

**OMAKOTITALON OMAVARAINEN
ENERGIAJÄRJESTELMÄ**

Juujärvi Rauno

Opinnäytetyö
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Insinööri (AMK)

2022

Tekniikka ja liikenne
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Rauno Juujärvi	Vuosi	2022
Ohjaaja(t)	Petri Kuisma		
Toimeksiantaja	Yksityinen henkilö		
Työn nimi	Omakotitalon omavarainen energiajärjestelmä		
Sivu- ja liitesivumäärä	28 + 2		

Tässä opinnäytetyössä tarkoituksena oli selvittää omakotitalon omavaraisen energiajärjestelmän mahdollisuus ja kustannukset, kun ei ole kiinteää sähköliittymää. Näitä laskelmien perusteella saatuja tuloksia verrattiin sitten kiinteään sähköliittymän hintaan. Tarkastelussa oli ratkaisu, jossa aurinkokeräimillä tuotetaan mahdollisimman paljon lämmitysenergiaa ja lisäksi varavoimakoneesta hyödynnetään hukkalämpö osaksi lämmitysenergiaa.

Alkuosassa opinnäytetyössä käytiin läpi suunnittelukohteen tiedot. Sen jälkeen laskettiin kuukausikohtaiset lämmitysenergian tarpeet lämmityksen, lämpimän käyttöveden ja ilmanvaihdon osalta. Käyttösähkön osuus määritettiin, jotta voitiin laskea varavoimakoneen hukkalämpöenergian osuus. Keskiössä työtä esitettiin aurinkokeräimien tuottolaskelmien perusteet. Näihin osioihin sisältyivät tiedonhaun lähdeaineistot. Loppuosa työstä käsitteli kohteeseen valikoituneen järjestelmän tietoja ja laskelmia.

Lopputuloksena saatiin energiajärjestelmän käyttö- ja huoltokustannusarviot, joita sitten verrattiin kiinteällä sähköliittymällä varustettuun järjestelmään.

Johtopäätöksenä todetaan, että omavaraisen energiajärjestelmän hankintahinta oli suurin piirtein sama kuin kohteeseen hankittavan kiinteän sähköliittymän hinta 43 100 €. Viimeaikaisten polttoaine hintojen nopea kallistuminen nosti varavoimakoneella tuotetun energian hintaa niin paljon, että käyttö- ja huoltokulut nousivat suuremmiksi kuin kiinteän sähköliittymän käyttökulut.

Study Programme in Construction
Engineering
Bachelor of Engineering

Author	Rauno Juujärvi	Year	2022
Supervisor	Petri Kuisma		
Commissioned by	Private person		
Subject of thesis	Self-sufficient Energy System for a Detached House		
Number of pages	28 + 2		

The purpose of this thesis was to investigate a self-sufficient energy system for a detached house without a fixed electricity connection. The investigated solution was solar collectors that produce as much heating energy as possible with waste heat as backup power.

At the beginning of the thesis, information of the design object was reviewed. Then monthly heating energy needs for heating, domestic hot water and ventilation were calculated. After that the basics of yield calculations for solar power and collectors were presented. Online sources were the main method of obtaining information for this study. Also, information about a solar collector system, backup power generator and indicative estimate of cost were discussed.

As a result of the study indicative estimates of the operating and maintenance costs of the self-sufficient energy system were presented and compared with the costs of a system with a fixed electricity connection. In conclusion, the purchase price of the self-sufficient energy system was approximately the same as the price of the fixed electricity connection. The rapid rise in recent fuel prices has pushed up the price of energy produced by the backup power generator so much that operating and maintenance costs have risen higher than the operating costs of a fixed electricity connection.

Key words

Sunpower, energy system, generator

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	6
2 SUUNNITTELUN LÄHTÖTIEDOT	7
2.1 Rakennuskohteen lähtötiedot	7
2.2 Rakennuksen energiantarve	8
2.2.1 Lämmitysenergia	8
2.2.2 Lämpimän käyttövedenenergia	9
2.2.3 Ilmanvaihdon energiantarve	10
2.3 Käytösähkö	13
3 AURINKOKERÄIMIEN TUOTTO	14
4 SUUNNITTELUKOHTTEEN AURINKOENERGIAN TUOTTO.....	18
5 VARAVOIMAKONEEN TUOTTO.....	21
6 KUSTANNUSLASKELMAT	24
6.1 Aurinkokeräinjärjestelmä ilman sähköliittymää	24
6.2 Kiinteä sähköliittymä	24
7 POHDINTA.....	25
LÄHTEET	27
LIITTEET	28

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

HSA	Hollolan Sähköautomaatiikka Oy
YM	Ympäristöministeriö

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä on tarkoitus mitoittaa omakotitalon omavarainen energiajärjestelmä. Kohteena oleva omakotitalo on tarkoitus rakentaa ilman kunnallisia vesi-, viemäri- ja sähköliittymiä. Suurin osa lämmitysenergia tarpeesta pyritään tuottaman aurinkokeräimillä. Osa tarvittavasta sähköenergiasta tuotetaan aurinkopaneeleilla ja loput tarvittavasta sähköstä tuotetaan varavoimakoneella, jonka jäähdytyslämpöä otetaan talteen talonlämmitysjärjestelmään.

