

Energiatehokkuuden parantaminen hybridimallilla

Päiväkoti Kakkospesän energiatehokkuuden parantaminen hybridimallilla



Ylemmän ammattikorkeakoulun opinnäytetyö

Rakentaminen

Syys 2021

Jouko Joensuu

Opinnäytetyössä tarkastellaan yleisellä tasolla alle 600 m² kokosiin rakennuksiin soveltuvia vaihtoehtoisia lämmitysenergiajärjestelmiä sekä niiden tekniikkaa ja soveltuvuutta esimerkkirakennuksena olevan Ikaalisten päiväkotikakkospesän lämmöntuotantoon. Opinnäytetyön tavoitteena on tarkastella rakennuksen energiansäästökohteita ja optimoida vaihtoehtoisista energiamuodoista mahdollisimman kustannustehokas kokonaisratkaisu siten että rakennuksen käyttö ja ylläpitokustannukset huomioiden kiinteistöön esitetyt tekniset ratkaisut ovat realistisia. Työn tuloksena tuotetaan suosituksia lämmitysenergiaratkaisujen kannattavuudesta kaupungin teknisen toimen käyttöön.

Kaukolämmön sekä ostosähkön hinnannousu ovat johtaneet vaihtoehtoisten ja hinnaltaan stabiilimpien energiamuotojen etsimiseen osana kiinteistöjen kokonaislämmitysmuotoa. Opinnäytetyössä tarkasteltiin hybridilämmitysjärjestelmien kannattavuutta öljylämmitykseen kytketyssä rakennuksessa. Vaihtoehtoisiksi lämmitysjärjestelmiksi valikoitui öljylämmityksen rinnalle kytketty maalämpöjärjestelmä, vesi-ilmalämpöpumppujärjestelmät, eri tehoiset aurinkovoimalajärjestelmät, kaukolämpöjärjestelmä sekä näiden kaikkien yhdistelmät.

Lämmitystapavertailua varten konsultoitiin tunnetuimpia laitetoimittajia ja heidän tarjouksiansa, joilla saatiin selvitettyä lämmitysjärjestelmien mitoituksia sekä laitekoonpanoja. Elinkaarikustannuksien kannattavuutta vertailtiin investoinnin takaisinmaksuajalla sekä erilaisilla sopimus pohjaisilla hinnoittelulla. Tarkastelluista lämmitysjärjestelmistä elinkaarikustannuksiltaan kannattavimmat hybridilämmitysjärjestelmät öljylämmityksen rinnalle olivat maalämpöjärjestelmä sekä vesi-ilmalämpöpumppujärjestelmän yhdistelmä alle 5 vuoden takaisinmaksuajallaan.

Avainsanat Hybridilämmitysjärjestelmä, energiatehokkuus, kaukolämpö, maalämpö, aurinkopaneeli, vesi-ilmalämpöpumppu, kannattavuusarvio

Sivut 88 sivua, 55 kuvaa, 6 taulukkoa ja 8 liitettä

In this thesis, the target is to examine alternative heating systems suitable for public buildings of less than 600 m² and their technology, as well as their suitability for the heat production of the Ikaalinen kindergarten Kakkospesä, an example building. The aim of the thesis is to optimize the most cost-effective overall solution from alternative energy sources so that the technical solutions presented for the property are realistic, taking into account the operation costs and maintenance costs of the building. The results of the work will serve the technical department of the city.

The rising price of district heating and purchased electricity has led to the search for alternative and more affordable energy as part of the total heating of properties. The thesis examined the profitability of hybrid heating systems in a building with oil heating system. Alternative heating systems were a geothermal system connected to oil heating, a water-to-air heat pump system, solar heating system with different capacities, a district heating system and combinations of all of these.

For the comparison of heating methods, the most common equipment suppliers and their offers were consulted to find out the dimensions of the heating systems and equipment configurations. The profitability of life cycle costs was compared with the payback period of the investment and with different contract-based pricing.

Of the heating systems examined, the most profitable hybrid heating systems in terms of life cycle costs alongside oil heating were the geothermal system and the combination of a water-to-air heat pump system with a payback period of less than 5 years.

Keywords Hybrid Heating System, Energy Efficiency, District Heating, Geothermal, Solar Panel, Water-to-air Heat pump, Viability Review

Pages 88 pages and appendices 8 pages

Sisällys

1	JOHDANTO.....	1
1.1	Opinnäytetyön tutkimuskysymykset	2
2	TAVOITTEELLINEN ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMINEN HYBRIDIMALLIA KÄYTTÄEN	3
2.1	Kuntatoimijan tavoitteet energiatehokkuustoimissa	3
2.2	Energiankulutus rakennetussa ympäristössä	4
2.2.1	Rakennusten energiatehokkuutta ohjaavat direktiivit	8
2.2.2	Rakennusten energiatehokkuudesta	9
2.2.3	Hybridienergiamallin periaate	10
2.2.4	Hybridienergiamallin ja monitavoiteoptimoinnin ero	12
2.3	Vaihtoehtoisia lämmitysmuotoja hybridienergiamallin toteuttamiseksi	16
2.3.1	Aurinkosähkö.....	16
2.3.2	Lämmön talteenotto	18
2.3.3	Maalämpö	20
2.3.4	Ilma-vesilämpöpumppu	22
2.3.5	Kaukolämpö.....	24
2.3.6	Lähilämpö	26
2.3.7	Öljylämmitys.....	27
2.4	Fossiiliset energianlähteet	29
2.5	Lämmitysjärjestelmien investointien tarkastelu palvelussopimus pohjaisella mallilla	31
2.6	E-luku ja energiatodistus.....	33
2.7	Lämpökamerakuvaus	34
3	AINEISTO JA MENETELMÄT	36
3.1	Case-tarkastelun esittely.....	36
3.1.1	Perustiedot.....	37
3.1.2	Päiväkotirakennuksen energiankulutus	39
3.2	Tutkimusmenetelmät.....	41
3.2.1	Tutkimusmenetelmät eri työvaiheissa	41
3.2.2	Huomioita vaipan tiiveydestä ja lämpöteknisistä ominaisuuksista ...	43
4	CASE-KOHTEEN LASKENTAMALLIT	45

4.1	Vaihtoehtoiset hybridilämmitysjärjestelmien kytkentämallit	45
4.1.1	Tarkasteltavien hybridilämmitysjärjestelmien rajaukset.....	45
4.1.2	Aurinkovoimalan hyödyntäminen sähköntuotantoon ja käyttöveden lämmitykseen	46
4.1.3	Lämmöntalteenottolaitteella varustetun koneellisen tulo- ja poistoilmajärjestelmän hyödyntämisen vaikutus ostoenergian kulutukseen	48
4.1.4	Maalämmön hyödyntämisen vaikutus ostoenergian kulutukseen....	50
4.1.5	Ilma- vesilämpöpumpun hyödyntäminen ostoenergian kulutukseen	51
4.1.6	Ilma-vesilämpöpumppu, jossa öljylämmitys kytketty osaksi lisälämmitystä	53
4.1.7	Kaukolämmön hyödyntäminen ostoenergian kulutukseen.....	54
4.1.8	Lämpökontin rakentaminen päiväkodin läheisyyteen vaihtoehtoisena tapana kaukolämmön siirtoa.	54
4.1.9	Öljylämmitys.....	56
4.2	Rakenteiden lämpötalouden optimointi.....	57
4.2.1	E-luku.....	57
4.2.2	Vaipan eristepaksuus	58
5	CASE-KOHTEEN TULOKSET	60
5.1	Vaihtoehtoisten hybridilämmitysjärjestelmien kytkentätavat koottuina.....	60
5.1.1	Aurinkovoimalan hyödyntäminen sähköntuotantoon ja käyttöveden lämmitykseen	60
5.1.2	Lämmöntalteenottolaitteella varustetun koneellisen tulo- ja poistoilmajärjestelmän hyödyntämisen vaikutus ostoenergian kulutukseen	61
5.1.3	Maalämmön hyödyntämisen vaikutus ostoenergian kulutukseen....	63
5.1.4	Ilma-vesilämpöpumpun hyödyntäminen ostoenergian kulutukseen	64
5.1.5	Ilma-vesi lämpöpumppu johon öljylämmitys on kytketty osaksi lisälämmitystä	65
5.1.6	Lämpökontti lähilämmön tuotantotapana	66
5.1.7	Yhteenvedo hybridiennergiamallien vertailusta.....	67
5.2	Rakenteiden lämpötalous	69
5.2.1	Lämpökuvaus vaipparakenteista.....	69

5.2.2	Energiatodistus.....	74
5.3	Kustannusvertailu	74
5.3.1	Lämmityskustannusten vertailu eri lämmöntuottotavoilla	74
5.3.2	Investointikustannusten osuudet sekä takaisinmaksuajat	76
5.3.3	Ostoenergian vähentäminen vaipparakenteen lisäeristämällä	78
5.3.4	Ostoenergian käytön vähentäminen fossiilivapaita energialähteitä hyödyntämällä.....	79
6	JOHTOPÄÄTÖKSET	80
	LÄHTEET	83
	LÄHTEET	84

LIITTEET

Liite 1	Taulukoidut lähtötiedot ja tulokset
Liite 2	Energiatodistus
Liite 3	Laskentatulokset maalämpöpumpulle
Liite 4	Laskentatulokset ilma-vesilämpöpumpulle
Liite 5	Päiväkoti Kakkospesän kytkentäkaavio
Liite 6	Vaipparakenteen U-arvot eri eristepaksuuksilla
Liite 7	Vaipparakenteen lisäeristämisen kustannuslaskelma
Liite 8	Leppäkosken Lämpö Oy energiahintoja 2021

1 JOHDANTO

Suomi on osana Euroopan unionia sitoutunut Pariisin ilmastopöimukseen, jonka yhteisen linjauksen mukaan tavoite edellyttää pitkän aikavälin ilmastotoimien rakentamista siten että EU:n hiilineutraalius saavutetaan ennen vuotta 2050. Suomella on EU:ta tiukemmat tavoitteet olla hiilineutraali jo vuonna 2035.

Suurimmat osuudet kiinteistöjen lämmitysenergiasta tuotetaan kaukolämmöllä sekä sähköenergialla. Kiinteistöjen lämmitykseen kuluu neljäsosa Suomessa käytetystä loppuenergiasta ja josta kaukolämmöstä peräti 38 % tuotetaan fossiilisilla polttoaineilla. Kiinteistöjen lämmityksessä voidaan saada aikaan merkittäviä päästövähennyksiä investoimalla sellaisiin hybridilämmitysjärjestelmiin, joiden tuoma lisäenergia voidaan tuottaa fossiilivapaasti. (Tilastokeskus, 2021a)

Lakiesityksen (Ympäristöministeriö, 2021) mukaan rakennukseen ostettavasta lämmöstä ja sähköstä vähintään 38 prosenttia olisi jatkossa oltava uusiutuvaa energiaa.

Omakustanteisesti rakennettaessa ja energian hinnan jatkaessa kasvuaan kaupungit ovat motivoituneita investoimaan energiatehokkaaseen tekniikkaan ostoenergian kulujen vähentämiseksi. Ilmastonmuutos sekä päästötavoitteet asettavat omat haasteensa energiatehokkuudesta ja uusiutuvien energiamuotojen käytöstä, jotka tiukentuvat vuosi vuodelta.

Energiayhtiöistä monet kaukolämpöä tuottavat toimijat ovat lisänneet markkinointiinsa ekologisuutta tarjoamalla vihreää kaukolämpöä, joka on 100 % hiilineutraalia kaukolämpöä. Tämä tarkoittaa uusiutuvien energialähteiden osuuden kasvattamista energian tuotannossa tai päästöjen osalta kompensoitua energiantuottotapaa.

1.1 Opinnäytetyön tutkimuskysymykset

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tutkia eri hybridienergiamalleja ja niiden soveltuvuutta esimerkkirakennuksena olevan kohteen lämmöntuotantoon. Työssä tarkastellaan eri lämmöntuottotapojen kokonaisenergiankulutusta, kustannuksia sekä päästöjen osuutta kussakin energiantuottotavassa ja annetaan suositus soveltuvimmalle hybridienergiaratkaisulle. Tarkasteltavan hybridienergiamallin ohessa syntyy E-todistus sekä energiasaneeraussuunnitelma osana kokonaisenergian säästötavoitetta. Työn esimerkkikohteena on Ikaalisten kaupungin omistama päiväkotikakko Kakkospesä. Työssä vastataan seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

1. Millä lämmitysmuotojen yhdistelmällä (ts. hybridienergiamallilla) saavutetaan kustannuksiltaan paras energiatehokkuus? Tämä koskee sekä rakennuksen käyttö – että ylläpitokustannuksia.
2. Mikä on rakennuksessa käytettävän hybridienergiamallin takaisinmaksuaika?
3. Millä tavoin rakennuksen E-lukua voidaan nykyisestä parantaa?
4. Mikä on aurinkosähköenergian kannattavuus osana kokonaisenergian ratkaisua?
5. Millä tavoin rakennuksen vaipan lämpötaloutta voidaan parantaa?
6. Paljonko ostoenergian hiilijalanjälki pienenee toteutettujen ratkaisujen osalta?

2 TAVOITTEELLINEN ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMINEN HYBRIDIMALLIA KÄYTTÄEN

2.1 Kuntatoimijan tavoitteet energiatehokkuustoimissa

Julkisen sektorin hallinnoimien rakennusten osuus maamme rakennuskannasta on lähes 10 %. Tällä on huomattava vaikutus tuotetun energian loppukäyttöön joka maamme koko rakennuskannan osalta vastaa 40 % kulutetun kokonaisenergian määrästä. Tästä 25 % kuluu rakennusten lämmitykseen, joten rakennuskannan optimoidulla lämpötaloudella on iso merkitys ostoenergian määrään, laatuun ja siitä aiheutuviin kustannuksiin. (Ilmasto-opas, 2018)

Julkisella sektorilla energiaa kuluttavat etenkin rakennusten lämmitys, valaistus ja kulutetun veden lämmitys. Lisäämällä kiinteistöjensä energiatehokkuutta kunnat voivat pienentää mm. lämmityskustannuksissa.

Helpoin tapa kiinteistöjen kustannussäästöissä on investoida energiaa säästäviin modernisointeihin ja optimoida yleisellä tasolla rakennusten energiankulutusta. Kuntatoimijalla ei välttämättä ole olemassa niitä yleisiä työkaluja, joiden kautta samanlaisia kiinteistöjä voisi lähestyä samasta näkökulmasta.

Kuntatoimijan tavoitteet energiantehokkuustoimissa liittyvät ostoenergian kustannuksen ja määrän vähentämiseen sekä yleisellä että paikallisella tasolla. Kustannustehokkuuden lisäksi tämä tavoite palvelee valtiovallan yleisesti linjaamia päästötavoitteita (ks. Ympäristöministeriö, 2021) vähähiilisempään energiamuotoon siirtymisessä.

Tarkemman informaation perusteella kuntatoimija kykenee paremmin kilpailuttamaan paikallisia energiayhtiöitä sekä tarkastelemaan kriittisemmin eri polttoaineilla tuotettuja energiainvestointeja. Erilaisten esimerkkien ja niissä käytettyjen menetelmien perusteella kuntatoimijalla on mahdollisuus soveltaa hybridienergiamallin käyttöä myös muussa samantyyllisessä rakennuskannassa.

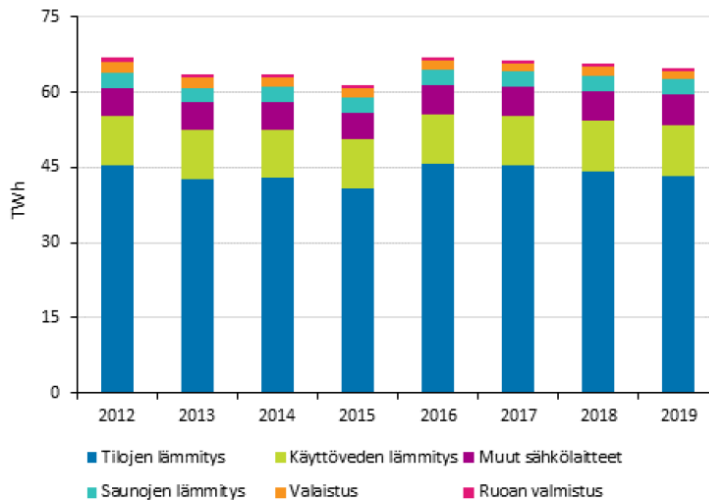
2.2 Energiankulutus rakennetussa ympäristössä

Fennoskandiassa suurin osa energiasta kuluu pääsääntöisesti kiinteistöjen lämmitykseen: vuonna 2019 (kuva1) siihen kului 65 terawattituntia (TWh) energiaa eli noin 25 % Suomessa käytetystä loppuenergiasta (Tilastokeskus, 2020b). Tästä asumisen energian kulutuksesta noin 67 % kohdistui asuinrakennusten tilojen lämmitykseen, 15 % käyttöveden lämmitykseen ja 5 % saunojen lämmitykseen (Tilastokeskus, 2020a).

Kiinteistön tyyppi, koko, ikä ja käyttöprofiili vaikuttavat lopulliseen energiankulutukseen. Uudet kiinteistöt ovat tyyppillisesti vanhoja energiatehokkaampia (ks. Kuva 1. Asumisen energiankulutus 2012–2019. (Tilastokeskus,2020a)

Kuva 1. Asumisen energiankulutus 2012–2019. (Tilastokeskus,2020a).

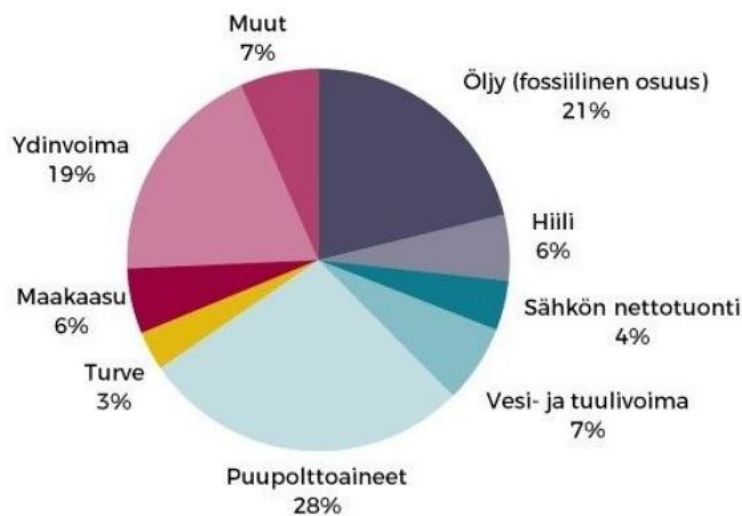
Asumisen energiankulutus 2012-2019



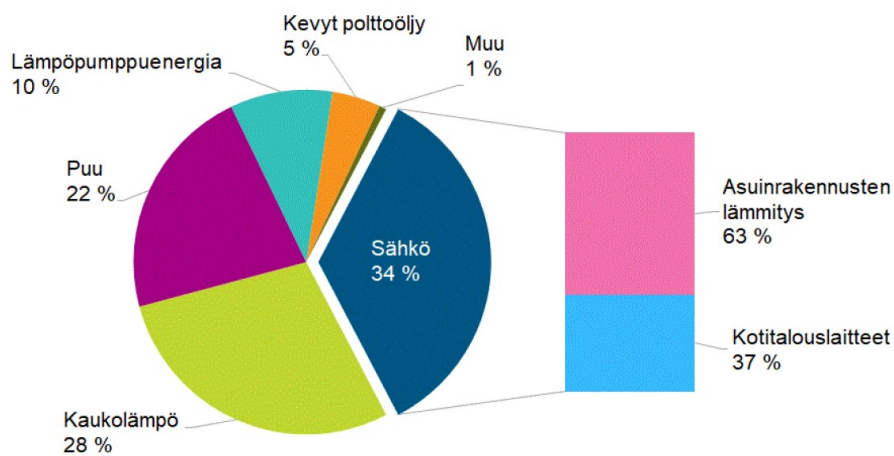
Energian kokonaiskulutus oli tilastokeskuksen ennakkotietojen mukaan noin 1 277 PJ (petajoulea) vuonna 2020. Polttamalla tuotetun energian määrä vähentyi selvästi. Vesi-, tuuli- ja aurinkovoiman uusiutuva tuotanto sen sijaan lisääntyi. Uusiutuvien energian kulutus oli suurempaa kuin fossiilisten polttoaineiden ja turpeen kulutus yhteensä, ks. kuva 2.

Asumisen energiakulutuksen osalla kaukolämmön osuus on kasvanut merkittävästi ollen 28 % kokonaiskulutuksesta ks. kuva3 (Motiva, 2021b). Vaikka kaukolämmön hinta eri kaupunkien osalla vaihtelee, on kaukolämmön energian keskiarvo hinta yleisellä tasolla noussut. (Tilastokeskus, 2021).

Kuva 2. Energian kokonaiskulutus Suomessa energialähteittäin vuonna 2020. (Motiva, 2021a).



Kuva 3. Energian kokonaiskulutuksen osuudet Suomessa energialähteittäin vuonna 2020. (Motiva, 2021b).



Energian hinta ja tuotanto ovat nousseet laajasti puheenaiheeksi kuluneen syksyn 2021 aikana. Sähkön hinta on ollut niin Suomessa (Uusitalo, 2021) kuin muualla Euroopassa selvästi normaalia korkeammalla. Energian tukkuhinnat ovat nousseet jyrkästi Euroopassa ja mm. kuvaa 4 tarkasteltaessa tämä havaitaan piikkinä kuluvan vuoden sähkön ja kaasun tukkuhinnoissa.

Kuva 4. Energian tukkuhinnat EU:ssa 2016–2021. (Euroopan komissio, 2021)



Korkealle noussut hinta johtuu asiantuntijoiden mukaan monen samanaikaisen tekijän yhteisestä vaikutuksesta. Euroopan talous on lähtenyt vauhtiin mikä lisää niin liikennettä kuin sähkön tarvetta, ja hintojen on pelätty karkaavan käsistä (Hiilamo, 2021).

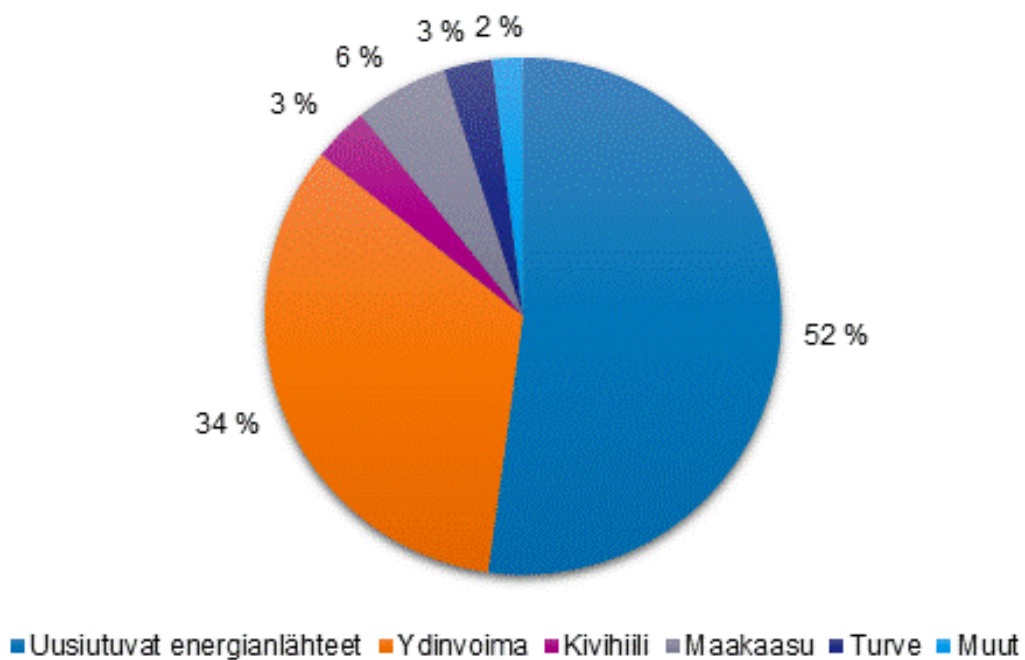
Päästöoikeuksilla käydään kauppaa. Päästöoikeuksien hinta lähti alkuvuonna 2021 nousuun edesauttaen fossiilisilla maakaasulla ja kivihiilellä tuotetun sähkön hinnan kallistumista. Myös laitosten huoltoja jäi koronatilanteen takia väliin ja huoltoseisokit ovat olleet tavallista pidempiä. Maakaasun hinta on noussut huolimatta Nord Stream 2 maakaasuputken valmistumisesta. Maakaasua käytetään Euroopassa laajasti lämmitykseen ja sähkön tuotantoon ja kylmä viime talvi ehdytti maakaasun varastoja. Koska maakaasu tuottaa

päästöjä kivihiiltä vähemmän, sillä on haluttu myös korvata kivihiilen käyttöä sähköntuotannossa. (Karsimo, 2021)

Sähkön hinnat ovat tupla pörssitettyjä. Monissa Euroopan maissa, Suomen ohella, tehdään maakaasulla merkittävä osuus sähköstä, jolloin kaasun korkea hinta heijastuu suoraan sähkön hintaan. Tämä on otettava huomioon tulevaisuuden hybridienergiälämmitysmuotoja tarkasteltaessa. (Karsimo, 2021)

Nykyään huomattava osa sähköntuotannosta perustuu fossiilisiin polttoaineisiin kuten maakaasuun sekä turpeeseen. Näiden osuudet on esitetty kuvassa 5. Ydinenergian sekä uusiutuvien polttoaineiden osuudet sähköntuotannossa ovat nousussa samaan aikaan kun turpeen ja fossiilisten polttoaineiden käyttö on vähenemässä. Sähkön tuotannosta 52 % on tilaston mukaan tuotettu uusiutuvilla.

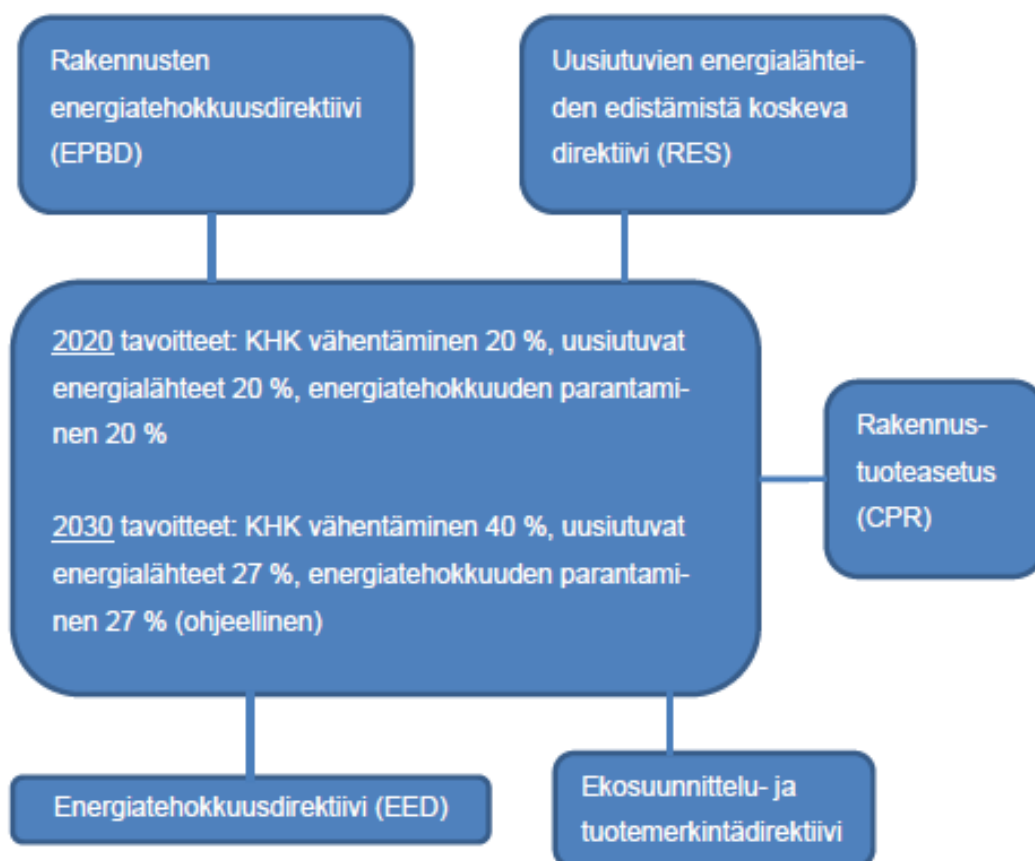
Kuva 5. Sähkön tuotanto energialähteittäin 2020. (Tilastokeskus, 2021a)



2.2.1 Rakennusten energiatehokkuutta ohjaavat direktiivit

Rakennusten energiatehokkuutta säätelee joukko erilaisia standardeja ja direktiivejä. Tavoitteet ovat yhteiseurooppalaisia. Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi EPBD (Energy Performance of Buildings Directive) määrittelee että kaikkien uusien julkisten rakennusten tuli olla 31.12.2018 jälkeen verrattavissa lähelle nollaenergiarakennuksen vaatimustasoa. Vuoden 2020 päättyessä määräys kattaa kaikki uudet rakennukset, ei vain julkisia rakennuksia. (Ympäristöministeriö, 2020). Kuvassa 6 on esitelty energiatehokkuutta ohjaavat direktiivit. Lyhennettä KHK käytetään käsitteestä kasvihuonekaasu.

Kuva 6. Energiatehokkuutta ohjaavat direktiivit. (Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry. 2015. Sivu 18.)



2.2.2 Rakennusten energiatehokkuudesta

Rakennuksen energiatehokkuutta voidaan parantaa lämmitysjärjestelmän ja ilmanvaihdon modernisoinnin lisäksi myös rakennuksen vaipan eristävyttä kasvattamalla. Tämä tapahtuu joko eristepaksuutta kasvattamalla tai valitsemalla sellaisia rakennusmateriaaleja, joiden U arvo on nykyistä tehokkaampi. Vaikka energiatehokkuus yleisesti käsitetään rakennuksen lämmittämiseen kuluvana energiansäästönä, kuuluu energiatehokkuuden piiriin myös rakennusten viilennys. Viilennykseen vaadittavan energian tarpeen ennustetaan kolminkertaistuvan lähivuosisikymmenien aikana. (Tiede-lehti & Yle, 2021, verkkojulkaisu)

Rakennuksen lämmöneristävyyteen oleellisesti vaikuttava suure on U arvo eli lämmönläpäisykerroin. Se kuvaa rakennusosien lämmöneristyskykyä, jolle on annettu rakennusosissa eri arvoja, joita rakennusosan tulisi määräysten mukaan täyttää.

Mitä pienempi U-arvo, sitä parempi lämmöneristys. Lämmönläpäisykerroin on määritelty Suomen rakentamismääräyskokoelmassa C3 ja se on sidoksissa kulloisenkin rakennusvuoden U arvo asetuksiin. Nyt tuotetut U arvolaskelmat vertautuvat nykyisin käytössä oleviin U arvo määräyksiin ja niiden avulla voidaan verrata energiansäästökustannuksia suhteessa lämmitysenergian kustannuksiin.

Taulukko 1. U arvot eli vuosikymmeninä. (RakMk, 2010)

U-arvot	RakMk:n enimmäisarvo 2007-2009	Normitalo, tyypillinen 2005	Matalaenergiatalo, 2007 arvio	RakMk:n enimmäisarvo 2010 alkaen
Ulkoseinä	0,24	0,21	0,18	0,17
Yläpohja	0,15	0,15	0,12	0,09
Alapohja	0,24	0,20	0,15	0,16
Ikkunat	1,4	1,5	1,0	1,0
Ovet	1,4	1,5	0,8	1,0

2.2.3 Hybridienergiamallin periaate

Hybridienergiamallilla tarkoitetaan rakennuksen omaa energiantuotantoverkostoa, josta on tarvittaessa saatavilla laaja kattaus erilaisia energianlähteitä. Hybridienergiamallissa pyritään eri lämmitysmuotojen yhdistelmää käyttämällä optimoimaan kustannustehokkain energiantuottotapa eri vuodenaikoina. Tältä osin energiamallilla tarkoitetaan useamman eri lämmitysmuodon yhteiskäyttöä siten, että siihen lisätään myös muita rakennuksen energiansäästöön tähtäviä toimenpiteitä halutun kokonaistavoitteen saavuttamiseksi. Lämmityksenohjaus tapahtuu vuorottelemalla lämmitysmuotoja esimerkiksi muuttuvien sääolosuhteiden tai vuorokauden ostoenergian hinnan mukaan. Vuorottelussa se lämmitysmuoto, jolla on paras hyötysuhde vallitsevissa olosuhteissa, ohjataan hoitamaan rakennuksen lämmitys kokonaan tai suurimmalta osalta. Näin voidaan hyödyntää lämmitysmuotojen parhaat ominaisuudet eri vuorokauden tai vuodenajan aikana. Tämä mahdollistaa energiatehokkaan ja kustannustehokkaan energian käytön. Hybridilämmityksen hinnoittelu riippuu käytettävistä lämmitysmuodoista. (Energiatehokas koti, 2020.)

Hybridienergiamalli koostuu useasammasta eri energiajärjestelmästä, joilla on esim. rakennuksen lämmityksen osalla yhteinen toisiopiiri. Esimerkiksi vesikiertoisessa lämmönjaossa ja lämpimän käyttöveden tuotossa käytetään tällöin hybridivaraajaa, johon on liitetty vähintään kaksi eri lämmönlähdettä. Hybridienergiamallissa järjestelmä on aina optimoitavissa ja se pyrkii hyödyntämään mahdollisimman paljon omavaraisenergiaa ostoenergian asemesta. Tämä tekee siitä kustannustehokkaan.

Teknisessä ja taloudellisessa mielessä hybridienergiamallissa hyvin yhteensopivia lämmitysmuotoja ovat esimerkiksi kesäaikana aurinkolämpö ja ilma-vesilämpöpumppu. Talviaikana näitä voivat olla esim. puu ja pellettilämmitys. Kun huomioidaan pörssisähkö ja sen vaihteleva sähkönhintaa sekä mahdollisesti käytettävät muut lämmitysmuodot, voidaan hybridienergiamallia hyväksi käyttäen parantaa tuntuvasti omavaraisuusastetta ja madaltaa rakennuksen käyttökustannuksia. Tämä edellyttää kuitenkin rakennuksen lämmitysjärjestelmän tutkimista ja soveltuvuutta eri lämmöntuottotavoille sopivaksi.

