

Pienkerrostalon energiatehokkuuden parantaminen lämmitysjärjestelmän avulla

Kivi Ketola

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2021

Talotekniikan tutkinto-ohjelma
LVI-talotekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Talotekniikan tutkinto-ohjelma,
LVI- talotekniikka

KETOLA KIVI:

Pienkerrostalon energiatehokkuuden parantaminen lämmitysjärjestelmän avulla

Opinnäytetyö 61 sivua, joista liitteitä 5 sivua
Toukokuu 2021

Opinnäytetyössä tarkoituksena oli selvittää, miten lämmönkehityslaitteiston vaihtaminen vaikuttaa rakennuksen energiatehokkuuteen sekä onko ilmavesilämpöpumpun ja olemassa olevan öljykattilan yhdistelmä järkevä ja kustannustehokas ratkaisu, verrattuna maalämpöpumppuun tai kaukolämpöön. Tavoitteena oli lisätä tietoa saneerauskohteiden lämmityslaitteiden uusinnasta, hybridilämmityksestä ja selvittää 1923 rakennettuun case-kohteeseen sopivin lämmönkehitysjärjestelmän ratkaisu. Menetelmänä oli tutkia huomioon otettavia asioita valittaessa lämmitysmuotoa vanhoihin taloihin ja tarkastella laskennallisesti eri laitteistojen mitoituksia sekä energia- ja kustannustehokkuutta. Kohteeseen tehtiin lämmitystehontarvelaskelma CADMATIC HVAC sovelluksella laitteiden mitoittamiseksi.

Tulokseksi saatiin arvio vanhan rakennuksen alkuperäisestä lämmitystehon tarpeesta rakentamisajankohtana ja nykyinen laskennallinen lämmitystehontarve, ja voitiin valita sopivat lämmönkehityslaitteet. Tarkastelussa hankintahinnaltaan edullisimmaksi osoittautui kaukolämpö, sitten ulkoilmavesilämpöpumppu ja kallein lämmityslaitteisto oli maalämmössä. Takaisinmaksuajan perusteella lämmitysmuodoista edullisin oli ilmavesilämpöpumppu ratkaisu, sitten maalämpöpumppu ja kalleimmaksi tuli kaukolämpö. Energiatehokkuutta tarkasteltaessa ulkoilmavesilämpöpumppu pienensi ostoenergiankulutusta nykyiseen öljylämmitykseen verrattuna 67 %, kaukolämmitys 15 % ja maalämmitys 81 %.

Johtopäätöksenä kaukolämmitys vaikutti halvimmalta hankintahinnaltaan mutta energiakustannuksiltaan se oli vain vähän öljylämmitystä taloudellisempi, hankintahinnaltaan vain hieman kalliimpi oli ulkoilmavesilämpöpumppu, joka puolestaan tarjosi huomattavia säästöjä lämmityskuluissa. Selvästi kallein vaihtoehto oli maalämpöpumppu yli kaksinkertaisella hankintahinnallaan verrattuna ulkoilmavesilämpöpumppuun. Vanhaan öljylämmitteiseen rakennukseen olisi energiatehokkuuden ja kustannusten kannalta arvioituna järkevää asentaa ulkoilmavesilämpöpumppu olemassa olevan kattilan rinnalle. Jatkotutkimusta voisi tehdä laitteiden kytkentä tapojen vertailusta ja hybridijärjestelmän mahdollisuuksista Pohjois Suomessa. Myös kohdekohtaisten aurinkokeräin sekä -sähkö järjestelmien integroinnista hybridiin olisi hyvä tehdä lisäselvitystä.

Asiasanat: öljylämmitys, energiatehokkuus, ilmavesilämpöpumppu, lämmitysjärjestelmät

ABSTRACT

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

KETOLA KIVI:

Optimizing Energy Efficiency via Heating System Retrofit Solutions
in a Small Block of Flats

Bachelor's thesis 61 pages, appendices 5 pages
May 2021

The purpose of this study was to gather information about replacing old heating systems with modern ones, in older buildings. The focus was on cutting down the need of delivered energy and optimizing energy efficiency.

The study was carried out by comparing three different heating systems and examining what needs to be taken into account when choosing a replacing system. The design heat power was calculated with CADMATIC HVAC program. The annual energy consumption calculations were based on the old oil bills of the building. The three systems were compared through calculated heat energy.

The results of the project were that every heating system examined, can be both energy and cost efficient. The systems differed from each other by the investments. District heating was the most economical and a ground heat pump the most expensive. The drop in the delivered energy was 81% with a ground heat pump, 14% with district heating and 67% with a hybrid system. In the district heating system, the drop in energy efficiency was the lowest and annual heating costs were the highest.

The findings of the project were that a hybrid system with an old oil burning boiler unit and an air to water -heat pump is suitable for older buildings. In each retrofit case every aspect of the system has to be calculated thoroughly to make the optimal decision. Every house is a different case, and the same calculations may lead into different conclusions.

Key words: heating system, oil burner, air to water -heat pump, energy efficiency

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	LÄMMITYSJÄRJESTELMÄT	8
2.1	Ympäristöministeriön asetus 4/13	8
2.1.1	Ympäristöministeriön asetus 2/17.....	8
2.1.2	Marinin hallitusohjelma	9
2.2	Lämmitysjärjestelmän uusinta	10
2.2.1	Energiaremonttien tuet	11
2.2.2	Järjestelmien mitoituksen perusteita.....	12
2.3	Lämmitysjärjestelmän perusparannus.....	13
2.4	Vanhan rakennuksen lämpöhäviöt	14
2.5	Lämmitysenergiankulutus kohteessa	15
2.5.1	Lämpimän käyttöveden lämmitysenergia	16
2.6	Maalämpöpumppu	17
2.7	Ilmavesilämpöpumppu	19
2.8	Kaukolämpö	20
2.9	Öljylämpö	21
3	ENERGIAREMONTTIRATKAISUT	22
3.1	Pyynikin Kerrostalo	22
3.1.1	Kuntotutkimus.....	23
3.1.2	Lämmitysenergian kulutus	23
3.1.3	Lämpimän käyttöveden lämmitysenergia	24
3.1.4	Lämmitystehontarpeet	25
3.2	VILP osatehomitoitus + öljy	28
3.2.1	Ilmavesilämpöpumppu.....	28
3.2.2	Öljykattilajärjestelmä.....	33
3.3	MLP osatehomitoitus + sähkö	34
3.3.1	Maalämpöpumpun valinta	34
3.3.2	Energiakaivo.....	37
3.3.3	Energiavaraaja ja käyttövesivaraaja	38
3.4	Kaukolämpö	39
3.4.1	Liittymän mitoitus- + liittymistiedot	39
3.4.2	Kaukolämpökeskus	40
4	KUSTANNUKSET JA ELINKAARI	41
4.1	Kustannukset	41
4.1.1	Hybridi	41
4.1.2	Maalämpö.....	43

4.1.3 Kaukolämpö	44
4.2 Energianhinnat ja takaisinmaksuajat.....	44
4.3 Energiatehokkuus	48
4.4 Kohteeseen sopivin ratkaisu	50
5 POHDINTA	51
LÄHTEET.....	54
LIITTEET	57
Liite 1. Lämpöhäviöraportit Pyynikin tie 6.....	57
Liite 2. Maalämpöpumpun kattavuus lämmitysenergian kulutuksesta	60
Liite 3. Ilmavesilämpöpumpun kattavuus lämmitysenergian kulutuksesta,	61

LYHENTEET JA TERMIT

COP	Lämpökerroin
Hybridilämmitys	Lämmitysjärjestelmässä käytetään kahta eri ostoenergiamuotoa
Monoblock	Ilmavesilämpöpumppu, jossa kaikki tekniikka on ulkoyksikössä
PTS	Pitkätähtäimen suunnitelma
SCOP	Vuosihyötysuhde
Sopimusvesivirta	Kaukolämpö asiakkaan käyttöön varattua suurinta tuntista kaukolämpöveden virtaamaa (m ³ /h)
Split	Ilmavesilämpöpumppu laite on jaettu sisä- ja ulkoyksiköön
Sähkön tehomarkkina	Sähkötehon hinnoittelu erikseen

1 JOHDANTO

Opinnäytetyö käsittelee energiatehokkuuden parantamista pienkerrostalossa lämmöntuotantotapaa uudistamalla, työ on tärkeä koska Ympäristöministeriön asetukset 4/13 ja 2/17 velvoittavat korjaushankkeeseen ryhtyvää esittämään toimenpiteitä, miten rakennuksen energiatehokkuutta tullaan parantamaan.

CASE-kohteena tarkastellaan vuonna 1923 rakennettua puista neljänhuoneiston pienkerrostaloa. Talossa on 1999 asennettu öljykattilajärjestelmä ja vanha hyväkuntoinen patteriverkosto. Kohteeseen tehdyssä kuntotutkimuksessa suositeltiin lämmitysjärjestelmän uusimista vuoteen 2023 mennessä.

Työssä tutkitaan kohteeseen parhaiten soveltuvaa ja kustannustehokkainta lämmitysjärjestelmää, vaihtoehtoina ovat öljy + lämpöpumppu -hybridi, osatehomitoidettu maalämpöpumppu ja kaukolämpö. Lisäksi selvitetään LP + öljy -hybridijärjestelmän kilpailukykyä verrattuna kaukolämpöön tai maalämpöpumppujärjestelmään energian hinnan ja takaisinmaksuajan näkökulmasta. Työn tarkoituksena on selvittää vaihtoehtoja öljylämmittäjille, tutustuen muun muassa hybridiratkaisuun, jossa olemassa olevan öljylämmityksen rinnalle lisätään ilma-vesilämpöpumppu. Energiatehokkuutta tarkastellaan järjestelmien takaisinmaksuajan vertailemiseksi sekä ARA energia-avustuksen hakemisen kannalta. Energia-avustuksen hakumahdollisuus on merkittävä etu investointia tehtäessä, korostuen varsinkin pienempien taloyhtiöiden kohdalla.

Työ koostuu teoriaosuudesta, jossa esitetään kohteen lämmitysjärjestelmän valintaan liittyvät tekijät, eri lämmöntuotantotapojen ominaisuudet ja huomioon otavat asiat. Toisessa osassa läpikäydään eri lämmitysratkaisujen mitoitukset, toimintaperiaatteet ja rajoitukset. Kolmannessa osassa tutkitaan lämmitysratkaisujen investointikustannuksia, esimerkkilaitteistojen elinkaarikustannusten kehitystä ja takaisinmaksuaikaa, vertaillaan energiatehokkuutta sekä tutkitaan, täyttävätkö ratkaisut energia-avustuksen energiatehokkuuden parannusvaatimuksen. Lopuksi pohditaan hyvää ratkaisua öljylämmityksen korvaajaksi, hybridijärjestelmän järkevyyttä ja tehdään johtopäätökset.

2 LÄMMITYSJÄRJESTELMÄT

Vuonna 2013 ympäristöministeriö antoi asetuksen, joka velvoittaa korjaus- tai muutostyöhankkeeseen ryhtyvää esittämään rakennuslupaan tarvittavien suunnitelmien yhteydessä, miten rakennuksen energiatehokkuutta aiotaan parantaa.

2.1 Ympäristöministeriön asetus 4/13

Ympäristöministeriön asetus 4/13 toteaa, että korjaus- tai muutostyöhankkeeseen ryhtyvän on lupaan tarvittavan suunnittelun yhteydessä esitettävä toimenpiteet, joilla rakennuksen energiatehokkuutta aiotaan parantaa rakennusosittain, järjestelmittäin tai koko rakennuksesta, hankkeen laajuuden ja päättämänsä tavan mukaisesti. (Ympäristöministeriön asetus 4/13 2. §).

Teknisten järjestelmien osalta on teknisiä järjestelmiä peruskorjattaessa, uudistettaessa tai uusittaessa noudatettava lämmitysjärjestelmän osalta 5 § kohtaa 5. Lämmitysjärjestelmien hyötysuhdetta parannetaan laitteiden ja järjestelmien uusimisen yhteydessä mahdollisuuksien mukaan. (Ympäristöministeriön asetus 4/13 5. §)

Asetuksessa säädetään vaatimukset rakennus- ja järjestelmäkohtaisesti. Pientalon remontin yhteydessä vaadittu energiatehokkuuden parannus on 20 % ja asuinkerrostalolle vaatimus on vähintään 15 % parannus energiatehokkuuteen, tarkasteltuna E-luvulla kWh/m² (Ympäristöministeriön asetus 4/13.)

2.1.1 Ympäristöministeriön asetus 2/17

Asetus kumoo aiemmin julkistetun ympäristöministeriön asetuksen 4/13 1. §:n 2 momentin, joka käsittelee asetuksen soveltamista tuotantorakennuksiin. Lisäksi siinä muutetaan 4/13 2 §:n 1 ja 3 momentti ja 5 § ja lisätään asetukseen uusi 1 a § teknisestä, taloudellisesta ja toiminnallisesta soveltamisesta (Ympäristöministeriön asetus 2/17).

Uudessa asetuksessa 2 § ensimmäinen momentti vain tarkentui, mutta kolmannen momenttiin tuli tärkeä lisäys. Kohdassa kolme määritellään nyt, että korjausten kustannusten ylittäessä 25 % rakennuksen arvosta, lasketaan korjaus laajamittaiseksi. Laajamittaisen korjauksen yhteydessä hankkeeseen ryhtyvän on osoitettava valittujen toimenpiteiden olevan kustannusoptimaalisella tasolla (Ympäristöministeriön asetus 2/17).

Uudessa asetuksessa 2/17 on esitetty 5 § kokonaan uudelleen. Teknisiä järjestelmiä käsittelevä kohta 5 laajeni seuraavanlaiseksi. ”Lämmitysjärjestelmien hyötysuhdetta on parannettava laitteiden ja järjestelmien uusimisen yhteydessä uusittavilta osin. Uusimisen jälkeen rakennuksen pääasiallisen lämmöntuottojärjestelmän ja tilojen pääasiallisen lämmönjakojärjestelmän hyötysuhteiden välisen suhteen on oltava vähintään 0,8. Suhdeluku on laskettava pääasiallisen lämmöntuottojärjestelmän ja tilojen pääasiallisen lämmönjakojärjestelmän vuosihyötysuhteiden osamääränä. Pääasiallisen lämmöntuottojärjestelmän tai tilojen pääasiallisen lämmönjakojärjestelmän vuosihyötysuhteen on oltava vähintään 1,73. Kun rakennukseen on uusittu pääasiallinen lämmöntuottojärjestelmä, on lämpöpumpun SFP-luvun ja tilojen pääasiallisen lämmönjakojärjestelmän vuosihyötysuhteen välisen suhteen on oltava vähintään 2,4. Suhdeluku on laskettava lämpöpumpun SFP-luvun ja tilojen pääasiallisen lämmönjakojärjestelmän vuosihyötysuhteen osamääränä. Uusitun tilojen pääasiallisen lämmönjakojärjestelmän apulaitteiden sähköenergian ominaiskulutus saa olla enintään 2,5 kWh/netto-m² (lämmitettyä nettoalaa kohden).” (Ympäristöministeriön asetus 2/17.)

2.1.2 Marinin hallitusohjelma

Marinin hallituksen hallitusohjelman kohdassa 3 strategiset kokonaisuudet osi-
ossa, hiilineutraali ja luonnon monimuotoisuuden turvaava Suomi, esitellään ta-
voitteita ja keinoja saavuttaa taloudellisesti ja ekologisesti kestävä kehityksen
yhteiskunta vuoteen 2030 mennessä. Suomi pyrkii maailman ensimmäiseksi fos-
siilivapaaksi hyvinvointiyhteiskunnaksi (Tavoite 2) siten, että sähkön ja lämmön
tuotanto olisi lähes päästötöntä 2030-luvun loppuun mennessä, huolto- ja toimi-
tusvarmuusnäkökohdat huomioiden. (Valtioneuvosto.)

Hallituksen tavoitteena on, että fossiilisen öljyn käytöstä lämmityksessä luovutaan asteittain 2030-luvun alkuun mennessä, tämän ilmastotavoitteen täyttämiseksi. Valtion ja kuntien kiinteistöjen öljylämmityksestä luovutaan vuoteen 2024 mennessä. Erillisellä toimenpideohjelmalla kannustetaan öljylämmitteisiä kiinteistöjä siirtymään muihin lämmitysmuotoihin 2020-luvun aikana. Vielä ole tarkkaan tiedossa, miten kiello tullaan toteuttamaan, mutta tämä poliittinen ohjaus kannattaa ottaa huomioon lämmöntuottojärjestelmää valittaessa. (Valtioneuvosto.)

2.2 Lämmitysjärjestelmän uusinta

Teknisesti ja taloudellisesti kannattavia tukilämmitysmuotoja öljylämmityksen rinnalle ovat aurinkolämpö, ilma-vesilämpöpumppu, ilmalämpöpumppu sekä tulisija. Näillä voi vähentää öljynkulutusta, jos ei ole mahdollisuutta vaihtaa koko lämmitysjärjestelmää. Jos öljylämmityksestä halutaan kokonaan pois, kannattaa kohteeseen harkita myös maalämpöpumppua tai pellettilämmitystä. (Motiva. Öljylämmitys.)

Seppänen (2001) kirjoittaa patteriverkoston mitoituksesta seuraavaa. ”Painovoimaisen tai koneellisen poistoilmanvaihtojärjestelmän tapauksessa patteripinta mitoitetaan keskilämpötilaeron 30 K mukaan ja vesivirta lämpötilaeron 20 K mukaan (60 / 40-järjestelmä).” (Seppänen 2001, 423.)

Suunniteltaessa lämmönkehitystavan muutosta on huomioitava verkoston lämpötilataso. Taulukko 1 esittää kaksiputkijärjestelmän eri suunnittelulämpötiloja patteriverkostolle. Maksimisuunnitteluarvot poikkeavat lämpöpumpun ja öljylämmityksen välillä 10 °C. Koska lämmönkehitysjärjestelmissä on eroa, täytyy uutta järjestelmää valittaessa arvioida, riittävätkö nykyiset lämmönjakolaitteet ja/tai tarvitaanko lämmönkehittimeen esimerkiksi sähköllä tehtävää tulistusta.

