

Alisa Hast

PIENTALOALUEEN OMAVARAINEN ENERGIAN TUOTANTO

PIENTALOALUEEN OMAVARAINEN ENERGIAN TUOTANTO

Alisa Hast
Opinnäytetyö
Syksy 2019
Energiatekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Energiatekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä: Alisa Hast

Opinnäytetyön nimi suomeksi: Pientaloalueen omavarainen energiantuotanto

Opinnäytetyön nimi englanniksi: Energy Self-sufficient Residential Area

Työn ohjaaja(t): Veli-Matti Mäkelä, Jukka Ylikunnari

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Syksy 2019

Sivumäärä: 61 + 2 liitettä

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli mitoittaa omavarainen energiantuotanto 25 pientalon uudisrakennusalueelle. Kohteen suunnittelutyö pohjautuu opinnäytetyön tilaajan ASV Arctic Smart Village Oy:n Älykylä® -konseptiin, joka esitellään pääpiirteittäin opinnäytetyössä, sillä se asettaa suunnitteluun reunaehdoja. Asuinalueen energiantuotannossa suurin paino on omavaraisuudella ja hiilipäästöjen minimoinnilla, mikä tulisi toteuttaa mahdollisimman kustannustehokkaasti.

Työssä esitellään ensin pintapuolisesti omavaraisen energiantuotannon vaihtoehtoja, säädöksiä sekä omavaraisen asumisen keskiössä olevia taloautomaation ja mikroverkon periaatteita. Opinnäytetyö keskittyy alueen energiantarpeen arviointiin sekä tuotannon mitoittamiseen ja kustannusarvioon.

Tarkasteluun valittiin CHP-laitoksen ja aurinkosähkön yhdistelmä, jonka kustannuksia verrattiin maalämmön ja aurinkosähkön yhdistelmään sekä suoraan sähkölämmitykseen. Laskennan tuloksena huomattiin, että puun kaasutukseen perustuvan CHP-laitoksen ja aurinkoenergian yhdistelmä tulisi käyttökustannuksiltaan raskaammaksi. Tähän vaikuttaa mm. polttoaineen hinta.

Aiheena omavaraisen energiantuotannon suunnittelu ja mitoitus oli erittäin mielenkiintoinen, sillä energiaomavaraisuus käsitteenä on jokseenkin uusi ja kotimaista kirjallisuutta aiheesta on vasta vähän. Erityisesti omakotitaloissa on jo kuitenkin pitkään tuotettu ainakin osa asumiseen tarvittavasta energiasta omavaraisesti esimerkiksi maalämmöllä tai tulisijalla. Tässä työssä energiaomavaraisuuden käsite kattaa sekä asumiseen käytetyn lämmön että sähkön tuotannon ja se tapahtuu osuuskunnan omistamalla kiinteistöllä.

Asiasanat: energiaomavaraisuus, hybridi, uusiutuva energia, CHP, aurinkoenergia, Älykylä

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Energy Technology

Author: Alisa Hast

Title of thesis: Energy Self-sufficient Residential Area

Supervisors: Veli-Matti Mäkelä, Jukka Ylikunnari

Term and year when the thesis was submitted: Autumn 2019

Pages: 61 + 2 appendix

Aim of this bachelor's thesis was to design self-sufficient energy production for a small residential area consisting of 25 houses and one communal building. Work is based on Älykylä® -concept developed by ASV Arctic Smart Village Ltd. Main ideas of Älykylä® are presented in this thesis since it gives guidelines to energy production of the area. When it comes to energy, main input is on self-sufficiency and minimal CO₂-emissions but also to be a reasonable investment.

First a few of the energy production options are presented following some energy production regulations. HVAC and micro grids are also shortly presented since they are a vital part of reliable and functioning small scale energy production when energy is primarily produced for own use. While briefly going through these basics to give an overall idea about energy production needs and technology the rest of the thesis covers energy production dimensioning. It is performed so that competitive tendering and district design can be continued.

Energy production options are almost limitless. Before starting this thesis, it was decided that CHP plant and separate traditional production options are compared, putting focus in CHP energy production. With calculations presented in this thesis it was clear, that CHP production combined with PV's and heat distribution network are a notable investment, but well dimensioned a very interesting option to further implement and study. If all residential housing is built at the same time it could be a suitable option. Though keeping in mind that Utajärvi is a quite small municipality and building might happen in phases. If so, individual production is better solution.

Keywords: energy self-sufficiency, hybrid solutions, renewable energy, CHP, photovoltaic

SANASTO

CHP	Combined Heat and Power, laitos, joka tuottaa sekä lämpöä että sähköä
Erillistalo	arkkitehdin aluesuunnitelmassa käyttämä termi pientalosta
Hiiliviisas	hiilijalanjäljen huomioiva ajattelutapa, pyrkii hiilineutraaliuteen
Hybridijärjestelmä	kahden tai useamman energiantuotantomuodon yhdistelmä
LKV	lämmin käyttövesi
Omavaraisuus	vuotuinen energiantarve on tuotettu kiinteistöllä omaan käyttöön

ALKULAUSE

Haluan kiittää opinnäytetyöstä ASV Arctic Smart Village Oy:tä ja Utajärven kuntaa, jotka mahdollistivat opinnäytetyön tekemisen.

Kiitos myös Veli-Matti Mäkelälle, Jukka Ylikunnarille ja Pirjo Partaselle opinnäytetyön ohjauksesta ja neuvoista matkan varrella.

Lopuksi vielä iso kiitos läheisille ja ystäville, jotka ovat kannustaneet minua opinnoissani.

Oulussa 3.11.2019

Alisa Hast

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SANASTO	5
ALKULAUSE	6
SISÄLLYS	7
1 JOHDANTO	9
2 KOHTEEN ESITTELY	10
2.1 Älykylä® ja GeoHouse Älykylä	10
2.2 Kohteen aluesuunnitelman tarkastelu	11
2.3 Suunnittelun reunaehdot	16
3 OMAVARAINEN ENERGIANTUOTANTO	18
3.1 Sähkön jakelu	18
3.2 Lämmön ja sähkön yhteistuotanto	19
3.3 Muita energiantuotannon vaihtoehtoja	20
3.4 Energian varastointi	20
4 TALOAUTOMAATIO JA KIINTEISTÖN SISÄINEN SÄHKÖVERKKO OSANA ENERGIATEHOKASTA ASUMISTA	22
4.1 Talotekniikan käyttäjälähtöinen suunnittelu	22
4.2 Kiinteistön sisäinen sähköverkko	23
5 KOHTEEN ENERGIANTARPEEN SELVITYS	24
5.1 Erillistalo	24
5.2 Kylätalo	28
5.3 Tuntinen tehontarve	30
6 ENERGIANTUOTANNON JA -JAKELUN MITOITUS	35
6.1 Lämmönjakeluverkon mitoitus	35
6.2 CHP-laitos	38
6.3 Aurinkosähkö	41
6.4 Maalämpö	44
6.5 Ehdotus energiantuotannosta, takaisinmaksuaika ja kustannusarviot	45
6.5.1 Vaihtoehto 1: CHP ja aurinkosähkö	46

6.5.2 Vaihtoehto 2: Maalämpö ja aurinkosähkö	52
7 TULOKSET	55
8 YHTEENVETO	57
LÄHTEET	58

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö on tehty ASV Arctic Smart Village Oy:lle, ja sen tarkoituksena on selvittää Utajärvellä suunnitella olevan asuinalueen, GeoHouse Älykylän, energiantuotannon vaihtoehtoja sekä kartoittaa kohteen energiantarve. Kohteen energiantuotannossa merkittävintä on energiaomavaraisuus. Energiantuotannon täytyisi kattaa vuotuinen energiantarve, tuottaa energia uusiutuvista lähteistä hiilineutraaliuteen pyrkien sekä olla samalla taloudellisesti järkevä investointi.

Työ aloitettiin perehtymällä omavaraisen energiantuotannon lainsäädäntöön ja edellytyksiin sekä eri tuotantotapoihin. Kiinteistön sisäisen energiantuotannon hallinnassa kotien kiinteistöautomaatio ja kiinteistön sisäinen sähköverkko ovat avainasemassa. Jo pelkästään voimassa oleva sähkömarkkinalaki edellyttää tietynlaisen järjestelyn, kun tarkastelussa on useamman asuinrakennuksen sisältävä kohde.

Lisäksi työssä mitoitettiin tuotantolaitos kohteeseen. Ensin tehtiin arvio kohteen asuinrakennusten ja kylätalon energiantarpeesta e-luvun laskennan periaatteilla sekä arvioitiin CHP:n, maalämmön ja aurinkoenergian toimivuutta kohteessa teho- sekä kustannuslaskelmin. Tarkoituksena oli määrittää keskitetyn ja talokohdaisen järjestelmän kustannusten eroja. Raportin lisäksi tilaajalle toimitettiin materiaalia tuotannon mitoittamisesta ja energiantuotannon ja -kulutuksen kustannuksista markkinointia varten.

ASV Arctic Smart Village Oy on rovaniemeläinen start up-yritys, joka on kehittänyt Älykylä®-konseptin kehittääkseen maaseutumaista asumista houkuttelevammaksi ja taloudellisesti kannattavammaksi kokonaisuudeksi samalla vastaten ilmastonmuutoksen tuomiin haasteisiin. GeoHouse Älykylä on yrityksen käynnissä olevista projekteista pisimmällä. Kohteen markkinointi käynnistyy alkuvuodesta 2020.

2 KOHTEEN ESITTELY

Kohde sijaitsee Utajärven Alakylässä. Asuinalueen suunnittelu pohjautuu ASV Arctic Smart Village Oy:n Älykylä®-konseptiin, joka vastaa ilmastonmuutoksen ja maaseudun negatiivisen muuttoliikkeen tuomiin haasteisiin. (1; 2.)

GeoHouse Älykylän suunnittelu on aloitettu jo vuonna 2018, jolloin Utajärven kunta teetti ASV Arctic Smart Village Oy:n kanssa taustaselvityksen aiheesta. Taustaselvityksessä tutkittiin kuntalaisten ja päättäjien mielipiteitä ja toiveita uudesta asuinalueesta. Projektia jatkettiin 1.1.–30.4.2019 välisenä aikana Pohjois-Pohjanmaan liiton rahoittamana Alueelliset innovaatiot ja kokeilut (AIKO) -hankkeena, jossa kokeiltiin, saadaanko Utajärven kiinnostavuutta asuinalueena lisättyä. (3; 4.)

2.1 Älykylä® ja GeoHouse Älykylä

Älykylä®-konseptin keskiössä ovat asumisosuuskunta ja energiaomavaraisuus. Konseptin kohderyhmänä ovat kunnat, jossa maaseudun negatiivinen muuttoliike aiheuttaa haasteita. Se huomioi ilmastonmuutoksen aiheuttamat haasteet oma-varaisen energiantuotannon, puurakentamisen ja kiertotalouden toimintojen kautta. Asumisosuuskunnan ja ryhmärakentamisen yhdistelmällä tavoitellaan edullisuutta investointeihin ja asumisen aikaisiin kustannuksiin. Asuinalue on yhtä kiinteistöä, jonka omistaa asumisosuuskunta. Näin perinteistä tonttijakoa ei ole. Kohteen ratkaisulla tavoitellaan edullisempaa rakentamista ja arkea, pitkäikäistä ja kestäväää asumista niin rakennusten kuin ympäristön kannalta sekä yhteisöllistä ja turvallista asumisen ympäristöä (1; 3)





















Erityinen painoarvo on rakentamisen ja asumisen kustannusten pienentämisellä ja sitä kautta ihmisten elinvoimaisuuden parantamisella. Tämä kaikki tulisi tehdä resurssiviisaasti asumisen ympäristö- ja ilmastovaikutukset huomioiden. Rakentamisen kustannuksia lasketaan erityisesti ryhmärakentamisella, jolloin rakennusvaiheen kilpailutuksessa yksittäisen talonomistajan sijasta isompi tilaaja, tässä osuuskunta, voi saada kilpailuetua tilausten suuren koon takia. (3.)

Konsepti on hyvin moniulotteinen. GeoHouse Älykylä on energiaomavarainen asuinalue, jossa asumisosuuskunta omistaa kiinteistön rakennuksineen. Talot varustetaan nykyaikaisella teknologialla ja energia tuotetaan omavaraisesti kylässä uusiutuvista energianlähteistä. Talotekniikan lisäksi osana omavaraista energiantuotantoa alueelle tuodaan oma sisäinen sähköverkko sähkönjakelua varten, josta alue liitetään yhdellä sähköliittymällä jakeluverkkoon. (3.)

2.2 Kohteen aluesuunnitelman tarkastelu

Asuinalueen suunnittelu lähtee liikkeelle kohdekiinteistön valinnasta. GeoHouse Mahdollisuuksien kokeilu -hankkeen tilaajana Utajärven kunta oli velvollinen valitsemaan kohdekiinteistön. Vaihtoehtoja oli kolme kappaletta, joista kunnan päätöksentekoelementeissä päädyttiin kuvassa 1 esitettyyn kunnan omistuksessa olevaan kiinteistöön. (5.)



	Asuminen: puurakenteisia erillistaloja 2 krs., lasitetut katostilat, ulkovarasto autokatoksella		Virkistys- ja palvelukäyttö: leikki- ja ulkopelialue
	Asuminen: puurakenteisia pari- tai luhtitaloja 2 krs. lasitetut katos- ja parveketilat, yhteiset ulkovarasto- ja autokatostilat		Tuotantokäyttö: kasvin ja/tai kalan sisäviljelyä tai muuta pientuotantoa
	Virkistyskäyttö: rantasauna, rantakeskus (sauna, tanssilava, grillikatot, ulkovarasto)		Puskurivyöhyke: ääntä eristävä maavalli
	Palvelu- ja virkistyskäyttö: puurakenteinen kyläkeskus (lastenhoito, nuoristotoiminta, kahvila, kylätahtumat, koulutustilaisuudet, huolto- ja varastotila, energiakeskus)		Vesistöalue
	Majoitustoiminta: puurakenteisia lomamökkejä, lyhytaikaista tai pitkäaikaista majoittumista		Oulutie
	Ravinnon tuotanto: yhteisöllistä avomaaviljelyä		Tieyhteys
	Ravinnon tuotanto: osakaskohtaista palstaviljelyä		Huoltotie
	Virkistyskäyttö: ulko-oleskelu-, harrastus- ja urheilualue		Oulutien kevyen liikenteen väylä
			Jalankulku, pyöräily
			Luonto-, ranta- tai retkireitti
			Veneily
			Tontin raja

KUVA 1. GeoHouse Älykylän aluesuunnitelma, vyöhykkeet (6)

Aluesuunnittelu käynnistettiin, kun asuinalue oli valittu ja hyväksytty kunnan päätöksentekoeuromissää. Kiinteistön muodon vuoksi oli haastavaa löytää sijoituspaikka keskitetulle energiantuotannolle, sillä kiinteistön osia yhdistävää maa-alaa on vain vähän. Tähän ratkaisuksi esitetään, että kunta hankkii riittävän maa-alan kiinteistönosien yhdistämiseen, jotta tarvittava infra voidaan rakentaa aluesuunnitelman mukaisesti. Tällöin esimerkiksi lämpöjohdon pituus lyhenisi jopa 200 metriä, mikä vastaisi jopa 25 000 €:a pienempää investointia lämmönjakeluun.

Aluesuunnitelman tuotti Toni Yli-Suvanto Architects Oy, jolle toimitettiin tarvittava aineisto suunnittelutyötä varten. Tämä aineisto sisälsi mm. maanmittauslaitoksen dataa korkeuseroista ja kuvia kiinteistöltä.