Hybridienergiamallin ja monitavoiteoptimoinnin osalla päämäärät ovat samoja mutta tässä

2.2.4 Hybridienergiamallin ja monitavoiteoptimoinnin ero

Ero hybridienergiamallin ja monitavoiteoptimoinnin välillä kulkee asetettujen muuttujien määrässä. Hybridienergiamallin keskittyessä eri lämmöntuottojärjestelmien tarkasteluun, monitavoiteoptimoinnissa otetaan huomioon tämän lisäksi rakennuksen rakenteet ja korjausrakentamisen kustannukset sekä myös muita haluttuja muuttujia. Pääpiirteittäin voidaan sanoa, että hybridienergiamalli pyrkii tuomaan kustannustehokkuutta tukemalla päälämmitysmuotoa erilaisin lisäenergiamuodoin. Monitavoiteoptimoinnissa pyritään simuloimaan optimointialgoritmien kautta jo olemassa olevaa lämmitysmuotoa yhdessä rakenneteknisten sekä LVIS teknisten optimointitavoitteiden ohella. Monitavoiteoptimointi on siis hybridienergiamallin laajennettu versio, jossa käytetään hyväksi eri energiasimulointiohjelmia (MOBO, IDA ICR, MagiCad) 3D mallinnuksen pohjaksi.

Jonkin ilmiön tai muuttujan optimoinnilla ymmärretään yleisesti parhaan ratkaisun etsimistä suuresta määrästä erilaisia vaihtoehtoja. Tätä käsitettä on pyritty kuvaamaan kuvassa 9. Jos haluttuja tavoitteita on useita ja näistä tulisi muodostaa paras mahdollinen kokonaisuus, on kyseessä monitavoiteoptimointi. Tarve monitavoiteoptimoinnille tulee yleisimmin sellaisista saneerauskohteiden kustannus- ja energiatehokkuustavoitteista, joissa pyritään löytämään optimaalinen energiatehokkuus mahdollisimman pienillä kustannuksilla. Kyse on energiainvestoinnista, jossa merkittävänä tekijänä on eri energiaratkaisujen tuottajien tarjoamat kokonaiskonseptit, uudet rakennetekniset muutokset sekä vaippaosan energiasaneeraukset. Monitavoiteoptimoinnilla investointien takaisinmaksuajat saadaan mahdollisimman lyhyiksi heti investoinnin jälkeen.

Tässä opinnäytetyössä tarkastelua on tehty hybridienergiamallista käsin siten että tutkimustuloksissa on käsitelty energiamuodon lisäksi energiajärjestelmien tarjoajien sopimusperusteisia kustannusrakenteita. Nykyaikaiset laskentamenetelmät ottavat kustannusten lisäksi huomioon energian hinnan noususuhdanteet sekä vuosittaiset lämmitystarveluvut. Eri energiakonseptin tarjoajilla on itsellään mahdollisuus tuottaa näitä laskelmia kehittyneillä laskentaohjelmilla. Mahdollisimman realistisen tuloksen saamiseksi opinnäytetyössä on käytetty hyväksi suurimpien laitetoimittajien tekemiä laskentamalleja eri hybridienergiamuotoja vertailtaessa.

Hybridilämmitysjärjestelmien eri variaatioita voitaisiin kehittää lähes rajattomasti ja nämä tavoitteet ovat keskenään usein ristiriitaisia ja yhteismitattomia. Tavoitteena on tutkia eri lämmitysenergiaratkaisujen mahdollisuuksia hybridienergiamallissa ja soveltaa tietoperustaa esimerkkirakennukseen, jossa tulokset annetaan primaarienergiankulutuksen suhteena $[\text{kWh}/\text{m}^2, \text{a}]$ elinkaarikustannusten nykyarvoon (25 v) $[\text{e}/\text{m}^2]$ tai vaihtoehtoisesti investoinnin takaisinmaksuaikaan. Hybridimallitarkasteluun liittyy myös ristiriitaisten tavoitteiden minimointi eli sellaisten energiamuotojen tarkastelu, joiden käyttöä rajoittaa jokin muu tekijä kuin investoinnin hinta. Tähän perustuen lämmöntuottojärjestelmää valittaessa tavoitteena on löytää kustannustehokas kokonaisuus, joka on kannattava vähintään 25 vuoden tarkastelujaksolla.

Opinnäytetyössä on oma osionsa kustannustarkasteluun koska energianhinta eri muodoissaan tulee suurella todennäköisyydellä nousemaan rakennuksen elinkaaren aikana. Rakennuksen lämmitystarpeen pienentämiseen tähtäävät investoinnit tulevat sen vuoksi kannattavammiksi takaisinmaksuaikojen lyhentyessä.

Opinnäytetyössä otetaan kantaan esimerkkirakennuksen kokonaisenergiankulutukseen E-todistuksen kautta. Olettamuksena on, että E-lukua voidaan parantaa hybridilämmitysmuotoa käyttämällä. Tässä yhteydessä annetaan myös suosituksia E-luvun parantamiseen rakennukseen suunnatuilla energiantehostamistoimilla.

Sähkön sekä kaukolämmön energiamuodon kerroin on nykyisessä E-luvun laskennassa sen verran korkea, että mikäli kustannuksilla ei ole niin suurta merkitystä ja tavoitteena on vain mahdollisimman alhainen E-luku, on kaukolämpö sekä sähkölämmitys parhaita keinoja päästä em. tavoitteeseen. Tämä toteutuu myös hybridimallissa siten että varalämmitysjärjestelmä toteutetaan sähkölämmitteisenä. Toisaalta rakennuksen pinta-alaan suhteutettu optimaalinen energiaratkaisu suosii öljylämmityksen pitämistä varajärjestelmänä, joka laskee E-lukua.

Hybridilämmitysjärjestelmän optimoinnin perustavoitteet jakautuvat seuraavasti:

1. Suorituskyky

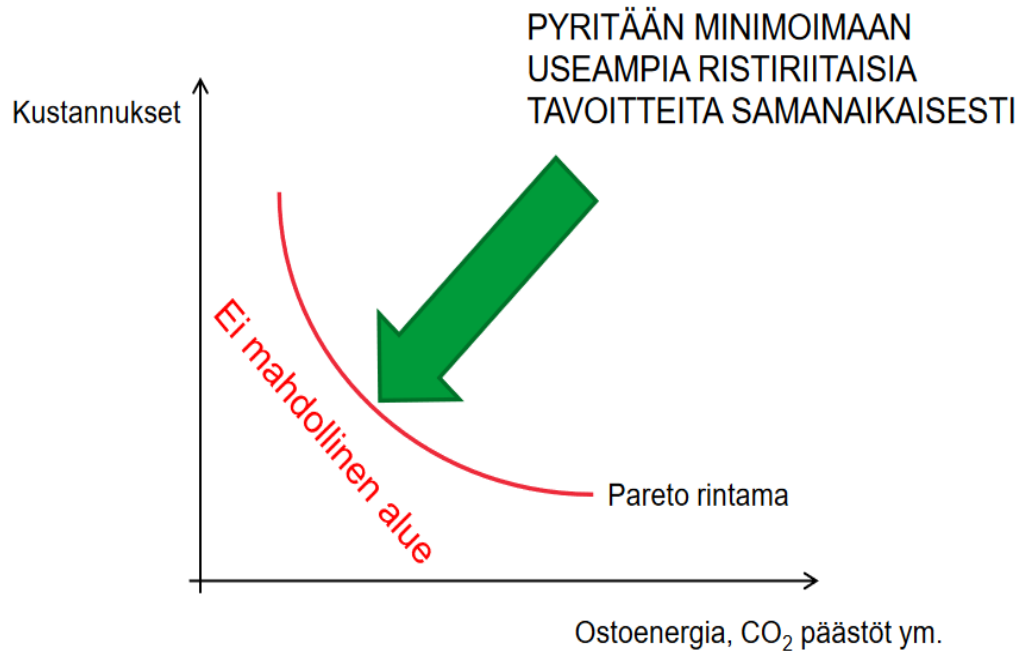
1. Tarvittava ostoenergia ja sen CO₂-päästöt
2. E-luku
3. Kokonaisenergia (ostoenergia + materiaalit)

2. Kustannukset

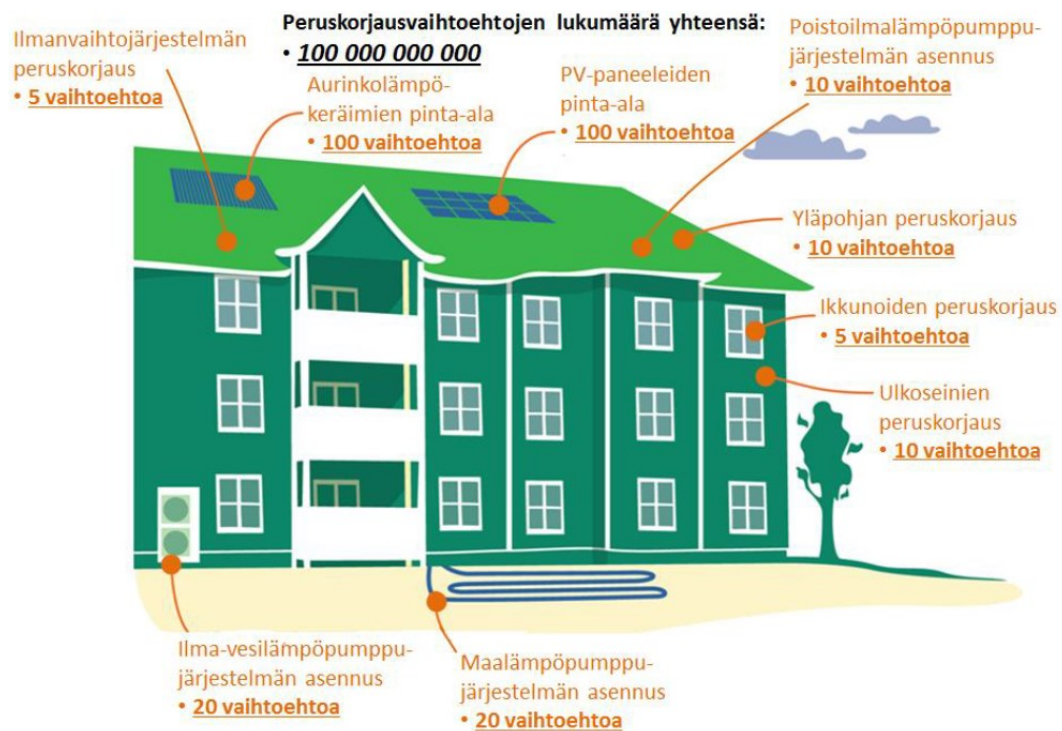
1. Investointikustannukset
2. Elinkaarikustannukset
3. Tuotetun energian hinta
4. Investoinnin takaisinmaksuaika

Rakennusten energiaoptimointiin liittyvät muuttujat ovat rakennuksen ja sen järjestelmien erilaisia ominaisuuksia kuten seinämien eristyspaksuudet tai eristeen laatu, U- arvot, ikkunoiden ominaisuudet, kuten pinta-ala ja määrä, lämmitysjärjestelmän tyyppi ja toteutustapa, erilaiset säätöparametrit jne. Näistä muuttujista pyritään seulomaan ne tavoitteet, jotka rajautuvat tarkastelun ulkopuolelle annettujen reunaehtojen mukaisesti (ks. kuva 8).

Kuva 8. Ostoenergian suhde kustannuksiin edellyttää optimoitavia muuttujia rakennuksessa. Ns. Pareto rintama kuvaa optimoitavien muuttujien jakautumista tasaisesti kokonaistilanteen kannalta heikentämättä minkään yksittäisen muuttujan asemaa.



Kuva 9. Optimoitavia muuttujia on rakennuksissa satoja. (Heikkilä, 2020).



2.3 Vaihtoehtoisia lämmitysmuotoja hybridienergiamallin toteuttamiseksi

2.3.1 Aurinkosähkö

Aurinkoenergialla voidaan tuottaa sekä lämpöä että sähköä. Suomessa saadaan aurinkoenergiaa vuoden aikana vaakatasossa laskettuna keskimäärin 1 000 kWh. Aurinkoenergian tuotto on kuitenkin kausittaista koska keskitalvella joului-tammikuussa aurinkoenergiaa ei juurikaan saada talteen (Mr. LVI Oy, n. d.)

Aurinkopaneelien hintojen yleisen laskun myötä laitteistojen hinnat ovat laskeneet ja aurinkoenergian hyödyntäminen on lisääntymässä. Aurinkoenergiaa voidaan hyödyntää rakennuksen lämmittämisessä sekä passiivisesti että aktiivisesti. Passiivinen hyödyntäminen liittyy ilman aurinkokeräimiä tehtävään auringonvalon optimointiin ts. rakennuksen sijoittelulla sekä ikkunoiden koolla ja rakenneteknisillä ratkaisuilla.

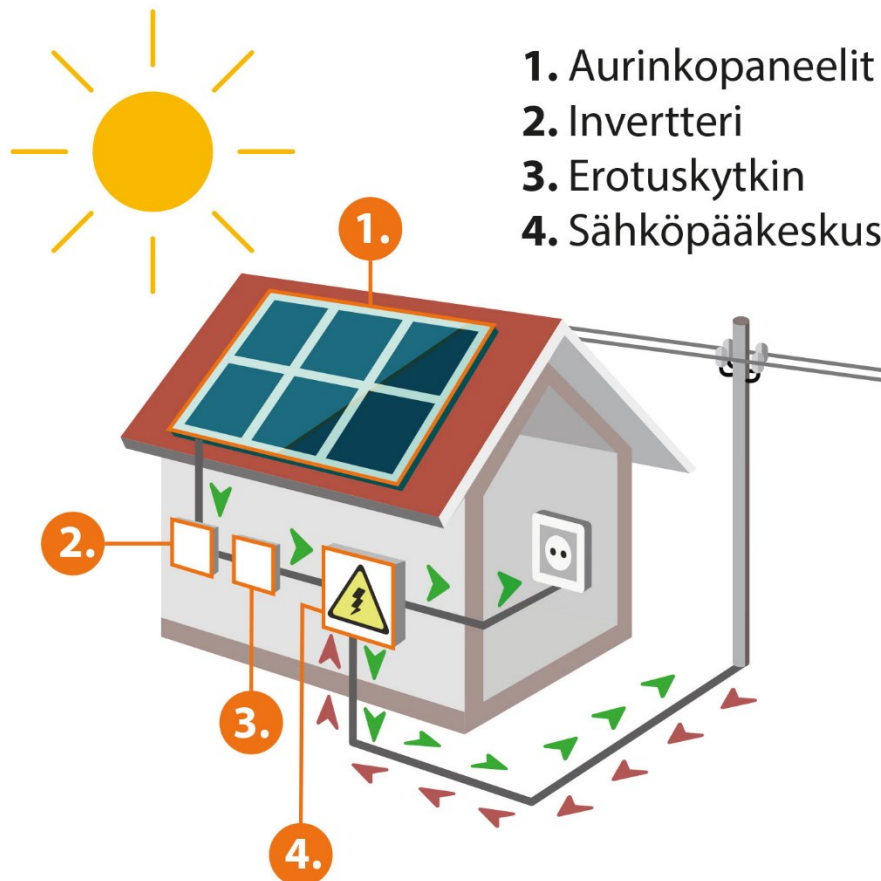
Aktiivisessa aurinkoenergian hyödyntämisessä auringonsäteily muunnetaan lämmöksi aurinkokeräimillä. Aurinkolämmitysjärjestelmä voidaan yhdistää kaikkiin rakennuksen päälämmitysmuotoihin. Erityisen hyvin se soveltuu sellaisen lämmitysjärjestelmän yhteyteen, jossa jo on vesivaraaja (esimerkiksi puu- tai hakelämmitys) mutta myös lämpöpumppujärjestelmiin. Kyse on puhtaimmillaan hybridilämmitysmuodosta.

Sähkölämmitteisessä talossa aurinkosähköllä voidaan lämmittää käyttövesi ja jos talon lämmönjako on vesikiertoinen, voidaan aurinkolämpöä käyttää myös huoneiden lämmittämiseen kytkemällä se lämminvesivaraajaan. Tämä ei yksistään riitä talvikuukausina käyttöveden lämmittämiseen vaan vaatii aina rinnalleen jonkun muun päälämmitysmuodon.

Aurinkoenergiasta tuotetaan sähköä aurinkopaneeleilla, joilla auringonsäteilyä voidaan muuttaa sähköksi noin 15–20 prosenttia. Parhailla tekniikoilla päästään jopa lähes 50 prosentin hyötysuhteeseen, mutta toistaiseksi halvemman tekniikan paneeleilla saavutetaan parempi kustannustehokkuus (Mr. LVI Oy, n. d.). Aurinkosähköä tuotetaan aurinkokennoilla, jotka muuntavat auringon säteilyä valosähköisen ilmiön avulla sähköenergiaksi. Nykyään yli 80 prosenttia aurinkokennoista on liitetty sähköverkkoon osaksi rakennuksen tariffimittarin

jälkeistä virransyöttöä (Savinainen, 2021) mutta niitä voidaan käyttää myös sähköverkosta irrallaan. Aurinkosähkö voidaan kytkeä jo olemassa olevaan sähköpääkeskukseen myyntisähköksi tai tariffimittarin jälkeen rakennuksen sähköverkkoon hyötysähkönä.

Kuva 10. Aurinkosähkön kytkemisen pääperiaate. (KSS energia, n. d).



Aurinkosähkön hyödyntäminen

Kuvassa 10 on esitetty aurinkovoimalan peruseriaate. Aurinkopaneelien tuottama tasavirtasähkö muutetaan inverttereillä 230 voltin vaihtovirraksi, jolloin sitä voidaan hyödyntää tavallisena kolmivaiheisena vaihtovirtana. Sähköä voidaan varastoida akkuihin tai muuttaa lämmöksi lämminvesivaraajan sähkövastuksella. Tätä varten on kehitetty erillisiä hybridilämminvesivaraajia. Jos aurinkoenergiaa tuotetaan yli oman tarpeen, voidaan ylijäämä sähkö syöttää valtakunnanverkkoon ns. myyntisähkönä.

Aurinkopaneelien hinnat ovat muutaman viime vuoden aikana halventuneet yli 50 %, joka on laskenut oleellisesti aurinkosähköjärjestelmien hintoja. Tämän johdosta sähköverkkoon kytketyt aurinkosähköjärjestelmät ovat yleistymässä osana muuta hybridilämmitysmuotoa. Paneelien elinkaari on noin 25–35 vuotta, valmistajat antavat tuottotakuun yleensä 25 vuodeksi. Invertterin oletettu elinkaari on noin 15 vuotta eli invertteri on vaihdettava kerran elinkaarella, osuus on noin 10 % koko investoinnista. (Oma Watti, n. d.)

2.3.2 Lämmön talteenotto

Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto (LTO-kone tai -laite) on kiinteistötekniikan järjestelmä, jolla siirretään poistoilman sisältämää lämpöenergiaa takaisin tuloilmaan.

Lämmöntalteenotto perustuu lämmönsiirtimen läpi virtaavien aineiden lämpötilaeroihin.

Kaikissa Ilmanvaihtokoneissa on lähes poikkeuksetta lämmön talteenotto- eli LTO-laite.

Lämmöntalteenottolaitteilla parannetaan rakennuksen energiatehokkuutta ja pienennetään ilmanvaihdon aiheuttamaa lämpöhäviötä.

LTO-laite kannattaa pitää toiminnassa koko lämmityskauden ajan. Lämmitykseen käytetystä energiasta poistuu noin 40 % poistoilman mukana, joten kyseessä on merkittävä osa energialaskua. Vrt. rakennuksen kokonaisenergiataseessa vaipan kautta häviää 20 % rakennusten käyttämästä lämmitysenergiasta. Loppu eli 40 % käytetään lämpimään käyttöveteen. (Rakennusteollisuus RT ry, 2016)

Laitetyypit jaetaan neste- ja ilmakiertoisiin järjestelmiin lämpöä siirtävän aineen mukaan.

Laitteistojärjestelmät ovat joko omakotitaloille sopivia yksittäistyyppisiä ilmanvaihtokoneita tai laajempia lauhdutintekniikkaan perustuvia ja erilliseen tilaan asennettuja

ilmanvaihtokoneistoja. Erityyppisten laitteistojen tyyppilliset lämpötilahyötysuhteet ovat (Seppänen, 2004, s. 36)

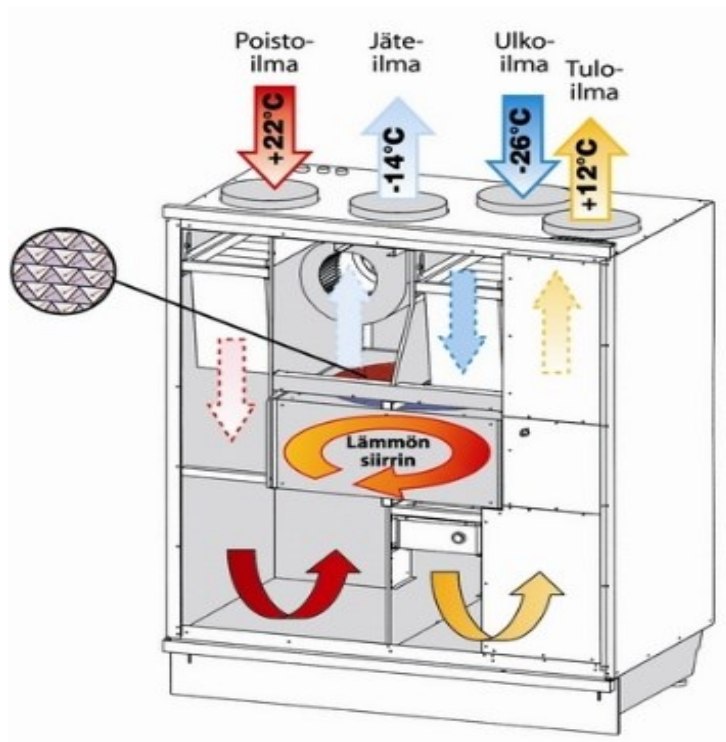
1. virtaavan väliaineen välityksellä lämpöä siirtävät lämmönsiirryhdistelmät eli nestekiertoiset; 40–60 %
2. ristivirtalevylämmönsiirtimet; 50–70 %
3. vastavirtalevylämmönsiirtimet; 60–80 %

4. regeneratiiviset lämmönsiirtimet; 60–80 %

Nestekiertoisissa järjestelmissä väliaineena on tyypillisesti vesi-glykoli-seos tai pelkkä vesi. Päiväkodin osalla lämmön talteenotossa on vesi.

Pienemmissä rakennuksissa tai volyymiltaan vähäiseen käyttöön suunnitelluissa ilmanvaihtokoneissa LTO-laitteena on levylämmönsiirrin. Siinä poisto- ja tuloilmavirrat kulkevat ristiin levyjen toisistaan erottamissa solissa, jolloin poistoilma lämmittää tuloilmaa koneen käydessä. Tämän tyyppinen LTO-laite tarvitsee vain vähäisesti huoltoa ja ylläpitoon liittyviä toimenpiteitä ks. kuva11. Tärkeintä on huolehtia, että laite on kytketty toimintaan ja ilmansuodattimet on vaihdettu. Laitteisto voidaan kytkeä pois toiminnasta kesän ajaksi, koska silloin sisälle halutaan tuoda viilentävää ulkoilmaa. Ilmastointikonehuoneet toimivat samalla periaatteella mutta isommassa mittakaavassa. Nämä ovat lähes poikkeuksetta automatiikalla ohjattuja ja rakennuksen käytön sekä lämmöntuottojärjestelmän kanssa ajastettuja kokonaisuuksia.

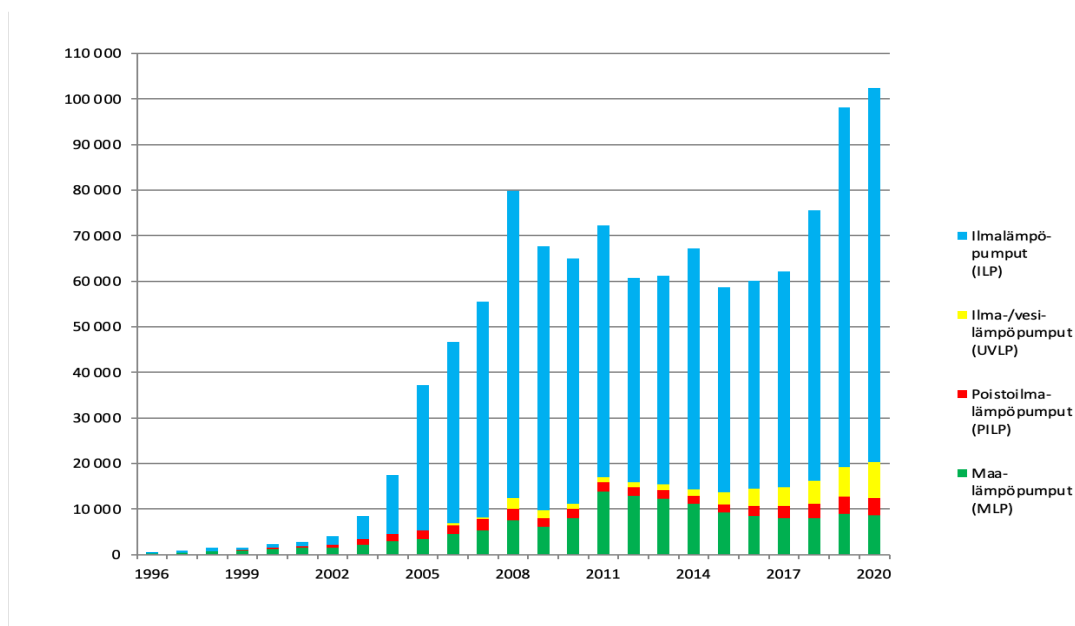
Kuva 11. Lämmöntalteenoton eli LTO:n perusidea. (Energiatehokas koti, 2020)



2.3.3 Maalämpö

Maalämpöpumppu (MLP) on lämpöpumppeihin kuuluva laite, joka kerää maaperään ja veteen varastoitunutta auringon lämpöenergiaa. Maalämpö luokitellaan tämän johdosta uusiutuvaksi energiaksi. Se kykenee siirtämään järjestelmänsä ansiosta lämpöenergiaa kylmemmästä tilasta lämpimämpään. Keruupiiriä kutsutaan yleisesti lämpökaivoksi tai pelkäksi keruupiiriksi. Lämpöä saadaan oleellisemmalta osalta maapallon ytimeistä kalliioon johtuvasta fissionenergiasta sekä lämpimistä pohjavesivirtauksista. Maalämpöpumpun tuottamasta lämmöstä noin 2/3 on maaperästä otettua uusiutuvaa energiaa ja noin 1/3 on tuotettu sähköllä (Scanoffice, 2021, n. d.). Maalämpöpumpun kompressori tarvitsee myös sähköä toimiakseen. Riippuen energiakaivojen lukumäärästä maalämpö voidaan mitoittaa siten että se ei tarvitse ulkopuolista lisäsähköä lämmittämiseen.

Kuva 12. Suomeen myydyt lämpöpumput, kumulatiivinen. (SULPU, 2021, s.1)



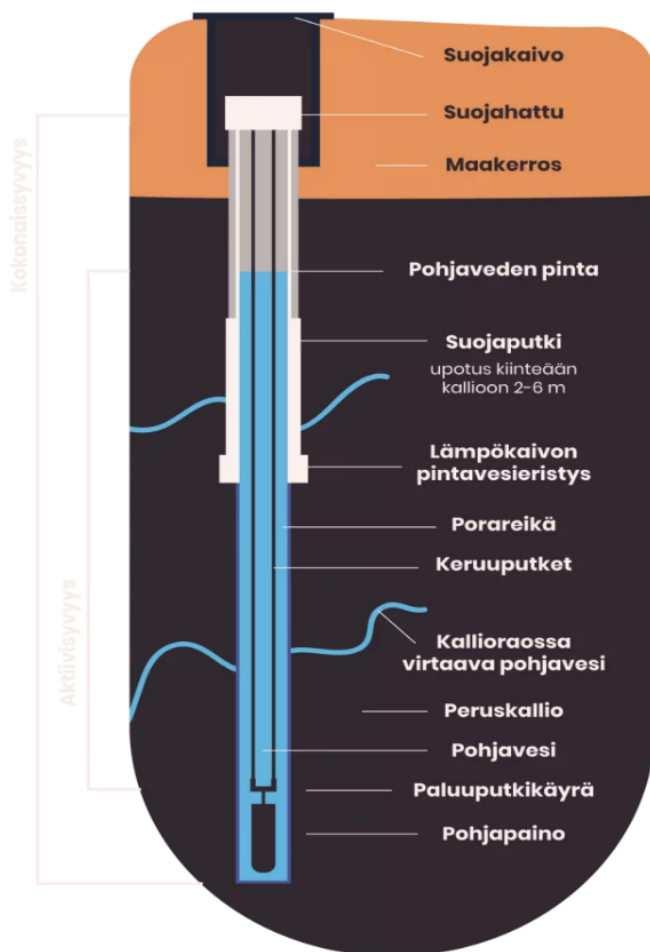
Kuvaa 12 tarkastellessa voidaan havaita, että lämpöpumput ovat kasvattaneet lämmitysjärjestelmistä suosiotaan eniten. Vuonna 2011 oli maalämmön huippuvuosi omakotitalojen ja kiinteistöjen osalla. Päälämmitysmuotoa tukevista lämmitysmuodoista eniten suosiotaan vuonna 2020 oli nostanut ilmalämpöpumput sekä ilma-vesilämpöpumput.

Maalämpökaivon toiminta lämmönlähteenä

Yli 60 prosenttia maalämpökohteista toteutetaan lämpökaivoilla. Maalämpöratkaisussa peruskallioon porataan 100–300 m syviä porakaivoja, joihin asennetaan muovinen lämmönkeruuputkisto. Lämpökaivon keruuputkistossa kiertää glykoli (10 % etanoli) joka lämpenee muutaman asteen matkansa aikana. Keruupiirin nesteestä saatava lämpö höyrystää lämpöpumpussa kiertävän kylmäaineen. Höyrystyneen kylmäaineen painetta nostetaan kompressorilla, jolloin myös sen lämpötila nousee. Kylmäaine lauhtuu lämpöpumpun lauhduttimessa jälleen nesteeksi, jolloin se luovuttaa lämpöä lämmönjakoverkkoon ja lämpimään käyttöveteen. (Poratek OY, Energiakaivot, n. d)

Maalämpöpumpun etuna on helppokäyttöisyys koska maalämpöpumppu vaatii vain vähän huolto- ja tarkistustoimia. Kuvassa 13 on esitelty lämpökaivon perusrakenne.

Kuva 13. Lämpökaivon rakenne (Poratek OY, Energiakaivot, n. d).



Maalämpöpumpun investointikustannukset ovat kohtuu suuret mutta käyttökustannukset ovat edulliset. Suuremmissa taloissa (joissa on suurempi energiantarve) investointikin on suurempi. Asentamiseen tarvitaan kunnan toimenpidelupa.

Maalämpöpumppu voidaan asentaa esimerkiksi rakennuksen kodinhoitohuoneeseen, mutta huoltotöiden kannalta erillinen tekninen tila on suositeltavampi. Vesikiertoinen lattialämmitys soveltuu hyvin maalämpöpumpun lämmönjakotavaksi sillä siinä lämmitysverkkoon menevän veden ei tarvitse olla niin lämmintä kuin patteriverkossa. Tämä parantaa lämpöpumpun hyötysuhdetta.

Nykyaikainen rakennustapa suosii lattialämmitystä, jossa vesikiertoinen lattialämmitysputkisto hoitaa lämmön jaon johtamalla lattiarakenteisiin ja siitä konvektiolla ilmaan. Lattialämmitystaloissa ja suuremmissa taloissa on yleensä parempi maalämmön vuosihyötysuhde kuin patterilämmitystaloissa. Tämä perustuu siihen, että menoveden ja tuloveden lämpötilaero on pieni ja tämä erotus voidaan tuottaa suoraan maalämmön avulla. Runsas käyttöveden suhteellinen energiaosuus eli käyttöveden kulutus heikentää valmistajien antamaa vuosilämpökerrointa, joka voidaan ymmärtää laitteiston hyötysuhteena.

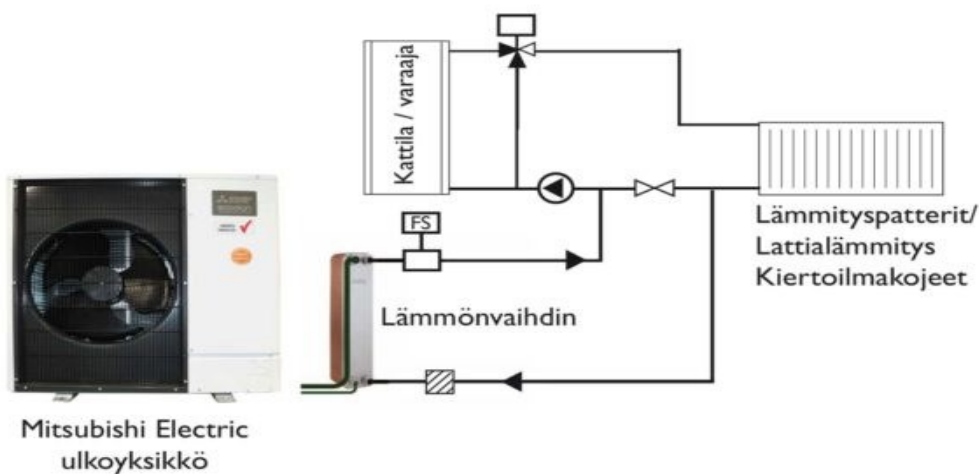
2.3.4 Ilma-vesilämpöpumppu

Ilma-vesilämpöpumppu (IVLP) on uusin lämpöpumpputekniikkaa hyödyntävä lämmitysratkaisu. Ilma-vesilämpöpumpulla voidaan hoitaa koko talon lämmitystarve. Se kattaa itsessään rakennuksen päälämmitysmuodon mutta tarvitsee rinnalleen täysitehoiseksi mitoitettun lisälämmitysmuodon. Tämä toteutetaan yleensä hybridikattilaan integroiduilla sähkövastuksilla.