TAULUKKO 1. Eri lämmitystavoille sopivia mitoituslämpötiloja (LVI 12-10343)

Lämmönlähde	Lämmönjakotapa	Meno/paluuveden lämpötila °C
Öljylämmitys	Kaksiputkijärjestelmä	70/40
Kaukolämmitys	Kaksiputkijärjestelmä	70/40
Varaava lämmitys	Kaksiputkijärjestelmä	60/40
Lämpöpumppulämmitys	Kaksiputkijärjestelmä	60/40

2.2.1 Energiaremonttien tuet

Lämmitysjärjestelmän uudistamista suunniteltaessa on syytä huomioida mahdollisuus saada hankkeelle alueellista tai valtiollista investointitukea. Tuen saantiin vaikuttavat kiinteistön tyyppi ja tehtävien muutosten vaikutus energiatehokkuuteen. Jossain tapauksessa voi remontista tulla suunniteltua laajempi, mutta kustannukset saattavat silti pysyä budjetoidulla tasolla, kun avustus tulee mukaan.

Jos kohde ei ole omakotitalo tai vastaava pientalo, ELY- keskus ei myönnä öljylämmityksen poistoon tukea (ELY). Toista valtion investointitukea, ARA-rahoitusta, voidaan hakea kerrostalolle, jos rakennuksen energiatehokkuus paranee vähintään 32 % alkuperäiseen laskennalliseen arvoon verrattuna. Öljylämmityksestä luopumista tuettaessa huomioidaan tukilaskelmissa 100 % toteutuneista kuluista. Energiatehokkuutta parannettaessa tuki kattaa enintään 50 % huomioitavista kuluista, mutta energiatehokkuuden on tällöin parannuttava kokonaisratkaisulla vähintään 32 %. Avustusta maksetaan korkeintaan 4000 € / asunto tai edellä mainittu 50 %, sen mukaan kumpi on pienempi. Tukea voi hakea vuoteen 2022 asti ja maksatusta on anottava viimeistään lokakuussa 2023. Tukea voi lämmitysjärjestelmän lisäksi saada muun muassa automaatio-, ohjaus- ja seuranta-järjestelmiin, sokkeleiden lisäeristykseen, suunnitteluun ja energiatodistustalokenttiin. (Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus.)

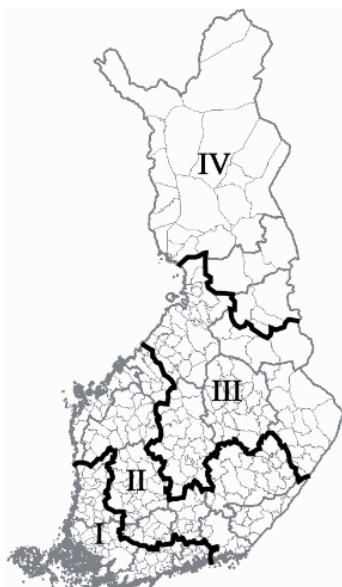
2.2.2 Järjestelmien mitoituksen perusteita

Lämpöpumppua valittaessa laitteisto mitoitetaan erilaisin perustein. Maalämpö voidaan mitoittaa osa- tai täysteholla, tärkeintä on mitoittaa lämpökaivo vastamaan rakennuksen vuotuista energiankulutusta. Ilmasta lämpöä kehittävät pumppuratkaisut voidaan mitoittaa laitteistosta riippuen vain noin -20 °C pakka- seen, pakkasraja vaihtelee laitekohtaisesti. Ilmalämpöpumpun teho putoaa huomattavasti ulkolämpötilan laskiessa, laite tuottaa noin 50 % vähemmän tehoa -20 °C kelillä, kuin +7 °C lämpötilassa, jossa laitteiden tehot yleensä ilmoitetaan (motiva.fi). Loppuosa tehontarpeesta tuotetaan usein joko sähkövastuksilla tai vanhan öljykattilan avulla. Vaihtoehtoja vertaillen kannattaa huomioida rakennuksen sijainti, sillä ilmasto vaikuttaa varsinkin ulkoilmavesilämpöpumppuun.

Suomi on jaettu neljään lämpötilavyöhykkeeseen oheisen kartan mukaisesti, kuva 1. Kahdelle eteläisimmälle vyöhykkeelle käytetään samaa Vantaan havaintoaineistoon perustuvaa energialaskennan testivuotta, sillä erot näiden kahden alueen keskilämpötiloissa ovat pieniä. Taulukossa 1 on esitetty ulkolämpötilojen esiintymistiheyksiä talvella. Rakennuksen lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmien mitoituksessa käytettäviin mitoittaviin ulkoilman lämpötiloihin ei ole tehty muutoksia tässä vaiheessa ja mitoituksessa käytetään edelleen neljää eri vyöhykettä. (Ilmatieteen laitos.)

TAULUKKO 1 Ulkolämpötilan esiintymistiheys pysyvyyssarvoina eri vyöhykkeillä, talvella (TRY2012) (Ilmatieteen laitos)

Vyöhyke	$T \leq - 25$	$T \leq - 20$	$T \leq - 15$	$T \leq - 10$	Vuoden keskilämpötila
I – II (Vantaa)	0,0	0,011	0,0237	0,0723	3,0–6,0 °C
III (Jyväskylä)	0,0032	0,0163	0,0549	0,0936	1,5–4,5 °C
IV (Sodankylä)	0,0411	0,0859	0,1439	0,2459	$\leq 1,5$ °C



Kuva 1 Säävyöhykkeet (D3-2012_S.pdf)

2.3 Lämmitysjärjestelmän perusparannus

Perusparannuksen suunnittelijan on huomioitava energiankulutusta arvioitaessa nykyisen lämmöntuottojärjestelmän hyötysuhde. Öljykattilan vuosihyötysuhde on 0,8, joka huomioi kattilaan integroidun lämminvesivaraajan häviöt (Ympäristöministeriö. Ohje rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskentaan). Hyötysuhteella voidaan laskea todellinen lämmitysenergian kulutus rakennuksen tunnetusta ostoenergian kulutuksesta. Laskettua vuotuista lämmitysenergian tarvetta (kWh/a) voidaan sitten hyödyntää valittaessa uutta lämmöntuotantolaitteistoa ja tehtäessä laskennallisia arvioita tulevasta ostoenergian kulutuksesta eri vaihtoehdoilla sekä maalämpökaivojen mitoituksessa.

Olemassa olevaa rakennusta tarkasteltaessa tiedetään usein toteutunut ostoenergian kulutus. Kun e-luvun muutosta arvioidaan, verrataan vanhan ja uuden järjestelmän ostoenergian kulutusta kerrottuna taulukossa 2 esitetyillä ostoenergiamuotojen kertoimilla.

TAULUKKO 2 Maankäyttö- ja rakennuslain 132/1999 117 g §:ssä tarkoitetut rakennuksissa käytettävät energiamuotojen kertoimien lukuarvot.

Energiamuoto	Energiamuodon kerroin
Kaukolämpö	0,5
Sähkö	1,2
Fossiiliset polttoaineet (esim. öljy)	1,0
Uusiutuvat polttoaineet	0,5

Lämpöpumppua mitoitettaessa sen tehokkuutta kuvaa lämpökerroin, joka kertoo, kuinka paljon pumppu tuottaa ilmaisenergiaa sen käyttämään sähköenergiaan verrattuna. Tyypillisesti maalämpöpumpun lämpökertoimen keskiarvo vuositasolla on noin 3. Ilmavesilämpöpumpuilla lämpökertoimen arvo vaihtelee 1,5–2,7 välillä. (Motiva. Ilmavesilämpöpumppu. Lämpöä omasta maasta – Maalämpöpumput.).

2.4 Vanhan rakennuksen lämpöhäviöt

Vanhan, olemassa olevan rakennuksen lämpöhäviöitä voi laskea käsin tai tietokoneavusteisesti. Lähtötietoja selvittäessä on toivottavaa, että käytettävissä on alkuperäisiä rakennesuunnitelmia, joista saadaan tarkasti määritettyä eri rakeneosat. Jos rakennepiirustuksia ei ole saatavilla, voi tietoa etsiä rakentamisajankohdan perusteella vanhoista rakentamismääräyksistä ja vastaavista teksteistä. Myös energiatodistusoppaasta löytyy taulukon 3 mukaisesti tietoa vanhoista rakennuksista. Rakennuksesta voidaan myös selvittää todellinen rakenne rakennanalyysin avulla tai tiedon voi selvittää rakennesuunnittelijalta.

TAULUKKO 3. Pienkerrostalon rakenteiden U arvoja 1936 (Tyypillisiä olemassa olevien vanhojen rakennusten alkuperäisiä suunnitteluarvoja.)

Rakenneosia	U- arvo (W / m ² K)
Alapohja	0,5 reunalla/ 1,8 keskellä
Yläpohja	0,3
Ulkoseinä	0,55
Ovi	ei vaatimusta
Ikkuna	3,14

2.5 Lämmitysenergiankulutus kohteessa

Kun olemassa olevaan kiinteistöön lähdetään suunnittelemaan lämmitysenergian tuotantotavan muutosta, lähtötiedoksi yleensä saadaan kohteen ostoenergian kulutustietoja. Näitä tietoja voidaan käyttää pohjana arvioitaessa kohteessa saavutettavia toteutuvia säästöjä ostoenergiankulutuksessa.

Lämmitysenergian kulutus voi pitää sisällään rakennuksen lämmittämiseen kulutetun energian lisäksi lämpimän käyttöveden tuottaman energiankulutuksen ja suorasähkö -lämmitteisissä taloissa myös kaiken kiinteistön kuluttaman sähkön. On siis tarpeen erotella lämmitysenergiat kiinteistön muusta energiankulutuksesta, johon lämmitysjärjestelmän muutos ei vaikuta. Laskentatapa on tehokas työkalu, koska se sisältää suoraan kaiken rakennuksen kuluttaman lämpöenergian, myös ilmanvaihdon ja vuotoilman aiheuttaman lämpöhäviön.

Polttoon perustuvista lämmitysjärjestelmistä tiedetään yleensä polttoaineen kulutus, kaikille polttoaineille on määritetty energiasisältö. Esimerkiksi VTT:llä on tutkimuksia käytettyjen polttoaineiden ominaisuuksista, joista löytyvät polttoaineiden teholliset lämpöarvot kilojouleina. Talotekniikassa on muista tekniikan aloista poiketen vakiintunut käytäntö käyttää energian yksikkönä watteja ja wattitunteja. Polttoaineiden tehollisista lämpöarvoista (joule) voidaan tehdä lämmitystehoja (wattitunti) jakamalla tehollinen lämpöarvo yhden tunnin ajalla eli 3600 s. Näin

jouleista tehdään wattitunteja, jotka sopivat paremmin rakennusten lämmityslaskelmiin. Joule on energian yksikkö ja watti on tehon yksikkö, yksi watti on yksi joule per sekunti. $1W = 1 J/s$.

Lämmitystehon kulutus lasketaan öljyn kulutuksesta siten, että kulutetun öljyn määrä kerrotaan öljyn tehollisella lämpöarvolla $36\,000\text{ kJ/dm}^3$ (Alakangas, E. Hurskainen, H. Laatikainen-Luntama, J. & Korhonen, J. 2016, 182). Saadusta energiamäärästä lasketaan edelleen lämmitysenergian kulutus kilowattitunteina jakamalla tulos tunnin ajalla 3600 s. Vaihtoehtoisesti voidaan laskea öljylitrasta saatava lämmitysteho kilowattitunteina, jakamalla öljylitran tehollinen lämpöarvo ($36\,000\text{ kJ/dm}^3$), tunnin ajalla (3600 s). Näin saadaan öljylitralla laskennallinen lämmitysteho 10 kWh/dm^3 .

Kulutetusta energiasta voidaan laskea kiinteistön lämmitykseen käytetty energia kertomalla öljyn kulutuksesta laskettu energiamäärä öljykattilan hyötysuhteella, joka on yleisesti 0,81 (Ympäristöministeriö. Ohjerakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskentaan). Näin laskettu energiamäärä on rakennuksen tarvitsema energiankulutus. Yleensä keskuslämmitteisessä talossa lämpökeskuksessa tuotetaan myös koko talon lämmin käyttövesi. Tapauskohtaisesti on hyödyllistä erotella lämpimän käyttöveden osuus lämmitysenergiasta.

2.5.1 Lämpimän käyttöveden lämmitysenergia

Lämpimän käyttöveden kuluttaman energian osuus on eroteltava energian vuosikulutuksesta. Jos lähtötiedoksi ei voida saada suoraan lämpimän käyttöveden kulutusta tai kiinteistön vedenkulutusta, on arvio tehtävä perustuen oletusarvoihin. Mikäli veden kokonaiskulutusta ei ole mitattu, Motiva tarjoaa rakennuksen bruttoalaan perustuvan laskentamallin.

Bruttoala on rakennuksen hyötypinta-ala, sisältäen esimerkiksi käytävät, porrashuoneet, tekniset tilat, väestönsuojat sekä rakenteiden (ulkoseinät tms.) ja hormien pinta-alan. Se voidaan laskea kerrostasoalojen summuna (Tuusulan kunta.)

Laskentamallissa käytetään lämpimän käyttöveden määrän oletusarvona asuinrakennuksessa $0,6 \text{ m}^3/\text{brm}^2$ vuodessa (Motiva. Vedenkulutus). Toinen tapa vedenkulutuksen arviointiin on laskea se asukastietojen perusteella, kun tiedetään, montako vedenkäyttäjää talossa on.

Motiva on tehnyt vedenkulutuksesta vuonna 2019 kyselytutkimuksen, jossa saatiin lähes 900:n kerros- ja rivitalossa asuvan kotitalouden vedenkulutuksen mitaustiedot. Mittaustietojen perusteella on laskettu keskimääräinen vedenkulutus asukasta kohden $120 \text{ dm}^3/\text{vrk}$. Lisäksi selvisi, että käytetystä vedestä lämmintä vettä oli 35 %. Motivan vuoden 2020 kyselytutkimukseen vedenkulutuksesta osallistui 1750 vastaajaa ja vedenkulutus oli keskimäärin $110 \text{ l} / \text{asukas}/\text{vrk}$. On huomattava, että suuri osa vastaajista (80 %) oli yhden tai kahden hengen talouksia, 96 % asui omistusasunnossa ja yli 80 % omakotitalossa. (Motiva. Vedenkulutus.)

Kun kohteesta tiedetään käyttöveden mitoitusvirta, voidaan laskea käyttöveden lämmityksen vaatima huipputeho, kaavalla 1. Tehoon voidaan myös lisätä lämpimän käyttöveden kierron aiheuttama lämpöhäviö, mutta se on usein pieni käyttöveden varsinaiseen lämmitystehoon verrattuna. (Ympäristöministeriö. D5 Suomen rakentamismääräys kokoelma.)

$$\varphi_{lkv} = q_{vmit} * \rho_v * c_p * \Delta T_v \quad (1)$$

Mitoitusvirtaamasta q_{vmit} voidaan laskea käyttöveden lämmityksen huipputehon tarve P_{hv} . Kaavassa 1 ρ_v on veden tiheys, c_p on veden ominaislämpökapasiteetti. ΔT_v on veden lämpötilan muutos, ellei ole perusteltua syytä käyttää muuta arvoa lämpötilaerona käytetään $50 \text{ }^\circ\text{C}$. (Ympäristöministeriö. D5 Suomen rakentamismääräys kokoelma.)

2.6 Maalämpöpumppu

Käyttövesivaraajalla varustetussa maalämpöpumpussa lämpöenergiaa luovutetaan ensin höyryjäähdyttimen lämmönsiirtimestä lämpimän käyttöveden tulistamiseksi varaajaan ja sen jälkeen lauhduttimen lämmönsiirtimellä vesikiertoiseen

lämmitysjärjestelmään. Kotimaiset valmistajat käyttävät yleisesti tulistuksen jäähdytintä lämpimän käyttöveden kuumentamiseen. Ulkomaiset valmistajat puolestaan käyttävät loppukuumentamiseen sähkövastuksia. Niin kutsutussa ruotsalaiskytkennässä ohjataan lämpöpumpun tuottamaa lämpöenergiaa 3-tieventtiilillä tarpeen mukaan käyttöveteen tai lämmitysjärjestelmään. Laitteiden vuotuinen lämpökerroin on keskimäärin 2,6–3,2 ja taloudellinen käyttöikä 15–20 vuotta. (LVI 11-10332.)

Maalämpöjärjestelmää mitoitettaessa käytetään osa- tai täystehomitoitusta. Osa-tehomitoituksessa lämpöpumpun enimmäisteho mitoitetaan vastaamaan 50...70 % rakennuksen lämmitystehon enimmäistarpeesta, jolloin lämpöpumppu kuitenkin tuottaa lämmitysenergian kokonaistarpeesta 80...95 %. Lämmityskaudella lämpöpumppu käy hyvällä hyötysuhteella pitkiä jaksoja. Lisätehoa saadaan tarvittaessa vesivaraajaan asennetulla sähkövastuksella. Näin vähennetään merkittävästi kompressorin pysäytys- ja käynnistyskertoja, ja siten myös sähkönkulutusta, kulumista ja lämmityskertoimen alenemista. Täystehomitoituksessa lämpöpumppu mitoitetaan enimmäisteholle, jolloin järjestelmä tuottaa kaiken energian lämpöpumpulla. Täystehomitoituksessa tarvitaan usein isompi lämminvesivaraaja ja myös investointikustannus on tällöin suurempi. (LVI 11-10332.)