Suunnittelutiimin rakenne ja koko riippuu kohteesta. Suurissa kaupunkikohteissa suunnittelu voidaan jaotella mm. tie- ja katusuunnitteluun, rakennussuunnitteluun, energiasuunnitteluun jne. Pienemmissä kohteissa suunnittelua saattaa tehdä esimerkiksi pelkästään kaavoitusinsinööri. GeoHouse Älykylän tapauksessa aluesuunnitelmaa työsti arkkitehti, energian käytön ja tuotannon mahdollisuuksia selvitettiin tässä opinnäytetyössä ja myöhemmin kaavaratkaisusta vastaa kunnan kaavoitusinsinööri. (3.)

GeoHouse Älykylän aluesuunnitelmassa määritellään seuraavat asiat:

- asuinalueen toiminnot ja infrastruktuuri
- rakennusten suunnittelu ja niiden sijoittelu
- havainnekuvat (3).

Kuvissa 1–3 on esitetty tämän opinnäytetyön kannalta oleellisia osia GeoHouse Älykylän aluesuunnitelmasta. Asuinalueen tiet kulkevat kiinteistön laidoilla, jolloin keskialue jää moottoriliikenteeltä vapaaksi yhteiskäyttöalueeksi. Tälle keskelle jäävälle alueelle voidaan sijoittaa esimerkiksi leikkikenttä, urheilutoimintoja ja palstaviljelyä. Keskelle jäävä alue luo tilan tuntua ja tuo alueen asukkaita yhteen. Kun alueella ei liiku autoja, on se myös turvallinen perheen pienimmillekin.

Asuinalueen viereinen Valtatie 22 aiheuttaa melua, mikä on huomioitu myös aluesuunnitelmassa. Maansiirtotöistä ylijäävää maa-ainesta käytetään äänivallien rakentamisessa. Äänivallit maisemoidaan, jolloin myös liikenteen visuaalinen haitta vähenee ja alueen yksityisyys kasvaa. Valtatien puoleiseen osaan on sijoitettu toimintoja, jotka osaltaan myös estävät liikenteen melun kantautumista asuinalueelle. Näitä ovat mm. kylätalo, energiantuotannon tilat, maavalli ja mahdolliset tuotantotilat esimerkiksi kasvien viljelyyn.

Ranta-alue jää asukkaiden yhteiskäyttöön, jolloin asuinpaikkojen tasavertaisuus säilyy ja sijainnin puolesta ei muodostu näennäisiä eroja rakennuspaikkojen välillä.

Asuinrakennusten ja kylätalon lisäksi tulevat toiminnot ovat hahmotelmia, joiden toteutuksesta päättää aikanaan GeoHouse Älykylään perustettava osuuskunta (3). Kyseisten toimintojen mahdollisia energiantarpeita ei otettu huomioon tässä opinnäytetyössä tehdyssä energiantuotannon selvityksessä, sillä esimerkiksi pientuotannon tyyppiä tai kokoa ei vielä ollut määritetty. Mahdollisilla tuotantolaitoksilla on omavaraisen energiantuotannon osalta kannattavuutta parantava vaikutus.

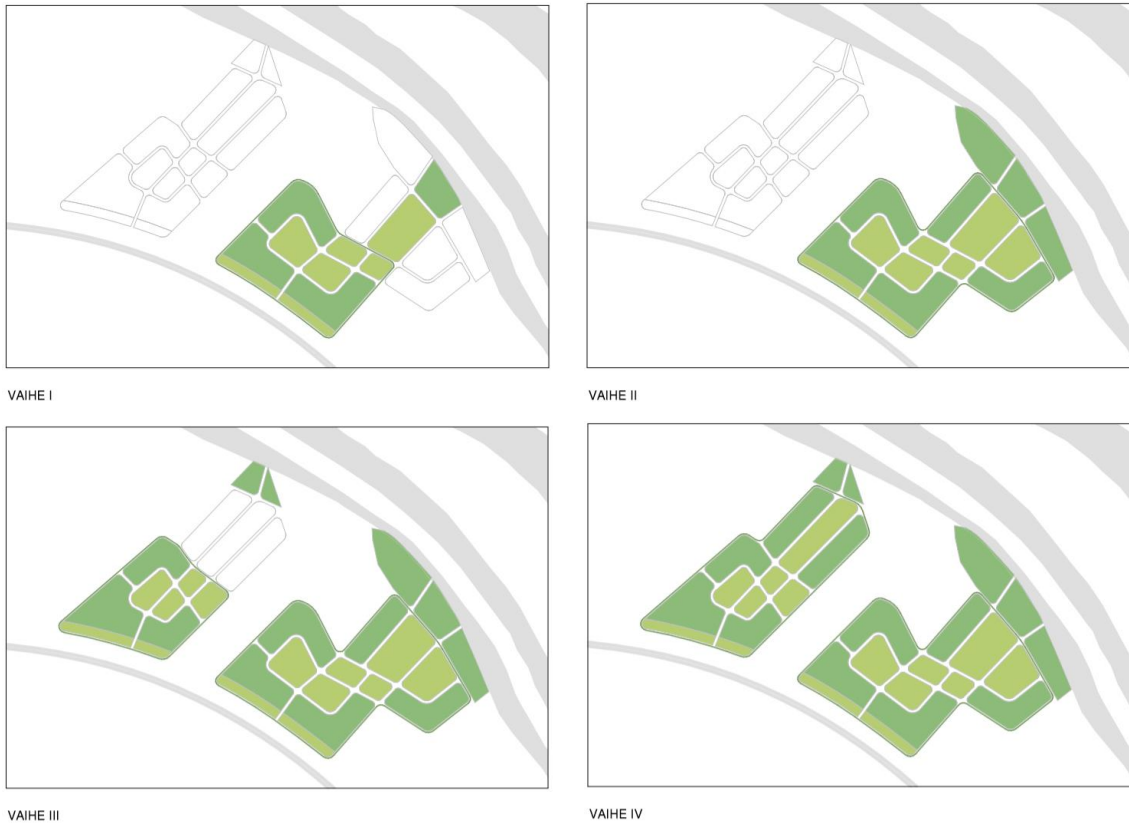
Kuvassa 2 on havainnollistettu rakennusten sijoittelu alueelle. Rakennuskanta on lähialueen rakennustiheyteen verrattuna tiiviimpää, joten tilan tuntua luodaan sijoittamalla asuinrakennukset viistosti toisiinsa nähden. Tällöin asuinrakennuksista on hyvin näkymiä joka suuntaan ja sijoittelulla maksimoidaan myös mahdollinen aurinkoenergian hyödyntäminen. Alueen rakennuskanta muodostuu erillistaloista, sekä pari- tai luhtitaloista kysynnän mukaan. Erillistaloja on yhteensä 20 kappaletta ja pari- tai luhtitaloja 5 kappaletta. (6.)



KUVA 2. GeoHouse Älykylän aluesuunnitelma: rakennusten sijoittelu asuinalueelle (6)

GeoHouse Älykylän kiinteistö on kooltaan noin 10 hehtaaria, ja aluetta halkoo yksityisen omistama maa-alue, joka ei ole osa GeoHouse Älykylää.

Energiaratkaisun suunnittelussa on huomioitava, että alueen rakentuminen saattaa tapahtua vaiheittain. Tällöin alue voisi rakentua esimerkiksi kuvan 3 mukaisesti. Arkkitehdilta saatiin erillistalon ja kylätalon rakennuspinta-alan ja lämmönläpäisykertoimen tunnusluvut energiantarpeen määrittämistä varten ja ne on esitetty liitteessä 1.



KUVA 3. Aluesuunnitelma: esimerkki rakentamisen vaiheistuksesta, vaiheet 1–4 (5)

Todellisuudessa alue voi rakentua myös muilla tavoin asukkaiden mieltymysten mukaisesti. Kuvassa 3 esitetty vaiheistus on yksi esimerkki alueen rakentumisesta, missä alue laajentuisi luonnollisesti viheralueineen. On kuitenkin mahdollista, että rakentamisen vaiheistuessa alue rakentuu eri tavalla.

2.3 Suunnittelun reunaehdot

Kylän tulee olla mahdollisimman energiaomavarainen, mikä on lähtökohtana alueen energiantuotannon ja -käytön suunnittelussa. Lisäksi kustannuksilla on suuri merkitys tuotantomuodon valinnassa. Nämä seikat yhdistämällä tulee löytää sopiva ratkaisu kohteeseen. (3.)

Asuinalueelle tuodaan nykyaikaisen talotekniikan lisäksi oma kiinteistön sisäinen sähköverkko. Näiden tekniikoiden kustannuksia ei käsitellä tässä opinnäyte-

työssä. Oma sisäinen sähköverkko on edellytys kiinteistön sisäiselle sähköntuotannolle, sillä sähkö on tuotettava, jaettava ja mitattava kiinteistön sisäisesti, jotta sitä saadaan siirtää ilman energiamaksuja verottomasti asuinrakennuksiin. Alue suunnittelun ja keskitetyn energiantuotannon kannalta kiinteistön muoto aiheuttaa haasteita. Kiinteistö muodostuu kahdesta osasta, jotka liittyvät toisiinsa alueen etelälaidasta. Tällöin myös energian siirtäminen alueella tapahtuu tuon kais-taleen kautta, sillä sähkön tuotannon ja siirtämisen täytyy tapahtua kiinteistörajojen sisäpuolella (7, 71§.)

Kiinteistörajojen ulkopuolelta tulevasta sähköstä maksetaan siirtomaksu ja energiavero, jotka osaltaan nostavat elinkustannuksia. Ostosähköstä tehdään sopimus paikallisen jakeluyhtiön kanssa, ja osuuskunnalla on oikeus kilpailuttaa sähköyhtiönsä. Alueen sisäinen sähköverkko liitetään jakeluverkkoon yhdellä sähköliittymällä ja sähkönkulutus mitataan talokohtaisesti. (8.)

3 OMAVARAINEN ENERGIANTUOTANTO

Energiaomavaraisuutta tarkasteltaessa tehtiin systeemirajaus, kuten mille tahansa tuotannon tarkastelulle. GeoHouse Älykylän tapauksessa puhutaan osuuskunnan omistamasta kiinteistörajojen sisäpuolisesta alueesta, jolloin tarkastelu on suoraviivaisempaa verrattuna laajempiin useista erillisistä kiinteistöistä koostuviin alueisiin.

3.1 Sähkön jakelu

Kohteen omavaraiselle sähköntuotannolle on yleisesti olemassa kaksi vaihtoehtoa: joko täysin omavarainen verkosta irrallaan oleva tai tavanomaisesti sähköverkkoon kytketty asuinalue. Mikäli asuinalueen haluttaisiin olevan täysin irti jakeluverkosta, vaatisi sähköntuotanto huipputehoa tuottavan varajärjestelmän päätuotannon tuotantokatkosten varalta. Mikäli varajärjestelmää tai riittävää sähkön varastointisysteemiä ei ole, saatetaan ajoittain päätyä tilanteeseen, jossa toimintahäiriön tai huoltokatkoksen vuoksi energiansaanti katkeaa. Varajärjestelmä nostaa investointikustannuksia ja on todennäköisesti kannattava järjestely vain silloin, kun alueen liittäminen jakeluverkkoon olisi haastavaa esimerkiksi kaukaisen sijainnin vuoksi. (9, s. 7–8.)

Toinen vaihtoehto on ns. tavanomaisesti jakeluverkkoon kytketty mahdollisesti kaksisuuntainen järjestelmä. Tällöin sähkö tuotetaan asuinalueella mutta lisäsähköä voidaan ostaa sähköyhtiöltä ja vastavuoroisesti myydä mahdollista ylijäämätuotantoa takaisin verkkoon. Ylijäämän myynnissä on huomioitava, ettei tällä hetkellä ole taloudellisesti kannattavaa suunnitella laitosta niin, että se tuottaisi jatkuvasti ylijäämäsähköä. Sähköntuotannon ylijäämän myymisestä sähköyhtiölle on aina tehtävä verkkopalvelusopimus sähkön ostajan kanssa. (7; 8.)

Kun sähköntuotanto ja alueen sisäinen sähköverkko liitetään jakeluverkkoon, sen tulee täyttää jakeluyhtiön laatuvaatimukset. Jotta tässä tapauksessa kiinteistön

sisäinen sähköntuotanto ja sen jakelu useaan asuinrakennukseen on sähkömarkkinalain mukainen, täytyy sähkön jakelu mittaroida kiinteistön sisäisesti ja jakeluverkkoon liitytään yhdellä liittymällä. (10.)

Sähkömarkkinalaki ja sähkön verotus ei vielä ole täysin ajantasainen hajautetun sähköntuotannon osalta. Vuosina 2016–2018 toiminut työ- ja elinkeinoministeriön asettama Älyverkko-työryhmä selvitti yksityisasiakkaan mahdollisuuksia osallistua sähkömarkkinoille. Työryhmä kannattaa energiayhteisöjä, joka GeoHouse Älykyläkin toteutuessaan olisi. Kohde jaotellaan työryhmän jaottelun mukaisesti kiinteistön sisäiseksi energiayhteisöksi. (11, s.18–20.)

Keskusverolautakunta on kesällä 2019 antanut ennakkopäätöksen ylijäämäisen sähkönmyynnin arvonlisäverotuksesta taloyhtiössä. Päätöksen mukaan ylijäämäisähkön vastikkeellinen myynti on verotuksen alaista liiketoimintaa. Mikäli ylijäämä luovutettaisiin sähköyhtiölle vastikkeetta, ei verovelvoitetta ole. (12.)

3.2 Lämmön ja sähkön yhteistuotanto

Lämpöä ja sähkö tuottavasta laitoksesta käytetään nimitystä CHP, joka on lyhenne sanoista Combined Heat and Power. Nimensä mukaisesti CHP-laitos tuottaa sekä lämpöä että sähköä n. 80–95 %:n hyötysuhteella. Polttoaineena voidaan käyttää nestettä, kaasua tai kiinteitä polttoaineita poltintyyppin mukaan. Tulevaisuudessa polttoaineena käytetään enenevässä määrin uusiutuvia biopolttoaineita, kun fossiilisten polttoaineiden ja turpeen käytöstä luovutaan lähivuosikymmenten aikana. On kuitenkin huomioitava, että myös biopolttoainetta käyttävä CHP-laitos tuottaa hiilipäästöjä. (13, s. 4.)

CHP-laitokset jaotellaan karkeasti kolmeen ryhmään: mikro-CHP, pien-CHP ja suuren kokoluokan CHP. Mikro-CHP on nimensä mukaisesti jaottelun pienin, talokohtainen tai muutaman talon energiantarpeen tuottava yleensä alle 50 kW laitos. Pien-CHP taas kattaa alle 10MW kokoiset tuotantolaitokset. Opinnäytetyössä mitoitettava laitteisto sijoittuu tällä jaottelulla pien-CHP-luokkaan. (13, s. 4.)

Asuinkohteissa CHP-laitosta ajetaan yleensä lämmöntarpeen mukaan. Tällöin pientaloalueen suunnittelussa on huomioitava kesäajan vähäisestä lämmöntarpeesta johtuva aika, jolloin CHP-laitos on pysähdyksissä. Lämpimän käyttöveden ja sähkön tarve on kuitenkin lähes vakio ympäri vuoden, joten energiansaannin turvaamiseksi tarvitaan varavirtaa ja huipputehon kattavat järjestelmät. Huipputehoa tuottava varajärjestelmä voitaisiin mitoittaa niin, että sillä voidaan tuottaa tarvittava energia myös silloin, kun tehontarve on CHP-laitoksen minimitehoa matalampi. On myös todennäköistä, että laitos kohtaa elinkaarensa aikana toimintahäiriön, jolloin myös tarvitaan varajärjestelmää. (14.)