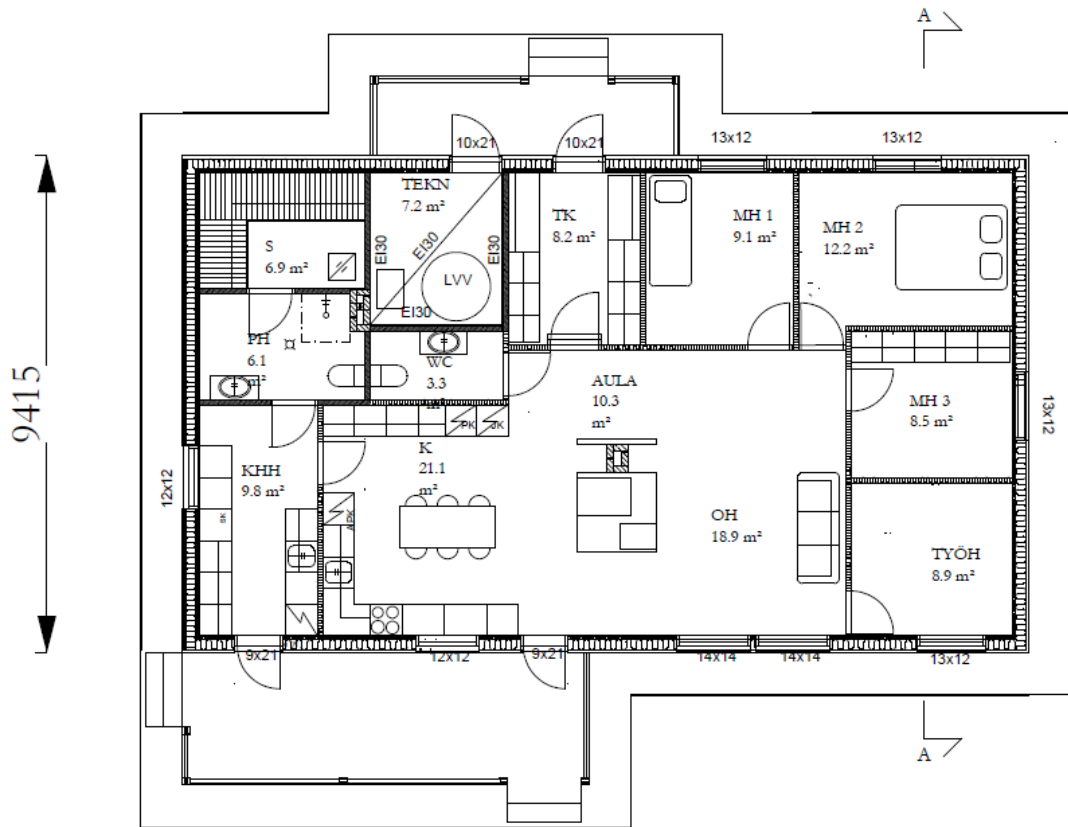
Aiheen valintaan vaikutti kohteen kallis sähköliittymä. Työn tavoitteena on selvittää, onko realistisesti mahdollista ja kustannustehokasta rakentaa omavarainen energiajärjestelmä vai päädytäänkö ottamaan kiinteä sähköliittymä.

Omavarainen omakotitalo kokonaisuudessaan sisältää paljon asioita, joita täytyy ratkaista ja huomioida suunnittelussa. Esimerkiksi ilmanvaihto- ja kylmälaiteiden täytyy toimia 24 h vuorokaudessa. Talviaikana, jolloin aurinkoenergian tuotanto on minimaalista, varavoimakoneen pyörittäminen koko ajan ei ole kustannustehokasta. Näiden asioiden ratkaisuja ei ole esitetty tässä työssä, mutta on huomioitu lähtötiedoissa. Tässä työssä keskitytään vain energiajärjestelmien osuuteen.

2 SUUNNITTELUN LÄHTÖTIEDOT

2.1 Rakennuskohteen lähtötiedot

Rakennuskohde sijaitsee Rovaniemen lähistöllä n. 10 km:n päässä keskustasta. Rakennuskohteen tontti rajoittuu yhdeltä sivulta vesistöön ja muuten ympärillä on metsämaata. Etäisyys lähimpiin asuttuihin naapuri rakennuksiin on n. 1 km. Rakennuskohteen pohjakuva on esitetty jäljempänä (Kuvio 1). Rakennuskohteen kokonaiskerrosala on 150 m², jolloin huoneistoalaksi tulee 135 m². Huonekorkeus on 2600 mm, vesikattotyyppi on harjakatto, jonka kaltevuus on 1:2. Harjan suunta on kaakko-luode-linjassa. Rakennuksen lämmönjakojärjestelmä on vesikiertoinen lattialämmitys.



Kuvio 1. Rakennuskohteen pohjakuva

2.2 Rakennuksen energiantarve

2.2.1 Lämmitysenergia

Kohde rakennetaan täyttämään vuoden 2022 energiamääräykset, jolloin rakennuksen E-luvun tulee olla alle 119 kWh_E/m²a (YMP 2;4 §). Valituilla rakenneratkaisuilla kohteen U-arvot ovat seuraavat: ulkoseinä 0,15 W/m²K, alapohja 0,10 W/m²K, yläpohja 0,06 W/m²K, ikkunat ja ovet 0,8 W/m²K.

Rakennuksen energiantarpeen määrä lasketaan kaavalla (1).

$$Q = \sum U_i A_i \Delta t S_N / 1000 \quad (1)$$

missä

Q	on	johtumislämpöhäviö rakennusosan läpi [kWh]
U _i	on	rakennusosan lämmönläpäisykerroin [W/m ² K]
A _i	on	rakennusosan pinta-ala [m ²]
Δt	on	ajanjakson pituus [h]
S _N	on	lämmitystarveluku [°Cvrk]
1000	on	kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kWh:ksi

Rakennus sijaitsee Rovaniemellä. Ilmatieteen laitos ilmoittaa lämmitystarveluvun 16 eri vertailupaikkakunnalle. Näistä lähin on Sodankylä. Rovaniemen lämmitystarveluku lasketaan käyttäen Sodankylän lämmitystarvelukua ja jakamalla se kuntakohtaisella K1-kertoimella. Rovaniemen ja Sodankylän välinen K1-kerroin on 1,06. Vertailukauden 1981–2010 vuotuinen lämmitystarveluku Sodankylässä on 6180 °Cvrk (Ilmatieteenlaitos). Rovaniemen vuotuinen lämmitystarveluku on näin ollen 5830 °Cvrk.

Taulukko 1. Lämmitystarveluvut ja lämmitysenergian tarve kuukausittain (Ilmatieteenlaitos)

	Lämmitystarveluku [°Cvrk]		Lämmitysenergian määrä [kWh]
	Sodankylä	Rovaniemi	
Tammikuu	946	892	1196
Helmikuu	838	791	1061
Maaliskuu	760	717	961
Huhtikuu	548	517	693
Toukokuu	345	325	436
Kesäkuu	106	100	134
Heinäkuu	49	46	62
Elokuu	136	128	171
Syyskuu	316	298	399
Lokakuu	523	493	661
Marraskuu	722	681	913
Joulukuu	891	841	1127
Yhteensä	6180	5830	7814

Tällä perusteella lämmitysenergiantarpeen määräksi vuositasolla saadaan 7814 kWh (Taulukko 1). Laskennassa käytetään tarkasteluajan jaksona aina yhtä kuukautta, joten myös kuukausikohtaiset energiatarpeet on eritelty.

