



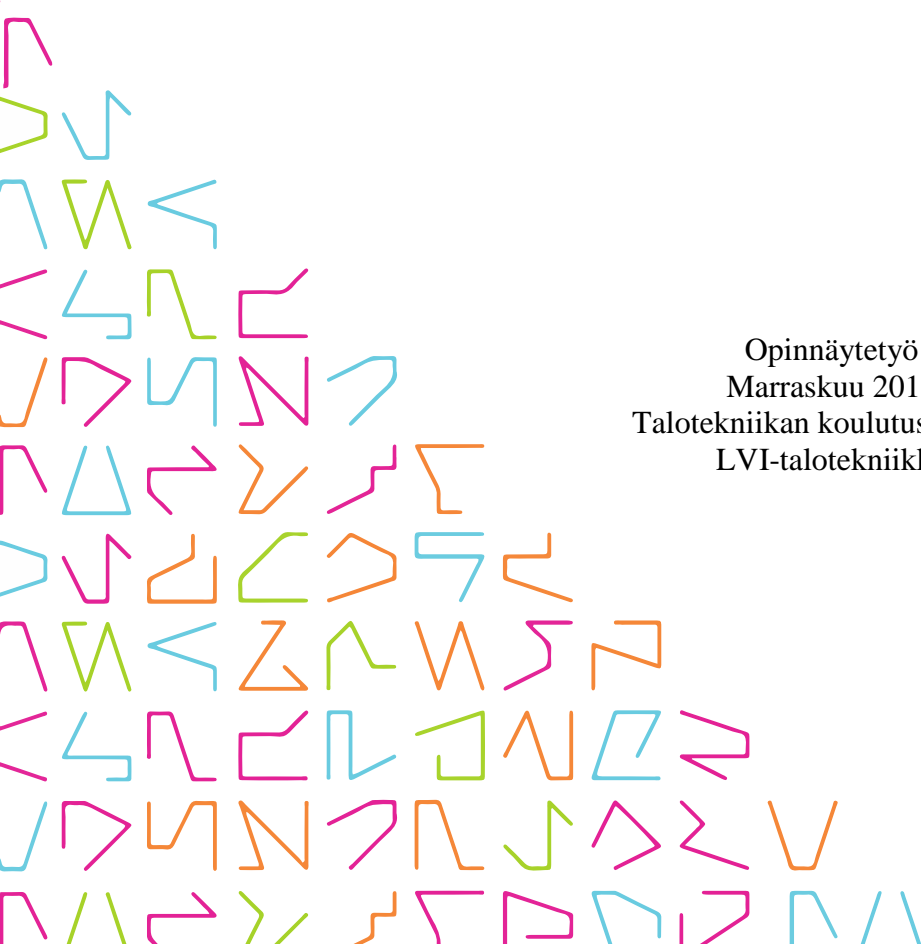
TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

EKOLOGISEN ASUMISEN ENERGIATALOUDELLISUUS

Masalan ekoälykylä

Rene Zidbeck

Opinnäytetyö
Marraskuu 2018
Talotekniikan koulutusohjelma
LVI-talotekniikka



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Talotekniikan koulutus
LVI-talotekniikka

ZIDBECK, RENE:
Ekologisen asumisen energiataloudellisuus
Masalan ekoölykylä

Opinnäytetyö 78 sivua
Marraskuu 2018

Ilmastonmuutos, luonnonvarojen väheneminen sekä jatkuva energiankulutuksen kasvu ovat yhteiskuntamme suurimpia haasteita. Asumisesta ja rakentamisesta syntyvä ympäristörasite on merkittävä, joten uusien vähäpäästöisempien rakentamistapojen sekä energiantuotantomuotojen on tultava rakennusalalle. Suomi on voimakkaasti riippuvainen ulkomaiden sähköntuotannosta. Yli 30 % Suomen kuluttamasta sähköenergiasta tuodaan ulkomailta.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia ekoölykyläkonseptin kaltaisten hankkeiden kannattavuutta asukkaiden näkökulmasta ja samalla vertailla asumisessa syntyviä kustannuksia tavanomaisen asuintalon kustannuksien kanssa. Työssä tutkittiin yhden ekoölykylän asuintalon asumisesta syntyviä kustannuksia ja hiilidioksidipäästöjä 50 vuoden elinkaaritarkasteluajanjaksolla. Saatuja tuloksia verrattiin kaukolämpö- ja sähköverkkoon liitetyn tavanomaisen asuintalon kustannuksiin.

Laskelmat tehtiin Masalan ekoölykylä -hankkeeseen, jota ollaan rakennuttamassa Kirkkonummelle, Masalan kylään. Ekoölykylän tarkoituksena on luoda uudenlainen asumismuoto pääkaupunkiseudulla työskenteleville ihmisille, jotka välittävät ympäristöstä ja haluavat asua luonnon lähellä.

Tutkimusmenetelminä käytettiin seuraavia ohjelmistoja: IDA Indoor Climate and Energy, EnergyPro 4 ja AutoCad. Kyseessä oli laskennallinen tarkastelu. Energiatarkastelun taserajana on asuintalon energiankulutus. Taloudellisista mittareista tutkittiin energijärjestelmän alkuinvestoinnin sisäistä korkotuottoa ja sijoituksen takaisinmaksuaikaa. Ekologisuutta tutkittiin käytönaikaisten hiilidioksidipäästöjen avulla.

Ekoölykylän energijärjestelmän takaisinmaksuajaksi saatiin kymmenen vuotta ja energiatuen kanssa takaisinmaksuaika lyheni viiteen vuoteen. Vuositasolla yhden 100 m² asuintalon hiilidioksidipäästöt vähenivät 3,6 tCO₂/a verrattuna tavanomaiseen asuintaloon. Koko ekoölykylän päästöt vähenivät 1 400 tCO₂/a vuodessa. Kylän oma energialaitos tuo asukkaille vuodessa säästöä energiamaksuissa 12 €/m², ja samalla asukkaat vähentävät hiilidioksidipäästöjä 35,8 kg CO₂/m² verrattuna kaukolämmöllä lämmitettäviin asuintaloihin. Lopputuloksen kannalta on tärkeää huomioida, että rakennusten määrällä on suuri merkitys hankkeen kannattavuuteen ja energijärjestelmän tuomiin säästöihin energiamaksuissa.

Asiasanat: aurinkopaneeli, aurinkosähkö, ekoölykylä, ekologisuus, elinkaarilaskelma, energiatehokkuus, ICHP, maalämpö, microgrid

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Building Services Engineering
HVAC Building Services Engineering

ZIDBECK, RENE:

Energy Economy of Ecological Housing
Smart Eco-Village Masala

Bachelor's thesis 78 pages
November 2018

Climate change, reduced natural resources and the continuous increase in energy consumption are one of the biggest challenges for our society today. The environmental impact on housing and construction is significant, so new environmentally friendly construction methods and forms of energy production must be implemented in the construction sector. Finland is currently heavily dependent on foreign electricity. Last year, more than 30% of Finnish electricity was imported from abroad.

The purpose of this thesis was to study the profitability of projects such as the Smart Eco-Village concept from the perspective of residents and to compare the cost of living with the cost of a conventional household. The work involved studying the costs of a single residential building in the eco-village dwellings as well as its carbon dioxide emissions during the 50-year lifecycle review period. The results obtained were compared to the costs of a conventional home that was connected to the district heating and electricity grid.

The calculations were made to smart eco-village of Masala, which will be built in the village of Masala, in the municipality of Kirkkonummi. The purpose of the Masala smart eco-village is to create a new type of housing for people who care about the environment and want to live close to nature while working in the metropolitan area.

The following software were used: IDA Indoor Climate and Energy, EnergyPro 4 and AutoCAD. It was a computational review. The energy consumption of a residential building was used as the equalizer of energy assessment. Of the economic indicators, the internal rate of return and payback time were examined for the initial investment of the energy system. The environmental benefits were studied using carbon dioxide emissions.

The pay pack time for the energy system was ten years which was reduced to five years with the energy aid. Annually, a single 100 m² residential building reduced the carbon dioxide emissions by 3.6 tCO₂/a compared to the conventional dwelling and the whole ecosystem cut emissions by 1 400 tCO₂/a per year. The village's energy plant saves more than 12 €/m²/a in energy charges, while residents will significantly reduce carbon dioxide emissions 35,8 kg CO₂/m² compared to conventional housing. For the purpose of the research findings, it is important to note that the volume of buildings plays a significant role in the profitability of the project and its resulting savings on energy costs.

Key words: ecosystem, ecology, energy efficiency, geothermal, ICHP, life cycle cost, microgrid, photovoltaic, solar panel

SISÄLLYS

LYHENTEET JA TERMIT	6
1 JOHDANTO.....	7
2 EKOÄLYKYLÄT – KONSEPTIT JA TEKNOLOGIAT	9
2.1 Ekoälykylä	9
2.1.1 Yhteisöllisyys	10
2.1.2 Ekologisuus	10
2.1.3 Talous.....	13
2.2 Energiantuotantoteknologiat	13
2.2.1 Maalämpö.....	13
2.2.2 Aurinkovoima	17
2.2.3 Vesivoima	20
2.2.4 Tuulivoima	23
2.2.5 Bioenergia	24
2.2.6 CHP-laitos	25
2.2.7 Jäteveden lämmöntalteenotto	28
2.3 Ekoälykylät maailmalla	30
2.3.1 Drake Landing Solar Community	30
2.3.2 Community of Feldheim village	33
2.3.3 Eco-village Permatopia	36
3 MASALAN EKOÄLYKYLÄ.....	38
3.1 Masalan ekoälykylän kuvaus	38
3.2 Ekoälykylän tyyppirakennusten perusgeometria	42
3.3 Rakenneratkaisut.....	42
3.4 Ilmanvaihtojärjestelmä.....	44
3.5 Aurinkoenergia	44
3.6 ICHP-laitos	45
3.7 Maalämpö	47
3.8 Jäteveden lämmöntalteenotto.....	47
3.9 Hiilidioksidipäästöt	48
4 TUTKIMUSMENETELMÄT	49
4.1 Simulointimenetelmät	49
4.1.1 IDA Indoor Climate and Energy	49
4.1.2 EnergyPro.....	50
4.2 Taloudelliset laskelmat	51
4.2.1 Kustannustiedot.....	51
4.2.2 Ekoälykylän elinkaarikustannukset.....	52

4.2.3	Nimelliskorko.....	52
4.2.4	Yleinen inflaatio ja reaalikorko.....	52
4.2.5	Energian hinnan inflaatio eli eskalaatio	53
4.2.6	Nettonykyarvo.....	54
4.2.7	Sisäinen korkokanta	54
5	TULOKSET	56
5.1	Mitotustulokset	56
5.1.1	Aurinkoenergia.....	56
5.1.2	ICHP-laitos.....	57
5.1.3	Maalämpö.....	58
5.1.4	Jäteveden lämmöntalteenotto	59
5.2	Energiankulutus	59
5.3	CO ₂ -päästöt	61
5.4	Elinkaarikustannukset	63
5.5	Herkkyystarkastelut	65
5.5.1	Energiatuki	66
5.5.2	Biokaasun hinta.....	67
5.5.3	Eskalaatio	68
5.5.4	Energiajärjestelmä 100 asuintalolle	69
6	POHDINTA.....	71
	LÄHTEET.....	73

LYHENTEET JA TERMIT

ALV	Arvonlisävero
BTES	Borehole Thermal Energy Storage
C_0	Energiajärjestelmän hankintakustannus, €
C_t	Tulovirta ajanjaksolla, €
CO ₂	Hiilidioksidi
COP	Lämpöpumpun hyötysuhde
CHP	Lämmön- ja sähkön yhteistuotantolaitos
DLSC	Drake Landing Solar Community
EKP	Euroopan keskuspankki
f	Inflaation vaikutusta, %
f_e	Energian hinnan inflaatio, %
i	Nimelliskorko, %
ICHP	Integroitu lämmön- ja sähkön yhteistuotantolaitos
IRENA	International Renewable Energy Agency
IRR	Sisäinen korkokanta, %
kWp	Kilowatti piikkiteho
LCC	Elinkaarikustannukset, €/m ²
MWp	Megawatti piikkiteho
NPV	Nettonykyarvo, €
r	Reaalikorko, %
r_e	Energian hinnan eskalaation sisältävä reaalikorko, %
SCOP	Lämpöpumpun vuosihyötysuhde
T	Laskenta-aika, a
t	Ajanjakso vuosina, a
U-arvo	Lämmönläpäisykerroin, W/m ² K
Wp	Watti piikki
λ	Lämmönjohtavuus, W/m K

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia ratkaisuja jatkuvaan energiantarpeen kasvuun sekä kiihtyvään ilmastonlämpenemiseen. Työn avulla pyritään kehittämään rakennusalaan ja tuomaan alalle uutta innovaatiota, jonka avulla voitaisiin merkittävästi hidastaa ilmastonlämpenemistä. Euroopan Unionin alueella muodostuneista hiilidioksidipäästöistä 38 % syntyy energiantuotannosta. Rakennusten energiankulutus on tällä hetkellä noin 40 % kokonaisenergiankulutuksesta (European Council, 2017).

Tulevaisuuden yksi suurimmista ongelmista on jatkuva energiantarpeen lisääntyminen, koska teknologia vaatii yhä enemmän sähköä. Noin 47% kaikesta sähkön kulutuksesta syntyy asuintaloissa, joten tulevaisuuden talot on suunniteltava energiatehokkaiksi siten, että niiden sähköenergian kulutus on maltillinen. Suomi ostaa tällä hetkellä yli 30% sähköenergiastaan ulkomailta, joten mitä tapahtuu tulevaisuudessa, jos naapurivaltiot eivät kykenisi myymään sähköä ja Suomen oma tuotanto ei pystyisi kattamaan asukkaiden tarpeita (Fingrid, 2018). Vuonna 2017 tammikuun puolella välissä Suomen sähkötehon tarve oli 14 000 MW ja Suomen sähköntuotannon kapasiteetti on 10 000 MW, joten 4 000 MW ostettiin ulkomailta.

Nykypäivänä energiantuotanto on keskittynyt pääosin tuottavuuden kasvattamiseen, mikä on saattanut olla esteenä energiantuotantomuotojen kehitykselle. Tämä on jatkunut jo pitkään, koska uusiutuvat energiaratkaisut ovat olleet taloudellisesti kannattamattomia verrattuna perinteisiin ratkaisuihin. Teknologian kehittyminen on mahdollistanut uusiutuvan energian käyttämisen fossiilisten polttoaineiden sijaan. Uusiutuvien energiavarojen on mahdollista vähentää hiilidioksidipäästöjä ja samalla pienentää asumisesta syntyviä elinkaarikustannuksia. Kehittyneen teknologian avulla ei tarvitse tinkiä asuinmukavuudesta pienentääkseen hiilijalanjälkeä tai asuakseen ekologisesti.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tutkia ekoälykyläkonseptin potentiaalia ekologisuuden sekä talouden näkökulmasta. Työssä tarkastellaan ensin yleisellä tasolla maailman ekoälykyläkonsepteja ja tarkemmin kuvataan Masalan ekoälykylää, jota ollaan rakennuttamassa Kirkkonummelle. Opinnäytetyössä tutkitaan, miten paljon ekoälykylän asuintalon energiankulutuksesta aiheutuu hiilidioksidipäästöjä ja saatuja tuloksia verrataan tavanomaisen asuintalon energiankulutuksesta aiheutuviin hiilidioksidipäästöihin.

Työ sisältää erilaisia optimointeja, simulointeja sekä elinkaaritarkasteluja, joiden avulla on tarkoitus tarkastella ekoälykylän hankkeen kannattavuutta ja elinkaarikustannuksia asukkaan näkökulmasta. Kannattavuus- ja kustannuslaskelmat tehdään Masalan ekoälykylän asuintaloille. Laskelmien avulla selvitetään asumisen kustannukset ekoälykylässä ja saatuja tuloksia verrataan vastaavan kokoiseen asuintaloon, jota lämmitetään kaukolämmöllä ja sähkö ostetaan energialaitokselta.

2 EKOÄLYKYLÄT – KONSEPTIT JA TEKNOLOGIAT

Ekoälykylät ovat suhteellisen uusi konsepti ja varsinaisia ekoälykyliä on alettu rakentamaan vasta 2000-luvun jälkeen. Näissä kylissä on yhdistetty uusin teknologia, yhteisöllisyys ja ekologisuus, jolloin lopputuloksena ollaan saatu moderni asuinalue, jonka hiilidioksidipäästöt ovat matalat. Kehittyneen teknologian avulla voidaan taata, että asumismukavuus ei laske ekologisten ratkaisujen myötä (European Commission, 2017).

Ekoälykylien avulla voidaan ratkoa useita eri ongelmia, kuten esimerkiksi voimakas kaupungistuminen, jonka seurauksena kaikki asuminen on keskittynyt pienelle alueelle. Tämän konseptin avulla voidaan mahdollistaa suurkaupungissa työskenteleville rauhallinen ja idyllinen asuinympäristö luonnon lähellä, josta matka suurkaupunkiin taittuu lyhyessä ajassa kehittyneen joukkoliikenteen avulla. Ekoälykylien sijoituksessa, on huomioitava hyvät kulkuyhteydet kaupunkeihin (Hogan, 2017). Konsepti tuottaa lisäarvoa harvaan asutuille kunnille, jotka kärsivät väkiluvun vähenemisestä ja näitä kuntia on useita Suomessa sekä maailmalla.

2.1 Ekoälykylä

Ekoälykyläkonseptin päätarkoituksena on vähentää asumisesta syntyvien hiilidioksidipäästöjen määrää ja samalla lisätä yhteisöllisyyden tunnetta asukkaiden kesken. Tässä konseptissa ei ole yhtä oikeaa tapaa, vaan jokainen kylä suunnitellaan tapauskohtaisesti siten, että seuraavat kolme elementtiä ohjaavat suunnittelua: ihminen, talous ja ekologisuus.

Kaksi kriittisintä ongelmaa 2000-luvulla on jatkuva energiantarpeen kasvaminen. Tällöin nykyiset sähkönsiirtoverkot alkavat jäämään liian pieniksi ja ekoälykylän tapaiset konseptit voisivat olla yksi ratkaisukeino myös tähän ongelmaan. Ekoälykyläkonseptin avulla asuintaloja voidaan rakentaa myös paikkoihin, joissa ei ole valmiiksi rakennettua infrastruktuuria (Hogan, 2017).

Ekoälykylät tuottavat suurimman osan sähkö- ja lämpöenergiastaan omavaraisesti. Energiantuotanto tapahtuu uusiutuvia energianlähteitä hyödyntäen ja yleisimmin käytetyt uusiutuvan energianlähteet ovat kuvattu luvuissa 2.2.1-2.2.5.

2.1.1 Yhteisöllisyys

Yhteisöllä tarkoitetaan ihmisten välillä olevien suhteiden kokonaisuutta eli yhteisöllistä järjestelmää (Tiainen & Mäkelä, 1995). Sosiaaliset verkostot muodostavat ihmisen identiteetin sekä sosiaalisen olemassaolon perustan (Allardt, 1976).

Nykypäivänä globalisaation myötä ja teknisen verkostoitumisen lisääntyessä yksinäisyys on lisääntynyt voimakkaasti. Yksinäisyydellä on tutkittu olevan voimakas vaikutus fyysiseen, että psyykkiseen oireiluun ja sairastumiseen. Yhteisöllisyyden puute on yhteiskuntamme suurimpia sairastuttajia (Berntson, 1998). Savolainen (2016) tutki Settlementiasumisoikeus Oy:n asukkaiden kokemuksia yhteisöllisyydestä ja sen vaikutuksista. Savolaisen tutkimuksen mukaan asuinympäristön yhteisöllisyys koetaan erittäin myönteisenä asiana. Tutkimuksessa kävi ilmi, että yhteisöllisyydellä on myös vaikutusta asukkaiden kokemaan psyykkiseen, sosiaaliseen ja fyysiseen hyvinvointiin (Savolainen. 2016).

Ekoälykylän suunnittelun yksi tärkeimmistä elementeistä on yhteisöllisyys. Asuntojen sijoittelu sekä energijärjestelmä on suunniteltu kasvattamaan asukkaiden yhteisöllisyyden tunnetta. Monissa ekoälykylissä järjestetään viikoittain tapahtumia, joiden tarkoituksena on kasvattaa kylän asukkaiden yhteisöllisyyden tunnetta. Ekoälykyläen asukkaat suurimilta osin jakavat samankaltaisia arvoja, joten yhteisöllisyydentunne on helposti luotavissa kylän asukkaiden ympärille (Condon, 2008).

2.1.2 Ekologisuus

Rakennusalalla ympäristöpäästöt ovat lisääntyneet merkittävästi viime vuosien aikana ja nykyään niistä on syntynyt globaali ongelma eli voimakkaasti kiihtyvä ilmastonmuutos. Rakennusala on yksi eniten ympäristöpäästöjä tuottavista aloista ja näistä päästöistä 80% syntyy rakennusmateriaaleista sekä rakentamisvaiheessa ja loput 20% päästöistä syntyy asumisesta (Mao, 2013).

Rakentamisen tuottamia ympäristöpäästöjä vähennettäessä on kiinnitettävä huomioita rakennusmateriaaleihin. Betoni kuormittaa ympäristöä merkittävästi puuta enemmän. Betonikuution hiilidioksidipäästöt ovat noin 800 kgCO₂ ja kun taas puukuutio voi sitoa hiilidioksidia 1000 kgCO₂. Tällöin nettotaseena saadaan puulle -1800 kgCO₂. On huomattava, että puun sitomaan hiilidioksidin määrään vaikuttaa useat eri tekijät (Puuntuottaja, 2015). Tässä työssä ei tarkastella tämän enempää eri rakennusmateriaalien tuottamia hiilidioksidipäästöjä.

Ekoälykylien asuintalot ovat suunniteltu siten, että koko rakennuksen elinkaaren aikainen hiilijalanjälki olisi mahdollisimman pieni. Opinnäytetyössä tutkitaan, miten paljon ekoälykylän asuintalon energiankulutuksesta aiheutuu hiilidioksidipäästöjä ja saatuja tuloksia verrataan tavanomaisen asuintalon energiankulutuksesta aiheutuviin hiilidioksidipäästöihin.

Suomi on asettanut itselleen kunnianhimoisen tavoitteen olemalla hiilineutraali yhteiskunta vuoteen 2045 mennessä (Ympäristöministeriö. 2017). Tämän tavoitteen saavuttaminen vaatii uusia innovaatioita rakennusosalalle sekä uusiutuvan energian hyödyntämistä energiatuotannossa.

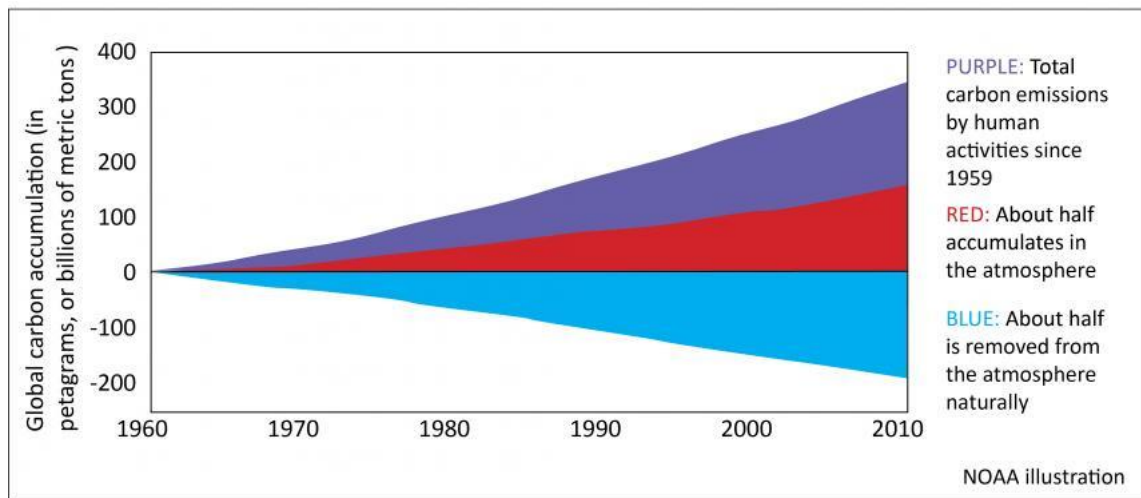
Suomessa toimiva Motiva on valtionomistama yritys, joka tarjoaa hiilidioksidipäästöjen laskentaohjeistuksen. Tämän ohjeistuksen avulla voidaan laskea energiantuotannosta aiheutuvat hiilidioksidipäästöt. Taulukossa 1 esitetään Motivan sekä tilastokeskuksen päästökertoimet vuodelta 2018 (Motiva & Tilastokeskus, 2018).

TAULUKKO 1. Polttoaineiden ominaispäästöt

Energiamuoto	Päästökerroin (g CO ₂ e/kWh)
Biokaasu	0
Maakaasu	199,1
Nesteytetty maakaasu (LNG)	200,9
Kevyt polttoöljy	264,6
Kaukolämpö - yhteistuotanto	188
Sähkö (keskimääräinen)	164

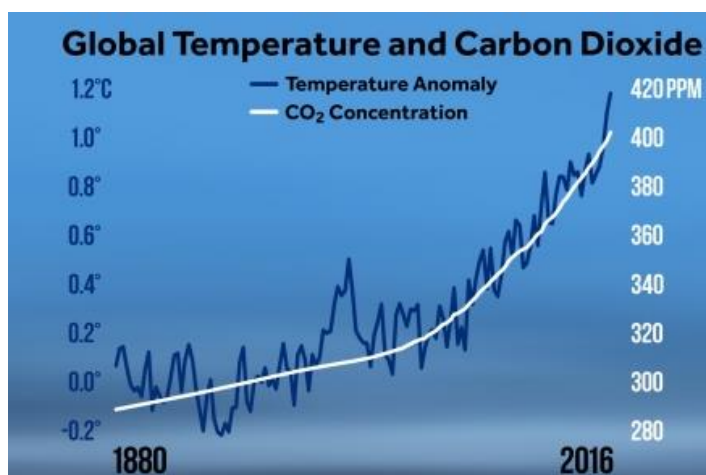
Hiilidioksidipäästöt kiihdyttävät ilmastonmuutosta, siten että ilmakehässä olevat kaasut kuten hiilidioksidi estää osan auringon säteilystä palaavan takaisin avaruuteen ja tämä

aiheuttaa ilmastomme lämpenemistä. Osa yhteiskuntamme hiilidioksidipäästöistä sitoutuu meriin, metsiin ja peltoihin. Silti suurin osa päästöistä jää ilmakehään katso kuva 1 (WWF, 2018).



KUVA 1. Hiilidioksidipäästöjen nettotase (NOAA headquarters 2012)

Maapallomme keskilämpötila on kasvanut lähes yhden celsiusasteen, ja seuraukset ovat nyt jo merkittävät. Yhteiskuntamme kärsii kiihtyvän ilmastomuutoksen aiheuttamista tuhoista, kuten sulavista jäätiköistä, merenpinna korkeuden kiihtyvästä kasvusta, hyönteisten ja eläinten siirtymisestä viileämmille alueille ja lisääntyneistä myrskyistä ja tulvista. (Luber, 2015). Kuvassa 2 esitetään ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden vaikutus ilmaston lämpenemiseen.



