

SAKK INARI

ENERGIATEHOKKUUDEN TUTKIMINEN JA KEHITTÄMINEN

Hannu Roivainen ja Juho Niemelä

Opinnäytetyö
Tekniikka ja liikenne
Rakennustekniikka
Insinööri (AMK)

2015

Tekniikka ja liikenne
Rakennustekniikka

Tekijät	Hannu Roivainen ja Juho Niemelä	Vuosi	2015
Ohjaaja	Petri Kuisma		
Toimeksiantaja	Senaatti-kiinteistöt		
Työn nimi	SAKK Inari - Energiatehokkuuden tutkiminen ja kehittäminen		
Sivu- ja liitemäärä	71 + 2		

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia uusiutuvien energiamuotojen käyttöä pohjoisen olosuhteissa. Kyseinen kohde soveltui erinomaisesti tutkimuskohteeksi, koska kyseiseen kiinteistöön on asennettu aurinkoenergia, maalämpö ja tuulivoima sekä kulutushuippuihin lisäksi öljy- ja sähköjärjestelmä. Opinnäytetyön aihe oli ajankohtainen, koska uusiutuvien energiamuotojen käyttö on kasvanut huomattavasti ja erikokonaisuuksia rakennetaan sekoittaen uusiutuvia ja uusiutumattomia energian lähteitä. Olikin olennaista selvittää, kuinka kannattavaa on rakentaa eri energiamuotoja ja saada järjestelmistä mahdollisimman kannattavia ja tehokkaita.

Työmenetelminä käytettiin kohteessa tutkimista, asiantuntijoiden haastatteluja sekä toteutus- ja suunnittelu dokumentteja. Työssä käytettiin pääsääntöisesti sähköistä materiaalia, haastattelutilanteita sekä laskentaohjelmia.

Lopputulos työstä oli kokonaisuus eri energiamuotojen hankinnasta, ylläpidosta sekä kehittämisestä. Uusiutuvan energian laitteiston hankintakustannukset ylläpitivät, mutta tutkimuksien kautta selvisi, että tulevaisuudessa uusiutuvan energiamuotojen hankinta on entistä kannattavampaa.

Avainsanat

aurinkoenergia, maalämpö, tuulivoima, kehittäminen

Technology, Communication and
Transport
Civil Engineering Degree
Programme

Authors	Hannu Roivainen and Juho Niemelä	Year	2015
Supervisor(s)	Petri Kuisma		
Commissioned by	Senaatti- kiinteistöt		
Subject of thesis	SAKK Inari Research and development of energy efficiency		
Number of pages	71 + 2		

Target of this thesis was research different forms of renewable energy in northern circumstances. This subject was excellent object of study because target properties were equipped with several energy collecting systems. Those systems are solar power system, geothermal system and also wind power system. Properties have also oil and electricity systems to reinforce renewable energy sources during the energy consumption peaks. Subject of this thesis was topical because usage of renewable energy sources have been increasing noticeably. Usage of different variations using renewable and nonrenewable energy sources have been increasing lately. It was essential to research how profitable it is to build using combination of different energy sources.

Researching the target, interviewing specialists and documents of target property were used during the project. Also calculation programs were used to calculate the usefulness of energy systems.

The end result was complex acquisition, maintenance and development of various forms of energy. Acquisition costs of renewable energy systems surprised but in the future building with those energy sources will be much more profitable.

Keywords solar energy, geothermal energy, wind energy, development

SISÄLLYS

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO.....	5
KÄYTETYT LYHENTEET JA ERIKOISMERKIT	7
1 JOHDANTO	8
2 AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄ.....	9
2.1 Aurinkokennojen toiminta.....	11
2.2 Aurinkopaneelit.....	15
2.3 PV- järjestelmä.....	16
3 TUULIVOIMA.....	21
3.1 Miten tuulesta saa energiaa?.....	21
3.2 Tuulivoima Suomessa.....	22
4 MAALÄMPÖ JÄRJESTELMÄ	23
5 ÖLJYLÄMMITYS.....	25
6 TUTKIMUSKOHTTEEN ESITTELY	27
6.1 Sakk Inari.....	27
6.2 Energiantarve laskelmat.....	28
7 TUTKIMUSKOHTTEEN JÄRJESTELMÄ.....	30
7.1 Aurinkopaneelien tekniset ratkaisut.....	30
7.2 Tuulivoiman tekniset ratkaisut.....	33
7.3 Maalämmön tekniset ratkaisut.....	35
8 INVESTOINTIKUSTANNUKSET	38
9 TUOTANTOLASKELMAT	40
10 KANNATTAVUUSLASKELMAT.....	48
11 KEHITTÄMISEN EHDOTUKSIA	53
11.1 Käyttövesi lämpöpumpulle aina.....	53
11.2 Öljyn käytön vähentäminen.....	56
11.3 Uuden asuntolan tuotto ja kulutus.....	58
11.4 Mittaus- suunnitelma.....	60
12 JÄRJESTELMÄSTÄ SAADUT MITTAUSTULOKSET.....	62
13 TULEVAISUUDEN NÄKYMÄT.....	65
14 JOHTOPÄÄTÖKSET	67
LÄHTEET.....	
LIITTEET	

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuvio 1. Aurinkosähköjärjestelmän pääkomponentit.....	10
Kuvio 2. Aurinkokennon toiminta.....	12
Kuvio 3. Yksikiteinen piikkenno.....	14
Kuvio 4. Monikiteinen piikkenno.....	15
Kuvio 5. Aurinkopaneelin rakenne	16
Kuvio 6. Tuulivoimalan pääkomponentit	21
Kuvio 7. Lämpöpumpun toiminta.....	24
Kuvio 8. Alueen rakennukset	28
Kuvio 9. Rakennuksen sijainti etelään nähden	32
Kuvio 10. Aelos pientuulivoimala	34
Kuvio 11. Ekowell lämpöpumppujärjestelmän kierto	35
Kuvio 12. Maalämpökaivojen sijainnit tontilla	37
Kuvio 13. Vaihtuva lauhdutteen maalämpöpumppu	53
Kuvio 14. Tulistusmaalämpöpumppu	54
Kuvio 15. Lämmitystavan kokonaisenergiatarkastelu.	60
Kuvio 16. Energiamittari.....	61
Kuvio 17. Lämmitysjärjestelmän toimintaperiaate	67
Taulukko 1. Vuosituotannon vertailu Inari - Jyväskylä – Hanko	19
Taulukko 2. Aurinkoa seuraavan järjestelmän tuotto	25
Taulukko 3. Lämmitysenergian hintojen vertailu	20
Taulukko 4. Kallistuksen vaikutus aurinkopaneelin tuottoon	30
Taulukko 5. Atsimuutin vaikutus aurinkopaneelin tuottoon	31
Taulukko 6. Aurinkopaneelien laskennallinen vuosituotanto	41
Taulukko 7. Aurinkopaneelien vuosituotanto suhteessa kulutukseen	42
Taulukko 8. Tuulen nopeuden vaikutus tuulivoimalan tehoon.....	45
Taulukko 9. Energiantuotannon laskelma tuulivoimasta esimerkki päivästä 1.3.2015.....	47
Taulukko 10. Aurinkopaneelien tuottolaskelma.....	49
Taulukko 11. Sähkön arvioitu hintakehitys.....	50
Taulukko 12. Öljypolttimen käyntiaika.....	56

Taulukko 13. Ulkolämpötilan vaikutus öljypolttimen käynnistymiseen.....	57
Taulukko 14. Pitkän aikavälin tuotot kuukausittain.....	62

KÄYTETYT LYHENTEET JA ERIKOISMERKIT

LYHENTEET

PV	(Photovoltaic) tasapaksu levykenno, joissa auringonvalo tuottaa suoraan sähköä.
CPV	(concentrating photovoltaic), joissa auringonvalo keskitetään tai tiivistetään sähkön tuotantoa varten.
br-m²	Brutto neliö. Pinta-ala lasketaan ulkoseinien ulkopinnasta.
COP	Lämpökerroin.
E-luku	Rakennuksen kokonaisenergiankulutus.
Ed	Keskimääräinen päivittäinen sähköntuotanto.
Em	Keskimääräinen kuukausittainen sähköntuotanto.
Hd	Keskimääräinen päivittäinen säteily pinta-alalle. (kWh/m ²)
Hm	Keskimääräinen kuukausittainen säteily pinta-alalle. (kWh/m ²)

ERIKOISMERKIT

W	Watti on SI-järjestelmän tehon ja säteilyvirran yksikkö.
Wp	Watt- peak on aurinkopaneelin nimellisteho.
Q	Veden lämmittämiseen kuluva energia (kWh).
ρ	Veden tiheys (1 000 kg/m ³).
c_p	Veden ominaislämpökapasiteetti (4,2 kJ/kg °C).
V	Vedenkulutus (m ³).
t₂	Lämmitetyn veden lämpötila, tyypillisesti 55 °C.
t₁	Lämmitettävän veden lämpötila, tyypillisesti 5...10 °C.
cp	Roottorin tehokerroin.

1. JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä käsitellään uusiutuvien energiamuotojen käyttöä ja yhteensovittamista uusiutumattomien energiamuotojen rinnalle. Uusiutuvien energiamuotojen käytön jatkuva lisääntyminen ja kysyntä ovat luoneet talo- ja energiatekniikan alalle uusia haasteita ja kehitystyö on jatkuva. Lämmitysjärjestelmää, joka käyttää uusiutumattomia ja uusiutuvia energiamuotoja, kutsutaan hybridijärjestelmäksi. Hybridijärjestelmä mahdollistaa uusiutuvien energiamuotojen monipuolisen käytön myös kohteissa, missä uusiutuvilla energiamuodoilla tuotettu energia ei riitä ääriolosuhteissa. Opinnäytetyön aiheena on hybridijärjestelmä, jossa on pyritty saamaan suurin osa lämmitysenergiasta ja sähköstä omista uusiutuvista energialähteistä. Ideointivaiheen jälkeen pidimme työn tilaajan kanssa palaveria kohteesta. Keskusteluissa kävi ilmi, että järjestelmä ei toimi toistaiseksi suunnitellulla tavalla. Työn tarkoitus onkin käydä läpi energiamuotojen käyttöä kohteessa ja etsiä kehittämisideoita järjestelmään.

Valitsimme tämän aiheen, koska se sopii talo- ja energiatekniikan opintoihin ja opinnäytetyössä oli syvennyttävä kohteen monipuoliseen energian käyttöön ja tuottamiseen. Aihe on hyvä, koska siinä käsitellään monipuolisten energiamuotojen käyttöä ja yhteensovittamista. Tavoitteena on saada tutkimuksen kautta selville onko kohteen hybridijärjestelmä kustannustehokas pohjoisen olosuhteissa sekä löytää vastauksia tilaajan asettamiin asioihin.

Opinnäytetyössä käsitelimme eri energiamuotoja ja niiden kustannuksia, tuottoa, teknisiä ratkaisuja sekä kehittämisideoita.

2. AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄ

Toistaiseksi aurinkopaneeleita käytetään eniten kesämökeillä, veneissä ja asuntovaunuissa. Suuremmissa kohteissa niitä on harvakseltaan, mutta järjestelmien hintataso on laskenut 20- 30 % prosenttia muutamana vuoden aikana joten on todennäköistä, että näitä suurempiakin kohteita alkaa ilmestyä. On kuitenkin olennaista ajatella, että aurinkosähkön tuottaman energian tuotantokustannukset ovat samat myös kymmenien vuosien kuluttua. Jatkuvasti nouseva sähkön hinta myös edistää uusiutuvien energiamuotojen investointeja. Suurin syy aurinkoenergian hyödyntämättömyyteen on pitkä järjestelmän takaisinmaksuaika sekä suuret alkuinvestoinnit. Suomessa kuitenkin on yrityksillä ja yhteisöillä mahdollisuus saada tukea 60 % investoinneista.

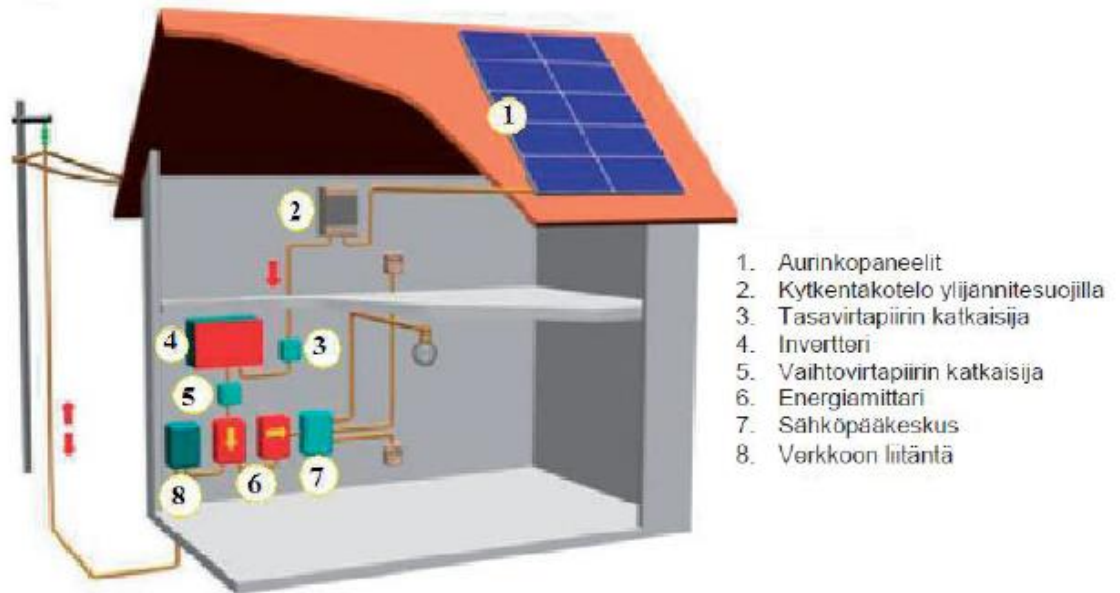
(Työ- ja elinkeinoministeriö 2015)

Usein ei kiinnitetä huomiota siihen, että aurinkosähkön tuottaminen on alkuinvestointien jälkeen lähes ilmaista. Aurinkosähköjärjestelmä on helppo asentaa ja melkein huoltovapaa kun järjestelmä on valmis. Aurinkosähkö tarjoaa mukavuutta sinne missä sähkölinja ei kulje tai halutaan säästää suoran sähkön käyttämisessä.

”Aurinko säteilee maapallon pinnalle energiaa tunnin aikana enemmän kuin mitä koko ihmiskunta kuluttaa koko vuoden aikana.” Tämä lause kyllä laittaa ajattelemaan, että kuinka pieni osa aurinkoenergiasta voidaan vielä tässä vaiheessa hyödyntää. Onneksi teknologia menee hurjaa vauhtia eteenpäin ja kokoajan päästään parempiin tuloksiin. Aurinkosähköenergiaa hyödynnetään muuttamalla se aurinkopaneeleissa sähköksi. Aurinkoenergiasta 90 % saadaan Etelä- Suomessa maaliskuun- syyskuun välisenä aikana ja pohjoiseen mentäessä energiansaanti rajoittuu vieläkin lyhemmälle ajalle. Tästä syystä aurinkoenergia on ainakin omakotitaloissa vain täydentävä energiamuoto. Aurinkoenergian puutteita ovat ainakin sen kohtalaisen huono hyötysuhde sekä energian saanti talvella, kun sitä eniten tarvitsisi.

Jos Suomessakin tuettaisiin aurinkosähkön tuottamista syöttötariffien avulla kuten useissa Euroopan maissa, olisi se varmasti suositumpaa myös täällä

sekä auttaisi Suomen tavoitteita pienentää hiilidioksidipäästöjä. (Aurinkosähkö.fi. 2009)



Kuvio 1. Aurinkosähköjärjestelmän pääkomponentit (Naps Solar Roof -aurinkosähköpaketit 2014)

Aurinkosähköjärjestelmään voidaan kytkeä vaihtosuuntaaja, mikä tekee tasasähköstä (DC) vaihtosähköä (AC). Kodin normaalit laitteet toimivat 230V (AC) jännitteellä. Aurinkosähköjärjestelmät jaetaan kahteen ryhmään: autonomisiin eli omavaraisiin järjestelmiin ja verkkoon kytkettyihin järjestelmiin. Verkkoon kytkettynä voidaan lisäksi käyttää myös akkuja jolloin akkujen ollessa täynnä voidaan ylimääräinen sähkö syöttää sähköverkkoon. Verkkoon kytketyn järjestelmän tarkoituksena on tuottaa omavaraista sähköä korvaamaan ostettavaa sähköä. Tällöin säästetään sähkölaskuissa. Kuviossa 1 on esitetty aurinkosähköjärjestelmän pääkomponentit. (Aurinkosähköjärjestelmät. 2015.)

2.1 Aurinkokennojen toiminta

”Tavallisen aurinkokennon toiminta perustuu auringonvalon absorptioon puolijohhteessa. Puolijohhteet ovat kiteisen rakenteen omaavia materiaaleja, joissa atomit järjestäytyvät säännöllisesti tiettyjen tasapainoehtojen mukaan. Puh-
taat puolijohhteet johtavat sähköä heikohkosi huoneenlämpötilassa, mutta puolijohhteiden hyödyllisyys perustuu siihen, että niiden sähkönjohtavuusominaisuuksia voidaan säädellä lisäämällä niihin tiettyjä vieraita alkuaineita”.

(Helsinki University Of Technology 2015.)