3.3 Muita energiantuotannon vaihtoehtoja

CHP-laitoksen lisäksi on olemassa lukemattomia sähkön- ja lämmöntuotannon vaihtoehtoja, jotka sopivat omavaraiseen energiantuotantoon. Näitä vaihtoehtoja ovat mm. aurinkoenergian eri laitteistot, erilaiset lämpöpumput, kattilalaitokset, mikrovesiturbiinit ja tulisijat (15). Valinta tehdään etsimällä kohteeseen sopivista vaihtoehdoista asukkaalle mieleisin vaihtoehto tai hybridiratkaisu. Tällöin kriteereinä ovat usein esimerkiksi takaisinmaksuaika, hankintahinta sekä käytettävyys.

3.4 Energian varastointi

Energiaomavaraisuuteen pyrittäessä energian varastointi on yksi olennainen komponentti. Lämpöä voidaan varastoida energiavaraajiin, jotta lämmintä käyttövedettä on saatavilla silloin kun sitä tarvitaan. Energiavaraaja voi olla myös ns. hybridivaraaja, jolloin varaajaa voidaan lämmittää kahdella tai useammalla eri energianlähteellä.

Sähkön varastointi esimerkiksi aurinkojärjestelmien yhteydessä voidaan suorittaa akkujen avulla. Tällä hetkellä akkujen ongelma on kuitenkin niiden korkea hankintahinta. Myös sähköautojen akkuja voidaan käyttää osana asuinrakennuksen sähkövarastoa (16.)

Jotkin sähköyhtiöt ovat tuoneet markkinoille virtuaaliakun, johon kyseiseltä yhtiöltä hankitun aurinkopaneelin ylijäämää voidaan ikään kuin varastoida virtuaa-

liakkuun. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että asiakas saa virtuaaliakkuun varastoidusta sähköstä korvauksen, jolla asiakas voi ostaa yhtiöltä sähköä. Esimerkiksi Helen tarjoaa sähkövarastoasiakkailleen virtuaaliakkua, jossa asiakas saa 13 snt/kWh hyvitystä verkkoon ”varastoidusta” sähköstä ja saadulla korvauksella tasataan ostosähkön osuutta sähkölaskussa. (17.)

4 TALOAUTOMAATIO JA KIINTEISTÖN SISÄINEN SÄHKÖVERKKO OSANA ENERGIATEHOKASTA ASUMISTA

Nykyaikainen taloautomaatio on oleellinen osa nykyaikaista energiatehokasta asuinrakennusta. Omavaraisesta sähköntuotannosta puhuttaessa myös kiinteistön sisäinen sähköverkko on välttämätön, mikäli halutaan jakaa sähköä ilman, että sähköyhtiö on jakelussa välikätenä. Saatavilla olevan tekniikan määrä on lähes rajaton lämmityksestä kodin turvajärjestelmiin. Jotta asuminen on mielekästä ja tekniikan hyödyntäminen sujuvaa ja tehokasta, täytyy nämä järjestelmät suunnitella kohdekohtaisesti käyttäjä huomioiden. (18.)

Nykyaikainen älykäs taloautomaatio ja kiinteistön sisäinen sähköverkko ovat oleellinen osa myös GeoHouse Älykylän kokonaisuutta. Taloautomaatio tuo energiatehokkuuden lisäksi mukavuutta asumiseen ja sisäinen sähköverkko varmistaa sähkönjakelun toimivuuden.

4.1 Talotekniikan käyttäjälähtöinen suunnittelu

Nykyaikainen taloautomaatio integroi talotekniikan ja kodin elektroniikan järjestelmät yhteen käyttöliittymään usean rinnakkaisen laitekohtaisen käyttöjärjestelmän sijasta. Käytännössä esimerkiksi puhelinsovelluksella voi ohjata esimerkiksi tietyn huoneen valaistusta ja lämpötilaa. Vastavuoroisesti järjestelmä taas ilmoittaa hälytyksillä vioista, kuten vesivuodosta. Taloautomaatioon voidaan liittää myös terveydenhuollon järjestelmiä, esimerkiksi lääkerobotti ja videoneuvottelulaitteet, joilla voi osallistua esimerkiksi fysioterapiatunnille. (18.)

Käyttäjän kokemukseen älykkäästä taloautomaatiosta vaikuttavat toiminnalliset, tekniset ja taloudelliset ominaisuudet. Toiminnallisista ominaisuuksista tärkeimpinä pidetään helppoa käytettävyyttä, toimivuutta ja järjestelmien varmatoimisuutta sekä mahdollisimman pientä tarvetta puuttua järjestelmän toimintoihin. Toisin sanoen älyrakennus huolehtii itsenäisesti sille asetetuista vaatimuksista ja tarvittavia muutoksia on helppo tehdä. Teknisistä ominaisuuksista tärkeimpiä

ovat helppous ja säädettävyys, turvallisuus sekä liittäminen alueellisiin järjestelmiin. Taloudellisista ominaisuuksista korostuu ajantasainen energiankulutuksen kustannusten seuranta sekä järjestelmän asuinrakennukseen tuoma taloudellinen arvonlisäys. (19, s. 21.)

Älyrakennusta suunniteltaessa on huomioitava teknisen suunnittelun vaativuus tavanomaiseen rakennukseen verrattuna. Järjestelmien yhteensovittaminen sekä järjestelmän käyttöönotto ja säätö vaativat ammattitaitoa, jotta saavutetaan toimiva käyttäjää palveleva kokonaisuus. (19, s. 26–27.)

Rakennusten älyautomaation valmistajia, suunnittelijoita ja urakoitsijoita on pelkästään Suomessa lukuisia. Käytännössä tekniikan ja urakoitsijan valintaan vaikuttavat aina asiakkaan mieltymys ja kustannukset. (20.)

4.2 Kiinteistön sisäinen sähköverkko

Kiinteistön sisäinen sähköverkko on pieni sähköverkon keskittymä, joka voi toimia sekä jakeluverkon osana että itsenäisenä sähköä jakelevana alueena. Se perustuu tyypillisesti alueen omaan energiantuotannon jakeluun ja varastointiin. (21; 22.)

Jotta GeoHouse Älykylän kaltaisen kiinteistön sisäinen sähköjakelu onnistuu ja on sähkömarkkinalain sekä jakeluyhtiön säännösten mukainen, täytyy alueella olla oma sisäinen sähköjakelujärjestelmä ja mittarointi (10). Talokohtainen mittarointi on tarpeellinen myös osuuskunnan näkökulmasta, sillä GeoHouse Älykylän tapauksessa koko osuuskunta on yksi asiakas jakeluverkkoon päin. Tällöin osuuskunta jaottelee sähkönkulutuksen maksut itsenäisesti talokohtaisen mittaroinnin perusteella.

5 KOHTEEN ENERGIANTARPEEN SELVITYS

Asuinalueen energiantarpeen laskennassa käytettiin arkkitehdin suunnittelemaa erillistalon mallia, jonka nettoala on 151,38 m² ja asukkaina nelihenkkinen perhe. Todellisuudessa energiantarve vaihtelee asuinrakennuksen koon ja henkilömäärien mukaan. Aluesuunnitelma sisältää sekä erillis- että paritaloja, mutta laskennan yksinkertaistamiseksi paritalot kuvattiin kahtena erillistalona. Tämä osaltaan nostaa lämmöntarvetta todellista korkeammaksi, mutta koska paritaloja on vain muutama, ei tulos vääristy huomattavasti. Koska kohde rakennetaan ryhmärakentamisen keinoin, ovat asuinrakennuksen yhdenmukaisia rakennusmateriaaleiltaan ja vaihtelua muodostuu rakennuksen koosta, henkilömäärästä sekä talon sijoittelusta ilmansuuntiin nähden. Katsottiin, että tässä esitetty yksinkertaistaminen antaa suuntaa antavan tuloksen, jolla voidaan jatkaa suunnittelutyötä.

5.1 Erillistalo

Erillistalo on puurakenteinen omakotitalo, joka koostuu itse asuinrakennuksesta ja sen yhteydessä olevasta lasitetusta terassitilasta. Lasitettu tila sijoittuu talon eteläpuolelle eikä sen vaikutus talon lämmitykseen ole kovinkaan suuri, joten se jätettiin huomioimatta. Tehtiin myös oletus, että kaikki talot sijoittuvat saman suuntaisesti yläpohjan jakautuen suoraan etelä-pohjoissuunnassa. Erillistalon lämmöntarpeen laskennassa käytetyt tunnusluvut on esitetty taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Erillistalon rakenteet ja lämmönläpäisyn tunnusluvut (liite 1)

Erillistalo		Pinta-ala [m ²]	U-arvo [W/m ² K]	H [W/K]
Ulkoseinät	Itä	45,99	0,12	5,52
	Etelä	22,37	0,12	2,68
	Länsi	43,65	0,12	5,24
	Pohjoinen	37,50	0,12	4,50
	YHT	149,51		
Alapohja		75,69	0,08	6,06
	A _{netto}	151,38		
Yläpohja	Etelä	56,05	0,08	4,48
	Pohjoinen	42,48	0,08	3,40

Talon energiantarpeen mitoitus suoritettiin laskemalla kuukausittainen lämmöntarve MRL:n energiatehokkuus -asetuksen ja ympäristöministeriön energiatehokkuuden laskentaohjeiden mukaisesti. Rakennuksen lämmöntarpeessa käytettiin kaukolämmön periaatteita, jotka on esitetty ympäristöministeriön laskentaohjeissa. (23; 24.)

Asetuksen 1010/2017 pykälän 4 mukaisesti energianlaskennan kohderakennus luokitellaan käyttötarkoituusluokkaan 1b), sillä se on erillinen pientalo, jonka lämmitetty nettoala on yli 150 m² mutta alle 600m² (24, 4. §).

E-luvun laskenta suoritetaan asetuksen mukaan säävyöhykkeellä I. Koska mitoituksesta haluttiin todenmukaisempi, laskenta suoritettiin säävyöhykkeen III tiedoilla, johon Utajärvi kuuluu (24, 9. §). Kuukauden keskilämpötilat ja kuukauden tunnit on esitetty taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Säävyöhykkeen III säätiedot ja kuukauden tunnit (24, 9. §)

Kuukausi	T _u [°C]	t [h]
tammikuu	-8	744
helmikuu	-7,1	672
maaliskuu	-3,53	744
huhtikuu	2,42	720
toukokuu	8,84	744
kesäkuu	13,39	720
heinäkuu	15,76	744
elokuu	13,76	744
syyskuu	9,18	720
lokakuu	4,07	744
marraskuu	-1,76	720
joulukuu	-5,92	744
	keskiarvo 3,43	tunnit yht. 8760

Laskennassa käytetään useaan otteeseen rakennuksen käyttöaika, käyttöastetta sekä sisäisen lämpökuorman tunnuslukuja, jotka on esitetty taulukossa 3 (24, 11. §).

TAULUKKO 2. E-luvun laskennassa käytettäviä tunnuslukuja ja kertoimia (24, 11.

§)

Käyttötar- koitusluokka	Käyttöaika		Käyttöaste	Sisäinen lämpökuorma lämmitet- tyä nettoalaa kohti		
	Vuoro- kautinen [h/24]	Viikoittainen [d/7d]		-	Valaistus [W/m ²]	Kuluttaja- laitteet [W/m ²]
Luokka 1)	24	7	valaistus 0,1, muut 0,6	6	3	2

Laskenta aloitettiin määrittämällä asuinrakennuksen lämmitysenergian netto-
tarve, josta vähennettiin rakennuksen ja asumisen lämpökuormat. Tällöin erillis-
talon lämmöntarpeeksi saadaan vuositasolla 8665 kWh ja lämpimän käyttöveden
tarpeeksi 5369 kWh. Lämpimän käyttöveden laskennassa on käytetty nettotar-
peena ohjeistuksen mukaista omakotitalon maksimiarvoa 4200 kWh sekä 300
litran lämminvesivaraajaa. Kuukausittainen tilojen ja lämpimän käyttöveden ener-
giantarve on esitetty taulukossa 4.

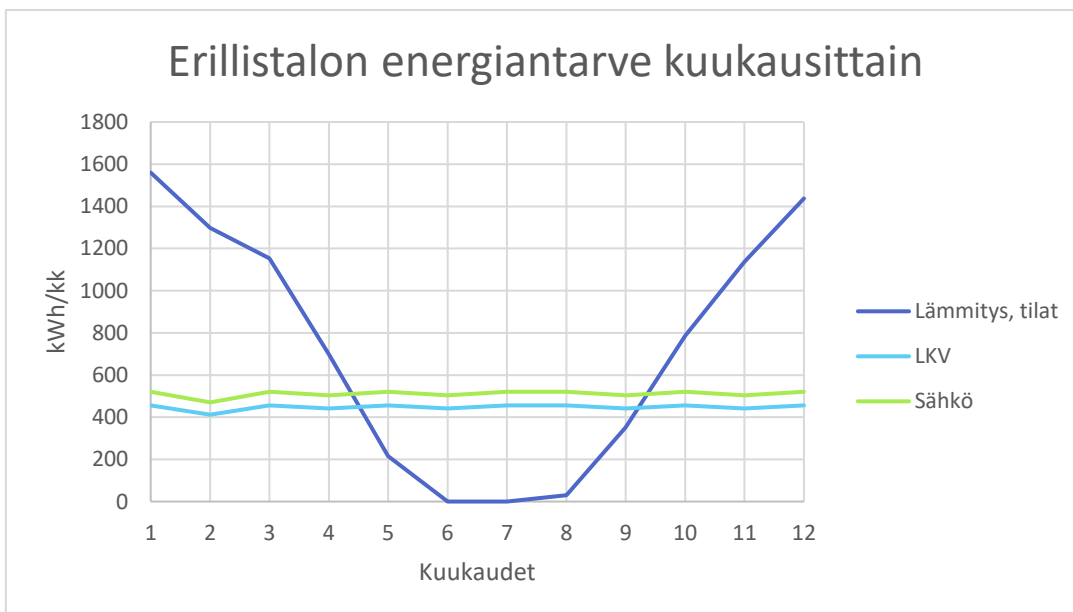
TAULUKKO 3. Kuukausittainen energiantarve tilojen ja lämpimän käyttöveden
lämmitykseen [kWh]

	Tilojen lämmöntarve	Lämmitysjärjestelmien energiankulutus	
	Q _{lämmitys,tilat,netto} [kWh]	Q _{lämmitys,tilat} [kWh]	Q _{lämmitys,LKV} [kWh]
tammikuu	1248,22	1560,27	456,01
helmikuu	1038,19	1297,74	411,88
maaliskuu	922,57	1153,22	456,01
huhtikuu	558,11	697,64	441,30
toukokuu	172,21	215,26	456,01
kesäkuu	0,00	0,00	441,30
heinäkuu	0,00	0,00	456,01
elokuu	23,42	29,28	456,01
syyskuu	281,77	352,22	441,30
lokakuu	628,60	785,75	456,01
marraskuu	909,51	1136,89	441,30
joulukuu	1150,15	1437,69	456,01
YHT.	6932,77	8665,96	5369,10

Taulukosta 4 nähdään, kuinka tilojen lämmitystarve ja lämmitysjärjestelmän energiantarve vaihtelevat ulkolämpötilan mukaisesti. Laskenta on tehty kuukauden keskilämpötilan mukaisesti, jolloin todelliset kulutushuiput rajautuvat pois. Lämmön nettotarve on saatu vähentämällä tilojen lämmöntarpeesta lämpökuormat. Lämmitysjärjestelmien energiankulutuksen hyötysuhteina on käytetty lämmityksessä 80 % ja lämpimän käyttöveden siirrolle 80 %.