KUVA 2. Hiilidioksidipitoisuus ilmakehässä ja maapallon keskilämpötila (Climate Central, 2017)

2.1.3 Talous

Kestävä talous on hyvin tärkeää ekoälykylän kaltaisille hankkeille ja nykyisen teknologian avulla se on täysin mahdollista. Nykypäivänä talojen hinnat sekä asumiskustannukset ovat kasvaneet merkittävästi varsinkin pääkaupunkiseudulla. Asumiskustannukset ovat kasvaneet niin korkeiksi, että moni ihminen maksaa asuntolainaa eläkeikään saakka (Taloussanomat, 2016).

Ekoälykyläkonseptin tarkoituksena on rakennuttaa keskuksien ympärille edullisia asuintaloja, jotka sijaitsevat luonnon läheisyydessä. Tällä konseptilla mahdollistetaan suurkaupungissa työskenteleville edullinen asumismuoto luonnon lähellä. Kylien pitää olla hyvien kulkuyhteyksien päässä keskuksista, jotta liikennöinti keskukseen pystytään hoitamaan lyhyessä ajassa ja ympäristöystävällisesti. Taloudellista kannattavuutta voidaan myös parantaa myymällä ekoälykylän energiajärjestelmän avulla tuotettua energiaa paikallisille asukkaille ja yrityksille (European Commission, 2017).

2.2 Energiantuotantoteknologiat

Ekoälykylä on toteutettu useilla eri energiajärjestelmillä ja suurin vaikuttava tekijä energiajärjestelmän valinnassa on kylän sijainti. Seuraavaksi käydään läpi yleisimpiä primäärienergianlähteitä, joita on käytetty ekoälykylissä ympäri maailmaa.

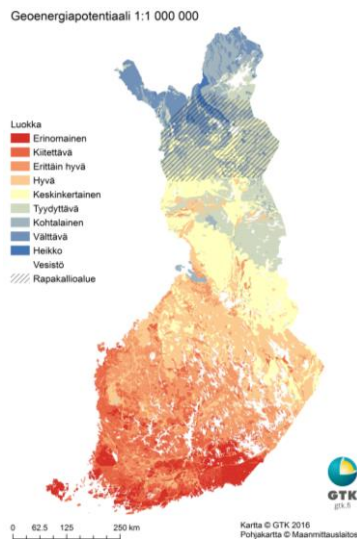
2.2.1 Maalämpö

Maalämpö on viime vuosien aikana yleistynyt asuntojen lämmitysmuotona varsinkin alueilla, jossa lämmitysenergiaa kuluu enemmän kuin sähköenergiaa. Kaukolämmön ja öljyn kallistuminen on lisännyt maalämmön suosiota asuintalojen lämmitysmuotona. Sen hyvinä puolina on varmatoimisuus ja vähäiset hiilidioksidipäästöt.

Maalämmöllä tarkoitetaan pintavesistöihin tai maaperään varastoitunutta lämpöenergiaa, jota voidaan hyödyntää asuintalojen lämmittämiseen maalämpöpumpun avulla. Maa-

lämpö luokitellaan uusiutuvaksi energianlähteeksi. Hyvin useassa tapauksessa lämmönkeruu toteutetaan porakaivoilla tai vaakaputkistolla, joka voidaan asentaa vesistöön tai pintamaahan (Toth & Bobok, 2017).

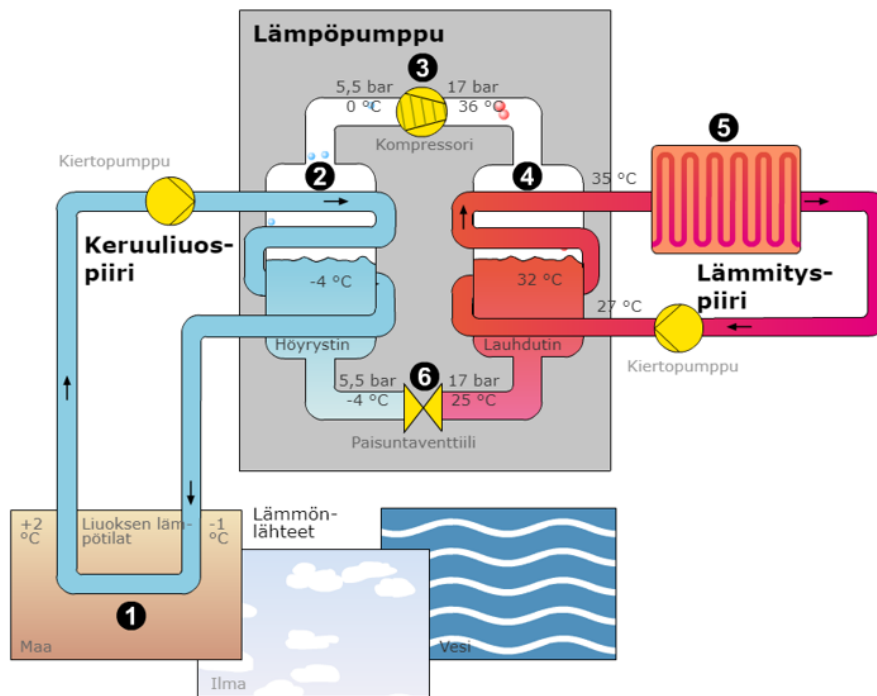
Suomessa maakamaran lämpötila on alhainen ja se vaihtelee leveyspiirin mukaisesti, mutta maakamaran lämpötila on kautta maan plussan puolella, etelässä 6-8 °C ja pohjoisessa 2-3 °C. Maalämpöä voidaan hyödyntää koko Suomessa ja kuvassa 3 esitetään eri alueiden geoenergiapotentialit. Suomessa maalämmön hyödyntäminen lämmityksessä vaatii lämpöpumpun, koska maakamaran lämpötila on sen verran alhainen. Maalämpöpumppu ottaa noin $\frac{3}{4}$ energiasta maakamarasta ja loput $\frac{1}{4}$ sähköenergiana. Maakamaran matala lämpötila mahdollistaa ilmaisen viilennysenergian hyödyntämisen ns. vapaalla jäähdytyksellä (Geologian tutkimuskeskus, 2016).



KUVA 3. Suomen geoenergiapotentiali (Geologian tutkimuskeskus 2016)

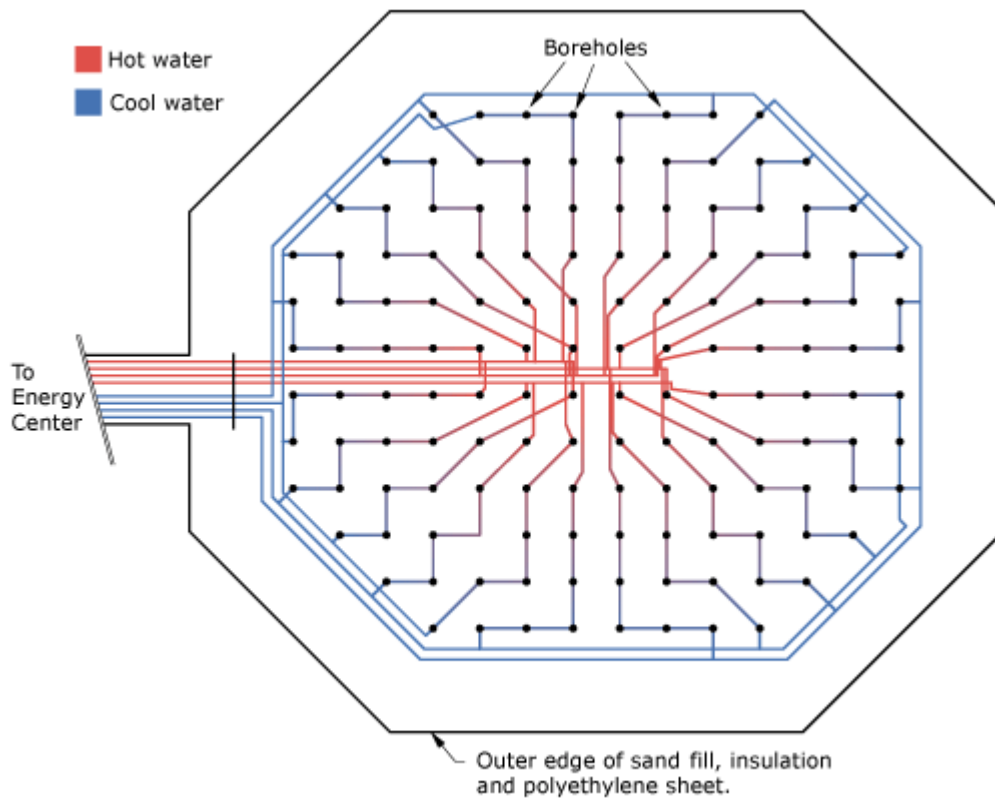
Kuvassa 4 esitetään maalämpöpumpun perustoimintaperiaate. Kohdassa 1 keruuliuospiiri syöttää maaperään nesteen lämpötilassa -1 °C ja paluupuolella nesteen lämpötila on kasvanut 2 °C eli maakamaran avulla on lämmitetty liuospiirin nestettä 3 °C. Kohdassa 2 liuospiirin neste siirtyy lämpöpumpun höyrystimelle ja höyrystimessä oleva kylmäaine on lämpötilassa -4 °C, jolloin termodynamiikan nollannen pääsäännön mukaan liuospiiri siirtää lämpöä korkeammasta lämpötilasta matalampaan lämpötilaan, jolloin kylmäaineen lämpötila nousee 0 °C lämpötilaan. Kohdassa 3 lämpöpumpun kompressorin avulla kasvatetaan kylmäaineen painetta ja paineen kasvaessa kylmäaineen lämpötila nousee 36 °C. Lämpöpumpun lauhtutin kohdassa 4 on 36 °C eli korkeammassa lämpötilassa kuin

lämmityspiirin paluuväsi, joka on 27 °C, jolloin lauhdutin lämmittää lämmityspiirin menoveden lämpötilaan 35 °C. Kohdassa 5 on lämmityspatteri joka luovuttaa lämpöä lämmitettävään tilaan, jolloin lämmityspiirissä paluuväden lämpötila laskee 27 °C lämpötilaan. Viimeisessä kohdassa 6 kuvataan lämpöpumpun paisuntaventtiiliä, jonka avulla lasketaan kylmäainepiirin paine 5,5 barin, jolloin lämpötila laskee samanaikaisesti -4 °C lämpötilaan, jotta kylmäaineen tullessa höyrystimelle syntyisi lämpötilaero keruuliuospiirin ja kylmäainepiirin välille.



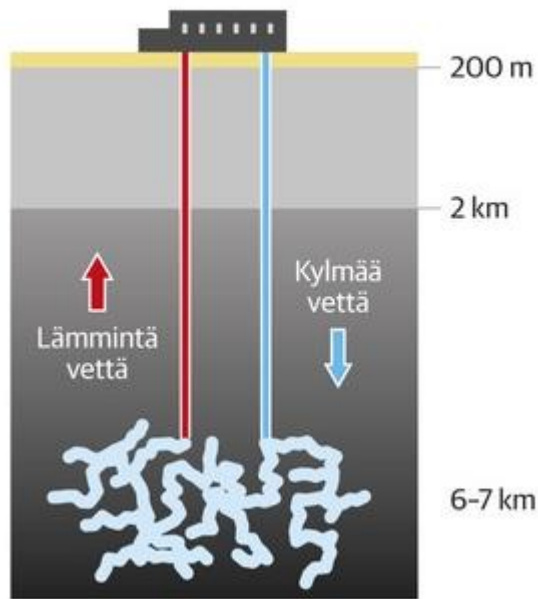
KUVA 4. Maalämpöpumpun toimintaperiaate (Dimplex 2016)

Maalämpökaivoja voidaan myös käyttää lämpöenergian kausivarastoinnissa, jolloin kesällä tuotettua lämpöä voidaan varastoida maaperään. Yksi toimintamalli kausivarastointiin on BTES eli maalämpökaivovarastointi. Normaalisti maalämpökaivojen etäisyydet ovat noin 15 metriä, mutta BTES ratkaisussa kaivot porataan vain parin metrin päähän toisistaan, koska ideana on kasvattaa maaperän lämpötilaa. Kesäaikana maaperän lämpötila voi kohota yli 80 °C BTESin keskellä (Harris, 2011). Kesällä varastoitua lämpöä voidaan hyödyntää talvella, jolloin on enemmän lämmöntarvetta. Kuvassa 5 esitetään yksi tapa toteuttaa lämpöenergian kausivarastointi.



KUVA 5. Borehole Thermal Energy Storage (Drake Landing Solar Community 2015)

Maapallomme geoenergiapotentiaalia voidaan hyödyntää myös ilman lämpöpumppua poraamalla syvempiä kaivoja. Maaperän lämpötila kasvaa mitä syvemmälle menemme. Tällöin hyödynnettävän lämpötehon osuus on suurempi. ST1 Deep Heat ja Fortum on tekemässä pilottihanketta Espoon Otaniemeen. Pilotissa porataan kaksi lähes seitsemän kilometrin reikää vierekkäin. Toisesta reiästä syötettävä vesi on 7 – 10 °C ja ylösnostettaessa vesi on 120 °C. Laitoksen lämpötehoksi on arvioitu 40 MW. Tällä voidaan kattaa 10 % Espoon kaupungin kaukolämmön tarpeista (ST1 Deep Heat, 2018). ST1 Deep Heatin geotermisen voimalan toimintaperiaate on esitetty kuvassa 6.



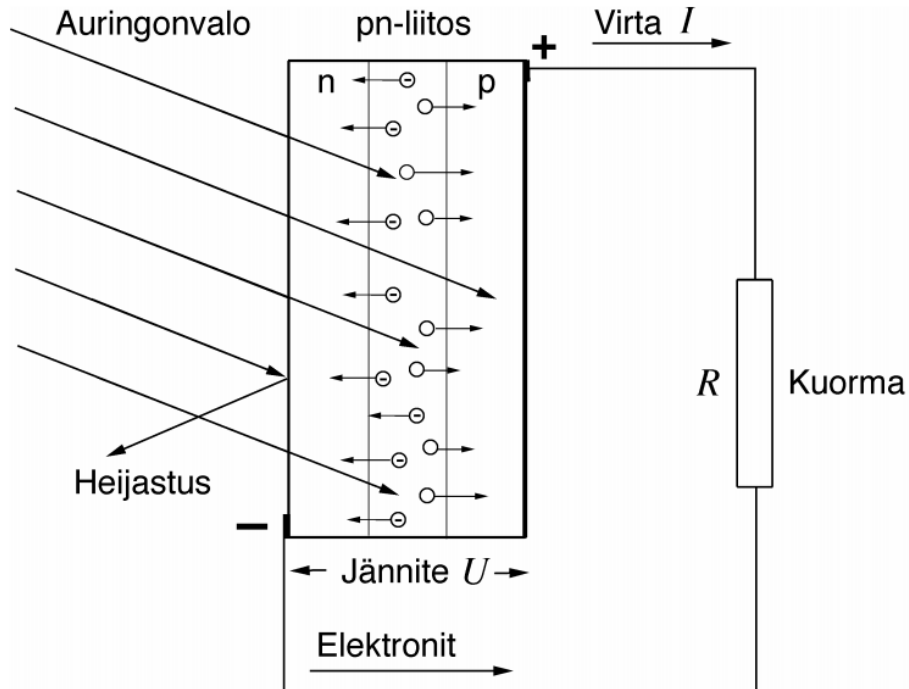
KUVA 6. Geotermisen lämpövoimalan toimintaperiaate (ST1 Deep Heat 2015)

2.2.2 Aurinkovoima

Aurinko on maapallon merkittävin energianlähde, joka kasveissa tapahtuvan yhteyttämissen kautta tuottaa lähes kaiken eliökunnassa kulutettavan energian. Ydinvoimaa sekä kuun aiheuttamaa vuorovesienergiaa lukuun ottamatta lähes kaikki ihmiskunnan saama energia on peräisin auringosta. Aurinko säteilee ympäristöönsä jatkuvalla syötöllä valtaavan määrän energiaa sen ytimessä tapahtuvan fuusioreaktion avulla. Fuusioissa energiantuotanto perustuu kahden kevyen atomiytimen yhdistymisreaktioon. Auringossa kaksi vetyatomia, kaksi protonia ja kaksi neutronia, yhtyy heliumatomin ytimeksi vapauttaen samalla energiaa. Energia vapautuu auringosta sähkömagneettisena säteilyä, josta osa päätyy lopulta maahan (Oja & Poutanen, 1990).

Aurinkoenergiaa otetaan yleensä talteen aurinkokennoilla sekä aurinkokeräimillä. Kaikkien puolijohdetekniikkaan perustuvien aurinkokennojen sähköntuotto perustuu fysikaaliseen tapahtumaan, jota kutsutaan valosähköiseksi ilmiöksi. Valosähköisessä ilmiössä on kyse sähkömagneettisen säteilyn ja sähkövarauksen välisestä vuorovaikutuksesta. Va-

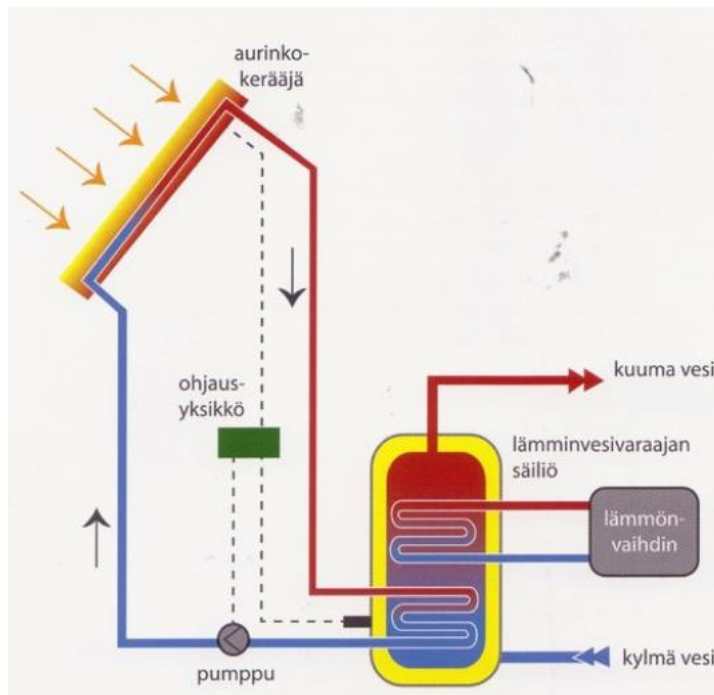
losähköisessä ilmiössä puolijohteen elektronit saavat niin paljon energiaa sähkömagneettisesta säteilystä, että ne irtautuvat atomiytimen vetovoimasta (NASA, 2008). Aurinkopaneelien yleinen toimintaperiaate esitetty kuvassa 7.



KUVA 7. Aurinkopaneelin toimintaperiaate (Suntekno 2012)

Paneelin nimellisteho vaihtuu sovelluskohtaisesti, mutta asuintalojen asennuksissa nimellisteho on yleensä 150 Wp ja 260 Wp välillä neliometriä kohden. Nimellisteholla tarkoitetaan paneelin piikkitehoa, jonka paneeli voi saavuttaa laboratorio-olosuhteissa.

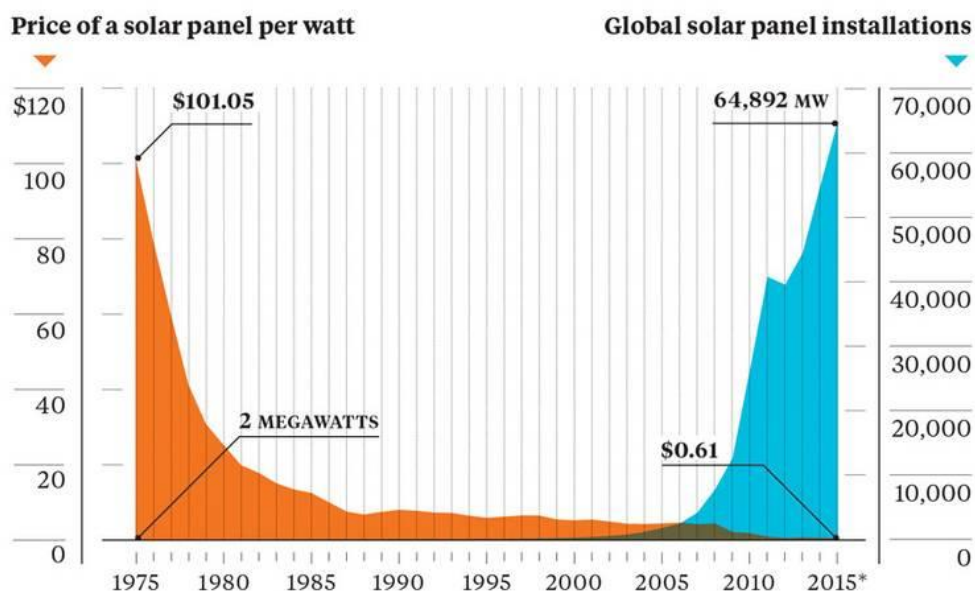
Auringosta otetaan myös pelkkää lämpöenergiaa talteen aurinkokeräimien avulla. Aurinkokeräimet eroavat aurinkopaneeleista siten, että niissä kulkevan nesteen avulla sidotaan auringon tuottamaa lämpöenergiaa. Tämän nesteen avulla voidaan lämmitellä vesivaraajia. Varaajasta lämpöä voidaan siirtää käyttöveden lämmitykseen tai tilojen lämmitykseen katso kuva 8.



KUVA 8. Aurinkokeräimen toimintaperiaate (Suntuote 2016)

Energiatuotannon kannalta on tärkeää, että aurinko paistaisi mahdollisimman pitkän ajanjakson paneelien pinnalle. Suurimmat tekijät, jotka vaikuttavat aurinkopaneelien energiantuotantoon ovat: sijainti, kallistuskulma sekä suuntaus. Kallistuskulmaan vaikuttaa auringonsäteilyn tulokulma, joka on paneelin sisään tulevan säteilyn ja pinnan välinen kulma. Säteilyn osuessa kohtisuoraan paneelin pintaan on säteilyn tulokulma 0° , jolloin säteilystä saatava energia on suurin mahdollinen. Tulokulmaa säädetään muuttamalla paneelin kallistuskulmaa suhteessa asennuspintaan (Isojunno, 2014).

Viimeisten vuosikymmenien aikana aurinkopaneelien hinta on laskenut voimakkaasti, minkä johdosta niiden suosio on kasvanut. Samalla kun hinta on laskenut, niin aurinkopaneelien hyötysuhde on parantunut eli kehityksen suunta on kustannustehokkuuden näkökulmasta oikea. Kuva 9 näyttää selkeästi, että suurin osa asennetuista aurinkopaneelista on asennettu viimeisen kymmenen vuoden aikana. Oranssi jana osoittaa aurinkopaneelien hinnan wattia kohden ja sininen jana osoittaa aurinkopaneelien avulla tuotetun energian.



KUVA 9. Aurinkopaneelien valmistushinta wattia kohden (Treehugger 2015)

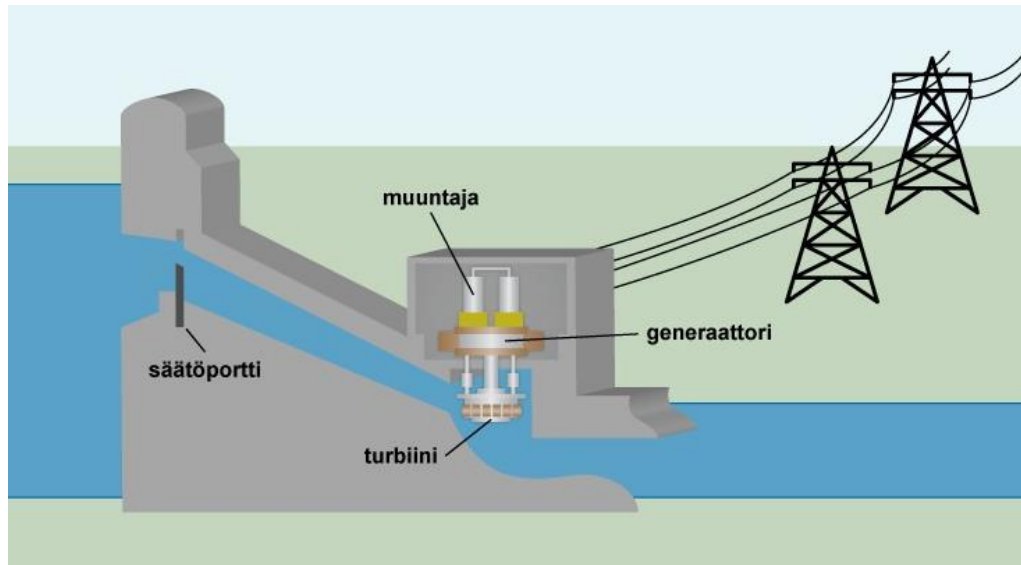
Kesällä päiväsaikaan aurinkoenergiaa on tarjolla paljon, mutta usein kysyntä on vähäistä varsinkin maissa, joissa on paljon lämmitystarvetta. Aurinkoenergian varastoinnilla voidaan tasata vuorokautisia ja sään vaihtelun aiheuttamia tuotantokatkoksia sekä voidaan hyödyntää päivällä varastoitua aurinkoenergiaa yöaikaan, jolloin aurinkoenergiaa ei ole tarjolla. Aurinkoenergiaa voidaan varastoida usealla eri tavalla kuten; useisiin erilaisiin lämpöakkuihin, faasimuutokseen, elektrolyysiin ja sähköakkuun.

2.2.3 Vesivoima

Yksi ensimmäisenä maailmassa käytetty uusiutuvan energianlähde on vesivoima. Sitä on hyödynnetty yli 5 000 vuoden ajan. Nykyisin vesivoima on tärkein uusiutuvan energianlähde sähköntuotannossa. Vuodesta 1970 lähtien koko maailman sähköenergiatarpeesta yli 15 % on tuotettu vesivoimalla (Breeze, 2018). Uudet vesivoimalat kykenevät tuottamaan sähköenergiaa 90 % hyötysuhteella. Tämä hyötysuhde on erinomainen verrattuna vaikka hiilivoimaloihin, joiden hyötysuhteet ovat noin 50 % (Alternative Energy, 2015).

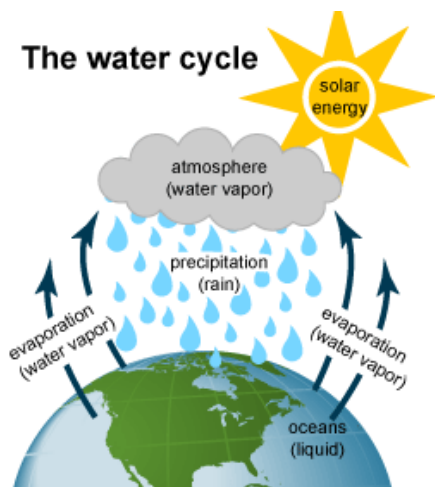
Vesivoima on veden potentiaalienergian muuttamista liike-energiaksi, jolloin pystytään tuottamaan sähköenergiaa. Yleensä veden potentiaalienergia muutetaan liike-energiaksi erilaisten turbiinien avulla, jotka taas pyörittävät vesivoimalassa sijaitsevaa generaattoria.