Porakaivo on nykyään yleisin lämmönlähde. Se sopii hyvin pienille tonteille ja saaneerauskohteisiin. Kallioon poraaminen on helpompaa ja halvempaa kuin maahan poraaminen, sillä maahan poratessa on porausreikään työnnettävä suoja-putki, joka pitää reiän auki ja estää pintavesien pääsyn pohjaveteen. Kaivon syvyyteen vaikuttavat rakennuksen lämmöntarve ja porakaivon vedentuotto, veden saanto lisää kaivosta talteen otettavan energian määrää. Maksimisyvyys on käytännössä 200–250 metriä ja aktiivisella syvyydellä tarkoitetaan sitä kaivon osaa, joka on ympärivuotisesti veden täyttämä. (Motiva. Lämpöä omasta maasta – Maalämpöpumput.)

Maalämpökaivon mitoittaa aina kaivosuunnittelija. Niben ohjeessa on esitetty taulukon 4 liuoslämpötilat ja vuosittain lämpökaivosta saatavat energiamäärät. Lämpömäärät (kWh/m) on ilmoitettu valmistajan omilla tuotteilla, mutta niitä voidaan pitää ohjeellisina arvioitaessa tarvittavaa kaivon kokoa eri puolilla Suomea. Kaivon tehontarpeen lisäksi kaivon syvyyteen vaikuttaa esimerkiksi se, kuinka paljon

peruskallion päällä on hiekkaa, johon täytyy asentaa suoja-putki. Maalämpökai-
von tehollisen, eli lämpöä tuottavan, pituuden arvioimiseksi lasketaan ensin kaa-
valla 2 kaivosta tarvittu energiamäärä vuodessa eli Q_{kaivo} . Kaavassa 2 Q_{kok} on
kokonaisenergia, josta erotetaan lämpöpumpun sähköenergian osuus. Kaavassa
3 kaivon tehollinen pituus h_{kaivo} lasketaan jakamalla kaivosta tarvittava energia-
määrä Q_{kaivo} yhden metrin matkalta saatavalla lämpömäärällä $Q_{kaivo\ metri}$.

$$Q_{kaivo} = Q_{kok} - \frac{Q_{kok}}{COP} \quad (2)$$

$$h_{kaivo} = \frac{Q_{kaivo}}{Q_{kaivo\ metri}} \quad (3)$$

TAULUKKO 4. Maalämpökaivojen lämpötehoja (Nibe, Pientalojen maalämpö-
pumppu opas)

Energiakaivo				
Alue	I alue	II alue	III alue	IV alue
Liuoksen keskilämpötila, °C	-2,5... + 1	-2,5... + 1	-2,5... + 1	-2,5... + 1
kWh / m	140–150	130–140	120–130	110–120
W / m	38–42	33–38	30–34	28–30

2.7 Ilmavesilämpöpumppu

Ilmavesilämpöpumppuja on pääasiassa kahta tyyppiä, split- ja monoblock-lait-
teita. Split-laitteissa on erilliset ulko- ja sisäyksiköt, joiden välillä kiertää kylmä-
aine. Monoblock-laitteissa kaikki tekniikka on ulkoyksikössä, ja sisällä olevien va-
raajien ja ulkoyksikön välissä kiertää pelkkä vesi. Laite voidaan kytkeä myös suo-
raan olemassa olevaan lämmitysjärjestelmään, esimerkiksi öljykattilan rinnalle.
(Motiva. Ilma-vesilämpöpumppu.)

Laitteistoa mitoitettaessa on huomioitava, että useilla malleilla yli 55 °C lämmön- tuotanto tilojen lämmitys- ja käyttövesipuolelle on ongelmallista, ja lämpötilaa nostetaan tarvittaessa tyypillisesti vesivaraajan sähkövastuksella. On kuitenkin myös kahden kompressorin laitemalleja, joissa on omat kylmäainepiirinsä, lämpötila-alueensa ja eri kylmäaineet. Näillä malleilla päästään kompressorien tuotolla yli 70 °C lämpötilaan. Kovimmilla pakkasilla -20 – - 30 °C lämpöpumpun lämpökerroin ja antoteho heikkenevät huomattavasti. (Motiva. Ilma-vesilämpöpumppu.)

Rakennuksen vuotuinen energiankulutus ja huipputehontarve lämmityksessä ja lämpimän käyttöveden tuottamisessa ovat lähtökohtana mitoitettaessa rakennukselle sopivaa lämpöpumppua. Ilmavesilämpöpumppu antaa noin puolet vähemmän tehoa -20 °C kelillä kuin +7 °C lämpötilassa, jossa laitteiden tehot yleensä ilmoitetaan SFS-EN 14511-2 standardin mukaan. Erityisesti huomioitavaa on, että laite voi kaikkein kylmimmissä olosuhteissa sammuttaa itsensä. Siksi laitteen sähkövastuksen tai toisen rinnalle kytkettävän lämmönlähteen on oltava teholtaan vähintään yhtä suuri kuin talon yhteenlaskettu lämpimän käyttöveden ja lämmityksen tehonkulutus suurimmillaan. Vuonna 2015 tutkimusohjelma Elvar selvitti laitteiden vuosilämpökertoimia, jotka olivat 1,4–2,7 välillä. (Motiva. Ilma-vesilämpöpumppu.) Nykyiset laitteet ovat kuitenkin kehittyneempiä ja niillä on pääsääntöisesti parempi vuosilämpökerroin. Ilma-vesi-lämpöpumpun taloudellinen käyttöikä on noin 10–15 vuotta. (LVI 11-10332.)

2.8 Kaukolämpö

Kaukolämpö on yhdessä sähköyhtiön kanssa tuotettu energiamuoto, joka jaetaan vesikiertoisella kaukolämpöverkolla kuluttajille. Polttoaineena lämpölaitoksissa on esimerkiksi öljy, puu tai turve.

Kaukolämpökeskus asennetaan rakennuksen tekniseen tilaan ja keskuksen osat ovat lämpimän käyttöveden lämmönsiirrin, lämmitysjärjestelmän lämmönsiirrin, säätölaitteet, kiertovesipumput, järjestelmäkohtaiset paisunta- ja varolaitteet, putkistoventtiilit sekä mittarit. Järjestelmään mitoitetaan vaaditut tehot molemmille vaihtimille ja kaukolämmön tilausvesivirta. Kaukolämpöä mitataan ja laskutetaan

kuten kiinteistösähköäkin, etäluettavalla mittarilla. Järjestelmä sopii hyvin myös vanhan patteriverkoston lämmönlähteeksi. (LVI 10-10398.)

Kaukolämmitystä harkittaessa on ensin selvitettävä kiinteistön tarvitsema sopimusvesivirta ja tarvittava huipputeho. Lämpölaitokselta selvitetään kohdekohtainen liittymiskustannus sekä lämmityskustannukset, jotka koostuvat perusmaksusta liittymäkoon perusteella ja kulutusmaksusta, joka on kulutetun energian hinta. (Tampereen sähkölaitos.)

2.9 Öljylämpö

Kevyt öljyllä toimiva lämmitysjärjestelmä käsittää öljypolttimen, kattilan, pumpuja, ohjaus-, säätö- ja varolaitteita sekä öljysäiliön. Öljypolttimella poltetaan öljysumua, joka lämmittää säteilemällä ja johtumalla tulipesää ympäröivään vesitiilaan kattilassa. Öljykattilajärjestelmä on tyypillisesti toteutettu siten, että kattilassa oleva vesi kiertää lämmitysjärjestelmässä ja lämmin käyttövesi tuotetaan kattilan vesitilavuuteen upotetulla lämpimän käyttöveden kierukalla. Kattilan lämpötilan säädin ohjaa polttimen käyntiä lämmitystarpeen mukaan. Rakennusten öljykattilat ovat tyypillisesti lämminvesikattiloita, joissa kattilaveden käyttölämpötila on alle + 100 °C ja korkein sallittu lämpötila on alle + 120 °C. (LVI 10-10397.)

3 ENERGIAREMONTTIRATKAISUT

Tässä luvussa esitellään energiaremonttiratkaisuja olemassa olevaan kohteeseen. Kohde on pienkerrostalo Tampereella, johon on tehty kuntotutkimus, jossa esitetty korjaustarve on tarkastelun lähtökohtana.

Tässä kohteeseen selvitetään kolme eri vaihtoehtoista kokonaisuutta lämmitysjärjestelmän uudistamiseen ja eri vaihtoehdot on jaoteltu omiin kokonaisuuksiinsa. Eri lämpöpumppu laitteistoista on esitelty niiden kattamat osuudet rakennuksen lämmitysenergiankulutuksesta. Lämpöpumpuille vertailukohdaksi selvitetään kaukolämpö ratkaisu.

3.1 Pyynikin Kerrostalo

Opinnäytetyössä käsiteltävä CASE-kohde on 1923 rakennettu neljän huoneiston kaksikerroksinen puukerrostalo, joka sijaitsee Tampereella. Rakennuksen alkuperäinen lämmitysjärjestelmä on ollut, aikakaudelle tyypillisesti, puulämmitys asuntokohtaisilla takoilla. Uuneista on siirrytty vesikeskuslämmitykseen vuonna 1973 putkisaneerauksen yhteydessä ja talossa on teräslevypatterit, samaan aikaan todennäköisesti myös ikkunat on uusittu. Nykyinen 60 kW öljykattila on asennettu 1999 ja vuonna 2000 on uusittu rakennuksen lautavuoraus. Vuonna 2020 tehdyssä kuntotutkimuksessa on annettu suositus lämmitysjärjestelmän uusintaan vuoteen 2023 mennessä.

Kiinteistön patteriverkosto on todennäköisesti mitoitettu lämmitysjärjestelmäremontin ajankohdan ohjeen mukaisesti 20 °C jäähtymällä, kun kattila on vaihdettu 1999. Säätolaitteella on voitu tarpeen mukaan muuttaa vielä jälkikäteen säätökäyrää hieman ylöspäin, eli mitoitavalla säällä patteriverkosto toiminee noin 65–45 lämpötiloilla. Kohdekäynnillä pienellä pakkasella menovesi oli noin + 44 °C ja paluu + 39 °C.

Rakennus on asemakaavassa suojeltu. SR-3 merkintä tarkoittaa, että kohde on kaupunkikuvan säilymisen kannalta tärkeä rakennus, jota ei saa purkaa ilman

pakottavaa syytä. Rakennuksessa suoritettavien korjaus- ja muutostöiden tulee olla sellaisia, että rakennuksen kaupunkikuvan kannalta merkittävä luonne säilyy. (Tampereen kaupunki, Ajantasa-asemakaava.)

Rakennuksen suojeleminen on otettava huomioon mietittäessä mahdollisia lämmitysjärjestelmän näkyviä ulkoyksiköitä, kotelointia ja sijoitusta. Tässä kohteessa yksiköt voitaneen tarvittaessa sijoittaa pihalle, kun niille tehdään sopiva kotelointi.

3.1.1 Kuntotutkimus

Satpan (2020) kuntotutkimusraportissa lämmitysjärjestelmästä kerrotaan, että öljykattila on asennettu 1999 ja käyttöikäennusteisiin perustuen laitteiston tekninen käyttöikä alkaa ylittymään PTS-jaksolla. Järjestelmässä ei havaittu linjakohtaisia sulku- ja säätöventtiilejä. Huoneistojen patteriventtiilit on varustettu termostaattilla, mutta venttiilit termostaatteineen ovat hyvin eri-ikäisiä ja pääasiassa ikäänntyneitä. Läpivalaisuissa ei ilmentynyt syöpymiä, jotka olisivat vaaraksi matalapaineisen järjestelmän toiminnalle. (Satpa 2020.)

Toimenpide-ehdotukseksi suositeltiin termostaattien vaihtoa, tasapainotuslaitteiden lisäystä (linjansäätöventtiilit) ja verkoston uudelleen säätöä ja tasapainotusta. Lisäksi suositeltiin lämmöntuottolaitteiston uusimista 2023 vuoteen mennessä. (Satpa 2020.)

3.1.2 Lämmitysenergian kulutus

Rakennuksen lämmitystekohontarvetta ja lämmitysenergian kulutusta selvitettiin taloyhtiöltä ja lähtötiedoksi saatiin öljyn kulutus väliltä 1.3.2017-14.1.2021. Kulutus-tiedot perustuvat taloyhtiön öljysäiliön tankkaustietoihin. Säiliö on aina tankattu täyteen, joten taloyhtiöltä laskutetut litrat vastaavat lämmitysjärjestelmän toteutunutta kulutusta tarkastellulla ajanjaksolla.

Tarkastelujaksolla, noin 3 vuotta ja 9 kuukautta, öljyä oli kulunut n. 26 030 litraa, josta saadaan keskiarvo vuosikulutukselle noin 6720 litraa (6717,4 l/a). Kevyen polttoöljyn laskettu tehollinen lämpöarvo on 36 000 kJ/l (VTT), josta saadaan laskettua energiasisältö noin 10 kWh / l. Vuosittain on siis kulunut noin 67 MWh/a (67 174,2 kWh/a) energiaa. Rakennuksen lämmittämiseen kuluneen energian osuus on noin 54 MWh/a (53 739,4 kWh/a), jos lämmityskattilan hyötysuhteeksi oletetaan noin 80 %. Lämpimän käyttöveden kulutuksen osuudeksi saanto energiasta arvioitiin noin 6 MWh/a (6 224,0 kWh/a).

3.1.3 Lämpimän käyttöveden lämmitysenergia

Lämpimälle käyttövedelle arvoitu kokonaisenergian kulutus vuositasolla nykyisellä käytöllä perustuu taloyhtiön puheenjohtajan haastatteluun. Asukaslukuihin ja Motivan sivulta saatuihin arvioihin perustuen on käyttöveden lämmityksen kokonaisenergian kulutus noin 6,2 MWh/a.

Koska käytettävissä ei ollut veden kulutuksen tietoja, täytyi kulutus arvioida muiden tietojen avulla. Arvio perustuu Motivan tekemän kyselytutkimuksen dataan, jonka mukaan yksi henkilö kuluttaa päivässä noin 120 litraa vettä. Lämpimän veden osuus kulutuksesta oli 35 %, eli noin 42 litraa. (motiva.fi.) Haastattelun perusteella kohteessa on asunut pidemmän aikaa 7 asukasta. Näistä tiedoista saadaan laskettua arvoitu käyttöveden kokonaisenergian kulutuksen osuus vuositasolla. Laskentaesimerkissä kuution vesimäärän lämmitysenergian kulutus on 58 kW, kun lämpötila muuttuu 50 °C. Nykyinen menoveden lämpötila on asetettu +55 °C ja oletettu kylmänveden lämpötila on +5 °C.

$$E_{lkv} = 7 \text{ hlö} * 42 \frac{\text{l}}{\text{hlö} * \text{vrk}} * 365 \frac{\text{vrk}}{\text{a}} * 58 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3}$$

$$E_{lkv} = 107,31 \frac{\text{m}^3}{\text{a}} * 58 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3}$$

$$E_{lkv} \approx 6224 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}$$

Lämpimän veden kulutuksen olisi voinut laskea myös neliöperusteisesti, mutta sillä tavoin saatu tulos oli noin kolminkertainen verrattuna edelliseen laskelmaan

(17 504 kWh/a). Koska kohteessa ei ole paljon vettä kuluttavien ikäryhmien henkilöitä, voidaan olettaa asukkaiden lämpimän veden kulutustottumusten olevan vettä säästäviä ja siksi valitaan kyselytutkimukseen perustuva arvio veden lämmitysenergiasta.

Uusien vesijohtosuunnitelmien mukaan mitoitusvirtaama lämpimälle käyttövedelle olisi 0,49 l/s, tulevan KVV saneerauksen jälkeen. Mitoitusvirtaamasta q_{vmit} voidaan laskea käyttöveden lämmityksen huipputehontarve φ_{lkv} . Kaavassa 1 ρ_v on veden tiheys (0,998 kg/l), c_p on veden ominaislämpökapasiteetti (4,19 kJ/(kg °C)) ja ΔT_v on veden lämpötilan muutos (+ 50 °C), olettaen, että verkostosta tuleva vesi on noin +5 °C ja käyttövesi lämmitetään + 55 °C asti.

$$\varphi_{lkv} = q_{vmit} * \rho_v * c_p * \Delta T_v$$

$$\varphi_{lkv} = 0,49 \frac{l}{s} * 0,998 \frac{kg}{l} * 4,19 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} * (55 - 5)^{\circ}C$$

$$\varphi_{lkv} \approx 103 kW$$

Mitoitusvirtaamasta laskettu lämmitystehontarve on n. 103 kW. Kiinteistössä on kuitenkin jo nyt uusia suunnitelmia vastaava määrä vesikalusteita, mutta vain 60 kW tehoinen öljykattila käyttövesikierukalla. Tästä voidaan päätellä, iteroimalla mitoitusvirtaamaa q_{vmit} , käyttöveden lämmitystehon kaavassa, nykyisen toteutuneen mitoitusvirtaaman olevan maksimissaan 0,29 l/s, jolloin lämmin käyttövesi vaatisi noin 60 kW tehon.

3.1.4 Lämmitystehontarpeet

Suunniteltaessa lämmitysjärjestelmän vaihtoa olemassa olevaan kohteeseen pitää selvittää kulutetun energiamäärän ja käyttöveden lämmityksen huipputehon lisäksi myös lämmitystehon tarve. Lämmitysjärjestelmien myyjät käyttävät suuntaa antavia taulukoita, jotka vaihtelevasti perustuvat lämmitettäviin neliöihin tai kuutioihin. Pyynikintie 6:ta varten tehtiin suunnittelun tueksi lämmitystehon tarvelaskenta CADMATIC 19 sovelluksella.

Lähtötietona voidaan käyttää rakennuksen olemassa olevia rakennepiirustuksia tai vaihtoehtoisesti eri lähteistä selvitettyjä kohteen rakentamisajankohdalle tyyppillisiä U-arvoja. Kolmas vaihtoehto laajemmissa saneerauskohteissa on, että rakennesuunnittelija antaa rakennetiedot lämmöntarvelaskelmia varten.