Ilma-vesilämpöpumppu ottaa lämmitysenergiaa ulkoilmasta siirtäen tämän energian vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään. Järjestelmä sisältää myös käyttöveden lämmityksen noin +55 celsiusasteen tasolle saakka ja jonka ylimenevä osa on lämmitettävä yleensä sähkövastuksella. Tältä osin IVLP ei ole täysin itsenäinen energijärjestelmä. Ilma-vesilämpöpumppu toimii samalla periaatteella kuin kaikki muutkin lämpöpumput sisältäen

kaksi lämmönvaihdinta, höyrystimen ja lauhduttimen. Tätä periaatetta on selvitetty kuvassa 14 käyttäen esimerkkinä Mitsubishi Electricin mallia.

Kuva 14. (Scanoffice, n. d.). Ilma-vesilämpöpumpun ulkoyksikössä oleva kompressoripuristaa kaasuksi muuttuneen kylmäaineen korkeampaan paineeseen, joka kuumentaa kaasua entisestään. Kuuma kaasu lauhdutetaan sisäyksikössä takaisin nesteeksi, jolloin ulkoilmasta saatu valtava energiamäärä voidaan hyödyntää talon vesikiertoisen lämmönjakoverkon ja käyttöveden lämmittämisessä.



Ilma-vesilämpöpumpun teho laskee pakkasella, joten se tarvitsee rinnalleen varalämmitysjärjestelmän. Yleensä varalämmitysjärjestelmänä käytetään ilma-vesilämpöpumpun omia sähkövastuksia, joilla lämmitystarve katetaan kovimpien pakkasten aikana. Varalämmitysjärjestelmänä voi periaatteessa olla mikä tahansa hybridienergialämmitysjärjestelmä, jolla voidaan jatkaa ilma-vesilämpöpumpun tehontuottoa.

Ilma- vesilämpöpumpun hyödyt suhteessa maalämpöpumpuun

IVLP on usein hyvä ratkaisu silloin kun tontille ei voida tehdä maalämmön vaatimaa lämpökaivoa. Pieni lämmönkulutus suosii ilma-vesilämpöpumppua maalämpöön nähden IVLP: n edullisemmän investoinnin ansiosta. IVLP antaa kuitenkin maalämpöä vähemmän

ilmaisenergiaa vuositasolla. Etelä-Suomen lauhemmat sääolosuhteet ovat ilma-vesilämpöpumpun energiatehokkuuden kannalta suotuisampia kuin pohjoisemman Suomen kylmemmät olosuhteet. Mitä pohjoisempaan Suomeen mennään, sitä enemmän olosuhteet suosivat maalämpöä ilma-vesilämpöpumppuun nähden.

Ilma-vesilämpöpumpun etuna verrattuna maalämpöpumppuun on sen halvempi hankintahinta johtuen maalämpöpumpun tarvitsemasta keruupiiristä, joka nostaa maalämpöpumpun hankintahintaa. IVLP voidaan myös asentaa sellaisiin kohteisiin joihin maalämpöpumpun asennus ei maaperän laadusta johtuen ole mahdollista, esim. alueella, jossa kulkee kaasuputkia tai muuta sellaista infrastruktuuria, joka estää maalämpöputkien poraamista.

IVLP voidaan asentaa teknisesti helpolla tavalla olemassa olevaan rakennukseen koska se voidaan asentaa vanhan lämmitysjärjestelmän tilalle tai sen rinnalle. Keruupiirin puuttumisen vuoksi kyseinen järjestelmä mahtuu yleensä jo olemassa olevaan tekniseen tilaan eikä vaadi erillistä rakennusta. IVLP voidaan kytkeä hybridikäyttöön esimerkiksi olemassa olevan öljylämmityksen tueksi, jolloin öljykattila lämmittää talon kylmimmillä keleillä ja tarvittaessa tukee IVLP: a.

2.3.5 Kaukolämpö

Kaukolämpö on yleisin lämmitysmuoto Suomessa. Kaukolämmön osuus vuonna 2021 asuin- ja palvelurakennusten lämmityksestä on noin 46 prosenttia ja Suomessa asuu jo lähes kolme miljoonaa asukasta kaukolämmitteisessä asunnossa (Rane, 2021). Suomen kerrostaloista kaukolämmön parissa on noin 90 %. Tampereella ja lähikunnissa jopa 250 000 ihmisen kodit lämpenevät tamperelaisella kaukolämmöllä. (Ekokumppanit Oy, 2021)

Kaukolämpöä tuotetaan lämpökeskuksissa ja voimalaitoksissa, jotka yleensä ovat kombivoimalaitoksia eli laitoksia, joissa tuotetaan samanaikaisesti sähköä sekä kaukolämpöä. Kaukolämpö siirretään maanalaisia eristettyjä kaukolämpöputkia pitkin kaukolämpöasiakkaille.

Kaukolämpöveden sitoutunut energia siirtyy asiakkaan lämmitysveteen lämmönvaihtimissa, jolloin kaukolämpövesi jäähtyy. Tämän jälkeen jäähtynyt vesi palaa kaukolämpöveden tuotantolaitokseen lämmitäkseen uudelleen. Tämä on laskutuksen perusta.

Kaukolämmön polttoaineena käytetään pääasiassa maakaasua, kivihiiltä, turvetta ja puuta. Puusta tuli kaukolämmön merkittävin polttoaine vuonna 2013. Suurin osa puupolttoaineesta on metsähaketta. (Motiva, 2018)

Kaukolämpöä markkinoidaan puhtaana lämmitysmuotona mutta kuluttajille tulee usein väärä mielikuva kaukolämmön vähäpäästöisyydestä sen toimitustavasta johtuen.

Kaukolämmön ympäristövaikutukset riippuvat paljolti siitä mitä polttoainetta voimalaitoksessa käytetään ja minkälainen voimalaitostyyppi on kyseessä.

Kombivoimalaitoksia, joissa tuotetaan sähköä ja lämpöä toimivat korkealla hyötysuhteella.

Mikäli kaukolämpölaitoksen polttoaineena käytetään uusiutuvaa energiaa (puu, hake, pelletti, biokaasu) laskennalliset ympäristövaikutukset vähenevät edelleen eli saavutetaan ns. vihreää kaukolämpöä.

Kuvassa 15 on esitetty kaukolämmön tuottamiseen tarvittavien energialähteiden muutos vuosina 2009–2019. Uusiutuvien energialähteiden osuus on yli kaksinkertaistunut 10 vuodessa.

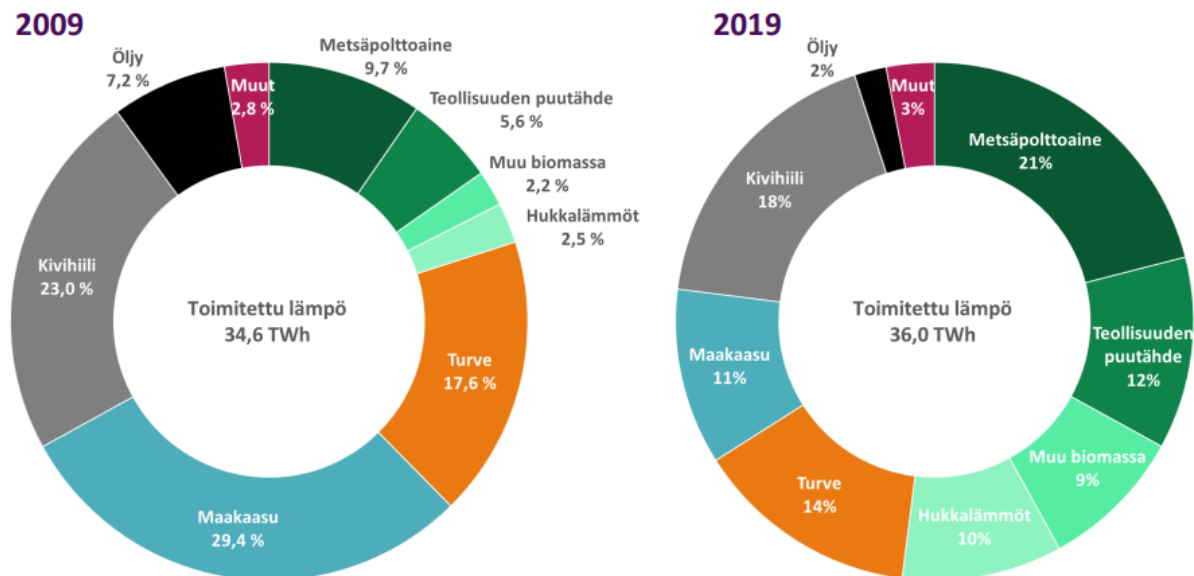
Kaukolämpöön liittyminen edellyttää kohtuullisen lähellä sijaitsevaa kaukolämpöverkkoa.

Etuna kaukolämmössä on se, että lämmityksen kustannukset muodostuvat liittymiskustannuksen jälkeen ainoastaan käyttökustannuksista. Kiinteistön kaukolämmön käyttökustannukset muodostuvat kaukolämmön perus- ja energiamaksusta. Haasteena tulevaisuudessa on kaukolämmön energian ja tuotantokustannusten nousu.

Kaukolämmön hinta vaihtelee eri energiayhtiöiden ja tuotantotapojen mukaan minkä johdosta hinnoissa on paikkakuntaakohtaisia eroja. Kaukolämmön hinta muodostuu kolmesta eri osasta: liittymismaksusta, perusmaksusta ja energiamaksusta. Liittymismaksu maksetaan vain kerran, kun rakennus liitetään osaksi kaukolämpöverkkoa. Perusmaksun hinta riippuu liittymän koosta ja energiamaksun hinta käytetystä energiasta. Samaan aikaan kun

kaukolämpöyhtiöt ovat lisänneet uusiutuvien energialähteiden määrää, on kaukolämmön keskihinta noussut tasaisesti vuosien 2011–2020 aikana (Tilastokeskus, 2021b).

Kuva 15. Kaukolämmön energialähteet 2009 ja 2019. (Energiateollisuus ry, 2020, s. 14)



2.3.6 Lähilämpö

Lähilämpönä on lauhdutustekniikkaa hyödyntävä pellettikattila (ks. Kuva16).

Lauhdutustekniikka saa aikaan myös savukaasujen puhdistuksen - päästöt ovat siten huomattavasti vaadittuja rajoja pienemmät. Pellettikattilat, joissa on lauhdutustekniikka, vähentävät pölypäästöjä 40–50 % verrattuna tavanomaisiin kattiloihin, joissa ei ole lauhdutustekniikkaa. Nykyaikaiset pellettikattilat eivät näin ollen ole päästöjen suhteen mitenkään verrattavissa vanhoihin puukattiloihin. Lauhdutuskattila (ks. kuva16) auttaa paitsi vähentämään energiakustannuksia myös suojelemaan ilmastoa. (P. Suhonen, henkilökohtainen tiedonanto, 13.9.2021, Leppäkosken Lämpö Oy).

Kuva 16. Esite Leppäkosken tarjoamasta lähilämmöstä. Lauhdutustekniikan ansiosta pellettikattilan hyötysuhde on jopa 107 %. Kokonaishyötysuhde lämmönvaihtimelle asti putkistohäviöt huomioiden on luokkaa 95–97 % (Suhonen,2021).

Leppäkosken Lähilämpö-ratkaisu

- Valmistettu Suomessa
- Polttoaineena kotimainen puupelletti
 - uusiutuvaa energiaa
 - luokitellaan hiilidioksidineutraaliksi.
- Asiakkaalle huoltovapaa
 - Leppäkoski hoitaa ja huoltaa
- Hyvä tehonsäätö
 - mahdollistaa korkeammat lämpötilat esimerkiksi vanhoille pattereille.
- Voidaan täydentää muilla lämmitysratkaisuilla, (hybridi)
- Ei vaadi vanhan laitteiston purkua
- Vähäiset maansiirtotyöt vrt. esim. maalämpö
- Vähäinen sähkötehon tarve (3x25A)



- Erittäin korkea hyötysuhde, puhdas palaminen
- Teholuokka 50-250 kW
- Liittymismaksu hankekohtainen
- Energia- ja perusmaksu aluekohtaisen kaukolämpöhinnaston mukaisesti
- Lähilämpökontti on siirrettävissä
- Voi tilata Rautaruukin värisävyissä



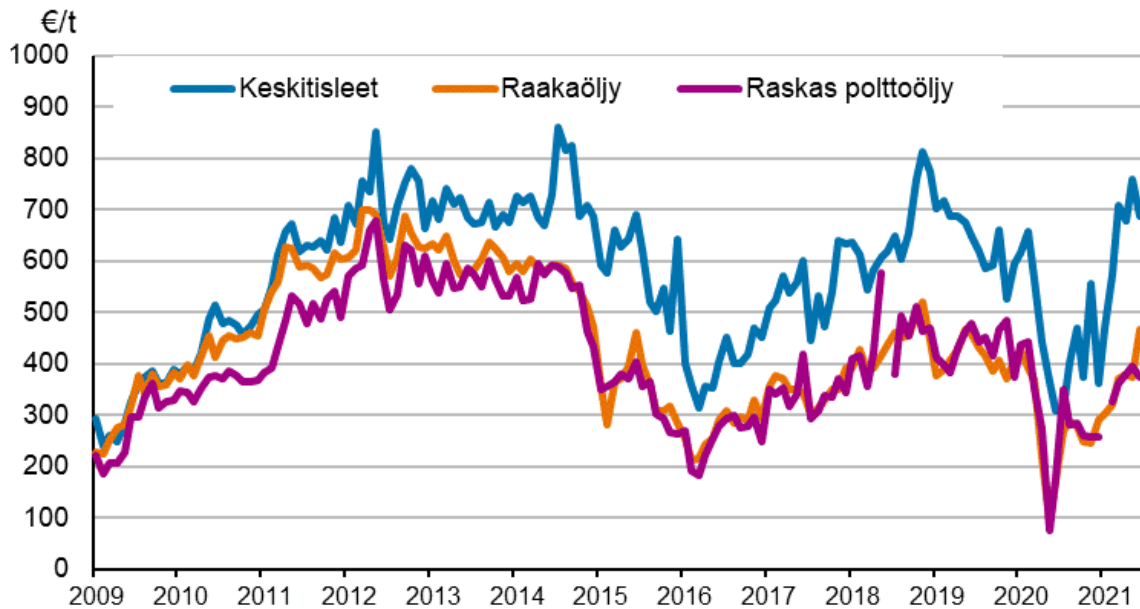
2.3.7 Öljylämmitys

Öljienergialla tuotettu vesikiertoinen keskuslämmitys on ollut perinteisin maassamme käytetty kokonaislämmitysjärjestelmä ja öljyllä lämmitettäviä rakennuksia on maassamme yhä noin ¼ koko rakennuskannasta. (Tilastokeskus, 2020b)

Nykykaikaisten öljylämmityskattiloiden hyötysuhde on erittäin hyvä, noin 90–95 prosenttia, ja palaminen on hyvin puhdasta. Tästä näkökulmasta öljylämmitys on hyötysuhteeltaan yksi parhaimmista lämmitysmuodoista mutta sen suosiota laskee öljyn maailmanmarkkinahinnan voimakas vaihtelu. Kuvassa 17 on esitetty öljyn tuontihintojen vaihtelu vuosien 2009–2021 välillä, tämän perusteella öljyn hinta ei ole kovin vakaata. Energiamuotona se luokitellaan uusiutumattomaksi ja kasvihuonepäästöä tuottavaksi luonnonvaraksi. Suomessa öljykattilan tuottamasta energiasta kuluu lämmitykseen noin ¾ ja lämpimän käyttöveden tuotantoon noin ¼. (Lämmitysenergia ry, n. d.)

Öljyn suosio perustuu sen korkeaan energiasisältöön sekä helppoon varastoitavuuteen ja käsittelyyn. 1 000 litraa kevyttä polttoöljyä vastaa energia-arvoltaan 10 000 kWh sähköä, 2 150 kiloa puupellettejä tai 5,8 kuutiota koivuhalkoja. (Lämmitysenergia ry, n. d.)

Kuva 17. Öljyn tuontihinnat. (Tulli, 2021, Liitekuvio 1)



Öljylämmitysjärjestelmä koostuu öljykattilasta, öljypolttimesta, säätölaitteista, öljysäiliöstä sekä erillisestä keskusvesivaraajasta, josta järjestelmä tuottaa sekä huonetilojen että lämpimän käyttöveden tarvitseman energian. On olemassa myös malleja, joissa lämmin käyttövesi otetaan suoraan kattilasta mutta nämä järjestelmät sopivat pienille alle 200 m² kiinteistöille. Varaajalle tuotettu lämpö jaetaan kiinteistöön toisiopiirillä eli vesikiertoisella lämmönjakojärjestelmällä. Tämä käsittää lämpöputket, kiertovesipumpun sekä itse vesikiertoiset patteriradiaattorit tai vaihtoehtoisesti vesikiertoiset lattialämmitysputket.

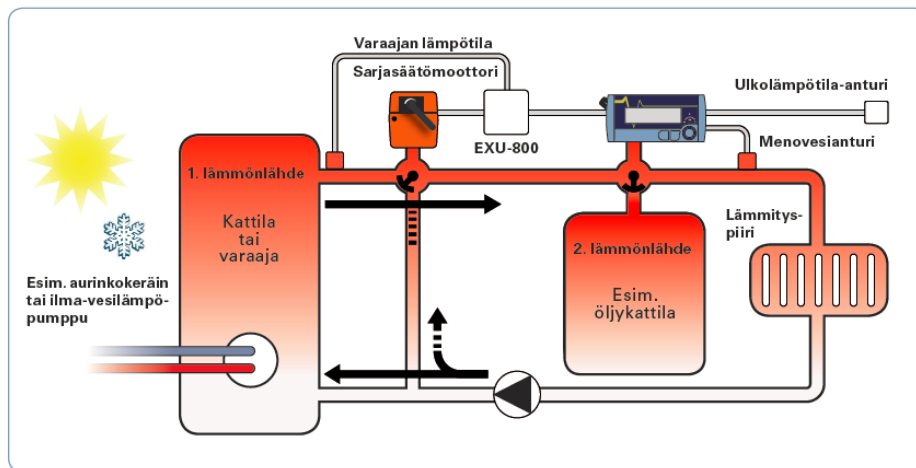
Öljylämmityksen rinnalle voidaan yhdistää mikä tahansa muu energiantuottojärjestelmä, joten öljylämmitys soveltuu hyvin osaksi lämmöntuoton hybridienergiajärjestelmää.

Öljykattilat ovat usein kaksoispesäkattiloita, jolloin öljyn rinnalla voidaan käyttää tarvittaessa puuta. Öljylämmityskattilassa on mahdollisten häiriöiden varalta myös sähkövastukset, joita

voidaan käyttää lisäenergian tuottamiseen. Kuvassa 18 on esitetty hybridilämmitysmuotoon kytketty öljyjärjestelmän periaatekaavio sekä säätölaitteet.

Öljylämmityksen parhaimpia puolia on se, että koko energiantuotto toisiopiiriin, lämpimälle käyttövedelle sekä tuloilman esilämmitykselle voidaan toteuttaa öljyenergialla. Ainoa muuttuja on kattilatehon mitoitus. Maalämmön, aurinkoenergian tai ilma-vesilämpöpumpun osalla joudutaan lisäenergian osalla turvautumaan sähköllä tuotettuun energiaan. Näiden osuudet on otettu huomioon opinnäytetyön mitoituksissa.

Kuva 18. Öljyjärjestelmän periaatekaavio. (Öljylämmittäjän palveluopas (pdf), 2010, s.14)



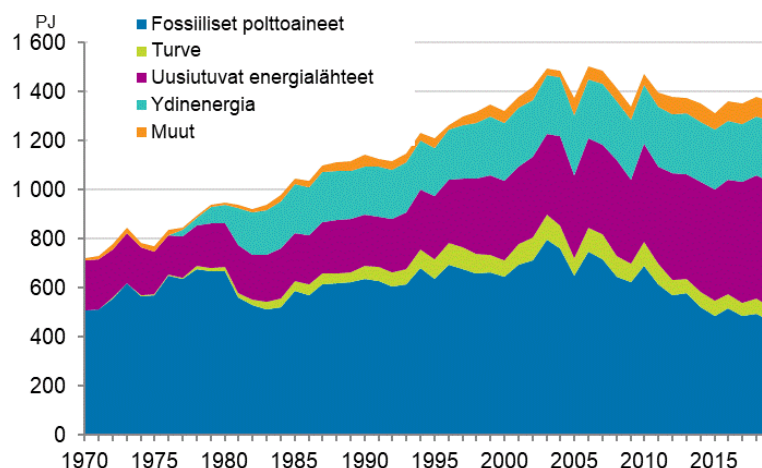
2.4 Fossiiliset energianlähteet

Fossiilisilla energianlähteillä ymmärretään biomassasta fossiilistuneita hiiltä sisältäviä materiaaleja joihin energia on sitoutunut kemiallisena energiana ja joiden polttaminen vapauttaa tätä energiaa sekä tuottaa palamistuotteena hiilidioksidia ks. Kuva 20. Fossiilisten polttoaineiden ja turpeen käytön hiilidioksidipäästöt 1990–2021. (Tilastokeskus, 2021 c, Energian hankinta ja kulutus). Fossiilisille polttoaineille on ominaista niiden korkea lämpöarvo sekä uusiutumattomuus. Fossiiliseksi polttoaineiksi luokitellaan kivihiihi, ruskohiili, maakaasu ja raakaöljy. Myös turve kuuluu fossiilisiin polttoaineisiin vaikkakin se on uusiutuvaa noin 10 000 vuoden jaksolla. Kuvassa 19 on esitetty fossiilisten ja uusiutuvien polttoaineiden osuudet 1970 luvulta 2019 luvulle. Vuoden 2003 jälkeen fossiilisten energianlähteiden käyttö on jatkanut vähenemistä.

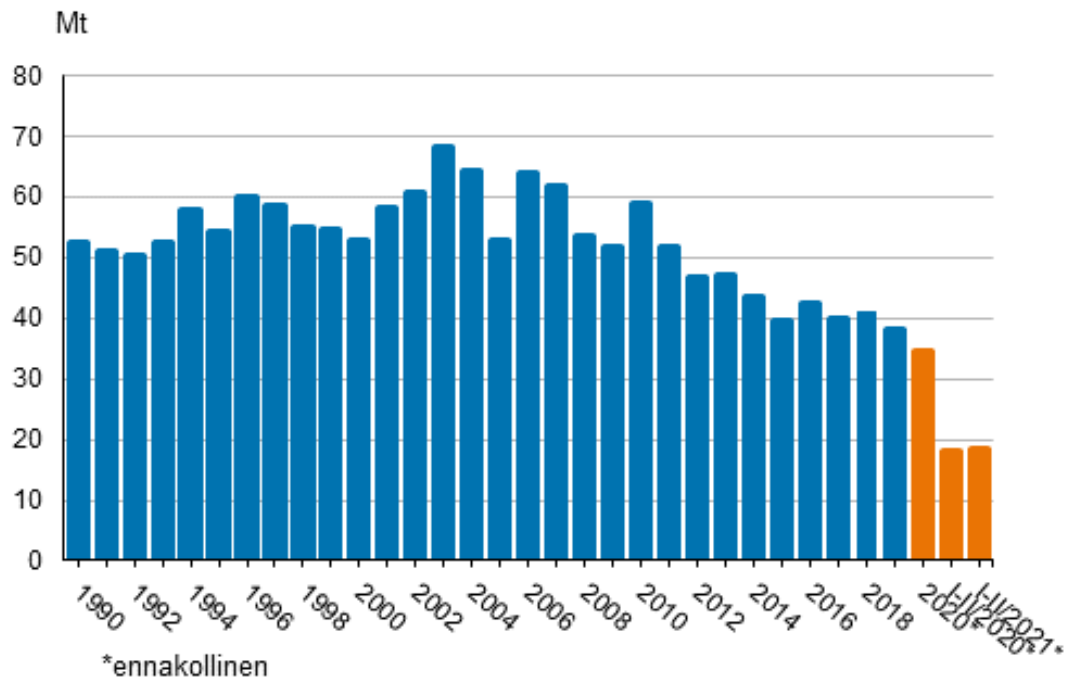
Fossiilivapaita energianlähteitä ovat kaikki ne energianlähteet, joiden tuottama energia ei kuluta hiilivetyjä tai uusiutumattomia energiavaroja ja sen tuotannossa ei synny ilmakehään haitallisia kasvihuonekaasuja kuten hiilidioksidia. Puhtaasti fossiilivapaita energianlähteitä ovat mm. aurinkovoima, tuulivoima, vesivoima ja ydinvoima, tosin ydinvoiman tarvitsema uraani on uusiutumaton luonnonvaraa. Vaikka näiden energiamuotojen tavoitteena on tarjota asiakkailleen fossiilivapaata energiaa on energiantuotannossa huomioitava sekundaariset päästöt, jotka aiheutuvat mm. polttoaineiden louhinnasta ja eri voimalaitostyyppien rakentamisen aiheuttamista päästöistä sekä luontoa kuormittavista materiaalikustannuksista. Kuvassa 20 on esitetty fossiilisten polttoaineiden ja turpeen käytön hiilidioksidipäästöjä vuosilta 1990–2021.

Sähkö itsessään on helpoin energiansiirtoratkaisu mutta sähköä ei voi korvamerkitä. Koska sähköä jaetaan valtakunnan verkossa, on sähkösopimuksella ratkaiseva merkitys esim. vihreän ostosähkön kannalta. Sama periaate on tulossa käyttöön kaikkien uusiutuvien energiamuotojen osalla osana päästökaupan kompensatiota ja energiantuottajan takaamana tuotantotapana, kun laki (Laki energian alkuperätakuista 1050/2021) energian alkuperätakuusta astuu voimaan. Siinä energiantuottamiseen käytetyt resurssit liitetään osaksi sertifioitua ja todennettua alkuperätakuujärjestelmää. Lisäämällä vihreän sähkön tuotantoa ja vähentämällä fossiilisten polttoaineiden käyttöä voidaan vähentää fossiilisten polttoaineiden ympäristölle haitallisia vaikutuksia.

Kuva 19. Fossiiliset ja uusiutuvat energianlähteet 1970–2019 (Tilastokeskus, 2020 c, Liitekuvio 9)



Kuva 20. Fossiilisten polttoaineiden ja turpeen käytön hiilidioksidipäästöt 1990–2021. (Tilastokeskus, 2021 c, Energian hankinta ja kulutus).



2.5 Lämmitysjärjestelmien investointien tarkastelu palvelussopimus pohjaisella mallilla

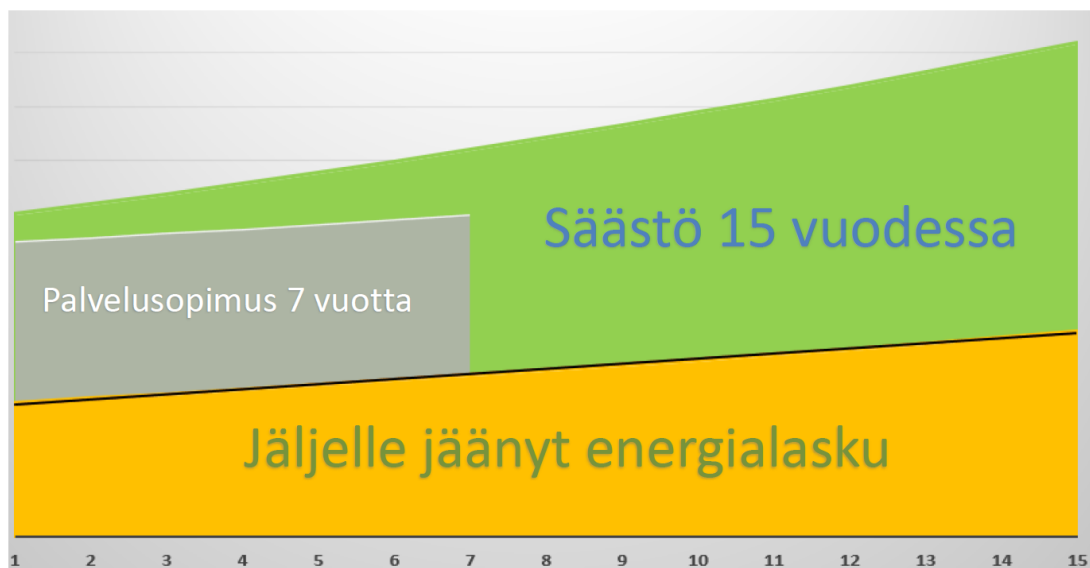
Palvelussopimus on eräänlainen ”leasing” malli, jossa palveluntarjoaja omistaa laitteiston ja huolehtii sen asennuksesta ja huollosta sovitun sopimuskauden ajan. Palvelussopimuksen päätyttyä investointi on kuoletettu ja asiakkaalla on mahdollisuus lunastaa järjestelmä itselleen, ks. kuva 21.

97 % kunnista käyttää palvelussopimus pohjaista hinnoittelua ja 3 % suoraa sijoitusta (Lämpöykkönen Oy, 2021). Palvelussopimuksen etuina on se että se ei vaadi alkuinvestointia ja sopimustuottaja vastaa järjestelmän toiminnasta sekä siitä että laitteistolla saavutetaan haluttu säästötavoite.

Palvelussopimus on ns. kokonaispaketti, jota käytetään julkisella sektorilla yleisimmin yli 40 000 euron investoinneissa jakamaan investoinnin kokonaiskustannus tietylle sopimuskaudelle. Tästä on se hyöty, että asennettu lämmöntuottojärjestelmä saadaan tuottamaan heti asennuksesta lähtien eli energiansäästöä saatu kate on positiivinen. Käytännössä laitteen ostaja pystyy kattamaan investoinnin lämmityksestä syntyvillä säästöillä. Palvelussopimuksessa investoinnin suorat takaisinmaksuajat ovat luonnollisesti hieman pidempiä verrattuna suoraan investointiin mutta sopimusohjat sisältävät merkittäviä etuja mm. käyttökoulutusta ja HelpDesk 24/7-puhelintuen loppukäyttäjille, digitaalisen etävalvonnan ja täystakuun huoltoineen koko sopimuskauden ajan.

Kuva 21. Palvelussopimuksen teoreettinen kustannusjakauma ja tavoite (Lämpöykkönen Oy, 2021)

PALVELUSOPIMUKSEN TAVOITE



2.6 E-luku ja energiatodistus

Energiatodistus on laskennallinen työkalu, jota käytetään rakennusten energiatehokkuuden vertailuun myynti – ja vuokraustilanteissa.

Energiatodistus perustuu energiatehokkuuden vertailulukuun eli E-lukuun. E-luvun yksikkö on [kWh / m² x vuosi]. Energiatehokkuusluku ilmaisee ostoenergian suhteen lämmitettyä nettoalaa kohden. Sen lisäksi se sisältää aina käytännön ehdotuksia rakennuksen energiatehokkuuden parantamiseen. Se on käytössä myös muualla Euroopassa ja sen yksi tarkoitus on mahdollistaa Euroopan laajuinen rakennusten energiatehokkuuden vertailu. Vuodesta 2008 lähtien käyttöön otettu energiatodistus on lain mukaan (Laki rakennuksen energiatodistuksesta 18.1.2013/50) pakollinen aina asuntokauppoja tehtäessä tai niitä vuokrattaessa. Myös uudiskohteille sekä korjaus- ja muutostöiden yhteydessä vaaditaan E-todistus, tästä on kuitenkin poikkeuksia tietyin ehdoin. Laki rakennuksen energiatodistuksesta tuli voimaan 1.6.2013. (Ympäristöministeriön energiatodistusopas, 2018, s. 7)

E-lukuun vaikuttaa suuresti ostoenergian muoto, jossa eri energiamuodoille on määritelty eri painokertoimet. Sähkön ja kaukolämmön osalta energiamuodon kerroin on tehokkain, öljyn sekä muiden fossiilisten polttoaineiden heikoin. Näin ollen identtisten rakennusten E-luku voi olla eri johtuen erilaisesta ostoenergian muodosta.

E-luvun arvo annetaan välillä A – G jossa A vastaa tehokkainta energialuokkaa ja G vähiten tehokkainta luokkaa. Käytännössä uudisrakentamiselta vaadittava taso on B joka vastaa matalaenergiataloa. Passiivitaloissa voidaan päästä parhaaseen A luokkaan. Suurin osa olemassa olevasta rakennuskannasta sijoittuu C – F luokkiin. Energiatodistuksessa tulee aina olla esitettyinä ne toimenpiteet tai lisäeristysvaatimukset, joilla energialuokitusta voidaan parantaa. Tämä on esim. valtion takaamien energia-avustusten yhtenä ehtona. (ELY keskus, rahoitus ja avustukset)

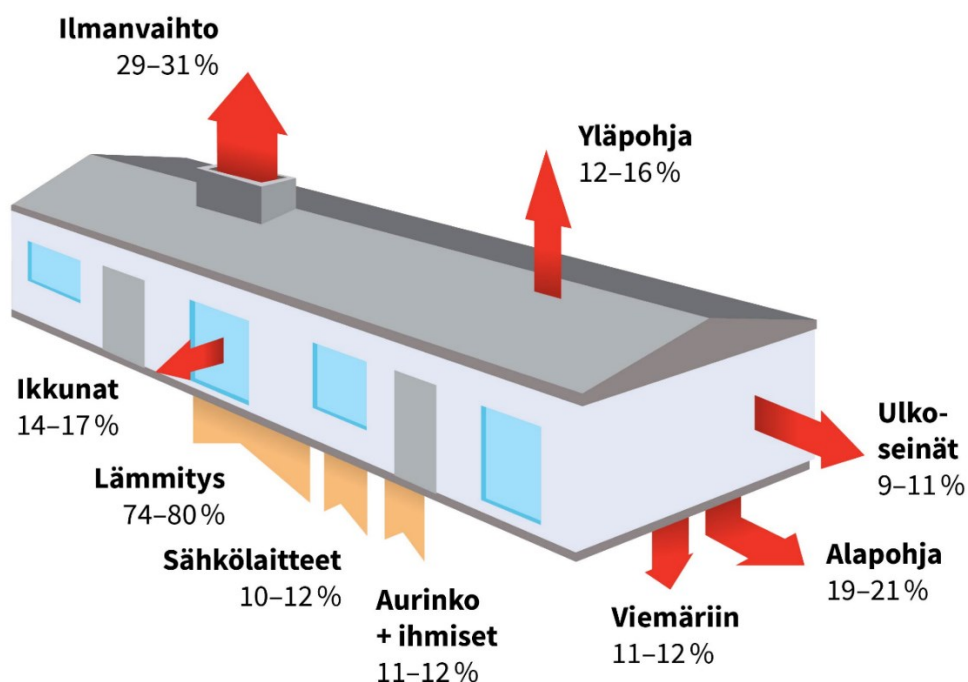
2.7 Lämpökamerakuvaus

Lämpökameratutkimuksella saadaan tietoa rakennuksen ulkovaipasta sekä LVI tekniikasta ja yleisesti rakennuksen rakennusfysikaalisista oloista. Rakennuksen vaipan eristävyys on oleellinen osa rakennuksen energiatehokkuutta sekä määrittelee ostoenergian tarvetta.