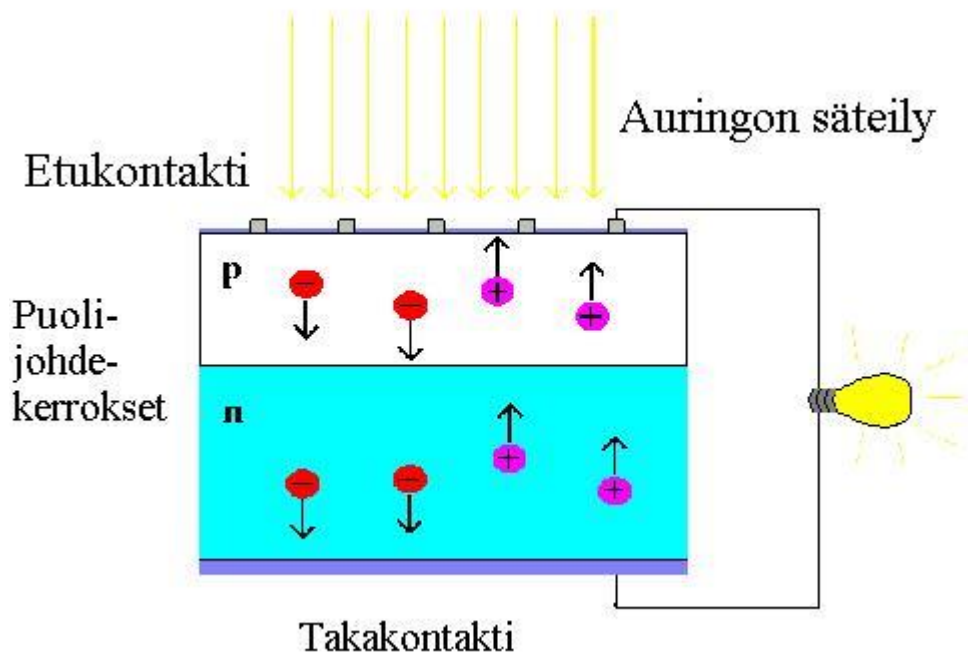
”Kun aurinkokennon puolijohdemateriaaliin osuu auringonvalon fotonin, se irrottaa kidehilassa kiinni olevasta atomista yhden elektronin. Kun hilaan osuvan fotonin energia siirtyy elektronille, vapautuu kyseinen elektroni sidoksesta, jolloin se on vapaa liikkumaan kiteessä ainakin hetken ennen kuin se kiinnittyy takaisin alkuperäiseen atomiinsa tai johonkin toiseen atomiin. Vapaa elektroni jättää taakseen tyhjän elektronitilan, niin sanotun aukon”.

(Helsinki University Of Technology 2015.)

”Fysikaalisesti elektronin 'vapaata' ja 'sidottua' olotilaa kuvataan niin sanotuilla energiavolyillä, jotka määräävät elektronin energian tietyssä tilassa. Sidotut elektronit ovat matalalla energialla valenssivyössä, kun taas vapaat elektronit liikkuvat korkealla energialla johtavuusvyössä. Siirtymä valenssivyöltä johtavuusvyölle voi tapahtua vain jos elektroni vastaanottaa fotonilta tarpeeksi paljon energiaa. Koska elektroni jättää taakseen tyhjän aukon, jää lähtöatomille positiivinen varaus. Aukko voi liikkua ympäri kidehilaa valenssivyössä kuin positiivinen varauksenkuljettaja. Sähkönkuljetus aurinkokennossa jakautuu näin ollen negatiivisten elektronien ja positiivisten aukkojen liikkeeseen. Tavallisessa puolijohhteessa johtavuusvyöllä oleva elektroni laskeutuu itsestään takaisin valenssivyöhön erittäin nopeasti, tuhoten samalla myös aukon. Tätä ilmiötä sanotaan rekombinaatioksi. Jotta valosähköisestä ilmiöstä olisi jotain hyötyä, täytyy elektroni ja aukko erottavat toisistaan ennen kuin ne ehtivät

rekombinoitua. Tässä puolijohdeiden erikoisominaisuudet koituvat hyödyksi, sillä aurinkokennon sisään voidaan luoda sähkökenttä seostamalla piitä erityyppisillä vierailta atomeilla”. Kuviossa 2 on esitetty etu- ja takakontaktien välissä olevat puolijohdekerrokset.

(Helsinki University Of Technology. 2015.)



Kuvio 2. Aurinkokennon toiminta. (Helsinki University Of Technology 2015.)

Kennojen tyypillinen käyttöikä on noin 30 vuotta. Aurinkokennot voidaan jakaa tasapaksuihin levykennoihin (Flat- Plate PV), joissa auringonvalo tuottaa suoraan sähköä sekä keskittäviin aurinkokennoihin (CPV), joissa auringonvalo keskite-
tään tai tiivistetään sähkön tuotantoa varten. ”Yhden aurinkokennon antama jän-
nite on 0,5 - 0,6 V. Käyttötarpeen mukaan kennoja kytketään sarjaan
paneeleiksi. Yleensä käytetään 36 kennon paneeleja, jolloin saadaan riittävä jän-
nite esimerkiksi 12V akkujen lataamiseen. Aurinkokennosta saatu sähkövirta on
verrannollinen muodostuvien elektroniaukkoparien lukumäärään. Sen vuoksi
sähkövirta riippuu kennon pinta-alasta ja auringon säteilyn voimakkuudesta. Ken-
not tuottavat kirkkaalla auringonpaisteella sähkövirtaa noin 32 mA/cm². Näin esi-
merkiksi 90 mm x 120 mm suuruinen kenno tuottaa maksimissaan 3,5 A. Jos

kennot on kytketty sarjaan, on aurinkopaneelistä saatava virta yhtä suuri kuin yhden kennon tuottama virta.” (Suntekno 2012.)

Aurinkokennotyypit

Aurinkokennojen yleisin materiaali on pii (Si), jota käytetään yksi- ja monikiteisenä sekä myös amorfisessa muodossa. Yksikiteisestä piistä (crystalline silicon, c-Si) valmistettujen aurinkokennojen tyypillinen hyötysuhde on noin 12–16%. Yksikiteisestä piistä valmistetuilla aurinkokennoilla on kuitenkin päästy myös parempiin hyötysuhde-arvoihin (jopa 25 %). Tällaisten aurinkokennojen rakenne on kuitenkin monimutkainen ja sen valmistuskustannukset ovat varsin korkeat. Yksikiteisestä piistä valmistettujen kennojen tuottama sähköteho on noin 140W/m². Kiteiset piikennot ovat yleensä noin 0,2mm -0,3mm paksuja sekä pinta-alaltaan 90-160mm x 120-160mm. Yksikiteiset piikennot on sahattu piiaihioista. Koska raaka-aine on niin kallista, pyöreistä kiekkoista ei kannata tehdä neliskulmaisia. Yksikidepaneeleissa on tämän vuoksi aukot kennojen kulmissa. Kuviossa 3 on yksi malli yksikiteisestä piikennosta. (Suntekno 2012.)



Kuvio 3. Yksikiteinen piikkenno. (Vapaa-aika.com 2015.)

Monikiteisistä piikkennoista voidaan tehdä neliskulmaisia aihioita jolloin raaka-aine ja paneelin pinta-ala saadaan käytettyä parhaiten hyödyksi. Monikiteisestä piistä valmistetut aurinkokennot ovat hyötysuhteeltaan hieman yksikiteisestä piistä valmistettuja kennoja huonompia, noin 11–15% luokkaa, mutta niiden valmistusprosessi on helpompi ja kustannukset ovat huomattavasti pienemmät. Monikiteisen piin valmistusprosessissa sulatettu pii saatetaan kiinteään olomuotoon. Tällaisten kennojen tuottama sähköteho on noin $125\text{W}/\text{m}^2$. Kuviossa 4 on yksi malli monikiteisestä piikennosta.



Kuvio 4. Monikiteinen piikkeno. (Green energy 2015.)

2.2 Aurinkopaneelit

Aurinkopaneelit muodostuvat kennoista ja muista kokoavista osista kokonaisuuden. Aurinkopaneeli on aurinkosähköjärjestelmän osa, joka muuttaa auringon säteilyn sähköksi valosähköisen ilmiön avulla. Aurinkopaneelit luokitellaan niiden sähkötehon tuotannon mukaan, yleisimmin aurinkopaneelien tuottama teho vaihtelee 100W- 500W välillä. Aurinkopaneelien hyötysuhteet vaihtelevat 10 % ja 20 % välillä, mutta paneelien kehittyessä hyötysuhteet tulevat kasvamaan. Aurinkopaneelit ovat aurinkosähköjärjestelmän komponentteja, jotka koostuvat lasilevystä, alumiinikehyksestä sekä sähköisesti kytketyistä aurinkokennoista. Kuviossa 5 on eritelty nämä komponentit.

Aurinkopaneelin hyötysuhde

Hyötysuhteella tarkoitetaan aurinkopaneelin kykyä muuttaa auringon säteilyenergiaa sähköksi. Hyötysuhde saadaan jakamalla nimellisteho Wp paneelin

pinta-alan ja auringon säteilytehon $1\ 000\ \text{W}/\text{m}^2$ tulolla. Esimerkiksi jos paneelin nimellisteho on $250\ \text{Wp}$ ja paneelin pinta-ala on $1,45\ \text{m}^2$, hyötysuhde $\eta = 250\ \text{Wp} / (1,45\ \text{m}^2 \times 1\ 000\ \text{W}/\text{m}^2) = 17\ \%$.



Kuvio 5. Aurinkopaneelin rakenne. (Kulmala. V. 2014)

2.3 Pv- järjestelmä

Syvennyttään nyt enemmän PV- järjestelmään (photovoltaic), koska meidän Inarin SAKK kohteessa on juuri tämä kyseinen järjestelmä.

Mitoituksen perusteita

PV- järjestelmän vuoden keskiarvoteho Suomessa on noin $15\ \%$ huipputehosta. Esimerkiksi jos paneeliston huipputeho $Wp = 1\ 000\ \text{W}$, saadaan siitä vuodessa keskimäärin $0,15 \times 1,0\ \text{kW} = 0,15\ \text{kW}$ teho. Vuoden aikana saatu energia on silloin noin $8760\ \text{h} \times 0,15\ \text{kW} = 1\ 314\ \text{kWh}$. Kun tästä vähennetään järjestelmän häviöt (invertterit, kaapelit, lämpeneminen jne.) $20\ \dots 27\ \%$, päädytään noin $1\ 000\ \text{kWh}$ vuosituottoon. Nyrkkisääntönä voidaan siis todeta, että Suomessa yksi kilowatti aurinkopaneelitehoa tuottaa optimisuuntauksella noin $1\ 000\ \text{kWh}$ energiaa vuodessa.

Paneelien pinta-ala ja kappalemäärä voidaan laskea tarvittavan tuoton avulla. Jos lähtökohdaksi otetaan säteilyn määrä vuodessa 1 000 kWh/m², tavoitellaan 1 800 kWh:n vuosituottoa, ja paneelien hyötysuhde on 18 %, saadaan tarvittavaksi paneelien pinta-alaksi $A = 1\,800 \text{ kWh} / (1\,000 \text{ kWh/m}^2 \cdot 0,18) = 10 \text{ m}^2$

Tällöin 1,8 m² paneeleita tarvitaan vähintään 6 kpl. Mitoituksessa on huomioitava, ettei koko tuottoa pystytä hyödyntämään, koska osa energiasta kuluu hukkaan mm. johtimissa ja inverttereissä.

Aurinkopaneelien tuottoon vaikuttaa myös niiden mitoitus suhteessa kuormitukseen. Suurin teho saadaan täydessä auringonpaisteessa, kun kuorman resistanssi on sama kuin jännitteen ja virran suhde toimintapisteessä.

Kun voimakkuus muuttuu, muuttuu myös toimintapisteen paikka. Tästä syystä optimikuorma muuttuu säteilyn voimakkuuden muuttuessa. (Suntekno 2012.)

Toimintalämpötilan vaikutus

Paneelin tyhjäkäyntijännite laskee, kun sen lämpötila nousee. Samalla sen virta kasvaa, koska lämpötila lisää termisten varaustenkuljettajien määrää. Tämä vaikutus on kuitenkin hyvin pieni verrattuna paneelin tyhjäkäyntijännitteen putoamiseen. Koska jännitteen muutos on paljon voimakkaampi kuin virran muutos, on tehon alenema lämpötilan noustessa samaa luokkaa kuin jännitteen lasku.

Johdin – ja tehohäviöt

Parhaiden inverttereiden hyötysuhteet ovat 98 % luokkaa. Toisin sanoen paneelien tuottamasta sähköenergiasta muuttuu invertterissä lämmöksi noin 2 prosenttiyksikköä. Loput saadaan hyödynnettyä joko akkujen varaamiseen tai sellaiseenaan verkkoon syötettynä tehona. Lisäksi on huomattava että aurinkosähköjärjestelmällä on tyhjäkäyntiteho, jonka järjestelmä aina ottaa sähköverkosta. Järjestelmän tuotto on siis tyhjäkäyntitehon verran negatiivinen silloin, kuin auringonvaloa ei ole saatavissa. Syöttöjohtimien häviöitä laskettaessa on huomioitava koko kaapelipituus (meno + paluujohdin).

Kallistuksen vaikutus

Tehokkaimmin aurinkopaneeli toimii silloin, kun auringon säteily tulee kohtisuorasti paneelin pintaan, eli paneelin kallistuskulma on sama kuin auringon korkeus horisontista. Auringon korkeus kuitenkin vaihtelee vuorokaudenajan ja myös vuodenaikojen mukaan. Esimerkiksi Keski-Suomessa aurinko on korkeimmillaan keskipäivällä hieman yli 50 astetta ja matalimmillaan alle 5 astetta horisontin yläpuolella.

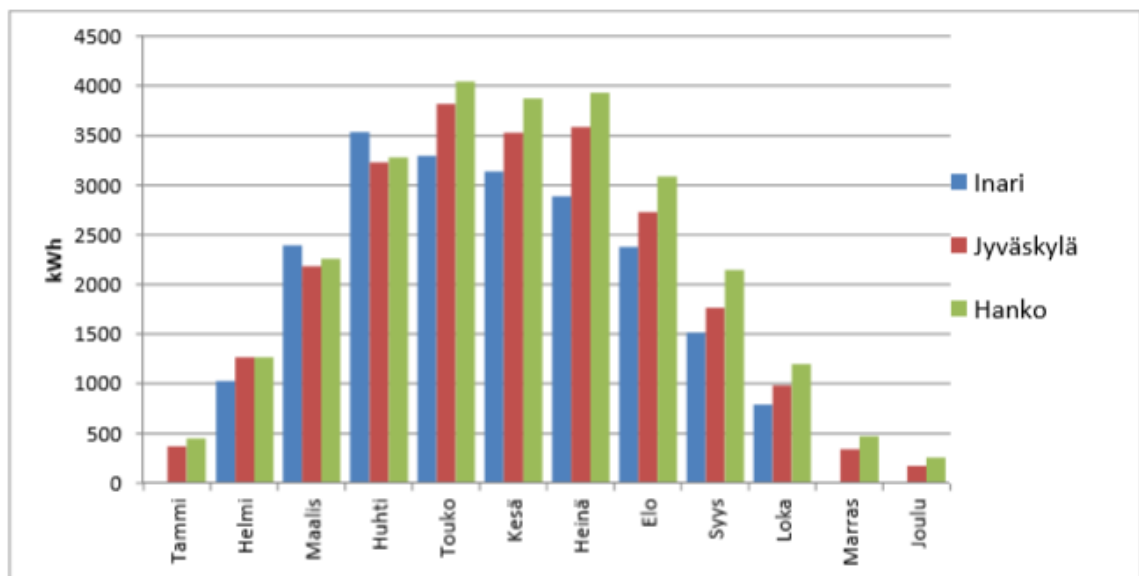
Atsimuutin vaikutus

Tasaisin tuotto vuositasolla saadaan suuntaamalla paneelit kohti päiväntasaajaa, eli kohtisuoraan etelään. Atsimuutti tarkoittaa suuntauksen poikkeamaa kompassielästä. Suurin osa aurinkoenergiasta tulee kesällä kello 10 ja klo 18 välillä. Aurinko kiertyy tunnissa 15° ja kahdeksassa tunnissa 120° . Mikäli paneeli on suunnattu suoraan etelään, ei 60° tulokulma ylitä parhaana paisteaikana. Tulokulman ylittäessä 60° , alkavat heijastukset paneelin pinnalla olevasta suojalasta tulla merkittäviksi.

Maantieteellisen sijainnin vaikutus

Tutkimuksessa laadittiin vertailulaskelmat samalle järjestelmälle samoissa asennusolosuhteissa kahdelle vertailupaikkakunnalle, jotka olivat Jyväskylä ja Hanko. Jyväskylän korkeudella saman PV- järjestelmän vuosituotto olisi 24 000 kWh ja Hangossa 26 300 kWh.

Taulukko 1. Vuosituotannon vertailu Inari - Jyväskylä - Hanko, case Inari



Taulukosta 1 nähdään, että maaliskuussa- huhtikuussa aurinko paistaa Lapissa enemmän kuin eteläisemmässä Suomessa. Sen jälkeen trendi on selvästi laskeva siitäkin huolimatta, että Inarin korkeudella aurinko ei laske lainkaan 20.5. ja 25.7. välisenä aikana. Tämä johtuu a) auringon matalasta asemasta sekä siitä että b) yöllä aurinko paistaa paneelien suhteen väärästä ilmansuunnasta eli pohjoisesta.

Taulukko 2 osoittaa, että aurinkoa seuraavalla järjestelmällä tuottoa olisi teoriassa mahdollista lisätä noin 50 %, eli 32 200 kWh vuodessa. Käytännössä lisäys jäisi tuota huomattavasti pienemmäksi, eli maksimissaan 30 %. Pilvisinä päivinä lähes kaikki auringonsäteily on hajasäteilyä, eikä paneelin kääntämisestä näin ollen ole hyötyä.

Käytännössä aurinkoa seuraavan järjestelmän hankinta, huolto ja ylläpito nostaisivat investointikustannusta liikaa suhteessa saatuun lisätuottoon. Aurinkoa seuraavan ohjauksen hinnaksi on ruotsalaisen tutkimuksen mukaan saatu noin 0.09 €/kWh. (Suntekno 2012.)