Pyynikintie 6:sta saatiin lähtötietona vain pohjapiirrokset ja kuntotutkimusraportti, joten lämpöhäviölaskelmia varten U-arvot otettiin Energiatodistusopas 2018:n liitteestä vanhojen rakennusten tyyppillisiä suunnitteluarvoja. Taulukossa 5 on esitetty lämpöhäviölaskelmissa käytetyt arvot. Laskelmat tehtiin sekä vanhoilla rakentamisajankohdan arvoilla, että nykyisillä arvoilla, joissa on huomioitu 1980 -luvun remontti. Tällöin kohteeseen vaihdettiin ikkunat ja paremmat ovet. Nykytilannetta arvioitaessa mallista poistettiin myös kellarikerroksen asuintilaksi muutetun autotallin pariovet.

TAULUKKO 5. Pyynikin tie 6 lämpöhäviölaskelmien rakenteet (Ympäristöministeriö. Tyyppillisiä olemassa olevien rakennusten alkuperäisiä suunnitteluarvoja)

Rakenneosa	U- arvo (W / m ² K) vanha	U- arvo (W / m ² K) nykyinen
Alapohja	1,8	1,8
Yläpohja	0,3	0,3
Ulkoseinä	0,55	0,55
Ovi	ei vaatimusta, käytettiin ikkunan arvoa 3,14	2,1
Ikkuna	3,14	2,1 tai parempi
Q 50 luku	5	5

Lämpöhäviölaskelmat tehtiin rakentamisajankohtaan ja nykyiseen tilanteeseen – 29 °C mitoitus pakkasella. Lisäksi Ilmavesilämpöpumpun mitoitusta varten tarkasteltiin nykyisillä rakenteilla myös tilanteet - 25 °C, -20 °C, -15 °C ja -10 °C, määrittäen paljonko rakennus tällöin tarvitsee lämmitystehoa.

Lämpötehon mitoituslaskelmiin käytettiin Cadmatic 19 -ohjelmistoa. Koska tilakohtaisia lämmönjakolaitteita ei ollut tarpeen selvittää, yksinkertaistettiin lämpö-laskentamallia seuraavasti. Kellarikerros huomioitiin täysin yhtenä tilana ilman väliseiniä ja rakenteita, myös autotallit kuuluivat tähän alueeseen. Ensimmäiseen

kerrokseen tehtiin alueet asunto 1, asunto 2, porrashuone ja ulkoporrashuone. Porrashuoneet erotettiin asuintiloista, koska niiden lämpötilatasoksi asetettiin + 17 °C, huoneistot mitoitettiin + 21 °C sisälämpötilalla. Toisen kerroksen tilat jaettiin samoin kuin 1. kerroksen, eli asunnot 3 ja 4 omina alueinaan, ja molemmat portaikot omina alueinaan.

Laskennan tulokset on kerätty taulukkoon 6 ja lämpölaskentaraaportit ovat liitteenä. Ohjelmiston tuesta saatiin tieto, että tehty yksinkertaistus kelpaa tähän tarkoitukseen. Erona kaikkien tilojen mallinnukseen on, ettei nyt huomioitu huoneitilojen sisänurkkien negatiivisia lämpöhäviöitä, ne pitäisi käsin laskemalla lisätä, mutta tässä tapauksessa niiden puute toimii eräänlaisena varmuuskertoimenä laskelmassa. (CADMATIC tuotetuki. 2021)

TAULUKKO 6 Pyynikin tie 6 lämmitystehontarpeet

Laskelma	Lämmitystehontarve
Rakentamisajankohta -29 °C pakkasella	36,150 kW ≈ 36 kW
Nykyinen rakenne -29	34,065 kW ≈ 34 kW
Nykyinen rakenne -25	32,502 kW ≈ 33 kW
Nykyinen rakenne -20	30,549 kW ≈ 31 kW
Nykyinen rakenne -15	28,595 kW ≈ 29 kW
Nykyinen rakenne -10	26,642 kW ≈ 27 kW

Laskelmista huomataan, että rakennukseen tehdyt remontit ovat pienentäneet lämmitysenergian kulutusta noin 6 % rakennusajankohdasta. Lähtötietoja tarkasteltaessa huomataan myös, että 1920-luvun rakennukset ovat olleet hyvinkin laadukkaita, suurin kehitys nykypäivään U-arvoissa on tapahtunut ikkunoissa, nykylämpölasit alittavat 1 W / m² K arvon kirkkaasti. Yläpohjarakenne on puolestaan hyvin lähellä uusien rakennusten arvoja.

3.2 VILP osatehominen + öljy

Lähteiden mukaan ilmavesilämpöpumppu ei toimi kovassa pakkasessa, liikuttaessa + 7 -> - 20 °C valmistajan ilmoittamasta tehosta on enintään puolet käytävissä. Tämän vuoksi laitteiston pariin tarvitaan rakennukseen toinen lämmönkehitysjärjestelmä, joka kattaa rakennuksen koko lämmitystehontarpeen mitoituspakkasella. Käytännössä uudiskohteissa toinen järjestelmä on sähkövastuskattila, mutta saneerauskohteissa vaihtoehtona on myös olemassa oleva öljylämmitysjärjestelmä.

Öljykattilan ja lämpöpumpun yhdistelmä toimii periaatteeltaan siten, että VILP tuottaa lämpöä yksin esimerkiksi - 15 °C pakkaselle asti ja kovemmissa pakkasilla, joita on nykyisin vain lyhyitä jaksoja, käytetään öljyä. Öljyä voidaan myös käyttää käyttöveden tulistamiseen jo - 10 °C pakkasesta alaspäin. Tässä tarkastelussa tehdään oletus, että ulkolämpöpumpun alin käyttölämpötila on - 20 °C ja sitä kovemmissa pakkasella käytetään öljyä lämmitysenergian tuottamiseen.

Hankintaa harkittaessa on myös syytä selvittää riittääkö rakennuksen nykyinen pääsulakekoko vai tarvitseeko sähköverkkoliittymää kasvattaa. Isompi liittymä on perusmaksultaan kalliimpi ja koon kasvatus voi, tilanteen mukaan, vaatia uuden liittymisjohdon ja keskuksen vaihtoa.

3.2.1 Ilmavesilämpöpumppu

Ilmavesilämpöpumppu on hankintahinnaltaan edullisempi kuin maalämpöpumppu, mutta käänköpuolena ns. ilmaisenergian osuus jää maalämpöpumppua pienemmäksi. Motivan ja RT-korttien mukaan, ilmavesilämpöpumpulla lämpökeruimet vuositasolla ovat noin 2 kilowattituntia ilmaisenergiaa per kulutettu sähkökilowattitunti ja maalämmöllä kerroin on tasaisesti noin 3. Valmistajien sivuja tutkiessa molempien järjestelmien kertoimet ovat suurempia, mutta trendi on edelleen sama, maalämmöllä ilmaisenergian osuus vuositasolla on suurempi.

Ulkoilmavesilämpöpumppu ei voi toimia rakennuksen ainoana lämmityslaitteena, vaan se tarvitsee rinnalleen toisen täysitehoisen lämmityslaitteiston. Tässä tapauksessa voidaan käyttää vanhaa öljykattilaa täysitehoisena lämmitysjärjestelmänä ja valita sen rinnalle osatehoinen ulkoilmavesilämpöpumppu. Markkinoilla on usealta eri valmistajalta laitteita, joista voidaan valita, eri laitteilla on kuitenkin eroavat ominaisuudet esimerkiksi pienimmän toimintalämpötilan suhteen. Kustannustehokasta järjestelmää suunniteltaessa pitää miettiä osatehoisia laitteita valittaessa myös hintaa, ei välttämättä kannata tähdätä tarkasti haluttuun tehoon, jos se vaatii useita laitteita. Voi olla järkevää vaihtoehtoisesti ottaa hieman aiottua alitehoisempi yksittäinen laite, jolloin säästetään asennus- ja hankintakuluissa. Seuraavaksi esitellään kolmen eri valmistajan laitteista valitut ratkaisut.

Scanofficen maahantuoma Mizubishi Electric Energiansäästäjä, on öljylämmityksen rinnalle asennettava ilmavesilämpöpumppulaitteisto. Siihen kuuluu monoblock -ulkoyksikkö, lämmönvaihdin ja ohjausyksikkö lämmitysjärjestelmälle. Toimintaperiaate on, että ulkoyksiköstä lämmönvaihtimelle kiertää vesiglykoli-seos ja lämmönvaihdin siirtää tuotetun lämmön lämmitysverkoston veteen. Ulkoyksiköitä on kahta tyyppiä, joista paremmalla kompressoriteknikalla varustettujen laitteiden alin toimintalämpötila on - 28 °C. Laitteiden huipputehot ovat 9,3/13,1/28 kW, joista valitaan kohteeseen sopiva. Laitteista tehokkain Mitsubishi Electric SHW230YKA2 tarjoaa lämmitystehoa 11,4–28 kW. Mielestäni kohteeseen on järkevin valita tämän tehoinen laite, sen lämmitystehoa verratessa taulukon 6 lämmitystehontarpeisiin, voidaan olettaa sen kattavan hyvin koko lämmitystehontarpeen aina - 15 °C asti. Taulukkoa 4 tarkastellessa nähdään - 15 °C pakkasen pysyvyyden olevan Tampereella talvella noin 2,4 %, joten pumppu riittää lämmitykseen hyvin suurimman osan vuodesta. Laitteen COP on ilmoitettu 3,65. (Mitsubishi Electric Ecodan R32 (EHST20D-YM9D) esite.)

Toisena vaihtoehtona tarkasteltiin Niben POLAR PLUS monoblock -ilmavesilämpöpumppua. Erona edelliseen on, että lämmitysverkoston vesi kiertää rakennuksesta ulkoyksikköön, jossa lämpö siirtyy suoraan kylmäaineesta lämmitysverkoston veteen. Laite kykenee tuottamaan lämpöä - 25 °C pakkaselle asti. Ulkoyksiköt ovat maksimilämmitysteholtaan + 55 °C lämmitysverkoston rinnalla 7,4/9,8/14 kW. Tehot ovat pieniä tarpeeseen nähden, joten kohteeseen tarvitaan kaksi lai-

tetta. Laitteista valitaan tehokkain ulkoyksikkö NIBE F2120 - 20, kahdella laitteella järjestelmä tarjoaa tehoa 11–28 kW riittäen lähes - 15 °C pakkaselle asti. Ilmoitettu COP on 3,5. (Tuote-esite NIBE Polar.)

Kolmantena vaihtoehtona tarkasteltiin REMKO LWM -sarjan tuotteita. Kuten edelliset myös REMKO on monoblock -ilmavesilämpöpumppu. Lämmityksen käyttörajana on Niben tavoin - 25 °C, saman kaltaista on myös se, että lämmitysjärjestelmän vesi kiertää ulkoyksikössä. REMKO:n on saatavilla lisävarusteena energiansäästöpaketti, joka ulkoyksiköiden lisäksi sisältää puskurivaraajan 1000 l, käyttöveden sähköisen läpivirtauslämmittimen ja säätimen. Ulkoyksiköt ovat maksimilämmitystehoiltaan 8/10,7/14,5 kW. Valmistaja tarjoaa suoraan pumppujen yhdistelmiä ja kohteeseen paras yhdistelmä on LWM 150 Duo, joka antaa sarjaan kytkettynä 3–29 kW lämmitystehon ja on siten vertailtavissa muiden valintojen kanssa. Laitteet riittävät – 15 °C asti ja ilmoitettu COP kylmässä ilmastossa on 3,57. (LMW Esite 2021.)

Ympäristöministeriön ohjeessa rakennuksen energiankulutuksen ja lämmityshontarpeen laskentaan on taulukko, jossa on esitettyä ulkovesilämpöpumpun kattama osuus tilojen ja lämpimän käyttöveden lämpöenergiasta. Kuvassa 2 on poimittu tästä taulukosta vyöhykkeen I ja II osa. Taulukossa luettavissa on lämpöpumpun tuottama lämpöenergian osuus rakennuksen kokonaislämpöenergiantarpeesta. ϕ_{LPn} on lämpöpumpun tuottama lämpöteho ja ϕ_{tila} on tilojen mitoitusteho. $Q_{lämmitys, tilat}$ on tilojen lämpöenergian tarve, $Q_{lämmitys, lkv}$ on lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve ja T_m on korkein menoveden lämpötila. ϕ_{LPn} arvona käytetään toimintapistettä $T_{ulko} / T_{meno} + 7/35$ °C. Taulukko kokonaisuudessaan on liitteessä 3.

ϕ_{LPn}/ϕ_{tila}	$Q_{\text{lämmitys, tilat}}/Q_{\text{lämmitys, lkv}}$	Ulkoilmalämpöpumpun käyttöveden			
		Säävyöhyke: I-II			
		$T_{m,y}$ °C			
		30	40	50	60
0,70	0,50	0,73	0,73	0,73	0,73
	1,00	0,83	0,81	0,80	0,78
	2,00	0,87	0,85	0,83	0,82
	4,00	0,89	0,87	0,85	0,83
0,80	0,50	0,81	0,80	0,80	0,79
	1,00	0,88	0,87	0,85	0,84
	2,00	0,90	0,89	0,88	0,86
	4,00	0,91	0,90	0,88	0,87
0,90	0,50	0,89	0,88	0,88	0,87
	1,00	0,92	0,91	0,90	0,89
	2,00	0,92	0,91	0,90	0,89
	4,00	0,92	0,91	0,90	0,89
1,00	0,50	0,92	0,92	0,91	0,90
	1,00	0,93	0,92	0,92	0,91
	2,00	0,93	0,92	0,92	0,91
	4,00	0,93	0,92	0,91	0,90

KUVA 2 Ulkoilmalämpöpumpun kattama osuus tilojen ja lämpimän käyttöveden lämpöenergiasta (ympäristöministeriön ohje rakennusten energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskentaan) koko taulukko liitteessä 3.

Esimerkiksi Mitsubishi energiasäästäjä -ratkaisulla ϕ_{LPn} on tuotettava maksimiteho, arvoa verrataan mitoitustehoon - 29 °C pakkasella, eli ϕ_{tila} on 34 kW. $Q_{\text{lämmitys, tilat}}$ on rakennuksen toteutunut lämmitysenergian kulutus 54 MWh/a ja $Q_{\text{lämmitys, lkv}}$ on noin 6 MWh/a.

$$\phi_{LPn}/\phi_{tila} = 28 \text{ kW} / 34 \text{ kW} = 0,82$$

$$Q_{\text{lämmitys, tilat}}/Q_{\text{lämmitys, lkv}} = 54 \text{ MWh/a} / 6 \text{ MWh/a} = 9$$

Taulukosta nähdään, että lämmityksen menoveden lämpötilan ollessa + 50 °C ja lämmitysenergioiden suhteena käytettäessä suurinta esitettyä arvoa 4, ulkoilmalämpöpumppu kattaa ainakin 88 % koko rakennuksen vuotuisesta energiankulutuksesta. Taulukossa käyttöveden ja rakennuksen lämmitysenergian suhteita on esitetty vain arvoon 4 asti. Taulukon arvoja tarkastelemalla voidaan päätellä, että järjestelmän kattama osuus vuotuisesta lämmitysenergiantarpeesta on kasvanut,

kun käyttöveden- ja rakennuksen lämmitysenergian suhde on kasvanut. Taulukossa 7 on esitetty edellä määritettyjen järjestelmien kattavuus rakennuksen nykyisestä energian vuosikulutuksesta. Tilojen lämmityksen ja lämpimän käyttöveden energioiden suhde on joka tarkastelussa sama 9. Koska taulukon laadinnassa on oletettu, ettei alle - 20 °C pakkasella enää käytetä lämpöpumpua, asetetaan se tarkastelussa oletukseksi REMKO:lle ja Mitsubishille, vaikka ne toimivat valmistajan ilmoituksen mukaan myös kylmemmässä.

TAULUKKO 7. Ilmavesilämpöpumppujen kattavuus rakennuksen vuotuisesta energiantarpeesta

Laite	$\varphi_{LPn} / \varphi_{tila}$	Minimi toimintalämpötila ja lämpötilan pysyvyys talvella	Järjestelmän kattavuus.
Mizubishi	0,82	- 20 °C / 1,1 %	88 %
Nibe	0,82	- 20 °C / 1,1 %	88 %
REMKO	0,85	- 20 °C / 1,1 %	88 %

Tarkastelusta nähdään, että tilojen lämmityksen ja lämpimän käyttöveden energioiden suhde on 1:9, eli karkeasti 10 % lämmitysenergiasta kuluu nykyisin käyttöveden lämmitykseen. Lisäksi valitun minimikäyttölämpötilan vuoksi 1,1 % talvesta joudutaan turvautumaan muuhun lämmitysmuotoon, eli öljyyn, joka on arvioitu olevan 2 % koko vuoden lämmitysenergian tarpeesta. Tästä tulee 12 % osuus, jota ei voida kattaa ilmavesilämpöpumpulla. Koska kohteessa on öljylämmitys, kannattaa sitä hyödyntää jatkossakin.

Ilmavesilämpöpumppujen hyviin puoliin kuuluu järjestelmän muuntojoustavuus. Esimerkiksi kun halutaan tuottaa käyttövettä ilman öljykattilaa, voidaan lämpöpumpun lisäksi järjestelmään asentaa käyttöveden lämmitykseen sopiva energia-varaaja. Tähän tarkoitukseen sopii esimerkiksi Gebwellin G-energy Coil 501 L, jossa on yksi, 25 m pitkä käyttöveden valmistuskierukka tai 1000 L -malli kahdella käyttöveden lämmityskierukalla. (Gebwell-G-Energy-Varaajat.)

Varaajan lisääminen järjestelmään parantaa lämpöpumpun toimintaa, kun pumppu voi käydä pidempiä jaksoja kerralla sekä mahdollistaa käyttöveden lämmittämisen, jos kattilaan tulee huolto tai vaihtotarve. Varaajia on mahdollista ottaa myös lämpöpumppuvalmistajalta lisävarusteena, vaikka se mahdollisuus tässä tarkastelussa on tarkoituksella jätetty huomioimatta ja vertailun selkiyttämiseksi järjestelmään otetaan Gebwellin varaaja.