Generaattorin avulla voidaan muuttaa mekaanista veden liike-energiaa sähkövirraksi katso kuva 10 (Department of Energy, 2006).



KUVA 10. Vesivoimalan toimintaperiaate (PEDA 2014)

Veden sisältämä potentiaalienergia syntyy auringon avulla. Aurinko lämmittää veden pintaa, jolloin osa vedestä muuttuu vesihöyryksi. Vesihöyry muuttuu ilmakehässä pilviksi. Näistä se muuttuu edelleen vesi- ja lumisateeksi. Auringon höyrystämä vesi palautuu vesistöön ja tämä kiertoprosessi toistaa itseään. Vesivoima on riippuvainen tästä kiertoprosessista, koska ilman sadetta ei veteen saada haluttua potentiaalienergiaa katso kuva 11 (U.S. Energy Information Administration, 2018).

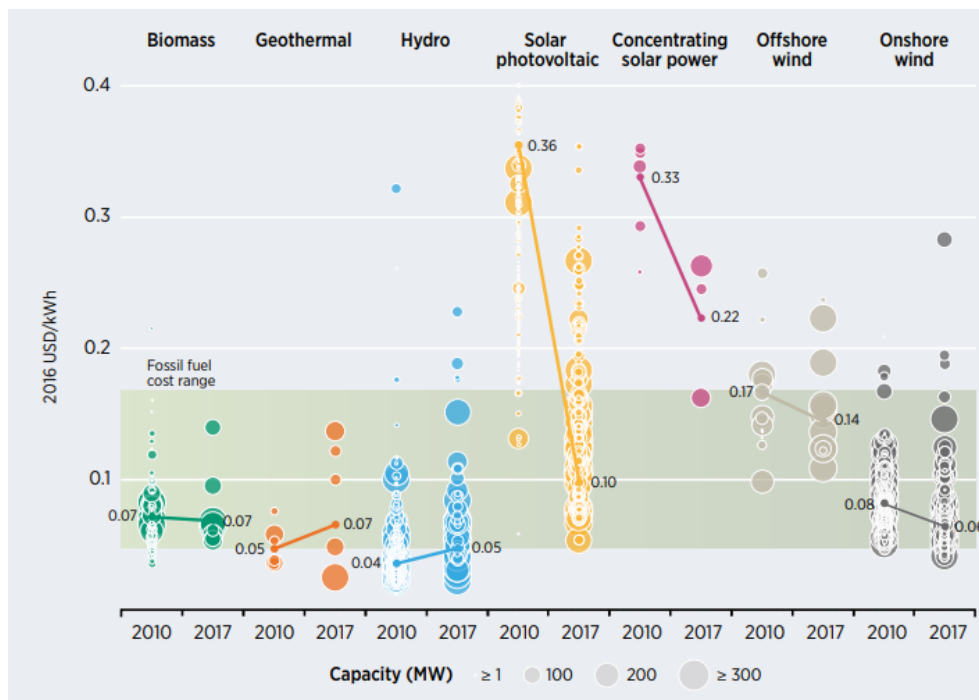


KUVA 11. Veden kiertoprosessi (U.S. Energy Information Administration 2018)

Vesivoimat luokitellaan tehon perusteella kolmeen kokoluokkaan. Pienimmät voimat tuottavat sähkötehoa alle 1 MW:n ja näitä kutsutaan minivesivoimaloiksi. Seuraava kokoluokka on 1-10 MW ja tätä kokoluokkaa kutsutaan pienvesivoimalaksi. Suurinta kokoluokkaa kutsutaan suurvesivoimalaksi ja voimalan nimellisteho on yli 10 MW (Energiateollisuus, 2016).

Vesivoiman korkean hyötysuhteen takia vesivoiman avulla tuotetun sähköenergian hinta on hyvin matala verrattuna muihin uusiutuvan energialähteisiin sekä fossiilisten polttoainien avulla tuotettuun sähköenergiaan.

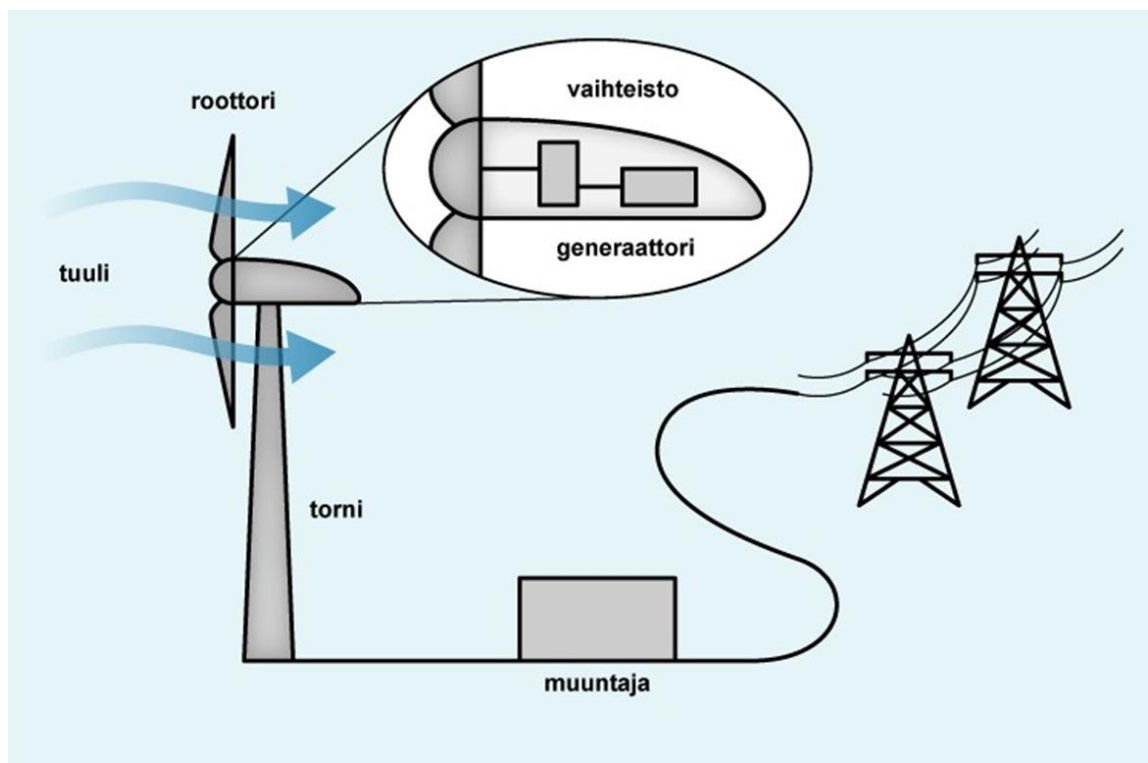
IRENA (International Renewable Energy Agency) on yritys, joka tutkii ja vertailee uusiutuvia energialähteitä. He tekivät tutkimuksen, jossa vertailtiin uusiutuvien energialähteiden hintoja tuotettua kilowattituntia kohden (Hydro World, 2018). Tutkimuksen tuloksena saatiin, että vesivoimalla tuotetun sähköenergian hinta oli kaikkein edullisin katso kuva 12.



KUVA 12. Uusiutuvien energialähteiden hinta kilowattituntia kohden (IRENA 2018)

2.2.4 Tuulivoima

Tuulivoima on ilman liike-energian hyödyntämistä muuttamalla se sähköksi, ja tämä tapahtuu yleensä pyörivien lapojen avulla. Tuuli itsessään syntyy ilmakehässä olevan paine-eron takia eli se minkä yleensä käsitämme tuulena, on oikeastaan ilmakehässä oleva paine-ero. Tämän paine-eron aiheuttaa aurinko siten että se lämmittää ilmaa, jolloin ilma laajenee ja nousee synnyttäen alipaineen. Samanaikaisesti lämmennyt ilma kulkeutuu kylmemmille alueille synnyttäen ylipaineen, jolloin kylmän ja lämpimän alueen välille syntyy paine-ero, jota kutsutaan tuuleksi (Breeze, 2016). Tuuleen liittyy vielä useita eri tekijöitä, jotka vaikuttavat ilmavirtauksiin, mutta tässä työssä ei käsitellä asiaa tämän tarkemmin. Kuvassa 13 esitetään tuulivoimalan toimintaperiaate.

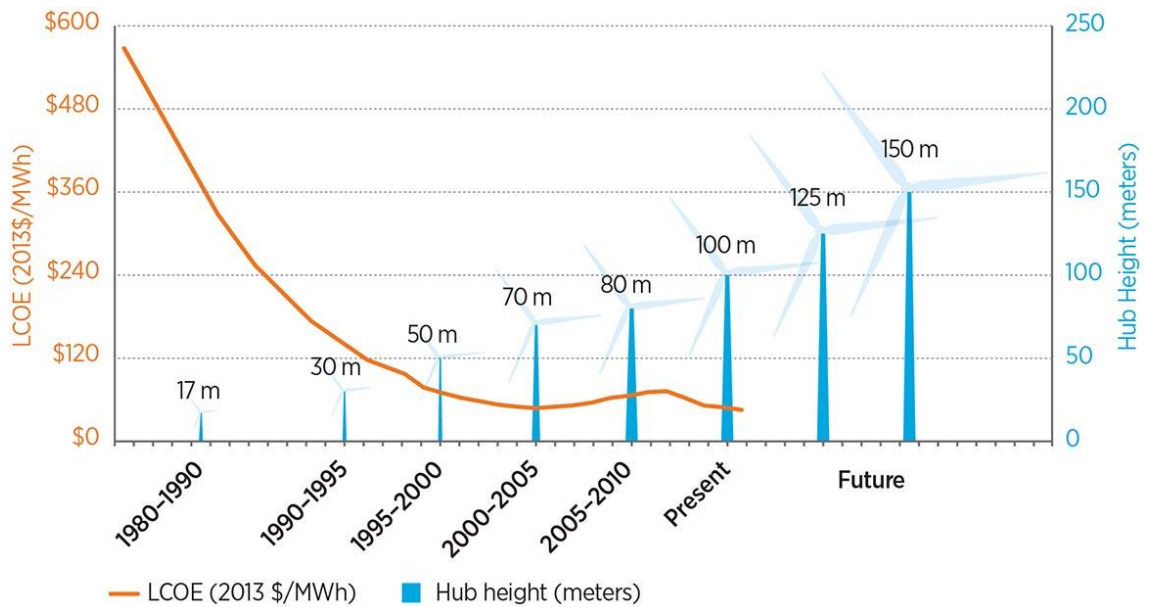


KUVA 13. Tuulivoiman toimintaperiaate (Peda 2015)

Tuulivoimalan sisällä on turbiini, jonka avulla saadaan muutettua ilman liike-energia akselin pyörimisenergiaksi eli mekaaniseksi energiaksi. Akselin avulla pyöritetään generaattoria, jonka avulla tuotetaan sähköä (Chiras & Mick, 2009).

Jatkuvan kehitystyön ansiosta tuulivoiman hinta on laskenut voimakkaasti viimeisen kahdenkymmenen vuoden aikana. Tuulivoimalan kokoa kasvattamalla sähkön hintaa on

saatu vielä edullisemmaksi. Alla olevassa kuvassa 14 voidaan nähdä, miten tuulivoiman koko ja teknologian kehitys on vaikuttanut tuulivoimalla tuotetun sähkön hintaan (Energy Government, 2014).



KUVA 14. Tuulivoimaloiden hintakehitys (Office of Energy Efficiency 2016).

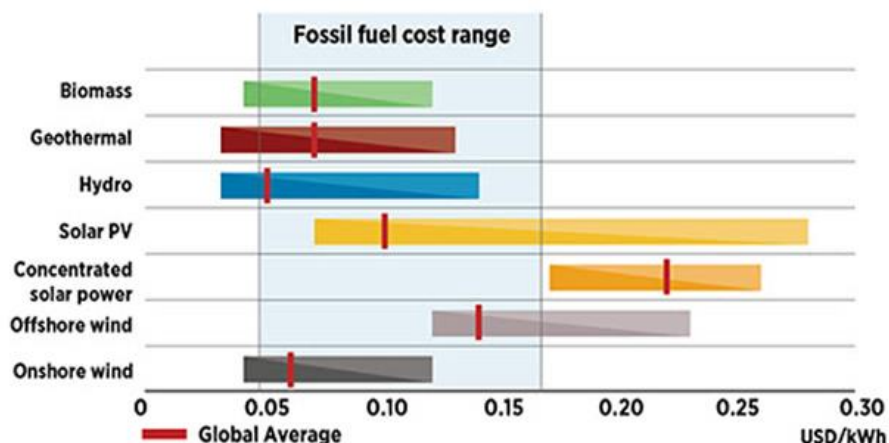
2.2.5 Bioenergia

Bioenergiaksi kutsutaan biopolttoaineista saatua energiaa. Suomessa biopolttoainetta saadaan metsistä, soilta ja pellolla kasvavissa biomassoissa. Biopolttoainetta saadaan myös maatalouden, teollisuuden sekä yhdyskuntien energiantuotantoon soveltuvista jätteistä. Bioenergiaa pystytään hyödyntämään useassa eri muodossa, kuten kiinteänä polttoaineena, nestemäisenä polttoaineena sekä kaasumaisena polttoaineena (Maa- ja metsätalousministeriö, 2017).

Biopolttoaineiden avulla voidaan tuottaa lämpö- sekä sähköenergiaa. Biojätteistä tuotetun energian hiilidioksidin nettopäästöt ovat nolla (Bioenergia, 2017).

Kuva 15 esittää eri uusiutuvien energianlähteiden hinnat tuotettua kilowattituntia kohden. Biomassan avulla tuotetun kilowattitunnin hinta on noin USD 0,06/kWh eli 0,05 €/kWh.

Average renewable power generation costs in the fossil fuel range in 2017



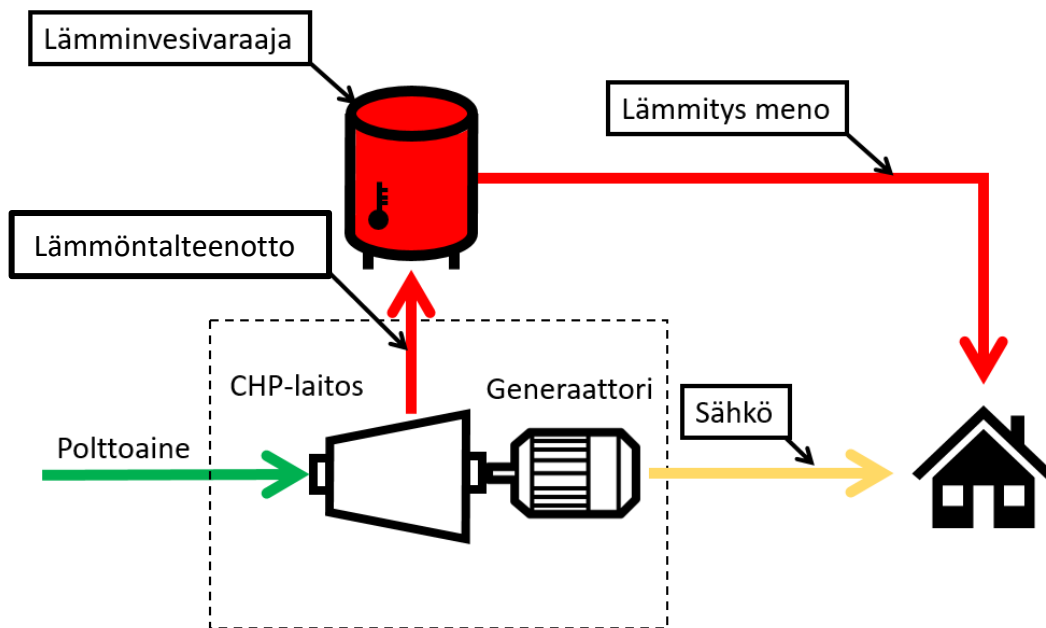
KUVA 15. Uusiutuvien energianlähteiden hinta kilowattia kohden (IRENA 2017)

Bioenergian avulla katetaan lähes 80 % uusiutuvalla energialla tuotetusta energiasta Suomessa. Bioenergiaa kaasumaisena polttoaineena voidaan hyödyntää erinomaisella hyötysuhteella CHP-laitoksissa, joiden avulla voidaan tuottaa lämpö- ja sähköenergiaa. CHP-laitos käsitellään seuraavassa kappaleessa 2.2.6 CHP-laitos. Biokaasua eli metaanin ja hiilidioksidinseosta saadaan biojätteen mädätysprosessin sivutuotteena. Jos biojätettä ei hyödynnetä oikein metaani ja hiilidioksidi vapautuu ilmakehään. Metaani on 25 kertaa haitallisempi kasvihuonekaasu kuin hiilidioksidi (CO₂ raportti, 2017).

2.2.6 CHP-laitos

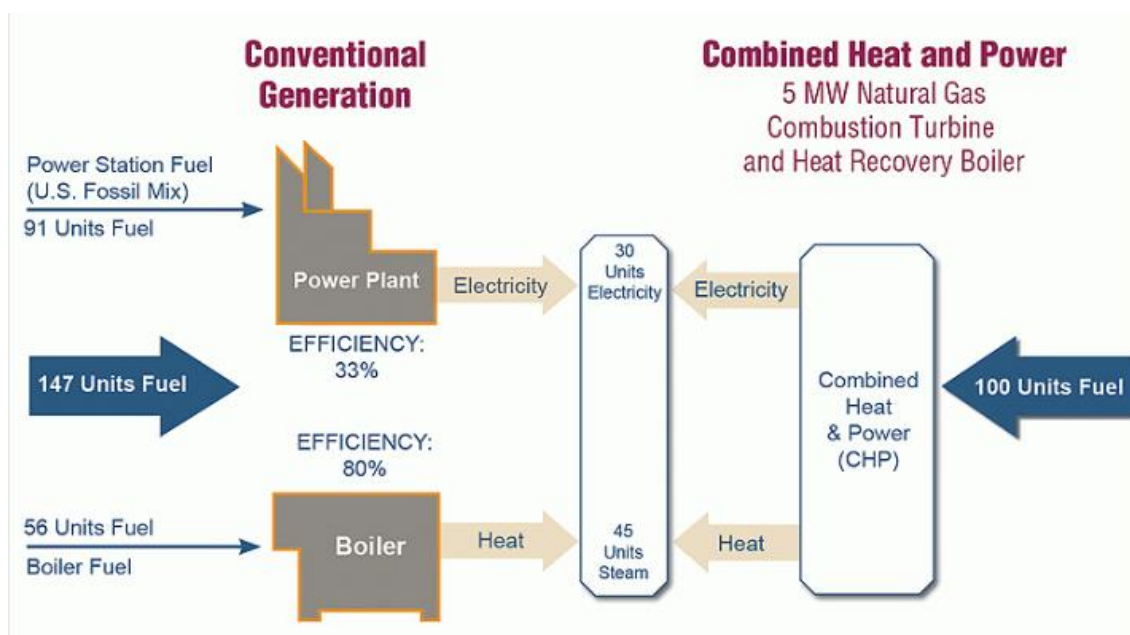
CHP lyhenne tulee englannin kielen sanoista combined heat and power eli lämmön- ja sähkön yhteistuotantolaitos. Kaikki laitokset, jotka tuottavat hyötykäyttöön sähköä ja lämpöä ovat CHP-laitoksia ja niiden avulla voidaan polttoaineesta saatava hyötysuhde kasvattaa yli 90 %, koska sähköä tuottaessa syntyy aina myös lämpöä. CHP-laitoksessa lämpö hyödynnetään yleensä kiinteistöjen ja prosessien lämmitykseen. Nämä laitokset ovat kannattavia alueilla, jossa lämmitysenergian tarve on suurempi kuin sähköenergian tarve (David, 2010).

CHP-laitokset jaotellaan kolmeen eri kokoluokkaan jotka ovat; mikro-CHP, pien-CHP ja suuren kokoluokan CHP-laitokset. Suuren kokoluokan CHP-laitokset ovat nimellisteholtaan > 10 MW. Pien-CHP laitoksen kokoluokka on sähkönteholtaan 1-2,0 MW välillä ja lämpöteholtaan 3-5,0 MW välillä. Pienen kokoluokan CHP-laitoksen tehon ylärajana pidetään 10,0 MW. Mikro-CHP laitosten kokoluokka on $< 50,0$ kW. Laitoksien toimintaperiaate ei varsinaisesti muutu verrattaessa eri kokoluokan CHP-laitoksiin eli ainoastaan laitoksen koko vaihtelee (Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus, 2013). Kuvassa 16 esitetään CHP-laitoksen toimintaperiaate.



KUVA 16. Mikro-CHP-laitoksen toimintaperiaate (Granlund Consulting 2018)

Kuvasta 17 voidaan nähdä, kuinka monta yksikköä vaaditaan tuottamaan 30 yksikköä sähköä ja 45 yksikköä lämpöä. Vasemmalla kuvataan tavanomaista lämmön ja sähkön erillistuotantoa ja oikealla lämmön- ja sähkön yhteistuotantoa. Erillisellä tuotannolla vaaditaan 147 yksikköä tuottamaan 30 yksikköä sähköä ja 45 yksikköä lämpöä, kun taas CHP-laitoksella vaaditaan ainoastaan 100 yksikköä tuottamaan vastaava määrä sähköä ja lämpöä (U.S. Environmental Protection Agency, 2014).



KUVA 17. CHP-laitoksen energiatehokkuus (United States Environmental Protection Agency 2014)

CHP-laitos tarvitsee polttoaineen pyörittääkseen turbiinia ja turbiinin pyöriessä syntyy mekaanista työtä, joka muuttuu generaattorissa sähköksi ja kitkan kautta lämmöksi. Prosessissa syntynyttä lämpöä kutsutaan lauhdelämmöksi ja sitä hyödynnetään asuntojen lämmitysenergiana. CHP-laitoksien polttoaineina voidaan käyttää uusiutuvan energianlähteitä sekä fossiilisia polttoaineita. CHP-laitoksia on useita tyyppisiä, esimerkiksi kaasuturbiini-, höyryturbiini-, ydinvoima- tai moottorilaitos. Nämä ovat suunniteltu erilaisiin käyttötarkoituksiin ja ne myös toimivat eri polttoaineilla; esimerkiksi uusiutuvilla energianlähteillä, kuten maakaasu ja biokaasu (U.S. Environmental Protection Agency, 2014). Biokaasu voidaan luetella uusiutuvaksi polttoaineeksi, koska sen poltto CHP-laitoksessa ei aiheuta hiilidioksidin nettopäästöjä ilmakehään (CO₂ Raportti, 2009).

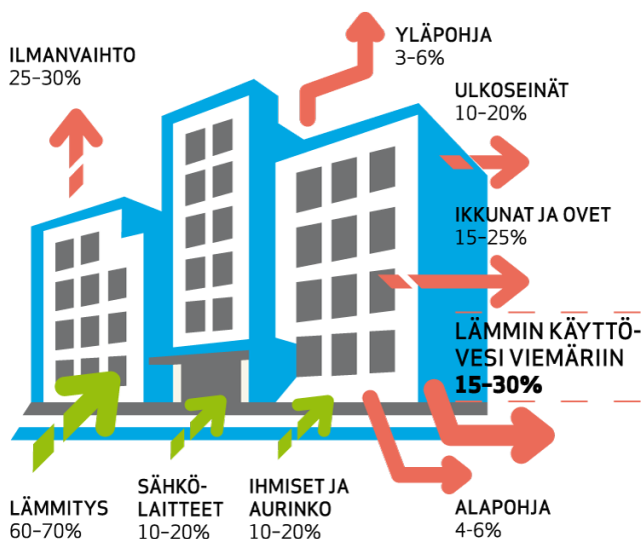
Uusiutuvat energianlähteet kuten aurinko- ja tuulienergia muodostavat ongelman, koska molemmat tuotantomuodot ovat riippuvaisia säästä. Sähköntarve on kuitenkin pääosin säästä riippumaton. CHP-laitoksen avulla voidaan tuottaa tasaisesti sähköä ja lämpöä ympäri vuoden ja laitokset ovat käyttövarmoja sekä niiden huollontarve on vähäinen (David, 2010).

2.2.7 Jäteveden lämmöntalteenotto

Jäteveden lämmöntalteenottolaitteita on ollut jo useampia vuosikymmeniä, mutta niiden kysyntä kasvoi vuosina 1970- ja 1980-luvulla öljykriisin jälkeen. Tuolloin öljyn hinta kasvoi merkittävästi, jolloin tutkijat alkoivat kehittämään uusia keinoja vähentää lämmitysenergiankulutusta ja yksi näistä oli jäteveden lämmöntalteenotto. Jatkuvasti tiukentuvat energiatehokkuusmääräykset ovat kasvattaneet kiinnostusta jäteveden lämmöntalteenottoon.

Hyvin harvassa suomalaisessa talossa on jäteveden lämmöntalteenottoa, vaikka yksi suurin osa asuintalon lämpöhäviöistä päätyy viemäriin. Kiinteistöjen ulkorakenteista johtuvat lämpöhäviöt ovat pienentyneet, jolloin lämpimän käyttöveden mukana viemäriin menevän hukkalämmön osuus on kasvanut. Jäteveden mukana poistuvan lämpöenergian osuus on noin 30 % asuintalojen vuotuisesta lämmitysenergian kulutuksesta (Energy Government, 2016). Ruotsalaisen tutkimustyhmän The Swedish Energy Agency mukaan tavanomaisessa asuintalossa käyttöveden lämmittämiseen kuluu 25 kWh/m²/a (Boverket, 2016). Uudessa Suomen Rakentamismääräyskokoelman vaatimukset täyttävässä asuintalossa lämmittämiseen kuluu 50-70 kWh/m²/a. (Energiatehokaskoti, 2017).

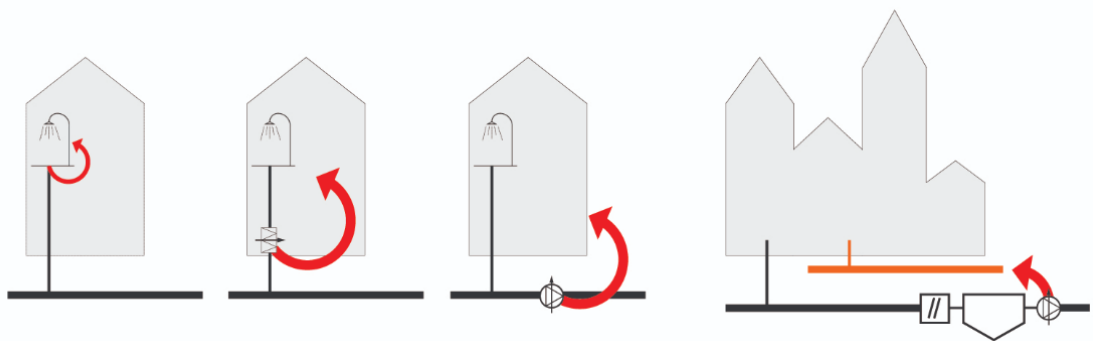
LÄMPÖTASE ASUINKERROSTALOSSA



KUVA 18. Asuintalojen lämpötase (Wasenco 2015)

Jätevedestä otetaan lämpöä talteen useilla eri tavoilla osa lämmöntalteenottolaitteista ottaa lämpöä talteen ainoastaan harmaasta vedestä ja kun taas toiset lämmöntalteenottolaitteista voi ottaa lämpöä talteen kaikesta jätevedestä.