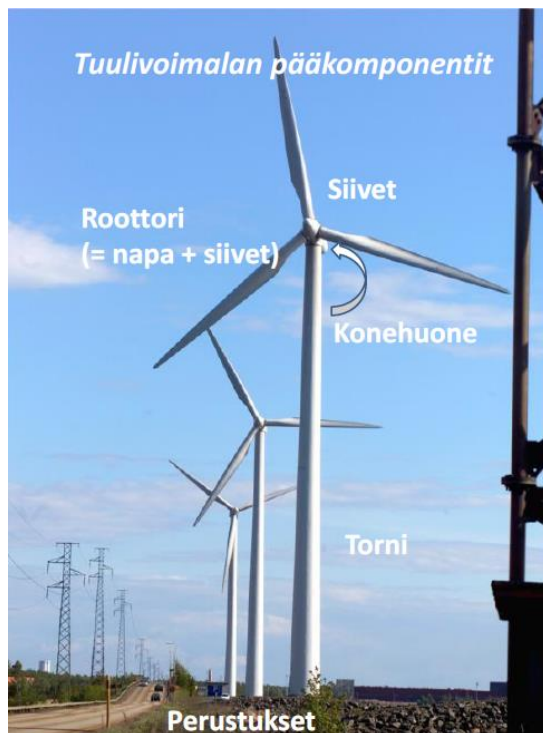
Taulukko 2. Aurinkoa seuraavan järjestelmän tuotto

	2-axis tracking system			
Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	0.00	-0.130	0.00	0.0720
Feb	56.60	1590	2.11	59.2
Mar	118.00	3670	4.62	143
Apr	191.00	5740	7.74	232
May	172.00	5340	7.18	223
Jun	169.00	5060	7.18	215
Jul	140.00	4330	6.06	188
Aug	106.00	3290	4.49	139
Sep	69.20	2080	2.84	85.3
Oct	35.80	1110	1.41	43.7
Nov	0.02	0.588	0.01	0.368
Dec	0.00	0	0.00	0
Year	88.20	2680	3.64	111
Total for year		32200		1330

3 TUULIVOIMA

3.1 Miten tuulesta saa energiaa?

Tuulivoima on ilman virtauksen liike-energian muuttamista sähköksi. Liike-energian muuntaminen sähköksi tapahtuu tuulivoimalan generaattorilla. Tuulen liike-energia pyörittää roottoria. Roottoriin siirtynyt liike-energia pyörittää generaattoria vaihteiston välityksellä. Tuulivoima haittapuolena on, että sitä ei pystytä varastoi-
maan. Tuulisähkön tuotannon ongelmana on tuuliolosuhteiden epätasaisuus. Tuuliolosuhteiden epätasaisuudesta johtuen tuulisähkön tuotannon vaihtelu on voimakasta. Tuulivoimalla tuotetaan sähköenergiaa hajautetusti sähköverkkoon. Tuulivoima on ympäristöystävällinen sähköntuotanto menetelmä, koska siitä ei synny päästöjä ilmaan, veteen tai maahan. Tuulivoimalla tuotetaan ympäristöystävällisesti uusiutuvaa energiaa. Tuulivoiman ainoa ympäristö haitta on melu, joka syntyy siipien pyörimisliikkeestä. Kuvioista 6 näemme tuulimyllyn pääkomponentit. (STY 2015.)



Kuvio 6. Tuulivoimalan pääkomponentit. (Tähtinen. T. 2011.)

3.2 TUULIVOIMA SUOMESSA

Tuulivoima on Suomessa melko uusia sähköntuotanto menetelmä. Tuulivoiman rakentaminen Suomessa on lähtenyt hyvin liikkeelle. Tuulivoima saa muiden uusiutuvien energiantuotanto muotojen tavoin tuotanto tukea, jonka ansiosta tuulivoiman rakentamishankkeita on aloitettu.

Tällä hetkellä tuulivoimalla tuotetun sähkön hinta ei ole kilpailukyinen verrattuna muihin sähköntuotanto menetelmiin. Mikäli Suomessa otetaan käyttöön tuulivoimaa edistäviä kustannustehokkaita keinoja, voidaan saavuttaa tuulivoimalle hintataso, joka on kilpailukyinen muihin tuotanto menetelmiin verrattuna.

"Vuoden 2014lopussa Suomessa oli toiminnassa 260 tuulivoimalaa, joiden kokonaiskapasiteetti on 627 MW. Ne tuottivat noin 1,3 prosenttia Suomessa vuonna 2014 kulutetusta sähköstä." (STY 2015.)

4 MAALÄMPÖJÄRJESTELMÄ

Maalämmöllä tarkoitetaan aurinkoenergiaa, jota varastoituu auringon säteilyn, lämpimän ilman ja sateiden kautta maa – ja kallioperään sekä vesistöihin. Maalämpö on siis veteen tai maaperään varastoitunutta lämpöenergiaa.

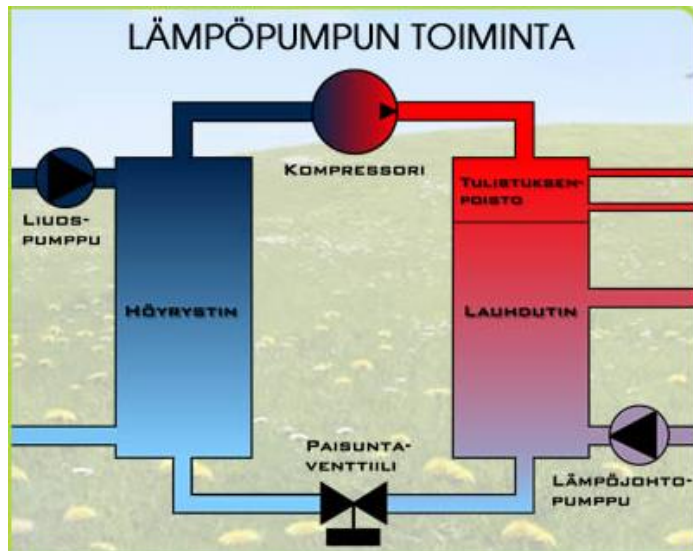
Pohjois-Suomen olosuhteissa auringon tuottaman säteily ulottuu maksimissaan 15m syvyyteen maan pinnasta. Syvemmällä kallioperässä lämpöenergia on peräisin radioaktiivisten aineiden hajoamisesta syntyvää geotermistä energiaa. Maalämpöjärjestelmä hyödyntää vesistöön, kallio – ja maaperään sitoutunutta lämpöenergiaa ja kerää sitä edellä mainituista paikoista keruuputkistolla.

Maalämpö on varma ja tasainen lämmön lähde ympäri vuoden. Maalämpöjärjestelmällä tuotettu lämpöenergia voidaan hyödyntää rakennusten ja käyttöveden lämmitykseen. Maalämpöjärjestelmän toiminta perustuu kolmeen osa-alueeseen: maalämpöpumppuun, lämmönjakojärjestelmään ja lämmönkeruuputkistoon.

Lämmönkeruuputkistossa kiertää jäätymätön etananoli -vesiliuos (30 vol - %), joka sitoo omaan massaansa keruuputkistossa kiertäessään lämpöenergiaa. Kierron aikana liuos lämpenee muutaman asteen. Lämmönkeruupiiriltä höyrystimelle palaavan vesiliuoksen lämpötilaan vaikuttaa poraussyvyys ja keruutapa. Keruupiirin nesteestä saatava lämpö höyrystää lämpöpumpussa kiertävän kylmäaineen.

Maalämpöpumpun pääkomponentit ovat sähkömoottorikäyttöinen kompressori, jossa on höyrystin ja lauhdutin. Maalämpöpumppu nostaa lämmönkeruupiiristä tulevan lämmön korkeampaan lämpötilaan, yleensä 30 - 65-asteiseksi. Tämän jälkeen aikaan saatu lämpöenergia jaetaan lämmönjakojärjestelmällä rakennukseen. Maalämpöjärjestelmässä maalämpöpumppu ottaa maaperästä tai vesistöä lämpöä keruuputkistolla ja luovuttaa tämän lämmön kompressorin ja lauhduttimen kautta veteen. Kuviosta 7 näemme lämpöpumpun toiminnan ja kierron. Maalämpöpumppu käyttää toimiakseen sähköenergiaa. Lämpöpumpun käyttämä energia on noin neljännes pumpun tuottamasta lämpöenergiasta. Maaläm-

pöjärjestelmä on siten energiatehokas ja ympäristöystävällinen lämmitysjärjestelmä. Maalämpöjärjestelmää ei turhaan kutsuta energiataloudelliseksi ja ympäristöystävälliseksi lämmitysjärjestelmäksi. (Senera 2015.)



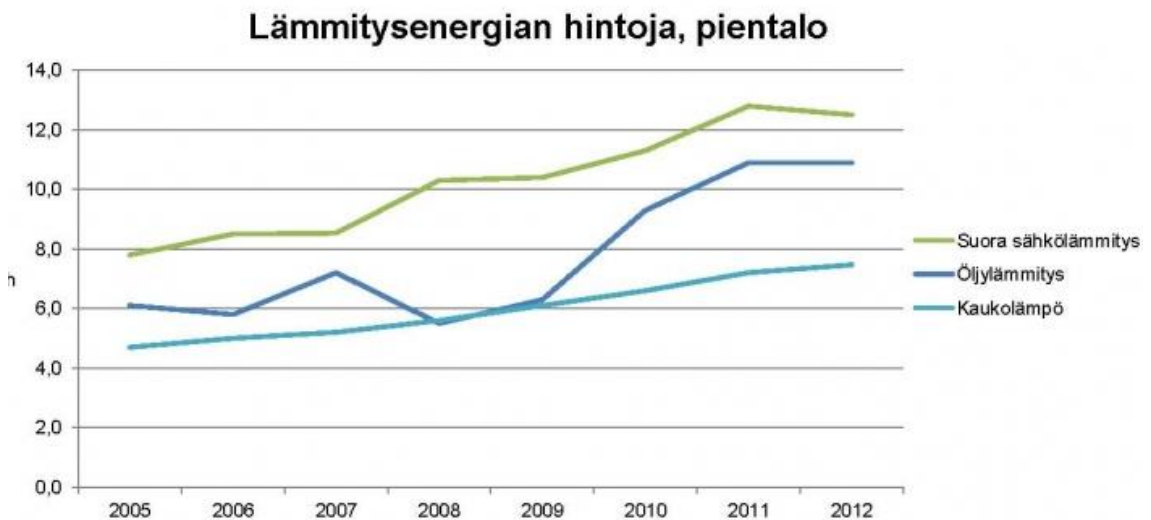
Kuvio 7. Lämpöpumpun toiminta. (Ekowell 2015.)

5 ÖLJYLÄMMITYS

Nestemäisessä polttoaineessa energia on tiiviissä muodossa ja sitä on helppo liikutella. Kevyt Nestemäisen polttoaineen hyötysuhde on erittäin korkea. Energiatehokas öljykattila pystyy hyödyntämään 95 % lämmitys öljyn sisältämästä energiasta. Hyvästä hyötysuhteesta johtuen myös päästöt ovat pieniä. Suomessa lämmitykseen käytettävä polttoöljy on rikitöntä, koska rikittömän polttoöljyn valmistevero on matala. Polttoöljyyn on lisätty punainen tunniste väri, jonka avulla se voidaan erottaa dieselöljystä. Dieselöljyä ja polttoöljyä koskevat eri veromääräykset.

Öljylämmityskattiloiden tekniikka on kehittynyt 2000-luvun aikana merkittävästi. Kehittyneen tekniikan ansiosta lämmitys kohteiden kulutus on tippunut keskimäärin 20 %. Polttoöljyn hinta on kuitenkin noussut lähes samassa suhteessa, joten lämmitys kustannukset ovat pysyneet ennallaan.

Taulukko 3. Lämmitysenergian hintojen vertailu. (Öljy ja biopolttoaineala ry 2013.)



Öljylämmityksen rinnalle voidaan kytkeä myös toinen lämmitysjärjestelmä. Kyseistä järjestelmää kutsutaan hybridijärjestelmäksi. Useimmiten öljylämmityksen

rinnalle kytketään aurinkolämmitys tai lämpöpumppu. Hybridijärjestelmällä voidaan tuottaa energiatehokkaasti lämpöä. Hybridijärjestelmällä voidaan öljyn kulutusta pienentää jopa 50 %. Hybridijärjestelmästä on mahdollista rakentaa erittäin energiatehokas vuodenaikalämmitys, jolloin voidaan valita vuodenaikaan parhaiten soveltuva energiatehokkain lämmitysmuoto. Uusiutuvilla energiamuodoilla tuotetaan lämpöä keväästä-syksyyn. Öljylämmityksellä varmistetaan lämmitystehon riittävyys kylminä talvikuukausina. Taulukossa 3 on vertailtu lämmitysenergian hintoja eri lämmitysmuodoille pientalolle. (Öljyalan palvelukeskus Oy 2013.)

Öljylämmitys kiinteistöjä on suomen rakennuskannasta noin viides osa. Öljylämmitys talojen öljynkulutus on 460 miljoonaa litraa vuodessa. Tämä on vajaat 2 % Suomen kokonaisenergiankulutuksesta.

Tutkittava kohde kuluttaa kovimpina talvikuukausina 5000l lämmitys öljyä. Öljykattilan teho on 150kW.

6 TUTKIMUSKOHTTEEN ESITTELY

6.1 SAKK Inari

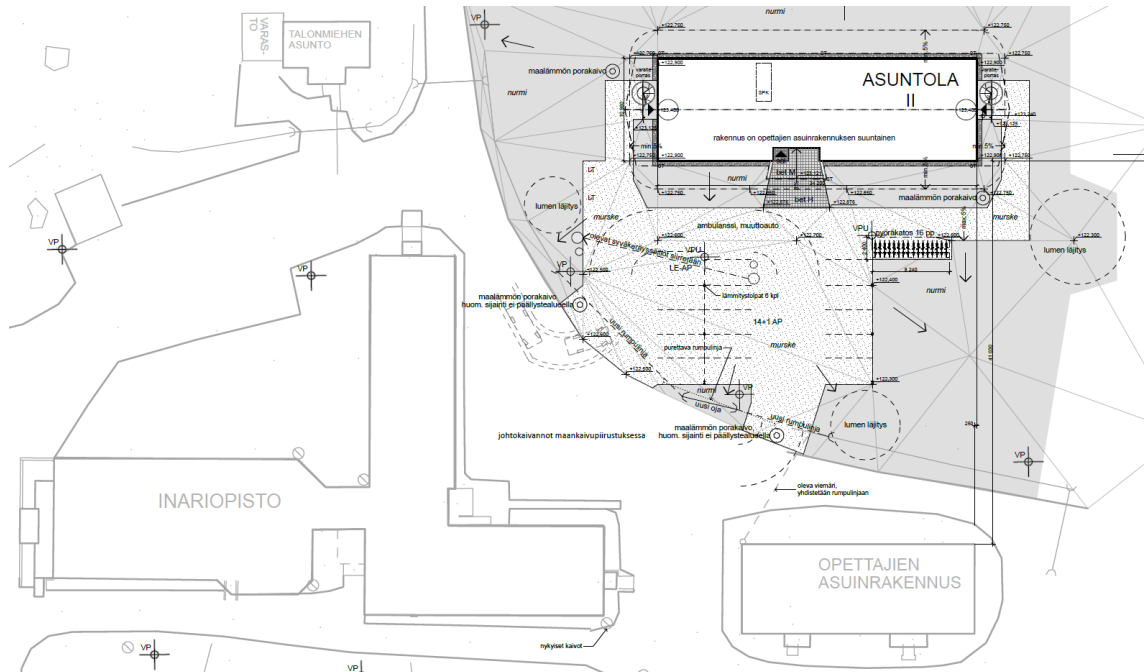
Saamelaisalueen koulutuskeskus Inarissa on käytössä lähinnä majoituskäytössä oppilailla, jotka kulkevat eri paikassa koulussa. Koulutuskeskus koostuu kolmesta eri rakennuksesta. Kohteessa on opettajien asuinrakennus, päärakennus ja laajennusosa. Opettajien asuinrakennus ja päärakennus ovat vanhoja alkuperäisiä ja laajennusosa on uusi passiivienergia rakennus. Toiseen vanhempaan rakennukseen on tulossa remontti, jossa puolet rakennuksesta puretaan ja rakennetaan energiatehokkaammaksi.

Kohteessa on lisäksi pieni rakennus, mutta rakennus ei kuulu tähän työhön, koska se on yksityisen käytössä.

Rakennuksien tietoja:

	Pinta-ala (br-m ²)	Tilavuus (m ³)
Opettajien asuinrakennus	582	1171
Päärakennus	1690	5152
Laajennus	720	2300
Yhteensä	2992	8623

Kuviossa 8 on esitetty alueen rakennukset.



Kuvio 8. Alueen rakennukset.

6.2 Energiatarvelaskelmat

Teoreettiset energiatarvelaskelmat.

- Lämmitysenergian kulutus – 377 000 kWh/a
- Lämpimän käyttöveden energiakulutus - 100 000 kWh/a

”Mikäli veden kokonaiskulutusta ei ole mitattu, käytetään lämpimän käyttöveden määrän oletusarvona asuinrakennuksissa $0,6 \text{ m}^3/\text{brm}^2$ (= $600 \text{ dm}^3/\text{brm}^2$) vuodessa.”

Lämmin käyttövesi mitoitus $600\text{dm}^3/\text{brm}^2$ vuodessa (asuinrakennus).

$600\text{dm}^3/\text{brm}^2 * 2992\text{brm}^2 = 1795 \text{ m}^3/\text{vuodessa}$

$$Q = \frac{\rho \times c_p \times V \times (t_2 - t_1)}{3600}$$

, missä

Q	veden lämmittämiseen kuluva energia (kWh)
ρ	veden tiheys (1 000 kg/m ³)
c_p	veden ominaislämpökapasiteetti (4,2 kJ/kg°C)
V	vedenkulutus (m ³)
t_2	lämmitetyn veden lämpötila, tyypillisesti 55 °C
t_1	lämmitettävän veden lämpötila, tyypillisesti 5...10 °C
3600	yksikkömuunnoskerroin (kJ->kWh)

$$Q = (1000 * 4,2 * 1795 * 47,5) / 3600 = 99\,472 \text{ kWh/a, noin } 100\,000 \text{ kWh/a}$$

- Lämpöpumpun energiankulutus – 50 000 kWh/a
- Sähköenergian kulutus (ilman lämpöpumpua) – 50 000 kWh/a
- Kokonaisenergiankulutus -577 000 kWh/a

Paikallinen energiantuotanto:

- Lämpöpumpun tuotto 200 000 kWh/a
- Aurinkosähkön tuotanto 21 000 kWh/a
- Tuulivoiman tuotanto 7 000 kWh/a
- Paikallinen tuotanto yhteensä 228 000 kWh/a

Energiatase yhteensä – 349 000 kWh/a

Laskelmissa on oletettu, että pientuulivoimala toimii alueen keskimääräisen tuulen mukaisesti ja maalämpöä voidaan hyödyntää pääsääntöisesti vain laajenusosaan. Energiataseen negatiivinen osa tulee suurimmaksi osaksi öljylämmityksestä. (Motiva 2015.)