Sähkönkulutuksena keskitettyyn lämmönjakeluun kytketylle talolle käytettiin Vattenfallin laskurilla saatua lukemaa 150 m² kokoiselle kaukolämmöllä lämmitetylle omakotitalolle, jossa asuu 4-henkinen perhe. Tällöin sähkötarve on 6130 kWh vuodessa. Maalämmössä olevan talon sähkönkulutus on saman laskurin mukaan 11 466 kWh vuodessa. Sähkönkulutuksen ero näiden kahden vaihtoehdon välillä johtuu maalämpöpumpun sähkötehosta (25.)

Kuvaajat sähkön, lämmityksen ja lämpimän käyttöveden vuotuisesta energiantarpeesta on esitetty liitteessä 2. Erillistalon kuukausittaiset energiantarpeet vuoden aikana on esitetty kuvassa 5.



KUVA 4. Erillistalon energiantarve kuukausittain vuoden aikana [kWh/kk]

Kuvasta 5 nähdään, että lämmityksen energiankulutus vaihtelee hyvin paljon vuodenajan mukaisesti. Kylminä talvikuukausina energiankulutus lähenee kuukausitasolla 1600 kWh:a kun kesäkuukausina lämmöntarvetta ei käytännössä ole. Sähkön ja lämpimän käyttöveden kulutuksen osalta voidaan todeta niiden olevan lähes vakio ympäri vuoden, sillä ne on laskettu vuotuisesta kulutuksesta. Todellisuudessa sähkön ja lämpimän käyttöveden energiankulutus vaihtelee myös jonkin verran vuodenaikojen mukaan.

5.2 Kylätalo

Kylätalon energiantarpeen mitoitus tehtiin samalla periaatteella kuin erillistalon, sillä myös se asettuu käyttötarkoitukseluokkaan 1. Laskennassa käytettiin kuitenkin käyttöaikana 9 h vuorokaudessa 5 vrk viikossa. Kylätalon pinta-ala, lämmönjohtavuus ja lämmönsiirtokerroin on esitetty taulukossa 5 ja niihin pohjautuva energiantarve taulukossa 6.

TAULUKKO 4. Kylätalon pinta-ala, lämmönjohtavuus ja lämmönsiirtokerroin

Kylätalo		Pinta-ala [m ²]	U-arvo [W/m ² K]	H [W/K]
Ulkoseinät	Itä	91,89	0,12	11,0268
	Etelä	43,75	0,12	5,25
	Länsi	97,05	0,12	11,646
	Pohjoinen	35,58	0,12	4,2696
Alapohja		282,84	0,08	22,6272
	A _{netto}	366,24		
Yläpohja	Etelä	153,45	0,08	12,276
	Pohjoinen	172,8	0,08	13,824

TAULUKKO 5. Kylätalon energiantarve

	Lämmitysjärjestelmien energiankulutus		
	$Q_{\text{lämmitys,tilat,netto}}$ [kWh]	$Q_{\text{lämmitys,tilat}}$ [kWh]	$Q_{\text{lämmitys,LKV}}$ [kWh]
tammikuu	2311,45	1849,16	400,80
helmikuu	1975,06	1580,05	362,01
maaliskuu	1903,41	1522,73	400,80
huhtikuu	1414,53	1131,62	387,87
toukokuu	950,23	760,19	400,80
kesäkuu	666,56	533,25	387,87
heinäkuu	507,95	406,36	400,80
elokuu	688,95	551,16	400,80
syyskuu	979,82	783,86	387,87
lokakuu	1444,40	1155,52	400,80
marraskuu	1803,07	1442,45	387,87
joulukuu	2157,94	1726,35	400,80
YHT.	16803,38	13442,71	4719,10

Taulukosta 6 nähdään taulukon 4 tavoin talvikuukausien suurempi lämmityksen energiantarve. Kylätaloa lämmitetään myös kesäaikana, sillä lämpökuormat eivät riitä kattamaan kesän lämmöntarvetta. On kuitenkin huomioitava, että kylätalon piirroksissa rakennuksen pohjoispuolella on lasitettu puolilämmin tila, joka todellisuudessa muuttaa tilannetta. Tällöin pohjoisseinältä ei haihdu niin paljon lämpöä suoraan ulkoilmaan, kuin laskennassa on oletettu.

Kylätalon sähköntarve laskettiin energiatehokkuuden laskentaohjeiden mukaisesti ja on esitetty osa-alueittain taulukossa 7.

TAULUKKO 6. Kylätalon sähköntarve

	Kuluttajalaitteiden, valaistuksen ja IV-puh. sähköenergiankulutus					Ostosähkö
	W_{tilat} (kWh)	W_{iv} (kWh)	$W_{\text{valaistus}}$ (kWh)	$W_{\text{tuotto,apu}}$ (kWh)	$W_{\text{kuluttajalaitteet}}$ (kWh)	$W_{\text{ostosähkö, yht}}$ (kWh)
tammikuu	62,21	757,56	16,91	25,64	101,46	963,77
helmikuu	56,19	684,25	15,27	25,64	91,64	872,99
maaliskuu	62,21	757,56	16,91	25,64	101,46	963,77
huhtikuu	60,20	733,12	16,36	25,64	98,19	933,51
toukokuu	62,21	757,56	16,91	25,64	101,46	963,77
kesäkuu	60,20	733,12	16,36	25,64	98,19	933,51
heinäkuu	62,21	757,56	16,91	25,64	101,46	963,77
elokuu	62,21	757,56	16,91	25,64	101,46	963,77
syyskuu	60,20	733,12	16,36	25,64	98,19	933,51
lokakuu	62,21	757,56	16,91	25,64	101,46	963,77
marraskuu	60,20	733,12	16,36	25,64	98,19	933,51
joulukuu	62,21	757,56	16,91	25,64	101,46	963,77
YHT.	732,48	8919,64	199,10	307,64	1194,59	11353,46

Taulukossa 7 esitetyt sähköntarpeet osa-alueittain perustuvat rakennuksen käyttötösteeseen ja käyttötarkoitukseluokan 1 laskennassa käytettäviin kertoimiin, jotka on esitetty aiemmin taulukossa 3.

5.3 Tuntinen tehontarve

Energiantuotantoa mitoitettaessa täytyy selvittää kohteen tuntiset tehontarpeet. Omakotitalojen lisäksi alueella on kylätalo, jonka osuus huomioidaan tehontarpeen määrittämisessä, vaikka se ei ole tässä kokoluokassa yksittäisenä energiankuluttajana kovinkaan merkittävä.

Koska todellisuudessa asuintaloissa energiaa ei kuluteta identtisesti juuri samaan aikaan, luotiin pientaloille kolme eri kulutusprofiilia. Näiden kulutusprofiilien kulutushuiput vaihtelevat keskenään, mikä jäljittelee todellista tilannetta. Sähkön ja lämpimän käyttöveden kulutuksen katsottiin olevan vakio, vaikka todellisuudessa pimeään vuodenaikaan kulutetaan enemmän sähköä kuin kesäaikaan. Lämmitys taas oli eri kulutusprofiileissa sama, sillä asuintalojen materiaaleissa ja ulkoilman lämpötilassa ei ole eroavaisuuksia keskenään.

Tässä opinnäytetyössä tuntinen tehontarve rakennettiin kuukausittaisten energiatarpeiden pohjalta, sillä kyseessä on uudiskohde, jonka kulutuksesta ei ole mitattua dataa. Käytetyn laskentatavan vuoksi tulokset ovat suuntaa antavia, sillä todelliset kulutushuiput eivät käy ilmi laskelmissa. Sähkötehontarve voi todellisuudessa olla yli 100 kW, vaikka tässä laskennassa esitetty huipputehontarve on pienempi. Esimerkki erillistalon sähkön ja lämpimän käyttöveden tuntisesta tehontarpeesta vuorokauden aikana on esitetty kuvissa 6 ja 7.

Kuvassa 6 on esitetty lämpimän käyttöveden tehontarvetta nelihenkisessä perheessä, jossa aamutunteina klo 7–9 asukkaat suorittavat aamutoimensa. Vastaavasti iltapäivän ja alkuillan kulutuspiikki ajoittuu aikaan, kun koko perhe on jälleen kotona.



KUVA 5. Lämpimän käyttöveden tuntinen tehontarve, kulutusprofiili 1

Kuvan 7 tehontarve mukailee kuvassa 6 esitettyä lämpimän käyttöveden tehontarvetta, sillä sähköntarve mukailee aikoja, jolloin asukkaat ovat kotona. Alin tehontarve 0,15 kW sisältää kodin laitteet, jotka ovat käynnissä ympäri vuorokau-

den vuoden jokaisena päivänä. Illan kulutuspiikki 2,20 kW muodostuu ruoanlaitosta, TV:stä ja muista kodin laitteista, joita perhe käyttää. Mikäli kyseessä olisi saunapäivä ja talossa on sähkösauna, voisi tuntinen huipputehontarve todellisuudessa ylittää 10 kW.



KUVA 6. Sähkön tuntinen tehontarve, kulutusprofiili 1

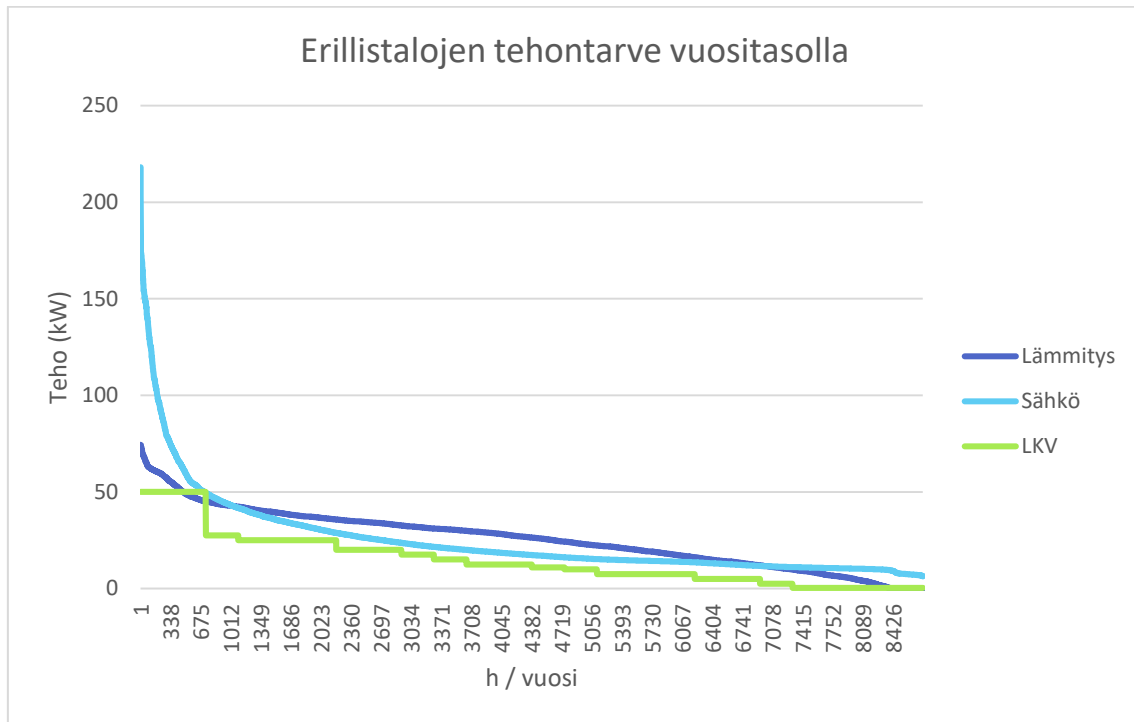
Eri kulutusprofiileja luomalla voidaan keinotekoisesti mukaila asuinalueen todellista tehontarvetta. Tehontarve riippuu aina asukkaiden lukumäärästä ja heidän elintavoistaan, joten esitetyllä laskentatavalla ei voida saavuttaa tarkkaa kuvausta. Tuntiprofiilien luominen on kuitenkin hyvä työkalu suunnitteluvaiheessa, kun mitattua dataa kohteesta ei vielä ole.

Lämmityksen, sähkönkulutuksen ja lämpimän käyttöveden tuntiset tehontarpeet yhdistämällä saatiin kulutushuiput ja ne on esitetty taulukossa 8.

TAULUKKO 7. Huipputehot [kW]

HUIPPUTEHOT (asuminen)		
LKV	46,10	kW
Sähkö	49,90	kW
Lämmitys	70,91	kW
HUIPPUTEHOT (kylätalo)		
LKV	1,60	kW
Sähkö	2,50	kW
Lämmitys	3,52	kW
HUIPPUTEHOT (yhteensä)		
LKV	47,70	kW
Sähkö	52,40	kW
Lämmitys	74,43	kW

Kun tehontarvetta tarkastellaan koko vuoden ajalta tuntisten tehojen mukaan, huomataan, että yli 50 kW:n kulutusta on n. 500 tuntia vuodessa. Kulutusprofiilien mukaan sähkön huipputeho on 52,40 kW. Kuvassa 8 on esitetty koko asuinalueen tuntiset tehontarpeet pysyvyyskäyrällä koko vuoden aikana. Kuvan 8 sähkönkulutuksen pohjatietona on käytetty Motivan esimerkkitalon vuotuista sähkönkulutusta, joka on kerrottu asuinalueen talojen lukumäärällä. Todellinen huippu on jossain kahden edellä mainitun huipputehontarpeen välimaastossa.



KUVA 7. Erillistalojen (25kpl) tehontarve vuositasolla [kWh]

Kuvasta 8 huomataan, että huippukulutustunteja on n. 340 tuntia vuodessa ja suurin osa energiankulutuksesta sijoittuu 50 kW tehon alapuolelle. Lämpimän käyttöveden kulutus on esitetty porraskäytävällä. Tämä esitystapa johtuu siitä, että lämpimän käyttöveden vuosikulutus on koottu identtisistä vuorokausista.

6 ENERGIANTUOTANNON JA -JAKELUN MITOITUS

Kohteeseen mitoitettiin lämmönjakeluverkko, CHP-laitos, aurinkopaneelit sekä maalämmitys. CHP-laitos käyttää rinnalla aurinkosähköä ja lämmönjako tapahtuu keskitetyn lämpöverkon kautta. Vertailuvaihtoehtona on maalämmön ja aurinkosähkön yhdistelmä. Tällöin maalämpö mitoitetaan kattamaan 90% lämmityksestä, aurinkosähköllä tuotetaan käyttösähkö sekä lämmin käyttövesi. Kummasakin vaihtoehdossa varavirtana toimii ostosähkö jakeluverkosta.

6.1 Lämmönjakeluverkon mitoitus

Lämmönjakeluverkko piirrettiin aluesuunnitelmaan lyhintä mahdollista reittiä pitkin. Johto kulkee teiden laidassa, jolloin se voidaan rakentaa samanaikaisesti ja mahdollisten korjaustöiden vuoksi ei tarvitse avata piha-alueita. Jakelu- ja talojohdon pituudet on merkitty kuvaan 10, jossa punaisella kuvataan jakelujohtoa ja keltaisella talojohdot.



KUVA 8. Asuinalueen jakelujohto punaisella ja talojohdot keltaisella

Lämmönjakeluverkon putkistomitoitus tehtiin lämpimän käyttöveden ja lämmitykseen tuntitehoihin pohjautuen. Sekä erillistalon että kylätalon lämpimän käyttöveden tehona käytettiin 5 kW:a. Jokaisen johdon haaraan huomioitiin talojen tarvittava lämpöteho sekä viimeisen talon mitoituskäyttövesiteho 63,5 kW. Näin saatiin putken poikkipinta-ala, josta edelleen laskettiin putken halkaisija. Tuntiset lämmön ja lämpimän käyttöveden mitoitustehot on esitetty taulukossa 9.