Kuvassa 19 esitetään neljä yleisintä tapaa ottaa lämpöä talteen jätevedestä, jotka ovat; suihkun lämmöntalteenotto, asuintalokohtainen keskitetty jäteveden lämmöntalteenotto, päärunkoviemäriin jäteveden lämmöntalteenotto lämpöpumpulla ja keskitetty jätevesilaitoksessa oleva jäteveden lämmöntalteenotto, joka yleensä tapahtuu lämpöpumpuilla. Pienissä asuintaloissa käytetään usein kohdistettua suihkun lattiakaivoon integroitua jäteveden lämmöntalteenottolaitetta, jonka avulla esilämmitetään suihkulle tuleva kylmäkäyttövesi. Asuintalokohtaisella keskitetyllä lämmöntalteenottolaitteella voidaan ottaa kaikesta jätevedestä lämpöä talteen ja hyödyntää tätä talon lämmityksessä sekä kylmän käyttöveden esilämmityksessä. Asuinkiinteistöissä otetaan lämpöä talteen päärunkoviemäristä lämpöpumppujen avulla ja lämpöpumppu kasvattaa jätevedestä hyödynnettävän lämpöenergian osuutta, jolloin jätevedestä talteen otetulla lämmöllä voidaan tuottaa yli 58°C lämmintä käyttövettä. Lämpöpumpun toimintaperiaate on kerrottu kappaleessa 2.2.1. Maalämpö. Suurimmat jäteveden lämmöntalteenottojärjestelmät ovat sijoitettu jätevesilaitoksiin, joissa kulkee useamman kiinteistön jätevedet ja näistä otetaan lämpöä talteen lämpöpumppujen avulla ja tällä lämmöllä tuotetaan esimerkiksi kaukolämpöä (Arnell, 2017).



KUVA 19. Jäteveden lämmöntalteenottotavat (Sweden Water Research 2017)

Jäteveden lämmöntalteenottolaite toimii parhaiten, kun laitteelle tulevan jäteveden lämpötila on mahdollisimman korkea. Jäteveden keskimääräinen lämpötila viemäriin on noin 22°C. Asuintaloissa eniten lämmintä jätevettä tuottavat suihku, keittiön ja pyykin pesuvedet. Jäteveden lämpötila vaihtelee vuoden ajan ja käytön mukaan, jolloin laitteen

lämmöntuotto ei ole säännöllistä (Boverket, 2016). Jäteveden lämmöntalteenottolaitteet ovat hyvin herkkiä likaantumaan varsinkin laitteet, joiden läpi kulkee kiinteistön kaikki jätevesi. Lämmöntalteenottolaitteen pinnan likaantuessa lämmönsiirtyminen heikentyy ja laitteen lämmönsiirto teho laskee. Täten jäteveden lämmöntalteenottolaitteet vaativat säännöllistä puhdistamista toimiakseen oikein (Kordana, 2017).

Jäteveden lämmöntalteenoton kannattavuuteen vaikuttaa useat eri asiat kuten lämpimän käyttöveden ja kylmän käyttöveden lämpötilatasot. Nämä lämpötilatasot vaihtelevat eri maissa, koska jokaisella maalla on eri määräykset lämpimän käyttöveden lämpötilatasoista. Suomessa Ympäristöministeriö on asettanut lämpimän käyttöveden alarajaksi 55 °C. Ruotsi on määritellyt tämän alarajan 50 °C (Ympäristöministeriö, 2015). Kylmää käyttövettä esilämmittävien jäteveden lämmöntalteenottolaitteiden hyötysuhteeseen vaikuttaa vesijohtoverkoston kylmän veden lämpötila, koska lämmönsiirtyminen jätevedestä kylmän käyttöveteen kasvaa lämpötila eron kasvaessa. Käyttöveden lämpötila vaihtelee vuodenajan mukaan, jolloin talvella käyttöveden lämpötila voi olla 5 °C ja kesällä lämpötila voi kohota 20 °C. Suomessa Ympäristöministeriö on rajoittanut kylmän käyttöveden ylärajaksi 20 °C (Ympäristöministeriö, 2015).

2.3 Ekoölykylät maailmalla

Erilaisilla variaatioilla toteutettuja ekoölykyliä löytyy maailmalta, mutta on tärkeätä olla sekoittamatta ekoölykyläkonseptia vanhahtavaan ekokyläkonseptiin. Molemmat konseptit on rakennettu samojen periaatteiden ohjaamana, mutta niiden teknologiat eroavat merkittävästi. Tässä työssä esitellään kolme ekoölykylää maailmalta, joiden lämmön- ja sähköntarve vastaa suomalaisten asuintalojen keskimääräisiä energiantarpeita.

2.3.1 Drake Landing Solar Community

Drake Landing Solar Community (DLSC) sijaitsee Okotoks-nimisessä kaupungissa Kanadassa, jossa lämpötilat kesällä ja talvella vastaavat Etelä-Suomen lämpötiloja. Kylä on valmistunut vuonna 2007. DLSC on ollut asutettuna yli 10 vuotta ja asukkaat ovat olleet tyytyväisiä ekoölykyläkonseptiin. Kylässä on 52 taloa. Kaikki talot ovat kaksikerroksisia

ja asukkaat ovat voineet valita kuudesta erilaisesta talomallista. Jokaisella talolla on erillinen autotalli. Asuntojen lattia pinta-alat vaihtelevat 138 m² - 154 m² ja kaikkien asuintalojen yhteenlaskettu pinta-ala on 11 340 m² (Natural Resources Canada, 2015, 37).

Tämä hanke sai alkunsa, koska kanadalainen tutkijaryhmä Natural Resources Canada's research group halusi tutkia aurinkoenergian kausivarastointimahdollisuuksia (CREB 2017).



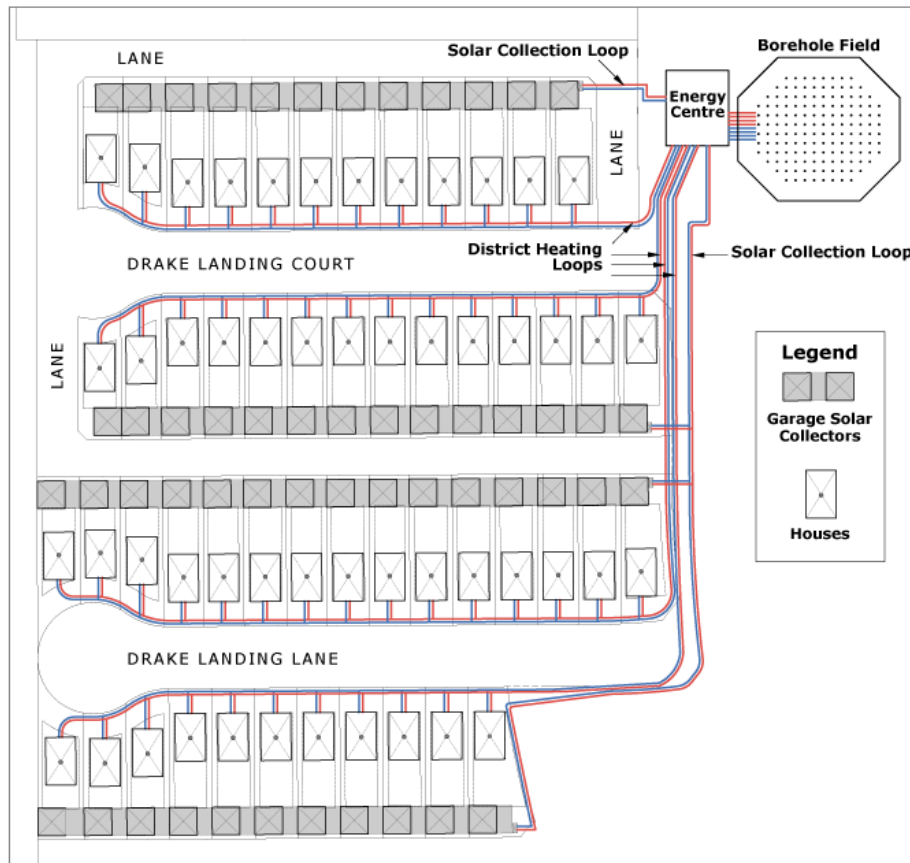
KUVA 20. Drake Landing Solar Community ilmakuva (Drake Landing Solar Community 2015)

Ensisijaisen lämpöenergianlähteenä toimii aurinkoenergia, jonka avulla voidaan tuottaa jopa 100% lämmitysenergiatarpeesta kuten vuonna 2015. Viiden vuoden tarkastelujaksolla noin 90 % lämmitysenergiatarpeesta on aurinkoenergialla. Kylän toissijaisena lämmönlähteenä on maakaasu. Lämmönjako asuntoihin on toteutettu alueen omalla alueverkostolla. Teknisestä tilasta lämpöä siirretään asuntoihin kaksiputkijärjestelmän avulla, ja jokaisessa asunnossa on oma lämmönvaihdin (Drake Landing Solar Community, 2017).

Aurinkoenergiaa kerätään aurinkokeräimillä, jotka on sijoitettu asuntojen varastojen katoille siten, että ne osoittavat etelään 45° kulmassa. Niitä on yhteensä 800 kappaletta ja niiden yhteispinta-ala on 2310 m² (Drake Landing Solar Community, 2017).

Kesällä kylän aurinkokeräimillä tuotettu ylimääräinen lämpö varastoidaan kausivarastoon eli BTES (Borehole thermal energy storage). Kausivarasto toimii kylän lämpövarastona: kesällä varastoidaan mahdollisimman paljon lämpöä ja talvella käytetään kesällä

varastoitua lämmitysenergiaa. Lämpöakku BTES on halkaisijaltaan 35 metriä ja se koostuu 144 porakaivosta, joiden syvyys on 37 metriä ja porakaivojen keskimääräinen etäisyys on 2,25 metriä. BTES maa-aineena on käytetty; 9% masuuninkuonasementtiä, 9% portlandsementtiä, 32 % hienoa hiekkaa ja 50 % vettä ja BTESsin yläosa on eristetty polyeteenillä. Lämpövaraston keskiosan lämpötila voi kesällä kohota lähes 80 °C (Catalico, Ge & McCartney 2015). Kuvassa 21 esitetään DLSC lämpöjohtoverkosto.



KUVA 21. DLSC alueverkosto (Drake Landing Solar Community 2015)

Asuintalot on suunniteltu siten, että ne kuluttavat mahdollisimman vähän lämmitysenergiaa ja tämä on toteutettu parantamalla lämmöneristystasoa, parantamalla asuntojen väli- ja seinätiiviyttä. Näin asuintalojen vuotoilmanmäärä on mahdollisimman pieni. Ikkunoina on käytetty energiatehokkaita selektiivieristyslaseja, jotka ovat täytetty argon -kaasulla. Talojen suuntaus on myös ollut suuressa roolissa (Sibbitt, 2015). Asuntojen rakennusmateriaalit ovat myös mietitty siten, että niiden hiilijalanjälki olisi mahdollisimman pieni. DLSC asuintalot ovat noin 30% energiatehokkaampia verrattuna keskivertoon kanadalai-

seen asuintaloon (Drake Landing Solar Community, 2017). Jokainen asunto vähentää hiilidioksidipäästöjä vuodessa noin 5 tCO₂, jolloin koko kylä vähentää yhteensä hiilidioksidipäästöjä vuodessa 260 tCO₂ (Government of Canada, 2005).

2.3.2 Community of Feldheim village

Community of Feldheim sijaitsee Treunbrietzen-nimisessä kaupungissa Saksassa. Kylä siirtyi uusiutuviin energianlähteisiin vuonna 1995, jolloin asukkaat pystyttivät ensimmäisen tuulivoimalan. Nykyään kylässä on 55 tuulivoimalaa, 9 844 aurinkopaneelia ja biokaasulla toimiva CHP-laitos. Kylässä on 145 asukasta ja jokainen heistä on investoinut kylän yhteiseen energiajärjestelmään (Guevara-Stone, 2014).

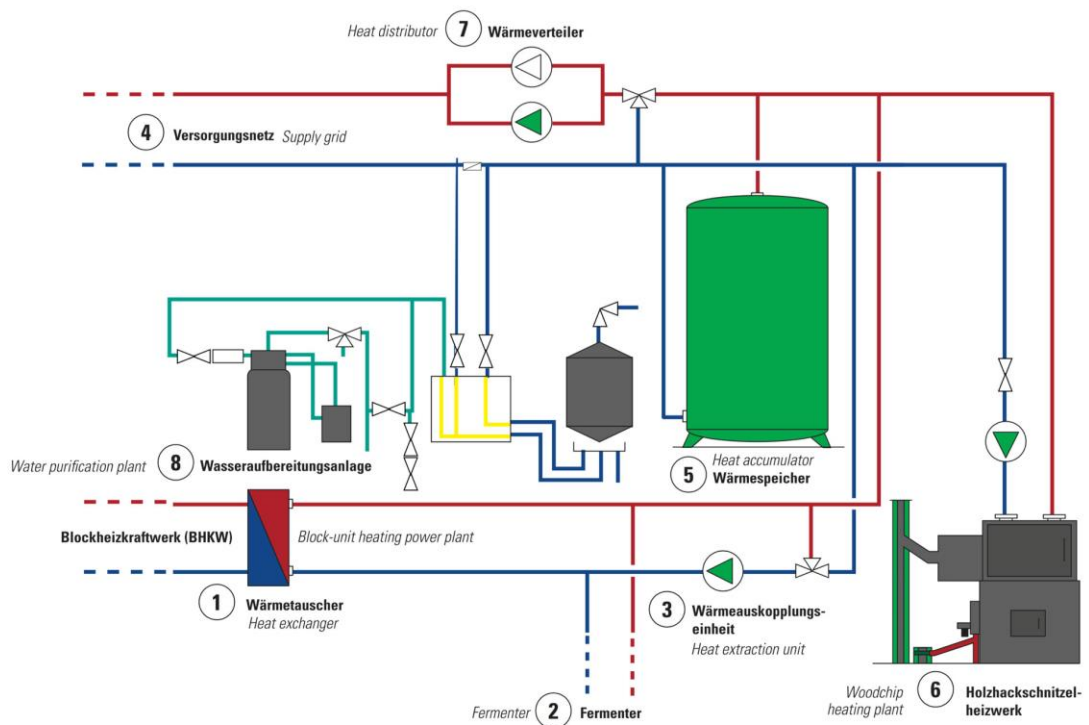
Vuonna 2009 Feldheimistä tuli Saksan ensimmäinen kylä, joka tuotti 100 % oman sähkönsä uusiutuvilla energianlähteillä. Kylän nykyiset sekä tulevat asukkaat ovat velvoitettuja tekemään investoinnin energiajärjestelmään ja näiden investointien avulla pystytään kasvattamaan energiajärjestelmän kokoa energian kysynnän kasvaessa (Guevara-Stone, 2014).



KUVA 22. Community of Feldheim (Greenbiz 2014)

Feldheimissä on biokaasulla toimiva CHP-laitos, jonka sähköteho on 526 kW. Kylä tuottaa itse oman biokaasunsa yhteistyössä paikallisten maanviljelijöiden kanssa. Laitos tuottaa vuodessa 4 000 MWh sähköä, josta suurin osa myydään sähköverkkoon. Sähkön tuotannon sivutuotteena laitoksen syntyy lämpöä 6 000 MWh, jonka avulla lämmitetään kylän asuntoja ja paikallisia elinkeinonharjoittajien tiloja. Lämmitysenergiaa varastoidaan

kahteen lämminvesivaraajaan ja varaajien yhteistilavuus on 90 m³. Lämmönjako on toteutettu lähialueverkoston avulla, jonka avulla saadaan siirrettyä CHP-laitoksen tuottamaa lämpöä tehokkaasti asuntojen lämmitykseen. Ylimääräinen lämpö varastoidaan lämminvesivaraajaan. Näin voidaan leikata suurimmat lämmitystehohuiput. CHP-laitoksen lisäksi kylässä on pellettipoltin, jonka avulla voidaan tuottaa lisää lämpöä, jos CHP-laitoksen tuottama lämpöteho ei ole riittävä tai jos CHP-laitoksessa on käyttökatko (Neue Energien Forum Feldheim, 2015). Kuvassa 23 on esitetty Feldheimin kylän energialaitoksen kytkentäkaavio.

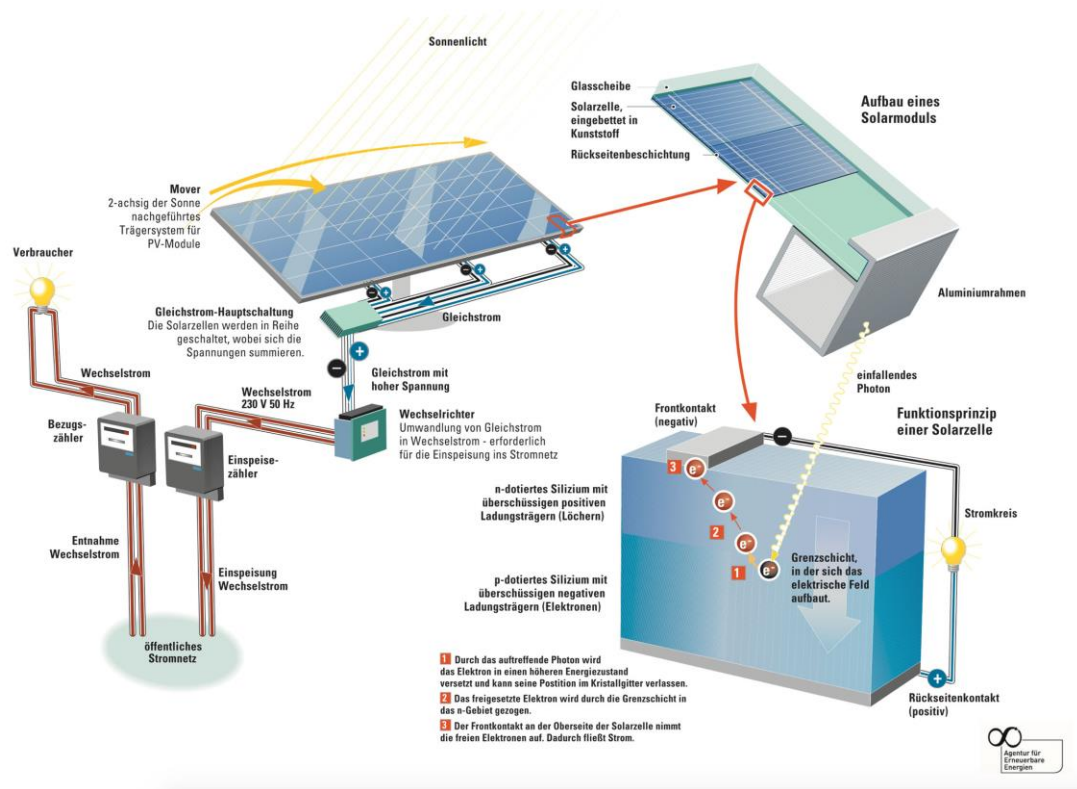


KUVA 23. Feldheimin lämmönjakohuoneen kytkentäkaavio (Neue Energien Forum Feldheim 2015)

Kylässä on 55 tuulivoimalaa, jotka omistaa paikallinen energiayhtiö. Tuulivoimaloiden yhteisteho on 122,6 MWp. Energiayhtiö on sijoittanut tuuliturbiinit maaomistajien pelloille ja maa-alueille. Energialaitos maksaa maaomistajille vuokraa kyseisestä maa-alueesta, jolle tuuliturbiinit ovat sijoitettu.

Kylässä on lähes 10 000 aurinkopaneelia. Ne on sijoitettu 284 telineeseen, jotka ohjautuvat auringonsäteilyn mukaisesti. Aurinkopaneelien sähköteho on 2,25 MWp ja vuo-

dessa aurinkopaneeleilla tuotetaan 2 748 MWh sähköenergiaa. Aurinko- ja tuulivoimailoitten tuottamaa sähköenergiaa varastoidaan kylässä olevaan keskitettyyn akustoon, jonka kokonaiskapasiteetti on 10,7 MWh (Glücksman, 2014). Kuvassa 24 on esitelty kylän aurinkopaneelijärjestelmän toimintaperiaate.



KUVA 24. Feldheimin aurinkoenergiajärjestelmä (Feldheim 2015)

Feldheimin kylän asukkaat ja paikalliset yritykset maksavat 31 % vähemmän kuluttamastaan sähköstä ja 10 % vähemmän lämmitysenergiastaan verrattuna Saksan energiantuotannon keskihintoihin (Stewart Emily, 2014). Kylä kuluttaa sen itse tuottamastaan sähköstä ainoastaan 1 % ja loppu sähkö myydään paikalliselle energiayhtiölle. Kylän energiatuotantolaitos työllistää useita kylän asukkaita ja kylän työttömyysaste oli vuonna 2014 0 %, kun taas keskimäärin muissa saksalaisissa kylissä on ollut noin 30 % työttömyysaste. Feldheim on hyvä todiste siitä, että kylät voivat olla energiaomavaraisia kustannustehokkaasti. Näin kylien ei tarvitsisi olla riippuvaisia suurista energiayhtiöistä (Guevara-Stone, 2014).

2.3.3 Eco-village Permatopia

Permatopia on 30 hehtaarin ekoälykylä, joka sijaitsee tanskalaisessa pienessä kaupungissa Karisissa 47 kilometrin päässä Kööpenhaminasta. Kylästä on hyvät julkiset kulkuyhteydet Kööpenhaminaan. Ekoälykylän kehityksen lähtökohtana oli uusiutuvien energiälähteiden hyödyntäminen sähkön ja lämmön tuotannossa. Permatopiassa on 90 asuntoa, jotka ovat suunniteltu hyvin tiukkoja energiamääräyksiä noudattaen ja asuintalojen materiaalien valintaa on vaikuttanut materiaalien pieni hiilijalanjälki. Rakennusmateriaalina on pääosin käytetty puuta ja asuntojen lämmöneristeenä on käytetty selluloosakuitua. Asuntojen koot vaihtelevat 76-126 m² välillä. Kylän asukkaat ovat päässeet muuttamaan 2017 vuoden lopulla ja useat henkilöt ovat odotuslistalla kylän asukkaiksi. Kylän suosio on ylittänyt useiden ihmisten odotukset (Euroheat & Power, 2017).



KUVA 25. Havainnekuva Permatopiasta (Polybutene 2018)

Kylän ensisijaisena lämmitysenergianlähteenä on maalämpö, jonka avulla voidaan lämmitellä koko kylä ympäri vuoden ja suurin osa lämpöpumpun tarvitsemasta sähköstä tuotetaan tuulivoimalan avulla. Tuulivoimaa tuottaa yksi tuuliturbiini, jonka sähköteho on 300 kWp (Harpsoe, 2018). Kylän yhteisen lämpöpumpun rinnalle on asennettu suuret lämminvesivaraajat, joiden avulla voidaan pienentää lämpöpumpulta vaadittavaa hetkelistä tehoa sekä tasoittaa maalämpöpumpun käyntiaikoja. Vuotuisesti maalämmöllä tuotetaan lämmitysenergiaa 300 MWh asukkaille ja lisäksi 200 MWh paikallisille maanviljelijöille. Lämmönjakelu asuntoihin tapahtuu kylän oman lämmönjakeluverkoston avulla.

Kylän energiajärjestelmän avulla vähennetään hiilidioksidipäästöjä vuodessa yli 100 t kgCO₂ (EUSEW, 2018). Kylä on myös kytketty myös energiayhtiön sähköverkkoon, jolloin voidaan varmistua, että asukkailla on aina sähkö käytössä (Harpsoe, 2018). Kaikki asunnot on varustettu ekologisilla kuivakäymälöillä, jotka mahdollistavat viemäröinnin ilman huuhtelua. Käymälät myös mahdollistavat virtsan hyödyntämisen lannoitteena paikallisilla maatiloilla (EUSEW, 2018).

3 MASALAN EKOÄLYKYLÄ

Kirkkonummen kunnanosaan Masalaan on tulossa yksi maailman suurimmista ja kehittyneimmistä ekoälykylistä. Hankkeen tarkoituksena on osoittaa, ettei talouden tarvitse kärsiä ekologisista valinnoista. Nykypäivän teknologia tarjoaa useita ympäristöystävällisiä energiajärjestelmiä kustannustehokkaasti. Masalan ekoälykylän suunnittelun ydin kohtina ovat olleet ihminen, talous ja ekologisuus.

Ekoälykylähankkeita on toteutettu maailmalla jo aikaisemminkin, mutta tämän mittakaavan hanke olisi yksi suurimmista maailmalla.

3.1 Masalan ekoälykylän kuvaus

Ekoälykylään on tulossa 240 pientaloa, joiden asuinpinta-alat vaihtelevat 80-150 m² välillä, sekä kahdeksan kaksikerroksista luhtitaloa, joissa kussakin on 14 asuinhuoneistoa. Masalan ekoälykylään on arvioitu tarjoavan asuinpaikan noin tuhannelle ihmiselle. Kylän keskukseen tulee noin 400 m² kylätalo, joka toimii kylän asukkaiden kohtaamispaikkana. Ekoälykylän tontin pinta-ala on 40 hehtaaria; asuntojen osuus on tästä pinta-alasta alle neljä hehtaaria. Ekoälykylään tulee oma alueverkosto, jossa kulkee neljä lämmitysputkea. Tämän alueverkoston avulla siirretään lämpöä ja jäähdytystä asuntoihin.

Kaikki ekoälykylän asunnot on suunniteltu siten, että ne voitaisiin tilata valmiina talovalmistajalta tontille ja ne toimitettaisiin suurtilaelementteinä kuorma-autoilla asukkaan valitsemalle tontille. Rakennusmateriaaleissa on huomioitu ekologisuus muun muassa siten, että rakennuksissa perustuksia lukuun ottamatta, ei ole käytetty betonia ja puuta ollaan käytetty mahdollisimman paljon.

Kylästä on suunniteltu hiilineutraalia ja kylän omalla energiajärjestelmällä on tavoitteen tuottaa kaikkien asukkaiden lämmitysenergian tarve ja noin 80 % sähköenergian tarpeesta. Loput sähköenergiasta ostetaan sähköyhtiöiltä vesivoimalla tuotettuna. Kylä olisi siis suurimman osan vuodesta energiaomavarainen. Pääasiallisena sähköenergianlähteenä toimii aurinkoenergia ja lämmitysenergianlähteenä maalämpö.