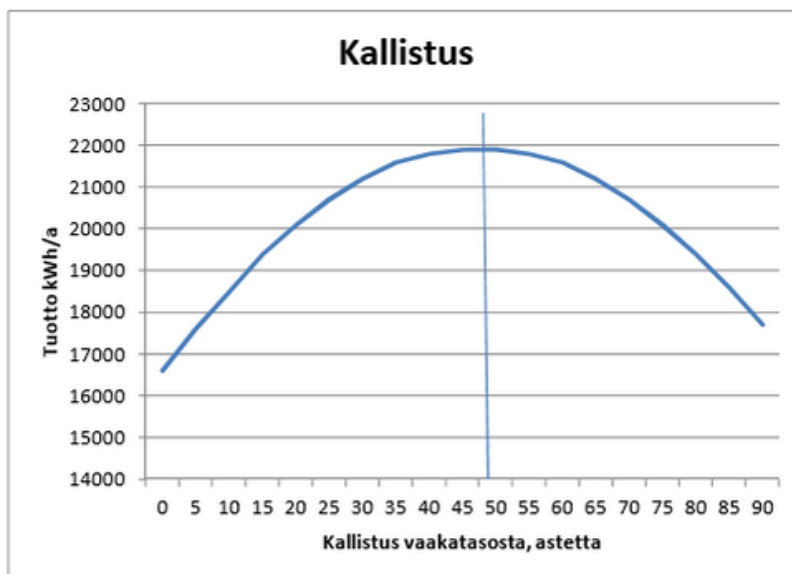
7 TUTKIMUSKOHTTEEN JÄRJESTELMÄ

Kohteessa on käyttösähkön tuottoon aurinkosähköjärjestelmä sekä pientuulivoimala. Lämmitykseen käytetään pääsääntöisesti maalämpöjärjestelmää ja pakasaikana lisäksi lämmityksessä toimii öljykattila. Lämmin käyttövesi saadaan myös maalämmöstä. Tosin tällä hetkellä vain silloin, kun maalämpöä käytetään rakennuksien lämmittämiseen. Lämminvesivaraajassa on lisäksi 6 kW sähkövastus jota käytetään kun maalämpö ei ole käytössä.

7.1 Aurinkopaneelien tekniset ratkaisut

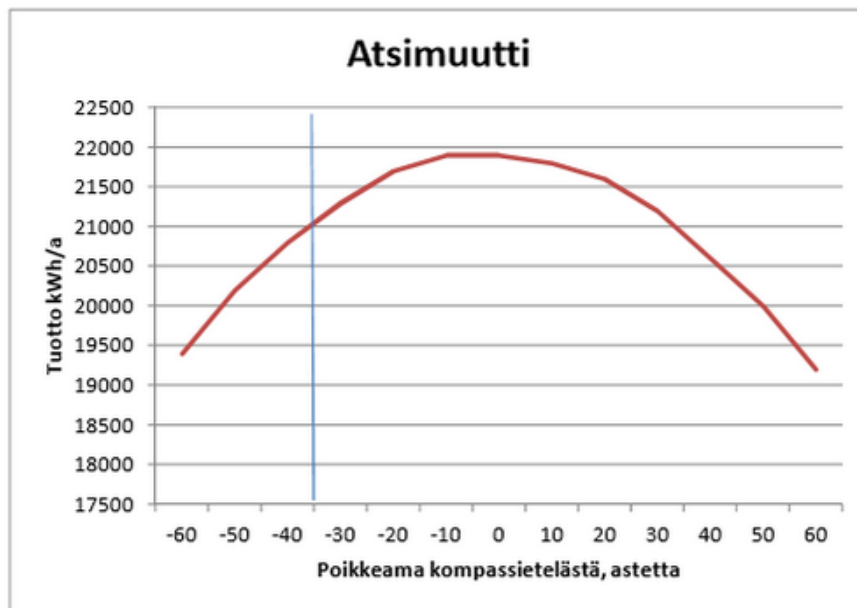
Aurinkopaneelit asennetaan asuntolarakennuksen katolle eteläkaakkoon suuntautuvalla lappeella. Paneelit kiinnitetään kiinteisiin telineisiin. Asennuskulmat ovat: atsimuutti -30° ja kallistus 20° . Rakennuksen ilmansuunta ei ole paras mahdollinen, koska paneelit eivät suuntaudu suoraan etelään, vaan eteläkaakkoon. Kuvioista 9 nähdään rakennuksen ilmansuunta etelään nähden. Rakennus sijoittuu tontille siten että asennuspaikka on varjoton.

Taulukko 4. Kallistuksen vaikutus aurinkopaneelin tuottoon, case Inari



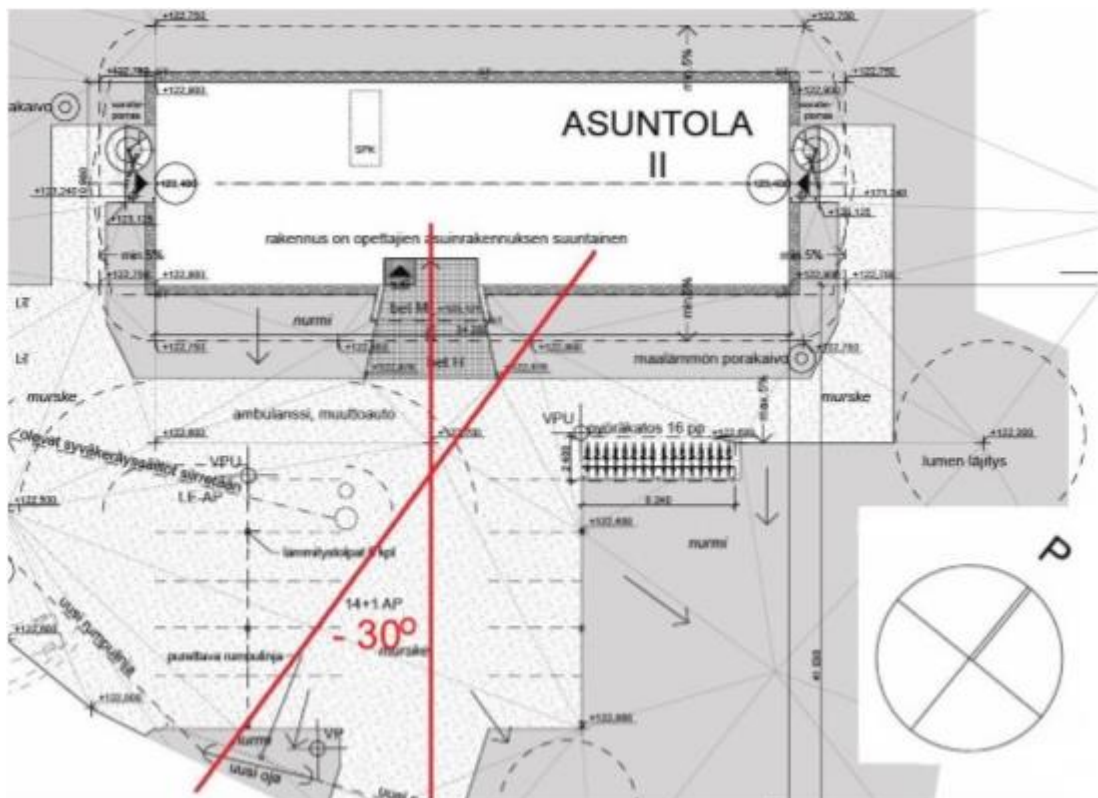
Taulukossa 4 on esitetty kallistuksen vaikutus paneelien tuottoon. Maksimituotto saavutetaan case -kohteessa 49° asennuskulmalla. Asteikossa 0° on vaakasuora ja 90° pystysuora asennus. Kallistuskulman vaikutus välillä 0 astetta - 49° on noin 24 %. Lopullinen asennus tuli kuitenkin 1:3 kulmassa olevalle vesikatolle eli kallistuskulma on noin 20°. Joten kallistuksen vaikutus on noin 17,5 %. Käytännön syistä asennuskulmaa joudutaan muuttamaan loivemmaksi. Perusteluina tähän ovat kattopinta-alan riittävyden lisäksi mm. arviot lumen kinostumisesta, puhdistus- ja huoltoreitin järjestäminen, lumiesteiden toteutusmahdollisuudet sekä paneelien jääminen toistensa varjoon. Myös arkkitehtuuriset seikat on otettava huomioon.

Taulukko 5. Atsimuutin vaikutus aurinkopaneelin tuottoon, case Inari



Atsimuutin vaikutus on välillä 0° - 60° noin 12 %. Case -kohteessa paneelit on suunniteltu asennettavaksi -30° eli 30° eteläkaakkoon. Taulukosta 5 näemme poikkeaman kompassietelästä tuottoon. Vinosti paneelin pinnalle tulevan auringonsäteilyn teho P_s voidaan laskea yhtälöstä $P_s = S * A * \cos \alpha$, missä S on auringonsäteilyn voimakkuus (W/m^2), A paneelin pinta-ala (m^2) ja α paneelin normaalin ja auringonsäteiden välinen kulma. Tuloksista voidaan päätellä, ettei PV-järjestelmä ole erityisen herkkä atsimuutin suhteen. Horisontaalisesti $\pm 30^\circ$ poik-

keama ei vaikuta tuottoon ratkaisevasti, kun taas pystykulmassa jo 10° on merkityksellinen. Ääriasennolla ei ole merkitystä, sillä vaakasuoraan ja pystysuoraan asennettujen paneelien tuotto on suunnilleen sama. Laskelmia laadittaessa on huomattava, että auringonsäteiden kohtaamiskulmaa on tarkasteltava sekä pysty- että vaakasuunnassa. Jos kummassakin suunnassa tulokulma on 30° , tulokset kerrotaan keskenään $\cos 30^\circ \cdot \cos 30^\circ = 0,75$ eli säteilyteho pienenee 25 % verrattuna kohtisuoraan aurinkoon suunnattuun paneeliin.



Kuvio 9. Rakennuksen sijainti etelään nähden.

Paneelityyppi on yksikidekristallipaneeli Hyundai HiS-S250MG, jonka yksikköteho on 250 Wp. Paneelin mitat ovat 938 mm x 1654,5 mm. Järjestelmä sisältää

120 kpl paneeleita. Asennettuna paneelien pinta-alaa tuli 120m², joka on napa-piirin pohjoispuolen suurin aurinkovoimala. (NWE Sales Oy 2013.)

Invertterit ovat 3 kpl 11 kWp 3-vaiheisia inverttereitä, tyyppi SMC 11000TL-10, valmistusmaa Saksa. Invertterit on sijoitettu rakennuksen toisessa kerroksessa olevaan sähkötilaan.

7.2 Tuulivoiman tekniset ratkaisut

Kohteessa on Aelos 6kVa pientuulivoimala.

Laskentateho: 5kW

Maksimi teho: 6kW

Roottorin halkaisija 6,4m, josta siiven pituus 3,2m

Tuulimyllyn korkeus 24m

Varoalue 42m joka suuntaan myllyltä

Toimintalämpötila -20...+50 astetta

Suunniteltu elinkaari 20 vuotta

Kytetään 6000W invertteriin

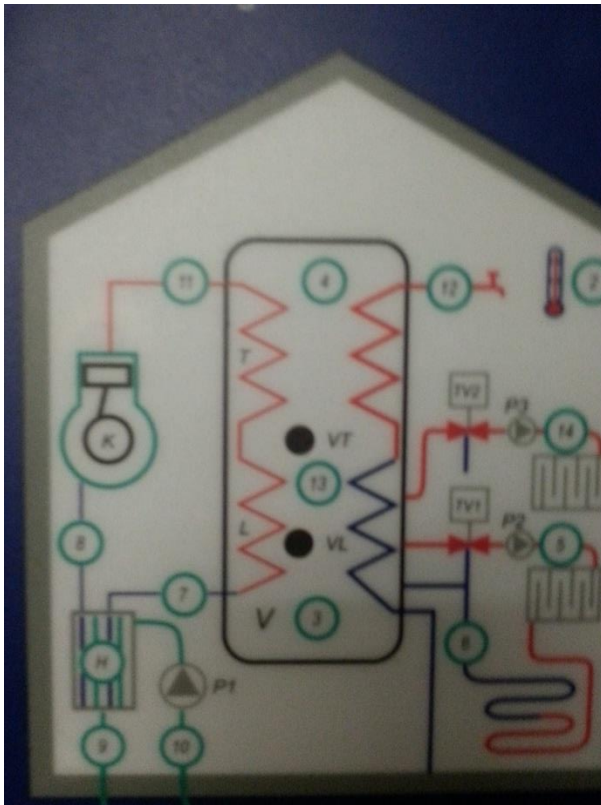
Tuulimyllyssä on kolmilapainen roottori, jota ohjaa kolmivaiheinen kestopagneetti generaattori yli 97 % hyötysuhteella. Mylly lähtee toimimaan, kun tuulennopeus on yli 2m/s ja suurin mahdollinen tuulennopeus on 45 m/s. Paras tuulennopeus on tuoton kannalta ja rasittamatta liikaa myllyä 10 m/s. Mikäli tuulennopeus ylittää sallitun, ylijännite iskee koneistoon tai muita vikoja ilmenee, on myllyssä elektroninen jarru. Kovatuulisille alueille on myös saatavana hydraulinen jarru hidastamaan pyörimisnopeutta. Tuulimyllyltä saatavaa sähköenergiaa ei varastoida mihinkään vaan käytetään tarvittaessa suoraan kiinteistöissä. Tuulimylly on myös aurinkopaneelien tavoin kytketty verkkoon, jolloin voidaan syöttää ylimääräinen sähkö sähköyhtiön käytettäväksi. Tosin vielä ainakaan ei korvausta saa verkkoon syötetystä sähköstä. Kuviossa 10 on kohteen pientuulivoimala huollossa. (Aelos 2015.)



Kuvio 10. Aelos pientuulivoimala.

7.3 Maalämmön tekniset ratkaisut

- Tontilla on neljässä kohdassa porakaivoja. Jokaiseen kohtaan on sijoitettu kolme porakaivoa, joten kohteen maalämpöjärjestelmä on toteutettu kahdella-toista porakaivolla. Jokaisen porakaivon syvyys on 200 metriä. Kuviosta 12 nähdään porakaivojen sijainti tontilla.
- 2 kpl Ekowell 85 kW lämpöpumppua
- Schneider automaatiojärjestelmä
- Lämmitettävä käyttövesi 1000l Pivoso varaajassa



Kuvio 11. Ekowell lämpöpumppujärjestelmän kierto.

Pääasuntolan kellarin kattilahuoneessa sijaitsevat kesällä 2013 asennetut maalämpöjärjestelmän laitteet varusteineen. Pääasuntolan siipien (3 kpl) ja opettajien asuntolan lämmitysverkostot on kukin varustettu omilla sekoituskytkennöillä säätöventtiileineen ja pumppuineen. Lämpö johdetaan opettajien asuntolaan putkikanaalia pitkin. Asuntoloiden lämmitysverkostojen mitoituslämpötilat pääosin +70/40 °C. Kuviossa 11 on Ekowell lämpöpumpun kytkentä esitettynä.

Maalämpöpumppujärjestelmä palvelee sekä uutta asuntola Jeera 2 että vanhoja pääasuntolaa ja opettajien asuntolaa. Maalämpölaitteiston yhteisteho on 170 kW, lämmitysverkoston mitoituslämpötilat +50/30 °C. Uusi asuntola Jeera2 on mitoitettu maalämpölaitteiston matalan lämpötilatason mukaisesti, lämmitystehontarve on yhteensä 61 kW (lämmitys 14 kW + ilmanvaihto 47 kW).

Pääasuntolan lämmitysverkoston putkistot ja lämmityspatterit on mitoitettu öljykattilalämmityksen mitoitusperusteiden mukaisesti. Pattereiden vähäisen pinta-alan ja putkikokojen takia kohteessa ei pystytä tällä hetkellä hyödyntämään maalämpöjärjestelmää täydellisesti, koska maalämpöjärjestelmällä pystytään tuottamaan korkealla hyötysuhteella vain noin + 50 °C lämmitysverkoston menopuolen vettä.

Lämpöpumppulaitoksen mitoituksen lähtökohtana on ns. osatehomitoitus. Osatehomitoituksessa lämpöpumpun tehoa ei mitoiteta vastaamaan kokonaislämmitystehontarvetta, vaan huippukulutuksen aikana tarvittava lisälämpöenergia tuotetaan sähköllä tai öljyllä.

Lämmitysjärjestelmän suunnitelmien mukainen toiminta on kaksivaiheinen:

Ulkolämpötilan ollessa yli -15 °C kaikkien asuntoloiden lämmitys saadaan maalämpöjärjestelmästä. Kun ulkolämpötila laskee riittävän alas, n. -15 °C, pää- ja opettajien asuntoloiden lämmitysverkostot tarvitsevat korkeampaa menoveden lämpötilaa kuin maalämpöjärjestelmästä saatava lämpötila (+50 °C) on, sulkee säätöjärjestelmä matala-lämpöverkostosta tulevan virtauksen ja siirtyy lämmittämään pää- ja opettajien asuntoloiden verkostoja öljykattilan avulla.



Kuvio 12. Maalämpökaivojen sijainnit tontilla.

8 INVESTOINTIKUSTANNUKSET

Aurinkosähkö järjestelmä

Rakennuttaja järjesti avoimen tarjouskilpailun, johon tuli yhteensä neljätoista ilmoittautumista. Tarjouksen jätti määräaikaan mennessä kahdeksan yritystä.

Tarjous pyydettiin kolmesta järjestelmävaihtoehdosta, joiden tehot olivat 10 kWp, 20 kWp ja 30 kWp. 10 kWp hintahaarukka oli 22 000 € - 38 850 €, 20 kWp hintahaarukka 27 205 € - 56 550 €, ja 30 kWp hintahaarukka 58 500 € - 97 400 €. Kaikki tässä työssä käsitellyt hinnat ovat arvonlisäverottomia.

Rakennuttaja päätti toteuttaa 30 kWp järjestelmän, ja valitsi urakoitsijaksi siinä kokoluokassa halvimman tarjouksen jättäneen yrityksen. Hankintahinta täyteen käyttökuntoon asennettuna oli siis 58 500 €.

Järjestelmän hinnaksi tuli näin ollen $58\,500\text{ €}/30\,000\text{ Wp} = 1,95$ euroa per watti.