TAULUKKO 8. Rakennusten lämpimän käyttöveden ja lämmityksen tuntinen mitoitustehontarve

Tehontarve, siirto	Φ _{lv} [kW]	Φ _{läm} [kW]	Φ _{yht} [kW]
Erillistalo	5,00	2,84	7,84
Kylätalo	5,00	3,52	8,52

Lämpöjohtojen kustannuksena käytettiin Energiategollisuuden lämpöjohtojen kokonaiskustannustilaston hieman alle keskiarvon olevia hintoja (26, s. 3). Koska kohde sijoittuu peltomaalle, voidaan olettaa, että hinta on jonkin verran alle keskiarvon. Laskennassa käytetyt kustannusarviot metriä putkea kohti on esitetty taulukossa 10.

TAULUKKO 9. Lämpöjohtojen kokonaiskustannukset putkikoon mukaan

Lämpöjohtojen kokonaiskustannukset			
*sis. Maanrakennus, materiaali, putki ja liitostyö			
Mpuk		2Mpuk	
DN	€/m	DN	€/m
20	90	20	150
25	125	25	185
40	115	40	140

Putken halkaisija saatiin poikkipinta-alasta kaavalla 1. Mitoitusvirtausnopeutena käytettiin 2 m:ä/s.

$$d_{\text{johto}} = \sqrt{\frac{A_{\text{johto}}}{\pi \cdot v_{\text{mit}}}} * 10^{-3}$$

KAAVA 1

jossa $d_{johto} = \text{lämpöjohtodon halkaisija [mm]}$

$A_{johto} = \text{lämpöjohtodon poikkipinta – ala [m]}$

$v_{mit} = \text{mitoitusvirtausnopeus } \left[\frac{m}{s}\right]$

Putkikoon avulla voitiin laskea johtojen kokonaiskustannukset. Putkikoot ja mitat sekä kokonaiskustannukset on esitetty taulukossa 11. Vertailun vuoksi laskettiin hinta Mpuk- ja 2Mpuk-asennuksille, vaikka kaikki kohteen putket olisivatkin todennäköisesti kokonsa vuoksi Mpuk-tyyppisiä.

TAULUKKO 10. Jakelujohtojen koot ja kustannukset

Solmut:	l (m)	A (m ²)	d (mm)	DN	Hinta _{Mpuk} (€)	Hinta _{2Mpuk} (€)
1	57,00	0,00	34,48	25,00	7125,00	10545,00
2	63,90	0,00	33,43	25,00	7987,50	11821,50
3	112,41	0,00	29,26	25,00	14051,25	20795,85
4	57,70	0,00	31,97	25,00	7212,50	10674,50
5	42,70	0,00	30,45	25,00	5337,50	7899,50
6	117,80	0,00	29,66	25,00	14725,00	21793,00
7	58,70	0,00	33,81	25,00	7337,50	10859,50
8	104,75	0,00	33,43	25,00	13093,75	19378,75
9	61,20	0,00	32,71	25,00	7650,00	11322,00
10	105,60	0,00	32,71	25,00	13200,00	19536,00
11	104,40	0,00	30,84	25,00	13050,00	19314,00
Pituus yht.	886,16			Summa	110770,00	163939,60

Talojohtojen keskiarvopituutena käytettiin 25 metriä. Laskettaessa talojohdon tehontarvetta ja putkikokoa käytettiin lämpimän käyttöveden arvona 60 kW.

TAULUKKO 11. Talojohtojen mitoitus, pituus ja hinta

Tehontarve, talojohdot	Φ _{yht} [kW]	q _{v,kesä} [m ³ /s]	q _{v,talvi} [m ³ /s]	A [m ²]	DN	l [m]	Hinta _{Mpuk} [€]	Hinta _{2Mpuk} [€]
Erillistalo	62,84	0,000299	0,000183	0,000149	20	625	56250,00	93750,00
Kylätalo	63,52	0,000303	0,000184	0,000151	20	5	450,00	750,00
						YHT	56700,00	94500,00

Näin muodostuvat johtokustannukset on esitetty taulukossa 13.

TAULUKKO 12. Johdonrakentamiskustannukset johtotyypeittäin

Johtotyyppi	Kust. Yht [€]
Mpuk	119295
2Mpuk	198825
2Mpuk jakelu, Mpuk talojohdo	161025

Taulukosta 13 nähdään, että kohteeseen selvästi edullisin vaihtoehto on rakentaa lämmönjakeluverkko Mpuk-asennuksena.

Käytännössä alle DN40-putkikoon johdot rakennetaan Mpuk-tyyppisinä, jota puoltaa myös niiden edullisempi hinta. Kuten taulukoista 12 ja 13 nähdään, kohteen koko jakeluverkko on putkikokoa DN25 ja talojohdot putkikokoa DN20.

6.2 CHP-laitos

CHP-laitoksen mitoitus aloitettiin taulukossa 9 esitetyistä koko asuinalueen huipputehoista.

$$\phi_{\text{lämmitys}} = 74,43 \text{ kW}$$

$$\phi_{\text{lkv}} = 47,70 \text{ kW}$$

Suunnitteluteho on näiden tehojen summa eli

$$\phi_{\text{suunnittelu}} = 122,13 \text{ kW}$$

CHP-laitoksen mitoituksessa on kuitenkin huomioitava mahdolliset kulutuspiikit sekä energiavaraajan lataus. Tässä käytettiin apuna ns. Velanderin kaavaa (kaava 2):

$$\Phi_{Vel} = 63 * x * (0,1 + \frac{1-0,1}{\sqrt{x}})$$

KAAVA 2

jossa $x = \text{jakeluverkon rakennusten lukumäärä, tässä 25}$

$0,1 = \text{kerroin, jota on käytetty laskennassa}$

Velanderin tehoksi kaavalla 2 saadaan 458,64 kW. Käytännössä Velanderin teholla tarkoitetaan tehoa, joka täytyisi pystyä ylläpitämään 10 minuutin ajan kulu- tuspiikkien vuoksi.

Velanderin kaavaa käytettiin apuna energiavaraajan tehon mitoittamiseen kaavassa 3.

$$\Phi_{varaaja} = (\Phi_{Vel} + \Phi_{läm}) - (\Phi_{läm} + \Phi_{lkv})$$

KAAVA 3

Näin varaajan tehoksi saadaan 410,94 kW. Energiavaraajaa käytetään kuitenkin vain hetkellisten piikkien tasoittamiseen, joten sen käyttöajaksi otettiin sama 10 minuuttia, joka laitteistolla täytyy huippuhetkenä tuottaa. Tällöin energiavaraajan hetkellinen teho olisi 68,49 kW.

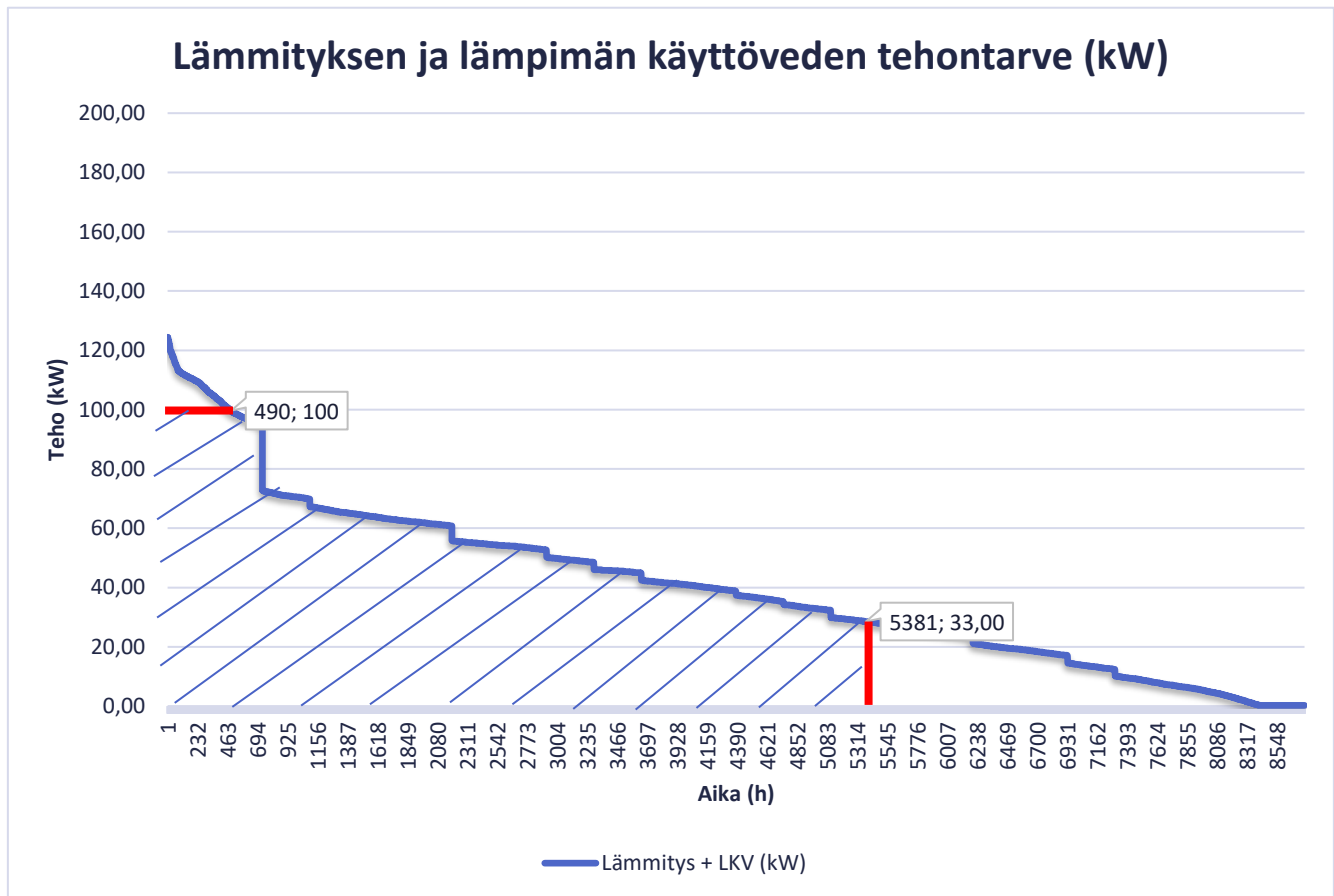
Kun energiavaraajan käyttöaika on 10 minuuttia, on 5/6 tunnista latausaikaa. Tällöin energiavaraajan latausteho on 57,08 kW. Varaajan kooksi saadaan hetkellisen tehon avulla noin 1400 litraa. Kun CHP:n häviöiksi oletetaan 10 %:a, saadaan laitteiston mitoitustehoksi 189,05 kW.

Volterin Volter40-laitteisto voi täydellä teholla tuottaa lämpöä 100 kW ja sähköä 40 kW, joten laitoksen kokonaisteho on 140 kW. Koska lämpötehon maksimi on 100 kW, kaksi yksikköä riittäisi kattamaan kohteen lämmöntarpeen suunnittelutehon mukaan. Kyseisen laitteiston tuottama maksimisähköteho on 40 kW per yksikkö, millä voitaisiin kattaa suurin osa sähköntarpeesta alueen sähkötehontarpeen huipun ollessa noin 100 kW. Vuorokautisia energiankulutusprofiileja tarkasteltaessa kuitenkin huomataan, että käytännössä yli 100 kW lämpötehontarvetta on vain muutamia tunteja vuodessa, josta tehtiin johtopäätös, että kohteeseen kannattaa asentaa vain yksi 100 kW laitos. Mikäli toiselta valmistajalta löytyy hie- man suurempi tai vaihtoehtoisesti kaksi pienempää CHP-yksikköä, voisi se olla

vartenotettava vaihtoehto, mikäli sen säätöalue on riittävän laaja kohteen matalan energiantarpeen vuoksi.

Valmistaja on ilmoittanut laitoksen minimilämmöntuottotehoksi 33 kW, jonka mukaan voidaan piirtää kuvassa 10 esitetty laitoksen ajokäyrä. Kuvasta 11 käy ilmi, että laitos on käynnissä n. 5380 tuntia vuodessa. Tällöin loput vuodesta käyttö

veden lämmitys, alle 30 kW:n lämpöteho ja sähköteho on tuotettava muilla keinoin. Käytännössä tämä aika sijoittuu suurilta osin kesäajalle, jolloin lämmöntarve on alhaisin. Tällöin esimerkiksi aurinkopaneelien, varavoiman tai ostosähkön tulee kattaa tarvittava energia.



KUVA 9. Lämmityksen ja lämpimän käyttöveden tehontarve ja CHP-laitoksen ajo

GeoHouse Älykylän kaltaisella pientaloalueella laitosta ajetaan lämmöntarpeen mukaan. Volter 40 yksikössä minimiteho on valmistajan mukaan 33% nimellistehosta, joten laitos on käynnissä 33–100 kW:n tehoalueella. Laitos tuottaa sähköä 2/5 suhteella lämmöntuotantoon verrattuna. Näin ollen 100 kW:n lämpötehoa ajettaessa tuotetaan 40 kW sähköä ja 60 kW teholla 24 kW. Tästä syystä sähkön osalta tarvitaan rinnakkainen järjestelmä, joka tässä esimerkissä on aurinko.

CHP-laitos tarvitsee aina varaenergianlähteen esimerkiksi polttoaineen huonon hetkittäisen saatavuuden tai huoltokatkon vuoksi. Käytännössä rinnalla voisi olla esimerkiksi sähkökattila. Voidaan kuitenkin tehdä päätös, että varajärjestelmä jätetään hankkimatta, etenkin jos aurinkoenergian kanssa voidaan hyödyntää virtuaaliakkua. Yksi vaihtoehto on myös ostaa alijäämä sähköverkosta, mikäli se on kustannuksiltaan järkevämpi vaihtoehto.

CHP-laitoksen hyötysuhteena käytettiin 0,9:ää. Kun alueen vuotuinen energiantarve on 560 590 kWh, siitä voidaan tuottaa kuvan 10 ajokäyrän perusteella CHP:lla noin 462 000 kWh. Kun polttoaineena käytetään puuhaketta, ovat polttoainekustannukset hinnalla 20,9 €/kg noin 10 750 € vuodessa.

6.3 Aurinkosähkö

Auringon potentiaalin selvittäminen aloitettiin kuukausittaisen sähköntuotannon tarkastelulla.

Esimerkkitalossa aurinkopaneeleille käytössä olevaa pinta-alaa on 68,4 m², josta enimmillään 2/3 olisi paneelien peittämää alaa. Aurinkopaneelien tuoton laskennassa on käytetty Utajärven säätietoja ja kohteen todellisten koordinaattien mukaista dataa auringon säteilystä. Paneelit osoittavat suoraan etelään ja niiden kallistuskulmana on käytetty katon kallistuskulmaa 39,8°.

Laskennassa käytettiin esimerkkinä Oulun Seudun Sähkön jälleenmyymää Naps premium -paneelia, jonka tiedot on esitetty taulukossa 14.

TAULUKKO 13. Paneelin tiedot (10.)

Naps-premium paneeli		
P_{max}	0,31	kW
P_{noct}	0,2296	kW
$A_{paneeli}$	1,6	m ²
n	42,75	kpl
$A_{käyt.oleva\ kattopinta-ala}$	68,4	m ²
$A_{paneelit,yht\ max}$	43,2	m ²
$A_{kesänmukaan}$	16	m ²
$P_{tot\ (max)}$	3,1	kWp
η	0,2025	
Kallistuskulma	39,8	°

Kuukausitason laskenta suoritettiin kohteen kuukausittaisilla keskiarvoilla, jotka on esitetty taulukossa 15.