Ekoälykylästä Masalan keskusta on matkaa noin 1,5 kilometriä, ja tämän matkan pääsee kulkemaan edestakaisin kylän omilla robottisähköbusseilla. Erinomaisen sijainnin takia Helsingin keskusta ekoälykylästä pääsee jopa 35 minuutissa.

Koko energiajärjestelmän mitoituksen tärkeimpänä lähtökohtana on ollut se, että kylä olisi hiilineutraali ja kaikki järjestelmät sekä laitteet on valittu siten, että niiden hiilidioksidipäästöt olisivat mahdollisimman pienet. Pääasiallisena lämpöenergianlähteenä toimii maalämpö, jolla pyritään tuottamaan suurin osa kylän tarvitsemasta lämmitysenergiasta ja loput lämmitysenergiat tuotetaan CHP-laitoksen palokaasuista sekä jäteveden lämmöntalteenotolla. Sähköenergiaa kylässä tuotetaan aurinkoenergialla, jonka avulla pyritään kattamaan 40 - 60 % vuotuisesta sähköenergiantarpeesta. CHP-laitoksen avulla pyritään tuottamaan 20 - 30 % vuotuisesta sähköenergiantarpeesta ja loput sähköenergiantarpeesta ostetaan energiayhtiöltä vesivoimalla tuotettuna.

Ekoälykylään valittiin seuraavat uusiutuvan energianlähteet, koska niiden hiilidioksidipäästöt olivat neutraalit. Samalla ne ovat hyvin toimintavarmoja ja niiden huollontarve on vähäinen. Yksi tärkeä tekijä energiajärjestelmän suunnittelussa on laitteiden energiatehokkuus ja taloudellinen kannattavuus, jota käsitellään jäljempänä tässä työssä.

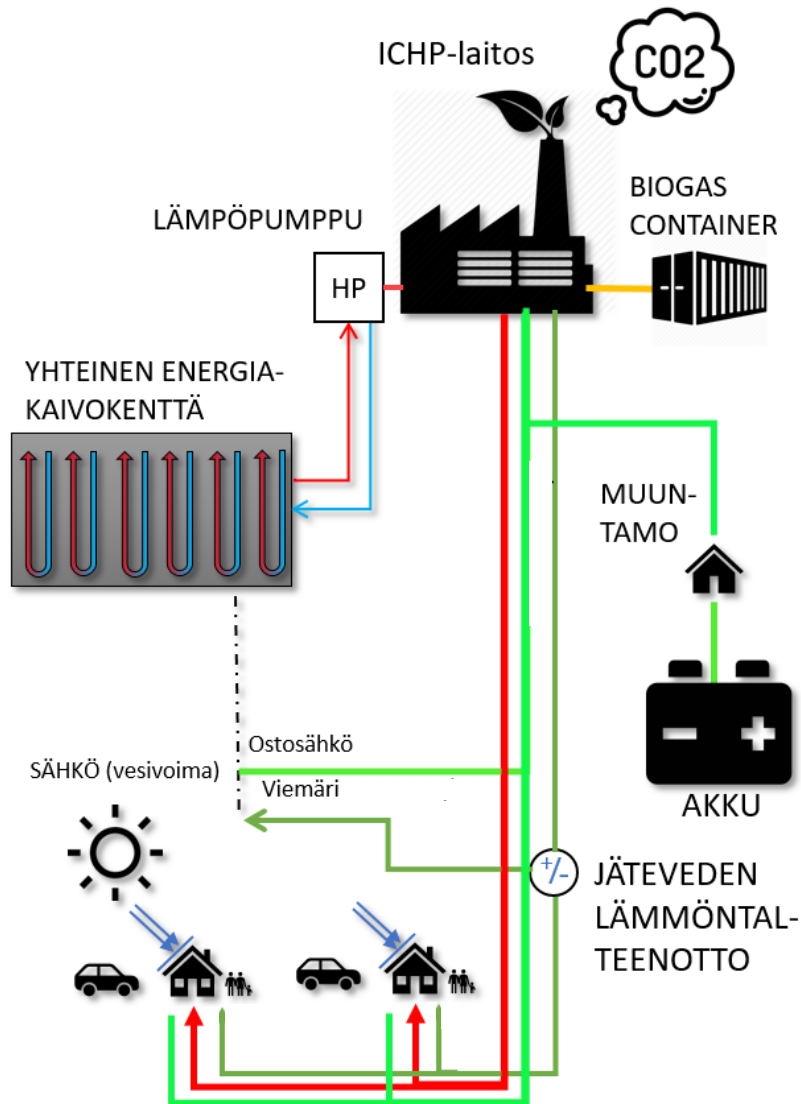
Ekoälykylän maanrakennustyöt ovat suunniteltu alkavaksi vuonna 2020 ja ensimmäiset asukkaat pääsevät muuttamaan ekoälykylään vuonna 2022.

Kuvassa 26 esitetään havainnekuva Masalan ekoälykyläkonseptista.



KUVA 26. Masalan ekoäkylä (Lunden 2018)

Kuvassa 27 esitetään Masalan ekoäkylän energiajärjestelmä. Kylä on liitetty kaupungin sähköverkkoon, joten sähkönsaanti on taattu, vaikka laitteistoon tulisi huoltokatkoja. Tavoitteena on, että yli 85 % ajasta kylä toimisi omavaraisena sähkön ja lämmön tuotannon suhteen. Ekoäkylään tulee oma energialaitos, johon sijoitetaan ICHP-laitos, maalämpöpumput, vesivaraajat sekä keskitetty sähköakku.

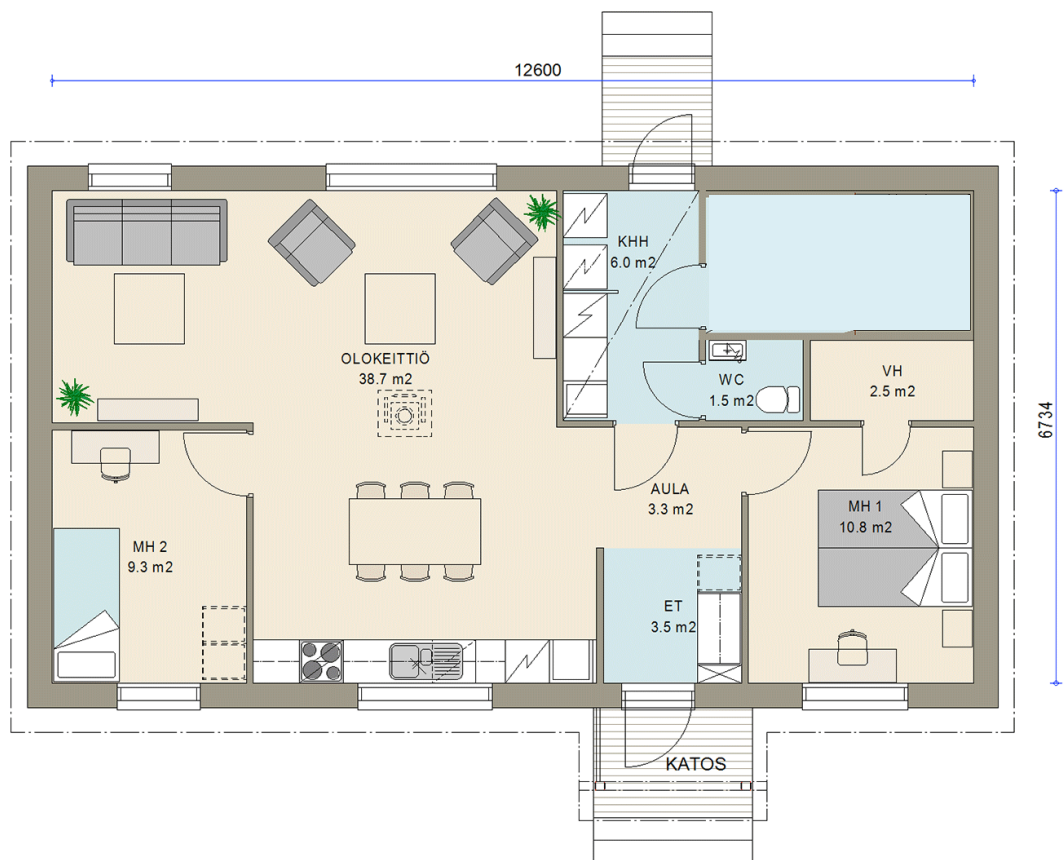


KUVA 27. Masalan ekoälykylän energiajärjestelmän luonnoskaavio (Granlund Consulting 2018)

Masalan ekoälykylän tavoitteena on olla lähes kokonaan omavarainen, jolloin kylä ei olisi riippuvainen energiayhtiöistä vaan tuottaisi tarvitsemansa energian itsenäisesti oman energialaitoksen avulla. Toinen tavoite järjestelmälle on olla mahdollisimman vähäpäästöinen, jolloin sen ympäristökuormitus on matala. Toinen tavoite pyritään täyttämään hyödyntämällä uusiutuvia energianlähteitä.

3.2 Ekoökyylän tyyppirakennusten perusgeometria

Ekoökyylän tyyppirakennuksen mallina on käytetty Kastellin Play -talon pohjapiirrosta. Erilaisia pohjaratkaisuja kylään tulee useita, mutta tässä kappaleessa tarkistellaan ainoastaan 100 m² asuintaloa ja työssä tehdyt simuloinnit ovat toteutettu kuvassa 18 esitetyille talomallille. Kuvassa 28 esitetään 100 m² asuintalon pohjaratkaisu Masalan ekoökyylässä.



KUVA 28. Ekoökyylän asuintalon pohjaratkaisu (Kastelli Play 2018)

3.3 Rakennerratkaisut

Ekoökyylän asuintalot ovat lähes nollaenergiataloja ja talojen ulkovaipparakenteiden U-arvot sekä vuotoilmavirta on esitetty taulukossa 2. Taulukkoon on myös lisätty vertailuarvoksi Suomen Rakentamismääräyskokoelman osan D3 (2012) mukaiset uudisrakenteisten pientalojen vertailuarvot rakenteiden U-arvoille ja vuotoilmavirralle.

TAULUKKO 2. Ekoälykylän U-arvot verrattuna SmRmk D3 (2012) arvoihin

	Sm Rmk D3 (2012)	Ekoälykylän asuintalo
	U-arvo [W/m ² K]	U-arvo [W/m ² K]
Ulkoseinät	0,17	0,14
Alapohja (tuulettuva)	0,17	0,17
Yläpohja (ulkoilmaa vasten)	0,09	0,09
Ikkunat	1	0,8/1
Ulko-ovet	1	0,7
Vuotoilmavirta	4 m³/(h·m²)	2 m³/(h·m²)

Taulukossa 3 esitetään mitä rakennusmateriaaleja asuintalojen eri rakenteissa on käytetty.

TAULUKKO 3. Ekoälykylän asuintalojen rakenteiden materiaalit

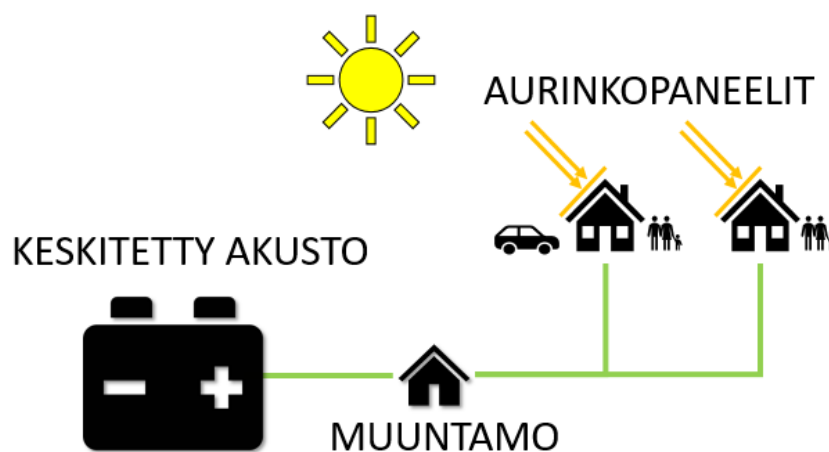
Rakenne	Ekoälykylän asuintalojen rakennemateriaalit
Ulkoseinät	OSB-levy, paksuus 12 mm, $\lambda = 0,13$ W/(m·K) Villaeriste, paksuus 50 mm, $\lambda = 0,033$ W/(m·K) Höyrysulku, paksuus 0,22 mm, $\lambda = 0,25$ W/(m·K) Villaeriste, paksuus 125 mm, $\lambda = 0,033$ W/(m·K) Tuulensuojaeriste, paksuus 75 mm, $\lambda = 0,031$ W/(m·K) Ilmaväli 22 mm, $\lambda = 0,4$ W/(m·K) Ulkoeristys, paksuus 10 mm, $\lambda = 0,13$ W/(m·K)
Sisäseinät	OSB-levy, paksuus 12 mm, $\lambda = 0,13$ W/(m·K) Ilmaväli 70 mm, $\lambda = 0,4$ W/(m·K) OSB-levy, paksuus 12 mm, $\lambda = 0,13$ W/(m·K)
Yläpohja (ulkoilmaa vasten)	Ruoteet ja vesikate aluskatteineen Tuuletusrako 100 mm, $\lambda = 0,4$ W/(m·K) Tuulensuojaeriste, paksuus 50 mm, $\lambda = 0,031$ W/(m·K) Villaeriste, paksuus 350 mm, $\lambda = 0,033$ W/(m·K) Höyrysulku, paksuus 0,22 mm, $\lambda = 0,25$ W/(m·K) Villaeriste, paksuus 50 mm, $\lambda = 0,033$ W/(m·K) OSB-levy, paksuus 12 mm, $\lambda = 0,13$ W/(m·K)
Alapohja (tuulettuva)	Parketti, paksuus 12 mm, $\lambda = 0,13$ W/(m·K) Kipsivalu, paksuus 30 mm, OSB-levy, paksuus 18 mm, $\lambda = 0,13$ W/(m·K) Höyrysulku, paksuus 0,22 mm, $\lambda = 0,25$ W/(m·K) Villaeriste, paksuus 100 mm, $\lambda = 0,033$ W/(m·K) Villaeriste, paksuus 350 mm, $\lambda = 0,033$ W/(m·K) Tuulensuojaeriste, paksuus 25 mm, $\lambda = 0,031$ W/(m·K) Tuuletettu ryömintätila
Ikkunat (pohjoinen)	Sisä- ja ulkopuitteessa kaksinkertainen selektiivinen eristyslasi, jossa Argon-kaasu ja komposiittivälilista
Ikkunat (etelä)	Sisäpökassa 2-kertainen eristyslasi, lasitus selektiivi + argon, 16 mm välilista Ulkopökassa 2-kertainen eristyslasi, lasitus selektiivi + argon, 16 mm välilista
Ikkunat (muut)	2-kertainen selektiivi-lämpölasielementti argon-kaasulla ja 4 mm laseilla, ulkopuitteessa 4 mm tasolasi

3.4 Ilmanvaihtojärjestelmä

Jokainen ekoälykylän asuintalo varustetaan omalla koneellisella ilmanvaihdolla ja asuintoihin on suunniteltu tarpeenmukainen ilmanvaihto eli ilmanvaihtomäärä perustuu sisäilmaolosuhteisiin sekä ihmisten paikallaoloon. Tarpeenmukaisessa ilmanvaihdossa ilma-
virrat kasvavat, kun hiilidioksiditasot nousevat sisätiloissa ja jos tiloissa ei ole asukkaita niin ilmanvaihto toimii ainoastaan 30 % osateholla siten, että asuintalossa pysyy ilmanvaihtuvuus halutulla tasolla. Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon avulla voidaan säästää energiakustannuksissa noin 65 % verrattuna tavanomaiseen vakioilmavirtajärjestelmään (Fläkt Woods, 2017).

3.5 Aurinkoenergia

Aurinkoenergia on kylän ensisijainen sähköenergianlähde ja sitä tuotetaan 18 000 m² aurinkopaneelien avulla. Jokaisen asuintalon katolle on sijoitettu keskimäärin 60 m² aurinkopaneeleita. Aurinkopaneelien avulla pyritään tuottamaan 40-60% kylän sähköenergiatarpeesta. Kun kylän energiantarve on pienempi kuin aurinkoenergian, sähköenergiaa siirretään kylän yhteiseen akustoon. Keskitetyn akuston avulla ekoälykylän ei tarvitse käyttää ostoenergiaa kesällä. Kuvassa 29 esitetään aurinkoenergiajärjestelmän toimintaperiaate.



KUVA 29. Masalan ekoälykylän aurinkoenergiajärjestelmän toimintaperiaate (Granlund Consulting 2018)

Sähköakusto mitoitetaan kustannustehokkaaksi, jolloin akun käyttöastetta pyritään kasvattamaan. Yksi mitoittava tekijä on myös kesäajan omavarainen sähköntuotanto.

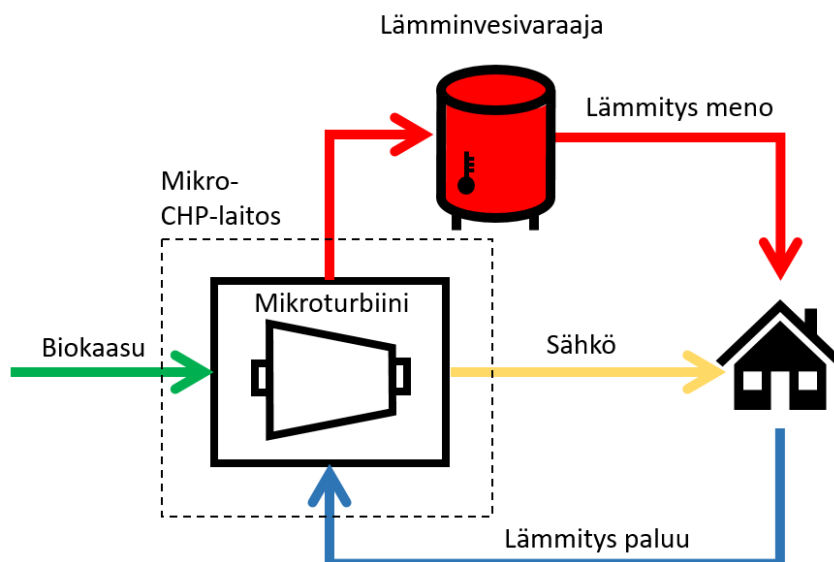
Aurinkopaneelijärjestelmän mitoituksen lähtökohtana on, että aurinkopaneelit ovat edullisia, joten niiden määrä kasvatettiin, joka taas kasvattaa keskitetyn akun käyttöastetta. Aurinkopaneelijärjestelmän suuruuden avulla jo muutaman tunnin jatkuva auringon säteily täyttää sähköakuston, jolloin aurinkojärjestelmän käyttöaste kasvaa ja investoinnin takaisinmaksuaika lyhenee.

Ekoälykylän jokainen asuintalo on varustettu sähköauton latauspisteellä. Suurin osa asukkaista lataa sähköautoaan yöaikana, jolloin sähköenergian tarve kasvaa merkittävästi, kun aurinkoenergiaa ei ole tarjolla. Aurinkoenergian varastointi sähköakkuun mahdollistaa sähköautojen latauksen yöaikana päivällä ladatun aurinkoenergian avulla.

3.6 ICHP-laitos

Ekoälykylään tulee oma energialaitos, joka varustetaan biokaasulla toimivilla mikroturbiineilla. Turbiinien hyötysuhde sähkön ja lämmön yhteistuotannossa on 80%. Mikroturbiinit kytketään rinnan ja jos sähköenergian tarve tulevaisuudessa kasvaa niin mikroturbiineja voidaan kytkeä rinnan energiantarpeen mukaan lähes rajattomasti. Polttoaineena mikroturbiineissa käytetään paineistettua biokaasua, joka on sertifioitua (Sarlin, 2017).

Mikroturbiinien suurin etu on niiden vähäinen huollontarve, koska tekniikka on hyvin yksinkertainen ja biokaasu itsessään riittää voitelemaan turbiinia, koska turbiini on varustettu ilmalaakereilla (Capstone Turbine, 2016). Kuvassa 30 esitetään mikroturbiinilaitoksen toimintaperiaate.



KUVA 30. Mikroturbiinilaitoksen periaatekaavio (Granlund Consulting 2018)

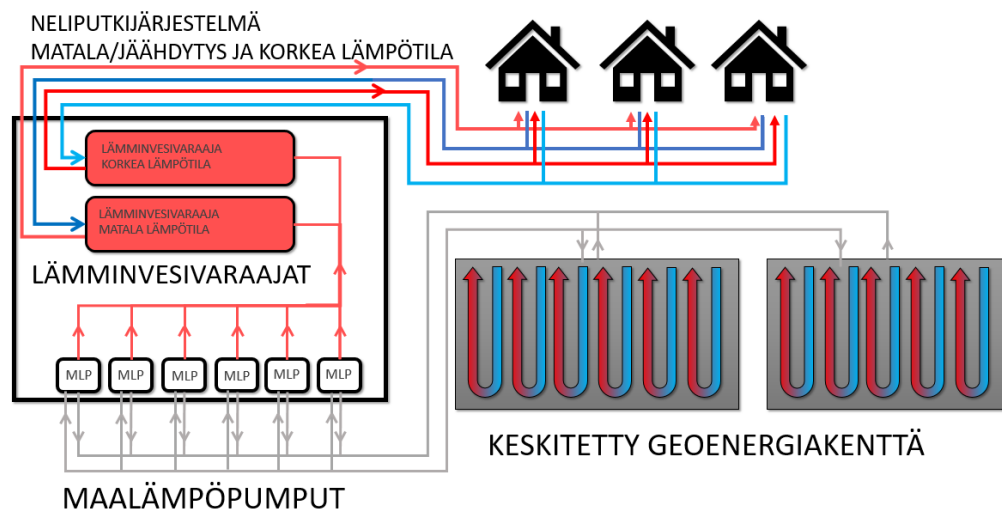
Sähköä tuottaessa vapautuu merkittävä määrä kuumaa palokaasua. Palokaasun lämpötila on 309 °C. Tätä voidaan käyttää lämmityksessä, ja yhdestä mikroturbiinista tulee 120 kW lämpötehoa, kun turbiini toimii täydellä teholla. CHP-laitoksen tuottamaa lämpöä hyödynnetään rakennusten lämmittämisen ja lämpimän käyttöveden tuotantoon. Lämmön ja sähkön yhteistuotannossa mikroturbiinien yhteishyötysuhde voi paikoittain nousta 85 %:iin.

Ekoölykylässä CHP-laitoksella pyritään tuottamaan 20-30 % vuotuisesta sähköenergian tarpeesta ja 30-35% vuotuisesta lämpöenergian tarpeesta. Laitoksen mitoitus on pääosin ohjannut hinta ja hiilidioksidipäästöt. Toinen asia, joka vaikuttaa laitoksen kokoon on, että laitos ei saisi tuottaa sähköenergiaa enempää kuin 800 MWh vuodessa, koska sähkömarkkinalain mukaan alle 800 MWh tuottavat laitokset eivät ole verovelvollisia (Verohallinto, 2016). Pienen paikallistuotannon suurimpia etuja on, etteivät laitokset ole verovelvollisia, mikä tekee niistä kilpailukykyisiä. Laitoksen tuotannon kasvaessa yli 800 MWh pienien tuotantolaitosten sähköntuotanto muuttuu taloudellisesti kannattamattomaksi verotuksesta johtuen.

CHP-laitos otetaan käyttöön, jos keskitetyssä akustossa ei ole riittävästi varausta. Kesäaikana laitoksen käyttö on hyvin vähäistä, koska aurinkoenergiaa on tarjolla, mutta pilvi-inä aikoina laitos tuottaa sähköä ekoölykylään.

3.7 Maalämpö

Ekoälykylän ensisijaisena lämmönlähteenä on maalämpö, jonka avulla tuotetaan 50-60% vuotuisesta lämmitysenergiatarpeesta. Maalämpökenttä on mitoitettu tuottamaan loput kylän lämmöntarpeesta eli se osuus jota CHP-laitoksen sivutuotteena syntyvä lämpö eikä jäteveden lämmöntalteenotto pysty tuottamaan. Tontille sijoitetaan yksi yhteinen maalämpökaivokenttä. Arvioiden mukaan kaivoja tarvittaisiin noin 21 kilometriä ja näissä arvioissa on otettu huomioon, että kaivoja ladataan kesäaikana vapaajäähdytyksen sekä aurinkoenergian ylituotannolla. Kaivojen aktiivisyydeksi on mitoitettu 300 metriä, jolloin kaivoja tarvittaisiin 65 kpl. Kuvassa 31 esitetään maalämmön sekä lämmitysjärjestelmän toimintaperiaate.



KUVA 31. Maalämpöjärjestelmän periaatekaavio (Granlund Consulting 2018)

3.8 Jäteveden lämmöntalteenotto

Ekoälykylään tulevien asuintalojen rakenteista johtuvat lämpöhäviöt ovat alhaiset, jolloin rakennusten lämpimän käyttöveden lämmittämiseen kuluu suuri osa vuotuisesta lämmitysenergian tarpeesta.

Kylä omistaa koko 40 hehtaarin tontin, jolloin se myös tekee tontille oman viemäriverkoston, joka liitetään kaupungin päärunkoviemäriin. Ekoälykylään on suunniteltu yli 350

asuintaloo, jolloin kustannustehokkain tapa on ottaa lämpöä talteen keskitetysti päärunkoviemäreistä. Hankkeessa päädyttiin keskitettyyn jäteveden lämmöntalteenottolaitteistoon, koska käyttöaste on huomattavasti korkeampi verrattuna asuintalokohtaiseen laitteistoon. Myös jätevesi virta on tasaisempaa, jolloin hyödynnettävän lämpöenergian osuus kasvaa.

Keskitetty jäteveden lämmöntalteenottolaite varustetaan lämpöpumpulla, jolloin jätevedestä saadulla lämmöllä voidaan tuottaa yli 58°C käyttövettä. Jäteveden lämmöntalteenotto ja lämpöpumppu mitoitetaan jätevesivirran mukaan, joka simuloidaan dynaamisen laskentaohjelman avulla.

Jätevedestä pyritään ottamaan lämpöä talteen 25-30%. Jäteveden lämmöntalteenoton avulla pyritään pienentämään koko Masalan ekoälykylän vuotuista lämmitysenergian tarvetta 15%.

3.9 Hiilidioksidipäästöt

Hiilidioksidipäästöjen vähentäminen on ohjannut energiajärjestelmän suunnittelua. Ekoälykylä on suunniteltu hiilidioksidipäästöiltään neutraaliksi, jolloin kylän tuottamat hiilidioksidipäästöt ovat nolla.

Aurinkoenergian tuotannon yhteydessä ilmakehään ei vapaudu hiilidioksidipäästöjä, joten sen päästökerroin hiilidioksidipäästöjen tarkastelussa on 0. CHP-laitoksessa poltetu biokaasu itsessään tuottaa hiilidioksidipäästöjä ilmakehään, mutta nettopäästöiltään biokaasu on neutraali, koska biokaasu sitoo metaanikaasua, joka on 20 kertaa haitallisempaa ilmakehän kannalta. Biokaasu voidaan luetella uusiutuvaksi polttoaineeksi, koska sen poltto CHP-laitoksessa ei aiheuta hiilidioksidin nettopäästöjä ilmakehään (CO₂ Raportti, 2009). Kaikki kylän ostoenergia on vesivoimalla tuotettua. Vesivoimalla tuotetun energian hiilidioksidipäästöt ovat Motivan laskentaohjeiden mukaan 0 kg CO₂/kWh (Motiva, 2018).