3.2.2 Öljykattilajärjestelmä

Öljylämmitysjärjestelmän on kuntotutkimuksessa arveltu olevan tulossa käyttökänsä päähän. Järjestelmähuoltaja puolestaan arvioi, että laitteisto on vielä hyvässä kunnossa ja toiminee nykyisellä käytöllä ainakin 5 vuotta. On siis todennäköistä, että öljylämmitysjärjestelmän komponentit toimivat useita vuosia hyvin lisälämmitysjärjestelmänä, jolloin käyttöä on maksimissaan vain 20 % nykyisestä. On myös hyvä huomata tarkastaa savuhormin kunto, josta ei ole tällä hetkellä tietoa.

Lämmitysöljyn kulutusdatasta voi päätellä, että maahan asennetun öljysäiliön voisi korvata 1500 litran sisäsäiliöllä. Jos uusi lämmitysmuoto hoitaa vähintään 80 % vuosienkulutuksesta, riittää 20 % nykyisestä kulutetusta öljystä koko vuodeksi.

$$V_{Uusikulutus} = V_{NYK\ kulutus} * 0,2$$

$$V_{Uusikulutus} = 6717 \text{ dm}^3/a * 0,2 = 1343 \text{ dm}^3/a \approx 1400 \text{ dm}^3/a$$

Polttimen uusinta-ajankohtaa on vaikea arvioida, mutta siihen on syytä varautua ainakin takaisinmaksuaikaa arvioitaessa, kuten myös öljysäiliön poistoon ja uusintaan. Uusi poltin voisi olla esimerkiksi biopolttoöljylle sopiva, jolloin lämmityksen hiilijalanjälki pienentyisi huomattavasti öljyn osalta.

3.3 MLP osatehomitoitus + sähkö

Maalämpöpumppu voidaan mitoittaa monella eri osateholla (60–80 %), jolloin vuosienergiasta noin 95–98 % saadaan tuotettua lämpöpumpulla. Järjestelmään valitaan myös käyttövesivaraaja ja lämmityksen puskurivaraaja, sekä arvioidaan tarvittava maalämpökaivon syvyys. Vaikka pumpun mitoitus tehdään osatehomi-toituksena, lasketaan kaivo täysteholla, jotta voidaan olla varmoja järjestelmän toimivuudesta kaikissa tilanteissa.

3.3.1 Maalämpöpumpun valinta

Maalämpöpumppuja valitaan osateholla 60–80 % täydestä tehontarpeesta, 60 % teho tarkoittaa tässä kohteessa noin 20,4 kW tehoa ja 80 % teho 27 kW tehoa. Täysteholle mitoitettaessa pumpun tulisi olla 34 kW tehoinen. Osatehojen antamaan haarukkaan löytyy useimmilta valmistajilta vähintään yksi laite. Valittaessa laitteita osateholle ei ole kustannustehokasta ottaa usean pumpun yhdistelmiä, ellei se ole pakollista. Sen sijaan olisi pyrittävä löytämään yksi pumppu, jolla tuotetaan haluttu teho.

Kiinteistön tarpeisiin sopivia pumppuja ovat esimerkiksi Alpha Innotecin valmistama SW alterra plus sen lämmitystehot ovat 22,3 / 25,6 / 29,6 kW (Esite SW Alterra Plus). Gebwellin T²:n lämmitystehot ovat 4,9 / 6,8 / 8,5 / 12,2 / 14,6 / 20,3 / 27,3 / 30,9 kW (T2 lämpöpumppu -esite). Niben S1155:n lämmitystehot ovat 6/12/16/25 kW (Tuote-esite Nibe S1155). Kaikki pumput ovat invertteriohjattuja ja ilman integroitua lämminvesivaraajaa. Vertailuun valitaan näistä ratkaisuista lähimpänä toisiaan tehon perusteella olevia noin 25 kW malleja.

Alpha Innotecin alterra SW 26, josta saadaan lämmitystehoa 25,6 kW laitteella voidaan tuottaa maksimissaan + 65 °C lämpöistä vettä ja COP arvoksi on ilmoitettu 4,92 (Esite SW Alterra Plus). Gebwellin T² mallistosta valitaan T² 26, joka antaa 27,6 kW lämmitystehon ja COP on ilmoitettu 4,7 (T2 lämpöpumppu -esite). Niben S1155 -mallista valitaan 6–25 kW malli, joka antaa lämmitystehoa 25 kW ja jonka COP on 4,68 (Tuote-esite Nibe S1155).

Pumppuja verrattaessa täytyy olla huolellinen, että esimerkiksi COP arvo on jokaisessa verrokissa ilmoitettu samalla lämpötilatasolla. Tässä vertailtiin COP 0 °C / 35 °C arvoja, koska kaikille laitteille ei ollut ilmoitettu arvoa 0 °C / 55 °C, eli siis ilmaisenergian kerrointa, kun ulkona on 0 °C ja tuotetun veden lämpötila on + 55 °C.

Ympäristöministeriön ohjeessa rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskentaan on liitteenä taulukko, jossa on esitettyä maalämpöpumpun kattama osuus tilojen ja lämpimän käyttöveden lämpöenergiasta. Kuvassa 3 on poimittu tästä taulukosta vyöhykkeen I ja II osa. Taulukossa luettavissa on lämpöpumpun tuottama lämpöenergian osuus rakennuksen kokonaislämpöenergiatarpeesta. ϕ_{LPn} on lämpöpumpun tuottama lämpöteho ja ϕ_{tila} on tilojen mitoitusteho. $Q_{lämmitys, tilat}$ on tilojen lämpöenergian tarve, $Q_{lämmitys, lkv}$ on lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve ja T_m on korkein menoveden lämpötila. ϕ_{LPn} arvona käytetään toimintapistettä $T_{ulko} / T_{meno} + 7/35$ °C. Taulukko kokonaisuudessaan on liitteessä 2.

ϕ_{LPn} / ϕ_{tila}	$Q_{lämmitys, tilat} / Q_{lämmitys, lkv}$	Maalämpöpumpun kattama osuus			
		Säävyöhykke: I-II			
		$T_m, °C$			
		30	40	50	60
0,70	0,50	0,92	0,90	0,88	0,87
	1,00	0,97	0,95	0,94	0,92
	2,00	0,98	0,96	0,95	0,93
	4,00	0,98	0,97	0,95	0,94
0,80	0,50	0,97	0,96	0,95	0,94
	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96
	2,00	0,99	0,98	0,97	0,96
	4,00	0,99	0,98	0,97	0,96
0,90	0,50	0,99	0,98	0,98	0,97
	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97
	2,00	1,00	0,99	0,98	0,98
	4,00	1,00	0,99	0,98	0,97
1,00	0,50	1,00	0,99	0,99	0,98
	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99
	2,00	1,00	1,00	0,99	0,99
	4,00	1,00	1,00	0,99	0,99

KUVA 3 Maalämpöpumpun kattama osuus tilojen ja lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarpeesta (ympäristöministeriön ohje rakennusten energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskentaan) koko taulukko liitteessä 2.

Esimerkiksi Niben maalämpöpumpulla φ_{LPn} on ratkaisulla tuotettava maksimiteho, arvoa verrataan mitoitus tehoon -29 °C pakkasella, eli φ_{tila} on 34 kW. $Q_{\text{lämmitys, tilat}}$ on rakennuksen toteutunut lämmitysenergian kulutus 54 MWh/a ja $Q_{\text{lämmitys, lkv}}$ on noin 6 MWh/a.

$$\varphi_{LPn}/\varphi_{tila} = 25\text{ kW}/34\text{ kW} = 0,74$$

$$Q_{\text{lämmitys, tilat}}/Q_{\text{lämmitys, lkv}} = 54\text{ MWh/a}/6\text{ MWh/a} = 9$$

Maalämpöpumpun kattamaa osuutta tilojen lämmitysenergian kulutuksesta arvioidaessa käytetään patteriverkoston menoveden lämpötilaa T_m 50. Kuten ilmavesilämpöpumppujen kohdalla myös tässä tapauksessa tilojen ja lämpimän käyttöveden lämmitysenergioiden suhde on 9, joten kuvan 3 taulukkoa tulkitaan suurimmalla arvolla 4. Maalämpöpumppuvaihtoehtojen kattavuudet rakennuksen energiankulutuksesta on esitetty taulukossa 8.

TAULUKKO 8 Maalämpöpumpun kattavuus rakennuksen energiankulutuksesta

Laite	$\varphi_{LPn}/\varphi_{tila}$	Järjestelmän kattavuus rakennuksen energiankulutuksesta.
Alpha innotec	0,75	95 %
Gebwell	0,81	97 %
Nibe	0,74	95 %

Verrattaessa taulukon 8 arvoja ilmavesilämpöpumpun vastaavan tehoisten laitteiden tuloksiin taulukossa 7 huomataan, että samansuuruisella osateholla maalämpö pystyy tuottamaan noin 10 % suuremman osan rakennuksen energiantarpeesta kuin ilmavesilämpöpumppu. Tämä johtuu siitä, että kovimmilla pakkasilla maalämpö tuottaa kuitenkin saman osuuden tehontarpeesta kuin lauhemmallalla säällä ja vain huipputeho tehdään sähkövastuksella. Toinen syy erolle on, että maalämpöpumppu kykenee tuottamaan myös lämpimän käyttöveden, toisin kuin ilmavesilämpöpumppu.

3.3.2 Energiakaivo

Maalämpökaivon järjestelmään mitoittaa lopulta laitemyyjä / kaivosuunnittelija, mutta kaivon koolle voi luoda karkean arvion itse. Kohteesta tunnetaan vuotuinen energiankulutus ja kaivo on aina, myös osatehomitoitetun pumpun kanssa, mitoitettava täydellä energiantarpeella. Koska maalämpöpumppujen hyötysuhteet ovat jatkuvasti parantuneet ja nykyisin noin 4–5, käytetään 4,5:tä kaivon energiamäärän mitoituksessa. Rakennuksen nykyinen lämmitysenergian tarve on noin 54 000 kWh / a.

$$Q_{kaivo} = Q_{kok} - \frac{Q_{kok}}{COP}$$

$$Q_{kaivo} = 54\,000\text{ kWh} - \frac{54\,000\text{ kWh}}{4,5} = 42\,000\text{ kWh}$$

Kaivosta tehon tarve on noin 42 000 kWh vuodessa, Niben maalämpöpumppu-esitteessä on esitetty Tampereen säävyöhykkeellä (II) lämpökaivosta teholliselta osuudelta vuodessa saatavan tehon olevan 130–140 kWh / m, josta voidaan laskea arvioidun kaivon tehollisen pituuden olevan noin 323 m.

$$h_{kaivo} = \frac{Q_{kaivo}}{Q_{kaivo\ metri}}$$

$$h_{kaivo} = \frac{42\,000\text{ kWh}}{130\text{ kWh/m}} = 323\text{ m}$$

Techeat -maalämpösuunnittelun sivuilla suositellaan, että yleensä kaivojen standardin mukaiseen syvyyteen lisättäisiin 20–25 % syvyyttä paremman toimintavarmuuden saavuttamiseksi (techeat.fi). Kaivon tehollinen syvyys olisi silloin noin 400 metriä.

$$323\text{ m} * 1,25 = 403,75\text{ m} \approx 400\text{ m}$$

3.3.3 Energiavaraaja ja käyttövesivaraaja

Hyvin toimiakseen maalämpöpumppu vaatii puskurivaraajan. Varaaja käytännössä laajentaa lämmitysjärjestelmän vesitilavuutta, lisäksi se toimii lämpöakuna, jota pumppu lataa. Näin pumppu käy pidempiä jaksoja kerralla ja käynnistyy harvemmin. Varsinkin käynnistysten lukumäärällä tiedetään olevan vaikutusta pumpun käyttöikään. Mitä useammin pumppu käynnistyy ja sammuu, sitä nopeammin se kuluu. Puskurivaraajaan tarvitaan tässä osatehomitoituksesta johtuen vähintään $34\text{kW} - 25\text{kW} = 9\text{kW}$ sähkövastukset, jotta koko lämmitystehontarve pystytään kattamaan. Vastuselementin lisäksi energiavaraajaan voidaan ottaa käyttöveden esilämmityskierukka, joka lämmittää kylmää käyttövettä ennen varsinaista käyttövedenlämmittintä.

Järjestelmä tarvitsee myös käyttövesivaraajan, johon lämpöpumppu tuottaa kuumaa käyttövettä varastoon. Silloin käyttöveden lämmitykseen riittää matalampi huipputeho kuin läpivirtauslämmityksessä, josta on esimerkkinä vanhan öljykattilan käyttöveden lämmityskierukka. Esimerkkivaraajat on esitetty taulukossa 8.

TAULUKKO 8. Maalämpöjärjestelmän varaajat

Varaaja	Tilavuus	Sähköteho
Gebwell G-energy Coil	1000 L	9 kW
Nibe VPB 500	490 L	

Gebwellin G-energy coil 1000 L -varaaja on mahdollista ottaa 1–4 kpl käyttövesikierukoilla ja neljällä vastuksella, tässä kohteessa yksi 9 kW vastus riittää lisälämmöntuottoon (Gebwell-G-Energy-Varaajat). Käyttövesivaraajaksi otetaan esimerkiksi Nibe VPB 500, jossa on maalämpöpumpun käyttämisen mahdollistava latauskierukka, lisäksi varaajaan saa tarvittaessa lämmitysvastuksen (Nibe VPB 500-1000).

3.4 Kaukolämpö

Järjestelmä on kompaktein vaihtoehto tilantarpeeltaan, kaukolämpökeskus ei tarvitse lisäksi energiavaraajia. Se on lähes huoltovapaa ja täystehoinen järjestelmä korvaamaan talon nykyisen lämmönlähteen.

Kaukolämpöön liittymistä harkittaessa täytyy selvittää mistä verkosto kulkee, sillä jos lähin runkolinja on kaukana, tulee liittymästä kallis pelkän kaivamisen ja putkien vetämisen vuoksi. Kohteen lähellä sijaitsevat kaukolämpölinjat on esitetty oranssilla kuvassa 4. Liittymää hinnoiteltaessa pitää lisäksi tietää ainakin kohteen lämmitettävä tilavuus tai rakennusala, ja huoneistojen määrä.



KUVA 4 Kaukolämpöverkosto (Tampereen sähkölaitos)

3.4.1 Liittymän mitoitus- + liittymistiedot

Tampereen sähkölaitoksella on laskuri, jolla voi tehdä alustavan hinta-arvion. Laskuri arvioi kaukolämpötehon ja sopimusvesivirran, perustuen lämmitettävän huoneistoalaan, sekä asuntojen lukumäärään. Lisäksi kun laskuriin syöttää arvioidun liittymäjohdon pituuden, eli johdon rakennukselta kaukolämpöverkolle kaivettavan putkiosuuden pituuden ja rakennuksen sisälle tulevan liittymäjohdon pituuden, laskuri laskee arvion liittymiskustannuksista, perusmaksusta ja energia-

maksusta. Laskurista saatiin huomattavasti omaa arviota tehottomampi kaukolämpölaitteisto, joten kaukolämmön mitoittamiseksi oltiin yhteydessä Tampereen sähkölaitokseen.

Kaukolämpöliittymän tarkempi mitoitus tehtiin kaukolämpöasiantuntija Pasi Mantereen kanssa puhelimitse (15.4.2021). Kaukolämpöliittymää mitoittaessa on hyvä tietää rakennuksen toteutunut kulutus, ja lämmityksen sekä käyttöveden lämmitystehontarpeet. Kaukolämpöliittymän sopimuksen solmimisesta lämpöjen päälle kytkentään on syytä varata vähintään 2kk, että asennustiimi ehtii tekemään liitoksen. Liittymän tiedot on esitetty taulukossa 9.

TAULUKKO 9. Kaukolämmön arvioidut liittymä tiedot ja kustannukset HUOM hinnat ALV 0 % (Tampereen Sähkölaitos lausunto 15.4.2021)

Sopimusvesivirta	0,6 m ³ / h
Kaukolämpöteho	Lämmitys 34 kW Käyttövesi 90 kW
Liittymiskustannukset	3900 € + Kaivuu 180 €/m
Perusmaksu (Tehomaksu)	179 €/kk -> 2148 € / a
Kulutusmaksu (Energiamaksu)	52 €/MWh ->2700 € / a
Lämmityskustannukset yht.	4848 € / a

3.4.2 Kaukolämpökeskus

Kaukolämpökeskukseksi otetaan tarkasteluun Högforsgst UNIS 150-2RF -seinälle asennettava kaukolämpökeskus. Högforsgst on paljon käytetty valmistaja. Keskuksen tyyppi ja hinta-arvio saatiin valmistajalta kaukolämmön mitoitus tietojen perusteella. Laitteet ovat yleiset ja saatavilla useimmista LVI-tukuista.

4 KUSTANNUKSET JA ELINKAARI

Tässä luvussa vertaillaan eri järjestelmien hankintakustannuksia, energianhintaa ja elinkaarikustannuksia. Jotta voidaan vertailla hankintakustannuksia, otetaan jokaiseen järjestelmään esimerkkilaitteet, joiden hinta tiedetään. Hankintahintoja vertaillessa on huomioitava, että kaikki hinnat joko sisältävät arvonlisäveron 24 % tai sitten kaikki ovat ilman arvonlisäveroa. Tässä vertailussa kaikki hinnat sisältävät arvonlisäveron.

Energian hintaa arvioidaan vuositasolla, laskemalla joka järjestelmälle uusi energian hinta nykyisellä kulutuksella. Vertailukohtana takaisinmaksuajan arvioimiseksi käytetään nykyistä öljylämmitystä.

Lopuksi tehdään arvio energiatehokkuuden parantumisesta näillä esimerkkiratkaisuilla. Vertailu tehdään laskennallista vanhaa puu-uunilämmitystä vastaan, joka on määräävänä tekijänä energiatehokkuuden muutosta arvioitaessa.