TAULUKKO 14. Aurinkosähkön potentiaalin laskennassa käytetyt muuttujat (23; 27.)

	G_{aur} [kWh/m ²]	F
tammikuu	8,40	0,94
helmikuu	40,10	0,94
maaliskuu	68,00	0,97
huhtikuu	127,30	0,99
toukokuu	178,50	1,00
kesäkuu	150,40	1,01
heinäkuu	158,40	1,00
elokuu	127,90	0,99
syyskuu	100,50	0,97
lokakuu	37,20	0,96
marraskuu	12,90	0,94
joulukuu	3,70	0,93

Näin kesäajan sähkökulutuksen tuottavan asennuksen koko olisi n. 10 paneelia, ja niiden kuukausituotannon arvio on esitetty taulukossa 16. Asennuksen hinta on noin 6000 €.

TAULUKKO 15. Aurinkopaneelien kuukausittaisen tuoton arvio, kun mitoitus on tehty kesäkuukausien tarpeen mukaisesti

Aurinkopaneelin tuotto, kesäkuukausien mukaan mitoitettu	
Paneelien lkm	10
kuukausi	kWh
tammikuu	25,71
helmikuu	122,71
maaliskuu	213,45
huhtikuu	406,72
toukokuu	578,34
kesäkuu	490,66
heinäkuu	515,01
elokuu	411,54
syyskuu	315,46
lokakuu	115,94
marraskuu	39,33
joulukuu	11,16
YHT	3246,02

Taulukosta 16 nähdään, että kymmenen paneelin yhdistelmällä vuosituoton arvioksi saatiin 3246 kWh. Luonnollisesti paras tuotanto saadaan kesäaikaan, jolloin auringon valoa on enemmän saatavilla. Taulukossa 17 on esitetty vuotuisen sähkötarpeen mukaan mitoitettu tuotanto aurinkopaneeleilla.

TAULUKKO 16. Aurinkopaneelin sähköntuoton arvio, kun järjestelmä on mitoitettu vastaamaan koko vuoden sähkönkulutusta

Aurinkopaneelin tuotto, vuotuista sähkönkulutusta lähellä oleva kapasiteetti	
Paneelien lkm	19
kuukausi	kWh
tammikuu	69,40
helmikuu	331,33
maaliskuu	576,30
huhtikuu	1098,14
toukokuu	1561,52
kesäkuu	1324,78
heinäkuu	1390,53
elokuu	1111,15
syyskuu	851,74
lokakuu	313,03
marraskuu	106,20
joulukuu	30,12
YHT	8764,25

Kun aurinkopaneelit yhdistetään talokohtaiseen maalämpöjärjestelmään, täytyy ne mitoittaa koko vuoden sähkön ja lämpimän käyttöveden tehontarpeen mukaan. Näin vuotuinen sähköntuotanto aurinkopaneelilla on noin 8760 kWh. Tämän kokoluokan paneelien kustannukset ovat noin 10 000 €.

6.4 Maalämpö

Maalämpö mitoitetaan kohteessa 100 %:n lämmöntarvetta vastaavaksi. Tällöin käyttösähkö ja lämmin käyttövesi tuotetaan aurinkopaneeleilla. Käytännössä maalämpö tehdään joko talokohtaisena tai muutaman talon keskitettynä versiona. Vaikuttaa siltä, että keskitetyissä maalämmöissä ei kustannuksissa saada juuri voittoa talokohtaiseen verrattuna. Etenkin, jos alue ei rakennu kokonaan, olisi talokohtainen maalämpö sopivin lämmitysmuoto.

6.5 Ehdotus energiantuotannosta, takaisinmaksuaika ja kustannusarviot

Energiantuotannon vaihtoehtojen kannattavuutta verrattiin keskenään neljässä eri tilanteessa:

- investointituki ja liittymismaksu
- investointituki, ei liittymismaksua
- ei investointitukea, liittymismaksu
- ei investointitukea, ei liittymismaksua

Liittymismaksuna käytettiin laskennassa 50 %:n osuutta energiantuotannon investoinnista. Investointitukena käytettiin CHP:n ja aurinkosähkön yhdistelmälle 20 %:n osuutta kokonaisinvestoinnista. Maalämmön ja aurinkosähkön yhdistelmälle käytettiin 15 %:n osuutta kokonaisinvestoinnista. Koska investointituen saaminen on epävarmaa, verrataan opinnäytetyössä tilannetta, jossa mahdollista investointitukea ei ole huomioitu.

Ostosähkön hintana laskennassa käytettiin 12 snt/kWh, joka perustuu 18 000 kWh vuosikulutuksen hintaan Pohjois-Suomessa viime vuodenvaihteessa (28). Suoralla sähkölämmityksellä lämmitettäessä koko alueen sähkölaskun summa olisi n. 67 000 € vuodessa. Laskennassa ei huomioitu sähkön hinnannousua, joka voi olla joitain prosentteja vuodessa. Sähkö veloitetaan talokohtaisen mittaroinnin perusteella. Vuotuinen kokonaisenergiantarve ja kustannukset suoralla sähkölämmityksellä on esitetty taulukossa 18.

TAULUKKO 17. Asuinalueen vuotuinen nettoenergiantarve ja sähkön hinta

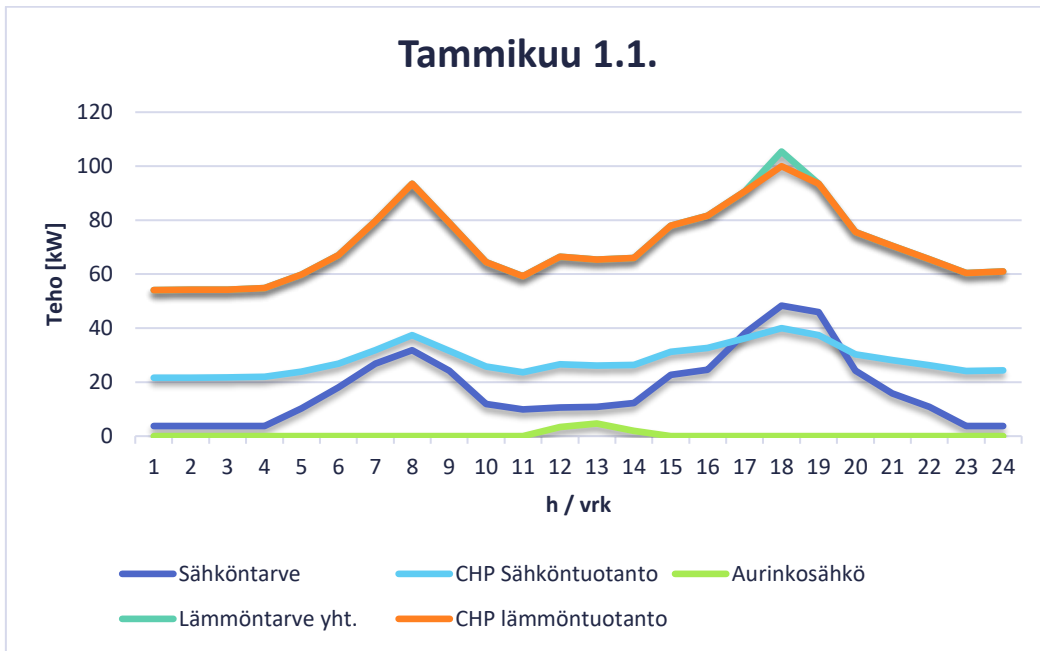
Energiantarve _{,netto} [kWh]		
Sähkö	164603,46	kWh
Lämpö	395987,36	kWh
Summa	560590,82	kWh
Suora sähkölämmitys ja käyttösähkö		
Hinta	12	snt/kWh
	0,12	€/kWh
Kok. hinta	67270,90	€/a

6.5.1 Vaihtoehto 1: CHP ja aurinkosähkö

CHP -tuotannon ja aurinkosähkön yhdistelmässä CHP-laitos vastaa pääosin lämmön ja sähkön tuotannosta. Aurinkopaneelilla tuotetaan sähköä noin 8 kuukautta vuodesta, jolloin sillä katetaan osa sähköntarpeesta ja kesäaikaan kuukausitasolla koko sähköntuotanto. Aurinkosähkö valittiin CHP-laitoksen rinnalle, sillä sen tuotto on hyvä juuri siihen aikaan vuodesta, kun lämmöntarve on pienempi eli CHP:llä ei voida tuottaa kaikkea käyttösähköä. Kesäaikaan aurinkosähköllä lämmitetään myös lämmin käyttövesi niinä aikoina, kun CHP on pois käytöstä. Laskentaesimerkissä käytetty Volter40 laitteisto ajetaan alas kokonaislämmöntarpeen ollessa alle 33 kW, joka on laitoksen minimiteho.

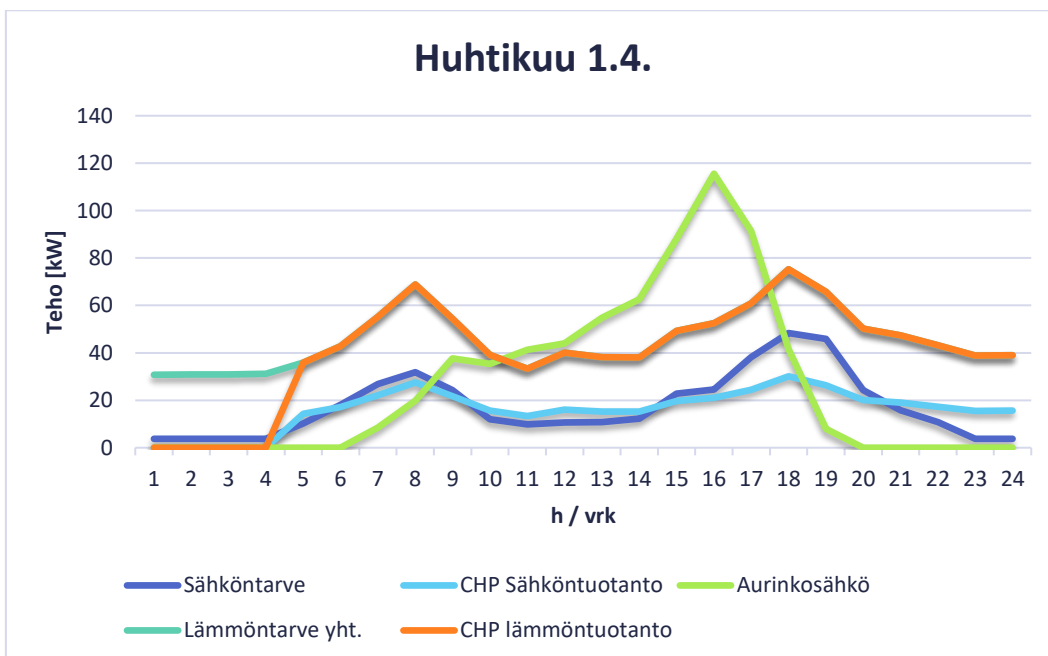
CHP ja aurinkosähkön yhdistelmästä tehtiin esimerkkivuorokaudet jokaiselle kuukaudelle. Esimerkkivuorokaudet kuvaavat päiväkohtaista tehontarvetta, tuotantoa ja mahdollisen ostosähkön tai ylijäämäsähkön määrää. Kuvissa 12 ja 13 on esitetty tammi- ja helmikuun kuvaajat tehontarpeen ja energiantuotannon osalta. Vuorokausiesimerkeissä aurinkosähkön potentiaali on laskettu tuntisen säteilytehon mukaisesti. Säteilytehot on saatu Euroopan komission ylläpitämästä PVGIS-palvelusta kohteen koordinaateilla ja esimerkkipaneelien tiedoilla (27).

Aurinkopaneelit mitoitettiin kesäkuukausien tehontarpeen mukaisesti, jolloin jokaisen asuintalon katolla olisi laskennassa käytettyjä esimerkkipaneeleita 10 kappaletta. Tällöin asennuksen koko on 16 m².



KUVA 10. Tehontarve ja energiantuotanto tammikuun 1.1.2018 säätiedoilla

Kuvasta 12 huomataan, että suurin sähkönkulutus kohdistuu alkuiltaan. Sähkötarpeen huipun ollessa noin 50 kW joudutaan talvikuukausina turvautumaan ostosähköön.



KUVA 11. Tehontarve ja energiantuotanto huhtikuun 1.4.2018 säätiedoilla

Kuva 13 otettiin tarkasteluun siksi, että huhtikuussa lämmöntarvetta on vielä niin paljon, että se voidaan tuottaa lähes täysin CHP:llä. Nyt kuvasta huomataan myös aurinkosähkön tuotannon kasvu päivän pidetessä. Aurinkosähkön tuotto ei kuitenkaan osu suoraan huippukulutustunneille. Kuvassa 12 ja 13 esitetty lämmöntarve sisältää sekä lämmityksen että lämpimän käyttöveden lämmitystehon tarpeen. Huipputunteina lämmityksen tehontarve ylittää laitteiston tuottaman 100 kW, jolloin lisälämpö voidaan ottaa energiavaraajasta.

Kuvien 12 ja 13 esimerkeistä voidaan vetää johtopäätös, että sähkön osalta akustolle on tarvetta, mikäli sähkön alijäämää ei haluta ostaa sähköverkosta. Fyysisen akuston sijasta virtuaaliakku olisi hyvä vaihtoehto, erityisesti mikäli CHP-laitoksen ylijäämäinen sähkö voitaisiin ”varastoida” samoin. Muussa tapauksessa vaihtoehtona ovat perinteisemmät akkumallit. Jos ylijäämäsähkö voidaan varastoida tavalla tai toisella, olisi asuinalue täysin omavarainen.

CHP-laitoksen kustannusarvio on esitetty taulukossa 19 ja aurinkopaneelien kustannukset taulukossa 20.

TAULUKKO 18. CHP-laitoksen kustannukset

CHP		
Laitos	179650	€/kpl
n	1	kpl
Varalaite	4000	€
Hinta yhteensä	183650	€

TAULUKKO 19. Aurinkopaneelien kustannukset

Aurinko		
Hinta	1200	€/kWp
Hinta/paneeli <small>kesän mukaan</small>	6000	€
Asennusten lkm	25	kpl
Tuotto/a/paneeli	3246	kWh
Tuotto yht	81150	kWh
Hinta yhteensä	156000	€

CHP-laitoksen vuotuinen käyntiaikaan perustuva energiantuotanto on n. 462 MWh, jolloin 90 %:n hyötysuhteella polttoaineen energiantarpeeksi saadaan 514 MWh. Polttoaineena käytetään haketta, jonka hintana käytettiin tilastokeskuksen tilastoarvoa 20,9 €/MWh (29). Tällöin vuotuinen polttoaineen käyttökustannus on noin 10 750 €. Laskenta ja polttoaineen tiedot on esitetty taulukossa 21.

TAULUKKO 20. Polttoaineen menekki ja kustannus vuodessa

Polttoaine		
CHP energia vuodessa	462,94	MWh
Hyötysuhde η	0,90	
Polttoaineen tarve	514,38	MWh
Polttoaine	hake	
Tehollinen lämpöarvo (kuiva)	18,50	MJ/kg
Tehollinen lämpöarvo (kosteaa)	2,90	kWh/kg
PA määrä	177371,65	kg
Hakkeen hinta	20,90	€/MWh
Polttoaineen hinta vuodessa	10750,50	€/a

Vaihtoehdon 1 kuluja selvittäessä täytyy määrittää käytön aikaiset muuttuvat kulut investointikulujen lisäksi. Edellä mainitut kulut on esitetty taulukossa 22, johon on myös laskettu mahdollisesti liittymismaksuna kerättävä 50 %:n osuus alkuinvestoinnista. Tällöin talokohtainen liittymismaksu olisi noin 11 640 € per talo.