2.2.2 Lämpimän käyttövedenenergia

Suomessa käyttövedenkulutus vaihtelee suuresti. Motivan vuonna 2019–2020 tekemän Kestävä vedenkäyttö –projektin mukaan vedenkulutus oli keskimäärin 120 l/hlö (Motiva).

Asuinrakennuksissa lämpimän käyttöveden osuutena laskelmissa voidaan käyttää 40 %, kun lähtötietoina on vain käyttövedenkokonaiskulutus. Kylmän ja lämpimän veden lämpötilaerona laskelmissa voidaan käyttää arvoa 50 °C. (Säteri & Kalliomäki 2013, 24–25.)

Lämpimän käyttöveden energiantarve saadaan laskettua kaavalla (2).

$$Q_{lkv} = \rho_v c_{pv} V_{lkv} (T_{lkv} - T_{kv}) / 3600 \quad (2)$$

missä

Q_{lkv}	on	lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve [kWh]
ρ_v	on	veden tiheys [kg/m^3]
c_{pv}	on	veden ominaislämpökapasiteetti [$\text{kJ}/(\text{kg K})$]
V_{lkv}	on	lämpimän käyttöveden kulutus [m^3]
T_{lkv}	on	lämpimän käyttöveden lämpötila [$^{\circ}\text{C}$]
T_{kv}	on	kylmän käyttöveden lämpötila [$^{\circ}\text{C}$]
3600	on	kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kWh:ksi, s/h

Lämpimän käyttöveden energiantarpeeksi 3 hengen taloudessa vedenkulutuksella 120 l/h/vrk saadaan vuodessa 3066 kWh. Vedenkäyttö jakautuu tasaisesti koko vuoden ajalle, jolloin päivässä tarvitaan vedenlämmitysenergiaa 8,4 kWh.

2.2.3 Ilmanvaihdon energiantarve

Rakentamismääräykset ohjeistavat asuinrakennuksen ilmanvaihdon mitoittamisen niin, että huoneilma vaihtuu vähintään ilmanvaihtokertoimella 0,5 1/h tai ulkoilmavirta on vähintään $0,35 \text{ dm}^3/\text{s}, \text{m}^2$, laskettuna koko rakennuksen huoneistoalaa kohden (FINVAC 2019, 5). Asuinrakennuksien ilmanvaihto mitoitetaan tasapainotilanteeseen, jolloin tulo- ja poistoilmamäärät ovat yhtä suuret.

Kohteena olevan rakennuksen sisäilmatilavuus on $350,6 \text{ m}^3$, jolloin ilmanvaihtokertoimella 0,5 1/h tulo- ja poistoilmamääräksi saadaan $0,0487 \text{ m}^3/\text{s}$ eli $48,7 \text{ dm}^3/\text{s}$.

Kohteeseen valitun iv-koneen Vallox 110 MV lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde on Pohjois-Suomen sääoloissa 71 % (Vallox 2022). Mitoitus ulkolämpötilana käytetään Rovaniemen kuukausikohtaisia keskiarvolämpötiloja vuosilta 1981-2010 (Taulukko 2). Haluttu tuloilman lämpötila on $17 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Taulukko 2. Rovaniemen kuukausikohtaiset keskilämpötilat (Ilmatieteenlaitos)

	keskilämpötila [°C]
Tammikuu	-11,8
Helmikuu	-11,2
Maaliskuu	-6,1
Huhtikuu	-0,2
Toukokuu	6,5
Kesäkuu	13,7
Heinäkuu	15,5
Elokuu	12,9
Syyskuu	7,1
Lokakuu	1,1
Marraskuu	-5,7
Joulukuu	-10,1

Ilmanvaihdon tarvitsema lämmitysenergia saadaan laskettua kaavalla (3).

$$Q_{iv} = (1 - \eta_{ivkone}) \rho_i c_{pi} q_v (T_s - T_u) t \quad (3)$$

missä

Q_{iv}	on	ilmanvaihdon lämmitysenergia määrä [kWh]
η_{ivkone}	on	iv-koneen vuosihyötysuhde
ρ_i	on	ilman tiheys [kg/m ³]
c_{pi}	on	ilman ominaislämpökapasiteetti [kJ/(kg K)]
q_v	on	ilmavirta [m ³ /s]
T_s	on	sisäilman lämpötila [°C]
T_u	on	ulkoilman lämpötila [°C]
t	on	tarkasteltava ajanjakso [h]

Taulukko 3. Kuukausikohtaiset ilmanvaihdon tarvitsemat lämmitysenergiämäärät

	Lämmitysenergian määrä [kWh]
Tammikuu	413
Helmikuu	406
Maaliskuu	342
Huhtikuu	268
Toukokuu	183
Kesäkuu	92
Heinäkuu	69
Elokuu	103
Syyskuu	176
Lokakuu	251
Marraskuu	337
Joulukuu	392
Yhteensä	3033

Ilmanvaihdon lämmitysenergiatarve on vuodessa 3033 kWh (Taulukko 3). Tämä sisältää vain lämmitettävän ilman osuuden. Iv-koneen puhaltimien kuluttama sähköenergia on huomioitu seuraavana esitetystä käyttösähköosuudesta. Yhteensä rakennuksen lämmitysenergiatarve vuodessa on 13 913 kWh, joka jakautuu kuukausikohtaisesti seuraavasti (Taulukko 4).