4 TUTKIMUSMENETELMÄT

Tässä kappaleessa käsitellään opinnäytetyön tutkimusmenetelmät. Kappaleessa käydään läpi yksityiskohtaisesti tutkimusmenetelmät, tiedonkeruumenetelmät, simulointityökalut, taloudelliset tunnusluvut, kustannuslaskelmat, elinkaarikustannukset ja tutkimusta rajoittavia tekijöitä.

4.1 Simulointimenetelmät

Simulointityökalujen avulla voidaan mallintaa ekoälykylän energiajärjestelmä ja laskea kylän vuotuinen energiankulutus. Mallintamisen avulla saadaan tarkka käsitys järjestelmän käyttäytymisestä erilaisissa sääolosuhteissa. Näiden työkalujen avulla voidaan myös tarkastella rakennusten sisäilmaolosuhteita, jolloin nekin saadaan huomioitua laitteiden mitoituksessa. Simulointityökalut laskevat tuntitason tarkkuudella energiajärjestelmän toimintaa.

4.1.1 IDA Indoor Climate and Energy

IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE) on simulointityökalu, jonka avulla voidaan simuloida usean tilan sisäilmanlaatua, lämpötilatasoa ja tilojen sekä rakennuksen energiankulutusta. IDA ICE on lisäosa, joka on kehitetty IDA-simulointityökalun pohjalle, jonka on kehittänyt ruotsalainen teknillinen yliopisto KTH. Ohjelmistoa kehittää nykyään ruotsalainen yritys nimeltään EQUA Simulation AB (EQUA, 2015).

IDA Indoor Climate and Energy ohjelmistoa on hyödynnetty useissa eri tutkimuksissa ja se täyttää eurooppalaisen standardin prEN 13791 (Kropf & Zweifel, 2001). IDA ICE on suosittu ohjelmisto rakennusten simuloinnissa ja se on validoitu useampaan kertaan tutkijoiden toimesta (IEA, 1999), (Acherman & Zweifel, 2003), (EQUA Simulation Ab, 2010).

IDA ICEn avulla voidaan tarkastella eri tekijöiden vaikutuksia rakennuksen energiankulutukseen, kuten rakennuksen sijainnin, tuuliprofiilin, rakennusmateriaalien, lasityypin,

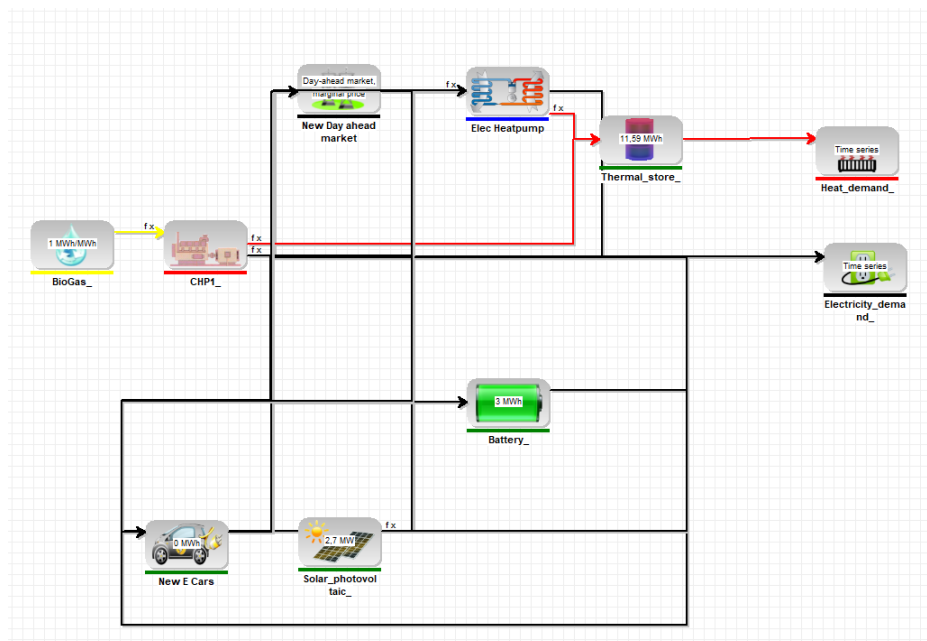
aurinkosuojauksen, valaistuksen, sisäisten kuormien, laitteiden ajastuksen, LVI-laitteiden ja vastaavien tekijöiden vaikutusta rakennuksen energiankulutukseen ja sisäilmaolosuhteisiin (EQUA, 2015).

IDA ICE -simulointiohjelman avulla arvioitiin ekoälykylän lämmitysenergian- sekä sähköenergiantarve.

4.1.2 EnergyPro

EnergyPro 4 -ohjelmiston avulla on mahdollista mallintaa koko energiajärjestelmä. Ohjelmiston avulla voidaan myös tehdä energiajärjestelmän taloudellinen optimointi ja analysointi, jossa tarkastellaan kannattavinta tuotantotapaa. Ohjelmistolla voidaan ratkaista, onko kannattavampaa käyttää CHP-laitosta vai maalämpöpumppujärjestelmää.

EnergyPro on pääosin suunniteltu suurien sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitoksien toiminnan optimoimiseen. Ohjelmisto tarjoaa laajan valikoiman erilaisia lämmön ja sähkön varastointivaihtoehtoja. EnergyPro 4 -ohjelmalla on mahdollista tarkastella energiajärjestelmän tuottamia hiilidioksidipäästöjä (EMD International A/S, 2018). Kuvassa 32 on esitetty ekoälykylän kaavio, joka on suunniteltu EnergyPro 4 -ohjelmalla.



KUVA 32. EnergyPro simulointiohjelma (EMD International 2018)

IDA ICE -simulointiohjelmasta saadun tuntidatan avulla voidaan EnergyProlla tutkia ja optimoida energiajärjestelmän käyntiaikoja sekä -järjestystä.

4.2 Taloudelliset laskelmat

Tässä osiossa tutkitaan hanketta talouden näkökulmasta ja samalla käydään läpi mitä taloudellisia tunnuslukuja on käytetty kussakin laskelmassa. Näiden laskelmien perusteella pyritään tarkastelemaan Masalan ekoölykylän asukkaan asumiskustannuksia. Näitä vertaillaan tavanomaisiin asumiskustannuksiin, jotka syntyvät keskimääräisessä suomalaisessa omakotitalossa jota lämmitetään kaukolämmöllä.

Kappaleessa käsitellään myös investointilaskelmia sekä niihin liittyviä tunnuslukuja, joiden avulla pyritään selvittämään hankkeen kannattavuutta sekä energiajärjestelmän takaisinmaksuaikaa.

4.2.1 Kustannustiedot

Seuraavat kustannustiedot sisältävät 24 % arvonlisäveron. Hinnat ovat saatu laitetoimittajilta, urakoitsijoilta ja Granlund Consulting Oy:n asiantuntijoilta.

Seuraavissa laskelmissa esitetään koko Masalan ekoölykylän energiajärjestelmän kustannushintoja, jotka kohdistuvat 100 m² asuintaloon. Ekoölykylään on kaavailtu seitsemän erilaista asuintalotyyppiä, mutta tässä tarkastellaan ainoastaan yhtä talotyyppiä, jonka kerrospinta-ala on 100 m². Taulukossa 4 esitetyt hinnat sisältävät asennustyöstä aiheutuvat kustannukset sekä itse laitteen sekä järjestelmän kustannukset.

Asuintalon huoltokustannuksiin on laskettu kaikki huollosta sekä ylläpidosta aiheutuneet kustannukset. Huoltojen aikavälit on laskettu laitetoimittajien antamien tietojen perusteella ja arvio ylläpitokustannuksista on myös saatu laitetoimittajilta. Energiakustannukset ovat laskettu vuoden 2018 mukaisten energiahintojen mukaan. Elinkaaritarkastelussa otetaan huomioon hintojen eskalaatio ja korkovaikutukset.

TAULUKKO 4. Energiajärjestelmän kustannustiedot ALV. 24 % (Granlund Consulting, 2018)

	Ekoölykylän asuintalo 100 m ²		Tavanomainen asuintalo 100 m ²	
	€	€/a		
Energiajärjestelmä	24 254		13 000	
Huoltokustannukset		287		60
Energiakustannukset		701		1920

4.2.2 Ekoölykylän elinkaarikustannukset

Elinkaarikustannuksen lyhenne on LCC, joka tulee englannin kielestä Life Cycle Costs. Tällä tarkoitetaan yhteenlaskettuja kustannuksia, jotka ovat syntyneet kohteelle tai kustannuksia, joiden oletetaan syntyvän määrätyn elinkaaren ajalla. Elinkaari tarkoittaa ajanjaksoa järjestelmän tai laitteen määrittelystä yhteenään lopulliseen käytöstä poistamiseen ja romuttamiseen tai jatkosijoitukseen asti. Kohteille syntyy kustannuksia, jotka syntyvät kohteen elinkaaren ajalla esimerkiksi, valmistuksesta, suunnittelusta, käytöstä, ylläpidosta ja lopullisesta poistosta (Ramentor, 2009).

Elinkaarilaskelma tehdään Masalan ekoölykylään yhdelle asuintalotyypille, jonka kerros-pinta-ala on 100m² ja tarkasteltava ajanjakso 50 vuotta.

4.2.3 Nimelliskorko

Nimelliskorolla tarkoitetaan korkoa, josta ei ole poistettu deflaation tai inflaation aiheuttamaa arvon muutosta. Koron avulla osoitetaan rahan arvon muuttuminen ajan mukana. Rahaa lainattaessa nimelliskorko on lainatun rahan hinta (Financial Dictionary, 2012).

4.2.4 Yleinen inflaatio ja reaalikorko

Inflaatiosta on kyse silloin kuin tavaroiden ja palveluiden keskimääräinen hinta kasvaa ja samanaikaisesti valuutan ostovoima heikkenee. Keskuspankit pyrkivät rajoittamaan inflaatioin tiettyyn tasoon, joka EKP:lla on 2 % ja välttämään deflaatio pitääkseen talouden kunnossa (Investopedia, 2016).

Rahan arvon jatkuva muuttuminen pitää ottaa huomioon elinkaarikustannuksia laskettaessa, koska ei voida olettaa, että sijoitettu pääoman määrä pysyy samanarvoisena koko 50 vuoden ajanjakson ajan.

Koron avulla voidaan lisätä rahan ostovoimaa ajan kuluessa, kun taas inflaatio vähentää rahan ostovoimaa ajan kuluessa. Kun yhdistetään nimelliskoron ja inflaation vaikutus yhteiseen lausekkeeseen, voidaan ratkaista reaalikorko tehdyille investoinnille yhtälön 1 avulla.

$$r = \frac{i - f}{1 + f} \quad (1)$$

jossa i on nimelliskorko ja f vastaavasti kuvastaa inflaation vaikutusta ja r kuvaa reaalikorkoa.

4.2.5 Energian hinnan inflaatio eli eskalaatio

Kuluttajahintaindeksi ja inflaatio kertovat ainoastaan tietyn tuoteryhmän hinnan noususta keskimääräisesti ajan mukana. Yksittäisten hyödykkeiden ja tuotteiden hintojen kehitys poikkeavat yleisestä inflaatioista, joten näissä tilanteissa on syytä tarkastella eskalaatiota. Energian hinnan vaihtelut ovat yleensä nopeampia ja eivät korreloi yleisen inflaation tason kanssa vaan maailman poliittisen tilanteen kanssa. Tämä on syy miksi energian hinnan kehittymistä ei voida tarkastella taloudellisissa laskelmissa, joissa sen merkitys on olennainen, joten se täytyy tarkastella erikseen (Sirén. 2015.).

Eskalaation laskennassa selvitetään huomioon ottava reaalikorko. Ainoa eroavuus eskalaation laskennassa on, että yleisen inflaation sijaan käytetään energian hinnan inflaatiota, joka voidaan laskea kaavan 2 avulla.

$$r_e = \frac{i - f_e}{1 + f_e} \quad (2)$$

Jossa f_e on energian hinnan inflaatio ja r_e on energian hinnan reaalikorko.

4.2.6 Nettonykyarvo

Nykyarvomenetelmän avulla voidaan laskea kassavirtojen nettonykyarvo diskonttaamalla tuottovaatimus. Lämmitysjärjestelmän vaatima alkuinvestointi vähennetään tulevien kassavirtojen nykyarvosta. Nettonykyarvon lasketaan kaavalla 3.

$$NPV = \sum_{t=1}^T \frac{C_t}{(1+r)^t} - C_0 \quad (3)$$

Jossa NPV on nettonykyarvo, C_t on tulovirta ajanjaksolla t , C_0 energiajärjestelmän hankintakustannus, r on korkokanta, T on laskenta aika ja t kuvaa ajanjaksoa vuosina.

Positiivinen nettonykyarvo kertoo, että energiajärjestelmän tuotto ylittää odotetut kustannukset. Yleisellä tasolla voidaan sanoa, jos investoinnilla on positiivinen NPV, se on tuottoisa ja jos se on negatiivinen niin se aiheuttaa nettohäviöitä esitetyllä ajanjaksolla (Kulvik, 2009).

4.2.7 Sisäinen korkokanta

Sisäisen korkokannan laskennalla voidaan todeta, onko hanke tuottoisa vai ei. Tämän perusteella voidaan tehdä investointipäätös. Sisäisen korkokannan laskennassa etsitään korkokantaa iteroimalla yhtälöä 4, jolloin $NPV=0$. IRR lasketaan yhtälöllä 4 (Vierros, 2009).

$$NPV = CF_0 + \sum_{t=1}^T \frac{CF_t}{(1+r)^t} = 0 \quad (4)$$

Jossa NPV on nettonykyarvo, CF_t on nettotuotto ajanjaksolla, CF_0 energiajärjestelmän hankintakustannus, r on korkokanta, T on laskenta aika ja t on ajanjakso vuosina.

Yhtälön 4 avulla ratkaistaan r korkokanta, joka saadaan iteroimalla eri tuottovaatimuksia. Yleisenä sääntönä voidaan pitää, että investointi kannattaa tehdä, jos kustannukset jäävät pienemmiksi kuin tuotto. Investointi on kannattava, jos sisäinen korkokanta on halutun

laskentakoron suuruinen. Mitä suurempi korkokanta sitä kannattavampi on investointi (Neilimo, 2009).

5 TULOKSET

Tässä kappaleessa pohditaan, onko taloudellisesti kannattavaa asua ekoölykylässä, joka hyödyntää uusiutuvia energianlähteitä lämmön ja sähkön tuotannossa. Toinen tarkasteltava asia on, miten paljon ekologinen asunto voi vähentää hiilidioksidipäästöjä.

Vertailukohteena käytetään Masalan ekoölykylän 100 m² asuintaloa sekä Suomen Rakentamismääräyskokoelma D3 (2012) mukaisesti rakennettua asuintaloa, joka on myös 100 m², mutta asuintalo lämmitetään kaukolämmöllä ja se ostaa kaiken sähkönsä energiayhtiöiltä.

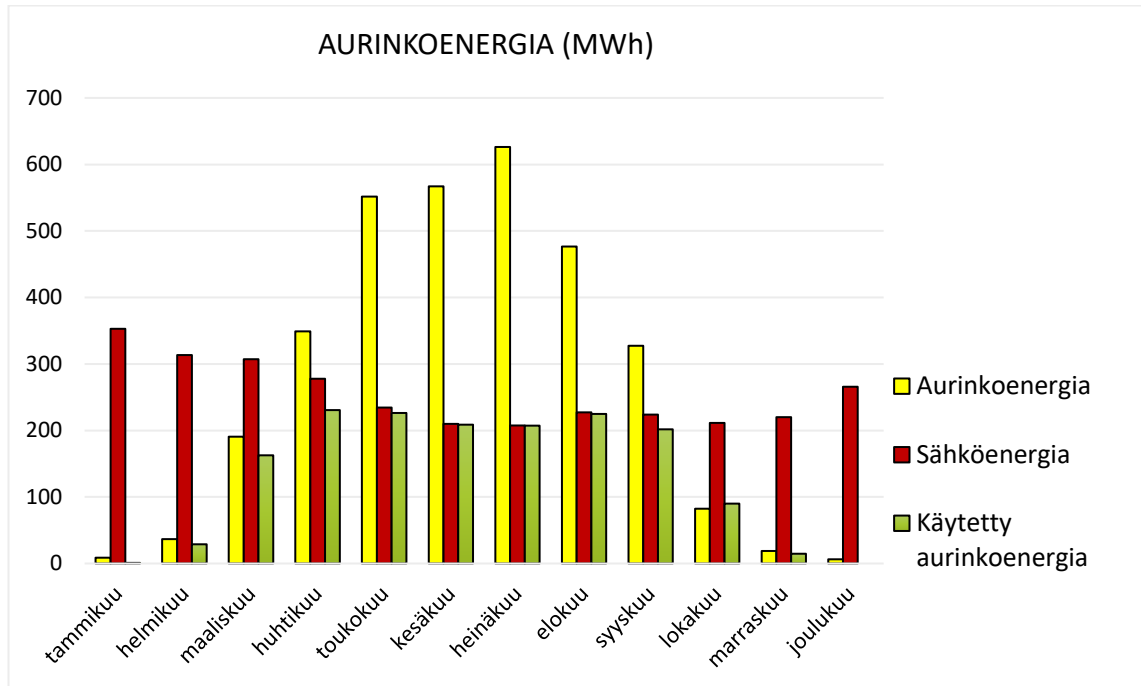
Energiajärjestelmän optimointi tehtiin siten, että hiilidioksidipäästöt sekä energiajärjestelmän hankinta- ja käyttökustannukset olisivat mahdollisimman pienet elinkaarimallilla laskettuna.

5.1 Mitoitustulokset

Energiajärjestelmä on mitoitettu käyttämällä simulointiohjelmaa, jotka on esitetty luvuissa 4.1.1. ja 4.1.2. Järjestelmän mitoitusta on ohjannut kustannukset sekä hiilidioksidipäästöt.

5.1.1 Aurinkoenergia

Kylän aurinkovoimalan avulla pystytään tuottamaan 3 040 MWh, joka on enemmän kuin kylän vuotuinen sähköenergian tarve. Kaikkea aurinkoenergiaa ei voida kuitenkaan hyödyntää, koska kysyntä ja aurinkoenergiantuotanto eivät tapahdu samanaikaisesti ja sähkön varastointi on kallista. Kylä hyödyntää aurinkoenergiasta 1 450 MWh, jonka avulla katetaan vuotuisesta sähköenergian tarpeesta yli 50 %. Ilman keskitettyä sähköakkaa hyödynnetyn aurinkoenergian määrä olisi vain 950 MWh. Kuviossa 1 kuvataan aurinkopaneelien avulla tuotetun sähkön osuutta sekä käytetyn aurinkosähkön osuutta. Kuvioista 1 nähdään, että sähköakku ja aurinkopaneelit pystyvät tuottamaan kesällä kaiken sähköenergian kylässä.



KUVIO 1. Akun varaus ja sähköautojen sähkötehon tarve

Taulukossa 5 esitetään aurinkovoimalan mitoitustiedot.

TAULUKKO 5. Aurinkoenergianjärjestelmän mitoitustiedot

Aurinkoenergia	
Teho	2,7 MWp
Pinta-ala (m ²)	18 000 m ²
Arvioitu energiantuotto (MWh)	3 040 MWh
Hyödynnetty aurinkoenergia (MWh)	1 450 MWh
Keskitetty akusto	3 MWh

5.1.2 ICHP-laitos

Kylän biokaasulla toimiva mikroturbiinilaitos mitoitettiin tuottamaan vuodessa 730 MWh sähköenergiaa, jolloin laitos tuotti lämpöenergiaa 1 350 MWh. Laitokseen tulee kolme mikroturbiinia, jotka tuottavat yhteensä 195 kW sähkötehoa ja 360 kW lämpötehoa. Taulukossa 6 esitetään ICHP-laitoksen mitoitustiedot.

TAULUKKO 6. ICHP-laitoksen mitoitus tiedot

ICHP-laitos	
Lämmitysteho	360 kW
Sähköteho	195 kW
Lämmitysenergia vuodessa	1350 MWh
Sähköenergia vuodessa	730 MWh
Biokaasun kulutus	2500 MWh

5.1.3 Maalämpö

Masalan ekoälykylän kokonaislämpöenergian tarve on vuodessa 4 860 MWh, josta maalämmöllä tuotetaan 2 700 MWh. Maalämpöpumppujen arvioitu SCOP on 4, joten maalämpöpumppu käyttäisi tällöin sähköenergiaa vuodessa 675 MWh. Laitteen lämpötehoksi mitoitettiin 792 kW ja lämpöpumpun toiminnan varmistamiseksi ekoälykylään sijoitetaan 9 kpl 88 kW lämpöpumppuja, jotka kytketään rinnan. Lämpöpumpun kompressoreiden käyntiaikojen optimoinniksi ja sähköpiikkien leikkaamiseksi kylään sijoitetaan kaksi puskurivaraajaa, jotka ovat molemmat kooltaan 100 m³. Taulukossa 7 esitetään maalämpöjärjestelmän mitoitus tiedot.

TAULUKKO 7. Masalan ekoälykylän maalämpöjärjestelmän mitoitus tiedot

Maalämpöjärjestelmä	
SCOP	4
Lämpöteho	792 kW
Maalämpöpumpulla tuotettu lämmitysenergia	2700 MWh/a
Geoenergian osuus vuositasolla	2025 MWh/a
Sähköenergian osuus vuositasolla	675 MWh/a
Maalämpökaivojen syvyys	300 m
Maalämpökaivojen määrä	65 kpl
Lämminvesivaraaja korkea lämpötila	100 m ³
Lämminvesivaraaja matala lämpötila/jäähdytys	100 m ³

5.1.4 Jäteveden lämmöntalteenotto

Ekoölykylän viemäriin menevän lämpöenergian osuus on noin 1 800 MWh/a, joka vastaa noin 35 % vuotuisesta lämmitysenergian tarpeesta. Jäteveden lämmöntalteenottolaitteilla saadaan hyödynnettyä viemäriin menevästä lämmitysenergiasta noin 605 MWh/a, jolloin lämpöpumpun avulla lämmitysenergiaa tuotetaan 806 MWh/a. Tällä lämmitysenergialla pystytään kattamaan 60 asuintalon vuotuinen lämmitysenergian tarve. Taulukossa 8 esitetään jäteveden lämmöntalteenoton mitoitus tiedot.

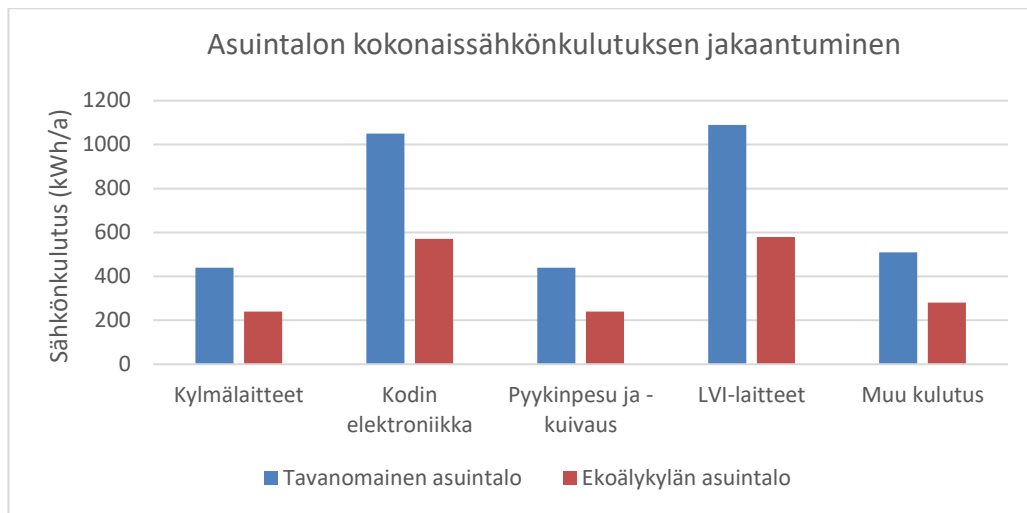
TAULUKKO 8. Jäteveden LTO-järjestelmän mitoitus tiedot

Jäteveden lämmöntalteenotto	
SCOP	4
Lämpöteho	88 kW
Jäteveden-LTO:lla tuotettu lämmitysenergia	806 MWh/a
Jätevedestä saatu lämpöenergia	605 MWh/a
Sähköenergian osuus vuositason	201 MWh/a

5.2 Energiankulutus

Asuintalojen energiankulutukset ovat simuloitu IDA ICE -simulointiohjelmiston avulla. Asuinnoissa käytetyt oletusarvot on esitetty aikaisemmin tässä raportissa ja tavanomaisen asuintalon oletusarvot ovat määritetty siten, että oletusarvot täyttävät Suomen rakentamismääräyskokoelman D3 (2012) vaatimat arvot.

Ekoölykylän asuintalo kuluttaa vuodessa sähköenergiaa 18,7 kWh/m² (1 874 kWh) ja lämmitysenergiaa 105,3 kWh/m² (10 534 kWh). Tavanomainen asuintalo kuluttaa vuodessa sähköenergiaa 34,9 kWh/m² (3 492 kWh) ja lämmitysenergiaa 160,0 kWh/m² (16 007 kWh). Suuri ero energiankulutuksessa syntyy energiatehokkaiden kodinkoneiden, tarpeenmukaisen ilmanvaihdon sekä led-valaistuksen ansiosta. Kuvio 2 esittää vuotuisen sähkönkulutuksen jakaantumisen asuintalossa.



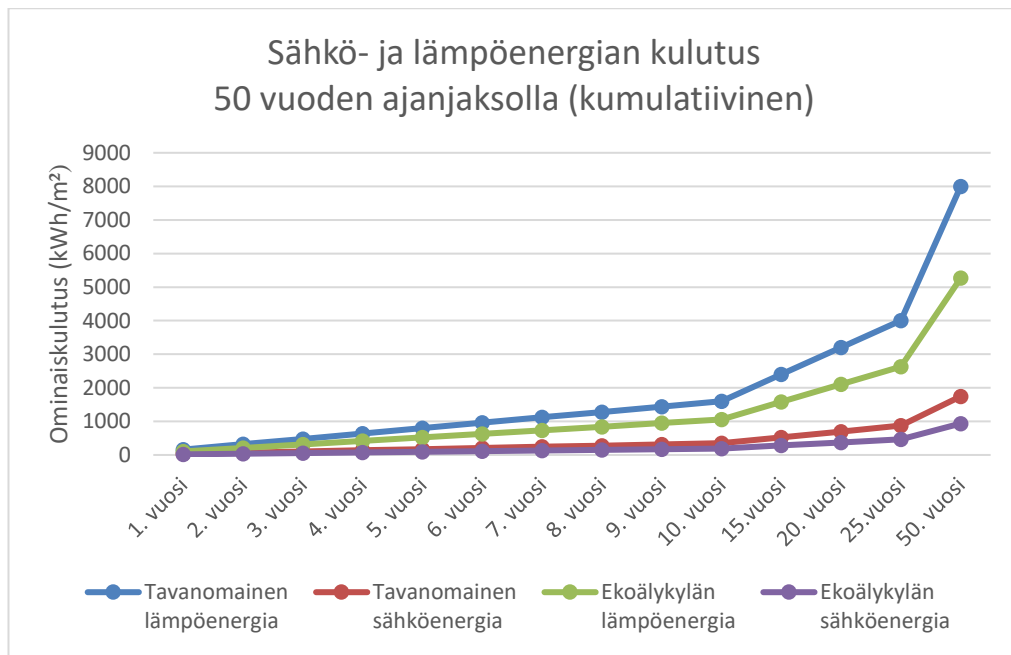
KUVIO 2. Kokonaissähkönkulutuksen jakaantuminen

Taulukko 9 esittää kokonaisenergiankulutuksen tavanomaisessa ja ekoälykylän asuintalossa.