4.1 Kustannukset

Kustannuksia vertailtiin laitteiden hankintahintojen perusteella, jotta vertailusta saatiin selkeä ja vältettiin epämääräisiä hinta-arvioita asioista, joita ei tässä työssä muuten ole käsitelty. Esimerkiksi työn osuutta ei ole huomioitu, koska hinta vaihtelee paikkakunta- ja urakoitsijakohtaisesti.

4.1.1 Hybridi

Mitsubishi Electric SHW 230 Energiansäästäjä (28 kW), COP 3,65 maksoi 11 195 € sis. alv 24 % (pumppukauppa.fi). Nibe Polar Plus 2120–20 laitteita tarvittaisiin 2 kpl (28kW), COP 3,5, hintaa tulisi kaksi kertaa 9 690 € eli 19 380 € sis. alv 24 % (maalämpötukku.fi.)

REMKO LWM 150 Duo (29 kW), COP 3,57, tuotteelle ei löytynyt Suomesta hintaa, ulkomaisen ToolTeam:n verkkokaupassa laitteet maksavat 22 321 € sis. 11 % veron, rahti ei kuulunut hintaan (Toolteam24.com). Ilmavesilämpöpumpuista selvästi edullisin on Mitsubishi Electric SHW 230. Sillä on myös paras ilmoitettu COP arvo, joten se valitaan hintavertailuun.

Gebwellin G-Energy Coil -varaajista halvempi oli 501 L malli, jossa oli vesitilaavuutta vain 500 litraa ja yksi käyttöveden lämmityskierukka, se maksoi 2 985 € sis. alv 24 % (Taloon.com). Kalliimpi 1000 L -varaaja on 1 000 litran vesitilavuudella ja kahdella käyttöveden lämmityskierukalla varustettu, se maksoi 3 549 € sis. alv 24 % (maalämpöä.fi). Koska varaajilla ei ole suurta hintaeroa otetaan paremmalla käyttövedenlämmityskapasiteetilla varustettu puskurivaraaja Gebwell G-Energy Coil 1000 L 2x25 lämminvesivaraaja 6bar esimerkiksi hintatarkaste luun.

TAULUKKO 10. Hybridijärjestelmän pääosien hinnat, sis. alv 24 %.

Laite	Tuote	Hinta sis. alv 24 %
Lämpöpumppu	Mitsubishi Electric SHW 230	11 195 €
Energiavaraaja LKV kierukalla	Gebwell G-Energy Coil 1000 L 2x25	3 549 €
Öljypoltin	Oilon OILPRO 5 L	1 300 €
Uusi öljysäiliö	MOTOPLAST 1500 L Valuma-altaalla	1 123 €
Yht		17 167 €

Koska ratkaisussa öljypoltinjärjestelmä on merkittävässä roolissa rakennuksen lämmöntuotannossa, varaudutaan laskelmassa polttimen uusintaan bioöljypolttimeksi ja polttoainesäiliön uusintaan.

4.1.2 Maalämpö

Maalämpöpumpuista tarkasteltiin ilmavesilämpöpumppujen tavoin kolmea eri pumppua. Gebwellin T²26 (27,6 kW) pumpun COP oli 4,7 ja sen hinta oli 8 700 € sis. alv 24 % (maalämpötukku.fi). Niben S1155 6-25kW (25 kW) pumpun COP oli 4,7 ja sen hinta oli 11 490 € sis. alv 24 % (maalämpötukku.fi). Alpha Innotec:in Alterra SW plus 26 (26kW) pumpun COP oli 4,9 ja pumppu olisi siten vertailun energiatehokkain, mutta laitteelle ei onnistuttu saamaan hintaa. Tutkituista pumppuista Gebwellin pumppu oli edullisempi ja se valittiin hintavertailuun.

Varaajiksi järjestelmään valittiin puskurivaraaja Gebwell G-Energy Coil 1000 L 2x25 lämminvesivaraaja 6bar, jonka hinta oli 3 549 € sis. alv 24 % (maalämpöä.fi). Lämmitykseen tarvitaan maalämpöpumpun lisäksi myös sähkövastus, joten valitaan tarkasteluun Gebwell sähkövastus 10 kW termostaatilla ja rajoitinyksiköllä 266 € sis. alv 24 % (taloon.com). Käyttövesivaraajaksi valittiin Niben VPB 500, jonka hinta oli 2 825 € sis. alv 24 % (sarokas.fi).

TAULUKKO 11 Maalämpöjärjestelmän pääosat, hinnat sis. alv 24 %

Laite	Tuote	Hinta sis. alv 24 %
Lämpöpumppu	Gebwell T ² 26	8 700 €
Lisälämmitysvastus	Gebwell sähkövastus 10 kW	266 €
Energiavaraaja	Gebwell G-Energy Coil 1000L 2x25, 6bar	3 549 €
Käyttövesivaraaja	Niben VPB 500	2 825 €
Energiakaivot	2 X 200 m porakaivo	30 – 90 €/m -> 12 000 – 36 000 € ≈ 24 000 €
Vanhan öljylämmityksen poisto	purku	3000 €
Yht		42 340 €

Energiakaivojen poraushinnat vaihtelevat suuresti. Kohde sijaitsee Tampereella Pyynikillä hiekkaharjussa, joten kaivojen poraus tuskin onnistuu halvimmalla hinnalla, arviossa käytetäänkin kahden poraushinnan keskiarvoa. Techeat.fi sivulla annetaan 1–2 kaivon kohteille hinnaksi keskimäärin 30–35 € / metri. (techeat.fi).

Kuitenkin vaikeissa kohteissa hinta voi olla paljon korkeampi, eräässä maalämpökohteessa kaivon metrihinta oli lopulta 90 €/ metri. Tarkin hinta olisi selvitettävissä, samalla alueella maalämpöönliittyneeltä taloyhtiötä, tai alueella toimineesta urakoitsijalta, joka tietää alueen poraus hinnan.

Öljylämmityslaitteiston purkamisen hinta perustuu kokemusperäiseen arvioon, joka saatiin haastateltaessa paikallista rakennusalan toimijaa Ari Hakamäkeä 20.4.2021. Hakamäen mukaan hintaan vaikuttavat huomattavasti kohdekohtaiset muuttujat tilojen ja laitteiden osalta. Hinta pitää sisällään arvion vanhan öljykattilan purkamisesta ja vanhan öljysäiliön poistosta olettaen, että säiliö pystytään helposti kaivamaan ylös.

4.1.3 Kaukolämpö

Kaukolämmön hinnat selvitettiin Tampereen Sähkölaitokselta liittymän mitoituksen yhteydessä. Alla olevassa taulukossa 12 hinnat on esitetty sisältäen arvonlisäveron 24 %. Kaukolämpökeskukseksi valittiin tarkasteluun Högforsgst UNIS 150 2RF.

TAULUKKO 12. Kaukolämpökeskuksen hinta, sis. alv 24 %

Tuote	Hinta Sis. Alv 24 %
Kaukolämpöliittymä	liittymä 5131 € +kaivumetri 237 € / m
Kaukolämpökeskus	4 079 €
Vanhan öljylämmityksen poisto	3000 €
Yht	12 921 € ≈ 13 000 €

4.2 Energianhinnat ja takaisinmaksuajat

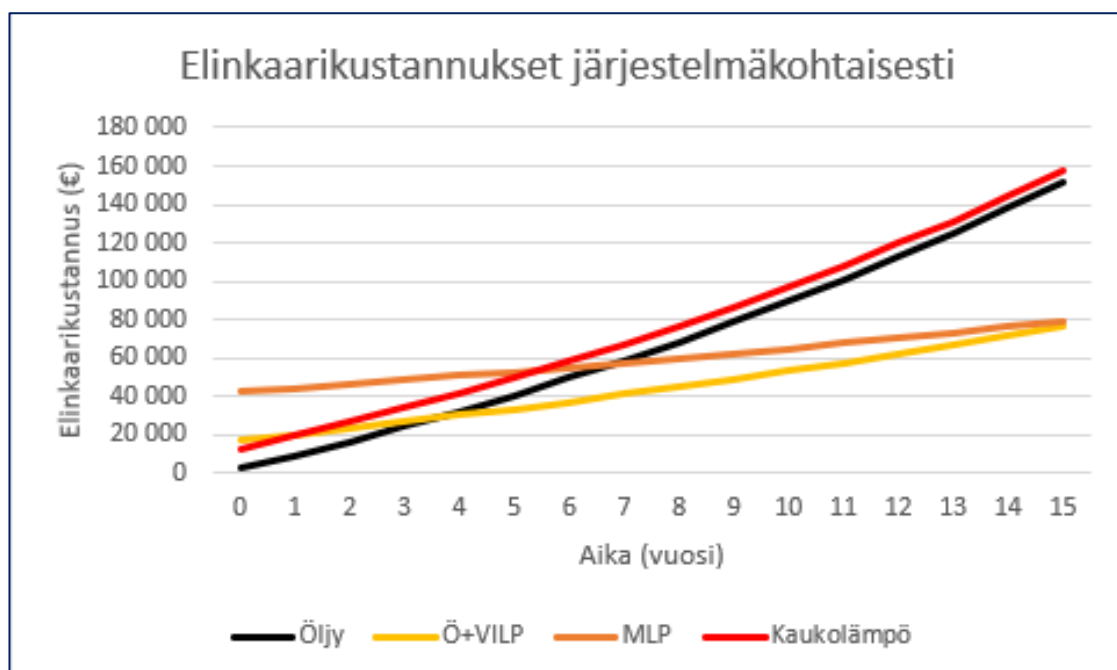
Elinkaarikustannuksiin ja takaisinmaksuaikaan vaikuttaa järjestelmän energiatehokkuus, investointikustannus ja energian hinta. Järjestelmien keskinäiseen ver-

tailuun käytettiin työssä selvitettyjä hankintahintoja ja energian kulutuksia, yksinkertainen laskentatapa tuo esille vertailtujen järjestelmien hintaeroja selkeästi. Takaisinmaksuaika arvioitiin laskemalla, milloin energianhintojen erotus uudessa ja vanhassa järjestelmässä on kuolettanut laitteiston hankintakustannukset. Laskennan lähtöarvot on esitetty taulukossa 13.

TAULUKKO 13. Elinkaarikustannusten ja takaisinmaksuaikojen laskennassa käytetyt arvot kaikki hinnat sisältävät arvonlisäveron 24 %

Hyötysuhde öljykattila	0,8
Hyötysuhde kaukolämpö	0,94
COP VILP	3,65
COP MLP	4,7
Sähkön energian kokonaishinta	0,15 €/kWh
Sähkön hinnan nousu vuodessa	+ 3 %
Öljyn energian kokonaishinta	0,098 €/kWh
Öljyn hinnan nousu vuodessa	+ 5 %
Kaukolämmön hinta sis. tehomaksu	0,11 €/kWh
Kaukolämmön hinnan nousu vuodessa	+ 5 %

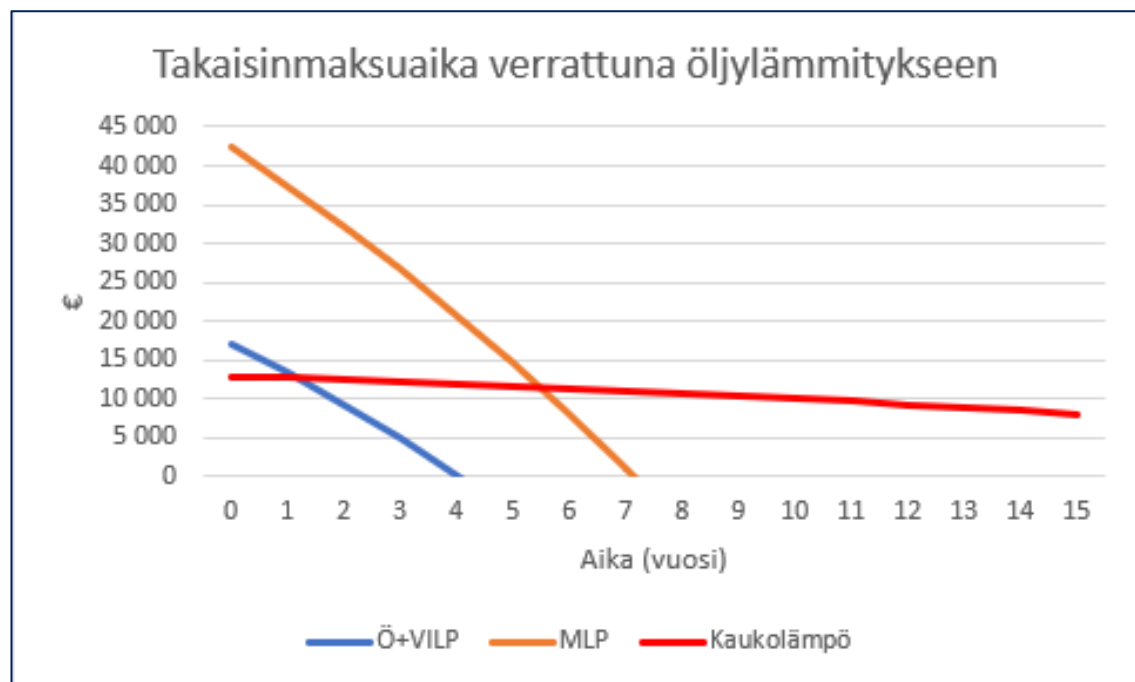
Kuviossa 1, vuosi nolla kuvaa laitteiston hankintaa ja siitä eteenpäin joka tarkasteluvuonna ostoenergian hinta lisätään hankintahintaan. Kaaviosta nähdään, miten eri järjestelmien kustannukset muodostuvat. Kaukolämmön alkuinvestointi on pienin, mutta vuotuiset kustannukset ovat korkeat. Molemmat lämpöpumppuinvestoinnit ovat kaukolämpöä kalliimpia, mutta jo viiden vuoden jälkeen kaukolämpö on ylittänyt elinkaarikustannuksissaan lämpöpumppuratkaisut. Lämpöpumppujen käyttämä sähköenergia on kallein energiamuoto, mutta COP-kertoimen mukainen ilmaisenergian osuus laitteella tuotetusta energiasta laskee vuotuiset lämmityskustannukset pieniksi. Käyrien taipuma tulee taulukossa 13 esitetyistä energian hinnan noususta, mitä korkeampi on nousuprosentti, sitä nopeammin lämmityskustannukset kasvavat.



KUVIO 1 Elinkaarikustannukset järjestelmäkohtaisesti

Elinkaarikustannuksista voidaan nähdä, millaisia kuluja järjestelmät aiheuttavat. Takaisinmakuu-aika on toinen tapa tarkastella järjestelmien investointia. Takaisinmaksuaikakaaviossa on esitetty, miten eri lämmitystavat maksavat investointikustannukset takaisin vanhoja ja uusia lämmityskustannuksia vertailtaessa. Lämmityskustannuksien nousu on huomioitu energiamuotokohtaisesti taulukon 13 arvojen mukaisesti. Takaisinmaksuajan kuvaajasta nähdään esimerkiksi, että kaukolämpö on halvin hankintahinnaltaan, mutta korkeat lämmityskustannukset pidentävät takaisinmaksuaikaa huomattavasti.

Kuvion 2 perusteella hybridilämmitys onärkevin investointikohde, sillä sen hankintahinta on edullinen ja takaisinmaksuaika on lyhyin. Toinen harkittava vaihtoehto lämmitysmuodoksi on maalämpö. Maalämpöratkaisun lämmityskustannukset jäävät pieniksi, joten sen takaisinmaksukäyrä on jyrkin. Alle kahdeksaa vuotta takaisinmaksussa voidaan pitää siedettävänä.



KUVIO 2 Takaisinmaksuaika eri lämmitysmuodoille.

4.3 Energiatehokkuus

Energiatehokkuustarkastelu tehtiin vertaamalla eri lämmityslaitteistojen ostoenergiankulutusta painotettuna energiamuotojen kertoimilla. Koska energiaavustuksia haettaessa tarkastellaan uutta järjestelmää verrattuna alkuperäiseen rakennusajankohdan järjestelmään, laskettiin ostoenergian kulutus 1923 vuoden puu-uunilämmityksen mukaan.

Arvio 1923 vuoden ostoenergiankulutuksesta tehtiin seuraavasti. Ensin laskettiin CADMATIC lämpölaskenta -ohjelmalla huipputehon tarve taulukon 5 vanhan rakenteen mukaan, huipputehoksi saatiin taulukossa 6 esitetty 36,150 kW lämmityksen huipputeho. Vuonna 1923 toteutunut energiankulutus arvioitiin kertomalla entisen ja nykyisen huipputehon tarpeen suhteella nykyistä lämmitysenergian tarvetta, sitten jaettiin saatu tulos takalle oletetulla hyötysuhteella 0,6. (energiatodistus opas 2018)

$$\text{Lämmitysenergia } 1923 = \frac{36,150 \text{ kW}}{34,065 \text{ kW}} * 53874 \frac{\text{kWh}}{\text{a}} = 57142,8 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}$$

$$\text{Ostoenergia } 1923 = \frac{57142,8 \frac{kWh}{a}}{0,6} \approx 95237 \frac{kWh}{a}$$

$$\text{Energiatehokkuuden vertailuarvo } 1923 = 95237 \frac{kWh}{a} * 0,5 \approx 47619 \frac{kWh}{a}$$

Energialaskennassa huomioidaan ostoenergian kulutus painotettuna energiamuodon kertoimella, puu-uunilämmitykselle kerroin on uusiutuvan energian energiamuotokerroin 0,5. Sillä kerrottiin saatu ostoenergian kulutus, jotta saatiin lopulta vertailuarvo uusien lämmitysmuotojen vertailuun energiatehokkuuden kannalta. Eri ratkaisujen vertailu on esitetty taulukossa 14. Energiatehokkuuden parannus on laskettu painottamalla järjestelmän ostoenergiankulutuksia energiamuotokertoimilla ja vertaamalla tulosta energiatehokkuuden vertailuarvoon 1923. Energiatehokkuuden parannus on ilmoitettu prosentteina, paljonko kulutus on vähentynyt E- luvun kannalta tarkasteltuna, esimerkiksi kaukolämpö laskee lämmitysenergian kulutusta E- lukulaskennassa 40 %.