Taulukko 4. Kuukausikohtaiset lämmitysenergiatarpeet

	Lämmitysenergian määrä [kWh]			
	Q	Q _{kv}	Q _{iv}	Yhteensä
Tammikuu	1196	260	413	1870
Helmikuu	1061	235	406	1703
Maaliskuu	961	260	342	1563
Huhtikuu	693	252	268	1213
Toukokuu	436	260	183	879
Kesäkuu	134	252	92	478
Heinäkuu	62	260	69	392
Elokuu	171	260	103	534
Syyskuu	399	252	176	827
Lokakuu	661	260	251	1173
Marraskuu	913	252	337	1502
Joulukuu	1127	260	392	1780
Yhteensä	7814	3066	3033	13913

2.3 Käytösähkö

Käytösähkö sisältää kodin sähkölaitteiden käyttämän sähköenergian. Niihin luetaan mm: ruuanlaiton, pyykinpesun, saunomisen, viihdelaitteiden, kylmälaitteiden, ilmanvaihdon ja taloteknisten järjestelmien kuluttama sähköenergia. Käytösähkön osuus tyypillisessä omakotitalossa on n. 5000 - 7000 kWh (Vaasan Sähkö 2020).

Arvioin tässä kohteessa käytösähkön määräksi vuodessa keskiarvon mukaan 6000 kWh. Näin ollen päivittäinen kulutus on 16,4 kWh.

Osa tästä käytetystä sähköenergiasta palaa ns. ilmaisenergiana huoneilman lämmittämiseen. Esimerkkinä jääkaappi, se lämmittää huoneilmaa yhtä suurella energiamäärällä kuin mitä se kuluttaa sähköenergiaa sen sisällön kylmentämiseen. Muita kodinsähkölaitteita, jotka luovuttavat käyttämänsä sähköenergian huoneilman lämmittämiseen ovat muun muassa: kodin viihdelaitteet, sisävalaistus, kuivausrumpu, uuni ja saunankiuas. Kokemukseni perusteella ilmaisenergian osuus voi olla jopa 50 % käytösähkön kokonaisuudesta, joka tarkoittaa tässä kohteessa jopa 3000 kWh vuodessa. Käytännössä tämä energia kulkeutuu huoneilmasta poistoilmavirran avulla ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenotolle, jolloin ilmanvaihdon tarvitsema lämmitysenergianmäärä pienenee. Tässä laskennassa jätetään tämä ilmaisenergia huomioimatta.

3 AURINKOKERÄIMIEN TUOTTO

Aurinkolämpöjärjestelmien tuottoarviointi perustuu alunperin f-chart –menetelmään, joka on esitetty standardissa SFS EN 15316-4-3:2007. Siinä tarkastellaan energiantuottoa aurinkolämpöjärjestelmän häviöiden ja energiatarpeen suhteella sekä järjestelmän tuoton ja energiatarpeen suhteiden avulla. (YM 2011, 11–13.)

Aurinkolämpöjärjestelmän tuotto lasketaan kaavalla (4)

$$Q_{tuotto,A} = c_{tyyppi}(aY + bX + cY^2 + dX^2 + eY^3 + fX^3)Q_{tarve,A} \quad (4)$$

missä

$Q_{tuotto,A}$	on	aurinkolämpöjärjestelmän tuotto tarkasteluajalla [kWh]
c_{tyyppi}	on	varaajatyypin korjauskerroin (1)
a	on	varaajatyypin korjauskerroin (1,029)
b	on	varaajatyypin korjauskerroin (-0,065)
c	on	varaajatyypin korjauskerroin (-0,245)
d	on	varaajatyypin korjauskerroin (0,0018)
e	on	varaajatyypin korjauskerroin (0,0215)
f	on	varaajatyypin korjauskerroin (0)
Y	on	tuotto/tarve –suhde
X	on	häviöt/tarve -suhde
$Q_{tarve,A}$	on	lämmöntarve [kWh]

Tuotto/tarve suhde Y lasketaan kaavalla (5)

$$Y = \frac{A \cdot IAM \cdot \eta_0 \cdot \eta_{kierto} \cdot Q_{keräin}}{Q_{tarve,A}} \quad (5)$$

missä

A	on	aurinkokeräimien pinta-ala [m ²]
IAM	on	keräintyyppiin liittyvä kohtauskulmakerroin
η_0	on	optinen hyötysuhde
η_{kierto}	on	keräinpiirin hyötysuhde
$Q_{keräin}$	on	auringon säteilyenergia keräinten tasopinnalla tarkastelujaksolla [Wh/m ² ,kk]
$Q_{tarve,A}$	on	varaajatyypin korjauskerroin [Wh]

Häviöt/tarve suhde X lasketaan kaavalla (6)

$$X = \frac{A \cdot U_c \cdot \eta_{kierto} \cdot \Delta T \cdot t_h \cdot c_{cap}}{Q_{tarve,A}} \quad (6)$$

missä

A	on	aurinkokeräimien pinta-ala [m ²]
U _c	on	keräinpiirin lämpöhäviökerroin [W/m ² K]
η _{kierto}	on	keräinpiirin hyötysuhde
ΔT	on	keräimen standardihäviöiden laskentaan käytettävä referenssilämpötilaero [K]
t _h	on	tarkastelujakson pituus [h]
c _{cap}	on	varastokapasiteetin korjauskerroin
Q _{tarve,A}	on	varaajatyypin korjauskerroin [Wh]

Keräinpiirin lämpöhäviökerroin huomioi aurinkokeräimien ja niille johtavien putkistojen lämpöhäviöt. Putkistojen osalta lämpöhäviöön pystyy vaikuttamaan putkien eristyksellä ja aurinkokeräimien osalta valmistajat ilmoittavat käytettävät kertoimet.