Tuulivoima

Tuulivoimalan investointikustannus on arvoitu, koska todellisia kustannuksia ei ole saatu mistään selville. Arvioinnissa on käytetty apuna vastaavia laitteistoja ja suomalaisten laitetoimittajien tietoja. Itse tuulimyllyn osuus kokonaisinvestoinnista on kuivalla maalla tyypillisesti n. 70 %. Loppuosa koostuu maarakennustöiden kustannuksista (n. 15 %), sähkötöistä ja kaapeloinnista (n. 8 %) sekä sähköverkkoon liittämisestä ja suunnittelutöistä (n. 7 %). (Tuulivoimatieto, Luettu 2015.)

Vastaava 24m mastolla olevan myllyn ostohinta noin 18 000€.

Maston perusta- ja pystytystyöt 3510€.

Sähkötyöt ja liittäminen muuhun järjestelmään (sisältäen suunnittelun.) 3510€.

Yhteensä 23 400€

Maalämpö

Maalämpöjärjestelmän lopullinen eli toteutushinta ei ole tarkkaan selvillä, mutta laskelmien perusteella päästään aika lähellä todellista hintaa.

Lämpöpumppulaitteisto	50 000 €
Porakaivot 12 kpl putkistoineen	90 000 €
Varaajat tarvikkeineen	8 000 €
Lämmönjakohuone	8 000 €
Sähköt & automaatio	8 000 €
Sähköliittymä lisäliittymismaksu (Inergia)	20 000 €
Pääkeskuksen & syöttökaapelin uusiminen	20 000 €
Yhteensä	204 000 €

Sähköliittymän lisäliittymismaksu siitä syystä, koska edellinen sähköliittymä ei ole riittänyt lämpöpumppulaitoksen tarpeisiin. Uuden sähköliittymän sulakekoko on 3 * 400 A joten siitä muodostuu lisäliittymismaksu.

Uusiutuvan energian investointikustannukset yhteensä:

Tuulivoima	23 400€
Aurinkosähkö	58 500€
Maalämpö	204 000€
Yhteensä	285 900€

9 TUOTANTOLASKELMAT

Aurinkoenergia

Tässä työssä esitetyt tuotantolaskelmat on laadittu Euroopan unionin ylläpitämällä PVGIS- palvelulla.

Keskeiset laskentakriteerit ovat:

- Paneelin tyyppi: crystalline silicon
- Sijainti 68°54'18" North, 27°1'49" East
- Järjestelmän teho 30 kWp
- Atsimuutti - 30°
- Kallistus 20° vaakatasosta
- Ympäristön lämpötilasta johtuvat häviöt ja spektrinen irradianssi: 8,1 %
- Asennuskulmasta aiheutuva heijastuminen: 4,3 %
- Siirtohäviöt (kaapelit, invertteri ym.): 14,0 %
- Järjestelmähäviöt yhteensä: 24,3 %
- Asennus kiinteä
- Näkyvyys esteetön

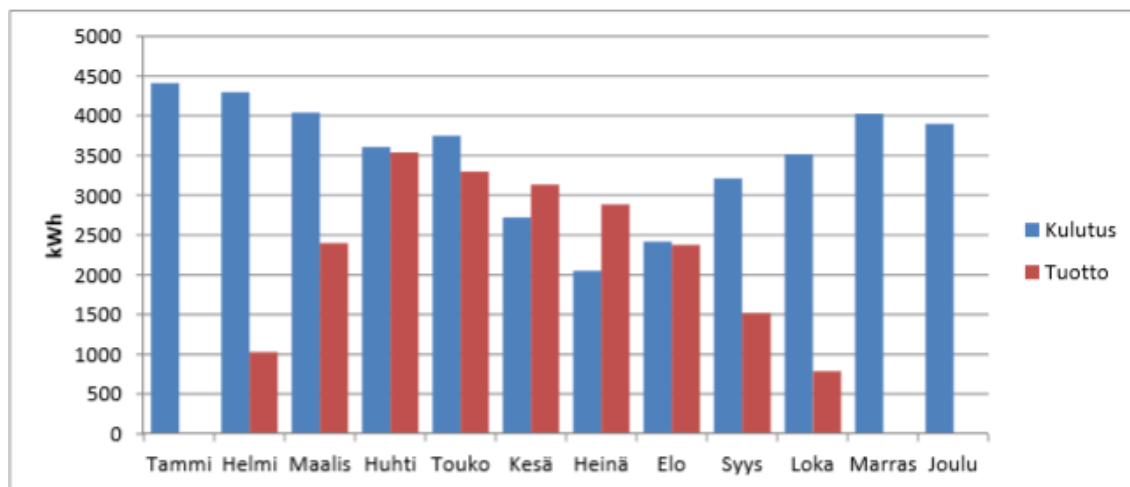
Taulukko 6. Aurinkopaneelien laskennallinen vuosituotanto. (PVGIS 2015.)

Fixed system: inclination=20°, orientation=-30°				
Month	E_d	E_m	H_d	H_m
Jan	0.03	1.06	0.00	0.157
Feb	22.90	642	0.93	26.1
Mar	57.90	1790	2.36	73.3
Apr	101.00	3030	4.30	129
May	103.00	3190	4.61	143
Jun	107.00	3200	4.89	147
Jul	93.50	2900	4.35	135
Aug	72.70	2250	3.26	101
Sep	43.00	1290	1.87	56.1
Oct	18.70	581	0.80	24.8
Nov	2.78	83.3	0.13	3.97
Dec	0.00	0	0.00	0
Yearly average	52.0	1580	2.30	69.9
Total for year		19000		839

Taulukosta 6 nähdään järjestelmän laskennalliseksi vuotuiseksi tuotoksi 19 000 kWh. Toteutunut tuotanto vuosituotanto vuodelta 2014 oli 21 624kWh eli on päästy yli tämän ohjelman antaman tuloksen. Tosin laskennalliset tulokset voivat olla niin monesta asiasta kiinni. Parempi näin.

Taulukosta 7 nähdään että kesäkuukausina, kun rakennus on vähäisellä käytöllä, PV-järjestelmä tuottaa enemmän kuin rakennus kuluttaa. Kokonaistuotanto jää silti vuositasolla huomattavasti kulutusta pienemmäksi.

Taulukko 7. Aurinkopaneelien vuosituotanto suhteessa kulutukseen, case Inari



Maalämpö

Kohteen kokonaislämmitysenergian tarve on 477 MWh vuodessa. Vanhat asuntolat tarvitsevat 400 MWh vuodessa ja uusi asuntola energiasimuloinnin mukaan tarvitsee 77 MWh vuodessa. Öljyn kulutustietojen perusteella voidaan arvioida maalämmön osuutta lämmitysenergian tuotannossa. Öljyn litramäärien muuttaminen kWh:ksi on käytetty kerointa 1l öljyä vastaa 10 kWh energiaa. Lopullinen energiasisältö saadaan, kun kerrotaan vielä hyötysuhteella.

Kohteen öljyn kulutuksen tarkkailu:

2013 vuonna ostettu öljyä 51 444 L

1L öljyä = 10Kwh (teoreettinen)

$$51\,444\text{ L} \cdot 10\text{ kWh/L} = 514\,440\text{ kWh}$$

$$= 514\text{ MWh}$$

Öljypolttimen hyötysuhde 88 %

$$514\text{ MWh} \cdot 0,88 = 452,32\text{ MWh}$$

2014 ostettu öljyä 32 918 L

1L öljyä = 10kWh

$$32\,918\text{ L} * 10\text{ kWh/L} = 329\,180\text{ kWh}$$

$$= 330,20\text{ MWh}$$

Hyötysuhde 88 %

$$330,20\text{ MWh} * 0.88 = 290.90\text{ MWh}$$

Öljyn kulutustiedoista nähdään, että maalämpöjärjestelmä on tullut vasta 2013 kesällä käyttöön ja öljyn kulutus on ollut huomattavasti suurempi kuin 2014. Maalämmöstä on saatu hyödynnettyä 2013 vain noin 25 MWh lämpöenergiaa. Laskelmista nähdään, että 2014 on päästy jo paljon parempaan tulokseen.

2013

$$477\text{ MWh} - 452,32\text{ MWh} = 24,68\text{ MWh}$$

2014

$$477\text{ MWh} - 290\text{ MWh} = 187\text{ MWh saatu maalämmöstä.}$$

Maalämmöstä on saatu öljyn kulutustietojen perusteella yhteensä 211,68 MWh lämpöenergiaa vuosien 2013 – 2014 aikana. Tähän pitää huomioida hieman lisää, koska maalämmön kulutustiedot ovat kolme kuukautta vielä vuoden 2015 puolella. Arvioitu kokonaistuotto on 250 MWh. Maalämpöjärjestelmä ja lämmitys-järjestelmää ohjaava automaatio on suunniteltu siten, että huippukulutusta vaativina aikoina lämmitysenergia tuotetaan öljykattilalla, koska maalämpöjärjestelmän hyötysuhde laskee mikäli lämmitysverkostoon tuotettavan veden lämpötilaa nostetaan yli +50°C.

Matalalle lämpötila alueelle suunniteltu maalämpöjärjestelmä ei riitä vanhoille rakennuksille pakkaspäivinä, jolloin maalämpöä pystytään hyödyntämään vain uuteen passiivirakennukseen. Lämmitys-järjestelmän suunnittelussa on otettu huomioon tulevat kohde rakennusten energiatehokkuutta parantavat remontit, joiden jälkeen rakennuksiin pystytään tuottamaan maalämpöjärjestelmällä energia tehokkaasti lämmitysenergiaa.

Maalämpö kaivosta saatava teoreettinen lämpöenergia 120kWh/m/a.

Kohteessa 12kpl kaivoja, joiden syvyys 200m
 Yksi kaivo 120kWh/m/h *200m = 24 000 kWh/a
 = 24 MWh/a

24MWh *12 kpl = 288 MWh teoreettinen tuotto maalämmöstä.

Laitteisto on ollut toiminnassa nyt noin kaksi vuotta ja on kuluttanut 99 857 kWh eli noin 100 MWh sähköä. COP-luku voidaan laskea näiden tietojen perusteella.

COP= 250 MWh / 99,857 MWh

COP= 2.5

COP- arvo laskelmissa on teoreettinen.

Tuulivoima

Fysiikassa teho (P) on tehdyn työn tai käytetyn energian määrä aikayksikössä. Tehon SI-yksikkö on watti (W), joka vastaa joulen energiamäärää sekunnissa. Tuulenopeuden v kyky tehdä työtä, eli tuulen teho voidaan laskea kaavasta:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \pi \cdot r^2 \cdot v^3 \cdot c_p$$

Missä,

ρ = ilman tiheys

r = roottorin säde

v = tuulen nopeus

c_p = roottorin tehokerroin.

Tuulienergian tehon laskennasta voidaan esittää numeroesimerkki. Käytetään numeroarvoja:

ilman tiheys $\rho = 1,2 \text{ kg/ m}^3$

roottorin säde $r = 3,2 \text{ m}$

tuulen nopeus $v = 10 \text{ m/s}$

roottorin tehokerroin $C_p = 40 \% = 0.4$

Hyvän energiantuotannossa käytetyn roottorin tehokerroin on noin 0,4, kun voimala toimii optimitilanteessa. Joten käytämme laskelmissa tätä arvoa.

Tällöin voidaan laskea myllyn teho näissä olosuhteissa:

$$P = \frac{1}{2} \cdot 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \pi \cdot (3,2 \text{ m})^2 \cdot \left(10 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^3 \cdot 0,40 = 7,72 \text{ kW}$$

Jos tuulen nopeus on tästä puolet, $v = 5 \text{ m/s}$, saadaan tehoksi:

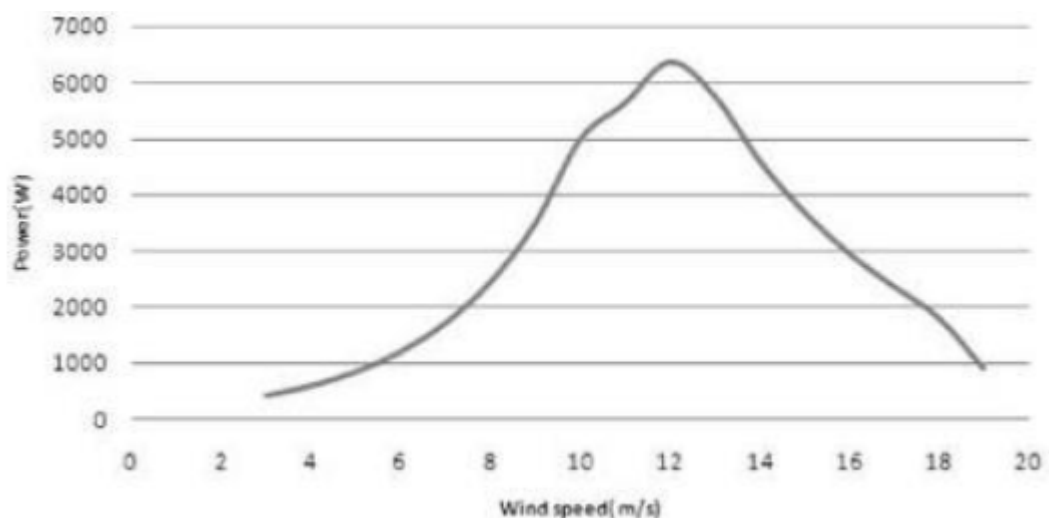
$$P = \frac{1}{2} \cdot 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \pi \cdot (3,2 \text{ m})^2 \cdot \left(5 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^3 \cdot 0,40 = 0,97 \text{ kW}$$

Laskelmissa ei ole huomioitu generaattorin hyötysuhdetta.

Kun tuulen nopeus putoaa puoleen, teho putoaa kahdeksanteen osaan, kuten taulukosta 8 nähdään.

(Ronkko. M. 2013.)

Taulukko 8. Tuulen nopeuden vaikutus tuulivoimalan tehoon.



Tuulenmittaustiedot ja tuulisähkön tuotanto

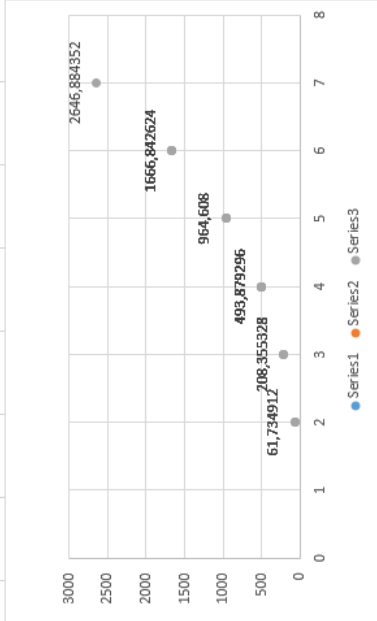
Tuuliturbiinin energian tuotto kasvaa tuulennopeuden mukaan. Inarin kohteessa oleva tuulimylly on ollut tutkimusajan kallellaan maata vasten korjausten takia. Tästä syystä myös Smartgridin sivuilla oleva tuulennopeus mittaushistoria on epäluotettava. Käytämme oletettuja tuulioloja jotka myös vastaavat teoreettista sähkön tuotantoa.

Taulukon 9 laskelmien perusteella nähdään, että tuulimylly tuottaa esimerkkipäivänä noin 20 kWh sähköä. Jos jokainen päivä olisi keskiarvoltaan samanlainen, saataisiin vuosituotoksi:

$$365 \text{ vrk} * 19,31 \text{ kWh/ vrk} = 7048,15 \text{ kWh/a, eli noin } 7 \text{ MWh/a}$$

Taulukko 9. Energiantuotannon laskelma tuulivoimasta esimerkki päivästä 1.3.2015

Tunti	Tuuliennopeus m/s	Myllyn teho W	kW
0	5	964,608	0,964608
1	4	493,8793	0,493879
2	4	493,8793	0,493879
3	5	964,608	0,964608
4	5	964,608	0,964608
5	4	493,8793	0,493879
6	4	493,8793	0,493879
7	5	964,608	0,964608
8	7	2646,884	2,646884
9	6	1666,843	1,666843
10	3	208,3553	0,208355
11	3	208,3553	0,208355
12	6	1666,843	1,666843
13	6	1666,843	1,666843
14	6	1666,843	1,666843
15	6	1666,843	1,666843
16	3	208,3553	0,208355
17	4	493,8793	0,493879
18	4	493,8793	0,493879
19	2	61,73491	0,061735
20	2	61,73491	0,061735
21	3	208,3553	0,208355
22	2	61,73491	0,061735
23	4	493,8793	0,493879
		804,8046 keskiarvo	0,804805
		arvioitu tuotto	19315,31 Wh/vrk 19,31531 kWh/vrk



10 KANNATTAVUUSLASKELMAT

Kannattavuuslaskelmat laadittiin käyttäen 2 % rahoituskorkoa ja 1 % vuosittaista huoltokustannusta. Koko elinkaaren aikana huoltokustannukseksi tulee 25 % hankintahinnasta eli 14 625 €, jolla tarvittaessa pystytään esimerkiksi uusimaan invertterit kertaalleen elinkaaren aikana (yksikköhinta 3 000 € + vaihtotyöt). Järjestelmän elinkaareksi arvioitiin 25 vuotta, ja tuoton alenemaksi 0,25 % vuodessa. Nykyarvo lasketaan yhtälöllä

$$K_n = K * (1 + p_K/100)^n$$

Jossa,

K = investointi (€)

p_K = laskentakorko (%)

n = pitoaika (v)

K_n = nykyarvo (€)

Huoltokustannus lasketaan yhtälöllä

$$H = K * ((p_H/100)^n)$$

Jossa,

K = investointi (€)

p_H = huoltokustannus vuodessa (%)

n = pitoaika (v)

H = huoltokustannus yhteensä (€)

Paneelien tuoton alenema lasketaan kaavalla

$$T_a = (T * n) * (1 + p_T/100)^n$$

Jossa,

T = vuosituotto (kWh)

p_T = alenema vuodessa (%)

n = pitoaika (v)

Ta = tuoton alenema yhteensä (kWh)

Näillä lähtöarvoilla sähkön hinnaksi tulee 0,22 €/kWh.

Taulukko 10. Aurinkopaneelien tuottolaskelma.