Lämpökameratutkimus voidaan tehdä RT 14-11239 kortin (Rakennustieto, 2019) mukaisena itsenäisenä tutkimuksena tai kuvausta voidaan käyttää muun tutkimuksen apuna osana rakenneteknistä konsultointia. Opinnäytetyön osalla lämpökameratutkimus noudattaa jälkimmäistä tapaa.

Perusideana lämpökameratutkimuksessa on tutkia mahdolliset poikkeukselliset lämpövuodot, jotka jaetaan eristevioiksi tai kylmäsilloiksi. Nämä toimivat korjaussuunnittelun pohjatietona. Kuvassa 22 on esitetty rakennuksen energiahäviöiden jakautuminen prosentuaalisesti.

Kuva 22. Energiahäviöiden jakautuminen. (Taloyhtiön energiakirja, Jari Virta, Petri Pylsy, 2011, sivu 43)



Lämpökuvauksen tulkinnasta ja termistöstä

1. Lämpövuodoksi kutsutaan sellaista rakenteessa olevia kohtia, joissa lämmönjohtuminen on selvästi suurempaa ympäröivään rakenteeseen verrattuna. Lämpövuotoja aiheutuu ns. kylmäsilloista, kuten kantavista rakenteista tai eristepuutteista. Lämpövuodot luokitellaan joko eristevioiksi tai kylmäsilloiksi.
2. Ilmavuodoksi kutsutaan sellaista rakennusosan kohtaa, jossa ilmanpaine-eron vaikutuksesta on havaittavissa selvästi muusta ympäristöstä poikkeavia lämpötiloja. Tämän aiheuttaa rakenteen läpi kulkeutuvat konvektiovirtaukset.
3. Talotekniikan varusteiden ja laitteiden kuvauksella voidaan tehdä joitakin johtopäätöksiä varusteiden ja laitteiden toiminnasta ja kunnosta. Talotekniikalla ymmärretään tässä tapauksessa lämmönjakoon ja LVI tekniikkaan liittyvät kuvaukset.

3 AINEISTO JA MENETELMÄT

3.1 Case-tarkastelun esittely

Opinnäytetyössä tarkasteltavan case-tapauksen tavoitteena on etsiä päiväkotirakennuksesta energiansäästökohteita sekä optimoida vaihtoehtoisista energiamuodoista mahdollisimman kustannustehokas kokonaisratkaisu. Työssä verrataan eri lämmitysjärjestelmien saavuttamaa säästöä sekä investointikustannuksia. Lisäksi selvitetään minkälaisilla mitoitusperiaatteilla eri lämmitysjärjestelmät tulisi mitoittaa, jotta niihin investointi on kannattavinta.

Pääpaino on ostoenergian käytön kustannustehokkuudessa. Tähän pyritään antamaan ratkaisumalli hybridienergiamallia käyttäen eli löytämään paras mahdollinen öljyä korvaava tai öljyä tukeva energiainvestointi. Tarkempia investointihintoja sekä ostoenergian tarjouksia on saatu paikallisilta tuottajilta ja myös heidän tekemiä laskelmia tarkastellen.

Päiväkotien suunnittelussa niin rakennukselle kuin tontille asetettavista tavoitteista ohjeistetaan yleisesti mm. 2019 käyttöön otetussa kortissa RT 103083 (Rakennustieto, 2019) Toiminnalliset lähtökohdat pohjautuvat Sosiaali- ja terveysministeriön ohjeisiin päivähoidon järjestämisestä sekä nykyisin kunnissa vallalla olevan käytännön mukaisiin suosituksiin perusmitoituksista. Päiväkoti Kakkospesän tilantarve on määritelty erikseen hankekohtaisessa tilaohjelmassa ennen rakennusvuotta 1986 joten suunnittelu, mitoitus ja arkkitehtuuri noudattavat näiltä osin paikallisen arkkitehdin sekä kaupungin yhdessä sopimia tavoitteita.

Keskeiset nykyisten päiväkotien toimintaa ohjaavat lait ja määräykset ovat koottu ohjekorttiin. (RT 103083):

- varhaiskasvatuslaki 540/2018
- asetus varhaiskasvatuksesta 753/2018
- asetus varhaiskasvatuksen yksityisen palveluntuottajan ilmoitusmenettelystä 772/2018

- esiopetuksen osalta perusopetuslaki 628/1998
- Varhaiskasvatussuunnitelman ja esiopetuksen opetussuunnitelman perusteet (Opetushallitus).

3.1.1 Perustiedot

Selvitystyön kohteena on Ikaalisten kaupungin omistama päiväkotikakkospesä osoitteessa Ikaalisten Ikaalisenkatu 3. Päiväkotikakkospesä toimii ympärivuotisessa kaupungin ylläpitämässä varhaiskasvatus ja päivähoitojärjestelmässä tarjoten lapsille ja lapsiperheille normaalia päivähoitotoimintaa, pienryhmätöitä sekä esiopetusta. Kohteessa ei ole aikaisemmin käynnistetty peruskorjaushankkeita eikä lämmitysjärjestelmän modernisointeja.

Päiväkodin osalla on tarkastelun lähtötiedoiksi saatavilla noin 3 vuoden ajalta ostoenergian määrät öljylle, sähkölle sekä veden kulutukseen. Sähkön ja veden osalta tiedot ovat saatavilla kuukausitasolla, öljyn osalla vuosittaisten täyttökertojen mukaan. Tämä johdosta öljylle joudutaan laskemaan normitettu kulutusmäärä tarkasteltavaa vuotta kohden. Kulutustiedot vedelle ja öljylle ovat saatavilla m^3 / kuukausi.

Samoin kohteen arkkitehtuurista on saatavilla kohtuullisen tarkkoja tietoja. LVIS tekniikasta on saatavilla niukasti tietoa.

Arkkitehtuuriltaan rakennus jakaantuu 2 yhtä suureen siipiosaan, joita lämmitetään samasta lämmönjakohuoneistosta käsin. Rakennus on valmistunut vuonna 1986 käsittäen huoneistoalaltaan 525 m^2 ja yhteen kerrokseen rajautuvan tilan. Olemassa olevia energiatietoja käytettiin energialaskentamallin pohjana. Energiatiedot on esitetty vuodelta 2019–2020. Rakennuksen keskiarvoinen lämmitysenergiankulutus on $20,51 \text{ m}^3$ öljyä vuodessa.

Rakentamisen ja LVI-tekniikan nykytilanteen mukaiset suunnitteluarvot on saatu paperimuodossa olevista arkkitehtuurikuvista ja rakenneleikkauskuvista laskien. Muilta osin on käytetty rakennuksen rakentamisvuoden aikaisia rakentamismääräyksiä. Lämpimän

käyttöveden osuus on saatu laskennallisesti huomioimalla päiväkodin henkilömäärä sekä päivittäisen vedentarpeen kulutus.

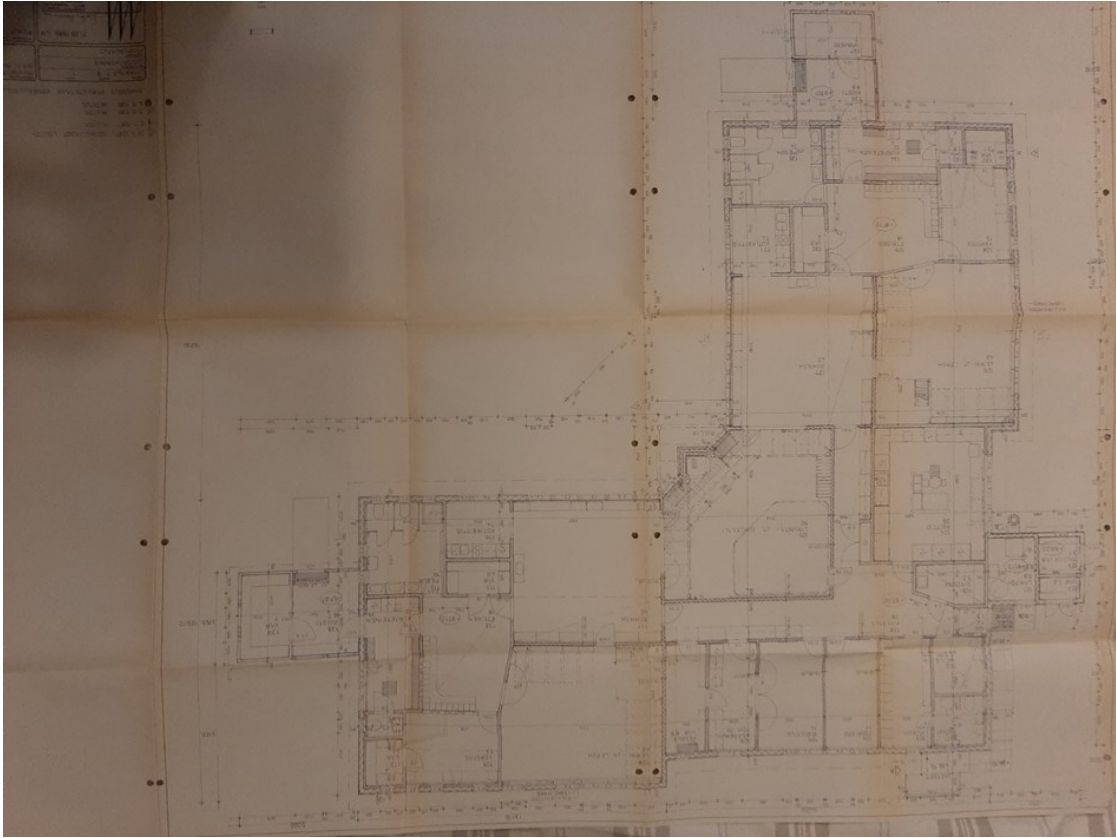
Päiväkoti Kakkospesän arkkitehtuuri on suunniteltu vastaamaan enintään 45 henkilön päivittäistä sekä iltakäytön mahdollistavaa päiväkotitoimintaa. Tilojen osalta rakennus jakautuu bruttoalaltaan kahteen samansuuruiseen siipeen (ks. kuva 23, rakennuksen pohjakuva), jotka yhdistyvät keskeltä korkeaprofiiliseksi juhlasaliksi muodostaen L muotoisen kokonaisuuden. Tällä on haettu mahdollisuutta päiväkotiryhmien eriyttämiseen siten että kaikki samat palvelut ovat tarvittaessa saatavilla samanlaisina molemmissa siivissä.

Rakennussiipien muodostama kulmaus muodostaa ulos aidatun leikkipaikan. Rakennuksessa on normaalien huonetilojen lisäksi nukkumatilat sekä yhteinen keittiö. Tämän lisäksi rakennuksessa on kattavat saniteettitilat, jotka jakautuvat samanlaisina molempiin päätyihin. Rakennus on palo-osastoitu sekä huoneistotilojen että ullakkotilojen osalla; ullakkotilat käsittävät 200 m² ja niihin on sijoitettu ilmastointikonehuone. Varastotilat sijaitsevat ulkona sisäänkäynnin yhteydessä. Arkkitehtonisesti rakennuksen muodolla ei ole sellaista rakenneteknistä muunneltavuutta, jolla olisi vaikutusta vaipan energiansäästötoimenpiteisiin.

Tilojen suunnittelussa ja toteutuksessa on huomioitu hyvin akustolevyillä toteutettu äänenvaimennus ja tilojen välinen äänieristys. Myös ikkunoiden alaosan korko on viety riittävän alas mahdollistaen pienten lasten näkemisen ulos.

Rakennuksen arkkitehtuuri soveltuu profiililtaan hyvin mm. aurinkokeräimien asennukseen koska rakennuksen lape on loiva ja harjat ovat 90 asteen kulmassa toisiinsa nähden mahdollistaen eri ilmansuuntien hyväksikäytön, jolloin auringon tuotto jakautuisi tasaisemmin aamusta iltaan.

Kuva 23. Pohjakuvapiirros rakennuksen lupakuvista. Rakennuksen arkkitehtuuri on suunniteltu esteettömäksi ja se on muunneltavuudeltaan monipuolinen kokonaisuus.



3.1.2 Päiväkotirakennuksen energiankulutus

Rakennuksen perustiedot ja hybridienergiamallissa käytetyt tekniset ominaisuudet on esitetty taulukossa 2. Rakennuksen öljynkulutus vuosina 2019 ja 2020 on esitetty kuvassa 24. Kulutus on esitetty m^3 / kuukausittainen kulutus.

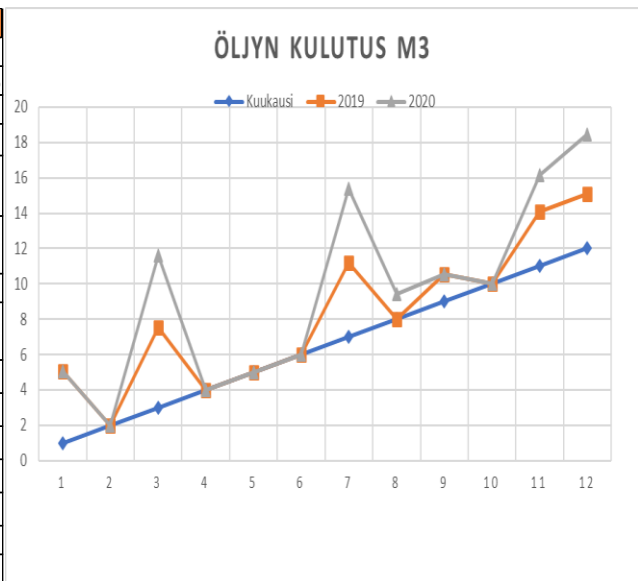
Rakennuksen sähkön kulutus on esitetty kuvassa 25 vasemmalla, veden kulutus on esitetty oikealla. Kulutustiedot ovat esitetty kuukausittaisena kulutuksena vuoden 2020 ajalta.

Rakennuksen normitettu kokonaisöljynkulutus vuosilta 2019 ja 2020 on esitetty taulukossa 3. Koko vuoden mitoitetuksi öljynkulutukseksi on laskettu 20 m^3 / vuosi. Samassa taulukossa on esitetty myös lämpimän käyttöveden laskennallinen vuorokaudenkulutus sekä sen vaatima nettoenergia. Energiankulutuksen normaalit arvot on esitetty taulukossa 3.

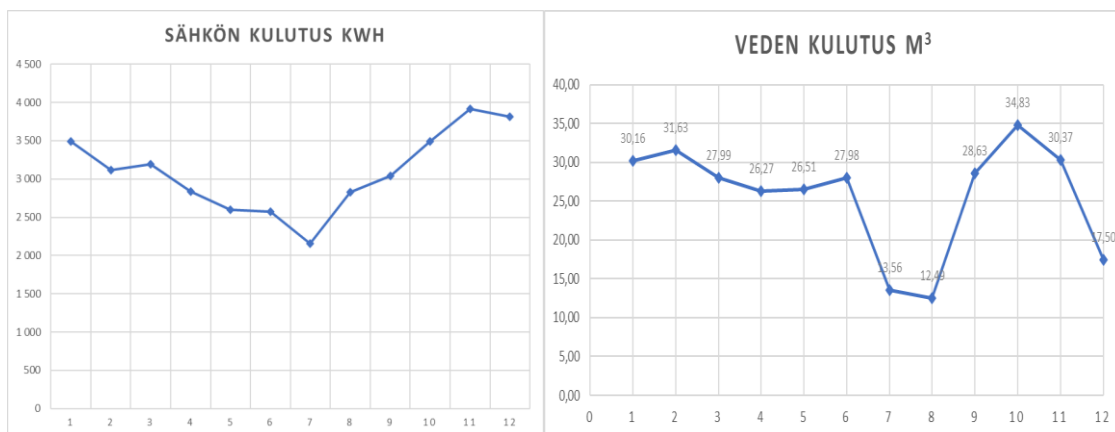
Taulukko 2. Tekniset ominaisuudet

Rakennuksen ominaisuus	Arvo
Katuosoite	Ikaliininkatu 3, 39500 Ikaalinen
Rakennusvuosi	1986
Rakennuksen kerrosala	570 m ²
Rakennuksen tilavuus	5475 m ³
Öljyn normeerattu kulutus vuonna 2020	20 m ³
Käyttöveden kulutus (40 henkeä) vuonna 2020	330 m ³
Josta laskennallinen LKV-osuus 40 %	130 m ³
LKV nettoenergia	7540 kWh / a
Kiinteistö­sähkön toteutunut kulutus vuonna 2020	37055 kWh / a
Ulkoseinien U arvo	0,28 W / K m ²
Yläpohjan U arvo	0,22 W / K m ²
Alapohjan U arvo	0,36 W / K m ²
Ikkunoiden U arvo	0,21 W / K m ²
Ovien U arvo	1,4 W / K m ²
Vuotoilma­kerroin q 50	0,17 / h
Ilmanvaihto­järjestelmän tyyppi	Koneellinen

Kuva 24. Öljyn kulutus 2019–2020.



Kuva 25. Sähkön kuukausittainen kulutus kuvassa vasemmalla. Veden kulutus oikealla.



Taulukossa 3 on esitetty vuosien 2019 (vasemmalla) ja 2020 (oikealla) energiankulutukset.

Erot vuosittain taulukoidussa öljynkulutuksessa johtuvat öljysäiliön eriaikaisista täyttökerroista eli tilastotietoa on saatavilla vuosittaisen kulutuksen kautta, ts. öljysäiliön täyttökerrat eivät ole ajallisesti säännöllisiä. Todellinen öljynkulutus saadaan keskiarvoisesti vuosimäärät laskien ja normitettuna tietona kokonaisenergiakulutuksen kautta.

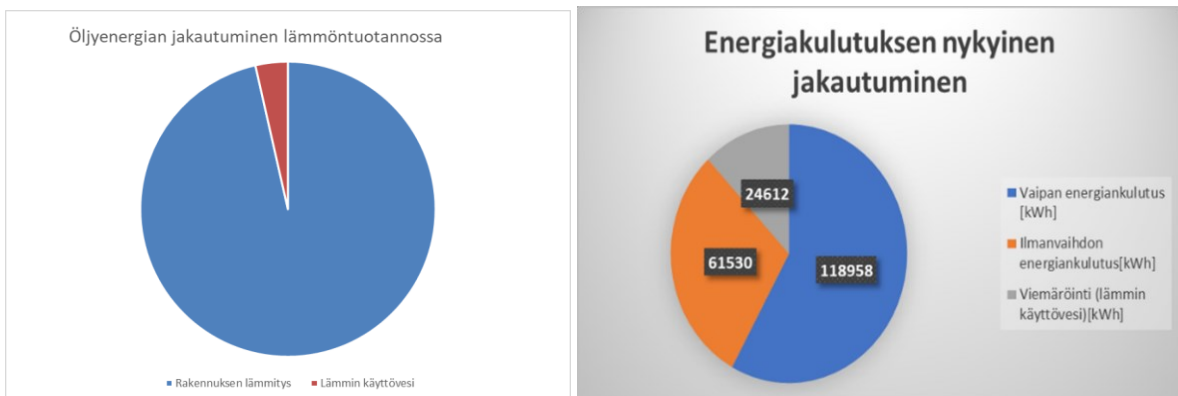
Sähkön ja veden kulutus on pysynyt suhteellisen tasaisena. Vuonna 2020 vähentynyt lämpimän käyttöveden määrä johtuu koronapandemian tuomasta hetkellisestä sulkutilasta.

Taulukko 3. Kokonaisenergiankulutus vuosilta 2019 ja 2020.

Vuosi	2019	2020
Sähkö [kWh]	39370 kWh	37055 kWh
Vesi [m ³]	330 m ³	307,91 m ³
Öljy [m ³]	20,51 m ³	15,17 m ³

Öljyenergian normitettuna vuosikulutuksena ja LKV: n (lämpimän käyttöveden) osuus huomioiden on käytetty 20 m³ vuodessa eli noin 205100 kWh/vuosi. Laskennassa on otettu huomioon vuosittaiset öljysäiliön täyttökerrat. Päiväkodin toisiopiiriin tuottama lämmitysenergia sekä lämmin käyttövesi tuotetaan kokonaisuudessaan öljyenergialla. Lämpimän käyttöveden kulutus on 130 m³ vuodessa, joka vastaa 7540 kWh vuosittaista energiankulutusta. Selvyyden vuoksi kuvassa 27 on vasemmalla esitetty öljyenergian jakautuminen lämmöntuotannossa, oikealla energiankulutuksen kokonaisjakautuminen.

Kuva 26. Lämmitysenergian jakautuminen rakennuksen lämmöntuotannossa.



3.2 Tutkimusmenetelmät

3.2.1 Tutkimusmenetelmät eri työvaiheissa

Tietoperusta jäsenyyt tutkimuskysymysten kautta. Opinnäytetyön pääpaino on case tapaukseen pohjautuvassa kirjallisessa tuotoksessa, jossa tarkastellaan mm. aikaisempia vastaavaa aihepiiriä tukevia julkaisuja sekä tieteellisiä tutkimuksia ja reaaliaikaisia uutisia. Tietoperusteena on em. mainitun datan lisäksi hakea aihepiiriä käsittelevää

tutkimusaineistoa artikkeleiden, kirjallisuuden, aikaisempien tieteellisten julkaisujen sekä haastattelujen kautta.

Kirjalliseen tutkimusaineistoon liittyy 2 tutkimushaastattelua. Haastattelut tehdään puhelimitse ja toinen esitetään vertailurakennuksen henkilökunnalle ja toinen uudemman päiväkodin urakoineelle rakennusyhtiölle, referenssiaineistona on kaupungin uusi päiväkotiki ja sen toteutunut energiaratkaisu. Haastattelut tukevat opinnäytetyössä tehtäviä muita päätelmiä eivätkä erikseen muodosta tutkittavaa kokonaisuutta. Tältä osin haastatteluja ei dokumentoida erikseen opinnäytetyön liitteiksi.

1. Käytettävissä olevista arkkitehti- ja rakennesuunnitelmista on luotu laskentaan sopiva numeerinen tietomalli yhdessä työn tilaajalta saatujen kulutustietojen kanssa. Tämän pohjalta on laskettu rakennuksen kuluttama keskiarvoinen energiankulutus lämmitykseen sekä lämpimän käyttöveden osuus lämmitysenergiasta. Tämä lisäksi on laskettu lämmitysmuodon tarvitsema liittymisteho, vuosittaiset lämmityskustannukset, vuosittain muodostuneet säästöt nykyiseen lämmitysenergiaan verrattuna, vuosittaiset hiilidioksidipäästöt, hybridilämmitysmuodon tuoma kustannussäästö sekä investoinnin suora takaisinmaksuaika.
2. Tietomalli on viety energia- ja olosuhdesimulointiohjelma D.O.F. Techiiin sekä laskentapalvelu.fi portaaliin U-arvon sekä E luvun laskentaohjelmiin. Laskennassa on käytetty apuna myös Mathcad Prime 5.0 ohjelmaa.
3. Eri energiansäästökeinojen investointikustannukset ja vuosittaiset energiansäästön osuudet on selvitetty käyttäen apuna markkinoilla toimivien yleisimpien laiteoimittajien konsultaatioita. Tämä on antanut realistisimman lähtökohdan arvioida eri hybridilämmönlähteitä ja niiden kannattavuutta. Edellä esitetyistä hybridilämmitysjärjestelmistä on tarkasteltu kaksi eri tehoista aurinkovoimalajärjestelmää, ilma- ja vesilämpöpumppu järjestelmää sekä paikallista lähilämpöratkaisua yhdessä ja erikseen nykyisen öljylämmityksen kanssa.

Laitetoimittajista on valittu Nibe Energy Systems Oy, Scanoffice Oy, Solar Oy sekä Lämpöykkönen Oy.

4. Eri energiansäästökeinoja on selvitetty yleisellä tasolla aikaisempiin lähdeviitteisiin, julkaisuihin ja tutkimushaastatteluihin nojautuen. Rakennuksesta olisi ollut mahdollisuus tehdä energiasimulointimalli MagiCad ohjelmistolla mutta opinnäytetyön painopiste ei ole ollut rakennetekniikassa vaan hybridienergiamallin toteuttamisessa, jossa vertailukohtana ovat nykyiset kulutustiedot. Tältä osin erillistä olosuhdesimulointia ei ole tehty.
5. Tulosten perusteella on valittu ne energiansäästökeinot sekä lämmitysmuodot, jotka ovat tarkastelujaksolla kannattavia. Tulokset on taulukoitu ja esitetty graafeina. Taulukoinnissa on käytetty Excel-pohjaisia taulukoita sekä niistä johdettuja graafeja.
6. Energiansäästökeinojen kannattavuudet lasketaan 25 vuoden tarkastelujaksolla eri hybridilämmönmuotoja vertaillen. Kannattavuuslaskennassa otetaan huomioon investoinnin takaisinmaksuaika, joka saadaan investoinnin tuomasta vuosittaisesta ostoenergian säästöstä.
7. Rakennukseen on tehty lämpökamerakuvaus osana vaipan kylmäsiltojen ja konvektioiden tutkimista. Kuvaus on liittynyt vaipan energiasaneerauksen ennakkointiin ja ollut tukena korjaustoimenpiteiden kannattavuuden arvioinnissa.
8. Päiväkodin E-luku on laskettu. Tämän perusteella on annettu arvio lisäeristyksen tarpeellisuudesta suhteessa ostoenergiaan sekä rakennuksen kokonaisenergiatalouteen.

3.2.2 Huomioita vaipan tiiveydestä ja lämpöteknisistä ominaisuuksista

Rakennuksen seinäpinta-alasta on lasitettua noin 24 %. Tämä tuo haasteita seinän ja kattorakenteen yhtymäkohtien tiiviiden suhteen. Yleisesti ottaen seinärakenteet havaittiin lämpökuvauksessa tiiviiksi eikä poikkeuksellisia konvektioita havaittu. Rakennuksen nurkkakohdissa sekä ikkunoiden liitoskohdissa oli havaittavissa seinän sisällä tapahtuvaa

ilman virtausta, joka on tyypillistä kotelorakenteisille rakennusosille sekä pehmeille villoille. Ilmanvirtausta aiheuttavat rakennuksen arkkitehtuuri, jossa korostuneet vertikaaliset korkeuserot aikaansaavat paine-eroja seinärakenteen eri osissa.

Seinärakenteissa sekä kattorakenteissa näkyy villaeristeen 1986 vaadittu U- arvo, joka vastaa 250 mm paksuutta rakenneosaa kattorakenteissa ja 150 mm seinissä. Osassa seinärakennetta villan vähäinen paksuus näkyi kylmäsiltoina. Tämä korostuu pakkasilmoilla eikä sinänsä ole rakennustekninen virhe.

Havaittujen kylmäsiltojen sekä konvektioiden ilmaantuvuutta korostaa sisätiloissa vaikuttanut alipaine.

4 CASE-KOHTEEN LASKENTAMALLIT

4.1 Vaihtoehtoiset hybridilämmitysjärjestelmien kytkentämallit

4.1.1 Tarkasteltavien hybridilämmitysjärjestelmien rajaukset

Energiamuotojen optimoinnin osalla fyysisiä rajoituksia sisältyy niihin LVI-järjestelmien rajoituksiin, joissa alkuperäisesti mitoitettu ja öljyenergialla lämmitettävä lämmitysverkko on rakennettu 70 °C / 40 °C verkoksi ja jossa lämmin menovesi on säädetty 60 °C.

Kun kohteessa yhdistetään nykyinen lämmitysjärjestelmä osaksi hybridiratkaisua, tulee kohteen päälämmönlähteen olla lämmityskaudella aina valmiustilassa. Lisäksi hybridiratkaisuissa tulee kiinteistön sisälämpötilan pysyä vähintään +15 °C mitattuna 1–1,5 metriä kiinteistön lattianrajasta ilman lämpöpumpputekniikkaakin.

Energiakenttien ja kaukolämpöverkkojen osalla rajoituksia liittyy verkon infrastruktuurin rakentamiseen. Energiakenttien osalla fyysistä rajoitusta ei ole mutta kaukolämpöverkon osalla lämmityspotket jouduttaisiin vetämään asuinalueen läpi. Tämän perusteella kaukolämmön vaihtoehtoiseksi tuotantoratkaisuksi soveltuvat lähilämpöratkaisut.

Kustannusten osalta rajaukset liittyvät niiden energiantuottotapojen löytämiseen joiden laitevaatimukset sekä lämmöntuottotavan tekniikka mahtuvat fyysisesti käytössä olevaan tekniseen tilaan. Kustannussyistä ei ole järkevää lähteä saneeraamaan jo olemassa olevaa LVI tekniikkaa tai rakennuksen toisiopiiriä. Sama koskee rakennuksen teknistä tilaa, jonka kokoa ei kannata lähteä turhaan muuttamaan, vaikka tämä on periaatteessa mahdollista.

Eri energiaratkaisujen sekä niiden investointikustannusten rajoitukset liittyvät päiväkotikakkospesän osalla ratkaisuja tarjoavien energiayhtiöiden palvelussopimus pohjiin. Tältä osin energiayhtiöt usein edellyttävät sopimuksissaan sitä, että lämmöntuotantoon ei liitetä muita hybridilämmitysmuotoja. Paikallisella energiayhtiöllä Leppäkosken Lämpö Oy:llä ei tiedustelujen perusteella (Suhonen, 2021) ollut tarjota sopimusta erilliselle

hybridilämmitysmuodolle johon mm. heidän tarjoaman lähilämpöratkaisun voisi erillisellä sopimus pohjaisella hinnoittelulla liittää.

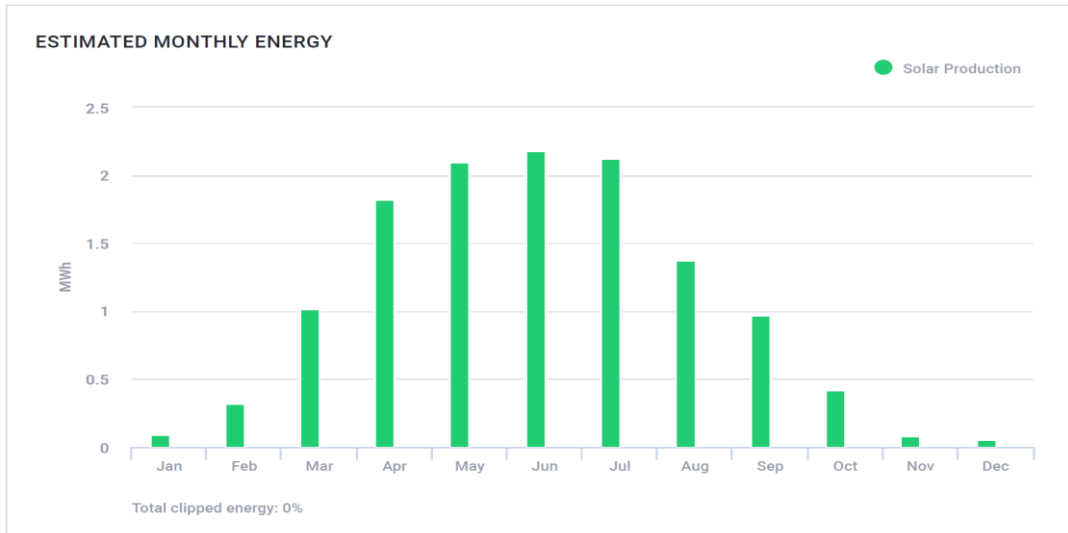
4.1.2 Aurinkovoimalan hyödyntäminen sähköntuotantoon ja käyttöveden lämmitykseen

Aurinkosähkön käyttöä rajaava ominaisuus liittyy aurinkosähkön saatavuuteen Ikaalisissa talvikuukausina. Tältä osin sitä ei voi käyttää päälämmitysmuotona, sama on myös aurinkolämmön osalla. Käytännössä loka – helmikuun välillä sähkön ja lämmön tuotto on marginaalista johtuen vähäisestä auringonvalosta. Kuvassa 27 on esitetty kuukausittainen sähköenergian osuus aurinkovoimalan energiantuotannosta. Aurinkovoimalan tehotietona käytetään kWp-lukemaa eli piikkikilowattia. Kuvassa 28 on esitetty päiväkodin arkkitehtuurin mahdollistama aurinkopaneelien sijoitus.

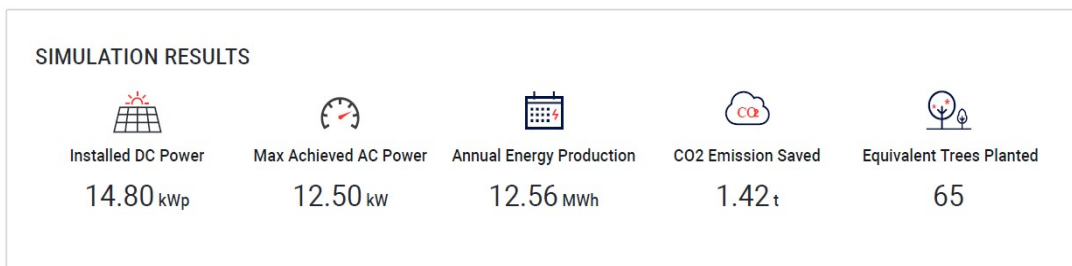
Kustannustehokkuudeltaan aurinkosähkön käyttö 7 kWp: n tai 14,8 kWp: n tehoisen voimalan osalta on vähäistä suhteessa saavutettuun hyötyyn. Karkeasti ottaen 14,8 kWp: n voimalan osalla sähkönkulutusta voidaan leikata 30 %, joka vastaa 1500 euroa vuosittaisesta sähkönkulutukseen liittyvän energian maksusta. Investointiin nähden (14 483,87 €) energian säästöstä saatava hyöty ei vuositasolla ole kovinkaan järkevä. Toki, siirtohintojen ja energiahintojen noustessa kannattavuus paranee.

Aurinkosähkön käyttö pelkästään käyttöveden lämmitystä varten ei ole kovin kustannustehokasta. Teoreettisesti tarkastellen vuorokausikulutuksen lämmittämiseen tarvittaisiin luokkaa 20 kWh / vrk -> jos mietitään että se hoituisi 3 aurinkoisen tunnin aikana niin vaatii luokkaa 7 kWp aurinkovoimalan. Budjettihinta tälle ratkaisulle on noin 5000–7000 € ALV 0 % eli takaisinmaksuaika investoinnille olisi 5–7 vuotta.

Kuva 27. Kuukausittainen sähköenergian saanti 14,8 kWp: n tehoisen voimalan osalta.