Keräinpiirin lämpöhäviökerroin lasketaan kaavalla (7).

$$U_c = a_1 + 40a_2 + \frac{U_L}{A} \quad (7)$$

missä

U _c	on	keräinpiirin lämpöhäviökerroin [W/m ² K]
a ₁	on	aurinkokeräimen pinta-alaa vastaava lämpöhäviökerroin standardin SFS EN 12975-2 mukaan [W/m ² K]
a ₂	on	aurinkokeräimen pinta-alaa vastaava häviökerroin standardin SFS EN 12975-2 mukaan [W/m ² K]
U _L	on	keräinpiirin putkiston lämpöhäviökerroin [W/K]
A	on	aurinkokeräimien pinta-ala [m ²]

Keräinpiirin putkiston lämpöhäviökerroin voidaan laskea tarkasti, jos tiedetään putkistojen pituudet ja putkikoot sekä käytetyt eristysmateriaalit. Yleensä suunnitteluvaiheessa ei ole vielä tarkkoja tietoja käytettävissä, niin lämpöhäviökerroin voidaan arvioida kaavasta (8)

$$U_L = 5 + 0,5 * A \quad (8)$$

missä

U_L	on	keräinpiirin putkiston lämpöhäviökerroin [W/K]
A	on	aurinkokeräimien pinta-ala [m ²]

Referenssilämpötilaero lasketaan kaavalla (9)

$$\Delta T = \theta_{ref} - \theta_e \quad (9)$$

missä

ΔT	on	keräimen standardihäviöiden laskentaan käytettävä referenssilämpötilaero [K]
θ_{ref}	on	sovelluksesta ja varastotyypistä riippuva vertailulämpötila [°C]
θ_e	on	tarkastelujakson keskiulkolämpötila [°C]

Sovelluksesta ja varastotyypistä riippuva vertailulämpötila lasketaan kaavalla (10)

$$\theta_{ref} = 11,6 + 1,180 * \theta_{hw} + 3,86 * \theta_{cw} - 1,32 * \theta_e \quad (10)$$

missä

θ_{ref}	on	sovelluksesta ja varastotyypistä riippuva vertailulämpötila [°C]
θ_{hw}	on	lämpimän käyttöveden minimilämpötila [°C]
θ_{cw}	on	kylmän veden lämpötila [°C]
θ_e	on	tarkastelujakson keskiulkolämpötila [°C]

Aurinkokeräinjärjestelmissä referenssitilavuutena varaajissa käytetään 75 dm³/keräin,m². Kun varaajan koko suhteessa aurinkokeräimien pinta-alaan poikkeaa referenssitilavuudesta, täytyy se huomioida korjauskertoimella, joka lasketaan kaavalla (11)

$$c_{cap} = \left(\frac{V_{tod}}{V_{ref}} \right)^{-0,25} \quad (11)$$

missä

c_{cap}	on	varaajakapasiteetin korjauskerroin
V_{tod}	on	varaajan suunniteltu ominaistilavuus [dm ³ /keräin,m ²]
V_{ref}	on	referenssitilavuus [dm ³ /keräin,m ²]

4 SUUNNITTELUKOHTTEEN AURINKOENERGIAN TUOTTO

Kohteeseen suunnitellaan aurinkokeräinjärjestelmä, joka tuottaa sekä lämmityksen että lämpimän käyttöveden tarpeesta mahdollisimman paljon. Aurinkokeräimien optimi asennussuunta etelää kohden ja asennus kaltevuus 45°. Ilmatieteenlaitoksen mittaamat auringon kokonaissäteilyenergian määrät 45° olevalla pinnalla (Taulukko 5). Ilmatieteenlaitos ei ilmoita Rovaniemen kohdalla olevia säteilyenergian arvoja, joten käytetään lähimmän ilmoitetun paikan eli Sodankylän arvoja (Ilmatieteenlaitos).

Taulukko 5. Auringon kokonaissäteilyenergia 45° kallistetulla pinnalla Sodankylässä (Ilmatieteenlaitos)

Auringon kokonaissäteilyenergia 45 astetta kallistetulle pinnalle eri ilmansuuntiin suunnattuna vyöhykkeellä IV (Sodankylä), kWh/m ²								
Kuukausi	P	Ko	I	Ka	E	Lo	L	Lu
Tammikuu	1,3	1,3	1,4	1,7	2,0	1,7	1,4	1,3
Helmikuu	11,0	11,0	14,0	22,7	28,0	23,7	15,2	11,1
Maaliskuu	35,1	37,3	50,5	72,4	85,1	75,0	54,1	38,2
Huhtikuu	58,9	83,3	125,0	168,2	181,8	159,5	121,6	77,3
Toukokuu	78,7	103,5	130,5	145,3	141,3	133,8	121,5	92,2
Kesäkuu	98,8	119,5	145,9	159,4	159,7	157,2	148,8	117,3
Heinäkuu	86,3	111,0	143,1	162,5	164,3	154,2	135,5	102,4
Elokuu	52,6	65,9	88,3	111,3	121,5	117,1	97,9	68,1
Syyskuu	25,9	36,8	66,2	97,2	109,3	93,1	61,8	34,8
Lokakuu	11,7	11,9	17,4	27,9	33,2	27,2	16,7	12,0
Marraskuu	2,7	2,7	3,0	4,7	5,8	4,9	3,2	2,7
Joulukuu	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2
Koko vuosi	463,2	584,4	785,3	973,6	1032,1	947,6	777,7	557,5

Suunnittelukohteen harja suunta on kaakko-luode-linjassa, jolloin katon lappeen suuntaisesti kiinnitettynä, aurinkokeräimien suuntaus on lounaaseen.

Monet aurinkokeräimien valmistajat (esim. Jäspi) tarjoavat valmiita paketteja, joiden keräimien koko yhteensä on 6 tai 10 m². Tässä kohteessa halutaan käyttää aurinkoenergiaa sekä lämmitykseen että lämpimän käyttöveden tuottamiseen, niin esimerkki laskelma tehdään 10 m² paketilla. Varaajan kooksi on suunniteltu 2000 litraa, koska siihen on tarkoitus liittää myös varavoimakoneen tuottama hukkalämmön tuotto.

Laskelmissa on käytetty Sundial Finland Oy:n aurinkokeräimen ilmoitettuja arvoja. Keräintyyppi on tasokeräin ja mallinimike Sundial SF5 (Sundial Finland Oy).