Tuottolaskelma	
Teho	30 kWp
Investointi	58 500 €
Korko	2 %
Elinkaari	25 vuotta
Diskonttokerroin	1,641
Nykyarvo	95 975 €
Huolto /v	1 %
Huolto yhteensä	14 625 €
Tuoton alenema	0,25 %
Tuotto 25v	493230 kWh
Kustannukset yhteensä	110 600 €
Hinta	0,22 € /kWh

Taloudellinen kannattavuus

Kiinteistön omistaja hankkii käyttämänsä sähköenergian Pohjoismaisesta sähköpörssistä. Energian keskihinta oli vuonna 2012 noin 54 €/MWh. Kohteen sähkön siirron ja energiaveron kustannus oli yhteensä 66,5 €/MWh, joten energian hankintahinta oli 120 €/ MWh (0,12 €/kWh) ilman arvonlisäveroa.

PV- järjestelmän tuottaman sähkön hinta 220 €/ MWh (0,22 €/kWh) on alkuvaiheessa noin 1.8-kertainen verrattuna nykyiseen sähkön hankintahintaan. Sähkön hinta pysyy kuitenkin vakiona koko järjestelmän laskennallisen elinkaaren ajan eli 25 vuotta. 25 vuoden aikana tuotettu sähkömäärä on 493 230 kWh, kuten taulukosta 10 nähdään. Tämä tarkoittaa vuosituotoksi keskimäärin 19 729,2 kWh.

Sähkön hinta 2015 12 snt/ kWh

Säästö $19\,729,2\text{ kWh} * 0,12\text{€}/\text{kWh} = 2367,5\text{€}/\text{vuosi}$

Takaisinmaksuaika $110\,600\text{€}/2367,5\text{€}/\text{vuosi} = 47\text{ vuotta}$

Sähkön hintakehitys on kuitenkin ollut viimeiset kymmenen vuotta nousujohteinen. Sähkön kokonaishinta – mukana luettuina energian lisäksi myös siirto ja verot – on noussut viimeisen kymmenen vuoden aikana 90 %. (Energiavirasto 2015.)

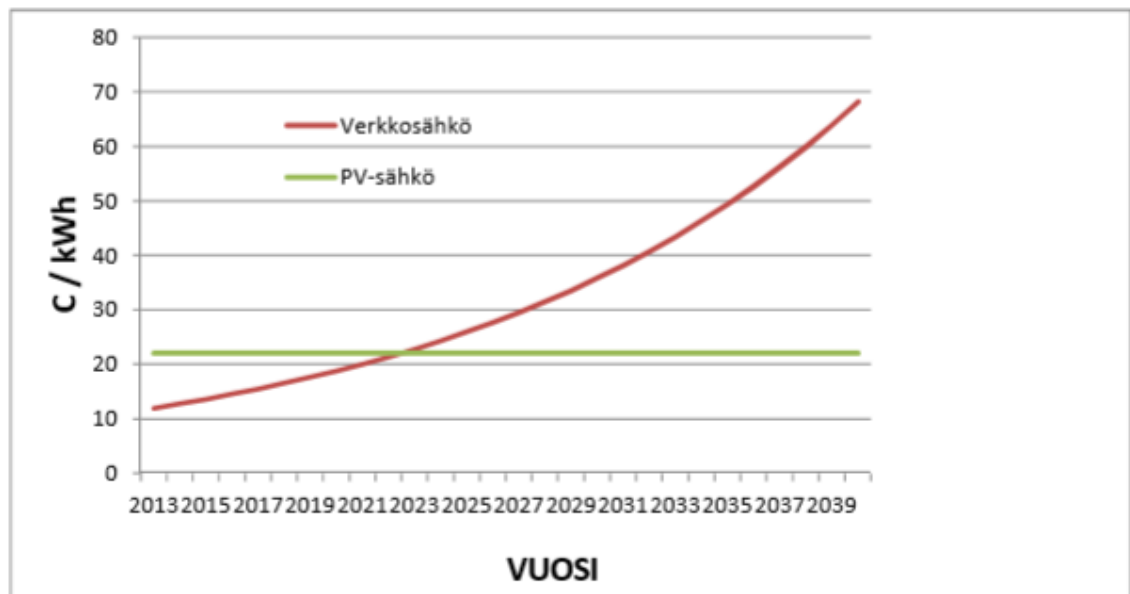
Talousmatemaattisesti tämä tarkoittaa sitä että hinta on noussut joka vuosi keskimäärin 6,7 % edellisen vuoden keskihintaan verrattuna.

Mikäli nousu jatkuu tulevaisuudessa yhtä jyrkkänä, kohtaa case -kohteen PV-järjestelmän tuottaman sähkön hinta verkkosähkön hinnan yhdeksäntenä toimintavuotena. Tämä tarkoittaa sitä että takaisinmaksuaika on todellisuudessa paljon lyhempi. Taulukosta 11 näemme verkkosähkön hinnan kehittymisen tulevaisuudessa.

Sen jälkeen PV- järjestelmän tuottama sähkö on verkkosähköä halvempaa.

(case Inari, luettu 2015.)

Taulukko 11. Sähkön arvioitu hintakehitys.



Tuulivoima

Kannattavuuslaskelmat ovat riippuvaisia installaatio- kohteesta ja siellä vallitsevista tuuliolosuhteista. Inarin kohteessa tuulimylly sijaitsee aukealla paikalla, mutta kohteen tuulimyllyn paikka ei ole verrannollinen tuuliolosuhteiltaan vesistö-alueilla mitattuihin tai tuulipuiston ihanteellisiin olosuhteisiin.

Vuosituotanto on laskettu tuotanto-osiossa 7048,15 kWh. Tuotanto on laskettu Inarin keskimääräisen tuulen nopeuden perusteella joka on alueella 4,5 – 5 m/s.

Sähkön hinta vuonna 2015: n. 12 snt/ kWh sisältäen siirtomaksun.

Tuulimyllyn hinta: Noin 23 400€ perustelu investointikustannukset osiossa.

Säästö: $7048,15 \text{ kWh} * 0.12 \text{ €/ kWh} = 845,778\text{€/ vuosi}$

Takaisinmaksuaika: $23\ 400\text{€/ } 845,778\text{€} = 28 \text{ vuotta}$

Laskelmissa ei ole huomioitu pääoma- ja ylläpitokustannuksia, jotka pidentävät takaisinmaksuaikaa entisestään. Mahdollinen energiatuki, joka korkeintaan voi olla 20 % laite- ja materiaalikustannuksista, on myös jätetty laskelman ulkopuolelle. Säännöllisellä huollolla saadaan myllyn elinajaksi jopa 40 - 50 vuotta, joten sähkönhinnan kehityskäyrää kun katsoo, niin tulevaisuudessa kertaalleen investoitu mylly tuottaa paljon enemmän säästöä kuin nyt. Esimerkiksi 20 vuoden kulluttua sähkön tuotto säästönä on jo viisin-kertainen.

Maalämpö

Elinkaarikustannuksiin on laskettu investointi-, energia- ja huoltotyökustannukset 20 vuoden ajalle. Huoltotyöt tehdään kerran vuodessa joiden yhteydessä tarkistetaan myös mahdolliset kylmäainevuodot.

Kokonais elinkaarikustannukseksi saadaan 476 000€.

Energian hankintahinta 120€/ MWh

Maalämmön kokonaistuotto 250 MWh/ 2v

Tuotettu energiamäärä on 200 000 kWh/a

Säästö 200 000 kWh * 0,12€/kWh = 24 000€/ vuosi

Takaisinmaksuaika 476 000€/ 24 000€/ vuosi = 20 vuotta

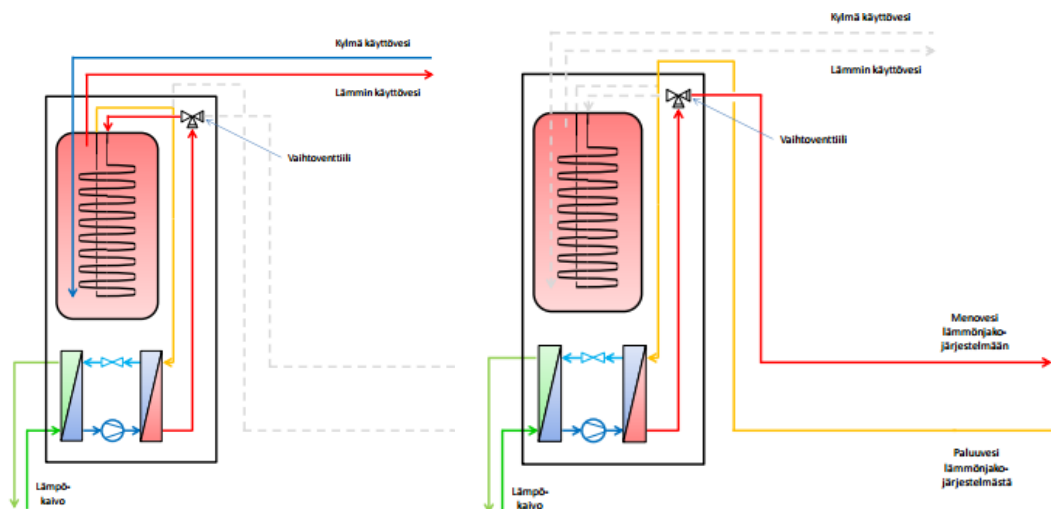
On kuitenkin huomioitava, että järjestelmästä hyödynnetään tällä hetkellä vain osa. Kun vanhoihin rakennuksiin pystytään tuottamaan lämmitysenergia maalämpöjärjestelmällä suunnitelmien mukaisesti, takaisinmaksuaika lähes puoliintuu. Lisäksi jatkuva sähkönhinnan nouseminen vaikuttaa takaisinmaksuaikaan, kuten aurinkosähkö- ja tuulijärjestelmässä.

11 KEHITTÄMISEHDOTUKSIA

11.1 Käyttövesi lämpöpumpulle aina

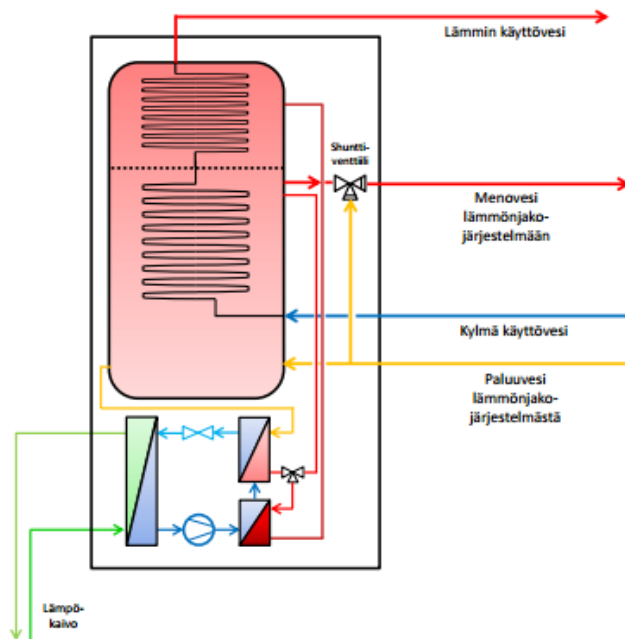
Kohteessa halutaan hyödyntää maalämpöjärjestelmää lämpimän käyttöveden lämmittämiseen myös kesäaikana, kun rakennuksia ei tarvitse lämmittää. Tällä hetkellä kohteessa maalämpöjärjestelmä lämmittää käyttövettä vain silloin kun rakennuksilla on lämmitystarvetta. Kesällä kun rakenteiden lämmityksen tarvetta ei ole, käyttövesi lämpiää pääsääntöisesti sähkövastusten avulla. Maalämpöpumpuissa on luonnostaan valmiudet kehittää tarvittava lämmin käyttövesi.

Käyttöveden valmistukseen on muutama erilaista tapaa. Vaihtuva lauhdutteisessa maalämpölaitteistossa lämpöä tuotetaan tarpeen mukaan joko käyttövedeen tai tilojen lämmittämiseen. Käyttövettä lämmitettäessä kohdistetaan pumpun koko teho hetkellisesti käyttövesivaraajassa olevaan kierukkaan. Kierukan läpi kulkeva kuuma vesi lämmittää varaajassa olevan käyttöveden nopeasti tavoitelämpötilaan. Näin lämmintä vettä saadaan nopeasti lisää. Käyttövesivaraajat voivat olla pienempiä ja laitteisto tarvitsee vähemmän tilaa. Kun käyttövesivaraajan lämpötila on saatu tavoitetilaansa, kääntyy pumpun tuottaman lämpimän veden suunta vaihtoventtiilin avulla talon lämmitysverkostoon. Pumppu käy ja tuottaa lämpöä verkostoon jos lämmitystarvetta on.



Kuvio 13. Vaihtuva lauhdutteinen maalämpöpumppu. (Lämpövinkki 2013.)

Toinen vaihtoehto on tulistinpumppu. Lämmön tuottaminen tulistusmaalämpöpumpulla tapahtuu tavanomaisen lämpöpumpun tapaan. Kompressorilla tuotettu lämpö ohjataan talon ja käyttöveden lämmittämiseen yhden lämmönvaihtimen sijasta kahdella lämmönvaihtimella. Ensimmäistä, heti kompressorin jälkeen sijoitettua lämmönvaihdinta kutsutaan tulistimeksi. Kompressorin tuottamasta kuumasta kaasusta otetaan heti kuumin osa talteen siirtämällä lämpöä lauhduttimessa esilämmitettyyn veteen. Näin saadaan pieniä määriä jopa 70 - 90 asteista lämpöä käyttöveteen. Jäljelle jäänyt lämpö ohjataan tulistimesta lauhduttimeen, jossa loput lämmöstä siirretään tilojen lämmitykseen. Lämminvesivaraaja on jaettu kahteen osaan. Tulistimesta saatu lämpö ohjataan varaajan yläosaan ja lauhduttimen lämpö alaosaan. Osien välissä on reikälevy, joka sallii veden liikkumisen osien välillä, mutta pitää osien lämpötilat erilaisina. Käyttövesi esilämmitetään syöttämällä vettä varaajan alaosaan sijoitetun kierukan läpi. Esilämmitetty vesi tulistetaan johtamalla tämä yläosaan sijoitetun kierukan kautta käyttövesiverkoston. Tulistinta käytettäessä käyttöveden tarvittava lämpö saadaan tilojen lämmittämisen sivutuotteena. Lämmitettäessä tiloja, syntyy samalla lämpöä käyttöveteen. Lämmitettäessä kesällä käyttövettä, saadaan lämpöä myös varaajan alaosaan.



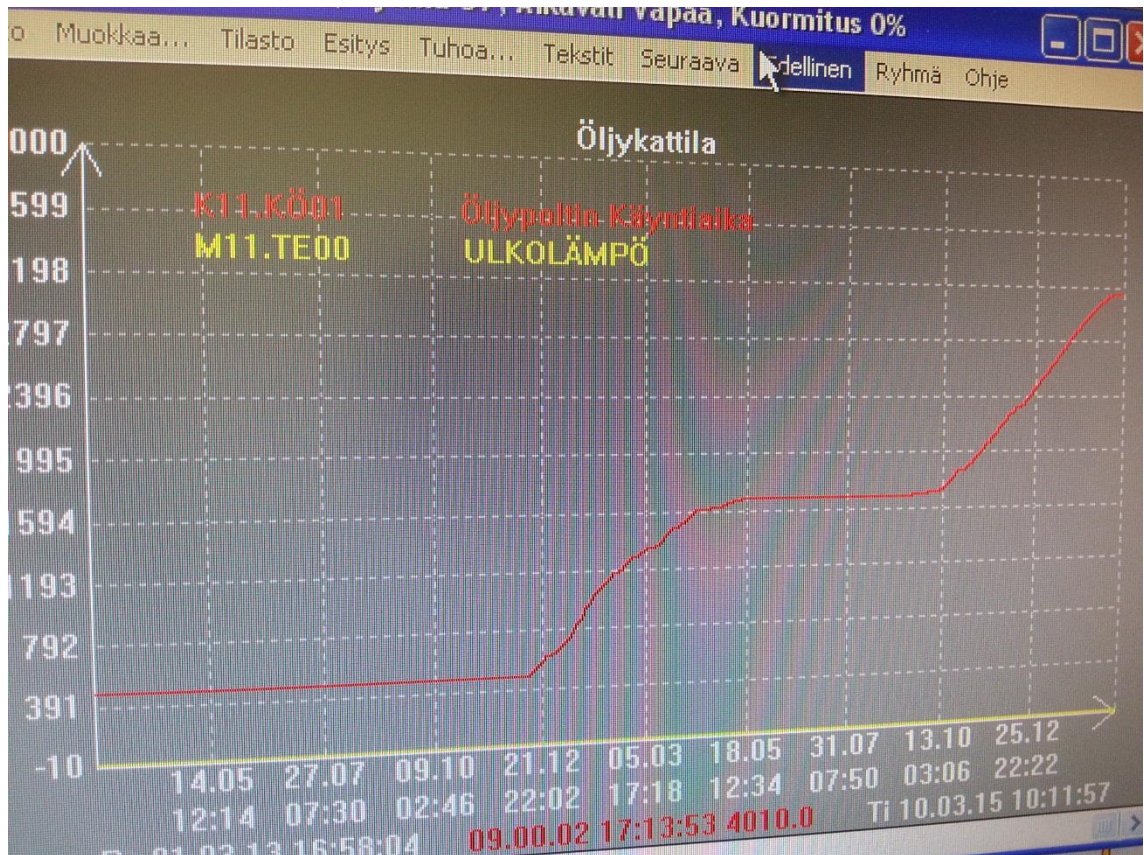
Kuvio 14. Tulistusmaalämpöpumppu. (Lämpövinkki 2013.)

Tutkimuskohteessa on tulistinpumppu. Tulistinpumppuja yleensä laitetaan rakennuksiin missä lämmönjako tapahtuu patteriverkoston avulla. Lämpimän käyttöveden saantiin maalämmöstä myös kesäaikaan on muutama ratkaisu. Kesäaikaan kun rakennuksen lämmitystarvetta ei ole niin tulistinteho ei yksinään riitä käyttöveden lämmitykseen, joten silloin nostetaan alavaraajan lämpötilaa korkeammaksi, jolloin saadaan enemmän lämpötehoa käyttöveden lämmitykseen. Ohjausautomaatikassa on yleensä käyttöveden lämmitys priorisoitu siten, että jos ylävaraajan lämmitysteho ei riitä niin alavaraajan lämpötilaa nostetaan korkeammaksi, jolloin saadaan riittävän kuumaa käyttövettä myös kesäaikana.