TAULUKKO 21. CHP, lämmönsiirron ja aurinkoenergian vuosikustannukset

Investointi (CHP & aurinko)		
Kaikki yht	582120,00	€
20% investointituki	465696,00	€
Muuttuvat kulut		
Ostosähkö	4082,44	€/a
Polttoaine	10750,50	€
Huolto ja ylläpito	3,00	€/MWh
Huolto ja ylläpito	1388,82	€/a
Muuttuvat kulut yht.	16221,76	€/a
Talokohtainen CHP investointi		
Liittymismaksu	11642,40	€/talo

Kuten taulukon 22 luvuista huomataan, näin suuressa investoinnissa mahdollisella investointituella on suuri merkitys kohteen kannattavuuteen. Sama käy ilmi myös talokohtaisten energiamaksujen laskennasta, joka on esitetty taulukoissa 23–24. Rahoitukselle määritettiin 7,5 % vuosikorko ja ostosähkön hintana käytettiin 0,12 €/a/kWh, joka sisältää energia- ja siirtomaksun sekä verot.

Esimerkkilaskenta asuintalojen energiankäytön kuukausituloista sisältää kolme komponenttia: perusmaksun, tehomaksun sekä ostosähkön. Perusmaksulla katetaan kiinteät kustannukset, joka todellisessa tilanteessa määräytyisi esimerkiksi talon koon mukaisesti. Tässä esimerkkitalot ovat vakiokokoisia, joten myös perusmaksu on laskennassa kaikille sama.

Energiamaksulla katetaan laitoksen juoksevat kulut eli polttoaineen hankinta ja huolto sekä ylläpito. Laskennassa on huomioitu vain nämä edellä mainitut kulut, mutta todellisessa tilanteessa osuuskunnan kannattaisi periä näiden kulujen lisäksi kassaan varoja mahdollisia suurempia huoltokuluja varten. Toinen vaihtoehto on ottaa myöhemmin uusi laina tällaisia kuluja varten silloin, kun niitä ilmenee.

Ostosähkön hinnassa on huomioitu maltillinen 2 %:n vuotuinen hinnannousu, joka saattaa todellisuudessa olla suurempi ja näin parantaa kyseisen tuotantotavan kannattavuutta.

Taulukossa 23 esitetään kulurakenne vaihtoehdolle, jossa ei peritä talokohtaista liittymismaksua vaan koko investoinnin kulut ovat yhdessä tasaeränä kerran vuodessa lyhennettävänä lainana.

TAULUKKO 22. Vaihtoehto 1: kulurakenne ensimmäiset 15 vuotta ilman liittymismaksua ja ilman investointitukea

CHP & aurinko ilman liittymismaksua ja ilman investointitukea							
Vuosi	Lainaa jäljellä [€]	Lyhennys [€]	Perusmaksu [€/talo/vuosi]	Energiamaksu [€/talo/vuosi]	Ostosähkö [€/talo/vuosi]	Maksut yhteensä [€/talo/vuosi]	Säästö [€/talo/vuosi] (vrt. suora sähkö)
0	582120,00	56593,49	2263,74	623,91	163,30	3050,95	-631,14
1	525526,51	56947,20	2277,89	623,91	166,56	3068,37	-648,56
2	468579,32	57303,12	2292,12	623,91	169,89	3085,93	-666,13
3	411276,20	57661,26	2306,45	623,91	173,29	3103,66	-683,85
4	353614,94	58021,64	2320,87	623,91	176,76	3121,54	-701,73
5	295593,29	58384,28	2335,37	623,91	180,29	3139,58	-719,77
6	237209,01	58749,18	2349,97	623,91	183,90	3157,78	-737,97
7	178459,83	59116,36	2364,65	623,91	187,58	3176,15	-756,34
8	119343,47	59485,84	2379,43	623,91	191,33	3194,68	-774,87
9	59857,63	59857,63	2394,31	623,91	195,16	3213,37	-793,57
10	0,00	0,00	0,00	623,91	199,06	822,97	1596,83
11	0,00	0,00	0,00	623,91	203,04	826,95	1592,85
12	0,00	0,00	0,00	623,91	207,10	831,01	1588,79
13	0,00	0,00	0,00	623,91	211,24	835,16	1584,65
14	0,00	0,00	0,00	623,91	215,47	839,38	1580,43
15	0,00	0,00	0,00	623,91	219,78	843,69	1576,12
						YHT	2405,75

Taulukosta 23 huomataan, että mikäli perusmaksua peritään vain rahoituksen kuluista, putoaa se pois, kun laina on kokonaisuudessaan lyhennetty. Energiantuotannon ylläpidon vuoksi olisi kuitenkin järkevää periä perusmaksua tämän jälkeenkin, millä voitaisiin kattaa mahdolliset uudet laitehankinnat ja korjaukset. Taulukosta huomataan myös, että 10. vuonna investointi on vuotuisella tasolla kannattava järjestelmä. Sen kannattavuutta parantaisi edelleen akusto tai virtuaaliakku, jolloin ostosähkön osuus putoaisi pois kokonaan.

Taulukossa 24 on esitetty samankaltainen tilanne liittymismaksulla, missä 50 % alkuinvestoinnista maksetaan liittymismaksuna rakentamisvaiheessa.

TAULUKKO 23. Kulurakenne liittymismaksulla ilman investointitukea

CHP & aurinko liittymismaksulla ilman investointitukea							
Vuosi	Lainaa jäljellä [€]	Lyhennys [€]	Perusmaksu [€/talo/vuosi]	Energiamaksu [€/talo/vuosi]	Ostosähkö [€/talo/vuosi]	Maksut yhteensä [€/talo/vuosi]	Säästö [€/talo/vuosi] (vrt. suora sähkö)
0	232848,00	24092,70	963,71	485,57	163,30	1612,58	807,23
1	208755,30	24092,70	963,71	485,57	166,56	1615,84	803,96
2	184662,61	24092,70	963,71	485,57	169,89	1619,18	800,63
3	160569,91	24092,70	963,71	485,57	173,29	1622,57	797,23
4	136477,22	24092,70	963,71	485,57	176,76	1626,04	793,77
5	112384,52	24092,70	963,71	485,57	180,29	1629,57	790,23
6	88291,83	24092,70	963,71	485,57	183,90	1633,18	786,63
7	64199,13	24092,70	963,71	485,57	187,58	1636,86	782,95
8	40106,44	24092,70	963,71	485,57	191,33	1640,61	779,20
9	16013,74	16013,74	640,55	485,57	195,16	1321,28	1098,53
10	0,00	0,00	0,00	485,57	199,06	684,63	1735,18
11	0,00	0,00	0,00	485,57	203,04	688,61	1731,19
12	0,00	0,00	0,00	485,57	207,10	692,67	1727,13
13	0,00	0,00	0,00	485,57	211,24	696,82	1722,99
14	0,00	0,00	0,00	485,57	215,47	701,04	1718,77
15	0,00	0,00	0,00	485,57	219,78	705,35	1714,46
							18590,09

Taulukon 24 tilanteessa liittymismaksuna peritty summa siirtyy rakennuslainaan kuten talokohtaisen järjestelmän investointi, eikä näy energian juoksevana kuluna. Siksi taulukon 23 laskentatapa antaa paremman kuvauksen investoinnin kannattavuudesta.

6.5.2 Vaihtoehto 2: Maalämpö ja aurinkosähkö

Maalämpö-aurinkoyhdistelmän kustannukset ovat karkea arvio. Aurinkopaneelit on mitoitettu koko vuoden sähköntuotannon mukaan, jotta energiaomavaraisuuden ehto täyttyy. Jotta näin suuri aurinkosähkön kapasiteetti olisi järkevä investointi, suositellaan virtuaaliakun tai muun vastaavan sopimuksen tekoa sähköyhtiön kanssa. Maalämmön ja aurinkosähkön kokonaiskustannukset on esitetty taulukossa 25.

TAULUKKO 24. Maalämmön ja aurinkosähkön kokonaiskustannukset

Maalämpö & aurinkosähkö		
Maalämmön kokonaishinta	14500,00	€
n	25,00	kpl
Varaaja (300 litran hybridivaraaja)	1500,00	€
Aurinkopaneelit	12000,00	€
Hinta yhteensä	700000,00	€
Hinta 15% investointituella	595000,00	€
Investointi/talo	26923,08	€
Investointi/talo _{15% investointituella}	22884,62	€

Taulukosta 25 huomataan jälleen investointituen merkitys kokonaiskustannuksissa. Maalämmöstä muodostettiin samankaltainen 15 vuoden tarkastelu kuin edellä vaihtoehdossa 1. Jotta sähkön ostamisesta muodostuvat kulut voidaan ottaa huomioon, tehtiin arvio maalämpöpumpun sähkönkulutuksesta. Pumpun sähkönkulutuksen arvio, käyttösähkön kulutus, aurinkosähkön tuotto sekä ostosähkön määrä on esitetty taulukossa 26.

TAULUKKO 25. Vuotuinen maalämmön ja käyttösähkön kulutusarvio sekä aurinkosähkön tuotantopotentiaali

Maalämpö & aurinko, ostosähkö		
Maalämpöpumpun ostosähkö	4500,00	kWh/a
Sähkönkulutus	6130,00	kWh/a
Sähkönkulutus yhteensä	10630,00	kWh/a
Aurinkosähkö tuotto	8764,25	kWh/a
Ostosähkö	1865,75	kWh/a
Ostosähkö todellinen _{ilman virtuaaliakkua tms.}	3731,50	kWh/a

Taulukosta 26 huomataan, että maalämpöpumpun sähkönkulutus vastaa esimerkkilaskennassa n. 40 %:n osuutta kokonaissähkönkulutuksesta. Jotta aurinkosähkön tuotto ei olisi liian optimistinen, käytettiin varsinaisessa kulutarkastelussa kaksinkertaista ostosähkön määrää. Maalämmön ja aurinkosähkön kulurakennetta tarkasteltiin myös 15 vuoden ajanjaksolla. Taulukossa 27 on esitetty kustannusrakenne ilman investointitukea ja ilman liittymismaksua.

TAULUKKO 26. Maalämmön & aurion kulut ilman investointitukea ja ilman liittymismaksua

Maalämpö & aurinko ilman investointitukea ja ilman liittymismaksua						
Vuosi	Lainaa jäljellä [€]	Lyhennys [€]	Perusmaksu [€/talo/vuosi]	Ostosähkö [€/talo/vuosi]	Maksut yhteensä [€/talo/vuosi]	Säästö [€/talo/vuosi] (vrt. suora sähkö)
0	700000,00	72428,74	2785,72	447,78	3233,50	-813,69
1	627571,26	72428,74	2785,72	456,74	3242,46	-822,65
2	555142,53	72428,74	2785,72	465,87	3251,59	-831,78
3	482713,79	72428,74	2785,72	475,19	3260,91	-841,10
4	410285,05	72428,74	2785,72	484,69	3270,41	-850,60
5	337856,32	72428,74	2785,72	494,39	3280,11	-860,30
6	265427,58	72428,74	2785,72	504,27	3289,99	-870,19
7	192998,84	72428,74	2785,72	514,36	3300,08	-880,27
8	120570,10	72428,74	2785,72	524,65	3310,37	-890,56
9	48141,37	48141,37	1851,59	535,14	2386,73	33,08
10	0,00	0,00	0,00	545,84	545,84	1873,97
11	0,00	0,00	0,00	556,76	556,76	1863,05
12	0,00	0,00	0,00	567,89	567,89	1851,91
13	0,00	0,00	0,00	579,25	579,25	1840,56
14	0,00	0,00	0,00	590,84	590,84	1828,97
15	0,00	0,00	0,00	602,65	602,65	1817,16
					YHT	3447,55

Taulukosta 27 huomataan, että maalämmön ja aurinkosähkön yhdistelmällä päästään säästöihin jo 9. vuonna. Maalämmöstä esitetään tässä työssä vain laskenta, jossa ei ole liittymismaksua vaan investointi maksetaan kokonaisuudessaan perusmaksun kautta osuuskunnalle.

7 TULOKSET

Laskennassa esitetyt tulokset ovat arvioita, sillä todellisia tehontarpeita ei suunnittelun tässä vaiheessa ollut. Laskennassa on myös tehty yksinkertaistuksia, jotka on esitetty laskentaa käsittelevissä luvuissa ja jotka osaltaan vääristävät tulosta. Näin tehtynä saadaan kuitenkin hyvä alustava arvio kohteen vaihtoehtoista ja kustannuksista, minkä pohjalta voidaan jatkaa suunnittelutyötä.

Kohteeseen sopivin vaihtoehto riippuu alueen rakentumisesta. Mikäli asuinalue rakentuu vaiheittain usean vuoden aikavälillä, on talokohtainen vaihtoehto (työssä vaihtoehto 2) parempi vaihtoehto. Suositus perustuu siihen, että CHP-laitos saattaa olla reilusti ylimitoitettu alkuvaiheessa, jolloin asuinalueella on vasta muutamia asuinrakennuksia. Keskitetyn energiantuotannon kannattavuus oletettavasti heikkenee, jos vain puolet suunnitellusta rakennuskapasiteetista toteutuu. Laskennassa käytetyt laitteet ovat esimerkkejä ja todellisuudessa kohteen laitteisto valikoituu osuuskunnan tekemän kilpailutuksen perusteella.

Mikäli alue rakentuu suunnitellusti kerralla, olisi vaihtoehto 1 kannattavampi. CHP:n ja aurinkosähkön yhdistelmässä ostoenergiaa tarvitaan huomattavasti vähemmän, mikä luultavasti olisi juuri maalämpö-aurinkoyhdistelmän kompastuskivi. Kuitenkin myös tässä tapauksessa virtuaaliakku tai muu sähkön varastointi olisi toimiva järjestely aurinkosähkön hyötyjen maksimoinnin kannalta. Lisäksi talokohtainen alkuinvestointi on pienempi. Laskentaa tulisi kuitenkin vielä tarkentaa, jotta saadaan yksityiskohtaisempi kuva energiantarpeesta, -tuotannosta ja ostoenergian määrästä päivätasolla.

Kun vaihtoehtoja verrataan toisiinsa, huomataan, että talokohtainen maalämmön ja aurinkosähkön yhdistelmä on isompi kertainvestointi. Sen käyttöajan kustannukset ovat kuitenkin huomattavasti matalammat. On kuitenkin huomattava, että esitettyjen vaihtoehtojen kustannuserot ovat riippuvaisia hankintahinnoista. Siitä syystä suositellaan herkkyystarkastelua tai laskentaa eri kustannusrakenteilla, jotta investointipäätös voidaan tehdä.

Jos päätöksentekoon sisällytetään hiilijalanjälki, on vaihtoehto 2 luultavasti parempi. Maalämmöstä ja aurinkopaneeleista ei käytön aikana juurikaan muodostu CO₂-päästöjä, kun aurinkosähköllä voidaan tuottaa maalämpöpumpun käyttämä sähköteho. Myös tämä näkökulma puoltaa tässä vaiheessa vaihtoehtoa 2.

Tilannetta muuttavat asuinalueelle aluesuunnitelmassa havainnollistetut tuotantomuodot. Esimerkiksi alueen alkuperäisissä visioissa ollut vertikaaliviljelylaitos asumiseen verrattuna korkeammalla lämmön- ja sähköntarpeellaan muuttaa tilannetta. Tällöin keskitetty lämmön- ja sähköntuotanto voi olla kannattavaa jo hyvinkin pienellä asuintalojen lukumäärällä. Asuintalojen määrän kasvaessa energiantuotannon kapasiteettia voidaan kasvattaa lisäämällä yksiköitä. Pienen kokuokan CHP-laitoksista useat ovat ns. konttiratkaisuja, joilla tämä onnistuisi hyvin. CHP-laitoksen mitoitus perustuu yhden valmistajan tuotteelle, joten laskentaa täytyy uudelleen eri valmistajien tuotteilla, kun tiedetään kohteen todellinen energiantarve.