Taulukko 6. Laskelmissa käytetyt arvot ja tulokset

	$Q_{\text{keräin}}$ [kWh]	Q_{tarve} [kWh]	U_L [w/m]	Q_{ref} [C]	ΔT [K]	t [h]	C_{cap}	X	Y	Q_{tuotto} [kWh]
Tammikuu	1,7	1870	10	93,66	105,45	744	0,783	1,423	0,006	0
Helmikuu	23,7	1703	10	92,93	104,16	672	0,783	1,394	0,089	4
Maaliskuu	75	1563	10	86,19	92,32	744	0,783	1,490	0,306	312
Huhtikuu	159,5	1213	10	78,41	78,64	720	0,783	1,584	0,840	719
Toukokuu	133,8	879	10	69,52	63,02	744	0,783	1,809	0,972	578
Kesäkuu	157,2	478	10	60,06	46,39	720	0,783	2,368	2,098	448
Heinäkuu	154,2	392	10	57,63	42,12	744	0,783	2,714	2,514	343
Elokuu	117,1	534	10	61,12	48,26	744	0,783	2,281	1,400	439
Syyskuu	93,1	827	10	68,78	61,71	720	0,783	1,823	0,719	414
Lokakuu	27,2	1173	10	76,67	75,59	744	0,783	1,627	0,148	54
Marraskuu	4,9	1502	10	85,63	91,33	720	0,783	1,485	0,021	0
Joulukuu	0,3	1780	10	91,45	101,57	744	0,783	1,440	0,001	0

Tuloksista nähdään, että aurinkokeräimien energian tuotto painottuu aikavälille maaliskuu ja syyskuu (Taulukko 6). Tällä aikavälillä sillä pystytään lämmittämään tarvittava lämminkäyttövesi kokonaan. Tilojen lämmityksen osalta lämmitysenergian kulutus ajoittuu suurilta osin aikavälille lokakuu ja maaliskuu, jolloin aurinkokeräimien tuotto on vähäistä. Kuukausikohtaiset energiatarpeet, aurinkokeräimien tuotto ja lisälämmöntarve on esitetty seuraavaksi (Taulukko 7).

Taulukko 7. Kuukausikohtaisesti energiantarve, aurinkokeräimien tuotto ja lisälämmöntarve

	Q_{tarve} [kWh]	Q_{tuotto} [kWh]	Lisälämmön- tarve [kWh]
Tammikuu	1870	0	1870
Helmikuu	1703	4	1699
Maaliskuu	1563	312	1252
Huhtikuu	1213	719	494
Toukokuu	879	577	302
Kesäkuu	478	448	30
Heinäkuu	392	343	49
Elokuu	534	439	95
Syyskuu	827	414	413
Lokakuu	1173	54	1119
Marraskuu	1502	0	1502
Joulukuu	1780	0	1780
Yhteensä	13913	3310	10603

Laskelmista nähdään, että aurinkokeräimillä tuotetun energianosuus on vain 24 % vuotuisesta energiantarpeesta. Lisälämpöenergian tarve on vuodessa 10 603 kWh (Taulukko 7). Kokeilin Excel-laskelmissa muutella aurinkokeräimien määrää, mutta optimaaliseksi tuotto/investointi suhteella osoittautui tuo 10 m². Järjestelmän ylimitoittaminen voi aiheuttaa kesällä jopa kiehumisongelmia. Kohteessa lämmönjakotapana on vesikiertoinen lattialämmitys, jolloin menoveden lämpötilaksi riittää alhaisimmillaan 30 asteinen vesi. Kokeilin laskelmissa eri lämpötiloilla tuottoa, mutta tuottoerot olivat vain n. 100 kWh luokkaa vuodessa, joka on alle 1 % vuotuisessa kokonaisenergiatarpeesta.

5 VARAVOIMAKONEEN TUOTTO

Kohteessa ei ole kiinteää sähköliittymää, joten lisälämpö on tarkoitus tuottaa osittain varavoimakoneen hukkalämmöllä ja loput varavoimakoneen tuottamalla sähköllä. Pienimmät nestejäähdytteiset varavoimakoneet ovat teholtaan 7 kVa luokkaa. Kohteeseen valitaan 22 kVa kokoinen varavoimakone, koska sen maksimi tuotto vastaa kiinteää sähköliittymää 3x25A.



Kuva 1. Varavoimakone Greenpower (HSA 2022)

Varavoimakone on malliltaan Greenpowerin GP22S/YW (kuva 1). Se on valmiiksi hyvin äänieristetyssä kopassa ja sisältäen kaikki tarvittavat ohjausautomaatiikat ja liitäntälähdöt. Valmistaja ilmoittaa polttoaineen kulutukseksi 75 % kuormalla 3,7 litraa tunnissa, jolloin sähköntuotto on 11,4 kWh (HSA 2022).

Pelkän sähköntuoton hyötysuhde saadaan laskettua kaavalla (12)

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \quad (12)$$

Varavoimakoneen sähkötuotannon hyötysuhteeksi valmistajan ilmoittamilla tiedoilla saadaan

$$\eta = \frac{11,4kWh}{10 \frac{kWh}{l} * 3,7l} = 0,31$$

Tästä huomataan, että pelkästään sähköä tuottaessa, käytetystä polttoaineen sisältämästä energiamäärästä 69 % menee hukkalämmöksi. Kaupallisia järjes-

telmiä, jossa tästä hukkalämmöstä osa otettaisiin talteen, ei suoraan löydy. Lisäksi tutkimus/mittaustuloksia vastaavista järjestelmistä en löytänyt. Varavoimakone on tarkoitus sijoittaa autotallin sisälle, jolloin mahdollisimman paljon hukkalämmöstä jäisi talteen. Laskelmissa otan oletukseksi, että hukkalämmöstä 25 % saataisiin siirrettyä talon vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään.

Käyttösähkön määrä vuodessa on arvion mukaan 6 000 kWh. Tämän sähkömäärän tuottamiseen kuluu kokonaisuudessaan energiaa 31 % hyötysuhteella 19 355 kWh, joka vastaa 1 936 litraa polttoöljyä. Lämmitysjärjestelmään saatavan hukkalämmön osuus on 4 840 kWh. Sähkönkäyttö jakautuu tasaisesti koko vuoden ajalle, jolloin päivittäinen hukkalämmön osuus on n.13,3 kWh.

Taulukko 8. Kuukausikohtaiset energiatarpeet

	Lisälämmöntarve [kWh]	Varavoimakoneen hukkalämpö [kWh]	Jäljelle jäävä lisälämmöntarve [kWh]
Tammikuu	1870	411	1459
Helmikuu	1699	371	1328
Maaliskuu	1252	411	841
Huhtikuu	494	398	96
Toukokuu	302	411	0
Kesäkuu	30	398	0
Heinäkuu	49	411	0
Elokuu	95	411	0
Syyskuu	413	398	15
Lokakuu	1119	411	708
Marraskuu	1502	398	1104
Joulukuu	1780	411	1369
Yhteensä	10603	4840	6918

Laskelmissa huomataan, että käyttösähkön käytön jakautuessa tasaisesti ympäri vuoden, tulee hetkiä jolloin varavoimakoneen hukkalämpöä ei voida hyödyntää lämmitysjärjestelmään (Taulukko 8). Jäljelle jäävä lisälämmöntarve 6 918 kWh täytyy erikseen tuottaa varavoimakoneella.