Kuva 28. Rakennuksen arkkitehtuuri mahdollistaa optimoidun aurinkopaneelien sijoittelun.



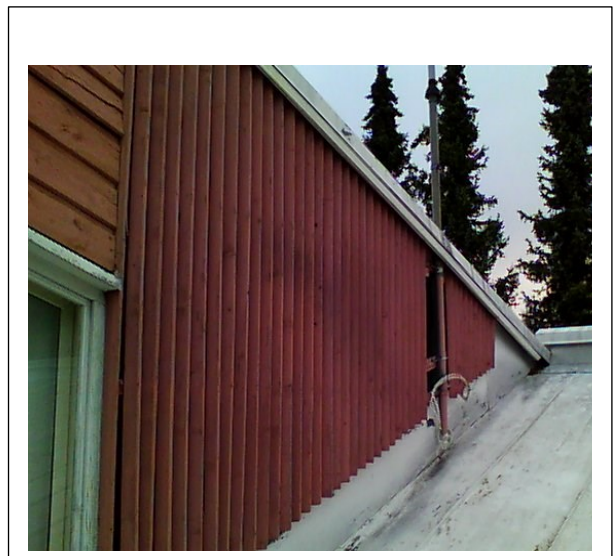
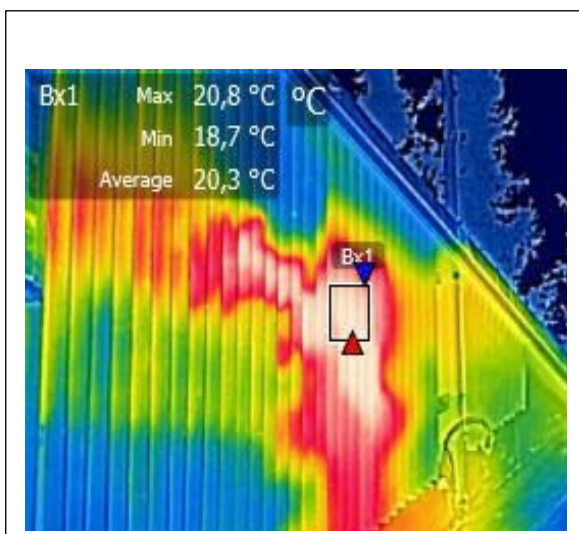
4.1.3 Lämmöntalteenottolaitteella varustetun koneellisen tulo- ja poistoilmajärjestelmän hyödyntämisen vaikutus ostoenergian kulutukseen

Nykyinen koneellinen ilmanvaihtokone on alkuperäinen ja varustettu lämmön talteenotolla. Ilmanvaihtojärjestelmästä ei ole saatavilla teknistä dataa. Sen hyötysuhde on valmistajan kanssa käydyn keskustelun perusteella (Ika-air Oy) noin 40 %. Valmistusvuosi on 1986.

Ilmanvaihto on järjestetty siten, että rakennuksessa on kaksi pääilmanvaihdon piiriä sekä keittiölle menevä oma ilmanvaihtopiiri. Lisäksi jäteilmalle (kosteat tilat+ WC tilat) on oma poistoilmavaihto. Yleisilmanvaihto on mitoitettu lämpötilojen $-10 - 24\text{ }^{\circ}\text{C}$ välille toimivaksi kokonaisuudeksi jossa poistuvan jäteilman lämpötila on noin $10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

LTO (lämmön talteenotto) toimii siten että $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ lämmin poistoilma johdetaan nestekiertoiseen lämmönsiirtimeen ennen ulospuhallusta jäteilmana. Tästä saadulla lämpöenergialla esilämmitetään tuloilmaa siten että esilämmityspiiriin on liitetty myös kattilalta tuleva lämmin käyttövesi. Kuvassa 29 on esitetty poistoilmavaihdon lämpötila-alue. Lämpökameralla mitattaessa ja $0,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ulkolämpötilassa poistoilmavaihdon keskiarvoinen lämpötila oli $20,3\text{ }^{\circ}\text{C}$.

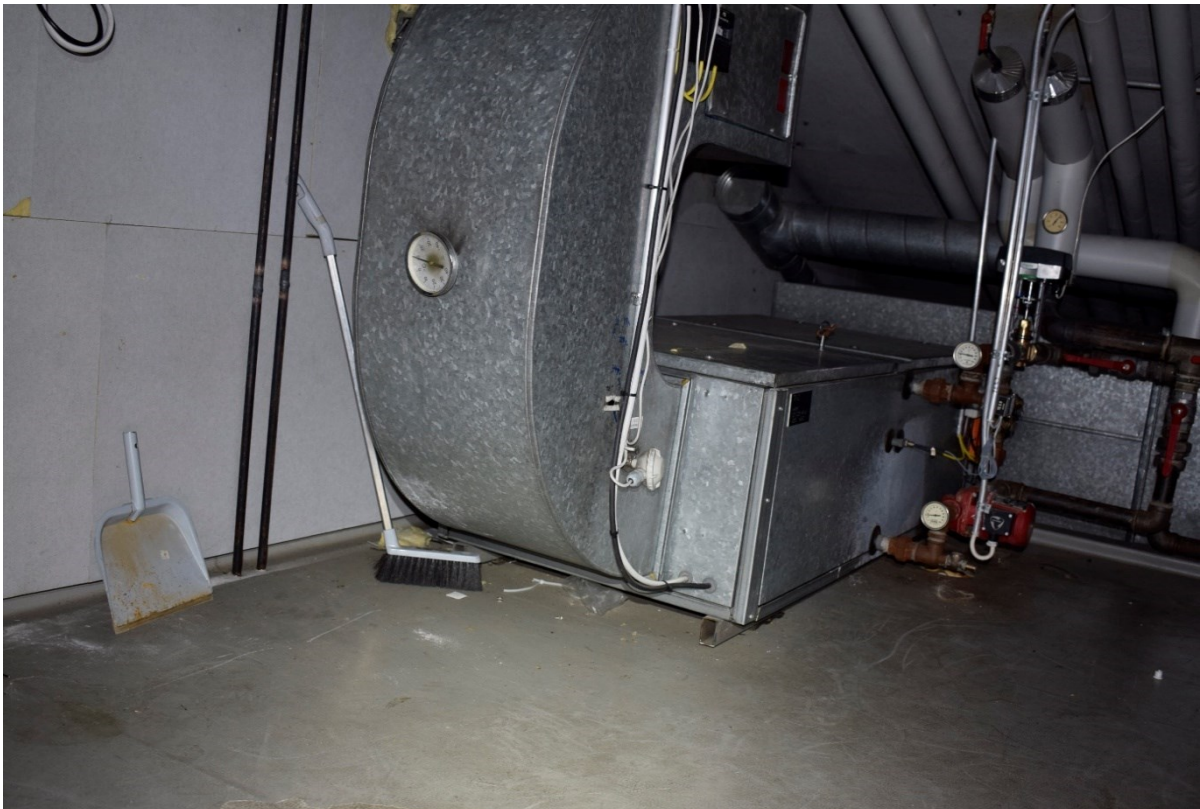
Kuva 29. Poistoilman lämpötila-alue.



Hybridiennergialämmitysmuotojen osalla erillisesti rakennettu LTO vaatisi huomattavia rakenneteknisiä muutoksia nykyiseen ilmanvaihtojärjestelmään. Saavutetun hyödyn perusteella tästä ei ole kustannustaloudellista hyötyä suhteessa investointiin ja suhteessa saavutettuun säästöön. Prosentuaalisesti suurin hyöty tullaan saavuttamaan varsinaisen energiantuottamisen kohdalla. Ilmastointikonehuoneen osalla (ks. kuva 30 ilmastoitukonehuoneen lämmönvaihdin) rakenne on tehty alkuperäisten arkkitehtikuvien suunnitelmien mukaisesti sille varattuun tilaan. Tältä osin se on optimoitu jo rakennusvaiheessa sille varattuun tilaan sopivaksi.

Mikäli lämmön talteenottoa halutaan tehostaa, tulisi talteenoton lämmönsiirrinteknologiaa modernisoida. Tämä alue ei liity tämän opinnäytetyön tarkastelun piiriin.

Kuva 30. Ilmastointikonehuoneen lämmönvaihdin.



4.1.4 Maalämmön hyödyntämisen vaikutus ostoenergian kulutukseen

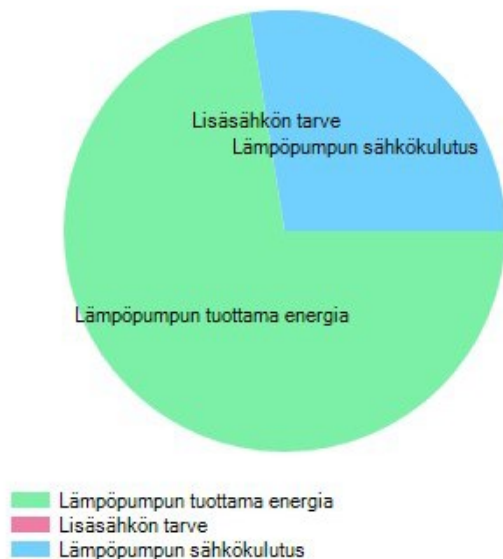
Energiajärjestelmänä tarkastellaan maalämpöjärjestelmää, jossa öljylämmitys kytketty kokonaan pois. Maalämmön lyhenteenä käytetään MLP.

Mitoituksen pohjana käytetään öljylämmityksen vuosittaista kulutusta 20 m³, menoveden lämpötilaa 60 ° C, käyttöveden lämpötilaa 55 ° C ja vuoden keskilämpötilaa 4,6 °C.

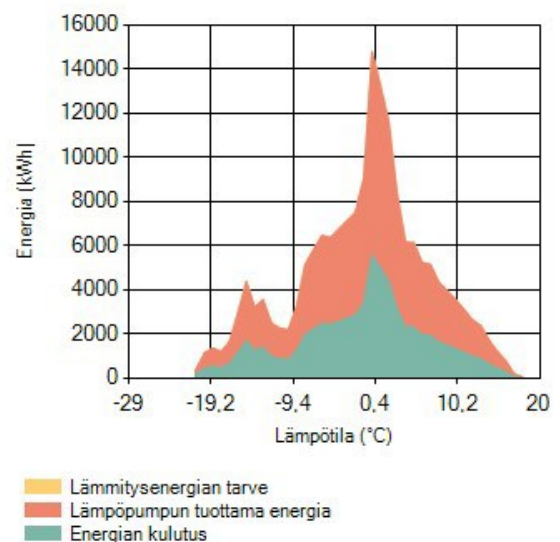
Laskennan perusteella laitteistovaatimuksina vaaditaan 3 x 26 kW kone, täystehomitoitettu laitos. Kuvassa 31 on esitetty lämpöpumpun tuottama energia (vasemmalla) sekä energian jakauma lämpötilan funktiona (oikealla).

Suositellaan puskurivaraajaan 3 x 9 kW sähkövastuksia, pärjätään kovillakin pakkasilla, vaikka sattuisi yksi maalämpökone menemään vikatilaan. Samoin maalämmön periaatekaaviosta poiketen vain yksi LKV-varaaja, noilla kulutustiedoilla pitäisi pärjätä riittävästi. Laskennan lähtötiedot ovat liitteessä 3.

Kuva 31. Lisäsähkön tarve. (Excel, Liite3)



Pumpun energijakauma (Excel, Liite3)



Budjettihinnat laitekokonaisuuksille, sisältäen lämpökaivot sekä urakoitsijan kohtuullisen katteen, on maalämmölle 40 200 € ALV 0 %.

Yleisesti ottaen ilmavesien ja maalämpöjen laitehinnat menevät suunnilleen tasoihin, maalämmössä investointia nostaa aina lämpökenttä ja jonka rakentamiseen vaaditaan kunnalta lupa.

Maalämpölaitteisto ei mahdu nykyiseen lämmönjakohuoneistoon ja lämmönjakohuoneistoa jouduttaisiin hieman suurentamaan. Toisiopiirin rakenteesta johtuen maalämmön hyötysudetta hieman heikentää patteriverkoston menevä 55 asteinen vesi. Maalämpö sopii parhaiten vesikiertoiseen lattialämmitykseen.

Lämpöpumpputekniikkaan siirryttäessä on mahdollisuus päästä hyödyntämään lähes 100 % fossiilivapaata lähde-energiaa huomioiden kuinka kompressorin vaatima ostosähkö tuotetaan. Hybridilämmöntuotto vaatii lämpöpumpputekniikan rinnalle myös täysitehoisen varalämmitysjärjestelmän koska kylmimpinä vuodenaikoina niin maalämpöä kuin ilmalämpöpumppujen tuottamaa lämpöenergiaa joudutaan jatkamaan vaihtoehtoisella lisäenergiamuodolla. Yleisimmin tämä on ostosähköä. Vaihtoehtoisesti maalämmön keruupiiri voidaan mitoittaa sen verran isoksi, että ostosähköä ei tarvita. Tällä järjestelmällä voidaan korvata 100 % nykyinen öljylämmitys vaihtoehtoisena päälämmönlähteenä.

4.1.5 Ilma- vesilämpöpumpun hyödyntäminen ostoenergian kulutukseen

Energiajärjestelmänä tarkastellaan ilma-vesilämpöpumppujärjestelmää, jossa öljylämmitys kytketty kokonaan pois. Järjestelmästä käytetään lyhennettä ILVP. Mitoituksen pohjana käytetään öljylämmityksen vuosittaista kulutusta 20 m³, menoveden lämpötilaa 60 ° C, käyttöveden lämpötilaa 55 ° C ja vuoden keskilämpötilaa 4,6 °C.

Päiväkoti kakkospesän käyttäjäkyselyn mukaan kohteessa ei ole lämpimän käyttöveden kiertojärjestelmää. Yleensä LKV-kierron yhteyteen olisi suositeltavaa laittaa pieni sähkövaraaja sarjaan hoitamaan kierron aiheuttama jäähtymä, ilmaveden ei täten tarvitse vaihtaa toimintatilaansa jatkuvasti lämmityksen / LKV-tuotannon välillä jäähtymän hoitamiseen vaan ladataan ilmavedellä vasta kun käyttövettä oikeasti kulutetaan.

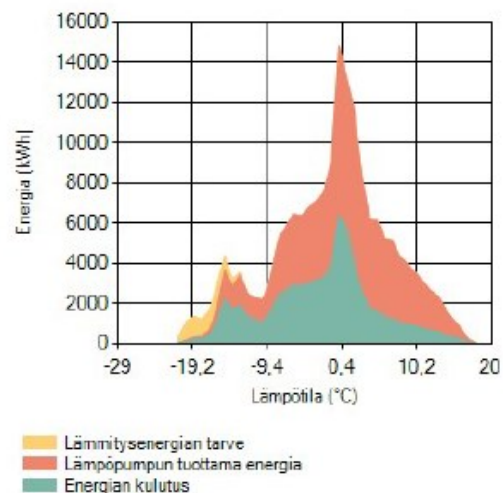
Laskennan perusteella laitteistovaatimuksina vaaditaan 2 x SHW230 kone sekä varalämmöksi sähkökattila. Laitteistolle asetetut ehdot sisältävät sen, että varalämmön on oltava täysitehoinen, ilmavesistä ei kovilla pakkasilla lähde oikein tehoja ja menoveden lämpötilatasokin jää useimmiten riittämättömäksi. LKV: n (lämpimän käyttöveden) laskennallinen kulutus on kohtuullisen pieni ~ 350 dm³ vuorokaudessa, suunniteltu WWS507 on nettotilavuudeltaan 412 dm³ joka riittää hyvin lämmön tuottoon. Tähän yhteyteen sopii lisä/varalämmöksi Kaukoran FIL-SPL sähkökattila, budjettihinnassa Kaukoran hinta 84 kW sähkökattilalle.

Kuvassa 32 on esitetty lämpöpumpun tuottama energia (vasemmalla) sekä energian jakauma lämpötilan funktiona (oikealla). Kuvat on saatu Excel pohjaisella laskennalla. Laskennan lähtöarvot ovat liitteessä 4.

Kuva 32. Lisäsähkön tarve (Excel, Liite 4)



Pumpun energiajakauma (Excel, Liite 4)



Budjettihinnat laitekokonaisuuksille, sisältäen urakoitsijan kohtuullisen katteen on 38 200 € ALV 0 %. Eli yleisesti ottaen ilmavesien ja maalämpöjen laitehinnat menevät suunnilleen tasoihin, maalämmössä investointia nostaa lämpökenttä.

4.1.6 Ilma-vesilämpöpumppu, jossa öljylämmitys kytketty osaksi lisälämmitystä

Energiajärjestelmänä tarkastellaan ilma-vesilämpöpumppujärjestelmää, jossa öljylämmitys kytketty osaksi lisälämmitystä. Mitoituksen pohjana käytetään öljylämmityksen vuosittaista kulutusta 20 m³, menoveden lämpötilaa 60 ° C, käyttöveden lämpötilaa 55 ° C ja vuoden keskilämpötilaa 4,6 °C.

Päiväkoti Kakkospesän normitettu öljyenergian kulutus vuonna 2020 oli noin 16500 litraa, josta käyttöveden lämmittämiseen kului noin 2500 litraa. Yleisenä keskiarvona öljynkulutuksena voidaan pitää 20,51 m³ öljynkulutusta / vuosi. Arvio ilmavesi lämpöpumpun tuomasta säästöstä, kun järjestelmän varavoimaksi on kytketty olemassa oleva öljylämmitys, on vuositasolla 8781–9000 litraa.

Tilojen nykyinen lämmityksen tarve on 205100 kWh / vuosi, josta käyttöveden osuus on 10000 kWh / vuosi. Lämpöpumpun asennuksen jälkeen ostoenergian tarve on vuodessa 56153 kWh ostosähköinä. Sähköllä pyritetään lämpöpumpun normaalia sähkönkulutusta.

Lisäsähkön tarve poistuu tässä kytkentätavassa korvautuen tarvittaessa öljyllä. Kuvassa 33 on esitetty lämpöpumpun suhteellinen energiajakauma. Tässä kytkentämallissa lisäsähkön tarve poistuisi lämmöntuotannossa koska varajärjestelmänä olisi öljylämmitys. Öljynkulutusta kyetään leikkaamaan yli 53 %.

Kuva 33. (Excel, Liite 4). Lämpöpumpun energiajakauma vaihtoehdossa, jossa on ilma-vesilämpöpumppu, sekä öljylämmitys kytketty osaksi lisälämmitystä (punainen sektori).



4.1.7 Kaukolämmön hyödyntäminen ostoenergian kulutukseen

Kaukolämpöverkko sijaitsee liittymistä ajatellen kaukana. Rakennusta ei voi taloudellisista syistä kytkeä kaukolämpöverkkoon vaan vaihtoehtoiseksi energiaratkaisuksi jää lämpökontilla tuotettu lähilämpöratkaisu.

4.1.8 Lämpökontin rakentaminen päiväkodin läheisyyteen vaihtoehtoisena tapana kaukolämmön siirtoa.

Kaukolämpöä myyvä energiayhtiö on Leppäkosken Lämpö Oy. Leppäkosken ratkaisuehdotus kohteelle on Lähilämpö-palvelu. Lähilämpö toimii asiakaan suuntaan palveluna: Leppäkoski vastaa kontin käytöstä, huollosta ja polttoaineista, asiakas tarjoaa kontille sijoituspaikan. Lähilämmön suuntaa antava liittymismaksu Päiväkoti Kakkospesälle on n. 75500 € (sisältää kontin asennettuna, 30 m lämpöputkea kontilta asiakkaan lämmönjakohuoneeseen sekä kaukolämpömittarin). Liittymismaksun hinnoittelu on tapauskohtainen.

Kustannustarkastelu

Lähilämmön käyttökustannukset (perusmaksu + energian hinta) asiakkaalle määräytyvät paikkakunnan kaukolämpöhinnaston mukaisesti Vihreä kaukolämpö -tariffilla (+ 2,5 €/MWh normaaliin kaukolämmön energiamaksuun). Vihreä kaukolämpö on 100 % hiilineutraalia kaukolämpöä. Toistaiseksi Vihreä kaukolämpö on Leppäkosken takaamana hiilineutraalia, myöhemmin kun laki lämmön alkuperätakuusta astuu voimaan, liitetään Vihreä kaukolämpö osaksi sertifioitua ja todennettua alkuperätakuujärjestelmää. Arvio Kakkospesän perusmaksusta 55 kW liittymisteholla on 2153,25 €/a (alv 0). Taulukossa 4 on ote hinnastosta (perusmaksu ja energiamaksu, vihreä kaukolämpö puuttuu vielä hinnastosta, koska kyseessä on uusi vuodenvaihteessa lanseerattava tuote). Taulukossa 4 on kesäkuun 2021 energiahintoja. (Leppäkosken Lämpö Oy, Suhonen).

Taulukko 4 (Leppäkosken Lämpö Oy, Suhonen, Liite 8)

Perusmaksu €/vuosi. Hintoihin lisätään alv. 24 %.

Teho	Perusmaksun laskenta
8-50 kW	$K * (14 + 24 * P)$
50-150 kW	$K * (315 + 18 * P)$
150-500 kW	$K * (1515 + 10 * P)$
Yli 500 kW	$K * (2015 + 9 * P)$

K= 1,65 (kerroin)

P= Teho

Perusmaksu perustuu mitattuun asiakkaan käyttämään lämmitystehoon.

Esim. omakotitalo (teho 8 kW), perusmaksu on

 $1,65 * (14+24*8)=339,9 + \text{alv. } 24 \% = 421,48 \text{ €}.$ **Energiamaksu** €/MWh

	Alv. 0 %	Alv. 24 %
Kesäkausi 1.4.-31.10.	51,00	63,24
Talvikausi 1.11.-31.3.	64,26	79,68

Kulutuspainotettu keskihinta on 73,78 €/MWh (sis. alv.).

Rakennusaikainen lämmitys uudisrakennuskohteisiin:

Energiamaksu (€/MWh) 70,50 (alv. 0 %) 87,42 (alv. 24 %)

Energiamaksu muuttuu kaukolämmön tuotantokustannusten muuttuessa oleellisesti. Muutoksista ilmoitetaan erikseen.

Päiväkodin arvioitu ostoenergian kulutus (öljy 100 %) on noin 200 MWh vuodessa ja sen nykyinen toisiopiiri on mitoitettu melko tarkaksi nykyisin käytössä olevan öljykattilan teholle (120 kW).

Kaukolämmön osalla kulutuspainotettu vuoden keskihinta megawattitunnille on 59,5 € / MWh (alv 0 %).

Kaukolämmön hinta perustuu siis tehon mukaisesta vuosittaisesta perusmaksusta sekä energiamaksusta. Teholuokan osalla vaadittavan Max. 120 kW lämmitystehon perusmaksu voidaan laskea seuraavasti: $1,65 (315 + 18 * 55 \text{ kW}) = 2153,275 \text{ € (alv } 0 \% \text{) / vuosi}.$

Vuosittainen energiamaksu voidaan laskea seuraavasti: $200 \text{ MWh} \times 59,5 \text{ € / MWh} = 11\,900 \text{ €}$

Yhteensä lähilämmön vuosittaiset energiakustannukset (alv 0 %) maksavat $14053,25 \text{ €} = 14\,000 \text{ €}$. Arvio lähilämmön liittymismaksusta on n. 75 000 €. Yhteensä ensimmäisen vuoden kustannukset lähilämpöön siirryttäessä, sisältäen liittymismaksun, on 89000 € (alv 0 %).

Suhteessa nykyiseen kevyen polttoöljyn ostohintaan [0,78872 € / l (alv 0 %)] kaukolämmön vuosittaisella kokonaisenergiamaksulla päästään tällä laskelmalla 1744 euron säästöön.

Mikäli jätämme huomioitta liittymismaksun, kaukolämmön ja öljyn osalla energiahintojen valintaan vaikuttaa voimakkaasti tulevaisuuden tuotantokustannusten sekä polttoaineiden energian hinnannousut. Tätä on vaikea ennustaa. Yhteenvetona voimme todeta että 2021 viimeisen neljänneksen osalla kaukolämmön kokonaisenergiamaksu (ks. taulukko 4) on kilpailukykyinen nykyisen öljyenergian hinnan kanssa.

4.1.9 Öljylämmitys

Lämmitysöljyn kokonaiskulutus vuonna 2019 normitettuna oli 22,5 m³. Mitoituksen pohjaksi laskelmissa käytetään lukemaa 20 m³ / vuosi. Öljyenergialla lämmitetään 0,7 m³ kattilavesi, joka käyttää patteriverkostoa. Lämmin käyttövesi sekä osa tuloilman esilämmityksestä otetaan samasta kattilasta. Toisiopiiri on rakennettu ja mitoitettu noin 120 kW:n energian tuottoon. Nykyinen kattilateho vastaa tätä ja kattilan tuotto on riittävä. Kattilan hyötysuhde on 90 % ja tämä antaa mahdollisuuden suurimpaan osaan erilaisia hybridilämmitysmuotoja. Kevyen polttoöljyn energiasisältö on noin 10 kWh / litra. Kulutukseen perustuva vuosittainen nettoenergian tuotto on tällä laskelmalla noin 200 000 kWh. Laskennallisesti tilojen lämmityksen tarve on 205100 kWh / vuosi, josta käyttöveden osuus on 7540 kWh / vuosi.

Nykyisen järjestelmän rinnalle (ks. 34 kuvassa päiväkotirakennuksen lämmityskattila) kannattaa kytkeä erillinen (fossiilivapaa) hybridilämmitysjärjestelmä siten, että molemmat lämmitysjärjestelmät on kytketty toisiopiiriin ja ovat täysitehoisesti mitoitettuja.

Hybridilämmitysmuodot ottavat energian ilmasta tai maasta ja tarvitsevat kylmimpään vuodenaikaan lisätehoa keskusvesikattilan lämmittämiseen. Öljylämmitys on tässä tapauksessa kaikkeinärkevin tasaamaan näitä kulutuspiikkejä. Öljykattilassa päästään yli 90 % hyötysuhteeseen.

Kuva 34. Päiväkoti kakkospesän öljykattila, jossa Oilonin poltin.

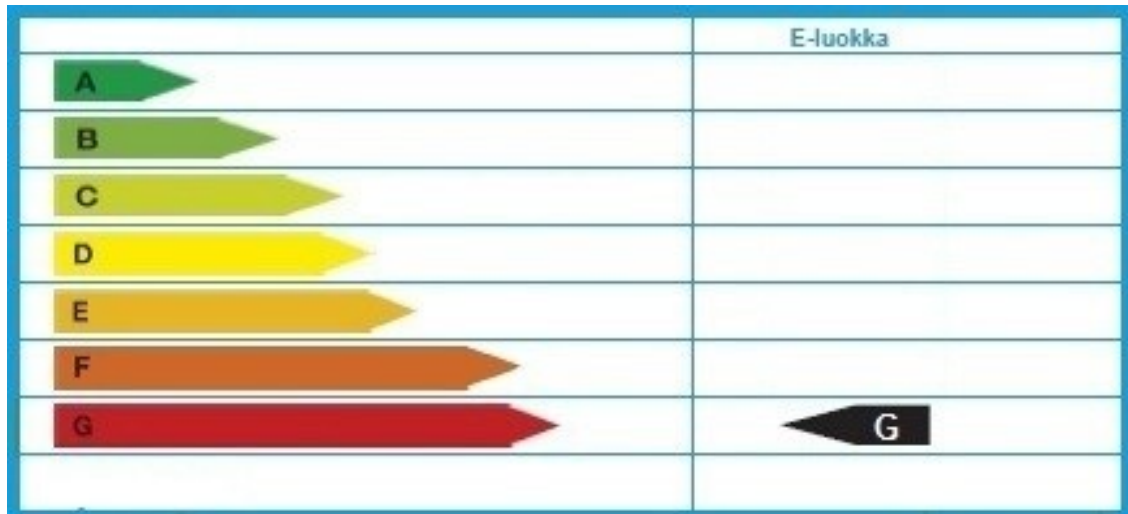


4.2 Rakenteiden lämpötalouden optimointi

4.2.1 E-luku

E-luvun laskennan lähtötiedot on syötetty laskantapalvelu.fi portaalista löytyvään energiasimulointiohjelmaan. Taulukkoarvot sekä energiatodistus ovat liitteessä 2. Kuvassa 35 on esitetty rakennuksen nykyinen laskettu energiatehokkuusluku.

Kuva 35. Rakennuksen energialuokka. Rakennuksen nykyinen energialuokka vastaa G luokkaa.



4.2.2 Vaipan eristepaksuus

Rakennuksen vaippaosa käsittää rakennusta ympäröivät seinät sekä ylä- ja alapohjarakenteet.

Puurankaisten rakenteiden arkkitehtuuri noudattaa yläpohjan osalla osittain saksiristikkomallia, jossa vaipan pinta-alaa laskettaessa joudutaan huomioimaan myös seinärakenteiden ulottuminen normaalia korkeammalle osana lämmintä huoneistoalaa. Seinäpinta-alan arvioimiseksi on käytetty asemapiirroksen pinta-ala- sekä tilavuustietoja ja arkkitehtikuvista saatuja tietoja.

Karkeana keskiarvona lämpimälle seinäpinta-alalle on saatu 222 m^2 laskemalla rakennuksen piiri (68 m) ja kertomalla se pohjakuvassa olevan korkotiedon mukaisella seinärakenteen korkeustiedolla 3,26 m. Tähän lisätään vielä rakennuksen arkkitehtuurista tulevat seinämuodot ja arvio lämpimän vaippaosan kokonaispinta-alalle on n. 250 m^2 .

Vaippaosa sisältää runsaasti ikkunapinta-alaa. Ikkunakaavion mukaan ikkunapinta-alaa on $59,5 \text{ m}^2$. Kattopinta-alaksi arvioidaan noin 600 m^2 . Tämän perusteella kyettiin laskemaan ikkunaelementtien (ks. kuva 36 oikealla) U-arvot. Seinärakenteiden osalla vertailukohtaksi

otettiin (ks. taulukko 5) nykypäivän vallitsevat U-arvot, joiden osalla (ks. kuva 36 vasemmalla sekä taulukko 5) eristepaksuudet nousevat seinän osalla 100 mm ja kattorakenteiden osalla 200 mm.

Rakenteiden erittelyssä vertailu tapahtui seinärakenteiden sekä kattorakenteiden eristepaksuuksia verraten. Alapohjarakenteiden sekä ikkunaelementtien eristevahvuuksien lisäämistä ei oteta huomioon koska niiden saneeraaminen ei ole kustannustarkastelun puitteissa realistisissa hinta-arvioissa eikä energiansäästön kannalta edusta merkittävää roolia kokonaistaseen kannalta. Laskenta on tehty D.O.F Technin ohjelmaa hyväksi käyttäen.

Kuva 36. Seinän ja ikkunan U-arvo vaatimukset sekä eristepaksuudet. Seinän osuus kuvassa vasemmalla, ikkunoiden osuus oikealla.

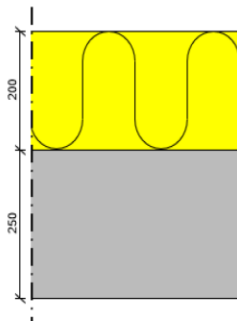
RAKENTEIDEN ERITTELY - KATOT

Katto 1 (katto 1)

Rakenteen pinta-ala: 600 m²
Vanhan rakenteen paksuus: 250 mm

Lisäeristyskerrokset:
ISOVER PREMIUM 33 200 mm

Vanhan rakenteen U-arvo: 0,22 W/m²K
Korjatun rakenteen U-arvo: 0,09 W/m²K
= 0,43 x vanha U-arvo < 0,09 W/m²K



RAKENTEIDEN ERITTELY - IKKUNAT

Ikkuna 1 (ikkuna 1)

Rakenteen pinta-ala: 59.5 m²
Vanha U-arvo: 2.10 W/m²K
Uusi U-arvo: 2.10 W/m²K
= 1 x vanha U-arvo > 1.0 W/m²K

Taulukko 5. Taulukossa on koottu lisäeristysten tuoma lisäys rakenneosan U arvoon.

Taulukosta voidaan havaita, että täyttääkseen nykyiset U-arvo määräykset seinäeristeen lisäeroksen tulee olla vähintään 100 mm paksu ja kattorakenteiden lisäeristeen 200 mm paksu.

U arvo [W/Km ²]	Nykyinen tilanne	Lisäeristys 50 mm	Lisäeristys 100 mm	Lisäeristys 150 mm	Lisäeristys 200 mm
Seinä rakenne	0,28	0,2	0,15	0,12	
Kattorakenne	0,22	0,17	0,13	0,11	0,09

5 CASE-KOHTTEEN TULOKSET

5.1 Vaihtoehtoisten hybridilämmitysjärjestelmien kytkentätavat koottuina

5.1.1 Aurinkovoimalan hyödyntäminen sähköntuotantoon ja käyttöveden lämmitykseen

Laskennassa käytettiin kahta eri teholuokan voimalaa, joiden piikkitehot olivat 7 kWp sekä 14 kWp. Teknisiltä ominaisuuksiltaan nämä voimalat olivat samanlaisia ja voimalan antamaa tehoa tarkasteltiin niiden antaman lisäsähkön tuotannon kautta. Tältä osin realistisin vaihtoehto olisi 14 kWp voimala, jonka tuottama vuosittainen maksimiteho olisi 12,56 MWh. Aurinkopaneelien mallina laskelmissa on käytetty Canadian Solar Inc., CS3L-370MS HiKu (1000V).

Päiväkoti Kakkospesän päälämmitysjärjestelmä on rakennettu siten että se ei käytä sähköenergiaa lämmön tuottamiseen, vaan sähkö on normaalia kiinteistösähköä. Tältä osin uusien sähköenergiajärjestelmien kytkeminen päälämmönlähteeseen vaatii laitekohtaisia integrointeja eli investoinnin mm. akkuteknologiaan ja hybridivesikattilaan.