TAULUKKO 9. Tarkasteltavien asuintalojen energiankulutukset vuositasonalla

	ASUMISEN ENERGIANKULUTUS			
	Tavanomainen asuintalo		Ekoälykylän asuintalo	
	Lämmitys kWh	Sähkö kWh	Lämmitys kWh	Sähkö kWh
Tammikuu	2211,21	290,04	1538,82	155,72
Helmikuu	2247,64	290,19	1568,38	155,45
Maaliskuu	1943,71	291,52	1255,10	157,10
Huhtikuu	1298,22	289,54	747,95	154,90
Toukokuu	796,77	292,25	328,61	156,45
Kesäkuu	550,88	290,49	348,71	155,57
Heinäkuu	443,91	295,20	375,02	158,30
Elokuu	524,53	287,42	389,02	154,09
Syyskuu	849,77	290,80	360,90	156,20
Lokakuu	1293,86	292,05	809,00	157,32
Marraskuu	1797,00	289,93	1295,99	155,49
Joulukuu	2049,52	292,69	1520,35	157,40
Yhteensä.	16007,02	3492,11	10537,86	1873,99

Kuviossa 3 esitetään tavanomaisen ja ekoälykylän energiankulutus neliometriä kohden 50 vuoden ajanjaksolla.



KUVIO 3. Lämmitys- ja sähköenergian ominaiskulutuksen vertailu 50 vuoden ajanjaksolla

Ekoälykylän asuintalon lämmitysenergian kulutus vuodessa on $54,7 \text{ kWh/m}^2$ ($5\,470 \text{ kWh/a}$) pienempi kuin tavanomaisen asuintalon lämmitysenergian kulutus. 50 vuoden tarkasteluajanjaksolla ekoälykylän asuintalo on vähentänyt lämmitysenergiankulutusta $2\,734 \text{ kWh/m}^2$ (273 MWh/a) verrattuna tavanomaiseen asuintaloon. Sähkönkulutusta ekoälykylän asunto on vähentänyt vuositasolla $16,2 \text{ kWh/m}^2$ ($1\,618 \text{ kWh/a}$) verrattuna normaaliin asuintaloon ja 50 vuoden tarkasteluajanjaksolla ekoälykylän asunto vähentää sähkönkulutusta $809,6 \text{ kWh/m}^2$ ($80,9 \text{ MWh/a}$).

5.3 CO₂-päästöt

Tässä kappaleessa tutkitaan ainoastaan asumisen aikaisia CO₂-päästöjä eli lämmön ja sähkön käytöstä johtuvia hiilidioksidipäästöjä. Oletuksena pidetään, että CHP-laitos on päästöjen näkökulmasta neutraali ja kaikki ostosähkö tuotetaan vesivoimalla. Asuintalojen hiilidioksidipäästöt ovat laskettu Motivan laskentaohjeistuksen (2018) mukaisesti. Katso taulukko 1 polttoaineiden ominaispäästöistä.

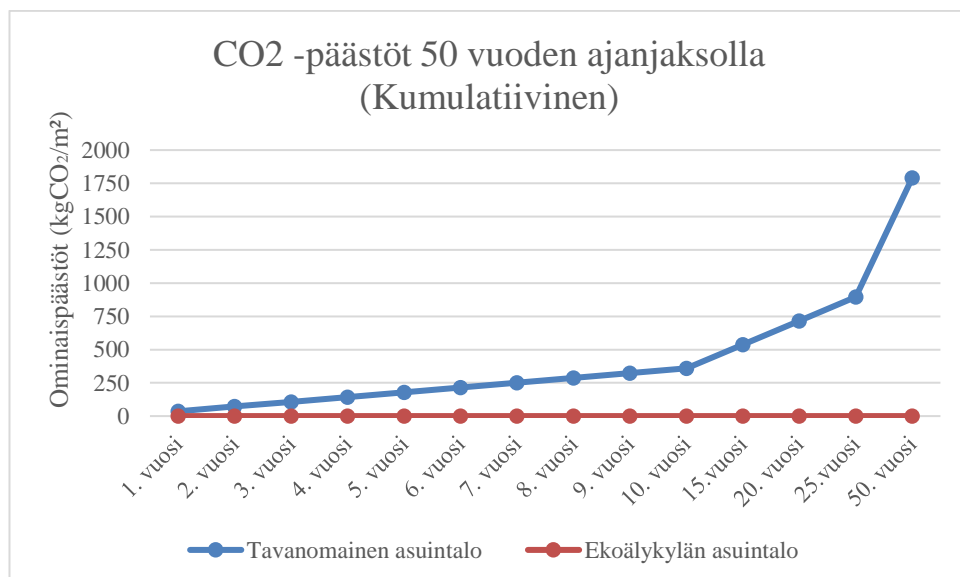
Ekoälykylän 100 m^2 asuintalo synnyttää CO₂ päästöjä vuodessa sähkön ja lämmöntuotannolla $0 \text{ kg CO}_2/\text{m}^2$, kun taas Suomen Rakentamismääräyskokoelman mukainen 100 m^2

asuintalo tuottaa hiilidioksidipäästöjä 35,8 kg CO₂/m², (3 582 kgCO₂) vuosisatasolla. Eko-älykylän asunnot ovat laskelmien mukaan hiilineutraaleja. Taulukossa 10 esitetään hiilidioksidipäästöjen jakaantuminen eri kuukausille.

TAULUKKO 10. Asumisesta syntyvät hiilidioksidipäästöt

	Normaali asuintalo		Ekoälykylän asuintalo	
	Lämmitys	Sähkö	Lämmitys	Sähkö
	kg*CO ₂	kg*CO ₂	kg*CO ₂	kg*CO ₂
Tammikuu	415,71	47,57	0,00	0,00
Helmikuu	422,56	47,59	0,00	0,00
Maaliskuu	365,42	47,81	0,00	0,00
Huhtikuu	244,06	47,48	0,00	0,00
Toukokuu	149,79	47,93	0,00	0,00
Kesäkuu	103,56	47,64	0,00	0,00
Heinäkuu	83,46	48,41	0,00	0,00
Elokuu	98,61	47,14	0,00	0,00
Syyskuu	159,76	47,69	0,00	0,00
Lokakuu	243,25	47,90	0,00	0,00
Marraskuu	337,84	47,55	0,00	0,00
Joulukuu	385,31	48,00	0,00	0,00
Yhteensä.	3009,32	572,71	0,00	0,00

Kuviossa 4 esitetään tavanomaisen ja ekoälykylän asuintalon kokonaishiilidioksidipäästöt 50 vuoden ajalla.



KUVIO 4. Hiilidioksidipäästöjen vertailu 50 vuoden ajanjaksolla

Käytettäessä 50 vuoden tarkastelujaksopa ekoälykylän asuintalon hiilidioksidipäästöt ovat 0 tCO₂/m², kun taas tavanomaisen asuintalon asumisesta syntyvät hiilidioksidipäästöt ovat 1,79 tCO₂/m² (1 790 tCO₂).

5.4 Elinkaarikustannukset

Elinkaarilaskennan avulla pyritään tarkastelemaan Masalan ekoälykylän energiajärjestelmän 50 vuoden elinkaaren aikana syntyviä kustannuksia 100 m² asuintalolle. Inflaationa on käytetty 2 %, eskalaationa on käytetty 3 % energian hintojen kehitykselle ja yleisenä korkokantana on käytetty 3 %. Huoltokulut ekoälykylän energiajärjestelmälle on saatu laitetoimittajilta.

Ekoälykylän 100 m² asuintalon elinkaarikustannuksia vertaillaan tavanomaiseen 100 m² taloon, joka täyttää Suomen rakentamismääräyskokoelman mukaiset vaatimukset.

Ekoälykylän asuintalojen energiajärjestelmän alkuinvestointi on noin 85 % korkeampi kuin kaukolämpöön liitetyn asuintalon, mutta energiamaksut taas ovat merkittävästi pienemmät. Energiamaksut ekoälykylän 100 m² asuintalossa ovat ainoastaan 701 €/a (7,01 €/m²) vuodessa. Tavanomaisen asuintalon lämmitys- ja sähköenergian kustannukset ovat 1 920 €/a (19,2 €/m²) vuodessa. On tärkeää huomioida, että ekoälykylän energianlaitoksesta syntyy myös huolto- ja ylläpitokuluja, jotka ovat laitetoimittajien tietojen mukaan noin 287 €/a (2,87 €/m²) asuintaloa kohden. Näin energiankulutuksen sekä ylläpidon kokonaishinnaksi vuodessa tulisi 966 €/a (9,66 €/m²).

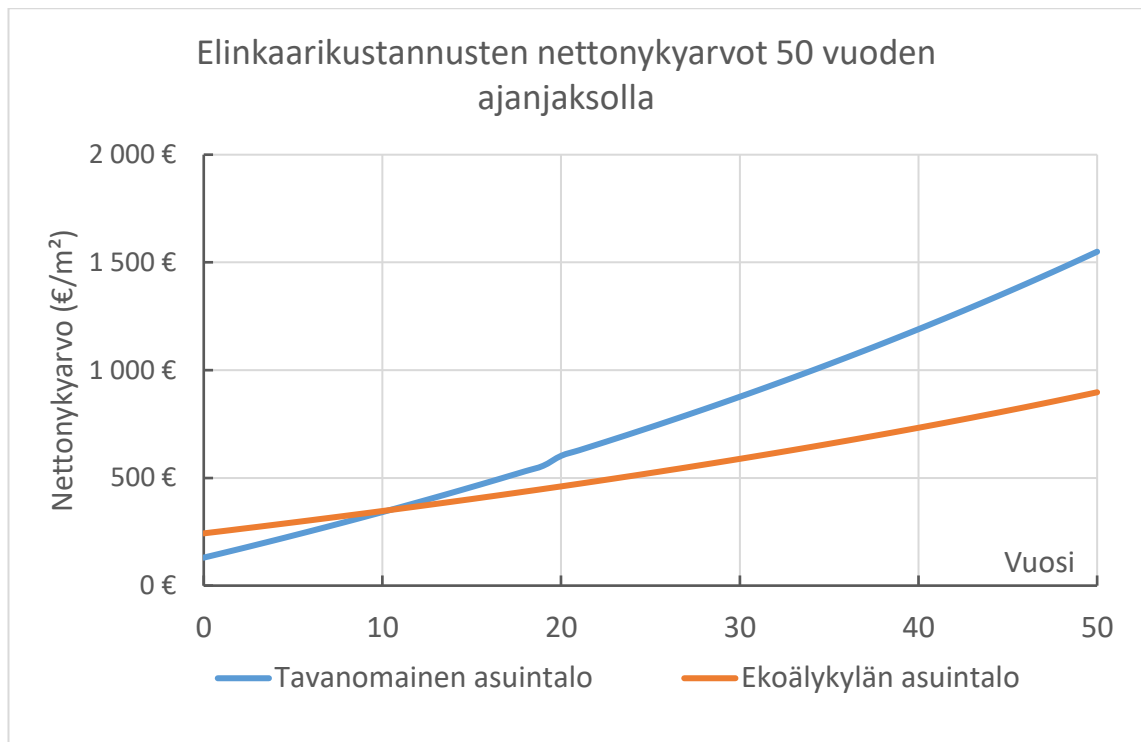
Taulukossa 11 esitetään elinkaarikustannuksissa käytettyjä arvoja.

TAULUKKO 11. Elinkaarikustannuksissa käytetyt arvot

Tavanomainen asuintalo			Ekoölykylän asuintalo		
Korkokanta	3,0 %		Korkokanta	3,0 %	
Inflaatio	2,0 %		Inflaatio	2,0 %	
Lämmityksen eskalaatio	2,0 %		Lämmityksen eskalaatio	2,0 %	
Sähkön eskalaatio:	3,0 %		Sähkön eskalaatio:	3,0 %	
Jäähdytyksen eskalaatio:	3,0 %		Jäähdytyksen eskalaatio:	3,0 %	
Lämmitysenergian kustannus	823,17 €		Lämmitysenergian kulutus	300,00 €	
Sähköenergian kustannus	237,81 €		Sähköenergian kulutus	401,00 €	
Lämmityksen muut kustannukset	500 €		Lämmityksen muut kustannukset		
Sähkön muut kustannukset	360 €		Sähkön muut kustannukset		
Investointikustannukset	13 000 €		Investointikustannukset	24 254 €	
Vuosihuolto	50 €		Vuosihuolto	287 €	
Kertakorjaus	2 500 €	3 800 €	Kertakorjaus		
Vuonna	20	40	Vuonna	20	40
Ajanjakso	50		Ajanjakso	50	
Lämmityskustannus	1 323 €		Lämmityskustannus	300 €	
Sähkön kustannus	598 €		Sähkön kustannus	401 €	
Jäähdytyksen kustannus	- €		Jäähdytyksen kustannus	- €	
Huoltokustannukset	4 026 €		Huoltokustannukset	22 601 €	
Energiakustannukset	137 951 €		Energiakustannukset	42 878 €	
			Takaisinmaksuaika	10 v	
			Sisäinen korko	11,6 %	

Taulukosta 11 nähdään, että ekoölykylän 100 m² asuintalon energiajärjestelmän lisäinvestointi on noin 112,5 €/m² (11 250 €), ja investoinnin takaisinmaksuaika on noin 10 vuotta. Sisäinen korkotuotto investoinnille on 11,6 % joten näiden laskelmien perusteella investointi on kannattava taloudellisesta näkökulmasta.

Kuviossa 5 tarkastellaan tavanomaisen ja ekoölykylän asuintalon energiajärjestelmän elinkaarikustannusten nettonykyarvoa.



KUVIO 5. Energiajärjestelmän kustannusvertailu 50 vuoden ajanjaksolla

Kuten kuvaajasta 5 voidaan nähdä, ovat ekoälykylän asuintalon energiajärjestelmän kustannukset merkittävästi pienemmät 20 vuoden ajanjaksolla verrattuna tavanomaisen asuintalon kustannuksiin. Säästöt 20 vuoden ajanjaksolla neliometriä kohden ovat 141 €/m² (14 100 €) verrattuna tavanomaiseen asuintaloon. 20 vuoden kohdalla on osa ekoälykylän energiajärjestelmästä uusittava. Tästä aiheutuvat kustannukset ovat huomioitu vuosittaisissa huolto- ja ylläpitokuluissa. 50 vuoden ajanjaksolla ekoälykylän asuintalon tuomat säästöt neliometriä kohden ovat 653 €/m² (65 300 €) verrattuna tavanomaiseen asuintaloon.

5.5 Herkkyystarkastelut

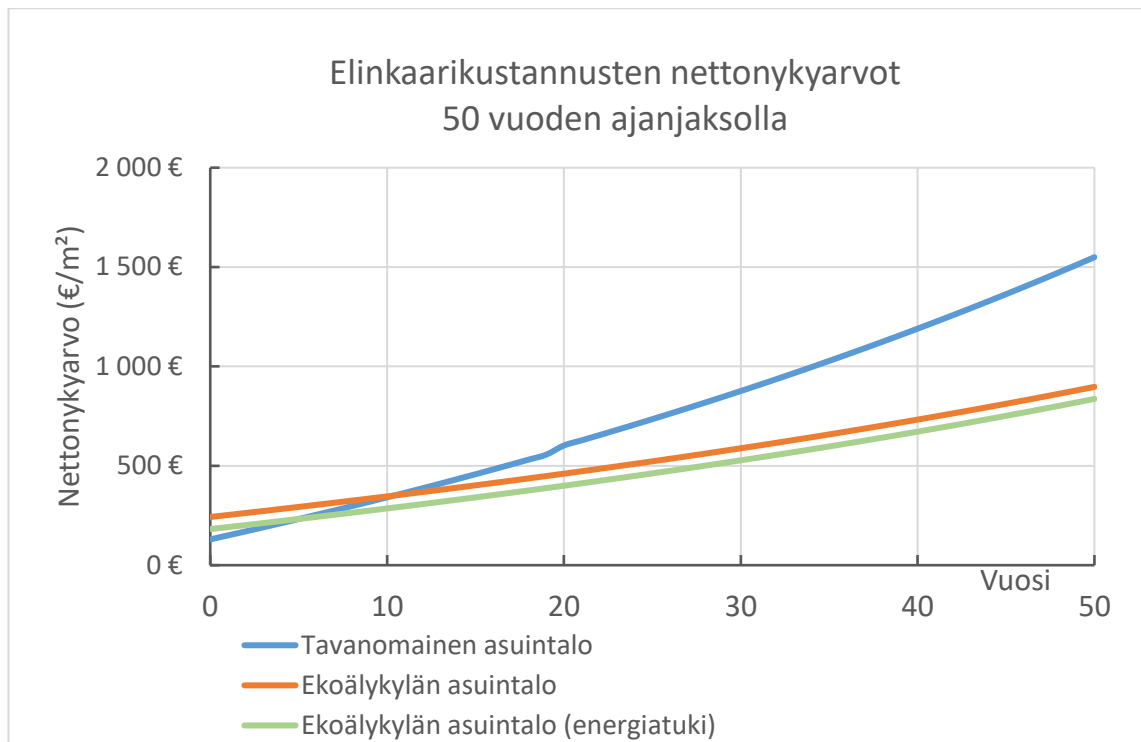
Energiajärjestelmät vaativat tulevaisuuden ennakoimista. Siksi lopputulokseen vaikuttaa useat eri muuttujat. Suurimmat muuttujat ovat inflaation taso, tulevaisuuden käyttäjät, energian hinta, energiatuet ja järjestelmän toiminta. Tässä herkkyystarkastelussa tarkastellaan, mitkä olisivat vaikutukset, jos hankkeelle myönnettäisiin työ- ja elinkeinoministeriön myöntämää energiatukea, biokaasun hinta nousisi eksponentiaalisesti tai energian hinnan eskalaatio kasvaisi 5 %:iin vuodessa. Tämän herkkyystarkastelun tarkoituksena

on tutkia mahdollisia skenaarioita, jotka vaikuttavat ekoälykylän elinkaarikustannuksiin merkittävästi.

5.5.1 Energiatuki

Tässä herkkyystarkastelussa tutkitaan, kuinka paljon kannattavammaksi ekoälykylän energiajärjestelmän rakentaminen tulisi, jos hanke saisi energiatukea. Suomessa energiatukea haetaan yleensä Business Finlandista, mutta yli miljoonan euron energiatuet haetaan työ- ja elinkeinoministeriöstä. Energiatuen määrä vaihtelee 10-40%. Energiatuen suuruus määräytyy energiajärjestelmässä käytettävän teknologian perusteella, mutta ekoälykylän tapauksessa sen on alustavasti arvioitu olevan 25%. Luku perustuu painotettuun keskiarvoon, joka on saatu työ- ja elinkeinoministeriön alustavasta arviosta.

Kuvaajassa 6 on esitetty energiatukien vaikutukset elinkaarikustannuksiin 50 vuoden ajanjaksolla. Kuvaajaan on vielä piirretty vertailun vuoksi tavanomaisen talon energiajärjestelmän aiheuttamat elinkaarikustannukset sinisellä viivalla. Kuvaajasta voidaan havaita, että energiajärjestelmän takaisinmaksuaika lyhenisi 5 vuodella, jos työ- ja elinkeinoministeriö myöntää 25 % energiatuen kylän energiajärjestelmälle. Tällöin hankkeesta tulisi hyvin kannattava. Energiajärjestelmän lisäinvestoinnin sisäinen korkotuotto kasvoi 22,2 % ja laitteiston takaisinmaksuaika lyheni 5 vuoteen verrattaessa tavanomaisen asuintalon energiajärjestelmän vaatimaan alkuinvestointiin.

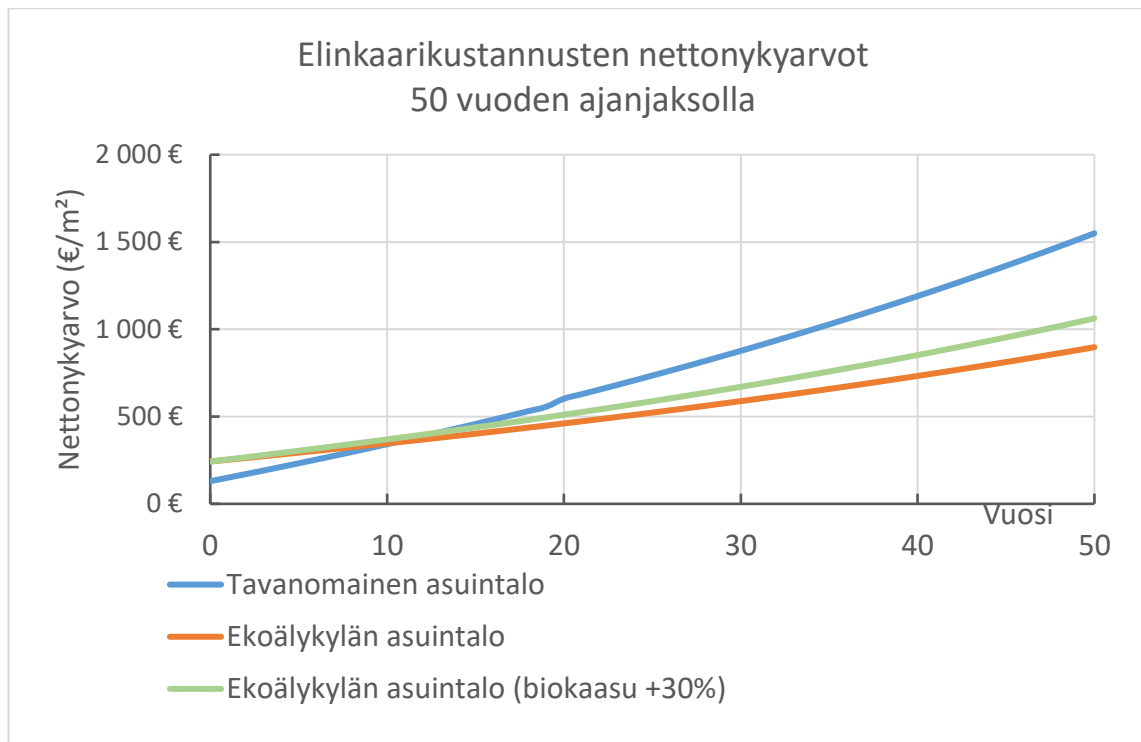


KUVIO 6. Energiatukien vaikutus energiajärjestelmän taloudelliseen kannattavuuteen

5.5.2 Biokaasun hinta

Tässä tapauksessa tutkitaan biokaasun hinnan kasvun vaikutusta laitteiston käyttökustannuksiin sekä takaisinmaksu-aikaan. Herkkyystarkastelussa kasvatettiin biokaasun hintaa 30 % ja eskalaatio pidettiin 3 %.

Kuvaajassa 7 esitetään biokaasun hinnan korotuksen aiheuttamat vaikutukset asumiskustannuksiin sekä elinkaarikustannuksiin. Biokaasun hinnan kohotessa energiajärjestelmän takaisinmaksu-aika kasvaisi 12 vuoteen. Energiajärjestelmän investoinnin sisäinen korkotuotto laskisi 9,6 %:iin.



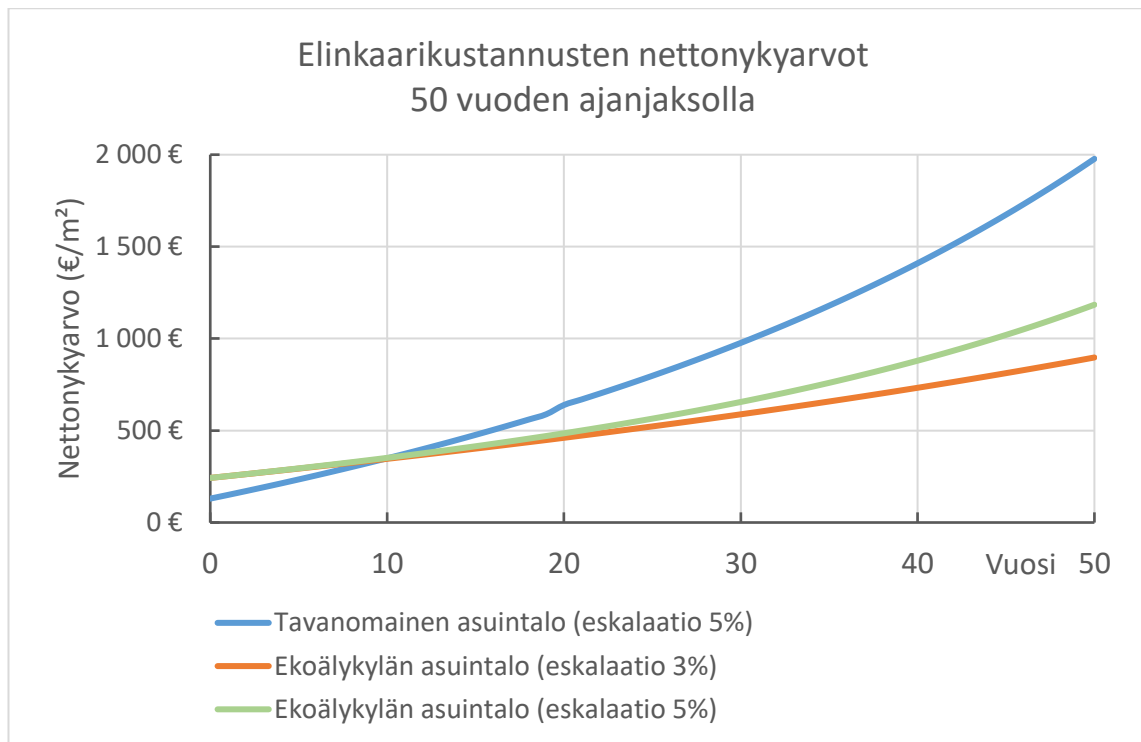
KUVIO 7. Biokaasun hinnan kasvun vaikutus elinkaarikustannuksiin

Biokaasun hinnan äkillinen kasvu ei vaikuta merkittävästi ekoälykylän asumiskustannuksiin ja laitteiston elinkaarikustannuksiin.