Lisälämpö toteutetaan varaajassa olevalla sähkövastuksella. Tästä johtuen sekä tuotettu sähkö ja hukkalämmön osuus pystytään hyödyntämään lämmittämiseen. Näin ollen hyötysuhde on yhteensä 56 % (31 % + 25 %).

$$Q_{otto} = \frac{6918 \text{ kWh}}{0,56} = 12\,354 \text{ kWh}$$

Tämä vastaa polttoöljyn määrää 1 235 litraa. Kokonaisuudessaan varavoimakoneen kulutus vuodessa on 3 171 litraa.

6 KUSTANNUSLASKELMAT

6.1 Aurinkokeräinjärjestelmä ilman sähköliittymää

Hankintahinta

Aurinkokeräinpaketti 10m ²	5 349 €
Varaaja 2000 l	3 990 €
Pumput, vastukset, termostaatit	3 000 €
Vesikiertoinen lattialämmitysjärjestelmä	4 050 €
Varavoimakone 22 kVa (Liite 1)	13 100 €
Asennuskulut (65€/h, 160h)	10 400 €
Yhteensä	39 889 €

Käyttökustannukset

Polttoöljy (2€/l,kulutus 3171l)	6 342 €
Varavoimakoneen huolto	1 000 €
Yhteensä	7 342 €

6.2 Kiinteä sähköliittymä

Sähköliittymä (Liite 2)	43 100€
Sähköinen lattialämmitysjärjestelmä	3 000 €
Varaaja 300 l	850 €
Asennustyöt (65€/h, 40 h)	2 600 €
Yhteensä	49 550 €

Käyttökustannukset

Sähkö (0,2€/kWh,kulutus 19 913kWh)	3 983 €
---	----------------

7 POHDINTA

Aurinkokeräimillä ja varavoimakoneella toteutetun energianjärjestelmän rakentamiskustannukset nousivat yllättävän korkeiksi. Laskelmissa huomioitiin pääpiirteittäin järjestelmien isoimmat komponentit, jotta päästiin kustannuksien osalta käsitykseen suuruusluokista.

Tässä työssä jätettiin aurinkosähköjärjestelmän osuus pois, mutta ilman kiinteään sähköliittymää rakennettaessa se täytyisi suurella todennäköisyydellä rakentaa tai vähintään asentaa riittävästi akkuja energiavarastoksi. Tämän huomioiminen laskelmissa nostaisi hankintahintaa helposti 10 000 €, jolloin omavaraisen energijärjestelmän rakentaminen olisi suurin piirtein samanhintainen kuin kiinteän sähköliittymän.

Oleellisempaa on käyttökustannuksien osuus. Varavoimakoneella tuotettavan lämmitysenergian määrä on yllättävän suuri n. 75 % kokonaisenergian tarpeesta. Polttoaineen hintojen raju nouseminen nostaa varavoimalla tuotetun energian reilusti kalliimmaksi kuin kiinteän sähköliittymän kautta otetun sähkön hinta on. Molempien osalta hinnoissa on tulevaisuudessa painetta korotuksille, mutta tällä hetkellä fossiiliset polttoaineet nousevat nopeampaa.

Tuloksien perusteella järjestelmää voisi optimoida, koska käytösähkön takia varavoimakonetta joudutaan käyttämään myös kesällä, kannattaisi aurinkokeräimet asentaa pystympään kulmaan, jolloin niiden keväällä ja syksyllä tuottama energiamäärä kasvaa ja vastaavasti kesällä tuotto pienenee. Varavoimakoneen hukkalämpö kattaisi kesän pienentyvän aurinkoenergian tuoton ja samalla vuosittainen varavoimakoneen käyntiaika lyhentyisi. Tämä voisi pienentää n. 5–10 % polttoaineen kulutusta.

Yksi tutkittava asia tulevaisuudessa voisi olla varavoimakoneen hukkalämmön talteenotonmittaus. Oletin tässä työssä osuudeksi 25 %, joka laskelmien mukaan ei riitä kannattavaan lopputulokseen. Jos talteen otettavan hukkalämmön kokonaisosuutta saisi nostettua esimerkiksi 40 %, muuttuisi käyttökustannukset vain n. 1000 € pienemmäksi. Tämäkään ei vielä saisi järjestelmää kannattavaksi. Omakohtainen tavoitteeni työtä aloittaessa oli, että jos varavoimakoneen vuotui-

nen kulutus olisi jäänyt 1000–1500 litran välille, olisi järjestelmä ollut toteutuskel-poinen ja olisin sen rakentanut. Aikaisemmat kokemukseni ovat osoittaneet, että varavoimakoneita käyttäessä tulee välillä eteen häiriötilanteita, jotka aiheuttavat lisäkustannuksia ja harmaita hiuksia. Haluttu järjestelmän toimintavarmuus puol-taa myös suuresti kiinteän sähköliittymän puolesta.

LÄHTEET

FINVAC 2019. Opas asuinrakennuksen ilmanvaihdon mitoitukseen. 5. Viitattu 2.4.2022 https://finvac.org/wp-content/uploads/2020/06/Opas_asuinrakennusten_ilmanvaihdon_mitoitukseen_2019.pdf.

Hollolan Sähköautomaatika Oy. Tuotteet. Greenpower GP22. Viitattu 7.4.2022 <https://hsaoy.com/wp-content/uploads/GP0022Y.pdf>.

Ilmatieteenlaitos. Auringon kokonaissäteilyenergia 45 astetta eri ilmansuuntiin kallistetuilla pinnoille nykyilmastossa (TRY2012). Viitattu 7.4.2022 https://www.ilmatieteenlaitos.fi/documents/30106/359229/Sodankyla_pystypinnat45_TRY2012.pdf/2b22c021-0dbb-40ab-b7a4-a848c2d8b84b.