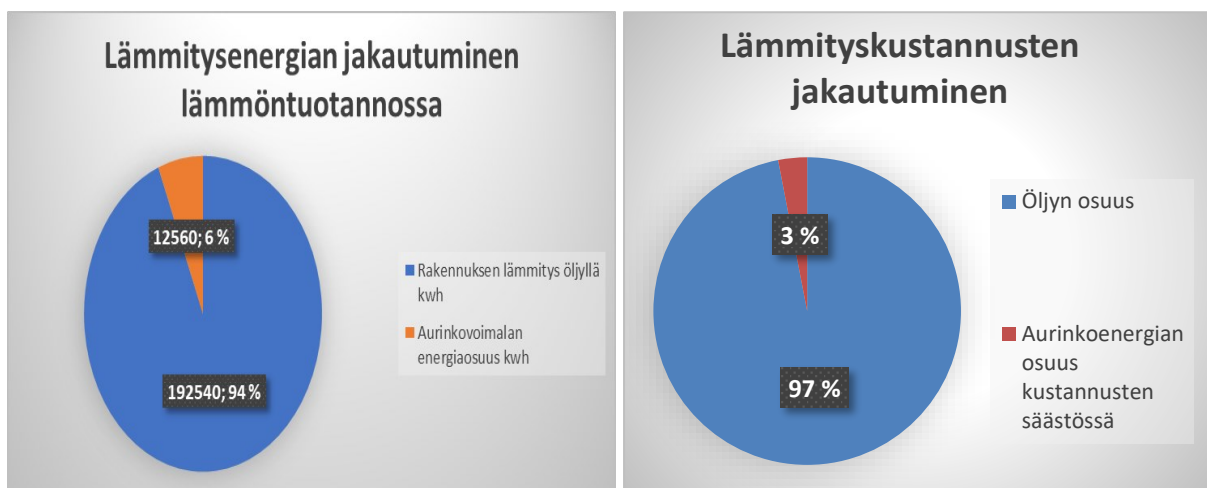
Kytkentätavoiltaan voimalat voitiin kytkeä osaksi rakennuksen sähköverkkoa syöttämään rakennuksen sähköverkkoa lisäsähkönä tai tuottamaan myyntienergiaa myyntisähkönä. Teknisenä ratkaisuna 14 kWp voimala vaatii yhteensä 40 kpl aurinkokennomoduuleja, jotka voidaan sijoittaa kohtuullisen helpolla tavalla päiväkodin kattorakenteisiin. Tekniseen tilaan asennettava invertteri mahtuu hyvin sinne asennettavaksi.

Aurinkoenergian hyödyntäminen hybridimallisena lisäenergianlähteenä osaksi rakennuksen muuta lämmönlähdettä ei onnistu suoraan, vaan se vaatisi aurinkosähkön varaamiseen tarkoitettua akkuteknologiaa tasaamaan sähkön tuotantoa sekä erillisen hybridivesivaraajan johon aurinkosähkö voitaisiin kytkeä sähkövastuksin. Teoreettisesti tarkastellen vuorokausikohtaisen lämpimän käyttöveden lämmittämiseen tarvittaisiin 20 kWh, joka vastaisi 3 aurinkoisen tunnin aikana 7 kWp aurinkovoimalan tehovaatimusta.

Toisessa vaihtoehtoisessa kytkentätavassa aurinkopaneelien tuottama sähköenergia voitaisiin kytkeä osaksi myyntisähköä. Laskelmien mukaan tällä saavutettaisiin vuosittain vajaan 500 euron säästöt. Investointiin nähden pelkästään tämä kytkentätapa ei ole järkevä. Pelkästään lämmityskustannusten jakautumisen osalta saavutettaisiin vain 3 % osuus (ks. kuva 37) eli suhteessa suoraan energiantuottoon hyötysuhde olisi pieni. Päiväkotia lämmitettäisiin edelleen 97 % öljyllä.

Kuvassa 37 vasemmalla on esitetty lämmitysenergian prosentuaalinen jakautuminen lämmöntuotannossa siten että osuudet on huomioitu myös kilowattitunneissa. Teoreettisesti tarkastellen aurinkoenergian tuottama osuus kokonaislämmöntuottoon on vähäinen.

Kuva 37. Lämmityksen jakautuminen lämmöntuotannossa kuvassa vasemmalla. Kuvassa oikealla lämmityskustannusten jakautuminen.



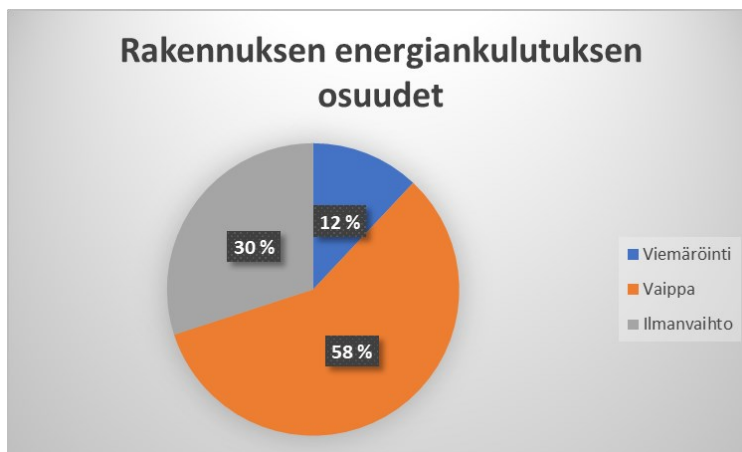
5.1.2 Lämmöntalteenottolaitteella varustetun koneellisen tulo- ja poistoilmajärjestelmän hyödyntämisen vaikutus ostoenergian kulutukseen

Nykyinen ilmanvaihtokone on alkuperäinen ja ollut käytössä vuodesta 1986 lähtien. Sen laskennallinen maksimihyöty poistolämmön talteenoton osalla on (Ika-air Oy:n mukaan) noin 40 % edellyttäen ilmanvaihdon säätöjen olevan kunnossa.

Yleisilmanvaihto on mitoitettu -10 °C ($0,822\text{ m}^3/\text{s}$) ja $+24\text{ °C}$ ($0,41\text{ m}^3/\text{s}$) välille, jossa poistuvan jäteilman lämpötila on noin $+10$ astetta Celsiusta. LTO toimii siten että 22 asteinen lämmin poistoilma johdetaan nestekiertoiseen lämmönsiirtimeen ennen ulospuhallusta. Tästä saadulla lämpöenergialla esilämmitetään tuloilmaa siten että esilämmityspiiriin on liitetty myös kattilalta tuleva lämmin käyttövesi. Ilmanvaihtojärjestelmä on kiinteä ja mitoitettu jo rakennusvaiheessa rakennuksen tilavuutta vastaavaksi kokonaisuudeksi.

Hybridilämmitysmuodon tarkastelun kannalta järjestelmää ei voi rakenneteknisesti optimoida vaan sen toimintaa voidaan optimoida ainoastaan puhallintehoa säätämällä. Tältä osin vaikutuksia ostoenergian kulutukseen voidaan tarkastella ilmanvaihdon tarpeenmukaisesta säädöstä kuormituksen mukaan, ts. tehostamisesta rakennuksen käytön aikana sekä säätämällä kesällä poistoilman LTO:n ohitus ja tuloilman lämmityksen asetukset mahdollisimman alhaiselle tasolle. Ilmanvaihdolla on merkittävä osuus rakennuksen energiakulutuksen kokonaisuudesta, ks. kuva 38.

Kuva 38. Rakennuksen energiakulutuksen osuudet. Vaippa vie 58 % kokonaisenergiasta.



Ilmanvaihdon osuus rakennuksen energiakulutuksesta on noin 30 %. Lämmöntalteenotolla ei voida tuottaa lisäenergiaa mutta sillä voidaan merkittävästi säästää ostoenergiaa optimoimalla ilmanvaihdon säädöt oikein. Tarkkaa euromäärää ei tässä tapauksessa kyetä laskemaan.

5.1.3 Maalämmön hyödyntämisen vaikutus ostoenergian kulutukseen

Maalämpö on tutkituista hybridilämmöntuottotavoista tehokkaimpia ratkaisuja kokonaisenergiatuotannon kannalta. Sen kustannustehokkuuden hyötysuhdetta leikkaa korkeahko alkuinvestointi mutta toisaalta takaisinmaksuaika on kilpailukykyinen suhteessa muihin lämpöpumppuratkaisuihin. Rajoittavin tekijä maalämmön osalla on keruupiirien ja lämpökaivojen lukumäärä sekä niiden tarvitsema tekniikka, joka vaatii aina lisätilaa lämmönjakohuoneeseen. Laite-esimerkkinä AW ALTERRA maalämpöpumppujärjestelmä, jossa tehon vaatiman mitoituksena 3 kpl AW 262 H3 maalämpöpumppua. Näiden yhteyteen kytketään puskurivaraaja, joka varustetaan 3 x 9kW:n sähkövastuksilla.

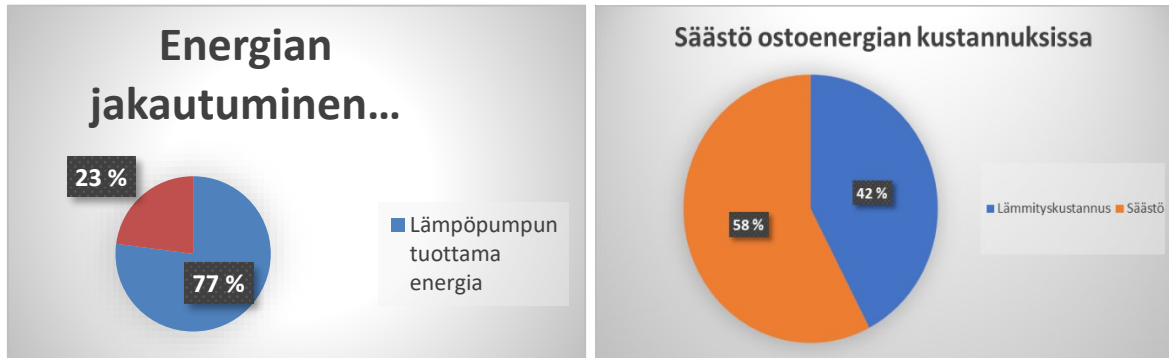
Päiväkoti Kakkospesän osalla lämpökaivojen lukumäärä olisi 5 kpl ja suurin poraussyvyys 230 m, josta kaivon aktiivisyvyys olisi 100 m.

Kuvassa 39 on vasemmalla esitetty energian jakautuminen lämmöntuotannossa. Tässä kytkentätavassa lämpöpumpulla kyetään tuottamaan 77 % lämmitysenergiasta.

Maalämpöpumpun tekniikka suosii yhtenäistä hybridivaraajaa, johon keruupiirien lämpö voidaan varastoida. Arvioitu vuosittainen sähköenergiankulutus on 68 452 kWh eli reilu neljäsosa maalämpöpumpun kokonaisenergiantuotannosta. Lämpöpumpun sähkönkulutus ei tällä mitoituksella vaadi lämmitykseen lisäsähköä.

Kuvassa 39 on oikealla esitetty saavutettava säästö ostoenergian suhteen, joka on 58 % ostoenergian kokonaishinnasta. Verrattuna nykykustannuksiin maalämpöpumpulla kyetään leikkaamaan yli puolet lämmitysenergian kustannuksista. Tämä edellyttää kuitenkin ostosähkön lisäämistä nykyisestä. Vuosittaista säästöä syntyy 9073 euroa. Ostoenergian osuus on 6671 euroa.

Kuva 39. Vasemmalla energian prosentuaalinen jakautuminen lämmöntuotannossa. Oikealla säästö ostoenergian kustannuksissa.



5.1.4 Ilma-vesilämpöpumpun hyödyntäminen ostoenergian kulutukseen

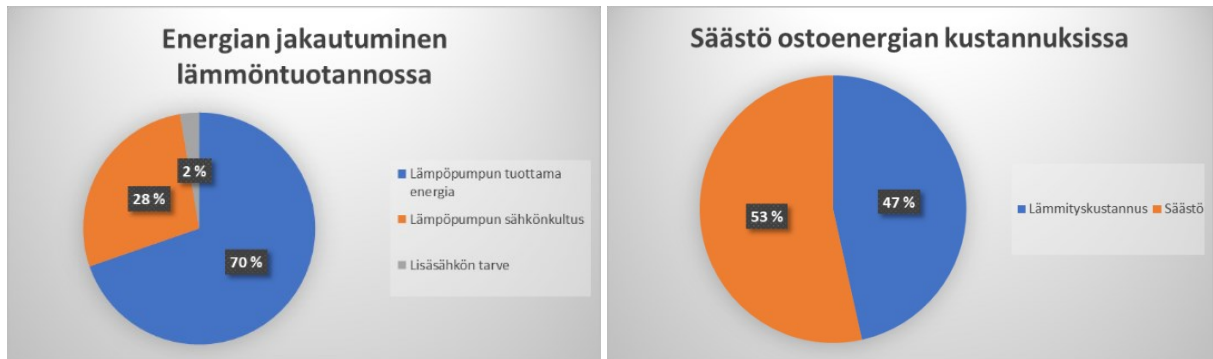
Tässä hybridienergiamallissa lämmöntuotto on integroitu osaksi rakennuksen valmista toisiopiiriä ts. vesikiertoista patterilämmitystä. Lämpimän käyttöveden ja patteriverkoston vesi voidaan lämmittää lähes saman lämpöiseksi. Tämän ratkaisun vahvuuksina on hyvä hyötysuhde sekä pienet investointikustannukset suhteessa laitteistovaatimukseen. Ilma-vesilämpöpumpulla voidaan hoitaa koko talon lämmitystarve ja se voidaan asentaa jo olemassa olevaan tekniseen tilaan. Laitteiston teho kattaa itsessään rakennuksen päälämmitysmuodon mutta tarvitsee rinnalleen täysitehoiseksi mitoitettun lisälämmitysmuodon joka tässä kytkentätapauksessa, on hoidettu sähkövastuksilla. Laitte-esimerkkinä on 2xSHW230 ilma-vesilämpöpumpua kytkettynä sähkövastuksin päiväkodin toisiopiiriin.

Ilma-vesi lämpöpumpulla kyetään tuottamaan kustannusvapaasti 70 % rakennuksen tarvitsemasta lämmitysenergiasta. 28 % lämpöpumpun tuottamasta kokonaisenergiasta tehdään sähköllä ja ostosähköä tuotettu lisäenergia on 2 % suuruusluokkaa. Tämä on kohtuullinen arvio.

Verrattuna nykykustannuksiin ilma-vesilämpöpumpulla kyetään leikkaamaan yli puolet lämmitysenergian kustannuksista. Tämä edellyttää noin 2 % ostosähkön lisäämistä. Arvio on kohtuullinen mutta riippuu vuoden pakkaspäivistä. Vuosittaista säästöä syntyy 8 393,00 euroa. Ostoenergian osuus on 7 300,00 € euroa. Kuvassa 40 on esitetty lämpöpumpun

tuoman energian prosentuaalinen jakautuminen (vasemmalla) kokonaislämmöntuotannossa ja oikealla sen tuoma prosentuaalinen säästö, joka on 53 % ostoenergian kustannuksista.

Kuva 40. Energian jakautuminen lämmöntuotannossa. Oikealla energian jakautuminen lämmöntuotannossa. Vasemmalla Ilma-vesilämpöpumpun tuoma säästö ostoenergiaan.



5.1.5 Ilma-vesi lämpöpumppu johon öljylämmitys on kytketty osaksi lisälämmitystä

Tässä kytkentätapauksessa hybridienergialämmitysmuotona on käytetty ilma-vesilämpöpumppua, jonka rinnalle on kytketty öljylämmitys. Etuna tässä kytkentätavassa on se, että varalämmitysmuoto on jo valmiiksi mitoitettu täysitehoiseksi eikä vaadi sen osalta modernisointia. Erillistä ostosähkön lisäystä ei siis tarvita. Laite-esimerkkinä NIBE F2120 ilma-vesilämpöpumppu, jonka ohjeessa ilmoitettu hyötysuhde on 92 %.

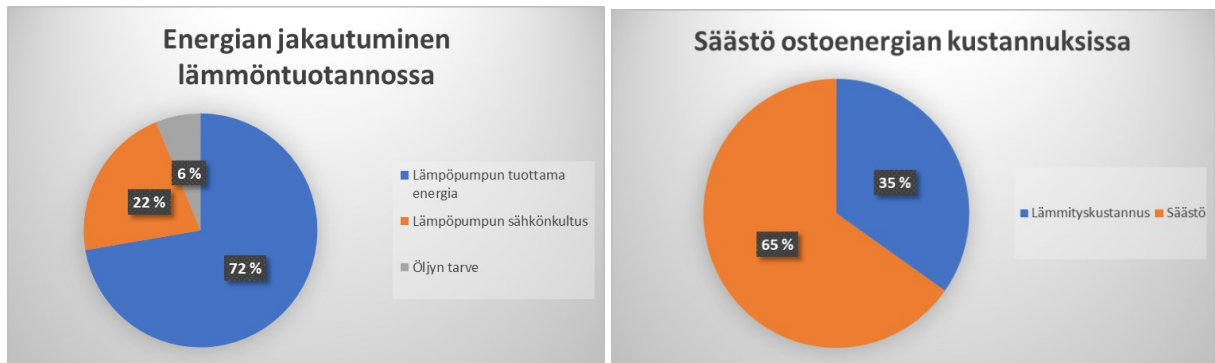
Öljylämmityksen rinnalle kytketyssä järjestelmässä voidaan ilma-vesilämpöpumpun tarvitsema lisäenergia korvata öljyllä. Öljyn tarve vuositasolla on noin 162 litraa.

Verrattuna nykykustannuksiin öljylämmityksen yhteyteen asennetulla ilma-vesilämpöpumpulla kyetään leikkaamaan 65 % lämmitysenergian kokonaiskustannuksista. Arvio on kohtuullinen riippuen vuoden pakkaspäivistä. Vuosittaista säästöä syntyy 10270 euroa. Ostoenergian osuus on 5473,00 € euroa. Tämä kytkentätapa on kaikkein kustannustehokkain lämmöntuottoratkaisu.

Kuvassa 41 (oikealla) on esitetty ostoenergiassa saavutettava säästö nykykustannuksiin verrattuna, säästöä kyetään saamaan 65 % eli reilusti yli puolet. Vastaavasti kuvassa

vasemmalla havaitaan lämpöpumpun tuottaman energian osuuden olevan 72 % kokonaislämmöntuotannossa.

Kuva 41. Vasemmalla kuvassa energian prosentuaalinen jakautuminen lämmöntuotannossa. Oikealla saavutettu prosentuaalinen säästö ostoenergian kustannuksissa.



5.1.6 Lämpökontti lähilämmön tuotantotapana

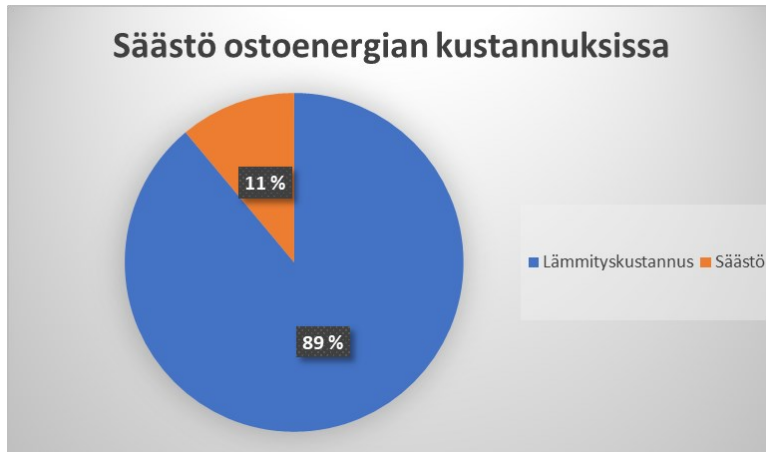
Tässä kytkentätavassa rakennuksen 100 % tarvitsema lämmitysenergia siirretään rakennukseen sen lähelle tuodusta lämpökontissa pellettienergian avulla, tämä kytkentätapa mahdollistaa täysin öljyvapaan lämmitysratkaisun. Energiakontin toimittaja vastaa kontin käytöstä, huollosta sekä polttoaineesta. Lämpökontin kustannustehokkuuteen vaikuttaa paljon sopimusperusteiset hinnoittelut, joihin liittyy käyttökustannusten lisäksi mm. lähilämmön tuottamisen kokonaispalvelut sekä liittymän koko, joka on arvioitu olevan 55 kW liittymistehona.

Lähilämmön liittymismaksu osana lämmöntuottoinvestointia laskee sen kustannustehokkuutta vaihtoehtoisena kytkentätapana. Ostoenergian hinta on kuitenkin kilpailukykyinen muiden fossiilista polttoainetta käyttävien energiantuottotapojen kanssa ja lähilämmön tuoma säästö (ks. kuva 42) ostoenergian suhteen on 11 % lämmitykseen käytettävästä kokonaisenergiasta.

Lämpökontissa on kyse lauhdutustekniikkaa hyödyntävästä pellettikattilasta, jonka ansiosta kattilan hyötysuhde on jopa 107 %. Lauhdutustekniikka saa aikaan savukaasujen puhdistuksen - päästöt ovat siten huomattavasti vaadittuja rajoja pienemmät.

Kokonaishyötysuhde lämmönvaihtimelle asti putkistohäviöt huomioiden on luokkaa 95–97 % eli tämä kytkentätapa olisi hyötysuhteeltaan paras. Liittymismaksu sekä ostoenergian hinta laskevat kuitenkin investoinnin kustannustehokkuutta. Verrattuna nykyisiin kustannuksiin vuosittaista säästöä syntyy ostoenergian osalla 1744 euroa. Ostoenergian kokonaiskustannukset ovat noin 14000 euroa.

Kuva 42. Lähilämpöratkaisun tuoma säästö ostoenergiaan.



5.1.7 Yhteenveto hybridienergiamallien vertailusta

Päiväkoti Kakkospesän lämmitys on tuotettu öljyenergialla, jossa patteriverkoston vesi, automatisoitu lämpimän käyttöveden sekoitus sekä tuloilman esilämmitys ovat toteutettu samalla 700 litran varaajalla. Hybridienergiamallien vertailu on perustunut öljylämmitysmuodon kanssa parhaiten sopiviin lämmitysjärjestelmiin sekä vertailun vuoksi myös öljylämmityksen kokonaan korvaaviin lämmitysjärjestelmiin. Pääpaino eri kytkentätavoissa on ollut nykyaikaisissa lämpöpumpputekniikoissa.

Energiataloudellisesti öljylämmityksen jatkamisen puolesta puhuu nykyisen lämmöntuoton korkea hyötysuhde, jota tässä tapauksessa tuotetaan puhtaasti öljyllä ilman sähköenergiaa tai lisäsähköä. Kustannustaloudellisesti tällä on iso merkitys, kun öljyenergian käyttöä verrataan niihin muihin lämmöntuottotapoihin, joiden tarvitsema lisäenergia joudutaan tuottamaan sähköllä kylmimpään vuodenaikaan.

Vaihtoehtoisina lämmitysmuotoina on tarkasteltu aurinkovoimalan käyttöä osana hybridienergiamallia. Sen käyttö rajautuu kuitenkin kesäkuukausille ja suhteessa investointeihin niistä saatava hyöty on marginaalinen. Aurinkoenergia ei ole kovin vertailukelpoinen nykyisen lämmitysenergian tuottotapaan sekä teknisesti hankala integroida osaksi päälämmitysjärjestelmää. Investoinnin takaisinmaksuajat ovat myös pitkiä suhteessa saavutettuun säästöön.

Tarkasteltujen hybridienergiamallien rinnalle vaaditaan lisä- tai varalämpöjärjestelmä, joka on oltava täysitehoinen. Normaalisti tämä tuotettaisiin lisäsähköä erillisillä sähkövastuksilla mutta tässä tapauksessa päiväkodissa oleva nykyinen järjestelmä on ehdottomastiärkevin ratkaisu minkä tahansa valitun hybridilämmitysmuodon rinnalle.

Suurin rajaava tekijä eri lämmitysmuotojen vertailussa ovat olleet tekniset rajaukset. Toisena tekijänä on ollut investointien suhde saavutettuun säästöön. Nykyisen öljynhinnan sekä sähköenergian nousun osalta lämpöpumpputekniikkaan sidottujen hybridienergiamuotojen investointien takaisinmaksuajat ovat alle 5 vuotta. Useilla laitetoimittajilla on myös käytössä palvelusopimusperustainen hinnoittelu, jossa vuosittainen kustannussäästö alkaa heti sopimusvuonna. Tässä opinnäytetyössä on selvyyden vuoksi keskitytty tarkastelemaan investoinnin arvoa suoran takaisinmaksuajan pohjalta.

Vertailun perusteella maalämpöpumpun ja ilmalämpöpumpun investointikustannukset sekä saavutettu säästö lämmitysenergiassa menevät likimain tasan.

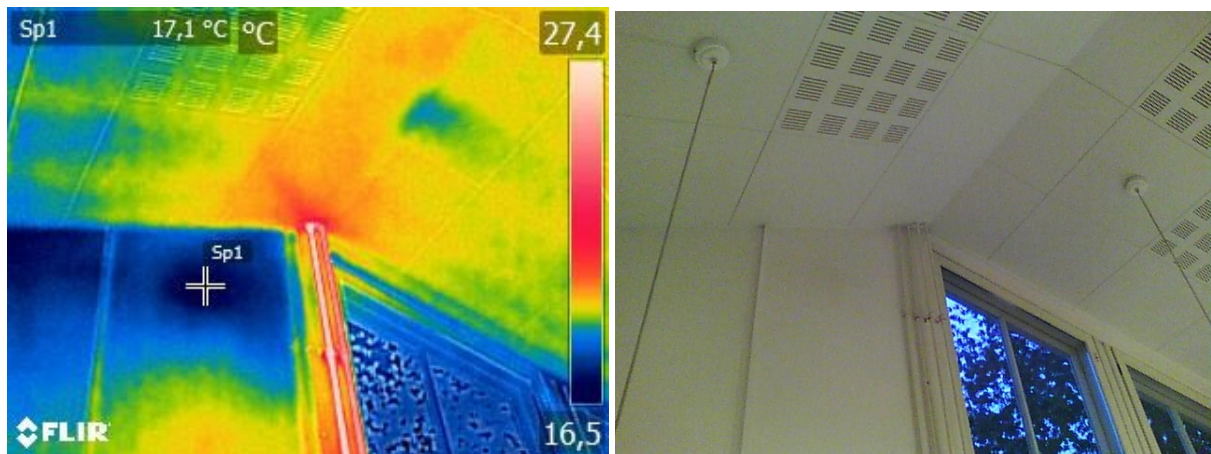
Päiväkodin hybridienergiälämmitysmuodoksi voidaan suositella ilma-vesilämpöpumppua, joka kytketään nykyisen öljykäyttöisen järjestelmän kanssa rinnan. Öljyjärjestelmä toimii varajärjestelmänä sekä tasaa energiapiikkejä.

5.2 Rakenteiden lämpötalous

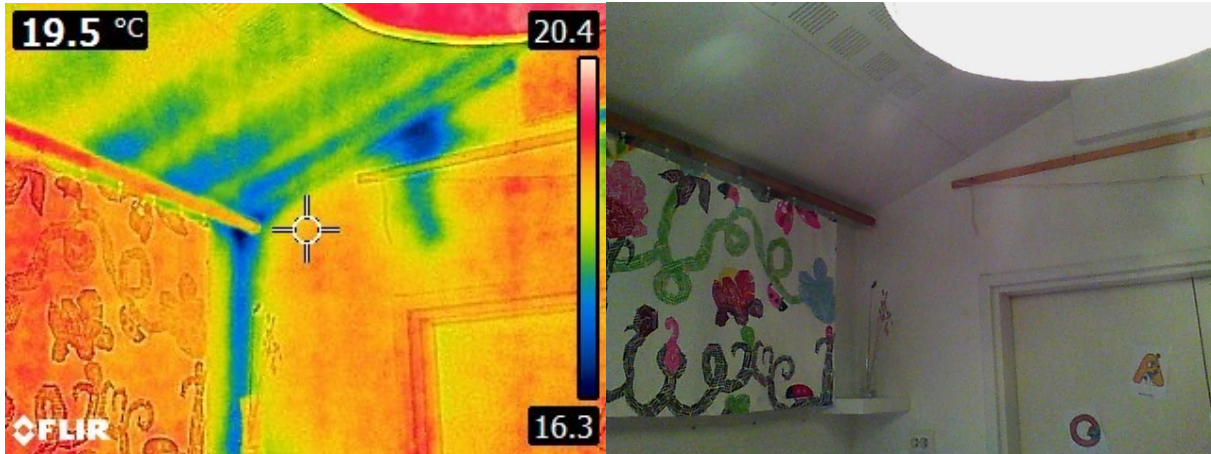
5.2.1 Lämpökuvaus vaipparakenteista

Kuvaus on tehty koko vaipan alalle ja rakennuksen alipaineiselta (-8 Pascal) puolelta ulkoilman lämpötilan ollessa -4 °C. Koska kuvaus on tehty sisätiloista käsin mahdolliset kylmäsilat sekä eristepoikkeamat tulevat esille. Lämpökuvia tulkitaan yleisellä tasolla ja suoraan kuvatekstien yhteyteen. Rakennuksessa on lämpökuvien perusteella havaittu seuraavia haasteita:

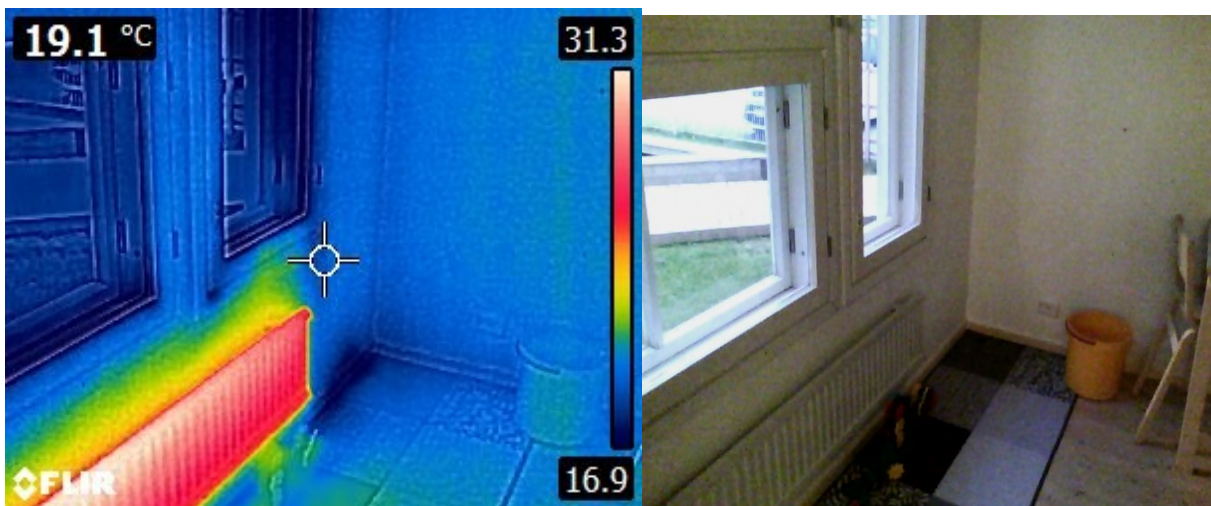
Kuva 43. Seinärakenteen 150 mm vahvuinen eristeosa toimii osittaisena kylmäsilhana.



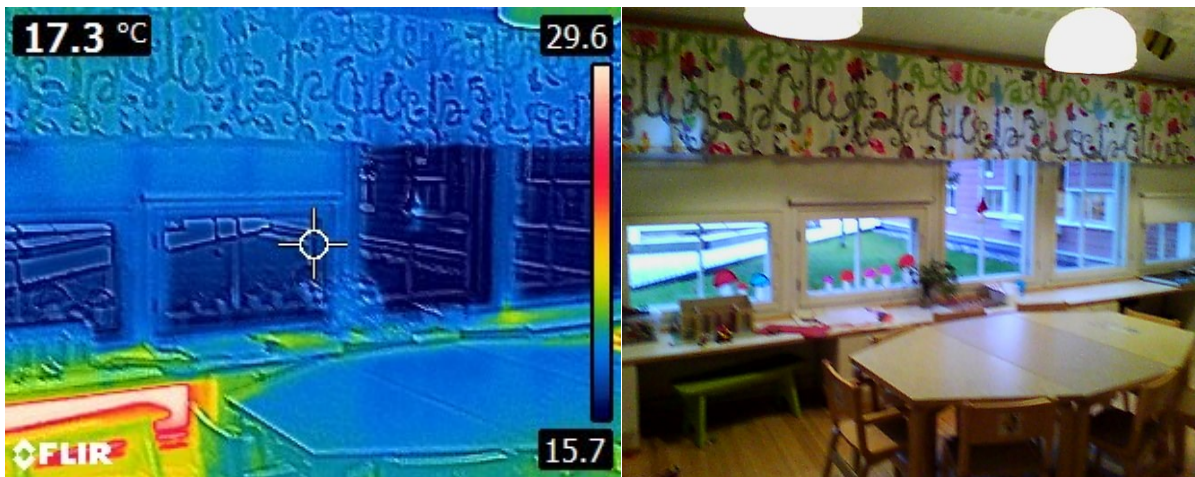
Kuva 44. Kattorakenteen koolaukset sekä liittyminen seinärakenteeseen näkyvät hyvin lämpökuvassa. Alipaineen ansiosta kylmäsiltaa pääsee muodostumaan kattorakenteisiin. Suositellaan tarkistamaan ilmastointikoneen tuloilmafilterit. Ne ovat todennäköisesti tukossa.



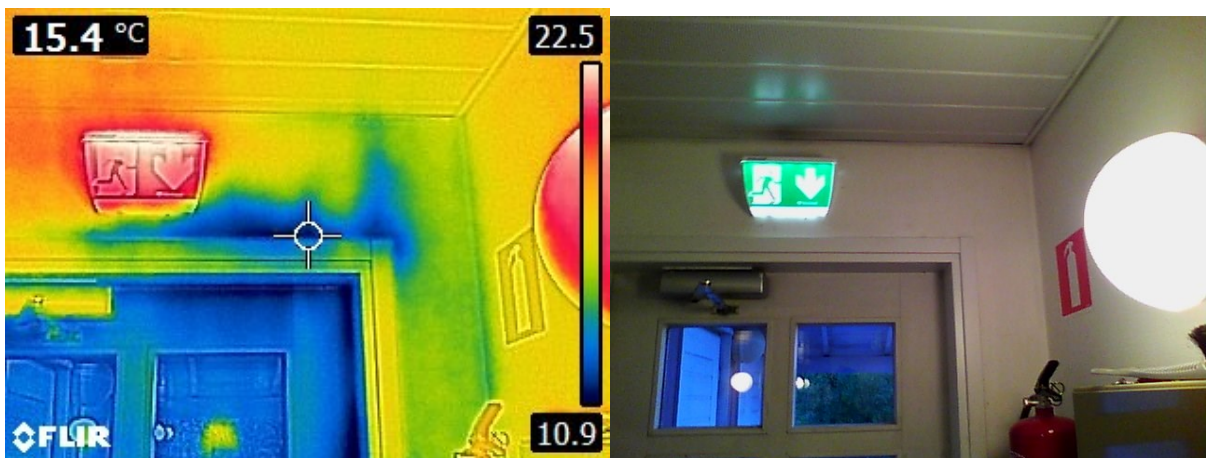
Kuva 45. Rakennuksen ikkunoiden karmileveydet ovat mitoitettu saman levyiseksi rakennuksen runkopuiden kanssa ts. ikkunaelementit jatkavat hyvin seinän lämpörakennetta. Lämpökuvauksessa ei saatu havaintoa ikkunoiden eristepoikkeamista tai poikkeuksellisista kylmän ilman konvektioista ikkunan karmeissa.



