10526

COP arvot eri mittauspisteille lämpöpumpuissa	
ilma-ilma ja suolaliuos-ilma	ilma-vesi ja suolaliuos-vesi
3,8	3,9
3,6	3,8
3,4	3,4
3,2	3,0
3,1	2,2

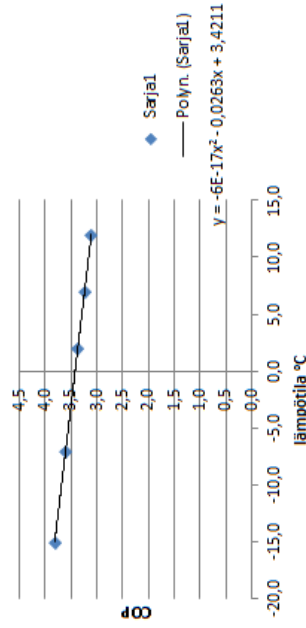
ilma-ilma ja suolaliuos-ilma	
ulko-lämpötila a [°C]	COP
-15,0	3,8
-7,0	3,6
2,0	3,4
7,0	3,2
12,0	3,1

ilma-vesi ja suolaliuos-vesi	
ulko-lämpötila a [°C]	COP
-15	3,9
-7	3,8
2	3,4
7	3,0
12	2,2

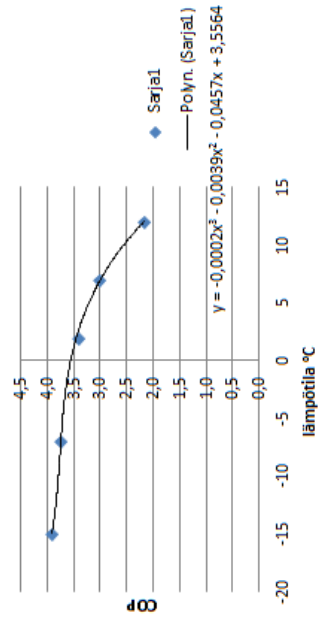
ilma-ilma ja suolaliuos-ilma	
ulko-lämpötila [°C]	SCOP
7	3,2

ilma-vesi ja suolaliuos-vesi	
ulko-lämpötila [°C]	SCOP
7	3,0

Ilma-ilma & suolaliuos-ilma lämpöpumput



Ilma-vesi & suolaliuos-vesi lämpöpumput



Hakekattilan 300 kW tuotanto

Hakekattila	
tyypillinen hyötysuhde	0,85
hakkeen määrä	0,306 m <sup>3</sup> /h
hakkeen irto-tiheys	285 kg/m <sup>3</sup>
polttoteho	352,941 kW
hyötysteho	300 kW
suora hyötysuhde	0,850
epäsuora hyötysuhde	0,866

Puun lämpöarvo	
kuiva lämpöarvo	18,8 MJ/kg
kosteus	0,2
veden höyrystymisen 25 °C	2,443 MJ/kg
kostean puun lämpöarvo	14,551 MJ/kg

Savukaasujen lämpöhäviö	
paine savukanavassa	101300 Pa
savukaasun kaasuvakio	289 J/kgK
savukaasun lämpötila	423 K
savukaasun tiheys	0,829 kg/m <sup>3</sup>
virtauskanavan sisähalkaisija	0,215 m
virtauskanavan poikkipinta-ala	0,036 m <sup>2</sup>
virtausnopeus	10 m/s
tilavuusvirta	0,363 m <sup>3</sup> /s
massavirta	0,301 kg/s
ominaislämpökapasitetti	1,2 kJ/kg°C
savukaasun lämpötila	150 °C
vertailulämpötila (huoneilma)	20 °C
savukaasun lämpöteho	46,931 kW

Palamattomien kaasujen häviö	
savukaasun hiilimonoksidi [CO]	900 ppm
savukaasun massavirta	0,301 kg/s
hiilimonoksidin massavirta	0,000271 kg/s
hiilimonoksidin lämpöarvo	10 kJ/kg
häviöteho	0,00271 kW

Polttoaine, tuhka & varaaaja	
polttoaineruuvi	0,1 kW
poltin	0,08 kW
tuhkanpoisto	0,1 kW
(varaaajan lämpöhäviö)	kW
(varaaajan jälkilämmitys)	kW

Maakaasukattilan 300 kW tuotanto

Maakaasukattila	
tyypillinen hyötysuhde	0,9
kaasun määrä	0,00926 m <sup>3</sup> /s
lämpöarvo	36 MJ/m <sup>3</sup>
polttoteho	333 kW
hyötäteho	300 kW
suora hyötysuhde	0,900
epäsuora hyötysuhde	0,901