Ilmatieteenlaitos. Lämmitystarveluvut. Viitattu 2.4.2022 <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/lammitystarveluvut>.

Motiva Oy. 10.11.2021. Vedenkulutus. Viitattu 2.4.2022 https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/hyva_arki_kotona/vedenkulutus.

Sundial Finland Oy. Sundia SF5 aurinkolämpökeräimet. Viitattu 7.4.2022 <https://www.sundial.fi/files/Esitteet/Lampo/Sundial%20SF5%20ta-soker%C3%A4in%20datasheet%20FI.pdf>.

Säteri, H & Kalliomäki, P. 17.5.2013 Ympäristöministeriön ohje rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta ohjeet 2012 6/13. Viitattu 2.4.2022.

Vaasan Sähkö Oy. 10.11.2020 Energianeuvonta. Viitattu 2.4.2022 <https://www.vaasansahko.fi/energianeuvonta/kodin-sahkonkulutus-mista-se-muodostuu/>.

Vallox 2021. Tuotteet. Vallox ilmanvaihtokoneet. Vallox 110 MV. Viitattu 2.4.2022 https://www.vallox.com/tuotteet/vallox_ilmanvaihtokoneet/vallox_110_mv.html.

Ympäristöministeriö 23.8.2011. Aurinko-opas 2012. Viitattu 7.4.2022 https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Aurinko-Laskentaopas-2012_ver23082011-F4F73E83_56AF_4112_AD7B_0E1F1804D38B-30750.pdf/c6be6102-7bf6-17ae-17b0-d54c2cd99d83/Aurinko-Laskentaopas-2012_ver23082011-F4F73E83_56AF_4112_AD7B_0E1F1804D38B-30750.pdf?t=1603260207096.

Ympäristöministeriö 20.12.2017/1009 Viitattu 2.4.2022 <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171010>.

LIITTEET

- Liite 1. Tarjous varavoimakone
- Liite 2. Tarjous sähköliittymä

Liite 1

HSA Oy
Hollolan Sähköautomaatiikka Oy
 Höylääjänkatu 5 15520 LAHTI

TARJOUS

Numero 125640 Päiväys 24.2.2022 Sivu 1 (2)

Laskutusosoite	Maksuehto	
	Toimitustapa	Sopimuksen mukaan
	Viihästyskorko	9 %
	Huomautusaika	8 pv
	Vitteemme	
	Myyjä	
	Vitteenne	
Toimitusosoite	Merkki	
	Tilusnumeronne	
	Toimitusehto	EXW-vapaasti varastossa

Pos	Koodi	Nimike Lisänimike	Määrä Yks	á-hinta	Ale%	€ alv0%
2	GP.0022.S/YW_M	Varavoimalaite 19 / 21 kVA / Yanmar Sound-Super / Manual start / 620 kg	1,00 kpl	10810,00	16,00	9080,40
3	GP.SW.BAT.0033.1 260	Greenpower GP22S/YW - 4TNV88 (M) - Mocalte - 1750 X 700 X 1100 Akun pötkökytkin	1,00 kpl	150,00	16,00	126,00
4	GP.OVP.0006/1260	Battery detached switch Öljyn vaihto pumppu	1,00 kpl	160,00	16,00	134,40
5	AK1.DND7B.32.A3	Oil pump Automaattitakyntäys IN, kytkinohjauksella 15 DMW - 20 DMW - 27 DMW	1,00 kpl	1106,00	16,00	929,04
7	OHJ.MM	InteliName NT ohjaimella Moottorin ohjainvalmius DMW - malleihin DMW - malleihin. Ensiasennus	1,00 kpl	215,00	16,00	180,60
		välisumma 12958.55 (veroton 10450.44 Vero 2508.11)				10450,44
6	TK.Rahti..	Rahti	1,00 kpl	120,00		120,00
		Veroton summa				10570,44
		<i>Alv-erittely</i>				
		+ Alv 24%	* 10 570,44			2536,91
		Alv yhteensä				2536,91
		Yhteensä		EUR		13107,35

Tuotteet ovat ostajan omaisuutta vasta kun koko kauppahinta on maksettu!

Toimitus- ja sopimusehdot HSA2004 mukaisesti,
www.hsaoy.com/hsa/toimitusehdot.

Terveisin

HOLLOLAN SÄHKÖAUTOMATIikka OY

Liite 2.



96900 Rovaniemi

LIITTYMÄTARJOUS

24.02.2022

Rauno Juujärvi

LIITTYMÄTARJOUS KIINTEISTÖLLE 698-401-59-144

Rovakaira Oy tarjoutuu rakentamaan 3x25 A:n liittymän liitekartan mukaiseen paikkaan.

Liittymismaksu on yhteensä 43 100,00 € (sis. alv 8 341,94 €). Liittymismaksu sisältää rakentamiskustannuksia 41 972,76 €, jälkiliittymälausekkeen osuuden 41 972,76 € ja kapasiteettivarausmaksua 1 126,43 €, hinnat ovat arvonlisäverollisia. Maksuehto 21 pv netto. Liittymismaksulla rakennetaan jakeluverkko liitekartan mukaiseen paikkaan.

Liittymissopimukseen kirjataan jälkiliittymälause, jonka mukaan liittyjälle palautetaan osa verottomasta liittymismaksusta, jos nyt rakennettavaan sähköverkkoon tulee uusia liittymiä. Jälkiliittymälause on voimassa kymmenen vuotta liittymissopimuksen allekirjoittamisesta.

Liittymispiste on pylväs tontilla. Laskennallinen 1-vaiheinen oikosulkuvirta liittymispisteessä on vähintään 250 A.

Liittymän liittymisjohdon on oltava vähintään AXMK 4x25S.

Tarjous edellyttää, että johtokatuja varten tarvittavien maa-alueiden käyttöoikeudet saadaan normaalein ehdoin.

Liittymän toimitusaika on 6 viikkoa sen jälkeen, kun sopimukset on tehty ja kaikki tarvittavat luvat verkon rakentamiseen on saatu.

Tarjous on voimassa 24.03.2022 saakka.

Terveisin

Rovakaira Oy

Verkko insinööri