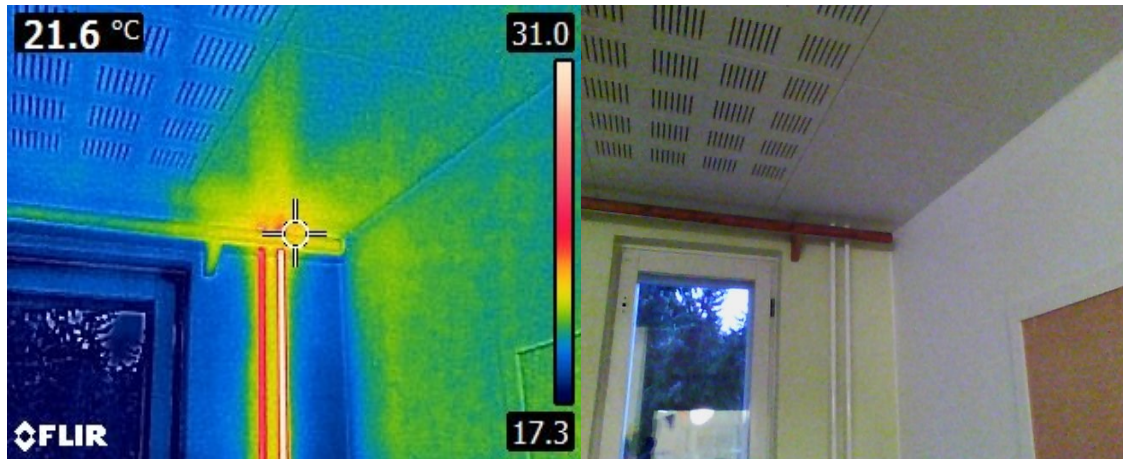
Kuva 46. Ikkunaelementin karmirakenne.



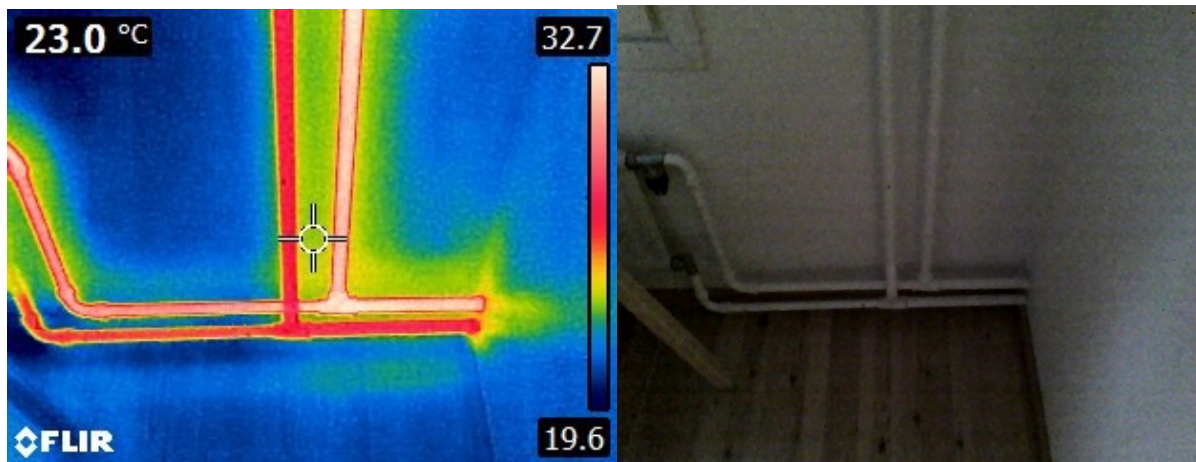
Kuva 47. Sisäänkäynnin oven yläkarmissa on havaittavissa eristevikaa. Rakennusosan käyttötarkoitus huomioiden ongelma on marginaalinen.



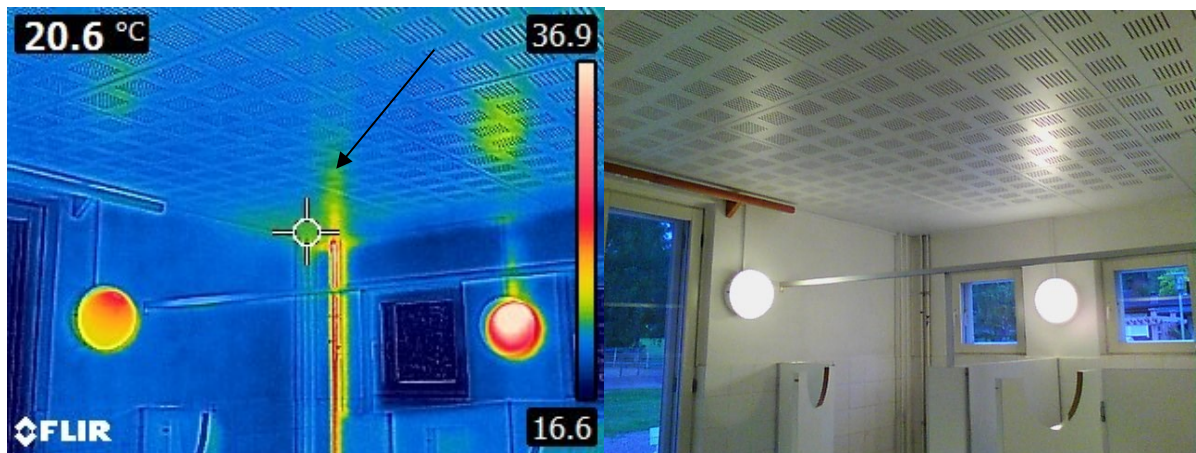
Kuva 48. Toisiopiiri havaittiin toimivaksi ja mm. lämpöpatterien osalla lämpötilagradientti oli tasainen. Energiataloudellisesti lämpöputket sekä osa käyttövesiputkista kulkevat rakenteiden ulkopuolella ilman eristämistä; lämpökuvien perusteella lämpöä johtuu jonkin verran rakenteisiin hukkalämpönä.



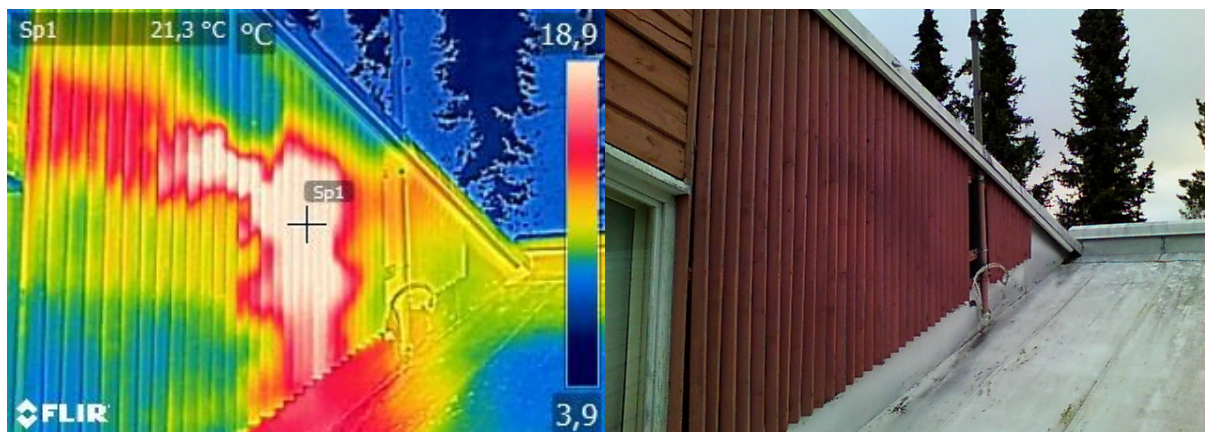
Kuva 49. Lämpöputkien osalla havaittavissa lämmön johtumista rakenteisiin.



Kuva 50. Lämpöputkien osalla havaittavissa lämmön johtumista rakenteisiin.



Kuva 51. Ilmanvaihdon osalla poistoilmanvaihdon lämpötila oli mittaushetkellä 21,2 ° C eikä poistoilmanvaihdon sisältämää lämpöä saada hyödynnettyä täysimääräisesti.



5.2.2 Energiatodistus

Energiatodistus on annettu liitteessä 2.

Nykyinen energiatehokkuusluokka on G vuoden 2018 määräysten mukaan laadittuna. Laskennassa on käytetty hyväksi laskentapalvelu.fi portaalia ja energiatodistuksen laskentaan soveltuvia työkaluja.

Laskelmassa käytetty E-luvun luokitteluasteikko on kohdennettu opetusrakennuksille ja päiväkodeille. Laskennassa on huomioitu rakennuksen vaipan pinta-ala, rakenteiden eristepaksuudet ja U-arvot, ikkunapinta-ala, kokonaisenergiankulutus, lämmöntuottotapa sekä tehty energiataselaskelma eri energiamuotokertoimet huomioiden.

Laskelman perusteella sähkön (kiinteistösähkö) sekä öljyn perusteella laskettu energiatehokkuuden vertailuluvuksi (E-luku) on saatu $694 \text{ kWh}_E / \text{m}^2$ vuosi.

Energialuokkaa kyetään nostamaan luokaan F suoraan kaukolämpöön siirtymällä tai kytketyllä lisäsähköllä toimivaan ilma-vesilämpöpumppu järjestelmään. Tämä johtuu näiden energiamuotojen tehokkaasta energiankeruusta.

Rakennuksen vaipan lisäeristämällä ei ole vaikutusta energialuokkaan. Lisäeristyksen tuoma kokonaisenergian säästö on vähäinen suhteessa laskettuun energiatehokkuusluokkaan.

5.3 Kustannusvertailu

5.3.1 Lämmityskustannusten vertailu eri lämmöntuottotavoilla

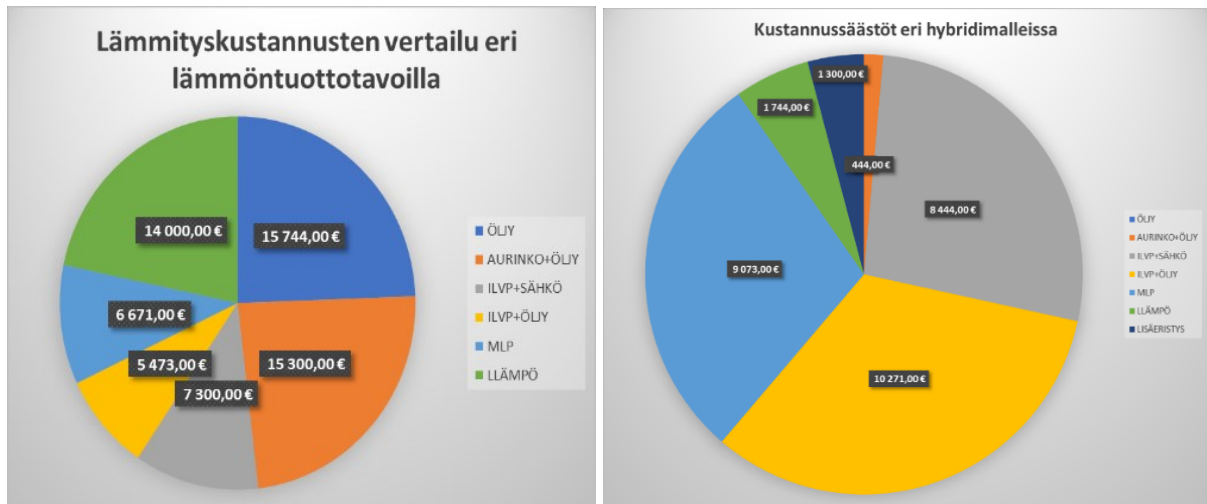
Lämmitysjärjestelmän optimointitarkastelussa on käytetty hyväksi Ikaalisten kaupungilta saatuja viimeisimpiä tietoja ostoenergian hinnasta. Laskelmissa käytetään vuoden 2019 ja 2020 tiedossa olevia kiinteistön lämmönkulutustietoja koko vuodelta. Vuosien 2019–2020 säätiedot on saatu ilmatieteen laitokselta (Ilmatieteen laitos, 2021). Vaipan energiahäviöiden osalta ostoenergian kulutusta on verrattu öljyenergian taulukoituun ostoenergian hintaan.

Kiinteistösähkön osalla energian hintaan on lisätty siirtomaksut sekä perusmaksut. Kaikki laskelmissa annetut hinnat ovat alv 0 %. Öljyenergian litrahintana on käytetty 0,78872 € / l ja sähköenergian hintana 3,9289 cent / kWh. Rakennuksen lämmitykseen kuluva vuosittainen kokonaisenergia on laskettu 20 m³ öljymäärästä, joka vastaa 205100 kWh energiankulutusta.

Lämmityskustannusten vertailun perusteella edullisin lämmöntuottotapa saavutettaisiin ilmavesi-lämpöpumpun ja öljylämmityksen hybridienegiamuodolla, jossa päästäisiin 5473 euron ostoenergiaan vuositason tasolla. Maalämmön lämmityskustannukset olisivat noin 1100 euroa kalliimmat muodostaen vuositason tasolla 6671 euron ostoenergian hinnan. Nämä lämmitysmuodot ovat lämmityskustannusten vertailussa edullisimmat lämmöntuottotavat. Öljyn ja aurinkosähkön hybridimuodolla saavutettaisiin 444 euron vuosittainen säästö nykyiseen verrattuna, ostoenergian hinta olisi tässä mallissa vuositason tasolla 15 300 euroa. Lähilämmöllä tuotetussa energiassa säästöä nykyiseen tulisi vuositason tasolla vain 1744 euroa.

Kuvassa 52 on esitetty eri lämmöntuottotapojen lämmityskustannuksia sekä näiden tuomat euromääräiset kustannussäästöt. Kuvassa vasemmalla voidaan havaita, että edullisin hybridienegiamalli on ILVP (ilma-vesilämpöpumppu) + öljyn yhteiskäyttö. Kuvassa oikealla voidaan havaita, että säästöä lämmityskustannuksissa voidaan saavuttaa vuositason tasolla tätä mallia käyttämällä 10 271 euroa.

Kuva 52. Lämmityskustannusten vertailu eri hybridienergiamalleilla.



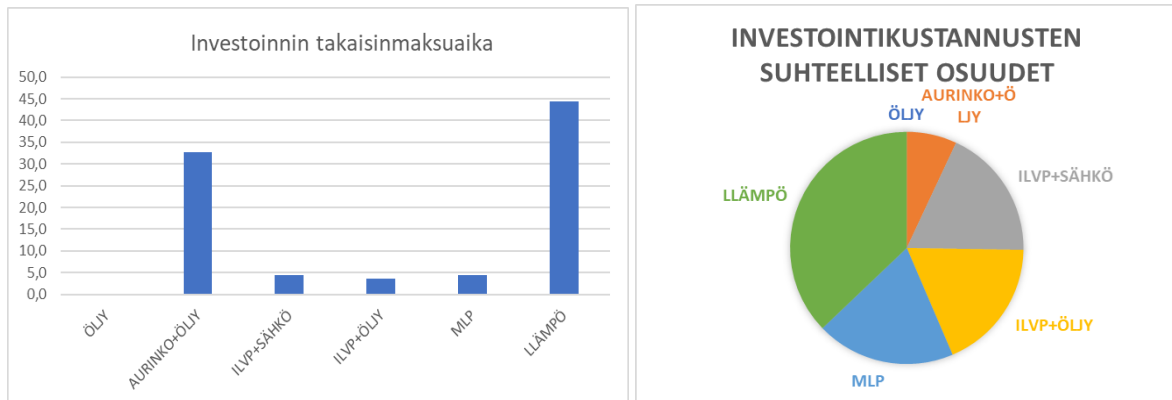
5.3.2 Investointikustannusten osuudet sekä takaisinmaksuajat

Investointikustannukset kaikille hybridienergiamalleille on laskettu vähintään 25 vuoden elinkaarelle sisältäen normaalit vuosittaiset laitehuollot.

Investointikustannuksiltaan edullisin vaihtoehto olisi aurinkovoimalan lisäksi öljylämmityksen rinnalle. Kustannustehokkuudeltaan tämä olisi myös kaikkein heikoin hybridienergiamalli. Kallein investointikustannus olisi lähilämmössä johtuen sen korkeasta liittymismaksusta.

Kustannustehokkain investointi olisi öljylämmityksen rinnalle kytketyssä ilmavesi-lämpöpumpussa, jonka kertainvestoinnin arvo on 38 200 euroa ja suora takaisinmaksuaika 3,7 vuotta. Hyvin lähelle tätä päästään myös maalämmössä, jossa investointikustannus on 40 200 euroa ja suora takaisinmaksuaika 4,4 vuotta. Kuvassa 53 vasemmalla on esitetty koottuna eri hybridienergiamallien investointien takaisinmaksuajat, oikealla keskenään suhteelliset osuudet. Lyhyin investoinnin takaisinmaksuaika saavutetaan ILVP + öljyn laitteistohankinnoissa. Pelkillä investointikustannuksilla aurinkovoimala olisi edullisin vaihtoehto.

Kuva 53. Investoinnin takaisinmaksuaika sekä suhteelliset osuudet.



Taulukossa 6 on summattu yhteenvetona eri hybridienergiamallien kustannusjakaamaa, kokonaissästöjä sekä hiilidioksidipäästöjä. Vihreintä hybridienergiaa tarjoaa luonnollisesti maalämpö.

Taulukko 6. Hybridienergiamuotojen kustannusjakaumat.

Lämmitys muoto	Investointi kustannukset	Lämmitys kustannukset	Kustannussäästö lämmityksessä	Prosentuaalinen säästö	Laiteinvestoinnin takaisinmaksuaika	CO ₂ päästöt vuodessa
ÖLJY	- €	15 744,00 €	- €	0 %	0,0	55 377 kg
AURINKO+ÖLJY	14 500,00 €	15 300,00 €	444,00 €	3 %	32,7	53 957 kg
ILVP+SÄHKÖ	38 200,00 €	7 300,00 €	8 444,00 €	54 %	4,5	8397 kg
ILVP+ÖLJY	38 200,00 €	5 473,00 €	10 271,00 €	65 %	3,7	35977 kg
MLP	40 200,00 €	6 671,00 €	9 073,00 €	58 %	4,4	8477 kg
LLÄMPÖ	77 500,00 €	14 000,00 €	1 744,00 €	11 %	44,4	9636kg
LISÄERISTYS			1 300,00 €	8 %		50946 kg

5.3.3 Ostoenergian vähentäminen vaipparakenteen lisäeristämällä

Rakennuksen ostoenergian vähentämistä korjaustoimenpiteillä on tarkasteltu seinärakenteiden sekä kattorakenteiden lisäeristysten kautta. Taulukkoarvot ovat liitteessä 7.

Vuoden 2021 vaatimustason täyttävien U arvojen osalta vaadittaisiin seinille vähintään 100 mm lisäeristys sekä kattorakenteen osalle vähintään 200 mm lisäeristys.

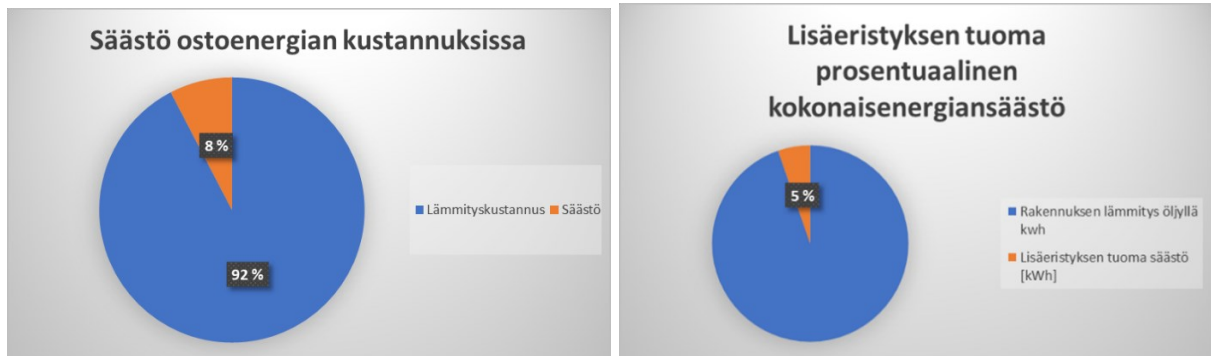
Lisäeristysten tuoma kokonaissästäö lämmityskuluihin on 1300 euroa vuodessa, joka vastaa 10,9 MWh:n energiankulutusta vuositasolla. Tällä saavutetaan prosentuaalisesti 5 % säästö kokonaisenergiasta (ks. kuva 54).

Kuva 54. Lisäeristysten tuomaprosentuaalinen kokonaisenergiesäästö (kWh).



Arvioitaessa lisäeristysten tuomaa säästöä lämmityksen kokonaisenergiaan voidaan vaippaa lisäeristämällä saavuttaa 5 % säästö. Kuvassa 55 on esitetty graafisesti prosentuaaliset säästöt liittyen lämmityskustannuksiin sekä vaipan kokonaisenergiaan.

Kuva 55. Kuvassa vasemmalla säästö ostoenergian kustannuksissa. Kuvassa oikealla lisäeristyksellä saavutettava kokonaisenergiänsäästö.



5.3.4 Ostoenergian käytön vähentäminen fossiilivapaita energialähteitä hyödyntämällä

Tarkastelun osalla mahdollisia käyttöön soveltuvia fossiilivapaita energiamuotoja ovat aurinkoenergia sekä lämpöpumput. Lähilämmön osalla energia tuotetaan pelleteillä (Leppäkosken Lämpö Oy, Suhonen) joten se ei täysin sovellu fossiilivapaaksi energialähteeksi mutta sertifiointin kautta sitä saa hiilivapaaksi kompensoituna energiamuotona.

Vaihtoehtoisista fossiilivapaita energialähteistä sopivin päälämmönjärjestelmä on ilmalämpöpumpputekniikkaan perustuva lämmöntuottojärjestelmä, jonka rinnalle on jätetty nykyinen öljylämmitys. Aurinkosähkön osalta, vaikka se olisi täysin fossiilivapaata energiaa, sen vuosittainen toiminta-aika ei riitä kattamaan päiväkodin vaatimaa lämmitysenergian lisätarvetta, mikäli sähköntuotto kytkettäisiin osaksi sen lämmityspiiriä. Edullisimmillaan aurinkosähkö olisi juuri niissä lämmitysmuodoissa, jotka ovat rakennettu suoraan sähköllä toimiviksi.

Päiväkoti kakkospesän vuotuinen (2020) sähköenergiankulutus oli 37 055 kWh ja veroton hinta ostoenergialle 3,9289 cent / kWh. Itsetuotetun aurinkoenergian myynti 14,8 kWp: n tehoisella aurinkovoimalalla tuottaa vuosittain 12,56 MWh eli myyntisähköä saataisiin verkkoyhtiöstä riippuen vuosittain 493 euron myyntivoitto – 10 % käsittelymaksu = 444 euroa / a.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä opinnäytetyössä oli tavoitteena tutkia eri lämmöntuottotapojen yhdistelmiä ja tuottaa tutkimuskohteena olevaan päiväkotirakennukseen järkevästi optimoitu lämpötaloudellinen kokonaisenergiaratkaisu. Tavoite piti sisällään vaihtoehtoisten hybridienergiamuotojen löytämisen öljylämmityksen tilalle tai sellaisen mallin yhdistelmän, jolla voitaisiin tuntuvasti vähentää nykyisiä lämmityskustannuksia. Tarkastelussa tutkittiin myös rakennuksen vaipan rakenteita ja niiden lämpötaloutta.

Opinnäytetyön tekeminen ajoittuu aikaan, jolloin pörssisähkön ja öljyenergian hinta on maassamme ennätyskorkealla. Tämä luo yleisesti korostetun tarpeen etsiä eri vaihtoehtoja kalliimmalle ostoenergialle sekä tutkia myös muita energiansäästötapoja. Opinnäytetyön tulokset osoittavat suoraan, että energianhintojen noususta hyötyvät eniten tässä työssä esitetyt ratkaisut. Voimmekin todeta, että mitä kalliimmaksi nykyinen ostoenergia käy, sitä kannattavammaksi työssä esitetyt ratkaisut muodostuvat. Rakennuksen lämmitystarpeen pienentämiseen tähtäävät investoinnit tulevat kannattavammiksi takaisinmaksuaikojen lyhentyessä. Sähkön hinnan noustessa myös sähköllä tuotetun lisälämmön kustannukset nousevat, tältä osin öljylämmityksen yhteyteen kytketyssä hybridienergiajärjestelmässä tarkasteltavaksi jää vain järjestelmän tarvitsema oma sähkönkulutus. Tässä mallissa sähköä ei käytetä lämmityksen tuottamiseen vaan sähkönkulutusta tarkastellaan kiinteistösähkön kautta. Kallistuva sähkön hinta ei siten suoraan vaikuta tuotettuun lämmitysenergiaan koska oletuksena on, että huolimatta energianhintojen yleisestä noususta, hybridienergiajärjestelmän osuus kokonaiskuluja leikkaavana järjestelmänä on aina vakio.

Työn perustana oli päiväkodin kulutustietojen pohjalta tehty kannattavuusvertailu eri energiajärjestelmien kesken. Vertailu perustui laskennallisiin tietomalleihin ja eri laitetoimittajien tarjoamiin konsultointeihin. Laskennan pohjalla oli päiväkodin aikaisemmat numeeriset kulutustiedot sekä energian hinnat, näiden perusteella laskettiin vaihtoehtoisten lämmöntuottojärjestelmien energiansäästö, kustannussäästö sekä investointien takaisinmaksuajat.

Hybridilämmitysjärjestelmistä tutkittiin aurinkovoimalan, lämpöpumppujen sekä kaukolämmön soveltuvuutta energiantuotantoon. Tarkastelussa otettiin huomioon lisäeristämisen osuus energiansäästöissä sekä fossiilisesti tuotettu energia. Työssä tarkasteltiin erityisesti lämpöpumpputekniikoiden ja öljylämmityksen yhteistä hybridienergiamuotoa sekä Leppäkosken Lämpö Oy:n tarjoamaa paikallista lähilämpöratkaisua.

Tulokset osoittivat, että päiväkotikiikakospesän käyttö - ja ylläpitokustannusten osalta kustannustehokkain hybridienergiälämmityksen muoto oli öljylämmityksen rinnalle kytketty ilma-vesilämpöpumppu. Järjestelmän investoinnin suora takaisinmaksuaika oli myös lyhin.

Kyseisen järjestelmän laskennallinen hyötysuhde oli hyvä johtuen nykyisen öljylämmityksen tuottamasta lisäenergiasta, jolla voidaan korvata lämpöpumpun tarvitseman lisäsähkön tarve. Investointikustannuksiltaan ilma-vesilämpöpumppu maksaa asennuksineen noin 38 200 euroa (alv 0 %) ja investoinnin suora takaisinmaksuaika on 3,7 vuotta. Tällä kytkentätavalla vuosittaista säästöä lämmityskustannuksissa voidaan saada 10 271 euroa sekä vähentää hiilijalanjälkeä muita järjestelmiä eniten. Laskennallisesti säästöä voidaan saavuttaa 65 % lämmityskuluissa. Tämä sijoittuu keskiarvoisesti markkinoilla toimivien suurimpien laitetoimittajien omiin laskelmiin, joissa kustannussäästöjen jakauma on annettu välille 55 % – 70 % (mm. Lämpöykkönen Oy). Havainto luo luotettavuutta opinnäytetyössä saatuja tuloksia kohtaan.

Lähilämpöratkaisun osalla sen kustannustehokkuutta laskee korkean liittymismaksun tuoma alkuinvestointi. Aurinkovoimalan osalta alkuinvestointi oli edullisin mutta kokonaisenergiantuotannon kannalta järjestelmän hyötysuhde oli vaihtoehtoista huonoin.

Tulosten pohjalta suositellaan liittämään nykyinen öljylämmitys osaksi ilma-vesilämpöpumpun pääjärjestelmää. Kohteessa kannattaa myös tehdä lämmitysenergian säästön kannalta koneellisen ilmanvaihdon tasapainotus ja huoltotyö. Huoneiston ilmanpaine oli havaintojen mukaan alipaineinen (-8 Pascal).

Rakennuksen vaipan lisäeristämällä ei nähdä olevan suurta merkitystä kokonaisenergian säästöön, joten sitä ei kustannussyistä suositella.

Rakennuksen energiatehokkuusluvuksi saatiin G. Tulevaisuudessa energiasaneerauksen painopiste on lämmitysjärjestelmän tuomassa energiansäästöissä, ei niinkään rakennuksen vaippaosassa tai ikkunarakenteissa, jotka havaittiin lämpökuvauksessa tiiviiksi. E-lukua voi parantaa laskennallisesti ainoastaan kytkemällä öljyn käytön kokonaan pois lisälämmöntuotannosta ja tuottamalla lämmitysenergian sähköllä tai kaukolämmöllä.

Johtopäätöksenä samantyylisten öljylämmitteisten rakennusten lämmitysenergian kustannustehokkuutta voi parantaa huomattavasti kytkemällä alle 600 m² rakennukset osaksi ILVP järjestelmää. Tätä suuremmat rakennukset kannattaa kytkeä suoraan maalämpöön. Investointikustannuksiltaan nämä järjestelmät ovat tässä kokoluokassa lähes saman hintaisia.

Havaittujen tulosten perusteella kuntatoimija kykenee paremmin kilpailuttamaan paikallisia energiayhtiöitä sekä tarkastelemaan kriittisemmin eri polttoaineilla tuotettuja energiainvestointeja. Tulosten antamien esimerkkien ja niissä käytettyjen menetelmien perusteella kuntatoimijalla on mahdollisuus soveltaa hybridienergiamallin käyttöä myös muussa samantyyllisessä rakennuskannassa.

LÄHTEET

Ekokumppanit Oy. (2021). Taloyhtiöneuvonta. Haettu 25.11.2021 osoitteesta

<https://taloyhtioneuvonta.fi/kaukolampo/>

Energiatehokas koti. (17.3.2020). Lämmöntalteenoton eli LTO: n perusidea.

Energiatehokas koti. (17.3.2020). Hybridilämmitys.

https://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan_suunnittelu/lammitys/hybridilammitys

Energiatehokas koti. (17.3.2020). Hybridilämmitys.

https://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan_suunnittelu/lammitys/hybridilammitys

Energiatehokkuutta ohjaavat direktiivit. Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry. 2015. Sivu 18

Energiateollisuus ry. (20.1.2020). Kaukolämmön energialähteet 2009 ja 2019. Sivu 14. Haettu 25.11.2021 osoitteesta <https://slidetodoc.com/energiavuosi-2019-kaukolmp-20-1-2020-energiateollisuus-ry/>

Energiateollisuus ry. (n. d.). Kaukolämmön päivitetty CO2-päästökehitys. Haettu 25.11.2021 osoitteesta https://energia.fi/linjaukset/hiilineutraali_energia

Energiatodistusopas. Ympäristöministeriö. (1.11.2018). Rakennuksen energiatodistus ja E-luvun määrittäminen.

Euroopan komissio, energian tukkuhinnat EU:ssa. (28.10.2021).Yle. <https://yle.fi/uutiset/3-12163790>

Helsingin kaupunki. (2020). Projektikoordinaattori Aleks Heikkilä. Monitavoiteoptimointi. Powerpoint esitys. Haettu 6.12.2021 osoitteesta https://figbc.fi/wp-content/uploads/sites/4/2020/11/IVTY_monitavoiteoptimointi.pdf

Hiilamo, Sähkön ja kaasun hintojen pelätään karkaavan käsistä. (25.9.2021). Yle.

<https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/hillinta/-/artikkeli/73fa2827-42d1-4fd7-a757-175aca58b441/rakennusten-lammitys-kuluttaa-runsaasti-energiaa.html>

https://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan_suunnittelu/ilmanvaihto/pyoriva_lammonsiirrin

https://www.stat.fi/til/asen/2019/asen_2019_2020-11-19_tie_001_fi.html

Ilmasto-opas. (19.6.2018). Rakennusten lämmitys kuluttaa runsaasti energiaa.

Ilmatieteen laitos. (18.08.2021). <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/avoin-data>

Karsimo, Saastuttamisen hinta nousee. (21.1.2021). Yle. <https://yle.fi/uutiset/3-12114686>

Kiinteistöliitto. 2017. Lämpöpumppujen hankintaopas kunnille ja taloyhtiöille.

https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput/lampopumppujen_hankintaopas_kunnille_ja_taloyhtiöille

KSS energia. " Usein kysytyt kysymykset ". <https://kssenergia.fi/usein-kysyttya>

Laki energian alkuperätakuista 1050/2021.

<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2021/20211050>

Laki rakennuksen energiatodistuksesta 18.1.2013/50

<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2013/20130050>

Lämmitysenergia ry. (n. d.). Öljy on tehokasta energiaa. Haettu 25.11.2021 osoitteesta

<https://oljylammitys.fi/energiatehokkuus/oljy-on-tehokasta-energiaa/>

Lämpöykkönen Oy. (n. d.). Verkkajulkaisu. Energiatehokkuuspalvelut.

<https://mail.google.com/mail/u/1/#search/kimmo.pikkarainen%40lampoykkonen.fi/KtbxLvHcMPLTFZnfvvXSfgsJvGRWTjiniB?projector=1&messagePartId=0.3>

Motiva. (2018). Kaukolämpö.

https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/kaukolampo

Motiva. (2021a). Energian kokonaiskulutuksen osuudet Suomessa energialähteittäin vuonna 2020. Suomen virallinen tilasto (SVT): Energian hankinta ja kulutus [verkkajulkaisu].

ISSN=1799-795X. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 20.4.2021]. Saantitapa:

<http://www.stat.fi/til/ehk/tau.html>

Motiva. (2021b). Energian kokonaiskulutus Suomessa energialähteittäin vuonna 2020.