8 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli selvittää kohteen asuinrakennusten ja kylätalon vuotuinen energiantarve, sekä mitoittaa keskitetty energiantuotantojärjestelmä. Sen lisäksi tavoitteena oli verrata keskitetyn energiantuotannon kustannuksia verrattuna talokohtaiseen järjestelmään. Tämän raportin lisäksi työn tilaajalle toimitettiin opinnäytetyössä esitettyjen laskelmien Excel-taulukot sekä esitys asuinalueen energiantarpeesta ja -tuotannosta, jota yritys voi käyttää työkaluna markkinoinnissa.

Työtä voitaisiin laajentaa tekemällä herkkyyksianalyysi, jolla saadaan parempi kuva tehdystä kustannusarviosta. Opinnäytetyössä esitettyjä laskelmia voidaan käyttää työkaluna suunnittelutyön jatkuessa.

GeoHouse Älykylä on kohteena varsin ainutlaatuinen. Omavaraisuuteen pyrkiviä asuinalueita on jo olemassa, mutta harva niistä on todennäköisesti GeoHouse Älykylän kaltainen kokonaisuus, missä asumista tarkastellaan mahdollisemman monelta elämän osa-alueelta. Koska energiaomavaraisia alueita on vielä kohtuullisen pieni määrä, olisi GeoHouse Älykylän mahdollista toimia pilottina jollekin sähköyhtiölle esimerkiksi virtuaaliakun saralla. Virtuaaliakkujen kaltaisten palveluiden yleistyminen parantaa osaltaan kotitalouksien omavaraisen sähköntuotannon kannattavuutta.

Energiaomavaraisuus asumisessa kasvaa, kun vanhoihin sähkölämmitteisiin omakotitaloihin tehdään investointeja talokohtaiseen lämmön- ja sähköntuotantoon samoin kuten uudisrakentamisessa. Kaupungeissa taloyhtiöt hankkivat aurinkopaneeleita hyödyntäen kattopinta-alaansa taloyhtiön tilojen sähkönkulutuksen kattamiseksi. Omavaraisuus on kannattavaa ja se pienentää asumiskustannuksia, erityisesti jos otetaan huomioon ennusteet sähkön ja fossiilisten polttoainoiden hinnannoususta. Lisäksi eri tuotantomuotojen hinnat laskevat järjestelmien kysynnän kasvaessa ja tuotannon tehostuessa. Omavaraisen energiantuotannon tuoma lisäarvo ilmastonmuutoksen haasteiden kannalta on myös huomattava saavutus ja siksi Älykylä®-konsepti ja GeoHouse Älykylä on ajan hermolla.

LÄHTEET

1. GeoHouse Älykylä. 2019. Utajärven kunta. Saatavissa: https://www.utajarvi.fi/sivu/fi/asuminen_ ja_ ymparisto/ geohouse_ -_ alykyla/. Hakupäivä 11.5. 2019.
2. Älykylä® – konsepti. 2019. ASV Arctic Smart Village Oy. Saatavissa: <http://www.arctic2020.fi/>. Hakupäivä 11.5. 2019.
3. GeoHouse Älykylä Mahdollisuuksien kokeilu -hankeraportti. 2019. Utajärven kunta. Saatavissa pyydettäessä.
4. AIKO - Rahoitetut hankkeet. 2019. Pohjois-Pohjanmaan liitto. Saatavissa: https://www.pohjois-pohjanmaa.fi/aluekehitys/alueelliset_innovaatiot_ ja_ ko- keilut_ aiko/ aiko_ -_ rahoitetut_ hankkeet. Hakupäivä 11.5. 2019.
5. Kokouspöytäkirja 26.02.2019/§49. 2019. Utajärven kunta. Saatavissa: <http://www.oulunkaari.org/utajarvi/cgi/DREQUEST.PHP?page=meetingi- tem&id=20192089-4>.
6. Yli-Suvanto, Toni. 2019. Toni Yli-Suvanto Architects. VS: julkaisemisesta ja tontin asuntoluvusta. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja: GeoHouse -projektiryhmä. 20.5.2019.
7. 9.8.2013/588. 2019. Sähkömarkkinalaki. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2013/20130588#O3L10P71>. Hakupäivä 30.9.2019.
8. Sähkön ostaminen. Energiavirasto. Saatavissa: <https://energiavirasto.fi/sahkon-ostaminen>. Hakupäivä 8.5. 2019.
9. Hajautetun uusiutuvan energian mahdollisuudet ja tavoitteet (HEMU). 2017. Valtioneuvoston kanslia. Saatavissa: [https://tietokayttoon.fi/docu- ments/10616/3866814/35_hajautetun-uudiutuvan-energian-mahdollisuudet- ja- rajoitteet.pdf/331354b7-1b09-4fc9-b01a-89ff08b87241?version=1.0](https://tietokayttoon.fi/documents/10616/3866814/35_hajautetun-uudiutuvan-energian-mahdollisuudet- ja- rajoitteet.pdf/331354b7-1b09-4fc9-b01a-89ff08b87241?version=1.0).

10. Patana, Timo 2019. Oulun Seudun Sähkö. VL: Utajärvelle suunnitteilla olevasta energiaomavaraisesta asuinalueesta kysymyksiä. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja: Hast, Alisa. 11.4.2019.
11. Pahkala, Tatu – Uimonen, Heidi – Väre, Ville 2018. Joustava ja asiakaskeinen sähköjärjestelmä; Älyverkkotyöryhmän loppuraportti. Saatavissa: <http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/161119>. Hakupäivä 1.4.2019.
12. KVL:2019/28. 2019. Ennakkoveropäätös. Keskusverolautakunta. Saatavissa: <https://www.edilex.fi/kvl/20190028?>. Hakupäivä: 15.8.2019.
13. Mikro- ja pien-CHP. Teknologia ja laitekantaselvitys sekä kannattavuuden tarkastelu tapausesimerkin avulla. 2013. Iin Micropolis Oy. Saatavissa: http://www.greenpolis.fi/wp-content/uploads/004_13-Mikro-ja-pien-CHP-Teknologia-ja-laitekantaselvitys-sek%C3%A4-kannattavuuden-tarkastelu-tapausesimerkin-avulla.pdf.
14. T619505-3002 Hybridijärjestelmät. 2018. Kurssimateriaali. Oulun Ammattikorkeakoulu.
15. Lämmitysmuodot. 2019. Motiva Oy. Saatavissa: https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot. Hakupäivä 17.10.2019.
16. Sähkön varastointi. 2016. Motiva. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelman_kaytto/sahkon_varastointi. Hakupäivä 15.10.2019.
17. Virtuaaliakku tallettaa aurinkosähkön. 2019. Helen Oy. Saatavissa: https://www.helen.fi/aurinko/kodit/virtuaaliakku_ Hakupäivä 15.10.2019.
18. Aaltonen Teija. 2019. Taloautomaatiolla kohti älykästä kotia. Rakennusmaailma. Saatavissa: <https://rakennusmaailma.fi/taloautomaatiolla-kohti-alykasta-koti/>.

19. RIL 267-2015. 2015. Käyttäjälähtöinen älyrakennus. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL.
20. KNX-taloautomaation ominaisuudet. 2019. ABB. Saatavissa: <https://new.abb.com/low-voltage/fi/tuotteet/kiinteistoautomaatio-kotiautomaatio/ratkaisut/knx/jarjestelma/ominaisuudet>. Hakupäivä 12.10.2019.
21. EL-TRAN analyysi 3/2018. 2018. EL-TRAN Konsortio. Saatavissa: <https://tt.eduuni.fi/sites/EL-TRAN/Julkiset%20tiedostot/Sanna%20Uski%20et%20al.,%20Mikroverkkojen%20mahdollisuuksista%20s%C3%A4hk%C3%B6n%20toimituksen%20luotettavuuden%20parantajana.pdf>.
22. Mikroverkoilla säävarmuutta haja-asutusalueiden sähkönjakeluun. 2018. VTT. Saatavissa: <https://www.vtt.fi/medialle/uutiset/mikroverkoilla-säävarmuutta-haja-asutusalueiden-sähkönjakeluun>. Hakupäivä 12.10.2019
23. Energiatehokkuus; Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. 2018. Helsinki: Ympäristöministeriö. Saatavissa: <https://www.ymp.fi/download/noname/%7B4332AA81-75E1-4CA0-B208-B0ACB60A267F%7D/133692>.
24. 1010/2017. 2017. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. Helsinki: Ympäristöministeriö. Saatavissa: https://www.ymp.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Energiatehokkuus.
25. Arvioi energiankulutuksesi. Vattenfall. Saatavissa: <https://www.vattenfall.fi/energianeuvonta/arvioi-energiankulutuksesi/laske-kulutuksesi/>. Hakupäivä: 30.6.2019.
26. Maanalaisten kiinnivaahdotettujen kaukolämpöjohtojen rakentamiskustannukset. 2015. Energiateollisuus ry. Saatavissa: https://energia.fi/files/1168/Johtorakennuskustannukset_2015.pdf.

27. Photovoltaic Geographical Information System. 2017. European Commission. Saatavissa: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html. Hakupäivä 5.6.2019.
28. Hintatilastot. Energiavirasto. Saatavissa: <https://www.sahkonhinta.fi/summariesandgraphs>. Hakupäivä 17.10.2019. Tilasto haettu verollisille energian nimellishinnoille, pientalo yli 18 000 kWh, liukuva vuosi.
29. Tuontipolttoaineiden hinnat laskivat toisella neljänneksellä. 2019. Tilastokeskus. Saatavissa: https://www.stat.fi/til/ehi/2019/02/ehi_2019_02_2019-09-12_tie_001_fi.html. Hakupäivä 15.10.2019.

GEOHOUSE ÄLYKYLÄ

Toni Yli-Suvanto Architects
Sustainable architecture and urban design

Energiatehokkuus - alustavia lukuja

Erillistalokonsepti

9.5.2019

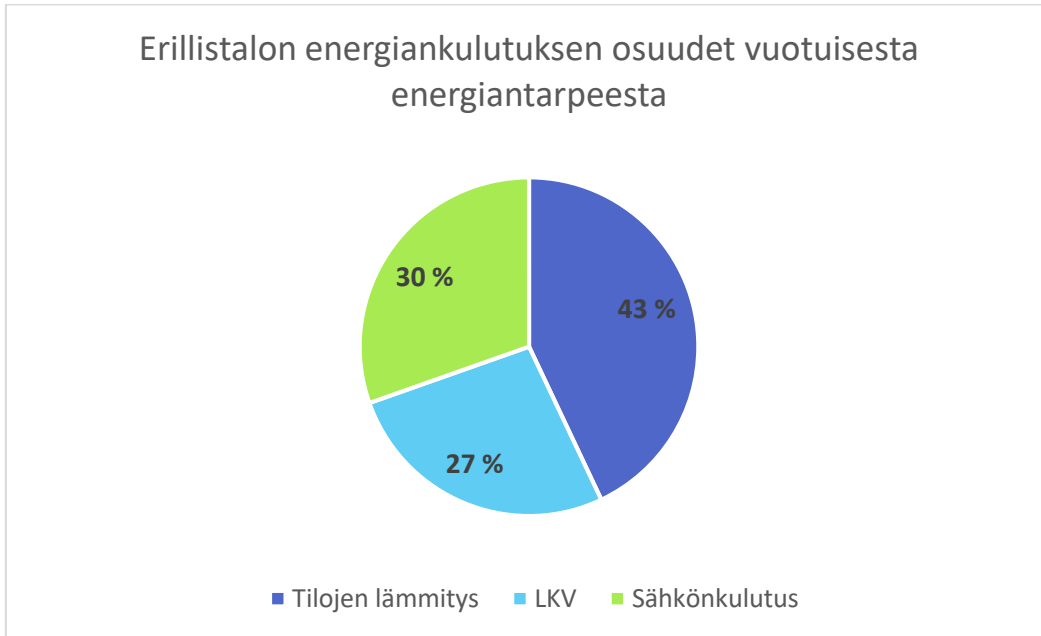
Rakennusosa	Sisäpinta- ala, brutto m ²	Ikkunat, ovet pinta- ala m ²	ovet U- arvo W/m ² K	Sisäpinta- ala, netto m ²	U-arvo W/m ² K
ULKOSEINÄT					
Itä	58,05	12,06	0,80	45,99	0,12
Etelä (lasitettu välitila ulkopuolella)	38,24	15,87	0,80	22,37	0,12
Länsi	58,05	14,40	0,80	43,65	0,12
Pohjoinen	46,92	9,42	0,80	37,50	0,12
ALAPOHJA					
Alapohja, ulkoilmaan rajautuva	75,69	0,00	0,80	75,69	0,08
YLÄPOHJA					
Etelään n.40 astetta	56,05	0,00	0,80	56,05	0,08
Pohjoiseen n.40 astetta	42,48	2,28	0,80	40,20	0,08

PINTA-ALAT	bruttoala	kerrosala	nettokala
1. kerros	93,12	84,64	75,69
2. kerros	93,12	80,04	75,69
yhteensä	186,24	164,68	151,38

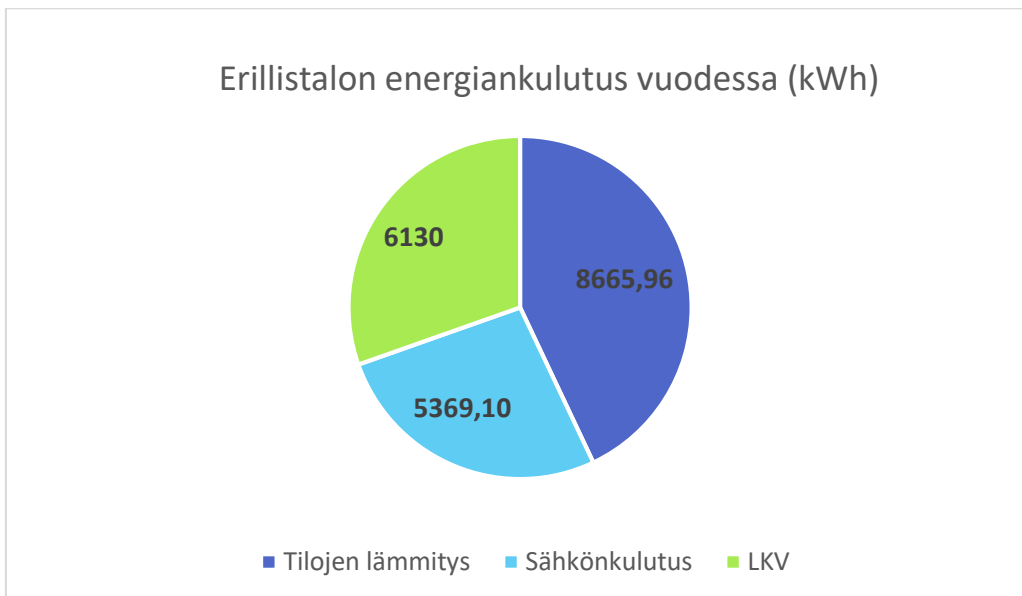
ETELÄISEN KATON LAPPEEN PINTA-ALA (AURINKOPANEELIPOTENTIAALI)

Etelään n.40 astetta	68,40
----------------------	-------

VAIPAN RAJAAMA RAKENNUKSEN KOKONAISTILAVUUS505 M³



Kuva 12: Erillistalon vuotuisen energiantarpeen prosenttijakauma



Kuva 13: Erillistalon energiakulutus vuodessa