Savukaasujen lämpöhäviö	101300 Pa
paine savukanavassa	289 J/kgK
savukaasun kaasuvakio	373 K
savukaasun lämpötila	0,940 kg/m <sup>3</sup>
savukaasun tiheys	0,215 m
virtauskanavan sisähalkaisija	0,036 m <sup>2</sup>
virtauskanavan poikkipinta-ala	10 m/s
virtausnopeus	0,363 m <sup>3</sup> /s
tilavuusvirta	0,341 kg/s
massavirta	1,2 kJ/kg°C
ominaislämpökapasiteetti	100 °C
savukaasun lämpötila	20 °C
vertailulämpötila (huoneilma)	32,752 kW
savukaasun lämpöteho	

Palamattomien kaasujen häviö	
savukaasun hiilimonoksidi [CO] pitoisuus	300 ppm
savukaasun massavirta	0,341 kg/s
hiilimonoksidin massavirta	0,0001024 kg/s
hiilimonoksidin lämpöarvo	10 kJ/kg
hiilimonoksidin lämpöteho	0,00102 kW
Polttoaine, tuhka & varaaja	
polttoainepuhallin	0,1 kW
polttin	0,08 kW
(tuhkanpoisto)	kW
(varaajan lämpöhäviö)	kW
(varaajan jälkilämmitys)	kW



Öljykattilan 300 kW tuotanto

Öljykattila	
tyypillinen hyötysuhde	0,9
öljyn määrä	0,00781 m <sup>3</sup> /s
lämpöarvo (kevytöljy)	42,7 MJ/m <sup>3</sup>
polttoteho	333 kW
hyötäteho	300 kW
suora hyötysuhde	0,900
epäsuora hyötysuhde	0,895

Savukaasujen lämpöhäviö	101300 Pa
paine savukanavassa	289 J/kgK
savukaasun kaasuvakio	473 K
savukaasun lämpötila	0,741 kg/m <sup>3</sup>
savukaasun tiheys	0,215 m
virtauskanavan sisähalkaisija	0,036 m <sup>2</sup>
virtauskanavan poikkipinta-ala	6 m/s
virtausnopeus	0,218 m <sup>3</sup> /s
tilavuusvirta	0,161 kg/s
massavirta	1,2 kJ/kg°C
ominaislämpökapasiteetti	200 °C
savukaasun lämpötila	20 °C
vertailulämpötila (huoneilma)	34,868 kW
savukaasun lämpöteho	

Palamattomien kaasujen häviö	300 ppm
savukaasun hiilimonoksidi [CO] pitoisuus	0,161 kg/s
savukaasun massavirta	4,84E-05 kg/s
hiilimonoksidin massavirta	10 kJ/kg
hiilimonoksidin lämpöarvo	0,00048 kW
häviöteho	
Polttoaine, tuhka & varaaja	
polttoainepumppu	0,1 kW
polttin	0,08 kW
(tuhkanpoisto)	kW
(varaajan lämpöhäviö)	kW
(varaajan jälkilämmitys)	kW

Hinnat	
yleissähkö	70,80 €/MWh
hake	19,12 €/MWh
maakaasu	45,96 €/MWh
öljy	25,15 €/MWh
kaukolämpö	75,00 €/MWh
kaukokylmä	22,00 €/MWh

200 kWh hinta	
yleissähkö	14,16 €
aurinkosähkö	- €
aurinkolämpö	- €
lämpöpumppu	3,90 €
hakepoltto	4,41 €
kaukolämpö	15,00 €
kaukokylmä	4,40 €
maakaasu	10,20 €
öljy	5,62 €

Energiamuoto	Mitattareista tarvittavat arvot	Hyötysuhde
aurinkolämpö	ulkoilman lämpötila [°C] 10	0,48
	auringon säteilyn intensiteetti [W/m <sup>2</sup> ] 900	
aurinkosähkö	auringon säteilyn intensiteetti [W/m <sup>2</sup> ] 900	0,11
lämpöpumppu	kompressorin ja apulaitteiden käyttämä teho [kW] 5	3,64
hake	apulaitteiden käyttämä teho [kW] 0,28	0,85 (suora)
	puun kosteus [%] 20	
	paine savukanavassa [Pa] 101300	
	savukaasun virtausnopeus [m/s] 10	0,87 (epäsuora)
	savukaasun lämpötila [°C] 150	
	huoneilman lämpötila [°C] 20	
	savukaasun hiilimonoksidi pitoisuus [ppm] 900	
maakaasu	apulaitteiden käyttämä teho [kW] 0,18	0,90 (suora)
	paine savukanavassa [Pa] 101300	
	savukaasun virtausnopeus [m/s] 10	0,90 (epäsuora)
	savukaasun lämpötila [°C] 100	
	huoneilman lämpötila [°C] 20	
	savukaasun hiilimonoksidi pitoisuus [ppm] 300	
öljy	apulaitteiden käyttämä teho [kW] 0,18	0,90 (suora)
	paine savukanavassa [Pa] 101300	
	savukaasun virtausnopeus [m/s] 6	0,90 (epäsuora)
	savukaasun lämpötila [°C] 200	
	huoneilman lämpötila [°C] 20	
	savukaasun hiilimonoksidi pitoisuus [ppm] 300	