Toinen vaihtoehto olisi vaihtaa pumput vaihtuvan lauhdutuksen lämpöpumppuihin jolloin vaihtventtiilin avulla saataisiin tuotettua pelkkää lämmintä käyttövettä. Nyt kuitenkin kun investointi on tehty, on viisaampi etsiä ratkaisuja jo olemassa olevaan järjestelmään.

11.2 Öljyn käytön vähentäminen

Taulukko 12. Öljypolttimen käyntiaika.



Öljykattilan teho 150 kW

Käyntiajat 21.12.2013 – 10.3.2015 taulukosta 12. noin 2500h.

Taulukosta 12 näemme, että vuoden 2014 aikana polttin on ollut päällä noin 1900h, josta 4kk ollut kesäaikana polttimet kiinni.

8kk aikana 1900h eli $1900 / 8 = 237.5\text{h/kk}$ keskimäärin

$237.5 / 31 = 7,7\text{h}$ vuorokaudessa keskimäärin

Kattila kuluttaa vuorokaudessa $150\text{kW} * 7.7\text{h} = 1155\text{ kWh}$

Eli $1155\text{ kWh} / 10\text{ kWh} / \text{L} = 115.5\text{ L}$ keskimäärin vuorokaudessa.

= 3600l / kk.

Teoreettinen öljyn säästö on noin 4000l vuodessa yhden 200m syvän maalämpö kaivon osalta eli 400m keruuputkistoa.

12 kaivoa * 4000l = 48 000l vuodessa. Tällä hetkellä kohteessa kuluu noin 40 000l öljyä vuodessa joten, jos maalämpöjärjestelmä saadaan hyödynnettyä kokonaisvaltaisesti suunnitelmien mukaisesti jokaiseen rakennukseen, ei öljyä tarvitse jatkossa ostaa näin paljon.

Taulukko 13. Ulkolämpötilan vaikutus öljypolttimen käynnistymiseen.



Taulukosta 13 näemme, että ulkolämpötilan alittaessa 0 °C öljykattila lähtee käyntiin. Vaikka maalämpöjärjestelmä on suunniteltu toiminaan kaikissa rakennuksissa pelkkänä lämmitysmuotona -15 °C asti. Kuvasta näemme, että näihin lukemiin ei tällä hetkellä todellisuudessa päästä. Tulevan päärakennuksen (Inariopisto) pohjoispuolen siiven remontin jälkeen ja mahdollisen patteriremontin jälkeen öljypolttimen käyntiaikaa saadaan lyhemmäksi ja käynnistymislämpötilaa alemmaksi.

11.3 Uuden asuntolan tuotto ja kulutus

Koska asuntolan todellista kulutusta ei tiedetä, on laskettava teoriassa. Uuden asuntolan tuotto kuitenkin voidaan laskea kun aurinkopaneeleista saatu energiamäärä on tiedossa. Brutto-ala rakennukselle on 738m², joten passiivitalon kriteereillä E-luku saa olla korkeintaan 140 kWh/m²/a. Laskemalla neliöiden mukaan tämä asuntola rakennus saa kuluttaa 103 320 kWh/a.

- Rakennusautomaatiojärjestelmän toteutus tehokkuusluokkaa A, standardin SFSEN15232 mukaisesti: Järjestelmää käytetään ohjaamiseen, säätöön, energiakulutusten seurantaan, raportointiin ja poikkeamien ennakointiin sekä analysointiin tarpeettoman tai suunnittemattoman energiankulutuksen vähentämiseksi.

Sähköenergian kulutus (uusi rakennus)

- Kiinteistösähkö (ei sisällä lämmitykseen käytettyä sähköenergiaa): tavoitearvo; alle 30 kWh/m²/a (22 140 kWh/ a).
- Energiasimuloinnissa on arvioitu 20 000 kWh/a.
- Valaistus 11 000 kWh/a.
- LVI- ja muu sähkö 9 000 kWh/a, josta noin 5 000 kWh käyttäjäsähköä.

Lämmitys:

- Lämmitys, IV-koneet: Noin 46 % lämmityksestä, eli $77\,000 \cdot 0,46 = 35\,420$ kWh/a
- Lämmitys, tilat: Loput 54 %, eli $77\,000 \cdot 0,56 = 43\,120$ kWh/a
- Energiankulutus yhteensä: 97 000 kWh/a

Tuotto:

Aurinkopaneelit: n. 21 000 kWh/a

Maalämpö: Maalämpöpumpun tuottamaa todellista lämmitysenergian tuotantoa on mahdotonta laskea luotettavasti, koska lämmitysenergian mittaavia mittareita ei ole asennettu vielä kohteeseen.

E- luku

Oletetaan, että uusi laajennus rakennus saa kaiken lämmitysenergian maalämmöstä. Lämmitysjärjestelmän hyötysuhde huomioidaan lasketun tarvittavan energian määrässä. Tästä talon tarvitsemasta energiamäärästä vähennetään uusiutuva omavaraisenergia. Näin saatu ostoenergian määrä kerrotaan valitun lämmitysenergian kertoimella ja jaetaan lämmitetyllä nettoalalla. Näin saadaan aikaan E-luku. Kuvion 13 perusteella on suoritettu laskutoimitukset.

Nettoala 660 m²

Sähkön kulutus 20 000 kWh/a

77 000 kWh/a lämmitystarve, josta vesikiertoisen patterilämmityksen hyötysuhteella (80 %) saadaan 96 250 kWh/a

$96\,250 / 2,8 = 34\,375$ kWh ostettua energiaa ja 61 875 kWh maalämmöstä.

Energiamuoto kertoimella kerrottuna saadaan $34\,375 \text{ kWh} \cdot 1,7 = 58\,438$ kWh

E- luku= $(58\,438 + 20\,000) / 660\text{m}^2 = 119$ kWh / m²a

Jos aurinkopaneeleista saatu sähkö otetaan laskussa huomioon:

E- luku= $58\,438 / 660\text{m}^2 = 89$ kWh / m²a



Kuvio 15. Lämmitystavan kokonaisenergiatarkastelu. (Motiva 2015.)

11.4 Mittaus suunnitelma

Opinnäytetyön tavoitteena on suunnitella tutkittavaan kohteeseen mittausjärjestelmä, jolla kiinteistönomistaja pystyy seuraamaan kohteen eri rakennusten energiankulutusta. Kohteessa on myös energiaa tuottavia järjestelmiä, joiden tuottaman energian määrän seurantaan pyritään suunnittelemaan luotettava mittausjärjestelmä.

Kohteen lämmitysjärjestelmän seurantaan asennetaan mittausjärjestelmä, joka mittaa kohteen eri rakennuksiin menevien lämmitysveden meno – ja paluuputkien lämpötilaeron ja virtauksen. Kyseisellä mittausjärjestelmällä pystytään seuraamaan ja havainnoimaan kohteen eri rakennusten lämmitysenergian tarvetta. Mittaustuloksia voidaan hyödyntää lämmitysjärjestelmän tasapainotuksessa ja automaatiotekniikan kehittämisessä, joiden avulla kohteen energiankulutus tarvetta voidaan vähentää.

Lämmitysenergiaa mittaavan energiamittarin pääkomponentit ovat virtausanturi, lämpömäärälaskin ja lämpötila-anturi. Virtausanturi mittaa kiertävän lämmitysveden tilavuusvirtausmäärän. Lämpömäärän laskin laskee lämmitysenergian tarpeen meno – ja paluuputken lämpötilaeron ja virtausantureilta saadun tilavuusvirtauksen mukaan. Lämpömäärän laskin ottaa automaattisesti huomioon myös veden lämpötilaa vastaavan tiheyden ja ominaislämmön. Energiamittari ilmoittaa käytetyn energian määrän megawattitunteina (MWh). 1 MWh = 1000 kWh.

Kohteeseen lämmitysenergian mittaukseen soveltuu esimerkiksi kuviossa 14 oleva Kamstrup Oy:n valmistama Multical 302 energiamittari. (Kamstrup 2015.)



Kuvio 16. Energiamittari.

Kyseisen mallisia energiamittareita asennetaan kohteen eri rakennuksiin meneviin lämmitysverkoston meno – ja paluuputkiin. Lisäksi energiamittarit asennetaan maalämpöpumpulle ja öljykattilalle meneviin lämmitysverkon meno – ja paluuputkiin. Mittaustulosten perusteella saadaan selville kohteen rakennusten energiankulutustiedot ja maalämpöjärjestelmän ja öljykattilan tuottaman lämmitysenergian määrä.

Asuntolan Jeera 2 pääkeskushuoneeseen on suunniteltu Soneran Alerta järjestelmää, joka on kytketty Alixin energianmittaus keskittimeen. Modbus- väylällä on kytketty järjestelmään kaikki mitä halutaan mitata: aurinkovoima, tuulivoima, valaistukset, autolämmityspaikat, asuinhuoneet, sulanapito ja LVI- laitteet. Nykyinen etäluenta järjestelmä kattaa vain maalämpölaitteet, sekä energialaitoksen päämittauksen. Maalämpölaitteiston mittaus on toteutettu Carlo Gavazzi EM 21 virtamuuntajamittarilla. Suunnitelmissa on, että mittaus ja etäluenta saataisiin myös kaikkiin muihinkin kulutus- ja tuotto kohteisiin. Virtaus- ja energiamittauksiin käytetään Carlo Gavazzi EM 24 suora energiamittaria.

Liitteenä 1. On suunnitelma kuva energian kulutuksen mittauksesta ja etäluennasta.

Liitteenä 2. On tarkennettu suunnitelma kuva energian kulutuksen mittauksesta ja etäluennasta.

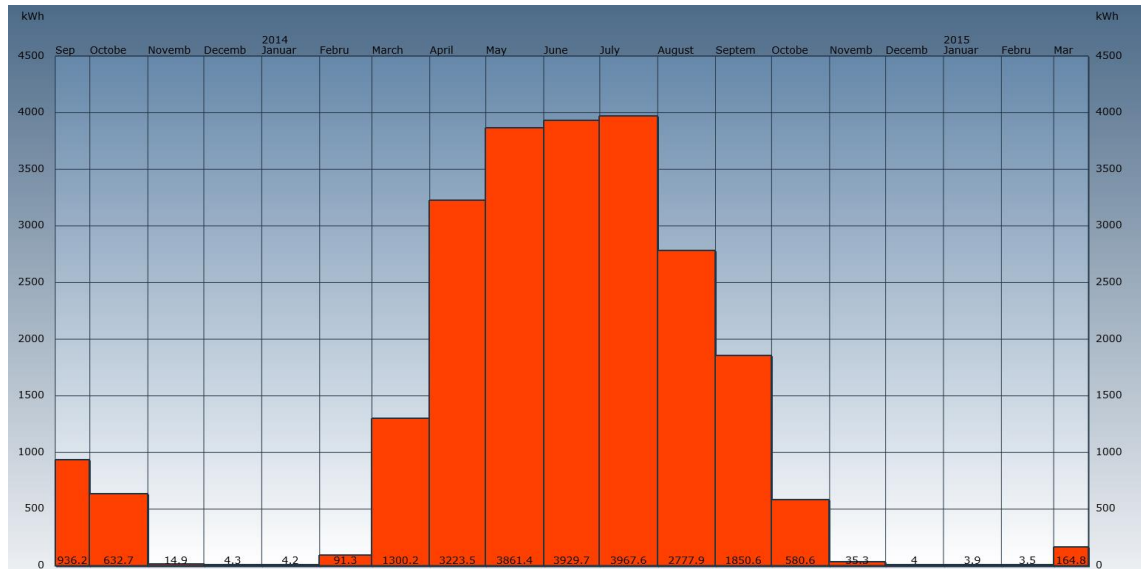
CARLO GAVAZZI EM24-DIN.AV9.3X.IS.P (suora energiamittari)

CARLO GAVAZZI EM21-72D.AV5.3.X.0.P (Virtamuuntajamittari)

12 JÄRJESTELMÄSTÄ SAADUT MITTAUSTULOKSET

Aurinkopaneelit

Taulukko 14. Pitkän aikavälin tuotot kuukausittain. (VTT 2015.)



Taulukosta 14 näemme, että aurinkopaneelien suurin tuotto sijoittuu kesäkuukausille. Marras- Joulukuu- ja Tammikuu ovat kuukausia jolloin ei saada järjestelmästä ollenkaan sähköä. Helmikuussa- ja maaliskuussa saataisiin enemmän sähköenergiaa, mikäli aurinkopaneelit puhdistettaisiin lumesta. Maaliskuun 15 päivän kohdalla paneelit alkavat tuottaa jo vähän energiaa, vaikka ovatkin ohuen lumi-peitteen alla. Vuonna 2014 aurinkosähkijärjestelmä tuotti 21 624 kWh sähköä.

Maalämpö

Maalämmön järjestelmästä saatiin tutkimusjaksolla tuloksia puolen vuoden ajalta. Lokakuu 2014 – Maaliskuu 2015 jaksolta on kulutustietoja. Tämän ajan lämpöpumppujen kulutustiedot ovat yhteensä 20 296 kWh.

Lokakuu 2014	5493 kWh
Marraskuu 2014	908 kWh
Joulukuu 2014	1830 kWh
Tammikuu 2015	443 kWh
Helmikuu 2015	2270 kWh
Maaliskuu 2015	9352 kWh
Yhteensä	20 296 kWh

Näistä lukemista voidaan arvioida vuoden kulutuslukemaksi noin 40 592 kWh. Maalämpö järjestelmä otettiin käyttöön kesällä 2013. Pian kaksi vuotta toiminnassa ollut järjestelmä on kuluttanut yhteensä 99 857 kWh sähköä.

Tuulivoima

Tuulivoimala on ollut asennusvaiheen jälkeen enemmän pois käytöstä kuin toiminnassa, teknisten ongelmien takia. Joten tuulimyllystä ei ole saatu muuta kuin tuulen-nopeus dataa. Tuulennopeus tiedotkin ovat virheellisiä suurimmalta osin, koska mylly on ollut vaakatasossa maata vasten ja tuulen-nopeusmittari on myllyn korkeimmassa kohdassa pystyasennossa.

Sähkön kulutus

Sähkön kulutuksesta on tietoja Kesäkuu 2014 – Maaliskuu 2015 ajalta, eli noin vuoden aikajaksolta.

Kesäkuu 2014	9436 kWh
Heinäkuu 2014	6613 kWh
Elokuu 2014	7024 kWh
Syyskuu 2014	10 648 kWh
Lokakuu 2014	8619 kWh
Marraskuu 2014	4586 kWh
Joulukuu 2014	5681 kWh
Tammikuu 2015	4828 kWh

Helmikuu 2015	5139 kWh
Maaliskuu 2015	10 952 kWh
Yhteensä	73 526 kWh

Näistä lukemista voidaan arvioida vuoden kulutuslukemaksi noin 83 522 kWh. Nämä ovat kulutuslukemia ostosähkön osalta joten pitää lisätä vielä aurinkoenergialla tuotettu sähkön osuus. Tarkastelujakson aikana aurinkosähköjärjestelmä tuotti noin 20 522 kWh sähköä, joten sähkön kokonaiskulutus kohteessa on noin 100 000 kWh, eli noin 100 MWh vuodessa. Maalämpöjärjestelmä on kuluttanut tämän vuoden jakson aikana sähköä noin 40 000 kWh eli 40 MWh. Muuhun sähkön kulutukseen jää noin 60 MWh, josta 33,6 MWh (56 %) on käyttäjänsähköä ja loput 44 % on kiinteistönsähköä 26,4 MWh.

Öljyn kulutus

Öljyn kulutustiedot perustuvat ostetun öljyn määrän.

Vuonna 2013 on ostettu öljyä: 51 444 L

Vuonna 2014 on ostettu öljyä: 32 918 L

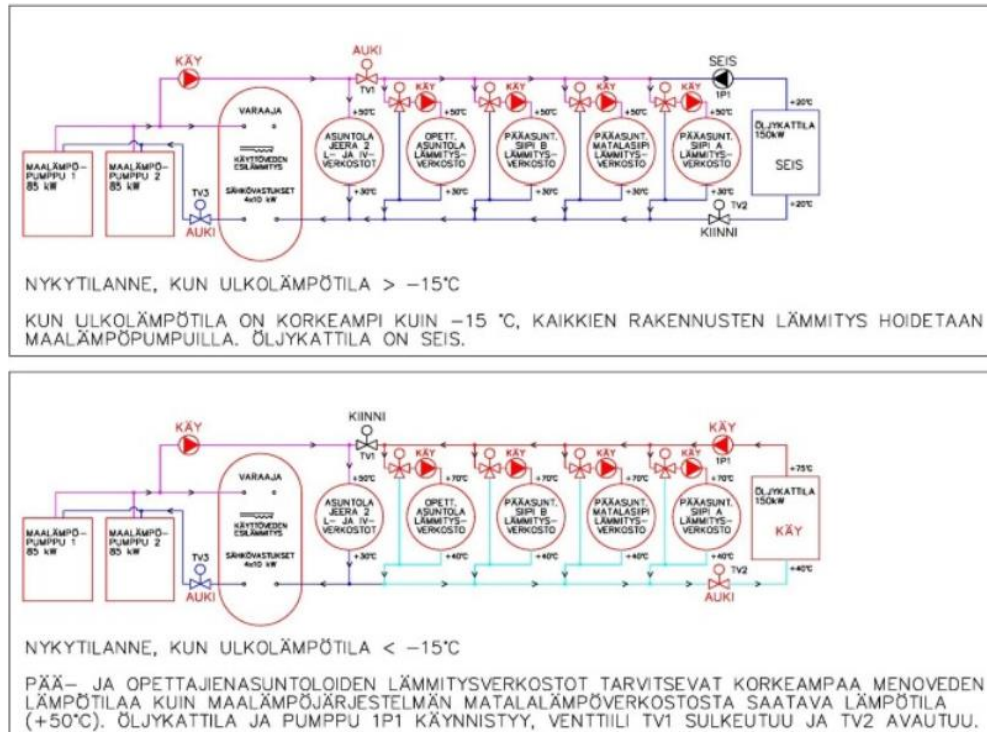
Yhteensä 84 362 L

9 TULEVAISUUDEN NÄKYMÄT

Kohteen lämmitysjärjestelmänä toimii hybridijärjestelmä, joka tarkoittaa kahden tai useamman lämmitysmuodon rinnakkaiskäyttöä. Kohteessa on maalämpöjärjestelmä ja kulutushuippuja varten öljylämmitys. Kohteessa on Schneider automatiikkajärjestelmä, joka ohjaa lämmitysjärjestelmän toimintaa siten, että maalämpöjärjestelmällä tuotetaan lämmitys- ja käyttövesiverkoston lämmöntuotanto. Automatiikkajärjestelmä ohjaa öljylämmityskattilan polttimen käynnistyksen, kun maalämpöjärjestelmällä ei pystytä tuottamaan riittävän korkeaa lämmitysverkoston ja lämpimänkäyttöveden lämpötilaa.