5.5.3 Eskalaatio

Tässä herkkyystarkastelussa tutkitaan mitä tapahtuu, jos sähkön ja lämmityksen eskalaatiot kasvaisivat merkittävästi. Ekoälykylän ja tavanomaisen asuintalon energian eskalaatioksi asetettiin 5 %. Vertailutapauksessa eskalaationa käytettiin samaa 3 %:n eskalaatiota kuin aikaisemmissakin laskentatapauksissa.

Kuviossa 8 esitetään 5 % eskalaation vaikutus elinkaarikustannuksiin 50 vuoden ajanjaksolla. Eskalaation voimakkaasta kasvusta huolimatta ekoälykylän energiajärjestelmä olisi kannattavampi investointi kuin kaukolämpö. Eskalaation kasvun myötä energiajärjestelmän takaisinmaksuaika oli 10 vuotta, jolloin laitteiston sisäiseksi korkotuotoksi tuli 12,2%.



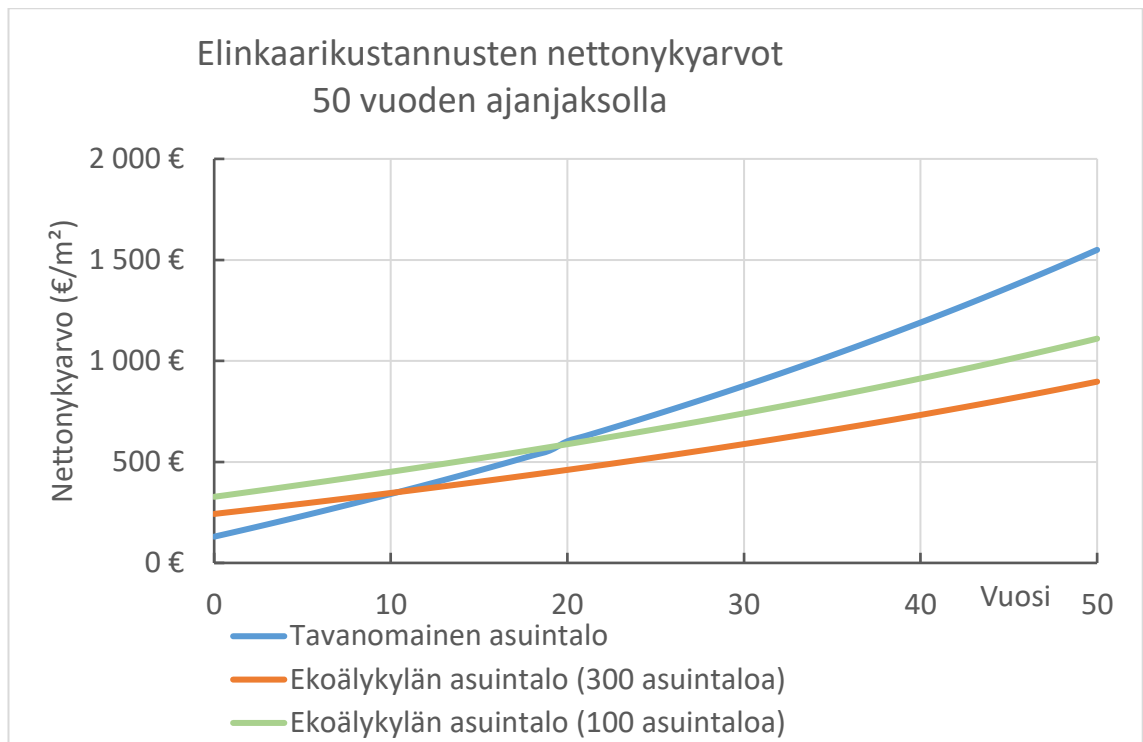
KUVIO 8. Eskalaation voimakkaan kasvun vaikutus elinkaarikustannuksiin

Voimakas eskalaatio energiahinnoissa pidentää energiajärjestelmän takaisinmaksuaikaa, mutta järjestelmä on silti potentiaalinen vaihtoehto verrattaessa tavanomaiseen energiantuotantomalliin.

5.5.4 Energiajärjestelmä 100 asuintalolle

Tässä herkkyystarkastelussa tutkitaan mitä tapahtuu, jos energiajärjestelmä toteutettaisiin sadalle asuintalolle. Vaikka asuintalojen määrä laski 200 asunnolla niin usean eri järjestelmän vaatima investointi pysyi vakiona ja pienemmän järjestelmän hinta kasvaa tuotettua kWh kohden merkittävästi. Alkuinvestointi kasvoi 35 % verrattuna 300 asuintalon järjestelmään, jolloin järjestelmän vaatima lisäinvestointi oli 82 €/m² (8 200 €). Energia- ja ylläpitokustannukset kasvoivat vuodessa 3,72 €/m² (372 €/m²).

Kuviossa 9 esitetään asuintalojen määrän vaikutus elinkaarikustannuksiin 50 vuoden ajanjaksolla. Asuintalojen vähenemisen myötä energiajärjestelmän takaisinmaksuaika oli 19 vuotta, jolloin laitteiston sisäiseksi korkotuotoksi tuli 6,1 %.



KUVIO 9. Asuintalojen määrän vaikutus elinkaarikustannuksiin

Asuintalojen volyyymilla on suuri merkitys energiajärjestelmän kannattavuuden kannalta. Pienemmän volyymin takia järjestelmän takaisinmaksuaika kasvoi lähes 10 vuodella.

6 POHDINTA

Ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi uusien teknologioiden ja toimintatapojen hyödyntäminen on välttämätöntä ja kehittyneen teknologian avulla tämä voidaan toteuttaa taloudellisesti kannattavasti.

Tämän opinnäytteen tavoitteena oli tarkastella, onko nykypäivänä mahdollista asua ympäristöä kunnioittaen lähellä suurkaupunkia ilman, että asumiskustannukset kasvaisivat merkittävästi. Opinnäytetyön alussa asetetut tavoitteet saavutettiin erinomaisella tasolla. Opinnäytteessä kuvattiin ekoälykyläkonseptia ja siihen liittyviä uusiutuvia energianlähteitä. Laajan lähde- ja tutkimusaineiston avulla saatiin selkeä käsitys ekoälykyläkonseptista sekä nykypäivänä käytettävistä uusiutuvista energianlähteistä. Kustannustarkastelu tehtiin laitetoimittajien ja Granlund Consultingin asiantuntijoiden kanssa.

Uusiutuvat energianlähteiden hyödyntäminen energiantuotannossa vähentää hiilidioksidipäästöjä 100 %. Uusiutuvia energianlähteitä hyödyntämällä voidaan vaikuttaa myönteisesti ilmaston lämpenemiseen. Suomalainen tavanomainen asuintalo, joka lämmitetään kaukolämmöllä ja on kytketty sähköverkkoon, tuottaa vuodessa hiilidioksidipäästöjä 3,6 tCO₂/a. Näin ekoälykylän asuntojen energiantuotannosta ei synny uusia hiilidioksidipäästöjä ilmakehään. Näin ollen voidaan todeta, että kylä on hiilidioksidipäästöjen suhteen neutraali (0 tCO₂/a). Suomen yksi tavoite on olla hiilineutraali yhteiskunta vuoteen 2045 mennessä (Ympäristöministeriö, 2017). Ekoälykylän kaltainen konsepti tukisi tätä tavoitetta.

Tässä opinnäytetyössä tutkittu ekoälykylän energiajärjestelmäkonsepti vaatii 112,5 €/m² lisäinvestoinnin verrattuna tavanomaisen asuintalon energiajärjestelmään. Tästä huolimatta se voidaan määritellä kannattavaksi investoinniksi, koska järjestelmän sisäinen korkotuotto ilman valtion myöntämiä energiatukia oli yli 11,6 %. Tärkeää on kuitenkin muistaa, että kyseessä on ekoälykylän yhteinen energialaitos, joka tuottaa sähkö- ja lämpöenergiaa yli 300 asuintalolle. Jos kyseinen laitos pienemmässä koossa tuottaisi ainoastaan 100 talolle sähkö- ja lämpöenergiajärjestelmän, kannattavuus heikkenisi merkittävästi ja investointi ei olisi enää kannattava. Hyödynnettäessä uusiutuvaa energiaa on olennaista kasvattaa tuotannon osuutta, koska järjestelmän kokoa kasvatettaessa alkuinvestointi pienenee tuotettua €/kWh kohden ja takaisinmaksuaika lyhenee merkittävästi.

Erilaisten investointien elinkaarikustannusten arvioiminen on hyvin haastavaa, koska rahan arvo sekä energian hintakehitys muuttuu jatkuvasti ja niiden muutoksia on vaikea ennakoida. Toisaalta useilla erilaisilla herkkyytarkasteluilla pystytään tutkimaan erilaisten asioiden vaikutusta elinkaarikustannuksiin, mutta kaikkia muuttujia ei voida toistaiseksi ennakoida.

Teknologian kehitys tulee vaikuttamaan energiatuotantotapoihin ja -hintoihin. Näin tulevaisuudessa yksittäiset kuluttajatkin voivat taloudellisesti tuottaa tarvitsemansa energian. Ekoälykyläkonseptin avulla ihmisten ei tarvitsisi olla riippuvaisia energialaitoksista, vaan he voisivat itse toimia energiankuluttajina sekä -tuottajina ja ulkomailta tuotavan energian osuutta voitaisiin vähentää. On todennäköistä, että innovatiivisempien ja älykkäämpien energiaratkaisukonseptien tulo markkinoille tulee vaikuttamaan ekoälykyläkonseptin kehittymiseen ja yleistymiseen tulevaisuudessa.

Opinnäytetyön tutkimus rajattiin ainoastaan energiankulutuksesta syntyviin CO₂-päästöihin. Jatkotutkimuksena voitaisiin tarkastella koko energiajärjestelmän sekä rakennusten kokonaishiilijalanjälkeä. Tutkimustuloksia voitaisiin verrata tavanomaisen asuintalon kokonaishiilijalanjälkeen.

Opinnäytetyön perusteella voidaan arvioida, että ekoälykylän hyödyntämät uusiutuvat energianlähteet vähentävät merkittävästi asumisesta syntyviä hiilidioksidipäästöjä. Laajetessaan ekoälykylät voisivat hidastaa merkittäväällä tavalla ilmastonmuutosta. Ekoälykylät osoittautuivat tämän opinnäytteen perusteella kannattavaksi rakennusmuodoksi myös taloudellisuutensa perusteella.

LÄHTEET

- Kulvik & Vierros. 2009. Investointilaskelmat. Luettu 7.9.2018. <https://wiki.aalto.fi/pages/viewpage.action?pageId=29823942>
- Acherman, M. & Zweifel, G. (2003) RADTEST – Radiant Heating and Cooling Test Cases. A Report of Task 22, Subtask C Building Energy Analysis Tools Comparative Evaluation Tests, Switzerland: Lucerna School of Engineering and Architecture. 83 p.
- Allardt, E. 1976. Hyvinvoinnin ulottuvuuksia. WSOY.
- Alternative Energy. 2015. Hydroelectric Power: Luettu 29.9.2018. <http://www.alten-ergy.org/renewables/hydroelectric.html>
- Arnell. 2017. Sustainability Analysis for Wastewater Heat Recovery Literature Review. Division of Industrial Electrical Engineering and Automation, Lund University, 6-15.
- Berntson, Sarter, Caccioppo. 1998. Anxiety and cardiovascular reactivity: The basal forebrain cholinergic link. Behavioral Brain Research, 94, 225—248.
- Bioenergia. 2017. Tietoa biodieselistä ja biokaasusta. Luettu 29.9.2018. http://www.bio-energia.fi/Tietoa_biodieselistä_ja_biokaasusta
- Boverket 2011. Boverkets byggregler. Raportti BFS 2011:6 - BBR 18.
- Breeze. 2016. Wind Farms: Electrical Optimization, and Repowering, 59-65.
- Breeze. 2018. Hydropower: Categories of Hydropower Plants, 12-15.
- Capstone Turbine Corporation. 2016. Next-Generation microturbines. Luettu 16.6.2018. <https://www.capstoneturbine.com/>
- Catolico, Shemin Ge ja John S. McCartney. 2015. Numerical Modeling of a Soil-Borehole Thermal Energy Storage System. Univ. of Colorado, UCB 399, Boulder, 2-5.
- Chiras, Daniel D, Sagrillo Mick ja Woofenden Ian. 2009. Power from the wind.
- Climate Central. 2017. Rising Global Temperatures and CO2. Luettu 30.9.2018. <http://www.climatecentral.org/gallery/graphics/co2-and-rising-global-temperatures>
- European Council. 2017. Energy efficient buildings. Luettu 4.9.2018. <http://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2017/12/19/energy-efficient-buildings-presidency-secures-provisional-deal-with-european-parliament/>
- CO₂- Raportti, Ilmastovinkit. 2016. Ilmastomuutos on aikakautemme vakavin uhka. Luettu 13.10.2018. <https://www.co2-raportti.fi/?page=ilmastonmuutos>
- CO₂- Raportti, Ilmastovinkit. 2009. 50 kysymystä ja vastausta biokaasusta ja biokaasuautoista. Luettu 16.6.2018. <http://www.co2-raportti.fi/?heading=50-kysymysta>

- Condon, Patrick M. 2008. Design Charrettes for Sustainable Communities. Washington, DC: Island Press.
- CREB. 2017. Community of the future. Luettu 23.6.2018. <http://www.crebnw.com/community-of-the-future/>
- David H. 2010. Energy Efficiency Through Combined Heat and Power or Codeneration. 5-6.
- Dimplex. 2012. Maalämpöpumppu. Luettu 30.6.2018. <http://www.dimplex.de/fi/ammattilaisille/tekniikan-selitykset/laempoepumput/naein-laempoepumppu-toimii.html>
- Drake Landing Solar Community. 2017. Community Site Plan. Luettu 23.6.2018. <https://www.dlsc.ca/district-fig1-illust.htm>
- Drake Landing Solar Community. 2017. Welcome to DLSC. Luettu 23.6.2018. <https://www.dlsc.ca/energy.htm>
- EMD International A/S. 2018. Release of Energy Pro. Luettu 28.6.2018. <https://www.emd.dk/>
- Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. 2013. Mikro- ja pien-CHP. Luettu 1.7.2018. http://www.greenpolis.fi/wp-content/uploads/004_13-Mikro-ja-pien-CHP-Teknologia-ja-laitekantaselvitys-sek%C3%A4-kannattavuuden-tarkastelu-tapausesimerkin-avulla.pdf
- Energiatehokas koti. 2016. Matalaenergiatalo. Luettu 9.11.2018. https://www.energiatehokaskoti.fi/perustietoa/hyva_tietaa/matalaenergiatalo
- Energiateollisuus. 2016. Vesivoimalla eniten uusiutuvaa sähköntuotantoa. Luettu 29.9.2018. https://energia.fi/perustietoa_energia-alasta/energiantuotanto/sahkontuotanto/vesivoima
- Energy Government. 2016. Drain-Water Heat Recovery. Luettu 30.9.2018. <https://www.energy.gov/energysaver/water-heating/drain-water-heat-recovery>
- Energy Government. 2016. Office of Energy Efficiency & Renewable Energy. Wind-vision. Luettu 9.9.2018. <https://www.energy.gov/eere/wind/wind-vision>
- Euroheat & Power. 2017. Eco-village “Permatopia” rolling out a sustainable future. Luettu 5.10.2018. <https://www.euroheat.org/knowledge-centre/eco-village-permatopia-rolling-sustainable-future/>
- European Commission. 2017. EU action for smart villages. Luettu 17.6.2018. https://ec.europa.eu/agriculture/sites/agriculture/files/rural-development-2014-2020/looking-ahead/rur-dev-small-villages_en.pdf
- EPA United States Environmental Protection Agency. 2014. Combined Heat and Power (CHP). Luettu 24.6.2018. <https://www.epa.gov/chp/chp-benefits>
- EQUA. 2015. IDA Indoor Climate and Energy. Luettu 7.7.2018. <https://www.equa.se/fi/ida-ice>

- Financial Dictionary. 2012. Nominal interest rate. Luettu 13.7.2018. <https://financial-dictionary.thefreedictionary.com/nominal+interest+rate>
- Fingrid. 2018. Sähkön kulutus ja tuotanto. Luettu 1.11.2018. <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/kulutus-ja-tuotanto/>
- Fläkt Woods. 2017. Tarpeenmukainen ilmanvaihto. Luettu 12.7.2018. <http://www.flak-twoods.fi/sisailma/ilman-laatu/muuttuva-ilmavirta/>
- Granlund Consulting. 2018. Kiinteistö- ja rakennusalan konsultointi. Luettu 7.9.2018. <https://www.granlund.fi/konsultointi/>
- Geologian tutkimuskeskus. 2015. Geoenergia. Luettu 1.7.2018. <http://www.gtk.fi/geologia/luonnonvarat/geoenergia/>
- Government of Canada. 2005. Drake Landing Solar Community. Tiede ja teksti Natural Resources Canada.
- Greenbiz. 2014. German village Feldheim. Luettu 24.6.2018. <https://www.greenbiz.com/blog/2014/02/13/rural-german-village-feldheim-power-clean-energy>
- Glücksman 2013. The energy self-sufficient village of Feldheim – a pioneer within Germany’s energy transition. Luettu. 24.8.2018. <https://blogs.egu.eu/geolog/2013/12/04/the-energy-self-sufficient-village-of-feldheim-a-pioneer-within-germanys-energy-transition/>
- Guevara-Stone. 2014. Why a small German village bet big on renewables. Luettu 24.6.2018 <https://www.greenbiz.com/blog/2014/02/13/rural-german-village-feldheim-power-clean-energy>
- Harpsoe. 2018. Sustainable self-sufficiency. Luettu 9.10.2018. <http://www.permatopia.dk/andelsselskab/>
- Harris. 2011. Thermal Energy Storage in Sweden and Denmark Potentials for Technology Transfer, 185-196.
- Hogan. 2017. Speech by Commissioner Phil Hogan at ENRD Seminar on Smart Villages. Luettu 29.9.2018. https://ec.europa.eu/commission/commissioners/2014-2019/hogan/announcements/speech-commissioner-phil-hogan-enrd-seminar-smart-villages_en
- Hydro World. 2018. Hydropower remains the lowest-cost source of electricity globally. Luettu 29.9.2018. <https://www.hydroworld.com/articles/2018/02/hydropower-remains-the-lowest-cost-source-of-electricity-globally.html>
- Investopedia. 2016. Inflation. Luettu 13.7.2018. <https://www.investopedia.com/terms/i/inflation.asp>
- Isojunno. 2014. Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu. Luettu 13.8.2018. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/74844/Isojunno_Veijo.pdf?sequence=1
- Kastelli. 2018. Play 99. Luettu 9.9.2018. <https://osta.kastelli.fi/floorplan>

- Kordana. 2017. SWOT analysis of wastewater heat recovery systems application. 2017. 4-6.
- Kropf, S. & Zweifel, G. (2001) Validation of the Building Simulation Program IDA-ICE According to CEN 13791. HOCHSCHULE FÜR TECHNIK+ARCHITEKTUR LUZERN. 24 p.
- Lunden. 2018. Kaupunki vai maaseutu, voiko näitä yhdistää. Seminaariesitys 20.8.2018.
- Luber. 2015. Global climate change and human health: from science to practice: Primer on Climate Science, 12-16, 87.
- Maa- ja metsätalousministeriö. 2017. Suomessa uusiutuvasta energiasta suurin osa on bioenergiaa. Luettu 29.9.2018. <https://mmm.fi/biotalous/bioenergia>
- MAO, C., SHEN, Q., SHEN, L. & TANG, L. 2013. Comparative study of greenhouse gas emissions between off-site prefabrication and conventional construction methods: Two case studies of residential projects. Energy and Buildings, 66, 165-176.
- Motiva. 2018. Energiankäyttö Suomessa. Luettu 7.9.2018. https://www.motiva.fi/ratkaisut/energian kaytto_suomessa/co2-laskentaohje_energiankulutuksen_hiilidioksidipaastojen_laskentaan/co2-paastokertoimet
- Motiva. 2015. Vedenkulutus. Luettu 17.6.2018. https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/hyva_arki_kotona/vedenkulutus
- Motiva. 2012. Yhteenvedojen CO₂-päästöjen laskentaohjeistus sekä käytettävät CO₂-päästökertoimet. Luettu. 11.7.2018. https://www.motiva.fi/files/8887/CO2-laskenta-ohje_Yhteenvedot.pdf
- NASA. 2008. How do Photovoltaics Works?. Luettu 20.8.2018. <https://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2002/solarcells>
- Natural Resources Canada. 2005. CanmetEnergy. Luettu 23.6.2018. <http://www.nrcan.gc.ca/energy/offices-labs/canmet/experts/5727>
- Neilimo, K. ja Uusi-Rauva, E. 2009. Johdon laskentatoimet. Helsinki: Edita Prima Oy.
- Neue Energien Forum Feldheim. 2015. Local Heating Network. Luettu 30.6.2018. <https://nef-feldheim.info/local-heating-network/?lang=en>
- NOAA headquarters. 2012. Earth still absorbing about half carbon dioxide emissions produced by people. Luettu 30.9.2018. <https://phys.org/news/2012-08-earth-absorbing-carbon-dioxide-emissions.html>
- Oja ja Poutanen. 1990. Aurinkokuntamme. Tähtitieteellinen yhdistys Ursa. Luettu 8.7.2018.
- Peda. 2014. Vesivoimala. Luettu 29.9.2018. <https://peda.net/kannus/jvk/oppiaineet2/fysiikka/9-lk-fysiikka/e9k22/3esl/kuvat/luvun-38-kuvat/vesivoimala>

- Peda. 2015. Tuulivoimala. Luettu 30.6.2018. <https://peda.net/valkeakoski/opetuspalvelut/pk/naakan-koulu/oppiaineet/fysiikka/fy-suominen/e9k2/3esl/kuvat/luvun-38-kuvat/tuulivoimala>
- Physorg. 2012. Photovoltaics from any semiconductor. Luettu 23.6.2018. <https://phys.org/news/2012-07-photovoltaics-semiconductor.html>
- Polybutene. 2018. A New Sustainable Eco-village. Luettu 9.9.2018. <https://www.pbpsa.com/articles/content/a-new-sustainable-eco-village>
- Puuntuottaja. 2015. Puukuutio sitoo ilmasta tonnin hiilidioksidia talteen. Luettu 1.7.2018. <http://www.puuntuottaja.com/puukuutio-sitoo-ilmasta-tonnin-hiilidioksidia-talteen/>
- Ramentor. 2009. Elinkaarikustannukset (Life Cycle Costs, LCC). Luettu. 7.7.2018. <http://www.ramentor.com/etusivu/teoria/elinkaarikustannukset/>
- Sarlin Capstone 2017. Capstone C30 ja C65 -mikroturbiinit. Luettu 16.6.2018. <https://www.sarlin.com/tuotteet/capstone-c30-ja-c65-mikroturbiinit>
- Savolainen, K. 2016. Yhteisöllisyyden vaikutukset koettuun hyvinvointiin. Sosiaalialan tutkinto-ohjelma. Seinäjoen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö
- Science Daily. 2015. Discovery of a highly efficient catalyst eases way to hydrogen economy. Luettu 12.7.2018. <https://www.sciencedaily.com/releases/2015/09/.htm>
- Sibbitt, B. 2015. Groundbreaking Solar. Drake Landing Solar Community. High Performing Buildings, 36-46.
- Sirén. 2015. Rakennusten energiainvestointien kannattavuuden laskenta. 3-10, 20-22.
- ST1 Deep Heat. 2018. St1:n geolämpöprojektin stimulointivaihe onnistuneesti päätökseen. Luettu 30.9.2018. <https://www.st1.fi/St1:n-geolampoprojektin-stimulointivaihe-onnistuneesti-paatokseen>
- Suntekno. 2012. Aurinkopaneelit. Luettu 30.6.2018. <http://suntekno.bonsait.fi/resources/public/tietopankki/paneelit.pdf>
- Suntuote. 2015. SolarBlue-aurinkokeräin. Luettu 29.9.2018. <https://www.suntuote.fi/SolarBlue-aurinkokeraein>
- EUSEW. 2018. Karise Permatopia-Ecovillage. Luettu 30.6.2018 <https://www.eusew.eu/awards/karise-permatopia-%E2%80%93-ecovillage>
- Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D3. 2012. Rakennusten energiatehokkuus, määräykset ja ohjeet.
- Sweden Water Research. 2017. Sustainability Analysis for Wastewater Heat Recovery. Luettu 9.11.2018. <http://www.swedenwaterresearch.se/en/projekt/hava-sustainability-analysis-for-wastewater-heat-recovery/>

Taloussanommat. 2016. Liian kallis asuminen jakaa sukupolvet voittajiin ja häviäjiin. Luettu. 12.7.2018. <https://www.is.fi/taloussanommat/porssiutiset/art-2000005001353.html>

Tekniikan maailma. 2018. Sähkön kulutus Suomessa nousi juuri korkeimmalle tasolle yli vuoteen. Luettu 8.7.2018. <https://tekniikanmaailma.fi/sahkon-kulutus-suomessa-nousi-juuri-korkeimmalle-tasolle-yli-vuoteen/>

Tiainen & Mäkelä. 1995. Gummeruksen uusi tietosanakirja, neljäs osa. Gummerus Kirjapaino Oy.

Tilastokeskus. 2018. Polttoaineluokitus. Luettu 7.9.2018. www.stat.fi/static/media/uploads/tup/khkinv/khkaasut_polttoaineluokitus_2018.xlsx

Toth & Bobok. 2017. Flow and Heat Transfer in Geothermal Systems - Basic Equations for Describing and Modeling Geothermal Phenomena and Technologies.

TreeHugger. 2015. This striking chart shows why solar power will take over the world. Luettu 24.6.2018. <https://www.treehugger.com/renewable-energy/striking-chart-showing-solar-power-will-take-over-world.html>

U.S. Department of Energy. 2006. Energy Efficiency and Renewable Energy. Luettu 29.9.2018. <http://www.envirothonpa.org/documents/19aHydropowerBasics.pdf>

Verohallinto. 2016. Sähkön ja eräiden polttoaineiden vero. Luettu 15.7.2018. https://www.vero.fi/yritykset-ja-yhteisot/tietoa-yritysverotuksesta/valmisteverotus/valmisteverolajit/sahko_ja_eraat_polttoaineet/

Wasenco. 2015. Jäteveden lämmön talteenotto. Luettu 30.9.2018. <http://wasenco.com/jateveden-lammon-talteenotto/>

WWF. 2018. Ilmastonmuutoksen vaikutukset. Luettu 30.9.2018. <https://wwf.fi/uhat/ilmastonmuutos/>

Ympäristöministeriön asetus. 2015. Rakennusten vesi- ja viemärlaitteistoista. Luettu 9.11.2018.

Ympäristöministeriö. 2017. Suomesta hiilineutraali yhteiskunta viimeistään vuonna 2045. Luettu 12.7.2018. [http://www.ymparisto.fi/FI-Ajankohtaista/Ministeri_Tiilikainen_Suomesta_hiilineut\(42208\)](http://www.ymparisto.fi/FI-Ajankohtaista/Ministeri_Tiilikainen_Suomesta_hiilineut(42208))