kWh	elo		syys		loka		marras		joulu		yhteensä	
	€	kWh	€	kWh	€	kWh	€	kWh	€	kWh	€	kWh
10208	1,10	5948	7,00	6671	254,50	8483	340,55	10137	547,19	127024	2343,08	
1725	0,00	1125	12,18	1125	51,83	1125	57,84	1125	78,66	18643	357,12	

kWh	elo		syys		loka		marras		joulu		yhteensä	
	€	kWh	€	kWh	€	kWh	€	kWh	€	kWh	€	kWh
10208	1,10	5643	1,06	2324	1,10	1826	1,06	0	0,00	80334	10,73	
1725	-	953	-	393	-	308	-	14	-	13599	-	
0	0,00	305	5,94	1308	25,48	2878	56,07	3838	74,77	21063	410,33	
0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

kWh	elo		syys		loka		marras		joulu		yhteensä	
	€	kWh	€	kWh	€	kWh	€	kWh	€	kWh	€	kWh
0	0,00	0	0,00	3039	227,93	3779	283,43	6299	472,43	25627	1922,03	
0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	
0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	
0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	
0	0,00	172	12,18	732	51,83	817	57,84	1111	78,66	5044	357,12	

Aurinkokeräinten kohdalla oletetaan, että pumppuyksikkö on päällä noin 5 h/d.

VUODEN ENERGIATASE	
Tuotanto	114996 kWh
Kulutus	145667 kWh
	→ -30671 kWh

KIINTEISTÖN KULUTTAMA ENERGIA VUODESSA	tammi		helm		maal		huhti		touko		kesä		heinä	
	kWh	€	kWh	€	kWh	€	kWh	€	kWh	€	kWh	€	kWh	€
Lämmitysenergia	11070	568,76	10377	460,36	9294	133,81	11101	26,54	14025	1,10	15602	1,06	14108	1,10
Kiinteistösähkö	1125	78,66	1125	62,80	1125	15,15	1654	0,00	2369	0,00	2636	0,00	2384	0,00

KIINTEISTÖN TUOTTAMA ENERGIA VUODESSA	tammi		helm		maal		huhti		touko		kesä		heinä	
	kWh	€	kWh	€	kWh	€	kWh	€	kWh	€	kWh	€	kWh	€
Aurinkolämpö	0	0,00	1411	0,99	5394	1,10	9793	1,06	14025	1,10	15602	1,06	14108	1,10
Aurinkosähkö	14	-	238	-	911	-	1654	-	2369	-	2636	-	2384	-
Lämpöpumppu	4710	91,76	3838	74,77	2878	56,07	1308	25,48	0	0,00	0	0,00	0	0,00
Puulämpö	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
(Tuulienergia)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

OSTETTU ENERGIA VUODESSA	tammi		helm		maal		huhti		touko		kesä		heinä	
	kWh	€	kWh	€	kWh	€	kWh	€	kWh	€	kWh	€	kWh	€
Kaukolämpö	6360	477,00	5128	384,60	1022	76,65	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
Kaukokylmä	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
Maakaasu	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
Öljy	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
Kiinteistösähkö	1111	78,66	887	62,80	214	15,15	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00

KIINTEISTÖN TUOTOSTA ULOS MYYTÄVÄ ENERGIA	tammi		helm		maal		huhti		touko		kesä		heinä		lok		syys		marr		joulu		yht.		
	kWh	€	kWh	€	kWh	€	kWh	€	kWh	€	kWh	€	kWh	€	kWh	€	kWh	€	kWh	€	kWh	€	kWh	€	
Lämmitysenergia	-6360	-5128	-1022	-1022	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-25627	-
Sähkö	-1111	-887	-214	-214	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-172	-732	-817	-1111	-6299	-3779	-817	-1111	-5044