Kohteen tämänhetkinen lämmitysjärjestelmän patteriverkosto on suunniteltu ja mitoitettu öljykattilalämmityksen tarpeita vastaavaksi. Kohteeseen on tehty lämmitysjärjestelmän uusiminen vuonna 2012, jolloin siihen on asennettu Ekowell maalämpöjärjestelmä. Tämänhetkisessä tilanteessa maalämpöjärjestelmällä ei pystytä tuottamaan lämmitysjärjestelmään riittävän korkeaa menoveden lämpötilaa alkuperäisille rakennuksille. Tämä johtuu siitä, että opettajien asuntolan ja Inariopiston (päärakennus) patteriverkosto on mitoitettu ja suunniteltu lämpötilaan $+70\text{ °C} / +40\text{ °C}$. Maalämpöjärjestelmä on suunniteltu siten, että sillä tuotetaan lämmitysjärjestelmään $43\text{ °C} - 48\text{ °C}$ lämpöistä vettä. Maalämpöjärjestelmä on mitoitettu kyseiselle $43\text{ °C} - 48\text{ °C}$ lämpötila-alueelle, koska kyseisellä mitoituksella maalämpöjärjestelmä toimii parhaalla mahdollisella hyötysuhteella, eli COP-arvolla. Edellä mainituista syistä maalämpöjärjestelmää energiatehokkaita ominaisuuksia on voitu hyödyntää vain uuden asuntolarakennuksen lämmöntuotantoon. Uusi asuntola on passiivirakennus ja sen lämmitysjärjestelmä on suunniteltu maalämpöjärjestelmän asettamien mitoitusvaatimusten mukaisesti, jolloin lämmitysjärjestelmän vaatima menoveden lämpötilaa voidaan pitää alhaisena. Jatkossa Inariopiston pohjoispuolen siipi puretaan ja rakennetaan uusiksi siten, että maalämpöjärjestelmän tuottama lämmitysverkoston menoveden lämpötila on riittävä rakennuksen lämmittämiseen.

Kuviosta 15 näemme miten öljykattilan käynnistyminen ja pysäytys vaikuttaa lämmitysverkoston kiertoon. Kuvion ”nykytilanne” kuvastaa tilannetta miten lämmitysjärjestelmä toimii Inariopiston remontin jälkeen. Olisi kannattavaa asentaa myös opettajien asuntolaan uusia pattereita ja suunnitella vaipparakenteiden muutoksia energiatehokkuuden parantamiseksi, jotta matalalämpöinen maalämpöpumpulla tuotettu lämmitysverkostonkierto voidaan hyödyntää energiatehokkaasti. Tulevassa Inariopiston pohjoispäädyn remontissa kohteeseen asennetaan koneellinen ilmanvaihtojärjestelmä, jossa tuloilmaa lämmitetään keskitetysti lämmitysjärjestelmän tuottamalla lämmöllä. Tämä asettaa vaatimuksia myös lämmitysjärjestelmän suunnitteluun ja tasapainotukseen. Kohteen tämänhetkinen kokonaislämmitysenergian vuosikulutus 477 MWh, joka ei tule muuttumaan merkittävästi, koska koneellinen ilmanvaihtojärjestelmä tulee nostamaan lämmitysenergian kulutusta. Kuitenkin tulevaisuudessa kokonaislämmitysenergian kulutuksesta pystytään maalämpöjärjestelmällä tuottamaan teoreettisten laskelmien perusteella 288 MWh.



Kuvio 17. Lämmitysjärjestelmän toimintaperiaate.

14 JOHTOPÄÄTÖKSET

Työssä tarkasteltiin ja tutkittiin saamelaisalueen koulutuskeskuksen energiatehokkuutta ja lämmöntuotantolaitteiston toimintaa sekä yhteensovittamista. Lisäksi kohteessa on sähköä tuottavat aurinkopaneelit ja pientuulivoimala joiden soveltuvuutta ja kustannustehokkuutta tarkasteltiin tässä opinnäytetyössä. Työn tavoitteena oli suunnitella kohteeseen energiamittausmenetelmät joiden avulla työn tilaaja pystyy seuraamaan ja arvioimaan kohteen energian tuotantoa ja kulutusta. Työn haastavuutta lisäsi Pohjois-Suomen ilmasto- ja sääolosuhteet joista vertailutietoa ei ole ollut saatavissa.

Kohteeseen on tehty lämmitysjärjestelmän uusiminen vuonna 2013. Kohteeseen on silloin asennettu maalämpöjärjestelmä jonka keruuputkiston toteutus on tehty porakaivoja käyttäen. Maalämpöjärjestelmän lisäksi kohteessa on öljylämmityskattila huippukulutusta varten, jolloin maalämpöjärjestelmän lämpöenergia on riittämätön. Työssä tutkittiin maalämpöjärjestelmän ja öljykattilan tuottamaa energiantuotantoa ja laskettiin niiden suhdetta kokonaisenergian kulutuksesta.

Tutkimme myös uusiutuvien energiamuotojen hankintaa, käyttöä ja takaisinmaksuaikaa pohjoisen olosuhteissa. Lämmitysjärjestelmän suunnitteluvaiheessa on otettu huomioon koulutuskeskukseen suoritettavat energiatehokkuutta parantavat rakennesaneeraukset. Tämänhetkisessä tilanteessa kyseisiä saneerauksia ei ole vielä suoritettu jonka takia maalämpöjärjestelmän energiatehokasta lämmöntuotantoa ei ole pystytty hyödyntämään suunnitelmien mukaisesti. Tästä johtuen kokonaislämmitysenergian kulutuksesta on jouduttu tuottamaan suurin osa öljyllä.

Tutkimuksessa kävi ilmi, että tällä hetkellä uusiutuvien energiamuotojen investointi- ja käyttökustannukset ovat kalliita ja takaisinmaksuajat laitteistoille ovat pitkiä. Kuitenkin niin kuin työssä on käsitelty, verkkosähkön hinta on noussut paljon viime vuosina ja nousee jatkossakin. Lisäksi öljyn käyttö vähenee maailmalla koajan ja öljylähteet kuluvat vauhdilla, joten tulevaisuudessa maalämpöä ja muita uusiutuvia energiamuotoja tullaan käyttämään paljon nykyistä enemmän. Lisäksi

tulevaisuudessa yhteiskunta tulee tukemaan energiatehokkuutta ja ympäristöystävällisiä energiantuotanto menetelmiä.

Opinnäytetyön aihe oli erittäin hyödyllinen ja ajankohtainen. Aihe sopi erittäin hyvin talo- ja energiatekniikan opintojen opinnäytetyöksi, koska työssä jouduttiin tutkimaan ja perehtymään monipuolisesti uusiutuvien energiantuotanto menetelmien käyttöön. Lisäksi työssä tutkittiin uusiutuvien energiantuotanto menetelmien yhteensovittamista uusitumatonta energiaa käyttäviin laitteistoihin. Uusiutumattomien ja uusiutuvien energiamuotojen käyttöä kutsutaan hybridijärjestelmäksi. Hybridijärjestelmien suunnittelu ja käyttö tulee kasvattamaan suosiotaan talo- ja energiatekniikan alalla.

Työn aikana olemme oppineet miten uusiutuvia energiamuotoja voidaan hyödyntää ja suunnitella sekä mitoittaa järjestelmiä. Opimme kustannustehokkuuslaskentaa sekä eri energiamuotojen tuotto ja otto energiamäärien muuttamista vertailukelpoiseksi. Lisäksi useamman laskentaohjelman ja sähköisten erikoistyökälyjen käyttö tuli tutuksi opinnäytetyötä tehdessä.

Tätä opinnäytetyötä voidaan hyödyntää ainakin projekteissa, missä vertaillaan ja suunnitellaan eri energiamuotojen hankintaa. Työn tilaajalle tämä on yhteenveto Inarin kohteessa olevista järjestelmistä. Opinnäytetyön tavoitteena oli koota kohteesta perustiedot ja tarkastella kohteen uusiutuvien energiamuotojen käyttöä sekä suunnitella energianmittausjärjestelmä. Opinnäytetyön suunnitteluvaiheessa tilaajan ja opinnäytetyötä ohjaavan opettajan kanssa sovittiin, että seuraavien vuosikurssien opiskelijat voivat jatkaa kohteen tutkimista, kun energiamittausjärjestelmä on toteutettu ja kun siitä saatuja mittaustuloksia voidaan analysoida.

LÄHTEET

Aelos 2015. Wind Turbine. Viitattu 11.3.2015 <http://www.windturbines-tar.com/5kwh-aeolos-wind-turbine.html>.

Aurinkosähkö.fi. 2009. Sähköä auringosta. Viitattu 19.1.2015 <http://aurinkosähkö.fi/>.

Aurinkosähköjärjestelmät. 2015 Viitattu 21.1.2015 <http://www.aurinkopaneelit.net/aurinkosahkojarjestelmat/>.

Ekowell 2015. Mistä on kyse? Viitattu 25.2.2015 <http://ekowell.com/mista.php>.
Energiavirasto 2015. Sähkön hintatilastot. Viitattu 20.3.2015 <https://www.energiavirasto.fi/sahkon-hintatilastot>.

Green energy 2015. Aurinkopaneelit ja aurinkosähköjärjestelmien pääkomponentit. Viitattu 10.2.2015 <http://www.gef.fi/fi/solar/components/>.

Helsinki University Of Technology 2015. Miten aurinkokenno toimii? Viitattu 23.1.2015 <http://tfy.tkk.fi/aes/AES/projects/renew/pv/pv-toiminta.html>.

Kamstrup 2015. Lämpöenergiamittari. Viitattu 25.3.2015 <https://www.kamstrup.com/fi-fi/products-and-solutions/thermal-energy-meters/compact-meter-heat-and-cooling/multical-302>.

Kulmala. V. 2014. Aurinkopaneelin rakenne. Viitattu 12.2.2015 <http://www.theseus.fi/handle/10024/77911>.

Lämpövinkki 2013. Maalämpöpumpun valinta. Viitattu 5.5.2015 <http://www.lampovinkki.fi/DowebEasyCMS/Sivusto/Dokumentit/ladattavatoppaatjatyokalut/Maal%C3%A4mp%C3%B6pumpun%20ja%20maal%C3%A4mm%C3%B6n%20valinta%20pikaopas.pdf>

Motiva 2015. Laskukaavat. Viitattu 6.3.2015 http://www.motiva.fi/julkinen_sektori/energian kayton_tehostaminen/kiinteistojen_energianhallinta/kulutuksen_normitus/laskukaavat_lammin_kayttovesi.

Naps Solar Roof –aurinkosähköpaketit. 2014. Viitattu 19.1.2015 <http://www.napssystem.com/wordpress/fi/aurinkopaneelit/aurinkosahkopaketit/>.

PVGIS 2015. Viitattu 13.3.2015 <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>.

Ronkko. M. 2013. Tuulienergian tehonlaskenta. Viitattu 17.3.2015 <http://www.theseus.fi/handle/10024/1755/browse?value=R%C3%B6nkk%C3%B6%2C+Miika&type=author>.

Senera 2015. Maalämpö. Viitattu 27.2.2015 <http://www.senera.fi/Maalampo#1>.

STY 2015. Mitä tuuli on? Viitattu 23.2.2015 <http://www.tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta/tietoa-tuulivoimasta/mita-tuuli-on>.

STY 2015. Tuulivoima suomessa. Viitattu 23.2.2015 <http://www.tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta/tietoa-tuulivoimasta/tuulivoima-suomessa-ja-maailmalla/tuulivoima-suomessa>.

Suntekno 2012. Paneelimittaukset. Viitattu 17.2.2015 suntekno.bonsait.fi/resources/public/tietopankki//paneelimittaukset.pdf.

Suntekno 2012. Paneelin rakenne. Viitattu 27.1.2015 <http://www.suntekno.fi/fi/page/26>.

Suntekno 2012. Paneelitehon määrittäminen. Viitattu 16.2.2015 <http://www.suntekno.fi/fi/page/27>.

Työ- ja elinkeinoministeriö 2015. Tyypilliset hankkeet ja tuet vuonna 2015. Viitattu 15.1.2015 https://www.tem.fi/energia/energiatuki/tuen_maara.

Tähtinen. T. 2011. Tuulivoimalat ja tuulivoiman tulevaisuuden näkymät Suomessa. Viitattu 20.2.2015 <https://www.theseus.fi/handle/10024/1917/browse?value=T%C3%A4htinen%2C+Tiia&type=author>.

Vapaa-aika.com 2015. Aurinkosähkö. Viitattu 4.2.2015 <http://www.vapaa-aika.com/sahko/aurinkosahko.html>.

VTT 2015. Aurinkopaneelien tuotot. Viitattu 31.3.2015 <http://smart-grid.vtt.fi/senaatti/>.

Öljy ja biopolttoaineala ry 2013. Lämmitysenergian hintojen vertailu. Viitattu 3.3.2015 <http://www.oil.fi/fi/lammitys/lammitysoljy-kevyt-polttooljy>.

Öljyalan palvelukeskus Oy 2013. Öljylämmitysjärjestelmän energiatehokkuus. Viitattu 3.3.2015 <http://www.oljylammitys.fi/energiatehokkuus/oljylammitysjarjestelman-energiatehokkuus>.

Tietoja hyödynnetty myös kohteen projektipankista. (case Inari).

Haastattelut:

Halmetoja, E . 2015 . Senaatti- kiinteistöt. Kehityspäällikön haastattelu 30.3.2015.

Lähteinen, A . 2015 . Senaatti- kiinteistöt. Talotekniikan asiantuntijan haastattelut.

Oksanen, J . 2015 . ISS. Kiinteistön hoitajan haastattelu 1.4.2015.

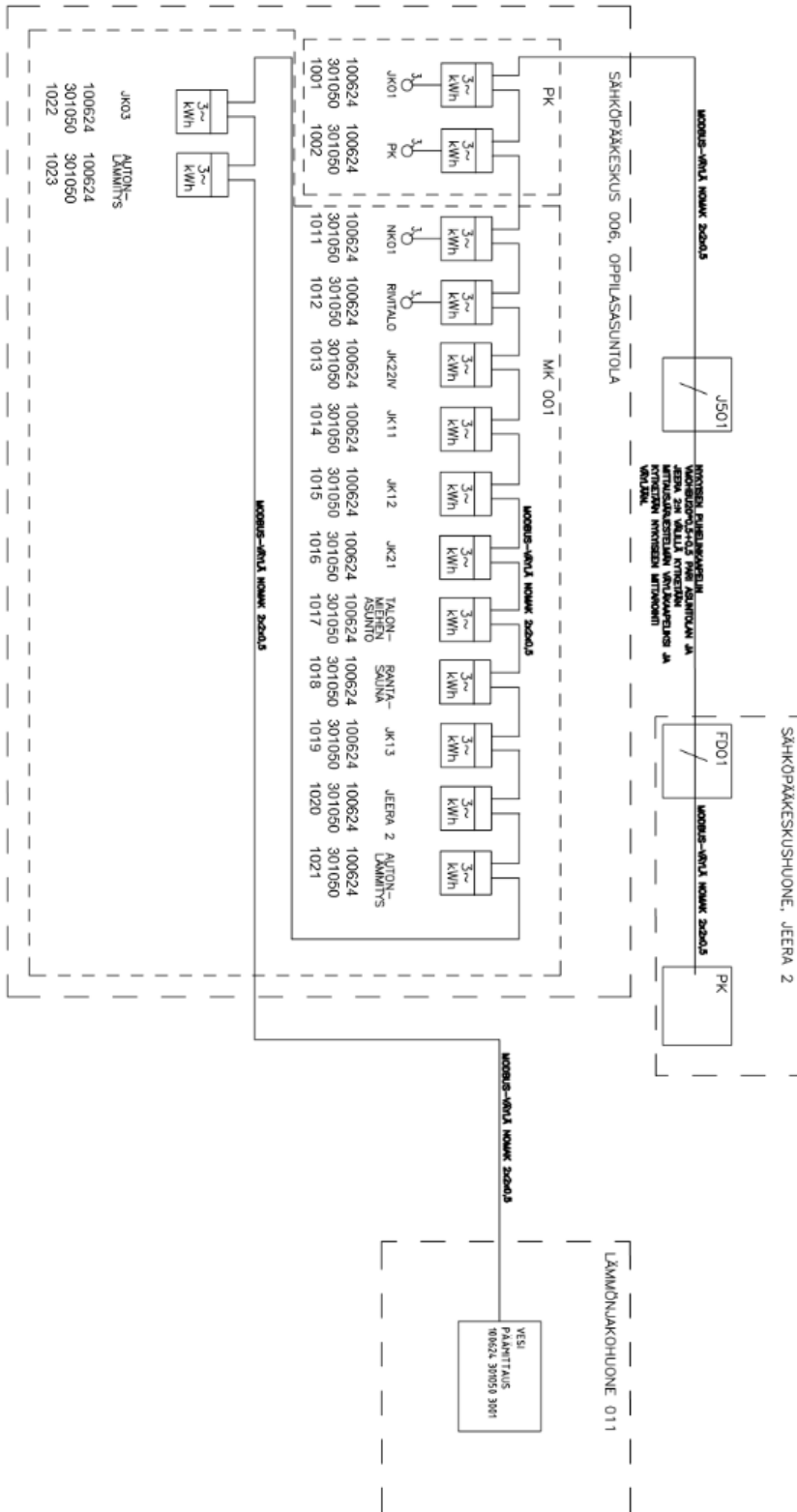
Viertola, V . 2015 . Ekowell. Toimitusjohtajan haastattelu 21.4.2015.

LIITTEET

Suunnitelmap kuva energian kulutuksen mittauksesta ja etäluennasta

Liite 1

ENERGIAN KULUTUKSEN MITTAUS JA ETÄLUENTTA
PERIAATEKAAVIO



Tarkennettu suunnitelma kuva energian kulutuksen mittauksesta ja etäluennasta

Liite 2