TAULUKKO 14. Lämmitysjärjestelmien ostoenergiankulutus ja energiatehokkuuden parannus E- luvun kannalta.

Lämmitystapa	Ostoenergia(t) (kWh/a)	Energiatehokkuuden parannus vrt. 1923
Öljykattila	67 309 * 1 (öljy) = 67 309	-40 %
VILP + Öljy	14 425 * 1,2(sähkö) + 8 077 *1 (öljy) = 25 387	47 %
MLP + Sähkövastus	12 729 * 1,2 (sähkö) = 15 274	68 %
Kaukolämpö	57 284 * 0,5 (kaukolämpö) = 28 642	40 %

Tarkastelun perusteella kaikki tutkitut uudet ratkaisut ylittävät ARA- rahoituksen vaatiman 32 % energiatehokkuuden parannusvaatimuksen, eli kaikkiin ratkaisuihin voi hakea ARA- avustusta vuoden 2022 loppuun asti. Verrattaessa painottamattomia ostoenergioita huomataan, että kaukolämmön ostoenergian kulutus on lähellä nykyisen öljykattilan kulutusta. Se selittää kaukolämmön pitkää takaisinmaksuaikaa.

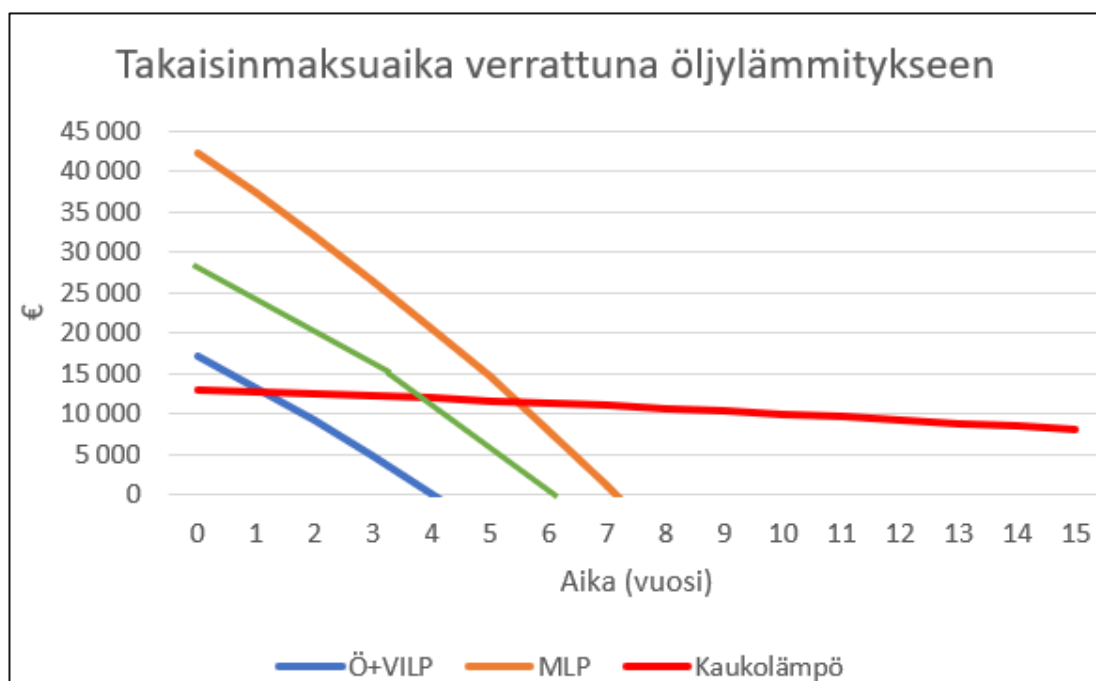
4.4 Kohteeseen sopivin ratkaisu

Kaikki tutkitut ratkaisut ovat mahdollisia asentaa tutkittuun kohteeseen. Vertailussa halvin ja nopeimmin itsensä takaisinmaksava järjestelmä oli hybridiratkaisu lämpöpumpulla ja öljykattilalla. Järjestelmä on myös helposti muokattavissa tulevaisuudessa. Kohteeseen sopivin ratkaisu tutkimuksen perusteella on hybridi-lämmitys, toinen hyvä vaihtoehto on maalämpö, mutta kalliit energiakaivot nostavat investoinnin huomattavasti korkeammaksi kuin hybridiratkaisussa.

Ratkaisua harkittaessa on huomattava myös nykyiset valtiolliset ilmastotavoitteet, joihin on kirjattu tavoite luopua öljylämmityksestä 2030- luvulle siirryttäessä. Jos hybridiratkaisuun päädytään nyt, se ehtii maksaa itsensä takaisin ennen seuraavaa mahdollista muutostarvetta. Kuitenkin voi olla, että jatkossa esimerkiksi bio-öljyä voi käyttää lämmitykseen ja esimerkkilaskennassa laitteisto onkin valittu biopohjaisille lämmitysöljyille soveltuvaksi.

5 POHDINTA

Työssä tutkittiin kolme tapaa korvata nykyinen öljylämmitys, kahdessa tapauksessa vanha laitteisto purettiin pois ja yhdessä tapauksessa vanha lämmitysjärjestelmä jäi tukilämmitysmuodoksi ilmavesilämpöpumpun rinnalle. Kuviosta 3 nähdään, että tarkastelukohteessa myös kallein vertailtu hybridiratkaisu, vihreällä esitetty, voittaa takaisinmaksuajassa maalämmön ja kaukolämmön. Myös energiatehokkuuden kannalta tarkasteltuna hybridiratkaisu osoittautui kannattavaksi.



KUVIO 3 Takaisinmaksuaika verrattuna öljylämmitykseen, vihreä viiva on kalleimman REMKO ilmavesilämpöpumpun takaisinmaksuajan kuvaaja.

Työssä haettiin lämmitysratkaisua esimerkkikohteeseen, mutta samalla onnistuttiin vertailemaan ja keräämään yhteen noin 25 kW lämmitysteholla olevia ilma-vesi- ja maalämpöpumppuratkaisuja. Kun laitteistot olivat samassa teholuokassa tuli esiin pumpputyypin ero. Vaikka antotehot olivat lähellä toisiaan, tarkastelussa maalämpöpumppu kattoi keskimäärin 10 % suuremman osan vuotuisesta energiantarpeesta. Hintoja tarkasteltaessa yksittäisen pumpun hinnat ovat lähellä toisiaan verrattaessa maa- ja ilmavesilämpöpumppuja, järjestelmien suurin ero tulee maalämpökaivojen muodostamista kustannuksista.

Jos öljystä halutaan luopua täysin, on hankintahinnaltaan kallis maalämpö kaukolämpöä järkevämpi ratkaisu, kun päätös tehdään energiatehokkuuteen ja vuotuisiin lämmityskuluihin perustuen. Toisaalta, jos korkea hankintahinta arveluttaa, on kaukolämpö kaupunkialueella edullinen hankkia, mutta lämmityskulut säilyvät öljylämmityksen tasolla. Kaukolämpö tulee tässä kohteessa kysymykseen, koska verkosto on lähellä ja vanha öljylämmitys ollaan poistamassa. Tilantarpeet lämmönjakokeskuksessa ovat kaukolämpöjärjestelmässä pienimmät.

Hybridijärjestelmän voi tutkimuksen perusteella todeta kannattavaksi ja järkeväksi investoinniksi. On kuitenkin huomattava hallituksen linjaus, jonka mukaan Suomen on tarkoitus luopua 2030 vuoteen mennessä öljylämmityksestä kokonaan, eikä vielä tiedetä, kelpaako bioöljy sen jälkeen lämmityksen energianlähteeksi vai onko varauduttava vaihtamaan öljykattila esimerkiksi sähkökattilaksi. Vesi-ilmalämpöpumppuratkaisun muunneltavuus mahdollistaa mukautumisen tuleviin lainsäädännön asettamiin muutostarpeisiin ja nopea takaisinmakuu aika mahdollistaa uudet investoinnit tulevaisuudessa.

Työn tulokset ovat yleistettävissä kokonaisuudessaan säävyöhykkeiden I ja II alueelle pieniin öljylämmitteisiin kerros- ja rivitaloihin. Säävyöhykkeillä III ja IV on tehtävä hybridijärjestelmän lisätarkastelua, sillä lämmitysmuotojen käytön osuus muuttuu siirryttäessä kylmemmille säävyöhykkeille. Työssä on esitetty laitevalintaan tapa, jolla voidaan valita muihinkin kohteisiin lämmityslaitteita sekä arvioida eri ratkaisujen vaikutuksia lämmityskustannuksiin. Energian hintatiedot ovat laskennassa esitetyt ja niitä tulee tarkastella kohdekohtaisesti.

Työssä esitetyt laskelmat ja arviot kohteeseen liittyen perustuvat taloyhtiöltä saattuihin kulutustietoihin, joista tehtiin arvio vuotuisesta kulutuksesta. Arvio tehtiin tunnetusta öljynkulutuksesta, tarkkuus on riittävä järjestelmävertailuun. Työn sisältämät laskelmat perustuvat tähän tunnettuun energian kulutukseen, joten ne ovat luotettavasti verrattavissa toisiinsa. Lämmitystehontarpeet ovat vertailukelpoiset myös muihin kohteisiin, koska ne perustuvat tunnettuihin rakennearvoihin ja säätietoihin. Työssä esitetyt hintatiedot ovat tarkistettavissa ja perustuvat todellisiin hintatietoihin eri verkkokaupoissa.

Työssä haluttiin selvittää pienkerrostalon energiatehokkuuden parantamismahdollisuuksia. Tuloksena voidaan todeta, että energiatehokkuutta voidaan merkittävästi parantaa esitellyillä lämpöpumppuratkaisuilla. Tulosten perusteella hybridikytkentä ilmavesilämpöpumpulla, energiavaraajalla ja öljykattilalla on kilpailukykyinen ratkaisu energiatehokkuuden parantamiseen tässä tutkimuskohteessa ja yleensä säävyöhykkeillä I ja II.

Työn aikana heräsi ideoita jatkotutkimusaiheista. Jatkotutkimusta olisi hyvä tehdä öljyn huomioinnista lisälämmitysmuotona energialaskennassa, laitteiden kytkentätapojen vertailusta ja hybridijärjestelmän mahdollisuuksista Pohjois-Suomessa. Myös kohdekohtaisten aurinkokeräin ja -sähköjärjestelmien integroinnista sekä niihin liittyvien energia-akku järjestelmien liittämistä hybridijärjestelmiin olisi hyvä tehdä lisäselvitystä.

LÄHTEET

Alakangas, E. Hurskainen, H. Laatikainen-Luntama, J. & Korhonen, J. 2016. Suomessa käytettyjen polttoaineiden ominaisuuksia. Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. Tampere 2016

Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus. Energia-avustukset. https://www.ara.fi/fi-FI/Lainat_ ja_avustukset/Energiaavustus Luettu 3.3.2021

ELY. Avustus pientalon öljylämmityksestä luopumiseksi. <https://www.ely-keskus.fi/oljylammituksen-vaihtajalle> Luettu 3.3.2021

Gebwell. Gebwell-G-Energy-varaajat. <https://gebwell.fi/wp-content/uploads/2019/07/Gebwell-G-Energy-varaajat.pdf> Luettu 20.3.2021

Gebwell. T2 lämpöpumppu -esite. <https://gebwell.fi/tuotteet/maalampopumput/t-lampopumput/> Luettu 20.3.2021

Hieta, K. Aluemyyntipäällikkö Högforsgst. 2021. Pyynikintie 6, Tarjous. sähköposti luettu 20.4.2021

Ilmatieteen laitos. Energialaskennan testivuodet nykyilmastossa. Ulkoilman lämpötilan pysyvyysarvot. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/energialaskennan-testivuodet-nyky> Luettu 25.3.2021

LVI 10-10398. 2006. Kaukolämmitys. Rakennustietosäätiö RTS ja LVI-Keskusliitto. Vaatii käyttöoikeuden. <https://rt-rakennustieto-fi.libproxy.tuni.fi/haku?query=10398> Luettu 17.3.2021

LVI 11-10332. 2002. Lämpöpumput. Rakennustietosäätiö RTS ja LVI-Keskusliitto. Vaatii käyttöoikeuden. <https://rt-rakennustieto-fi.libproxy.tuni.fi/haku?query=10332> Luettu 17.3.2021

LVI 12-10343. 2002. Vesikiertoinen patterilämmitys. Rakennustietosäätiö RTS ja LVI-Keskusliitto. Vaatii käyttöoikeuden. <https://rt-rakennustieto-fi.libproxy.tuni.fi/haku?query=10343> Luettu 17.3.2021

maalämpötukku.fi Luettu 17.4.2021

maalämpöä.fi Luettu 17.4.2021

Maankäyttö- ja rakennuslaki 5.2.1999/132

Manner, P kaukolämpöasiantuntija. 2021. Haastattelu 15.4.2021. Haastattelija Ketola, K. Tampere.

Motiva. Ilma-vesilämpöpumppu. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput/lampopumpputeknologiat/ilma-vesilampopumppu Luettu 17.3.2021

Motiva. 2012. Lämpöä omasta maasta – Maalämpöpumput. https://www.motiva.fi/ajankohtaista/julkaisut/lammitysjarjestelmat/lampo_omasta_maasta_maalampopumput.10752.shtml Luettu 4.3.2021

Motiva. Vedenkulutus. https://www.motiva.fi/koti_ ja_ asuminen/hyva_ arki_ koto_n/vedenkulutus Luettu 12.3.2021

Motiva. Öljylämmitys – Usein kysytyt kysymykset. https://www.motiva.fi/koti_ ja_ asuminen/usein_ kysytyt_ kysymykset_ oljylammitys_ ukk Luettu 12.3.2021

Nibe. Nibe VPB 500-1000. <https://ammattilaiset.nibe.fi/tuotteet/lampopumppu-varaajat/nibe-vpb-500-1000/#technical> Luettu 20.3.2021

Nibe. Pientalojen maalämpöpumppu opas. NIBE MLP-OPAS 1508-9.pdf Luettu 1.4.2021

Nibe. Tuote-esite NIBE Polar. <https://www.nibe.eu/fi/fi/tuotteet/ilma-vesilampopumput/NIBE-POLAR-PLUS-5720> Luettu 20.3.2021

Nibe. Tuote-esite Nibe S1155. https://www.nibe.eu/fi/fi/tuotteet/maalampopumput/NIBE-Invertteriohjattu-maal%C3%A4mp%C3%B6pumppu-S1155-5172?gclid=CjwKCAjwj6SEBhAOEiwAvFRuKPr1H-3upjkK-zXPKkm5ZG8e_kTkA2dpduiObtaMa4JeBJw2ddrVWjRoCF50QAvD_BwE Luettu 20.3.2021

Polar therm. LMW Esite 2021. <https://lampopumput.polartherm.fi/tuote/remkolwm/> Luettu 20.3.2021

pumppukauppa.fi Luettu 17.4.2021

Satpa LVV-PUTKISTON KUNTOTUTKIMUS As.Oy Pyynikintie 2 1.7.2020 Julkaisematon. Opinnäytetyön tekijän hallussa.

sarokas.fi Luettu 17.4.2021

Scanoffice. Mitsubishi Electric Ecodan R32 (EHST20D-YM9D) esite. <https://www.scanoffice.fi/tuote/energiansaastaja-nykyisen-lammonlahteen-rinnalle/> luettu 20.3.2021

Scanwarm. Esite SW Alterra Plus. <https://www.scanwarm.fi/tuote/alpha-innotec-sw-alterra-plus-maalampopumppu-2/> Luettu 20.3.2021

Seppänen, O. 2001. Rakennusten lämmitys. Jyväskylä: Gummerrus Kirjapaino Oy.

SFS 14511-2. 2018. Lämmitykseen ja jäähdytykseen tarkoitettut sähkökäyttöisellä kompressorilla toimivat huoneilmastointikoneet, nestejäähdyttimet ja lämpöpumput. Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys ry. Luettu 17.3.2021. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>

Sotarauta, H. CADMATIC Tuotetuki. 2021. [Ticet#2021032688000304] Kysymys lämpöhäviölaskennan toiminnasta. sähköpostiviesti luettu 26.3.2021

taloon.com Luettu 17.4.2021

Tampereen kaupunki. Ajantasa-asemakaava. <https://www.tampere.fi/asuminen-ja-ymparisto/kaavoitus/asemakaavoitus/ajantasa-asemakaava.html> Luettu 24.3.2021

Tampereen sähkölaitoksen Kaukolämpöasiantuntija Pasi Vuoren puhelin haastattelu 15.4.2021 klo 14:00. Tampere.

Tampereen sähkölaitos <https://www.sahkolaitos.fi/> Luettu 18.3.2021

Techeat. Maalämpökaivo tai energiakaivo. <https://www.techeat.fi/maalampo/maalampokaivo/> Luettu 5.4.2021

toolteam24.com Luettu 17.4.2021

Tuusulan kunta, Tilapalvelut. Rakennushankkeessa käytettyjä pinta-alakäsitteitä. tuusula.fi Luettu 12.3.2021

Valtioneuvoston asetus rakennuksissa käytettävien energiamuotojen kertoimien lukuarvoista 31.11.2017/788

Valtioneuvosto. 2019. Pääministeri Sanna Marinin hallituksen ohjelma 2019. Luettu 24.4.2021

Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä 4/13

Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä annetun ympäristöministeriön asetuksen muuttamisesta 2/17

Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. 2011. D3 Suomenrakentamismääräyskokoelma. Helsinki.

Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. 2013. D5 Suomenrakentamismääräyskokoelma. Helsinki.