Suomen virallinen tilasto (SVT): Energian hankinta ja kulutus [verkkajulkaisu]. ISSN=1799-795X. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 20.4.2021]. Saantitapa:

<http://www.stat.fi/til/ehk/tau.html>

Mr.LVI Oy. (n. d.). Aurinkosähköjärjestelmät. Haettu 6.12.2021 osoitteesta

<https://www.varaaja.com/index.php/aurinkosahko>

Oma Watti. (n. d.). Aurinkojärjestelmät. <https://omawatti.fi/palvelut/>

Pientalorakentamisen kehittämiskeskus ry, PRKK. Motiva. Lämmitysjärjestelmien markkinaosuus uusissa omakotitaloissa vuosina 2006-2018.

https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta

Poratek Oy. (n. d.). Energiakaivot, lämpökaivon rakenne. Haettu 25.11.2021 osoitteesta

<https://www.poratek.fi/energiakaivot/>

Rakennusteollisuus RT ry. (26.9.2016). Tiedotteet1. Haettu osoitteesta

<https://www.rakennusteollisuus.fi/Ajankohtaista/Tiedotteet1/2016/nyt-on-aika-kytkea-lto-paalle/>

Rane. (2021). Rakentamisen ja asumisen energianeuvonta. <https://taloyhtioneuvonta.fi/>

RT 103083. 2019. Päiväkotien suunnittelu. Ohjeita rakennuttajalle. RT-ohjekortti.

Rakennustieto.

RT 14-11239. 20199. (Rakennustieto, Kortistot, Rakennuksen lämpökuvaus)

Savinainen, M. (13.6.2021). Aurinkosähköä kotiin -webinaari. Haettu 7.12.2021 osoitteesta

<https://www.youtube.com/watch?v=4LSe2gMG4Ms>

Scanoffice. (n. d.). ”Miten ilmavesilämpöpumppu toimii?” . Haettu 25.11.2021 osoitteesta

<https://www.scanoffice.fi/tuoteryhma/ilma-vesilampopumput/>

Seppänen, Olli., Suomen LVI-liitto.: Ilmastoinnin suunnittelu. Helsinki (Forssan kirjapaino):

Talotekniikka-julkaisut, 2004. [ISBN 9529168969](https://www.isbn.fi/9789529168969/).

Suhonen, Pilvi. (2021). Leppäkosken Energia Oy,

SULPU. (5/2021). Suomeen myydyt lämpöpumput, kumulatiivinen. Sivu 1.

<https://www.sulpu.fi/wp-content/uploads/2021/05/Lämpöpumpputilasto-2019-kuvaajat-FI.pdf>

Taloyhtiön energiakirja, Jari Virta, Petri Pylsy, 2011, sivu 43

Tiede-lehti & Yle. (04.11.2021). Eistemateriaalien lämmönjohtavuus. Haettu 25.11.2021

osoitteesta <https://yle.fi/aihe/a/20->

[10001552?utm_campaign=yletiede&utm_medium=social&utm_source=facebook&fbclid=IwAR0SVdsn4dezN4AheWVfC466BCXrQrJvEVTbSPOKGY7mIJMYsIPU5Vfprow#&gid=0&pid=39-87476761819e7991077](https://yle.fi/aihe/a/20-10001552?utm_campaign=yletiede&utm_medium=social&utm_source=facebook&fbclid=IwAR0SVdsn4dezN4AheWVfC466BCXrQrJvEVTbSPOKGY7mIJMYsIPU5Vfprow#&gid=0&pid=39-87476761819e7991077)

Tilastokeskus. 2020c. (17.04.2020). Fossiiliset ja uusiutuvat energianlähteet 1970 – 2019.

Liitekuvio 9. Haettu 19.11.2021 osoitteesta

https://www.stat.fi/til/ehk/2019/04/ehk_2019_04_2020-04-17_kuv_009_fi.html

Tilastokeskus. (02/2021). Liitetaulukko 2. Energian hintoja lämmöntuotannossa kesäkuussa 2021. https://www.stat.fi/til/ehi/2021/02/ehi_2021_02_2021-09-09_tau_002_fi.html

Tilastokeskus. (25.11.2021). Kaukolämmön hinta kuluttajatyypeittäin. Haettu 25.11.2021 osoitteesta

https://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_ene_ehi/statfin_ehi_pxt_12gd.px/

Tilastokeskus. (3.11.2019). Kaukolämmön ja teollisuuslämmön tuotanto polttoaineittain 2000–2019. Sivu 3. Haettu 25.11.2021 osoitteesta

https://www.stat.fi/til/salatuo/2019/salatuo_2019_2020-11-03_fi.pdf

Tilastokeskus. 2021a. (2.11.2021). Sähkön tuotanto energialähteittäin 2020. Liitekuva 1.

Liitekuva 2. https://www.stat.fi/til/salatuo/2020/salatuo_2020_2021-11-02_kuv_001_fi.html

Tilastokeskus. 2021c. (30.6.2021). Energian hankinta ja kulutus. Fossiilisten polttoaineiden ja turpeen käytön hiilidioksidipäästöt. Liitekuvio 2. Haettu 19.11.2021 osoitteesta

https://www.stat.fi/til/ehk/2021/02/ehk_2021_02_2021-09-30_kuv_002_fi.html

Tilastokeskus.2020a. (19.11.2020). Asumisen energiankulutus laski edelleen vuonna 2019. Liitekuvio 2. Asumisen energiankulutus käyttökohteittain vuonna 2019.

https://www.stat.fi/til/asen/2019/asen_2019_2020-11-19_tie_001_fi.html

Tilastokeskus.2020b. (27.5.2020). *Rakennuskanta 2029*.

https://www.stat.fi/til/rakke/2019/rakke_2019_2020-05-27_kat_002_fi.html

Tilastokeskus.2021b. (9.9.2021). Energian hinnat nousivat rajusti toisella neljänneksellä.

Haettu 8.12.2021 osoitteesta https://www.stat.fi/til/ehi/2021/02/ehi_2021_02_2021-09-09_tie_001_fi.html

Tulli. (09.09.2021). Liitekuvio 1. Öljyn tuontihinnat. Haettu 25.11.2021 osoitteesta

https://www.stat.fi/til/ehi/2021/02/ehi_2021_02_2021-09-09_kuv_001_fi.htm

Uusitalo, Pörssisähkön hinta noussut reilusti vuoden takaisesta. (15.9.2021). Yle.

<https://yle.fi/uutiset/3-12098567>

Valtioneuvosto. (n. d.). Hiilineutraali ja luonnon monimuotoisuuden turvaava Suomi.

<https://valtioneuvosto.fi/marinin-hallitus/hallitusohjelma/hiilineutraali-ja-luonnon-monimuotoisuuden-turvaava-suomi>

Ympäristöministeriö. (27.10.2020). Ympäristöministeriöltä rakennusten teknisten

järjestelmien energiatehokkuutta parantava asetus. <https://ym.fi/-/ymparistoministeriolta-rakennusten-teknisten-jarjestelmien-energiatehokkuutta-parantava-asetus>

Ympäristöministeriö. (9.9.2021). Rakennusten käyttämästä energiasta 38 prosenttia oltava

jatkossa uusiutuvaa. <https://ym.fi/-/rakennusten-kayttamasta-energiasta-38-prosenttia-oltava-jatkossa-uusiutuvaa>

Öljylämmittäjän palveluopas. (2010). Verkojulkaisu.16 sivua.

Liite 1 Taulukoidut lähtötiedot ja tulokset

Kuukausi	Sähkö [kWh]						1.1.2019 - 1.1.2020 -					
	1.1.2019 -		1.1.2020 -		Keskiarvoinenn siirtomaksu	1.1.2021 -		31.12.2019 - 1.1.2019 -		31.12.2020 - 1.1.2020 -		
	31.12.2019	q	31.12.2020	q		31.12.2021	q	%	31.12.2020	%	31.12.2021	%
1	3 865	0	3 493	0	3678,905	15130,96837	4 160	0	-9,6	-373	19,1	667
2	3 237	0	3 117	0	3176,995	13066,66274	3 936	0	-3,7	-120	26,3	819
3	3 353	0	3 193	0	3273,38	13463,0846	3 545	0	-4,8	-160	11,0	351
4	2 954	0	2 837	0	2895,355	6771,366739	3 281	0	-4,0	-117	15,7	444
5	3 287	0	2 596	0	2941,76	6879,894112	2 989	0	-21,0	-691	15,1	393
6	2 983	0	2 575	0	2779,015	6499,282381	2 789	0	-13,7	-409	8,3	215
7	2 616	0	2 158	0	2387,28	5583,131736	2 241	0	-17,5	-458	3,8	83
8	3 298	0	2 832	0	3064,82	7167,694534	2 989	0	-14,1	-466	5,5	157
9	3 473	0	3 037	0	3255,25	7613,053175	200	1	-12,5	-436	-93,4	-2 837
10	3 712	0	3 490	0	3601,055	8421,787329			-6,0	-223	0	0
11	3 244	0	3 917	0	3580,245	14725,18966			20,7	673	0	0
12	3 346	0	3 810	0	3578,325	14717,29289			13,9	464	0	0
Yhteensä	39 370		37 055		38212,385	120039,4083	26 130		-5,9	-2 315,0	-29,5	292,3
Minimi	2 616		2 158			1200,394083	200		-21,0	-691,1	-93,4	-2 837,1
Maksimi	3 865		3 917				4 160		20,7	672,6	26,3	819,3
Keskiarvo	3 281		3 088				2 903		-6,0	-192,9	1,0	24,4

1.1.2019 - 31.12.2019	1.1.2020 - 31.12.2020	1.1.2021 - 31.12.2021	Vesi [m³]				Öljy [m³]								
			1.1.2019 -		1.1.2020 -		1.1.2019 -		1.1.2020 -						
			31.12.2019	q	31.12.2020	q	31.12.2019	q	31.12.2020	q	31.12.2021	q			
26,46	0	30,16	0	26,71	0	14,0	4	-11,4	-3	4,04	0	0	0	0	
29,50	0	31,63	0	24,76	0	7,2	2	-21,7	-7						
32,44	0	27,99	0	22,94	0	-13,7	-4	-18,1	-5	4,53	0	4,09	0	4,87	0
29,13	0	26,27	0	30,34	0	-9,8	-3	15,5	4						
32,71	0	26,51	0	35,35	0	-19,0	-6	33,3	9						
19,39	0	27,98	0	14,40	1	44,2	9	-48,5	-14						
15,13	0	13,56	0			-10,4	-2	0	0	4,20	0	4,21	0	4,56	0
28,56	0	12,49	0			-56,3	-16	0	0			1,44	0		
30,10	0	28,63	0			-4,9	-1	0	0	1,55	0				
32,75	0	34,83	0			6,4	2	0	0						
34,59	0	30,37	0			-12,2	-4	0	0	3,09	0	2,06	0		
19,26	0	17,50	0			-9,1	-2	0	0	3,10	0	3,38	0		
330,03		307,91		154,50		-6,7	-22,1	-49,8	-16,0	20,51		15,17		9,42	
15,13		12,49		14,40		-56,3	-16,1	-48,5	-13,6	1,55		1,44		4,56	
34,59		34,83		35,35		44,2	8,6	33,3	8,8	4,53		4,21		4,87	
27,50		25,66		25,75		-5,3	-1,8	-4,2	-1,3	3,42		3,03		4,71	

Toimenpide	LIITTYMISTEHO	Investointi [t€]	LÄMMITYS KUSTANNU S [€/a]	Säästö Lämmitysenergi assa [MWh/a]	Säästö sähköenergiass a [€/a]	Säästö sähköenergiass a [MWh/a]	CO2 säästöt [t CO2/a]	Kustannussääst ö Yhteensä [t€ / a]	Suora takaisin- maksuaika [vuotta]	
ÖL+LTO (nykyinen)	120 kW kattilateho	0,0 €	15 744,00 €	-200	-157744	-38,212385	-4 588,00 €	-55,377	-20 332,00 €	0
ÖL+ASÄH	+12,56 kWh aurinkovoimala	14,5 €			0,5	12,56	1 508,00 €	1,42	1,51 €	9,6
ÖL+ASÄH	+7 kWh aurinkovoimala	6,0 €							#JAKO/0!	
MLP	3x25 kw kone + puskurivaraaja 3x9 kw sähkövastuksilla	40,2 €	6 671,00 €	111,548	9 073,00 €		46,9	12,1	3,3	
IVLP	2x SHW230 kone varalämmöksi sähkökattila	38,2 €	7 300,00 €	104,602	8 393,00 €		46,98	11,198	3,4	
IVLP + ÖLJ	Lämmitystehon tarve 81,5 kw	38,2 €	5 473,00 €	133,8	10270		19,4	8,62	4,4	
LLMPÖ	120 kWh	77,7 €	14 000,00 €	256	1744		45,741			

Liite 2 Energiatodistus

ENERGIATODISTUS 2018

LUONNOSVERSIO - virallinen todistus ARA:n valvontajärjestelmästä

Rakennuksen nimi ja osoite:	Päiväkoti kakkospesä Ikaliininkatu 3	
Pysyvä rakennustunnus:		
Rakennuksen valmistumisvuosi:	1986	
Rakennuksen käyttötarkoitusluokka:	Päiväkodit (käyttötarkoitusluokka 6)	
Todistustunnus:	Energiatodistus	
Energiatodistus on laadittu:		
Olemassa olevalle rakennukselle, havainnointikäynnin päivänäärä:	?	

	Energiatehokkuusluokka
A	
B	
C	
D	
E	
F	
G	G 2018

Rakennuksen laskennallinen energiatehokkuuden vertailuluku eli E-luku	kWh _E /m ² vuosi
Uuden rakennuksen E-luvun vaatimus	604
(Huom! Ylläoleva on 2018 säädöksen vaatimustaso mahdolliset helpotukset huomioiden)	105

Todistuksen laatija: Jouko Joensuu	Yritys: Opinnäytetyön ohessa
Sähköinen allekirjoitus:	

Todistuksen laatimispäivä: 12.10.2021	Viimeinen voimassaolopäivä: 02.10.2031
---	--

Huom! Todistuksessa esitettyjä lukuja/laskentatuloksia ei tule käyttää Lämpöpumppujen/lämmitysjärjestelmän valintaan.

Liite 3 Laskentatulokset maalämpöpumpulle

Laitetyypit	Laitteet	lkm	
Maalämpöpumput SW ALTERRA	SW 262H3	3	
Pinta-ala	0 m ²	Mitoitusperuste	Öljy
Huonekorkeus	2,7 m	Öljy lämmitys m ³	20
Kerros määrä	1	Menovesi [°C]	60
Sisälämpötila	21 °C	Käyttövesi [°C]	55
Henkilömäärä	8	Vuoden keskilämpötila [°C]	4,6
Tilavuus	0 m ³	MUL [°C]	-29
Pinta-ala yhteensä	0 m ²	MUL korjaus [+°C]	-

Yritys/Kohde	Ins.tsto Joensuu / Päiväkoti	Keruupiirin valinta	Porakaivo
Yhteyshenkilö	Tapani Joensuu	Lambda, kallio [W/m K]	2,7
Puhelin		Keruun. vuosikesk. [°C]	0
Sähköposti		Keruuneste MUL [°C]	-3
Katuosoite	Päiväkodintie 1	Suurin por. syvyys [m]	230
Postinumero	39500	Kaivon aktiivisyvyys [m]	199
Postitoimipaikka	IKAALINEN	Kaivoja/Piirejä [kpl]	5
Korkeus	0		
Maa	Suomi		

Laskelman tulos

Lämmitysteho [kW]	Lämmitysenergia [kWh/v]	Tuotettu/kulutettu [kWh]	Lämpökerroin
Tilat 74,6	Tilat 171824	Lämpöpumppu 180000	COP 2,6
Käyttövesi 0,9	Käyttövesi 8176	Lisäenergia 0	
Yhteensä 75,6	Yhteensä 180000	LP-ostoenergia 68452	
		Lämpöpumpun osuus [%] 100	

Lämmityskustannukset eri energiamuodoilla

Valitse vertailukohde

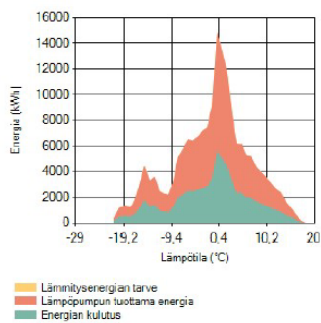
Öljyyn Sähköön Kaukolämpöön Kaasuun

Öljylämmitteinen vesikiertolämmitys

		CO ₂	
Hyötysuhde [%]	90	Sähköenergian kulutus [kWh/v]	68452 Lämpöpumppu [kg/v] 11226
Kulutus [l/v]	20000	Lisäenergia [kWh/v]	0 Lisäenergia [kg/v] 0
Hinta [€/l]	1,05	Säästö [kWh/v]	111548 Alkuperäinen [kg/v] 46980
Lämmityskustannus [€/v]	21000	Lämmityskustannus [€/v]	8899
Säästö lämpöpumpulla [€/v]	12101		

Laskelma perustuu saatuihin tietoihin ja tilastopohjaisiin astepäivälukuihin. Laskelma ei takaa että laskettu tulos saavutetaan.

Graafit



Liite 4 Laskentatulokset ilma-vesilämpöpumpulle

Laitetyypit	Laitteet	lkm		
Energiansäästäjä	PUHZ-SHW230YKA	2		
Pinta-ala	0	m ²	Mitoitusperuste	Öljy
Huonekorkeus	2,7	m	Öljy lämmitys m ³	20
Kerros määrä	1		Menovesi [°C]	60
Sisälämpötila	21	°C	Käyttövesi [°C]	55
Henkilömäärä	8		Vuoden keskilämpötila [°C]	4,6
Tilavuus	0	m ³	MUL [°C]	-29
Pinta-ala yhteensä	0	m ²	MUL korjaus [+°C]	-

Laskelman tulos

Lämmitysteho [kW]		Lämmitysenergia [kWh/v]		Tuotettu/kulutettu [kWh]		Lämpökerroin	
Tilat	74,6	Tilat	171824	Lämpöpumppu	173411	COP	2,5
Käyttövesi	0,9	Käyttövesi	8176	Lisäenergia	6589		
Yhteensä	75,6	Yhteensä	180000	LP-ostoenergia	68810		
				Lämpöpumpun osuus [%]	96,3		

Lämmityskustannukset eri energiamuodoilla

Valitse vertailukohde

Öljylämmitteinen vesikiertolämmitys

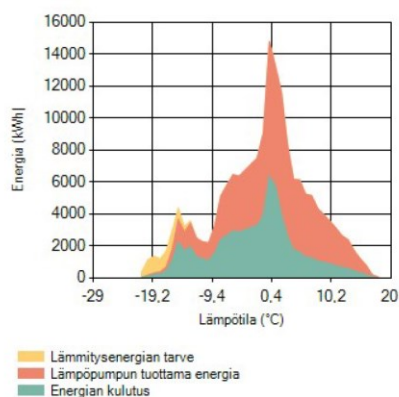
Hyötysuhde [%]	90
Kulutus [l/v]	20000
Hinta [€/l]	1,05
Lämmityskustannus [€/v]	21000
Säästö lämpöpumpulla [€/v]	11198

Öljyyn Sähköön Kaukolämpöön Kaasuun

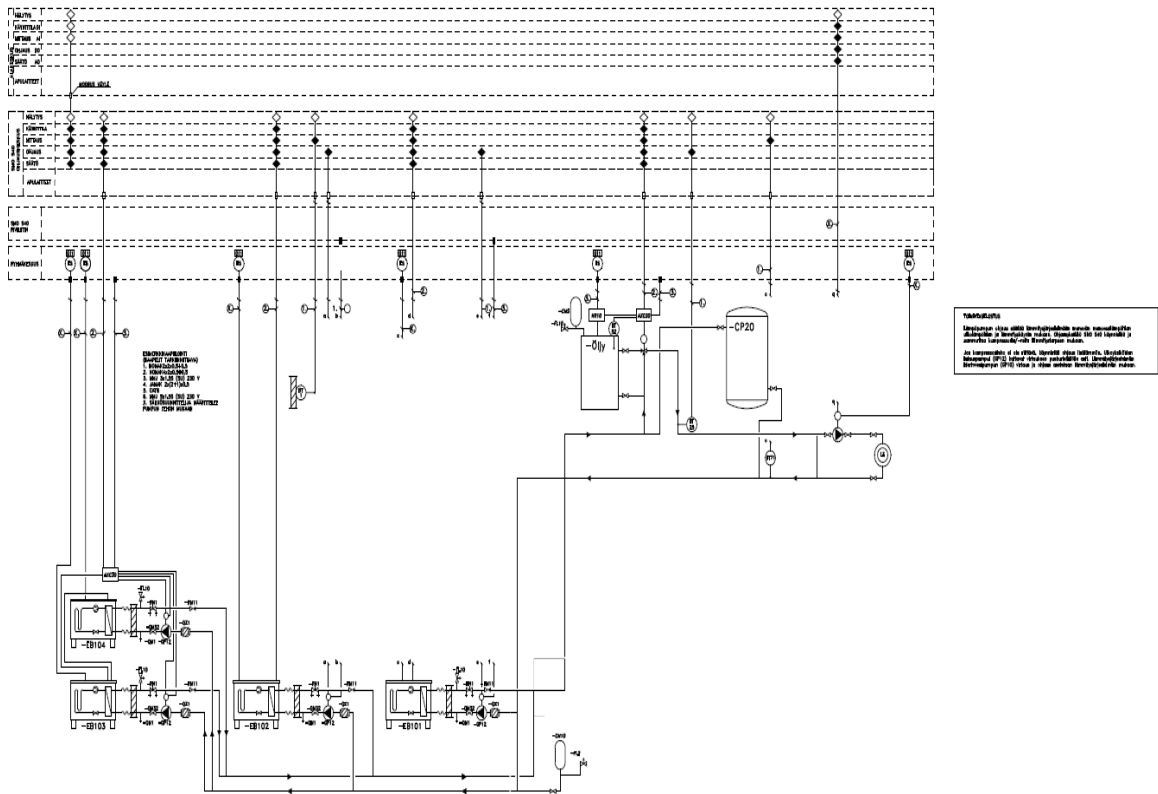
		CO ₂	
Sähköenergian kulutus [kWh/v]	68810	Lämpöpumppu [kg/v]	11285
Lisäenergia [kWh/v]	6589	Lisäenergia [kg/v]	1081
Säästö [kWh/v]	104602	Alkuperäinen [kg/v]	46980
Lämmityskustannus [€/v]	9802		

Laskelma perustuu saatuihin tietoihin ja tilastopohjaisiin astepäivälukuihin. Laskelma ei takaa että laskettu tulos saavutetaan.

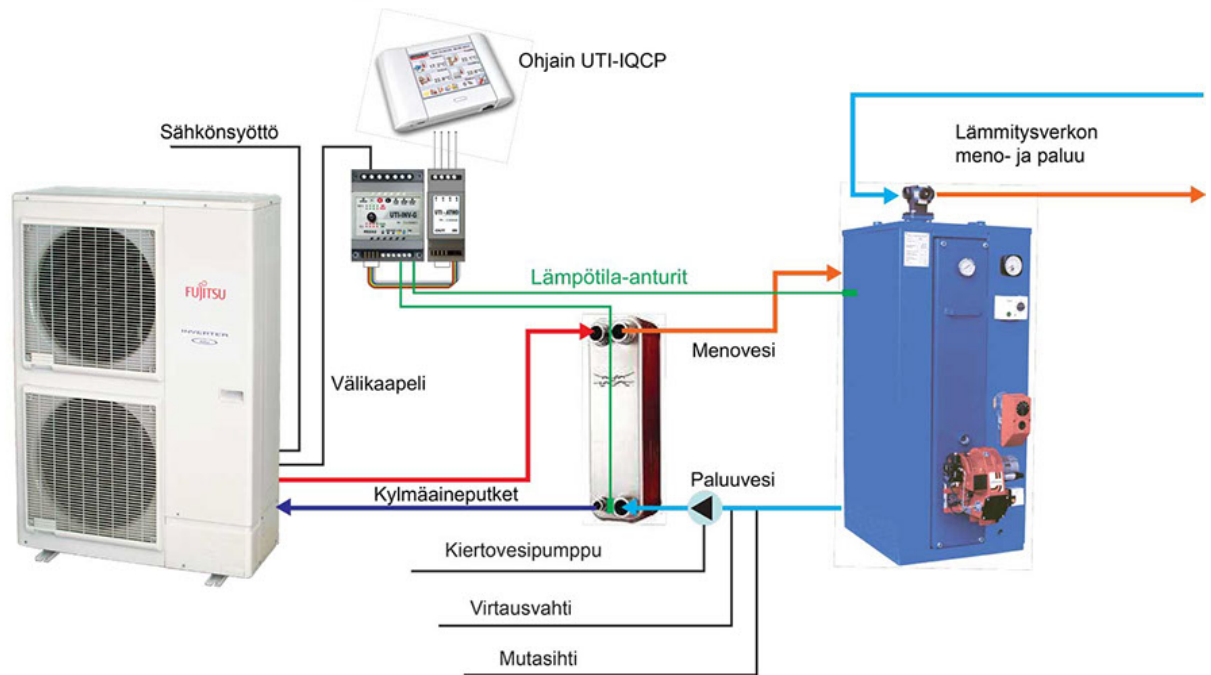
Graafit



Liite 5. Päiväkoti Kakkospesän kytkentäkaavio



Fujitsu ilmalämpöpumppu 11kW / Impromat-suoraohjaus/ levylämmönsiirrin / öljykattila



Liite 6 Vaipparakenteen U-arvot eri eristepaksuuksilla

RAKENTEIDEN ERITTELY - SEINÄT

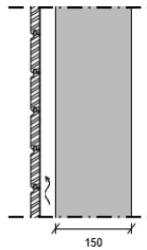
Seinä 1 (seinä 1)

Rakenteen pinta-ala: 250 m²
 Vanhan rakenteen paksuus: 150 mm
 Julkisivuratkaisu: Puupanelointi

Lisäeristyskerrokset:

Ei lisäeristystä

Vanhan rakenteen U-arvo: 0.28 W/m²K
 Korjatun rakenteen U-arvo: 0.28 W/m²K
 = 1.00 x vanha U-arvo > 0.17 W/m²K



RAKENTEIDEN ERITTELY - KATOT

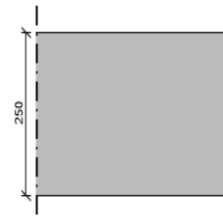
Katto 1 (katto 1)

Rakenteen pinta-ala: 600 m²
 Vanhan rakenteen paksuus: 250 mm

Lisäeristyskerrokset:

Ei lisäeristystä

Vanhan rakenteen U-arvo: 0.22 W/m²K
 Korjatun rakenteen U-arvo: 0.22 W/m²K
 = 1.00 x vanha U-arvo > 0.09 W/m²K



RAKENTEIDEN ERITTELY - SEINÄT

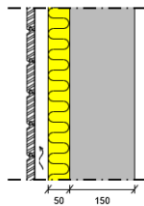
Seinä 1 (seinä 1)

Rakenteen pinta-ala: 250 m²
 Vanhan rakenteen paksuus: 150 mm
 Julkisivuratkaisu: Puupanelointi

Lisäeristyskerrokset:

ISOVER PREMIUM 33 50 mm

Vanhan rakenteen U-arvo: 0.28 W/m²K
 Korjatun rakenteen U-arvo: 0.20 W/m²K
 = 0.70 x vanha U-arvo > 0.17 W/m²K



RAKENTEIDEN ERITTELY - KATOT

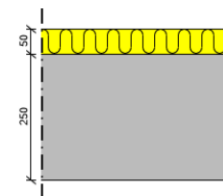
Katto 1 (katto 1)

Rakenteen pinta-ala: 600 m²
 Vanhan rakenteen paksuus: 250 mm

Lisäeristyskerrokset:

ISOVER PREMIUM 33 50 mm

Vanhan rakenteen U-arvo: 0.22 W/m²K
 Korjatun rakenteen U-arvo: 0.17 W/m²K
 = 0.75 x vanha U-arvo > 0.09 W/m²K



RAKENTEIDEN ERITTELY - SEINÄT

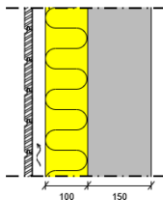
Seinä 1 (seinä 1)

Rakenteen pinta-ala: 250 m²
 Vanhan rakenteen paksuus: 150 mm
 Julkisivuratkaisu: Puupanelointi

Lisäeristyskerrokset:

ISOVER PREMIUM 33 100 mm

Vanhan rakenteen U-arvo: 0.28 W/m²K
 Korjatun rakenteen U-arvo: 0.15 W/m²K
 = 0.54 x vanha U-arvo < 0.17 W/m²K



RAKENTEIDEN ERITTELY - KATOT

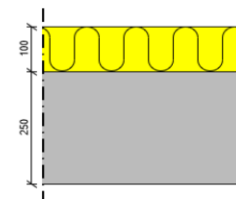
Katto 1 (katto 1)

Rakenteen pinta-ala: 600 m²
 Vanhan rakenteen paksuus: 250 mm

Lisäeristyskerrokset:

ISOVER PREMIUM 33 100 mm

Vanhan rakenteen U-arvo: 0.22 W/m²K
 Korjatun rakenteen U-arvo: 0.13 W/m²K
 = 0.60 x vanha U-arvo > 0.09 W/m²K



RAKENTEIDEN ERITTELY - SEINÄT

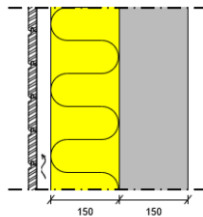
Seinä 1 (seinä 1)

Rakenteen pinta-ala: 250 m²
 Vanhan rakenteen paksuus: 150 mm
 Julkisivuratkaisu: Puupanelointi

Lisäeristyskerrokset:

ISOVER PREMIUM 33 150 mm

Vanhan rakenteen U-arvo: 0.28 W/m²K
 Korjatun rakenteen U-arvo: 0.12 W/m²K
 = 0.44 x vanha U-arvo < 0.17 W/m²K



RAKENTEIDEN ERITTELY - KATOT

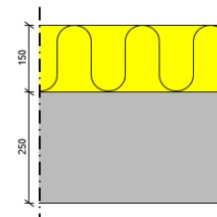
Katto 1 (katto 1)

Rakenteen pinta-ala: 600 m²
 Vanhan rakenteen paksuus: 250 mm

Lisäeristyskerrokset:

ISOVER PREMIUM 33 150 mm

Vanhan rakenteen U-arvo: 0.22 W/m²K
 Korjatun rakenteen U-arvo: 0.11 W/m²K
 = 0.50 x vanha U-arvo > 0.09 W/m²K



Liite 7 Vaipparakenteen lisäeristämisen kustannuslaskelma

Lisäeriste seinä 50 mm + katto 50 mm:

KORJAUSTEN YHTEISVAIKUTUS

Vanhoiden rakenteiden lämpöhäviö: 31000 kWh / vuosi
 Korjattujen rakenteiden lämpöhäviö: 25900 kWh / vuosi = 0.84 x vanha häviö

Säästöt vuodessa: 5110 kWh / vuosi
 612.92 € / vuosi

Säästöt laskettu rakenneosien lämpöhäviöiden mukaan RakMk D3 2012 säätiötojen mukaisesti ilman kesäkauden vaikutusta.

Energian hinta: 0.12 € / kWh

Lisäeriste seinä 100 mm + katto 100 mm:

KORJAUSTEN YHTEISVAIKUTUS

Vanhoiden rakenteiden lämpöhäviö: 31000 kWh / vuosi
 Korjattujen rakenteiden lämpöhäviö: 23000 kWh / vuosi = 0.74 x vanha häviö

Säästöt vuodessa: 8060 kWh / vuosi
 966.67 € / vuosi

Säästöt laskettu rakenneosien lämpöhäviöiden mukaan RakMk D3 2012 säätiötojen mukaisesti ilman kesäkauden vaikutusta.

Energian hinta: 0.12 € / kWh

Lisäeriste seinä 150 mm + katto 150 mm

KORJAUSTEN YHTEISVAIKUTUS

Vanhoiden rakenteiden lämpöhäviö: 31000 kWh / vuosi
 Korjattujen rakenteiden lämpöhäviö: 21000 kWh / vuosi = 0.68 x vanha häviö

Säästöt vuodessa: 9980 kWh / vuosi
 1197.36 € / vuosi

Säästöt laskettu rakenneosien lämpöhäviöiden mukaan RakMk D3 2012 säätiötojen mukaisesti ilman kesäkauden vaikutusta.

Energian hinta: 0.12 € / kWh

Seinäeriste 100 mm + kattoeriste 200 mm (määräysten mukainen).

KORJAUSTEN YHTEISVAIKUTUS

Vanhoiden rakenteiden lämpöhäviö: 31000 kWh / vuosi
 Korjattujen rakenteiden lämpöhäviö: 20100 kWh / vuosi = 0.65 x vanha häviö

Säästöt vuodessa: 10900 kWh / vuosi
 1304.67 € / vuosi

Säästöt laskettu rakenneosien lämpöhäviöiden mukaan RakMk D3 2012 säätiötojen mukaisesti ilman kesäkauden vaikutusta.

Energian hinta: 0.12 € / kWh

Liite 8. Leppäkosken Lämpö Oy energiahintoja 2021

Perusmaksu €/vuosi. Hintoihin lisätään alv. 24 %.

Teho	Perusmaksun laskenta
8-50 kW	$K * (14 + 24 * P)$
50-150 kW	$K * (315 + 18 * P)$
150-500 kW	$K * (1515 + 10 * P)$
Yli 500 kW	$K * (2015 + 9 * P)$

K= 1.65 (kerroin)

P= Teho

Perusmaksu perustuu mitattuun asiakkaan käyttämään lämmitystehoon.

Esim. omakotitalo (teho 8 kW), perusmaksu on

$1.65 * (14+24*8)=339,9 + \text{alv. } 24 \% = 421,48 \text{ €}.$

Energiamaksu €/MWh

	Alv. 0 %	Alv. 24 %
Kesäkausi 1.4.-31.10.	51,00	63,24
Talvikausi 1.11.-31.3.	64,26	79,68

Kulutuspainotettu keskihinta on 73,78 €/MWh (sis. alv.).

Rakennusaikainen lämmitys uudisrakennuskohteisiin:

Energiamaksu (€/MWh) 70,50 (alv. 0 %) 87,42 (alv. 24 %)

Energiamaksu muuttuu kaukolämmön tuotantokustannusten muuttuessa oleellisesti. Muutoksista ilmoitetaan erikseen.