Ympäristöministeriö. 2018. Tyypillisiä olemassa olevien vanhojen rakennusten alkuperäisiä suunnitteluarvoja. Energiatodistusoppaan 2018 liite. 1.11.2018. Luettu 25.3.2021

Ympäristöministeriö. 2018. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Ohje rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskentaan. luettu 25.3.2021

LIITTEET

Liite 1. Lämpöhäviöraportit Pyynikin tie 6

Lämpöhäviöraportit laskennasta, nykyisellä rakenteella ulkolämpötiloilla – 29 °C, -25 °C, -20 °C, -15 °C, ja -10 °C sekä energiatehokkuus vertailua varten alkupe-
räisellä rakenteella laskettu – 29 °C

LÄMPÖHÄVIÖRAPORTTI									
Päiväys: 14,04,2021 (17:34:45)									
Pyynikintie 6		Nykyinen rakenne				-29 °C			
33100 Tampere									
N:o	TILA	m ²	m ³	Kerroin	W/m ²	W/m ³	W	Kerros	
1	AS3	80	239,5	1	73,3	24,5	5868	2	
2	AS4	80	239,5	1	73,4	24,5	5870	2	
3	PORRASH	12	36	1	75	25	900	2	
4	PORRASH	8	24,5	1	65,6	21,4	525	2	
1	AS1	80,5	193,5	1	51,1	21,3	4117	1	
2	AS2	79	236,5	1	42,6	14,2	3368	1	
3	PORRASH	9	27,5	1	81,6	26,7	734	1	
4	PORRASH	8	23,5	1	110,2	37,5	882	1	
1	KELLARI	175	420,5	1	67,4	28,1	11801	Kellari	
YHTEENSÄ		531,5	1441		64,1	23,6	34065		

LÄMPÖHÄVIÖRAPORTTI									
Päiväys: 14,04,2021 (17:37:50)									
Pyynikintie 6		Nykyinen rakenne				-25 °C			
33100 Tampere									
N:o	TILA	m ²	m ³	Kerroin	W/m ²	W/m ³	W	Kerros	
1	AS3	80	239,5	1	68,9	23	5512	2	
2	AS4	80	239,5	1	68,9	23	5513	2	
3	PORRASH	12	36	1	70,7	23,6	848	2	
4	PORRASH	8	24,5	1	59,9	19,6	479	2	
1	AS1	80,5	193,5	1	48,4	20,1	3896	1	
2	AS2	79	236,5	1	40,7	13,6	3212	1	
3	PORRASH	9	27,5	1	77,4	25,3	697	1	
4	PORRASH	8	23,5	1	104	35,4	832	1	
1	KELLARI	175	420,5	1	65,8	27,4	11513	Kellari	
YHTEENSÄ		531,5	1441		61,2	22,6	32502		

LÄMPÖHÄVIÖRAPORTTI								
Päiväys: 14,04,2021 (17:39:04)								
Pyynikintie 6		Nykyinen rakenne			-20 °C			
33100 Tampere								
N:o	TILA	m ²	m ³	Kerroin	W/m ²	W/m ³	W	Kerros
1	AS3	80	239,5	1	63,3	21,2	5066	2
2	AS4	80	239,5	1	63,3	21,2	5067	2
3	PORRASH	12	36	1	65,3	21,8	784	2
4	PORRASH	8	24,5	1	52,7	17,2	422	2
1	AS1	80,5	193,5	1	45	18,7	3620	1
2	AS2	79	236,5	1	38,2	12,8	3016	1
3	PORRASH	9	27,5	1	72,3	23,7	651	1
4	PORRASH	8	23,5	1	96,2	32,8	770	1
1	KELLARI	175	420,5	1	63,7	26,5	11153	Kellari
YHTEENSÄ		531,5	1441		57,5	21,2	30549	

LÄMPÖHÄVIÖRAPORTTI								
Päiväys: 14,04,2021 (17:40:04)								
Pyynikintie 6		Nykyinen rakenne			-15 °C			
33100 Tampere								
N:o	TILA	m ²	m ³	Kerroin	W/m ²	W/m ³	W	Kerros
1	AS3	80	239,5	1	57,7	19,3	4620	2
2	AS4	80	239,5	1	57,8	19,3	4621	2
3	PORRASH	12	36	1	60	20	720	2
4	PORRASH	8	24,5	1	45,6	14,9	365	2
1	AS1	80,5	193,5	1	41,5	17,3	3343	1
2	AS2	79	236,5	1	35,7	11,9	2820	1
3	PORRASH	9	27,5	1	67,2	22	605	1
4	PORRASH	8	23,5	1	88,5	30,1	708	1
1	KELLARI	175	420,5	1	61,7	25,7	10793	Kellari
YHTEENSÄ		531,5	1441		53,8	19,8	28595	

LÄMPÖHÄVIÖRAPORTTI								
Päiväys: 14,04,2021 (17:41:41)								
Pyynikintie 6			Nykyinen rakenne		-10 °C			
33100 Tampere								
N:o	TILA	m ²	m ³	Kerroin	W/m ²	W/m ³	W	Kerros
1	AS3	80	239,5	1	52,2	17,4	4174	2
2	AS4	80	239,5	1	52,2	17,4	4175	2
3	PORRASH	12	36	1	54,7	18,2	656	2
4	PORRASH	8	24,5	1	38,5	12,6	308	2
1	AS1	80,5	193,5	1	38,1	15,9	3067	1
2	AS2	79	236,5	1	33,2	11,1	2624	1
3	PORRASH	9	27,5	1	62,1	20,3	559	1
4	PORRASH	8	23,5	1	80,6	27,4	645	1
1	KELLARI	175	420,5	1	59,6	24,8	10434	Kellari
YHTEENSÄ		531,5	1441		50,1	18,5	26642	

LÄMPÖHÄVIÖRAPORTTI								
Päiväys: 14,04,2021 (17:30:34)								
Pyynikintie 6			Vanharakenne		-29 °C			
33100 Tampere								
N:o	TILA	m ²	m ³	Kerroin	W/m ²	W/m ³	W	Kerros
1	AS3	80	239,5	1	77,5	25,9	6197	2
2	AS4	80	239,5	1	77,4	25,9	6194	2
3	PORRASH	12	36	1	83,1	27,7	997	2
4	PORRASH	8	24,5	1	65,6	21,4	525	2
1	AS1	80,5	193,5	1	55,1	22,9	4437	1
2	AS2	79	236,5	1	46,8	15,6	3695	1
3	PORRASH	9	27,5	1	99,6	32,6	896	1
4	PORRASH	8	23,5	1	122,4	41,7	979	1
1	KELLARI	175	420,5	1	69,9	29,1	12230	Kellari
YHTEENSÄ		531,5	1441		68	25,1	36150	

Liite 2. Maalämpöpumpun kattavuus lämmitysenergian kulutuksesta

(ohje rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskentaan)

Taulukko L2.1. Maalämpöpumpun kattama osuus tilojen ja lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarpeesta ($Q_{LP}/Q_{\text{lämmitys, tilat, lkv}}$). Taulukossa ($\phi_{LPn}/\phi_{\text{tila}}$) on lämpöpumpun tuottaman lämpötehon ja tilojen lämmityksen mitoitus-tehon suhde, ($Q_{\text{lämmitys, tilat}}/Q_{\text{lämmitys, lkv}}$) tilojen lämmityksen lämpöenergian tarpeen ja lämpimän käyttöveden lämmittämisen lämpöenergian tarpeen suhde ja (T_m) on korkein menoveden lämpötila. Lämpöpumpun nimellisteho ϕ_{LPn} annetaan toimintapisteessä $T_{\text{liuos}}/T_{\text{meno}} 0/35$ °C.

$\phi_{LPn}/\phi_{\text{tila}}$	$Q_{\text{lämmitys, tilat}}/Q_{\text{lämmitys, lkv}}$	Maalämpöpumpun kattama osuus tilojen ja lämpimän käyttöveden lämpöenergiasta ($Q_{LP}/Q_{\text{lämmitys, tilat, lkv}}$)											
		Sävyöhyke: I-II				Sävyöhyke: III				Sävyöhyke: IV			
		$T_m, \text{°C}$				$T_m, \text{°C}$				$T_m, \text{°C}$			
		30	40	50	60	30	40	50	60	30	40	50	60
0,30	0,50	0,39	0,39	0,39	0,39	0,38	0,38	0,38	0,38	0,36	0,36	0,36	0,36
	1,00	0,47	0,47	0,47	0,47	0,46	0,46	0,46	0,46	0,44	0,44	0,44	0,44
	2,00	0,62	0,60	0,58	0,56	0,60	0,58	0,56	0,54	0,44	0,54	0,52	0,51
	4,00	0,68	0,65	0,62	0,59	0,67	0,63	0,60	0,58	0,63	0,59	0,56	0,54
0,40	0,50	0,52	0,52	0,52	0,52	0,51	0,51	0,51	0,51	0,48	0,48	0,48	0,48
	1,00	0,67	0,66	0,65	0,64	0,65	0,64	0,63	0,62	0,61	0,60	0,59	0,59
	2,00	0,78	0,75	0,72	0,70	0,76	0,73	0,70	0,68	0,59	0,69	0,67	0,64
	4,00	0,84	0,79	0,76	0,73	0,82	0,77	0,73	0,70	0,78	0,73	0,69	0,66
0,50	0,50	0,65	0,65	0,65	0,65	0,63	0,63	0,63	0,63	0,61	0,61	0,61	0,61
	1,00	0,82	0,80	0,78	0,76	0,80	0,78	0,76	0,74	0,77	0,74	0,73	0,71
	2,00	0,90	0,87	0,84	0,81	0,89	0,85	0,82	0,79	0,71	0,81	0,78	0,75
	4,00	0,92	0,89	0,86	0,83	0,91	0,88	0,84	0,81	0,89	0,84	0,80	0,76
0,60	0,50	0,81	0,80	0,79	0,78	0,79	0,78	0,77	0,76	0,75	0,74	0,74	0,73
	1,00	0,92	0,90	0,88	0,86	0,91	0,88	0,86	0,84	0,88	0,85	0,82	0,80
	2,00	0,95	0,93	0,91	0,89	0,95	0,92	0,90	0,87	0,80	0,90	0,86	0,83
	4,00	0,96	0,94	0,92	0,90	0,96	0,93	0,91	0,88	0,95	0,91	0,88	0,85
0,70	0,50	0,92	0,90	0,88	0,87	0,90	0,88	0,87	0,86	0,87	0,85	0,84	0,83
	1,00	0,97	0,95	0,94	0,92	0,96	0,95	0,93	0,91	0,95	0,92	0,90	0,88
	2,00	0,98	0,96	0,95	0,93	0,98	0,96	0,94	0,92	0,88	0,95	0,92	0,90
	4,00	0,98	0,97	0,95	0,94	0,98	0,96	0,95	0,93	0,98	0,95	0,93	0,90
0,80	0,50	0,97	0,96	0,95	0,94	0,97	0,95	0,94	0,93	0,95	0,93	0,91	0,90
	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,99	0,97	0,96	0,95	0,98	0,96	0,95	0,93
	2,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,99	0,98	0,97	0,95	0,99	0,97	0,95	0,95
	4,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,99	0,98	0,97	0,95	0,99	0,98	0,96	0,94
0,90	0,50	0,99	0,98	0,98	0,97	0,99	0,98	0,97	0,96	0,99	0,97	0,96	0,95
	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	1,00	0,99	0,98	0,97	0,99	0,98	0,97	0,96
	2,00	1,00	0,99	0,98	0,98	1,00	0,99	0,98	0,97	1,00	0,99	0,97	0,96
	4,00	1,00	0,99	0,98	0,97	1,00	0,99	0,98	0,97	1,00	0,99	0,97	0,96
1,00	0,50	1,00	0,99	0,99	0,98	1,00	0,99	0,99	0,98	1,00	0,99	0,98	0,97
	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	1,00	1,00	0,99	0,98	1,00	0,99	0,99	0,98
	2,00	1,00	1,00	0,99	0,99	1,00	1,00	0,99	0,98	1,00	0,99	0,99	0,98
	4,00	1,00	1,00	0,99	0,99	1,00	1,00	0,99	0,98	1,00	1,00	0,99	0,98

Liite 3. Ilmavesilämpöpumpun kattavuus lämmitysenergian kulutuksesta,

kun pumpun alin käyttölämpötila on -20 °C (ohje rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskentaan)

Taulukko L2.2. Ulkoilmalämpöpumpun (ilma-vesi) kattama osuus tilojen ja lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarpeesta ($Q_{LP}/Q_{\text{lämmitys, tilat, lkv}}$). Taulukossa ($\phi_{LPn}/\phi_{\text{tila}}$) on lämpöpumpun tuottaman lämpötehon ja tilojen lämmityksen mitoitusstehon suhde, ($Q_{\text{lämmitys, tilat}}/Q_{\text{lämmitys, lkv}}$) tilojen lämmityksen lämpöenergian tarpeen ja lämpimän käyttöveden lämmittämisen lämpöenergian tarpeen suhde ja (T_m) on korkein menoveden lämpötila. Lämpöpumpun nimellisteho ϕ_{LPn} annetaan toimintapisteessä $T_u/T_{\text{meno}} +7/35$.

$\phi_{LPn}/\phi_{\text{tila}}$	$\frac{Q_{\text{lämmitys, tilat}}}{Q_{\text{lämmitys, lkv}}}$	Ulkoilmalämpöpumpun (ilma-vesi) kattama osuus tilojen ja lämpimän käyttöveden lämpöenergiasta ($Q_{LP}/Q_{\text{lämmitys, tilat, lkv}}$)											
		Säävyöhyke: I-II				Säävyöhyke: III				Säävyöhyke: IV			
		$T_m, \text{ °C}$				$T_m, \text{ °C}$				$T_m, \text{ °C}$			
		30	40	50	60	30	40	50	60	30	40	50	60
0,30	0,50	0,33	0,33	0,33	0,33	0,31	0,31	0,31	0,31	0,28	0,28	0,28	0,28
	1,00	0,39	0,39	0,39	0,39	0,37	0,37	0,37	0,37	0,33	0,33	0,33	0,33
	2,00	0,49	0,48	0,47	0,46	0,46	0,45	0,44	0,44	0,40	0,39	0,39	0,38
	4,00	0,56	0,54	0,52	0,50	0,53	0,51	0,49	0,48	0,46	0,44	0,43	0,41
0,40	0,50	0,44	0,44	0,44	0,44	0,42	0,42	0,42	0,42	0,38	0,38	0,38	0,38
	1,00	0,52	0,52	0,52	0,52	0,50	0,50	0,49	0,49	0,44	0,44	0,44	0,44
	2,00	0,63	0,61	0,60	0,58	0,60	0,58	0,57	0,56	0,52	0,51	0,50	0,49
	4,00	0,68	0,65	0,63	0,61	0,64	0,62	0,60	0,58	0,56	0,54	0,52	0,51
0,50	0,50	0,54	0,54	0,54	0,54	0,52	0,52	0,52	0,52	0,47	0,47	0,47	0,47
	1,00	0,65	0,64	0,64	0,63	0,62	0,61	0,61	0,60	0,55	0,54	0,54	0,53
	2,00	0,73	0,71	0,69	0,68	0,70	0,68	0,66	0,64	0,61	0,60	0,58	0,57
	4,00	0,78	0,75	0,72	0,70	0,74	0,71	0,68	0,66	0,64	0,62	0,60	0,58
0,60	0,50	0,64	0,64	0,64	0,64	0,62	0,62	0,62	0,61	0,55	0,55	0,55	0,55
	1,00	0,75	0,74	0,72	0,72	0,72	0,70	0,69	0,69	0,64	0,63	0,62	0,61
	2,00	0,82	0,79	0,77	0,75	0,78	0,76	0,74	0,72	0,69	0,67	0,65	0,64
	4,00	0,84	0,82	0,80	0,77	0,81	0,78	0,76	0,73	0,71	0,69	0,66	0,64
0,70	0,50	0,73	0,73	0,73	0,73	0,70	0,70	0,70	0,70	0,63	0,63	0,63	0,63
	1,00	0,83	0,81	0,80	0,78	0,79	0,78	0,76	0,75	0,71	0,69	0,68	0,67
	2,00	0,87	0,85	0,83	0,82	0,84	0,82	0,80	0,78	0,75	0,73	0,71	0,69
	4,00	0,89	0,87	0,85	0,83	0,86	0,84	0,81	0,79	0,76	0,74	0,72	0,70
0,80	0,50	0,81	0,80	0,80	0,79	0,80	0,80	0,79	0,78	0,72	0,71	0,71	0,70
	1,00	0,88	0,87	0,85	0,84	0,86	0,85	0,84	0,82	0,77	0,76	0,74	0,73
	2,00	0,90	0,89	0,88	0,86	0,88	0,86	0,85	0,84	0,79	0,77	0,76	0,74
	4,00	0,91	0,90	0,88	0,87	0,88	0,87	0,85	0,84	0,79	0,77	0,76	0,74
0,90	0,50	0,89	0,88	0,88	0,87	0,86	0,85	0,84	0,83	0,77	0,76	0,76	0,75
	1,00	0,92	0,91	0,90	0,89	0,89	0,88	0,87	0,86	0,81	0,80	0,78	0,77
	2,00	0,92	0,91	0,90	0,89	0,90	0,89	0,88	0,87	0,81	0,80	0,79	0,77
	4,00	0,92	0,91	0,90	0,89	0,89	0,88	0,87	0,86	0,81	0,80	0,78	0,77
1,00	0,50	0,92	0,92	0,91	0,90	0,90	0,89	0,88	0,88	0,82	0,81	0,80	0,79
	1,00	0,93	0,92	0,92	0,91	0,91	0,90	0,90	0,89	0,83	0,82	0,81	0,80
	2,00	0,93	0,92	0,92	0,91	0,91	0,90	0,89	0,89	0,83	0,82	0,81	0,80
	4,00	0,93	0,92	0,91	0,90	0,90	0,90	0,89	0,88	0,82	0,81	0,80	0,79